

(12)

# PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 1258/96

(51) Int.Cl.<sup>6</sup> : **H03F 3/217**  
G05F 3/16, 1/62, H02M 3/155

(22) Anmeldetag: 12. 7.1996

(42) Beginn der Patentdauer: 15. 2.1999

(45) Ausgabetag: 25.11.1999

(56) Entgegenhaltungen:

US 5117198A DE 2939365C2

(73) Patentinhaber:

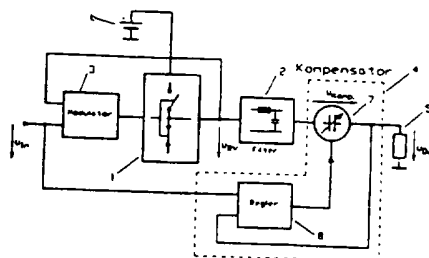
HIMMELSTOSS FELIX DIPL.ING. DR.TECHN.  
A-2351 WR. NEUDORF, NIEDERÖSTERREICH (AT).

(72) Erfinder:

HIMMELSTOSS FELIX DIPL.ING. DR.TECHN.  
WR. NEUDORF, NIEDERÖSTERREICH (AT).  
EDELMOSE KARL DIPL.ING. DR.TECHN.  
WIEN (AT).

## (54) REGELVORRICHTUNG FÜR EINEN SPANNUNGSKOMPENSIERTEN D-VERSTÄRKER

(57) Wandlerschaltungen zur Verstärkung von Wechsel-, Gleich- oder Mischspannungen mit Hilfe eines spannungskompensierten D-Verstärkers, aufgebaut mit komplementär angesteuerten strombidirektionalen Schaltern und einem in Reihe geschaltetem Filter und einer analogen Kompensationsspannungsquelle, die über einen Regler mit differenzierendem Anteil und einer Sollwertaufbereitung, bestehend aus einer Filternachbildung und einer Verzögerungseinrichtung angesteuert wird. Besonders vorteilhaft ist, daß durch entsprechende Ansteuerung Wechselspannungen beliebiger Form erzeugt werden können. Von praktischer Bedeutung sind dabei besonders NF Signale wie z. B. Sprach- oder Musiksignale. Als Anwendung des Systems sind Beschallungseinrichtungen für Gebäude, Bahnhöfe, Reisezugwaggons, Sportanlagen, Freiluftkonzerte und ähnliches zu nennen. Bei entsprechender Dimensionierung kann auch HiFi Qualität erreicht werden. Weitere Anwendungen liegen in der Realisierung von hochqualitativen Servoantrieben und Netzspannungssimulatoren.



Die Erfindung bezieht sich auf Wandlerschaltungen zur Umformung von Gleichspannungen in Wechsel-, Gleich- oder Mischspannungen an einer Last mit Hilfe eines spannungskompensierten D-Verstärkers, aufgebaut mit komplementär angesteuerten strombidirektionalen Schaltern (Antiparallelschaltung eines aktiven Halbleiterschalters wie Bipolartransistor, MOSFET, IGBT, GTO, MCT, SIT(h) mit einem passiven Schalter (Diode)) und einem in Reihe geschalteten Filter und einer Kompensationseinrichtung.

Die Betriebsgleichspannung 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.

Im D-Verstärker wird mit Hilfe verschiedener Modulationsverfahren z.B. Pulsbreitenmodulation, Sigma-Delta Modulation aus dem zu verstärkenden Signal ( $U_{in}$ ) (bzw. einem digital übermittelten Vorgabewert, der dann direkt weiter verarbeitet werden kann) ein digitales Signal erzeugt, das mit Hilfe einer (Halb- oder Voll-) Brückenschaltung in der Amplitude verstärkt wird und in einer anschließenden Filterstufe in das gewünschte, verstärkte Analogsignal umgeformt wird. Verwiesen sei in diesem Zusammenhang auf den Artikel "Multi-purpose Half-Bridge DC-AC Converter, Himmelstoss, F.A. & K.H. Edelmoser, INTELEC'95, Oct. 29 - Nov. 1, 1995, The Hague, The Netherlands, pp. 684 - 689". Einen Überblick über verschiedene Modulationsverfahren findet man in dem Artikel "Interpolative Sigma Delta Modulators for High Frequency Power Electronics Applications, Glen Lucijiff, Ian Dobson & Deepak Divan, PESC'95, Atlanta, pp. 444-449". Weiters sei auf einen im Artikel "Class-D Amplifier Simulation Problems, Himmelstoss, F.A. & K.H. Edelmoser, IPEC-Yokohama'95, April 3-7, 1995, Yokohama, Japan, pp. 255-258" untersuchten D-Verstärker hingewiesen.

