



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 699 35 731 T2 2007.12.27

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 131 886 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 699 35 731.4

(86) PCT-Aktenzeichen: PCT/US99/26691

(96) Europäisches Aktenzeichen: 99 964 977.5

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 2000/028658

(86) PCT-Anmeldetag: 12.11.1999

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: 18.05.2000

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 12.09.2001

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: 04.04.2007

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 27.12.2007

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: H03F 3/38 (2006.01)

H03F 3/217 (2006.01)

H03F 3/68 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

107948 P 12.11.1998 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LI, LU, MC, NL, PT, SE

(73) Patentinhaber:

Kirn, Larry J., West Bloomfield, Mich., US

(72) Erfinder:

KIRN, Larry J., West Bloomfield, MI 48322, US

(74) Vertreter:

derzeit kein Vertreter bestellt

(54) Bezeichnung: MULTI-REFERENZ-SCHALTVERSTÄRKER HOHER GÜTE

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelebt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung****GEBIET DER ERFINDUNG**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein Schaltverstärker und insbesondere einen Schaltverstärker, der für größere Genauigkeit bei verringerten Kosten eine Vielzahl von referenzunabhängigen Ausgangsstufen in einer Brückenkonfiguration verwendet.

**HINTERGRUND DER ERFINDUNG**

**[0002]** Schaltverstärker beruhen historisch auf dem Prinzip, die Verbindungszeit innerhalb einer feststehenden Stellzeit zwischen einer einpoligen oder zweipoligen Stromversorgungsreferenz und der Last zu modulieren. Die Spannung oder der Strom, die bzw. der für die Last verfügbar ist, ist im wesentlichen die/derjenige der angeschlossenen Stromversorgung, multipliziert mit dem Tastverhältnis (Verhältnis der Einschaltzeit zur Gesamtzeit) der Verbindung. Ein(e) Ausgangsspannung, -strom oder -leistung wird somit durch ein modulierendes Eingangssignal, das nicht weniger als einmal pro Stellzeit aktualisiert wird, proportional gesteuert. Die Stellzeit benutzt normalerweise Bereiche von 1/20 bis 1/2 der Periode der höchsten in Betracht kommenden Frequenz.

**[0003]** Die Ausgangssignale von Schaltverstärkern werden vor dem Anlegen an die Last gefiltert. Dies verringert Überlagerungsprodukte zwischen der modulierenden Quelle und der Stellzeit (Aliasing). Die Verwendung kürzerer Stellzeiten ermöglicht die Verwendung von Ausgangsfiltern niedrigerer Güte, während längere Stellzeiten zwangsläufig steile Filterflanken erfordern. Die Filterkosten fördern daher die Verwendung von kürzeren Stellzeiten.

**[0004]** Im vergangenen Jahrzehnt hat der Dynamikumfang von Quellen zur Verstärkung drastisch zugenommen. Eine typische digitale Audioquelle hat einen Dynamikumfang von 96 dB und eine Bandbreite von 20 kHz. Um ein solches Signal genau zu verstärken, erfordert eine typische Verstärker-Ausgangsstufe dann eine maximale Zeitauflösung von grob einem 65.000ste1 innerhalb einer Steuerfrequenz von 40 kHz, eine Auflösung, die wesentlich kleiner als eine Nanosekunde ist.

**[0005]** [Fig. 1](#) zeigt eine typische Schaltverstärker-Ausgangsstufe in Brückenschaltung nach dem Stand der Technik, die eine einzige Referenz für beide Ausgangstreiber verwendet. [Fig. 2](#) zeigt die Zeitablaufanforderungen der Verstärker-Ausgangsstufe, wobei die Wellenformen 202–205 den (hochpegelaktiven) Ansteuerungssignalen entsprechen, die an die elektrisch gesteuerten Schalter 102–105 in [Fig. 1](#) angelegt werden. Die Stromversorgung 101 ist mit den Schaltern 102 und 104 verbunden, um die für die Last

108 bestimmte Spannung entweder über das Filter 106 oder 107 zu steuern. Der Rückleitungsweg der Stromversorgung 101 ist mit den Schaltern 102 und 105 verbunden, um den Leitungsweg zu vervollständigen.

