(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 697 27 785 T2** 2004.12.02

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 851 578 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **697 27 785.2**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **97 121 978.7**
(96) Europäischer Anmeldetag: **12.12.1997**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **01.07.1998**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **25.02.2004**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **02.12.2004**

(51) Int Cl.[7]: **H03H 11/04**

(30) Unionspriorität:
33563696 16.12.1996 JP

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB

(73) Patentinhaber:
Kabushiki Kaisha Toshiba, Kawasaki, Kanagawa, JP

(74) Vertreter:
Henkel, Feiler & Hänzel, 81675 München

(72) Erfinder:
Yamamoto, Takeshi, 1-1 Shibaura 1-chome, Tokyo 105, JP

(54) Bezeichnung: **Filterschaltung**

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 eingelegt, 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

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine Filterschaltung, die als eine Grundschaltung verwendet wird, wenn Analogsignale in einer integrierten MOS-Schaltung (MOS-IC) verarbeitet werden.

[0002] In den letzten Jahren machen CMOS-Integratoren für die digitale Signalverarbeitung aufgrund des Anstiegs bei digitalen Vorrichtungen und Fortschritten bei der digitalen Signalverarbeitungstechnologie einen großen Teil des Halbleitermarkts aus.

[0003] Da Video- und Audiosignale jedoch einen analogen Eingang/Ausgang aufweisen, können sie leichter durch analoge Verarbeitung verarbeitet werden. Sogar wenn Video- und Audiosignale digital verarbeitet werden, sind Analogschaltungen für A/D- und D/A-Wandlung und Filterung erforderlich, die vor oder nach der Umwandlung und in einem Takt erzeugenden Oszillator o. dgl. durchgeführt werden. Herkömmlicherweise wurde Bipolartechnologie als für Analogschaltungen geeignet angesehen, wohingegen CMOS-Technologie mit Ausnahme einiger Schaltungen, wie beispielsweise Analogschaltern, Probenhaltern o. dgl., als ungeeignet angesehen wird.

[0004] Die Bipolar- und BiCMOS-Verarbeitung sind jedoch ziemlich kostspielig, und mit Blick auf die starke Nachfrage nach einer 1-Chip-CMOS-Struktur, die eine digital/analog Konsolidierung erreicht, gab es einen Anstieg bei der Entwicklung von Schaltungen zur Verarbeitung von Analogsignalen mit einer CMOS-Schaltungsanordnung.

[0005] Die Analogsignalverarbeitung verwirklicht eine wichtige Funktion, die als ein "aktives Filter" bekannt ist, die oft angewendet wird und einen erheblichen Einfluss auf die Gesamtleistung ausübt. Herkömmlicherweise waren zeitdiskrete Verarbeitungsfilter, wie beispielsweise geschaltete Kapazitätsfilter (SCF = switched capacity filters) oder Probendatenfilter die hauptsächlichen aktiven Filter, die bei der CMOS-Analogtechnologie verwendet wurden. Obwohl diese Filter den Vorteil einer hohen Genauigkeit, da die Frequenzen genau gemäß einem Takt festgelegt werden, und einer niedrigen Empfindlichkeit gegen Kondensatorvariationen aufweisen, die während der Herstellung verursacht werden, weisen diese Filter die folgenden Nachteile auf:

1. Zeitkontinuierliche Filter sind vorher und nachher aufgrund der Existenz von "aliasing" ("Signalverfälschung") erforderlich.
2. Da ein Frequenzband, das mehrere Male größer als die für einen Operationsverstärker verwendete Frequenz ist, und eine Abtast-Halte-Schaltung (S/H-Schaltung) erforderlich sind, kann das Filter nicht für Frequenzen verwendet werden, die höher als das Videoband sind.
3. Die Abmessungen der Schaltung sind groß und daher nicht wirtschaftlich. Daher ist es nicht möglich, ein einfaches und kostengünstiges Filter herzustellen, das bei hohen Frequenzen verwendet werden kann. Dieses Problem kann nicht ohne weiteres gelöst werden, da es sich direkt aus der Tatsache herleitet, dass das Filter ein zeitdiskretes Filter ist. Neuerdings sind Versuche im Gange, ein zeitkontinuierliches CMOS-Filter mit hoher Leistung zu entwickeln. Das populärste zeitkontinuierliche Filter ist eine "Biquad-Schaltung", die zwei Integratoren aufweist, die jeweils eine Transkonduktorschaltung (Gm-Schaltung) und einen Kondensator enthalten, wobei ein Filter zweiter Ordnung mehrfachstufig geschaltet ist, um gewünschte Filterungseigenschaften zu erhalten. Bei einer bipolaren Technologie wird die Kennlinie des Transkonduktors (Spannung-Strom-Umwandlungscharakteristik) mittels eines Widerstands und einer "Gain-Zellenstruktur von Transistoren" linearisiert. Wenn das obige Verfahren bei CMOS verwendet wird, sind jedoch, da das Element Gm (Transkonduktanz) klein ist, viele Elemente von enormer Größe erforderlich, was extrem unwirtschaftlich ist. Die Transkonduktanz-Eigenschaften werden daher durch Durchführen einer Spannung-Strom-Wandlung mit einem Differential-Transistorpaar durchgeführt, das direkt mit der Source gekoppelt ist.

[0006] Bei einem MOS-Transistor ist jedoch die Beziehung der Gate-Source-Spannung zum Drain-Strom quadratisch und die Integrationseigenschaft des Kondensatorstroms als Funktion der Spannung linear, wobei eine einfache Ausgabe des Integrators eine Störung zweiter Ordnung aufweist. Es ist daher notwendig, die Störung zweiter Ordnung mittels vollständiger Differential-Eingangs- und -Ausgangssignale aufzuheben. Bei einer derartigen vollständigen Differentialverarbeitung muss, da die ausgegebene Gleichspannung gewöhnlicherweise nicht bestimmt werden kann, eine Bias-Schaltung hinzugefügt werden, um den Gleichstrombetriebspunkt zu ermitteln. Im allgemeinen wird daher die ausgegebene Gleichspannung erfasst und eine Gleichstromrückkopplungstechnik auf den Bias des Transkonduktoreingangs angewendet. Dieses Verfahren wird Gleichstromrückkopplung (oder Gleichtaktrückkopplung o. dgl.) genannt.

[0007] **Fig.** 6 zeigt ein herkömmliches Beispiel dieser Art einer mit Gleichstromrückkopplung versehenen voll-

ständig biquadratischen Differentialschaltung. Diese Schaltung ist aus Integratoren in zwei Stufen aufgebaut, wobei jede Stufe aus zwei Transkonduktoren, die ein gemeinsames Ausgangsterminal nutzen, und einem Kondensator besteht, der mit dem Ausgangsterminal verbunden ist. Die unteren Transkonduktoren Gm1+ und Gm2+ entsprechen dem +Eingang bei einer Einzelkonfiguration; die oberen Transkonduktoren Gm1- und Gm2– entsprechen dem -Eingang (Rückkopplungseingang) bei einer Einzelkonfiguration.

[0008] Zweistufige Integratoren sind wie oben kaskadenartig verbunden, um ein Tiefpassfilter o. dgl. zu bilden. Die ausgegebene Gleichspannung wird auf eine vorbestimmte Spannung durch Überwachen des Ausgangs von der Gleichstromrückkopplungen 1 und 2 an jedem Integrator und Steuern des Bias-Stroms des Ausgangsterminals bei jeder Stufe gesteuert. Zusätzlich zu einem LPF können weitere Filterarten, wie beispielsweise BPF und HPF, durch Modifizieren der Signaleingangsposition und Ausgangssignal-Extrahierungsposition erzeugt werden.