Besonders vorteilhaft bei der hier besprochenen Schaltung ist die Tatsache, daß durch entsprechende Ansteuerung Spannungen beliebiger Form erzeugt werden können. Von praktischer Bedeutung sind dabei besonders Nf Signale wie z. B. Sprach- oder Musiksignale. Als Anwendung des Systems sind Beschallungseinrichtungen für Gebäude, Bahnhöfe, Reisezugwaggons, Sportanlagen, Freiluftkonzerte und ähnliches zu nennen. Bei entsprechender Dimensionierung kann auch HiFi Qualität erreicht werden. Ebenso ist das System geeignet, Sinusspannungen und Trapezspannungen mit vorgebbarer Frequenz zur Ansteuerung von Wechselstrommaschinen zu verstärken und als Treiberstufe für hochwertige Positionierantriebe bzw. Aktuatoren zu dienen. Eine weitere Anwendung kann in der Realisierung von hochqualitativen Netzspannungssimulatoren liegen.

Zu den Entgegenhaltungen, die den nächstgelegenen Stand der Technik darstellen, ist folgendes anzumerken:

In US 5,117,198 ist ein D-Verstärker mit Spannungsversorgungsausgleich geoffenbart. Dadurch wird das Problem einer Gleichstromvormagnetisierung des Lautsprechers bekämpft, das durch ungleichmäßige Aufladung der Betriebsspannungskondensatoren bei einem Halbbrückenwandler auftritt. Durch Einbeziehen der Spannung an der Last kann dieses Problem auch mit Hilfe einer entsprechenden Regelung überwunden werden. Eine Verringerung des Spannungsrippels wird jedoch dadurch nicht erzielt. In der neuen Erfindung geht es jedoch darum, den durch einen Klasse-D Verstärker entstandenen Rippel der Ausgangsspannung bei geringem Filteraufwand durch Einprägen einer Kompensationsspannung wesentlich zu verkleinern.

In DE 29 39 365 A1 wird ein Leistungsverstärker der Klasse D dargestellt, der komplementäre MOS Transistoren in der Halbbrücke verwendet, eine optische Trennung im Signalpfad hat und durch die gleichgerichtete, geglättete Netzspannung versorgt wird. Auch hier geht es nicht um die Verringerung des Rippels mit aktiven Maßnahmen.

Bei der gegenständlichen Erfindung handelt es sich um eine Regelvorrichtung, die eine Kompensationsspannungsquelle so regelt, daß der durch den D-Verstärker an der Last entstehende Spannungsrippel minimiert wird. Diese Regelvorrichtung für einen spannungskompensierten D-Verstärker zur Verstärkung einer analogen Eingangsspannung oder eines digitalen Vorgabewertes, bestehend aus einer Modulationseinheit (3) zur Analog/Digital Wandlung, damit angesteuerten Brückenschaltungen (1), bestehend aus durch mit Hilfe von komplementär, unter Einbeziehung einer kurzen Verriegelungszeit angesteuerten strombidirektionalen Schaltern, das sind eine Antiparallelschaltung eines aktiven Halbleiterschalters, wie Bipolartransistor, MOSFET, IGBT, GTO, MCT, SIT(h) mit einem passiven Schalter (Diode), zur Verstärkung des digitalen Signals, wobei die dafür erforderliche Energie einer Gleichspannungsquelle (6) entnommen wird, zwei- (oder mehrstufigem) Filter (2) zur Abschwächung der Schaltfrequenz im verstärkten Digitalsignal und einer in Serie mit der Last (5) liegenden Kompensationseinrichtung (4) ist dadurch gekennzeichnet, daß die Spannung der Kompensationsquelle (7) mit einem Regler (11), der einen differenzierenden Anteil beinhalten kann, so geregelt wird, daß dem Soll-Ist-Vergleich (13) die Spannung an der Last (5)  $U_{out}$  über einen Abschwächer (12) auf den Minuseingang zugeführt wird und das zu verstärkende Signal  $U_{in}$  einer Filternachbildung (9) und einem anschließenden Verzögerungsglied (10) zugeführt wird und dieses so gefilterte und verzögerte Signal als Sollwert  $U_{soll}$  dem Plus-Eingang des Soll-Ist-Vergleichs (13) zugeführt

wird.