**[0006]** Die Steuerung der Schalter 102 bis 105 wird durch die Steuerschaltung 109 bewirkt. Die Filter 106 und 107 dienen dazu, Schaltkomponenten aus dem Ausgangssignal zu entfernen. Die Schalter 102 und 103 werden ausschließlich mit einem spezifischen Tastverhältnis aktiviert, während der Schalter 105 aktiviert wird, um eine Polarität über die Filter 106 und 107 an die Last 108 zu übergeben. Alternativ werden die Schalter 104 und 105 ausschließlich mit einem spezifischen Tastverhältnis aktiviert, während der Schalter 103 aktiviert wird, um eine entgegengesetzte Polarität über die Filter 106 und 107 an die Last 108 zu übergeben.

**[0007]** Falls die Ausgangsstufe von [Fig. 1](#) mit einer typischen Rate von 100 kHz betrieben wird, ist ersichtlich, daß die Zeitauflösung zur genauen Verstärkung eines Signals mit einem Dynamikumfang von 96 dB (einem 65.536stel) der Kehrwert von 100 kHz, dividiert durch 65.526, oder 153 Picosekunden ist. Das geht über die Fähigkeiten handelsüblicher Siliziumhalbleiter hinaus. Ein anderer Ansatz wird gezeigt, um Signale mit hoher Bandbreite und hoher Genauigkeit genau zu verstärken, und zwar bei vernünftigen Kosten.

**ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG**

**[0008]** Die vorliegende Erfindung besteht in einem Schaltverstärker, der eine Vielzahl von unabhängigen Ausgangsstufen in einer Brückenkonfiguration einschließt. Grob gesagt, übergibt jede Ausgangsstufe das Produkt aus einem unabhängigen Tastverhältnis und zwei oder mehr statischen oder dynamischen Referenzspannungen, -strömen oder -leistungen an einen einzigen Anschluß einer gemeinsamen Ausgangslast. Die Konfiguration erreicht höhere Genauigkeit bei niedrigeren Kosten als herkömmliche Entwürfe, indem mehrere Referenzen genutzt werden, um eine(n) Ausgangsspannung, -strom oder -leistung mit gelockerten Zeitablaufanforderungen zu erzeugen.

**[0009]** In der bevorzugten Ausführungsform werden eine erste und eine zweite Spannungsreferenz verwendet, wobei die Spannung der ersten Referenz höher als die Spannung der zweiten Referenz ist. Die erste Spannungsreferenz ist um einen Faktor, der eine Potenz von zwei ist, höher als die zweite Spannungsreferenz. Eine Vielzahl von elektrisch gesteuerten Schaltern verbindet die Referenzen mit der Last, und ein Wellenformgenerator steuert die Schalter derartig, daß die erste Spannung für eine Grobsteuerung der für die Last bestimmten Leistung angewen-

det wird und die zweite Spannung für eine Feinsteuering der für die Last bestimmten Leistung angewendet wird. Der Wellenformgenerator verwendet vorzugsweise Pulsecode-Modulation (PCM), wenngleich die Erfindung in dieser Hinsicht nicht eingeschränkt ist und für jede(s) Modulationsprinzip oder Wellenform anwendbar ist, das bzw. die dafür geeignet ist, die elektrisch gesteuerten Schalter der Reihe nach anzusteuern.

**[0010]** Die Last ist vorzugsweise auf jeder Seite mit Filter versehen, und Rückleitungswege für die Stromversorgungen sind durch gesonderte Schalter angelassen, die mit der filterbestückten Last verbunden sind. In einer Ausführungsform, die zwei Referenzen nutzt, weist ein System gemäß der vorliegenden Erfindung vorzugsweise auf ein erstes Paar von elektrisch gesteuerten Schaltern, die verwendet werden, um eine Referenz mit jeder Seite der Last in Reihe zu schalten, ein zweites Paar von elektrisch gesteuerten Schaltern, die verwendet werden, um die andere Referenz mit jeder Seite der Last in Reihe zu schalten, und ein drittes Paar von elektrisch gesteuerten Schaltern, einer auf jeder Seite der Last, für Rückleitungszwecke. Der Wellenformgenerator weist in diesem Fall genügend Ausgänge auf, um gegebenenfalls jeden Schalter zu steuern.

#### KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0011]** [Fig. 1](#) zeigt eine typische Schaltverstärker-Ausgangsstufe in Brückenschaltung, die eine einzige Referenz für beide Ausgangstreiber verwendet;

**[0012]** [Fig. 2](#) zeigt die Zeitablaufanforderungen einer typischen Schaltverstärker-Ausgangsstufe in Brückenschaltung;

**[0013]** [Fig. 3](#) zeigt eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung mit zwei dynamischen Referenzen pro Ausgangstreiber; und

**[0014]** [Fig. 4](#) zeigt die Zeitablaufanforderungen der in [Fig. 3](#) dargestellten bevorzugten Ausführungsform.

#### AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

**[0015]** Die vorliegende Erfindung besteht allgemein ausgedrückt in einem Schaltverstärker, der zwei unabhängige Ausgangsstufen in einer Brückkonfiguration einschließt. Jede Ausgangsstufe übergibt das Produkt aus einem unabhängigen Tastverhältnis und zwei oder mehr statischen oder dynamischen Referenzspannungen, -strömen oder -leistungen an einen einzigen Anschluß einer gemeinsamen Ausgangslast. Die Konfiguration erreicht höhere Genauigkeit bei niedrigeren Kosten als herkömmliche Entwürfe,

indem mehrere Referenzen genutzt werden, um eine(n) Ausgangsspannung, -strom oder -leistung mit gelockerten Zeitablaufanforderungen zu erzeugen.

**[0016]** Zur Einführung sei gesagt, daß die Last in einer Brückkonfiguration über zwei (oder mehr) unabhängige Schaltverstärker-Ausgangsstufen angelassen wird, um dadurch die Differenz ihrer Ausgangssignale zu empfangen, das heißt die Differenz zwischen zwei Produkten aus unabhängiger Referenz und Tastverhältnis. Was bestehende Schaltverstärker betrifft, bei denen das unabhängige Tastverhältnis einer einzigen Referenz für jede Ausgangsstufe der Brücke verwendet wird, beeinflussen Beschränkungen der Zeitauflösung die Modulation auf niedriger Ebene.

**[0017]** Insofern, als jede Ausgangsstufe ein Produkt ergibt, ist ersichtlich, daß die Verringerung einer Referenz zwangsläufig eine Erhöhung des Tastverhältnisses erfordert, um das gleiche Ausgangssignal beizubehalten. Es ist auch ersichtlich, daß die Verringerung einer Referenz um irgendeinen Faktor ohne entsprechende Erhöhung des Tastverhältnisses das Ausgangssignal dieser Stufe um diesen Faktor verringert.

**[0018]** Insofern, als das endgültige für die Last bestimmte Ausgangssignal einer Brückkonfiguration ein Differenzsignal ist, ist ersichtlich, daß die beiden Ausgangsstufen nicht den gleichen Wichtungsfaktor oder das gleiche Produkt aus Referenz und Tastverhältnis ergeben müssen. Grobinformation von einer hohen Referenz kann in der Last mit Feininformation von einer niedrigeren Referenz summiert werden. Die Trennung von Grob- und Feininformation in einem digitalen Datenstrom ist einfach eine Frage der Bitfeldauswahl. Analoge Trennung ist unter Verwendung von Differenzierern möglich.

**[0019]** Um einen breiten Dynamikumfang zu ermöglichen, kann jede Referenz ihrerseits dynamisch sein. Anforderungen an die Verstärkungsauflösung sind häufig eine Funktion des Strompegels und nicht etwa absolut feststehend. Durch die Verwendung von dynamischen Referenzen kann die Auflösung dem PEG folgen. Zum Beispiel kann mit dynamischen Referenzen die an die Last angelegte Energie entsprechend dem Momentanwert des Eingangssignals variiert werden, wie im US-Patent Nr. 5 610 553 beschrieben, dessen Inhalt in vollem Umfang durch Bezugnahme hierin aufgenommen wird.

**[0020]** Durch Verwendung unabhängiger Referenzen und Steuer-Tastverhältnisse für eine einzige Last ist es daher möglich, die Anforderungen an die Zeitauflösung gegenüber denen einer einzigen Schaltverstärker-Ausgangsstufe zu verändern. Man beachte, daß jegliche Änderungen der Referenz passend zu den jeweils verfügbaren Momentanpegeln ge-

macht werden, um den Dynamikumfang zu erhöhen, und nicht nur vorgenommen werden, um eine Ausgangsdämpfung zu bewirken.