[0009] **Fig.** 7 zeigt ein konkretes Beispiel von Integratoren in den Stufen, die das Filter in **Fig.** 6 bilden, die mittels CMOS-Schaltungsanordnung verwirklicht werden. Ein Paar von Source-gekoppelten Differential-Transkonduktoren wird verwendet, um die Transkonduktanz zu erzeugen. Die M1, M2 und I1 umfassende Differentialschaltung entspricht dem Transkonduktor Gm1+ oder Gm2+; die M3, M4 und I2 umfassende Differentialschaltung entspricht dem Transkonduktor Gm1– oder Gm2–. Die Stromausgänge werden an dem Ausgangspunkt summiert. Die Ausgabe wird differentiell durch Vorspannung mit zwei Stromversorgungen I3, I4 extrahiert, die sich bei GND verbinden. Mit Bezug auf Differentialeingangs-Bias-Ströme I1 und I2 müssen diese Stromversorgungen I3, I4 jeweils genau (I1 + I2)/2 sein. Auch wenn diese Beziehung nur geringfügig gestört wird, bewirkt dies, da die Gleichstromimpedanz des Ausgangsterminals von jeder Stufe extrem hoch ist, dass das Ungleichgewicht zwischen den oberen und unteren Stromversorgungen die Ausgangsgleichspannung stark stört, was zu Instabilität führt.

[0010] Die "Gleichstromrückkopplung" ist eine Schaltung, die ausgestaltet ist, um diesem Problem entgegenzuwirken, wobei Stabilität durch Festlegen des Ausgangsgleichstrompotentials auf eine bestimmte Spannung gewährleistet wird. Eines der Widerstandsterminals ist mit dem Ausgangsterminal in **Fig.** 7 verbunden. Das andere Terminal ist nun miteinander verbunden und wird von dem Operationsverstärker mit der beabsichtigten Spannung Vref verglichen. Wenn alle Ausgangssignale vollständig differential sind und die beiden Widerstände gleiche Werte aufweisen, kann das Gleichstrompotential des Ausgangssignals von dem Mittelpunkt extrahiert und mit Vref verglichen werden. Wenn das Gleichstrompotential höher als Vref ist, wird der Strom von der Stromversorgung erhöht und die Gleichtaktspannung des Ausgangs abgesenkt. Umgekehrt wird, wenn das Gleichstrompotential niedriger als Vref ist, der Strom von der Stromversorgung verringert, was die Gleichtaktspannung des Ausgangs anhebt.

[0011] Somit wird der Strom gesteuert, so dass die Gleichtaktspannung des Ausgangssignals gleich Vref ist. Die Schaltung wird dann vorgespannt, so dass die Gleichspannungen der Differentialausgänge bei jeder Stufe des Filters gleich Vref sind, wobei es jedoch wahrscheinlich ist, dass die Anzahl von Schaltungselementen ansteigt. Nicht nur der Operationsverstärker selbst erfordert eine beträchtliche Anzahl von Elementen, sondern eine Pufferschaltung und dgl. muss bereitgestellt werden, wie es in dem Diagramm gezeigt ist, um zu verhindern, dass die Widerstände, die die Mittelpunktspannung erfassen, die Ausgangsterminals des Hochimpedanzintegrators beeinflussen. Außerdem ist eine Gleichstromkopplungsschaltung für jeden Integrator erforderlich, wodurch eingroßer Anteil der Gesamtfläche des Filters in Anspruch genommen wird.

[0012] Bei der in **Fig.** 7 gezeigten Schaltung umfasst der wesentliche Teil des Integrators innerhalb der gestrichelten Linie auf der linken Seite 4 MOS-Transistoren, 4 Stromversorgungen und einen Kondensator, womit ungefähr 10 bis 15 Elemente erforderlich sind. Im Gegensatz dazu erfordert eine Gleichstrom-Rückkopplungsschaltung zum Einstellen der Vorspannung nicht weniger als 20 bis 30 Elemente, wodurch zwei Drittel der Fläche in Anspruch genommen wird. Es folgt, dass, da das Filter einfach durch Zusammenbauen dieser Elemente gebildet wird, die Gleichstrom-Rückkopplungsschaltung ungefähr zwei Drittel des Gesamtfilterbereichs in Anspruch nimmt. Dieser Bedarf für eine Gleichstrom-Rückkopplung hat zu erhöhten Kosten für vollständige Differentialfilter geführt und war ebenfalls ein Hindernis für das Erzeugen eines kostengünstigen Filters.