Die Bilder zeigen allgemein das Prinzip des spannungskompensierten D-Verstärkers ausgeführt als Halbbrücke (Fig. 1) oder Vollbrücke (Fig. 2), Fig. 3 zeigt ein Modell eines unkompensierten D-Verstärkers, Fig. 4 stellt den Kompensator bestehend aus Kompensations- quelle und zugehörigen Regler dar und schließlich stellt Fig. 5 die Regeleinrichtung im Detail dar.

Die Erfindung bezieht sich auf Wandlerschaltungen (Fig. 1, Fig.2) zur Umformung von Gleichspannungen (6) in Wechsel-, Gleich- oder Mischspannungen an einer Last (5) mit Hilfe eines spannungskompensierten D-Verstärkers, aufgebaut mit komplementär angesteuerten strombidirektionalen Schaltern und einem in Reihe geschalteten Filter (2) und einer Kompensationseinrichtung (4) zur Kompensation des entstehenden Rippels an der Last. Zur Erläuterung wie ein D-Verstärker aufgebaut sein kann dient die Fig. 3, wo zum besseren Verständnis auch Bauteilwerte angeführt sind.

Figur 4 und Figur 5 zeigen den Aufbau des gegenständlichen Systems. Das zu verstärkende Signal ( $U_{in}$ ) wird neben der Modulationseinheit (3) zur Erzeugung des digitalen Signals einer Filternachbildung (9) mit angeschlossener Verzögerung (10) zur Erzeugung des Sollwerts ( $U_{soll}$ ) für den Regler (11) zugeführt. Durch diese Einrichtung wird die Signalverzögerung des Digitalverstärkers (darunter wird Modulationseinheit (3), Leistungs-Brückenschaltung (1) und Ausgangsfilter (2) verstanden) ausgeglichen. Der so erzeugte Sollwert ( $U_{soll}$ ) wird mit dem reduzierten Spannungssignal ( $U_{Last}$ ) der Last ( $U_{out}$ ) als Istwert verglichen (Abschwächer (12)) und einem Regler (11) zugeführt. Ein D-Anteil im Regler ist in dieser Anwendung für die Funktion des Kompensators (4) wesentlich, ebenso ist die Verwendung der Filternachbildung (9), sowie die Laufzeitkompensation (10) für die Funktion maßgeblich. Der Regler (11) steuert dann die Kompensations- spannungsquelle (7).

Die Kompensationsquelle (7) kann z.B. mit einer analogen komplementären Gegentaktendstufe, durch einen Analogverstärker, dessen Ausgangsspannung mit Hilfe eines Transformators eingekoppelt wird, bzw. durch einen entsprechend hochdynamisch gestalteten weiteren D-Verstärker oder Schaltnetzteil (zur Erhöhung der Dynamik auch bidirektional) realisiert sein. Als besonders vorteilhaft ist die Tatsache anzusehen, daß die von der Kompensationsquelle (7) aufzubringende Leistung nur einige Prozent der Gesamtleistung beträgt. Dies führt zu einem entsprechend hohen Wirkungsgrad der Gesamtanordnung.

Bei der praktischen Realisierung kann sowohl der Modulator (3), als auch der Regler (8) für die Kompensationsspannungsquelle (bestehend aus Filternachbildung (9), Zeitverzögerung (10), Soll-Ist-Vergleich (13) und Regler (11)) digital mit einem Signalprozessor erzeugt werden. Ebenso kann die Optimierung des Reglers bzw. die Bestimmung der optimalen Verzögerungszeit bei der ersten Inbetriebnahme mit einer bestimmten Last mit Hilfe des Prozessors durchgeführt werden, bzw. mit Hilfe einer Adaption während des Betriebes selbsttätig optimiert werden.

Die Schaltfrequenz wird dem Anwendungszweck entsprechend gewählt, wobei eine höhere Frequenz eine Verringerung des Ausgangsspannungsrippels und daher eine geringere Kompensationsspannung (kleinere Leistung, die vom analogen Verstärker aufgebracht werden muß) mit sich bringt und auch in Hinblick auf die Dimensionierung des Ausgangsfilters (Drosseln und Kondensatoren) zweckmäßig ist.