**[0021]** [Fig. 3](#) ist eine grafische Darstellung, die eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung darstellt, die zwei dynamische Referenzen pro Ausgangstreiber einschließt. [Fig. 4](#) zeigt Zeitablauf-Wellenformen, die dem System zugeordnet sind. Eine erste Referenz  $V_{R1}$  ist mit den Schaltern **207** und **210** verbunden, um der Last **218** über die Filter auf jeder Seite der Last, welche die in der grafischen Darstellung gezeigten Kondensatoren und Spulen nutzen, Energie bereitzustellen. Eine zweite Referenz  $V_{R2}$  führt der Last **218** über die Filter auf jeder Seite der Last und unter Steuerung der Schalter **208** und **211** Energie zu. Rückleitungswägen für die Stromversorgungen verlaufen über die Schalter **209** und **212**. Die Steuerung der Schalter wird durch eine Steuerschaltung **220** ausgeführt, für welche die Zeitablaufdiagramme in [Fig. 4](#) gezeigt sind. Die Schalter können unter Verwendung handelsüblicher MOSFETs oder jeglicher anderen geeigneten Vorrichtung implementiert werden.

**[0022]** Die Referenz  $V_{R1}$  ist vorzugsweise um einen Faktor, der eine Potenz von zwei ist, höher als  $V_{R2}$ , um die direkte Entnahme des Bitfelds für die Grob/Feinsteuierung zu ermöglichen. Abhängig von der Ausgangspolarität sind die gleichzeitig gesteuerten Schalterpaare entweder 201/208 (grob) mit 208/209 (fein) oder 210/211 (grob) mit 212/211 (fein). Eine Steuerung auf diese Art und Weise macht aus  $V_{R2}$  eine „Pseudo-Masse“, wobei Stromziehen und Stromliefern auf gegenüberliegenden Seiten erfolgt. Momentandifferenzen der Tastverhältnisse werden durch die Last insofern nicht bemerkt, als sie wesentlich höhere Frequenzen haben als das Ausgangsfilter zuläßt.

**[0023]** Die Signale **401–406** widerspiegeln die durch die Knoten **201–206** bereitgestellten Steuersignale. Die Modulation beginnt mit der Verringerung der Grob- und Feinwerte, kehrt dann das Vorzeichen um zu einer Grob-Erhöhung mit Fein-Verringung, gefolgt von einer Grob-Verringung mit Fein-Erhöhung. Man beachte, daß die Zähler-(Aktiv-)Signale so dargestellt sind, daß sie vor ihren Komplementsignalen aktiviert werden. Dies geschieht der Einfachheit halber, um die Umkehrung der Bitbedeutung über das Differential zu zeigen (eine „eins“ bedeutet stromliefernd auf einer Seite, aber stromziehend auf der anderen Seite).

**[0024]** Falls die Ausgangsstufe des eben beschriebenen Verstärkers zum Beispiel mit einer Rate von 100 kHz betrieben wird, kann die Zeitauflösung des Tastverhältnisses, das erforderlich ist, um ein Signal mit einem Dynamikumfang von 96 kHz genau zu verstärken, durch den Kehrwert von 100 kHz, dividiert

durch 65.536 und multipliziert mit 50, abgeleitet werden, was 8 Nanosekunden ergibt (angenommen, daß die Referenzen das gleiche Verhältnis von 50:1 aufweisen). Das liegt sehr wohl innerhalb der Fähigkeiten handelsüblicher Halbleiterbauelemente.

## Patentansprüche

1. Schaltverstärker, umfassend:  
eine gefilterte Last (**218**);  
eine erste und eine zweite Spannungsreferenz (**220**, **219**) der gleichen Polarität, wobei die Spannung der ersten Referenz höher als die Spannung der zweiten Referenz ist;  
ein erstes Paar elektrisch gesteuerter Schalter (**207**, **210**), wobei einer mit jeder Seite der gefilterten Last in Reihe geschaltet ist, während die andere Seite jedes Schalters mit der ersten Spannungsreferenz (**220**) verbunden ist;  
ein zweites Paar elektrisch gesteuerter Schalter (**208**, **211**), wobei einer mit jeder Seite der gefilterten Last in Reihe geschaltet ist, während die andere Seite jedes Schalters mit der zweiten Spannungsreferenz (**219**) verbunden ist;  
ein drittes Paar elektrisch gesteuerter Schalter (**209**, **212**), wobei einer mit jeder Seite der gefilterten Last in Reihe geschaltet ist, während die andere Seite jedes Schalters einen Weg zur Masse bildet;  
einen Wellenformgenerator, der jeden Schalter entlang von Wegen (**201**, **202**, **203**, **204**, **205**, **206**) in Übereinstimmung mit einem pulscodemodulierten Eingangssignal derartig steuert, dass die erste Referenz (**220**) für eine Grobsteuerung der für die Last bestimmten Leistung angewendet wird und die zweite Referenz (**219**) für eine Feinsteuierung der für die Last bestimmten Leistung angewendet wird, und zwar als Funktion des modulierten Eingangssignals.