[0013] Steyaert M. u. a.: "A 10.7 MHz CMOS OTA-R-C bandpass filter with 68 dB dynamic range and on-chip automatic tuning", IEEE International Solid State Circuits Conference, New York, Band 35, 1. Februar 1992, Seiten 66–67 und 245 offenbart eine Filterschaltung mit einem ersten Schaltungsblock, der einen ersten Differentialspannungseingang, einen zweiten Schaltungsblock mit einer zweiten Differentialspannung und einem Differentialspannungsausgang aufweist, wobei beide Schaltungsblöcke innerhalb einer Schleife verbunden sind. Ein Kondensator ist mit dem Differentialstromausgang verbunden. Die Schaltungsblöcke dieses Doku-

ments sind gewöhnliche Differentialverstärker, die die in die Eingangsenden eingegebene Gleichtaktspannung zurückweisen.

[0014] Eine Aufgabe der Erfindung besteht darin, eine vollständige Differentialfilterschaltung bereitzustellen, die keine Gleichstrom-Rückkopplungsschaltung erfordert.

[0015] Erfindungsgemäß wird die obige Aufgabe durch eine Filterschaltung gemäß Anspruch 1 erreicht. Die abhängigen Ansprüche beziehen sich auf weitere vorteilhafte Aspekte der Erfindung.

[0016] Ein Aspekt der Erfindung besteht darin, eine Filterschaltung bereitzustellen, mit einem ersten Schaltungsblock, der einen ersten Differentialspannungseingang und einen Differentialspannungsausgang aufweist, und wobei eine Gleichtaktspannung des ersten Differentialspannungseingangs an dem Ausgang invertiert wird, und mit einem zweiten Schaltungsblock, der einen zweiten Differentialspannungseingang und einen Differentialspannungsausgang aufweist, und wobei eine Gleichtaktspannung des zweiten Differentialspannungseingangs an dem Ausgang invertiert wird, wobei die ersten und zweiten Schaltungsblöcke eines der Bauelemente einer Rückkopplungsschleife bilden, wobei eine Gesamtzahl der mit den ersten und zweiten Schaltungsblöcken gebildeten Bauelemente ungeradzahlig einschließlich eins ist, und wobei ein Kondensator mit dem Differentialstromausgang verbunden ist.

[0017] Bei der Filterschaltung werden mehrere Elemente, nämlich mindestens der Transkonduktor und der Kondensator und die Stromversorgung verwendet, und eine gegebene Kombination dieser Elmente wird gegenseitig verbunden. Das Bauelement ist nicht auf den ersten Schaltungsblock und den zweiten Schaltungsblock begrenzt. Typischerweise wird der Transkonduktor als Operations-Transkonduktanz-Verstärker (OTA = Operational Transconductance Amplifier) bezeichnet. In der Spezifikation bedeutet der Begriff "Eingang" "ein Paar von Eingangsterminals" und der Begriff "Ausgang" "ein Paar von Ausgangsterminals".

[0018] Gemäß dem ersten Aspekt der Filterschaltung ist der erste Schaltungsblock ein Transkonduktor, der eine bestimmte Transkonduktanz für den ersten Differentialspannungseingang und einen hohen negativen Gain für die Gleichtaktspannung des ersten Differentialspannungseingangs aufweist, und der zweite Schaltungsblock ein Verstärker, der einen bestimmten Gain für den zweiten Differentialspannungseingang und einen negativen Gain auf dem gleichen Pegel wie der bestimmte Gain für die Gleichtaktspannung des zweiten Differentialspannungseingangs aufweist.