#### Bezugsbezeichnungsaufstellung

40	1	Leistungs-Brückenschaltung
	2	Filter
	3	Modulationseinheit
	4	Kompensationseinrichtung
45	5	Last
	6	Gleichspannungsversorgung, Betriebsgleichspannung
	7	Kompensationsspannungsquelle
	8	Regeleinrichtung
	9	Filternachbildung
50	10	Verzögerungselement
	11	Regler
	12	Abschwächer
	13	Soll-Ist-Vergleich
	$U_{in}$	zu verstärkendes Signal
55	$U_{soll}$	Sollwert
	$U_{Last}$	reduziertes Spannungssignal der Last
	$U_{out}$	Lastspannung

Patentansprüche

1. Regelvorrichtung für einen spannungskompensierten D-Verstärker zur Verstärkung einer analogen Eingangsspannung oder eines digitalen Vorgabewertes, bestehend aus einer Modulationseinheit (3) zur Analog/Digital Wandlung, damit angesteuerten Brückenschaltungen (1), bestehend aus durch mit Hilfe von komplementär, unter Einbeziehung einer kurzen Verriegelungszeit angesteuerten strombidirektionalen Schaltern, das sind eine Antiparallelschaltung eines aktiven Halbleiterschalters wie Bipolartransistor, MOSFET, IGBT, GTO, MCT, SIT(h) mit einem passiven Schalter (Diode), zur Verstärkung des digitalen Signals, wobei die dafür erforderliche Energie einer Gleichspannungsquelle (6) entnommen wird, zwei- (oder mehrstufigem) Filter (2) zur Abschwächung der Schaltfrequenz im verstärkten Digitalsignal und einer in Serie mit der Last (5) liegenden Kompensationseinrichtung (4) **dadurch gekennzeichnet, daß** die Spannung der Kompensationsquelle (7) mit einem Regler (11), der einen differenzierenden Anteil beinhalten kann, so geregelt wird, daß dem Soll-Ist-Vergleich (13) die Spannung an der Last (5)  $U_{out}$  über einen Abschwächer (12) auf den Minuseingang zugeführt wird und das zu verstärkende Signal  $U_{in}$  einer Filternachbildung (9) und einem anschließenden Verzögerungsglied (10) zugeführt wird und dieses so gefilterte und verzögerte Signal als Sollwert  $U_{soll}$  dem Plus-Eingang des Soll-Ist-Vergleichs (13) zugeführt wird.
2. Regelvorrichtung gemäß Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet, daß** sie digital oder gemischt analog-digital implementiert wird.
3. Regelvorrichtung gemäß Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet, daß** ein Signalprozessor verwendet wird.
4. Regelvorrichtung für einen D-Verstärker gemäß Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet, daß** eine selbsttätige Optimierung der Reglerparameter und der Verzögerungszeit mit Hilfe der digitalen Signalverarbeitungseinheit bei der Erstinbetriebnahme mit einer neuen Last bzw. eine adaptive Optimierung im Betrieb durchgeführt wird.
5. Regelvorrichtung gemäß Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet, daß** die Anordnung von Filternachbildung (9) und Verzögerungselement (10) vertauscht ist.
6. Regelvorrichtung gemäß Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet, daß** die digital realisierte Kompensationsspannungsquelle (7) in Form eines weiteren D-Verstärkers oder Schaltnetztes implementiert ist.
7. Regelvorrichtung gemäß Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet, daß** die Einkopplung der Kompensationsspannung  $U_{komp}$  über einen Transformator erfolgt.