2. Schaltverstärker nach Anspruch 1, wobei das Eingangssignal ein Audiosignal ist.

3. Schaltverstärker nach Anspruch 1, wobei die Referenzen statisch sind.

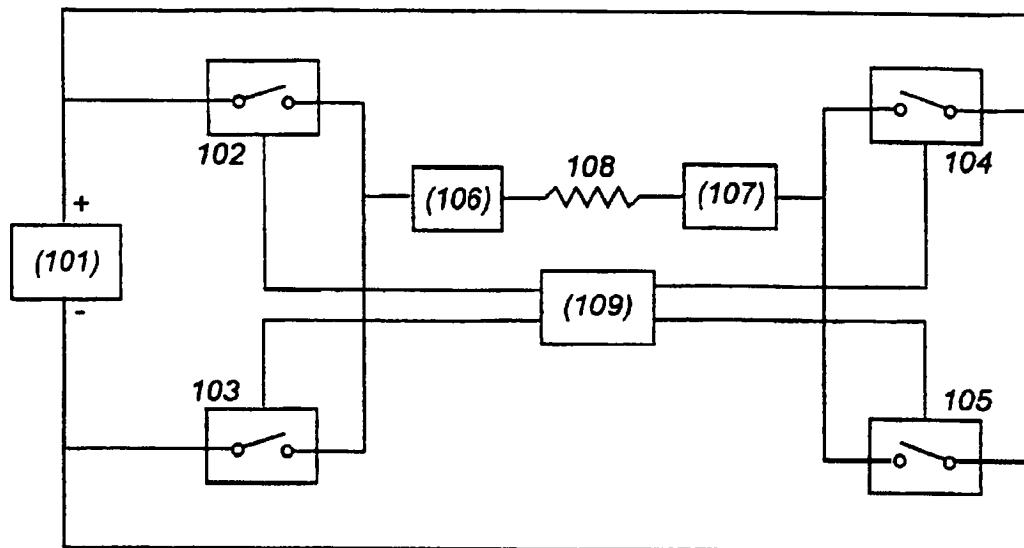
4. Schaltverstärker nach Anspruch 1, wobei die Referenzen dynamisch sind.

5. Schaltverstärker nach Anspruch 1, wobei die erste Spannungsreferenz um einen Faktor, der eine Potenz von zwei ist, höher als die zweite Spannungsreferenz ist.

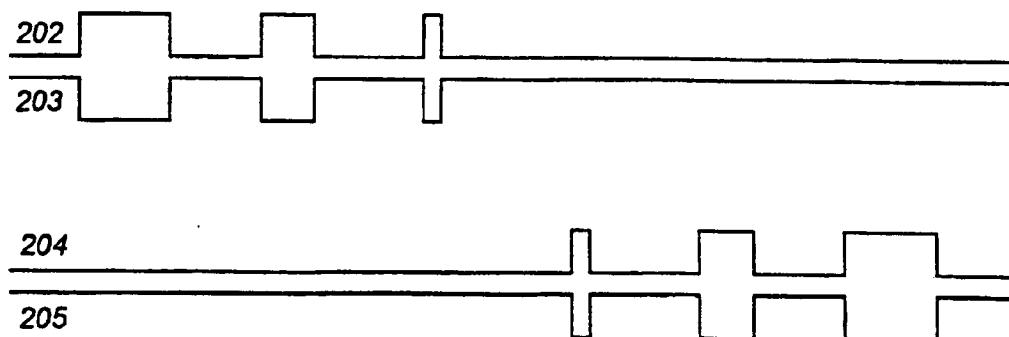
6. Schaltverstärker nach Anspruch 1, ferner mit einem elektrisch gesteuerten Schalter, der auf jeder Seite der Last in Reihe zur Masse geschaltet ist.