[0019] Weiterhin umfasst gemäß der obigen Filterschaltung der Transkonduktor ein Paar von ersten Feldeffekttransistoren, verbindet ein Paar von Source-Anschlüssen der ersten Transistoren mit einem gemeinsamen Terminal mit fester Spannung; wobei ein Paar von Gates der ersten Transistoren als Eingangsterminals des Transkonduktors verwendet werden; ein Paar von Drains der ersten Transistoren mit einer Stromquelle verbunden und als Ausgangsterminals verwendet werden; und der Verstärker zwei Paare von zweiten Feldeffekttransistoren umfasst, die ein Paar von zweiten Transistoren auf der Eingangsseite und ein Paar von zweiten Transistoren auf der Ausgangsseite aufweisen; wobei ein Paar von Source-Anschlüssen der zweiten Transistoren der Eingangsseite mit dem gemeinsamen Terminal mit fester Spannung verbunden sind; ein Paar von Gates der zweiten Transistoren der Eingangsseite als Eingangsterminals verwendet sind; ein Paar von Drains der zweiten Transistoren der Eingangsseite jeweils mit einem Paar von Sources der zweiten Transistoren der Ausgangsseite verbunden sind; und ein Paar von Gates und ein Paar von Drains der zweiten Transistoren der Ausgangsseite mit mindestens einem gemeinsamen Terminal mit fester Spannung verbunden sind.

[0020] Weiterhin wird gemäß der obigen Filterschaltung eine Filterfrequenzeigenschaft durch Steuern aller Stromquellen proportional eingestellt, wobei ihr gemeinsames Stromverhältnis konstant ist.

[0021] Ein zweiter Aspekt der Erfindung besteht darin, eine Filterschaltung bereitzustellen, mit einem Transkonduktor, der einen ersten Differentialspannungseingang und einem Differentialstromausgang aufweist, der eine bestimmte Transkonduktanz für den ersten Differentialspannungseingang und einen hohen negativen Gain für eine Gleichtaktspannung des ersten Differentialspannungseingangs aufweist, mit einem Verstärker, der einen zweiten Differentialspannungseingang und einen Differentialspannungsausgang aufweist, der einen bestimmten Gain für den zweiten Differentialspannungseingang und einen negativen Gain auf dem gleichen Pegel wie der bestimmte Gain für die Gleichtaktspannung des zweiten Differentialspannungseingangs aufweist, mit einer Stromquelle, die mit dem ersten Differentialspannungsausgang des Transkonduktors verbunden ist, und mit einem Kondensator, der mit dem ersten Differentialspannungsausgang des Transkonduktors verbunden ist, wobei der Transkonduktor und der Verstärker eine Rückkopplungsschleife bilden, die eine Schleife aus Paaren von Knoten, Eingangs- und Ausgangsterminals des Transkonduktors oder des Verstär-

kers und des Paars von Knoten macht, und wobei eine Gesamtzahl aus Transkonduktor und des Verstärker, die durch die Rückkopplungsschleife laufen, ungeradzahlig einschließlich eins ist.

[0022] Gemäß dem zweiten Aspekt der Filterschaltung existieren ein Transkonduktor und eine gerade Anzahl der Verstärker in der Rückkopplungsschleife.

[0023] Ferner existieren gemäß dem zweiten Aspekt der Filterschaltung zwei Transkonduktoren und eine ungeradzahlige Anzahl Verstärker in der Rückkopplungsschleife.

[0024] Alternativ können drei Kondensatoren mit den beiden Transkonduktoren verbunden sein; einer der drei Kondensatoren kann mit dem Differentialstromausgang einer der Transkonduktoren verbunden sein, und zwei der drei Kondensatoren können zwischen dem Terminal mit fester Spannung und dem Differentialstromausgang der Transkonduktoren verbunden sein.