Hiezu 2 Blatt Zeichnungen

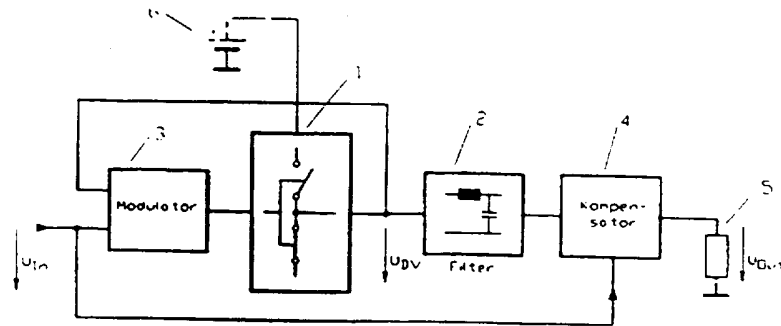


Fig. 1

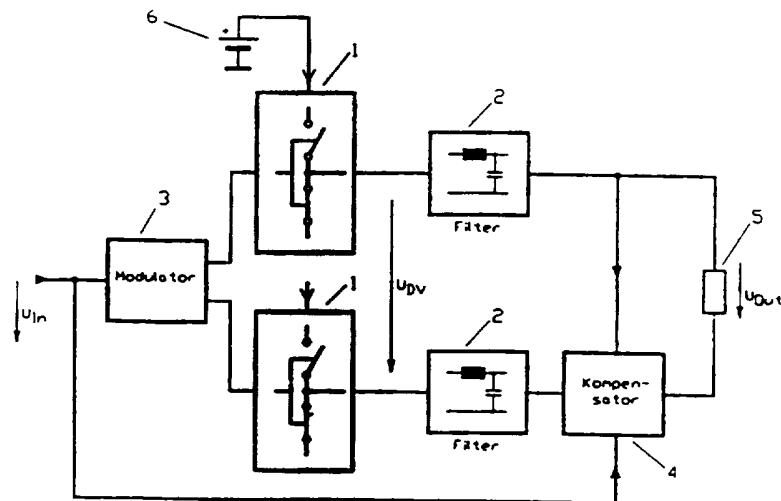


Fig. 2

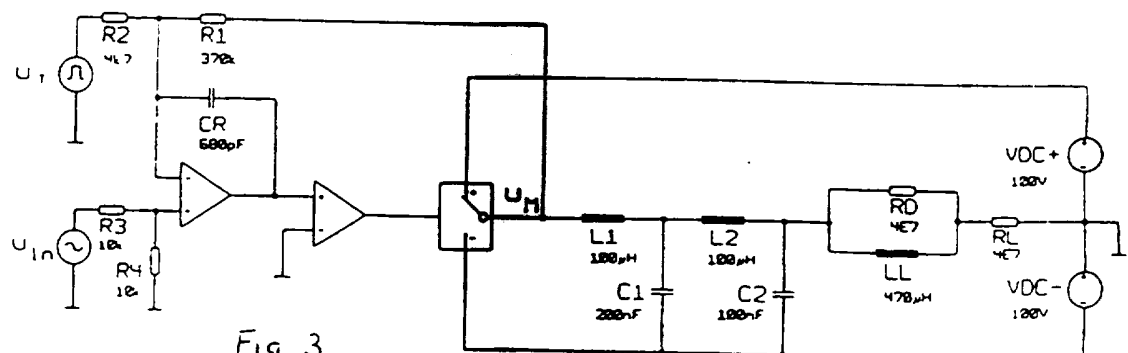


Fig. 3

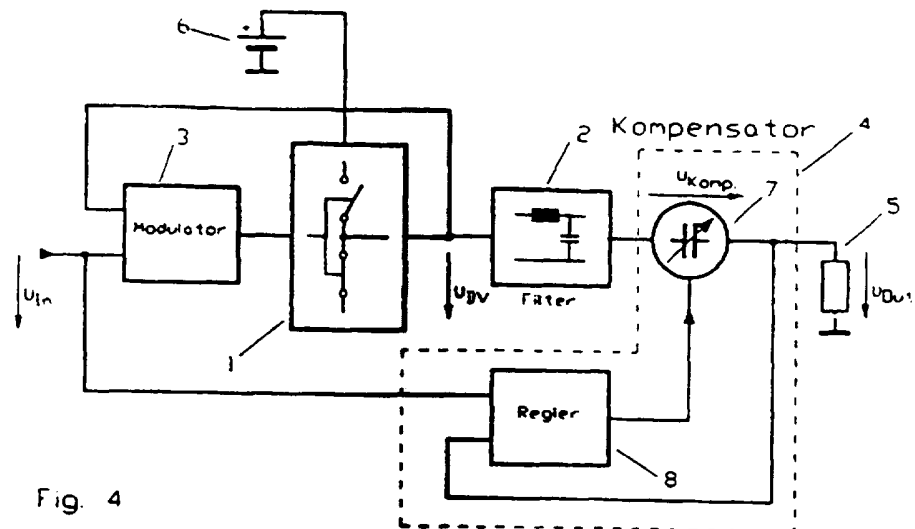


Fig. 4

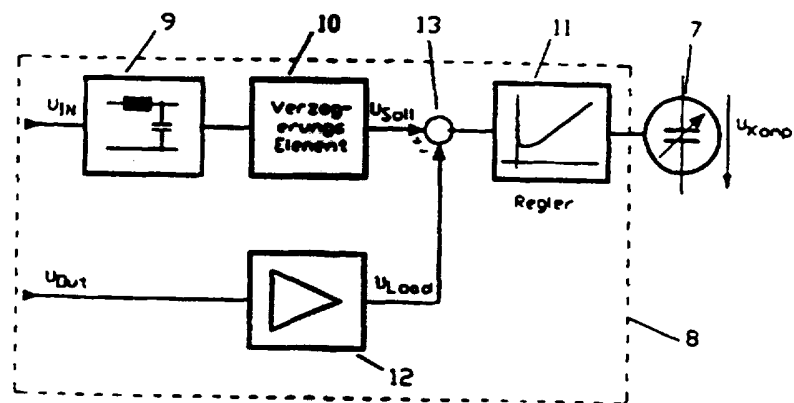


Fig. 5