7. Schaltverstärker nach Anspruch 1, wobei sowohl die erste als auch die zweite Spannungsreferenz (**220**, **219**) positive Spannungsreferenzen sind.

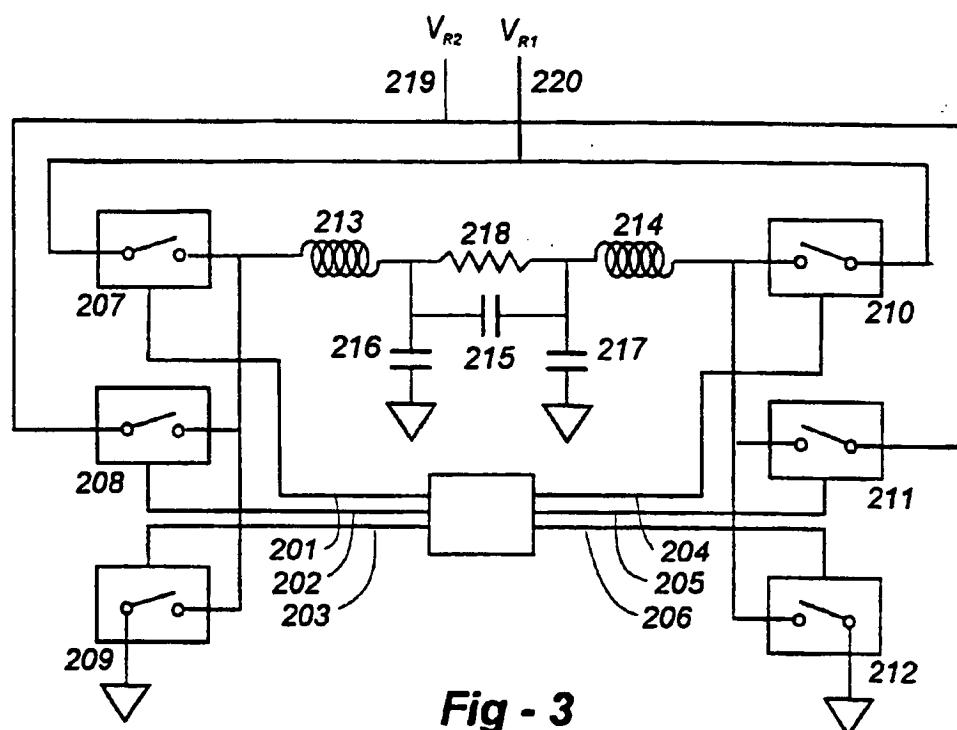
Es folgen 2 Blatt Zeichnungen



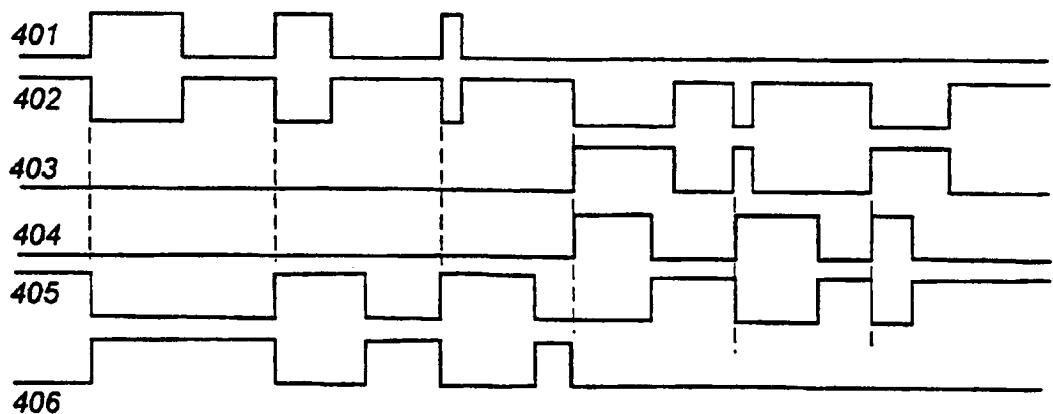
## *Fig - 1* (Stand der Technik)



## ***Fig - 2*** (Stand der Technik)



*Fig - 3*



*Fig - 4*