[0025] Ein dritter Aspekt der Erfindung besteht darin, eine Filterschaltung bereitzustellen, mit ersten, zweiten, dritten und vierten Transkonduktoren, die jeweils einen Differentialspannungseingang und einen Differentialstromausgang aufweisen, die jeweils eine bestimmte Transkonduktanz für den Differentialspannungseingang und jeweils einen hohen negativen Gain für eine Gleichtaktspannung des Differentialspannungseingangs aufweisen, und mit einem Verstärker mit einem Differentialspannungseingang und einem Differentialspannungsaingang, der einen bestimmten Gain für den Differentialspannungseingang und mit einen negativen Gain auf dem gleichen Pegel wie dem bestimmten Gain für die Gleichtaktspannung des Differentialspannungseingangs aufweist, wobei der Differentialstromausgang des ersten Transkonduktors mit dem Differentialstromausgang des zweiten Transkonduktors über ein erstes Paar von Knoten verbunden ist; die Knoten mit dem Differentialspannungseingang des Verstärkers verbunden sind, und jeder Knoten mit einem Kondensator und einer Stromquelle verbunden ist, wobei der Differentialstromausgang des dritten Transkonduktors mit dem Differentialstromausgang des vierten Transkonduktors über ein zweites Paar von Knoten verbunden ist; jeder Knoten mit einem Kondensator und einer Stromquelle verbunden ist, und die Knoten mit den Differentialspannungseingängen der zweiten und der vierten Transkonduktoren verbunden sind, wobei die Differentialstromausgänge der dritten und vierten Transkonduktoren invertiert sind, wobei der Differentialspannungsausgang des Verstärkers mit dem Differentialspannungseingang des dritten Transkonduktors verbunden ist, und wobei der Differentialspannungseingang des ersten Transkonduktors als ein Filtereingang verwendet wird.

[0026] Alternativ kann der Differentialspannungseingang des Verstärkers mit dem Differentialspannungseingang des vierten Transkonduktors, der Differentialspannungsausgang des Verstärkers mit der Differentialeingangsspannung des zweiten Transkonduktors und der Differentialstromausgang des ersten Transkonduktors mit der Differentialeingangsspannung des dritten Transkonduktors verbunden sein.

[0027] Ein vierter Aspekt der Erfindung besteht darin, eine Filterschaltung bereitzustellen, mit ersten, zweiten und dritten Transkonduktoren, die jeweils einen Differentialspannungseingang und einen Differentialstromausgang aufweisen, die jeweils eine bestimmte Transkonduktanz für den Differentialspannungseingang und jeweils einen hohen negativen Gain für eine Gleichtaktspannung des Differentialspannungseingangs aufweisen, und mit einem Verstärker, der einen Differentialspannungseingang und einen Differentialspannungsausgang umfasst, der einen bestimmten Gain für den Differentialspannungseingang und einen negativen Gain auf dem gleichen Pegel wie die bestimmte Verstärkung für die Gleichtaktspannung des Differentialspannungseingang aufweist, wobei der Differentialstromausgang des ersten Trans konduktors mit einem Paar von Kondensatoren und einem ersten Paar von Stromquellen über ein erstes Paar von Knoten verbunden ist, wobei die Knoten mit dem Differentialspannungseingang des Verstärkers verbunden sind, der Differentialstromausgang des zweiten Transkonduktors mit dem Differentialstromausgang des dritten Transkonduktors über ein zweites Paar von Knoten verbunden ist; die Knoten mit den Differentialspannungseingängen der ersten und der dritten Transkonduktoren verbunden sind, wobei die Differentialstromausgänge der zweiten und dritten Transkonduktoren invertiert sind, ein Kondensator zwischen dem zweiten Paar von Knoten verbunden ist, und ein zweites Paar von Stromquellen mit den Knoten verbunden ist, wobei der Differentialspannungsausgang des Verstärkers mit dem Differentialspannungseingang des zweiten Transkonduktors verbunden ist, und wobei das Paar von Kondensatoren als ein Filtereingang verwendet wird.

[0028] Alternativ kann der Differentialspannungseingang des Verstärkers mit dem Differentialspannungseingang des dritten Transkonduktors, der Differentialspannungsausgang des Verstärkers mit dem Differentialspannungseingang des ersten Transkonduktors und der Differentialstromausgang des ersten Transkonduktors mit dem Differentialspannungseingang des zweiten Transkonduktors verbunden sein.

[0029] Ein fünfter Aspekt der Erfindung besteht darin, eine Filterschaltung bereitzustellen, mit ersten, zweiten und dritten Transkonduktoren, die jeweils einen ersten differentialen Spannungseingang und einen Differentialstromausgang aufweisen, die jeweils eine bestimmte Transkonduktanz für den Differentialspannungseingang und jeweils eine hohe negativen Gain für eine Gleichtaktspannung des Differentialspannungseingangs aufweisen, und mit einem Verstärker, der einen Differentialspannungseingang und einen Differentialspannungsausgang aufweist, der einen bestimmten Gain für den Differentialspannungseingang und mit einem negativen Gain auf dem gleichen Pegel wie der bestimmte Gain für die Gleichtaktspannung des Differentialspannungseingang aufweist, wobei der Differentialstromausgang des ersten Transkonduktors mit einem Kondensator und einem ersten Paar von Stromquellen über ein erstes Paar von Knoten verbunden ist, die Knoten mit dem Differentialspannungseingang des Verstärkers verbunden sind, wobei der Differentialstromausgang des zweiten Transkonduktors mit dem Differentialstromausgang des dritten Transkonduktors über ein zweites Paar von Knoten verbunden ist; die Knoten mit den Differentialspannungseingängen der ersten und zweiten Transkonduktoren verbunden sind, die mit den Differentialstromausgängen der zweiten und dritten Transkonduktoren invertiert sind, wobei ein Paar von Kondensatoren und ein zweites Paar von Stromquellen mit den Knoten verbunden sind, wobei der Differentialspannungsausgang des Verstärkers mit dem Differentialspannungseingang des zweiten Transkonduktors verbunden ist, und wobei das Paar von Kondensatoren als ein Filtereingang verwendet wird.

[0030] Alternativ kann der Differentialspannungseingang des Verstärkers mit dem Differentialspannungseingang des dritten Transkonduktors, der Differentialspannungsausgang des Verstärkers mit dem Differentialspannungseingang des ersten Transkonduktors und der Differentialstromausgang des ersten Transkonduktors mit dem Differentialspannungseingang des zweiten Transkonduktors verbunden sein.

[0031] Ein sechster Aspekt der Erfindung besteht darin, eine Filterschaltung höherer Ordnung bereitzustellen, die eine Kombination der oben beschriebenen Filterschaltungen umfasst.

[0032] **Fig.** 1 ist ein Diagramm, das eine Schaltungskonfiguration darstellt, die eine erste Ausführungsform der Erfindung erläutert;

[0033] **Fig.** 2 ist ein Diagramm, das einen Transkonduktor darstellt, der bei der Filterschaltung der Erfindung verwendet wird;

[0034] **Fig.** 3 ist ein Diagramm, das einen Verstärker mit festem Gain darstellt, der bei einer Filterschaltung der Erfindung verwendet wird;

[0035] **Fig.** 4 ist ein Diagramm, das eine Schaltungskonfiguration darstellt, die eine zweite Ausführungsform der Erfindung erläutert;

[0036] **Fig.** 5 ist ein Diagramm, das eine Schaltungskonfiguration darstellt, die eine dritte Ausführungsform der Erfindung erläutert;

[0037] **Fig.** 6 ist ein Diagramm, das eine Schaltungskonfiguration darstellt, die eine herkömmliche Biquad zweiter Ordnung erläutert; und

[0038] **Fig.** 7 ist ein Diagramm, das eine Schaltung darstellt, die die Konfiguration des vollständigen Differentialfilters in **Fig.** 6 erläutert.

[0039] Die bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung werden als nächstes mit Bezug auf die Figuren erläutert.

[0040] **Fig.** 1 zeigt eine Schaltungskonfiguration, die eine erste Ausführungsform der Erfindung erläutert. Bei der ersten Ausführungsform besteht ein Tiefpassfilter (LPF) aus zwei Paaren von Transkonduktoren, nämlich Gm1+ (erster), Gm1– (zweiter) und Gm2+ (dritter), Gm2– (vierter), einem Gain-Verstärker GA und integrierenden Kondensatoren.

[0041] Ein Eingang Vin ist mit den positiven und negativen Eingänge des Transkonduktors Gm1+ verbunden. Der positive Ausgang des Transkonduktors Gm1+ ist mit dem positiven Ausgang des Transkonduktors Gm1– und dem positiven Eingang des Verstärkers mit festem Gain GA, der einen Gain K von 1 aufweist, und mit dem Bezugspotentialknoten über einen integrierenden Kondensator C1 und über eine Stromversorgung I1 verbunden, die parallel verbunden sind. Der negative Ausgang des Transkonduktors Gm1+ ist mit dem negativen

Ausgang des Transkonduktors Gm1– und dem negativen Eingang des Verstärkers mit festem Gain GA und mit dem Bezugspotentialknoten über einen integrierenden Kondensator C1 und eine Stromversorgung I2 verbunden, die parallel verbunden sind. Der positive Ausgang des Verstärkers mit festem Gain GA ist mit dem positiven Eingang des Transkonduktors Gm2+ verbunden. Der negative Ausgang des Verstärkers mit festem Gain GA ist mit dem negativen Eingang des Transkonduktors Gm2+ verbunden. Der positive Ausgang des Transkonduktors Gm2+ ist mit dem positiven Ausgang des Transkonduktors Gm2– und mit dem Bezugspotentialknoten über eine Stromversorgung I3 verbunden. Der negative Ausgang des Transkonduktors Gm2+ ist mit dem negativen Ausgang des Transkonduktors Gm2– und mit dem Bezugspotentialknoten über eine Stromversorgung I4 verbunden. Die positiven und negativen Ausgänge des Transkonduktors Gm2+ sind mit beiden Terminals des integrierenden Kondensators C2 und mit dem Ausgang Vout verbunden. Der positive Ausgang des Transkonduktors Gm2+ ist mit den negativen Eingängen beider Transkonduktoren Gm1– und Gm2– verbunden. Der negative Ausgang des Transkonduktors Gm2+ ist mit den positiven Eingängen der beiden Transkonduktoren Gm1– und Gm2– verbunden.

[0042] Die positiven und negativen Eingänge der Transkonduktoren beziehen sich auf den Differentialspannungseingang, und die positiven und negativen Ausgänge der Transkonduktoren beziehen sich auf den Differentialstromausgang. Die positiven und negativen Eingänge des Verstärkers beziehen sich auf den Differentialspannungseingang, und die positiven und negativen Ausgänge beziehen sich auf den Differentialspannungsausgang.

[0043] Die Merkmale dieser Konfiguration sind zuerst, dass die Schaltung eine vollständig differentielle ist, bei der alle Eingaben und Ausgaben der Transkonduktoren Gm1+, Gm1–, Gm2+ und Gm2– und des Verstärkers mit festem Gain GA vollständige Differenzsignale sind, und zweitens, dass die Anzahl dieser Bauelemente auf der Rückkopplungsschleife 3 ist. Die Anzahl von Elementen wird auf eine ungerade Zahl durch Einfügen eines Verstärkers mit festem Gain GA mit einem Gain von 1 erhöht, der gewöhnlicherweise bei einer herkömmlichen Filtertopologie nicht vorhanden ist.

[0044] Da jedes Element der Schaltung die Gegentaktspannung (common voltage) invertiert, wie es nachstehend erläutert ist, weist diese Rückkopplungsschleife folglich eine negative Rückkopplung für die Gegentaktspannung auf; der Betriebspunkt kann daher ohne die Notwendigkeit für eine fest zugeordnete Gleichstromrückkopplungsschaltung (Gleichtaktrückkopplungsschaltung) bestimmt werden.

[0045] Jede Stufe besteht aus zwei Transkonduktoren und einem mit deren Ausgangsterminals verbundenen integrierenden Kondensator. Die Transkonduktoren Gm1+ und Gm2+ entsprechen dem +Eingang in einer Einzelkonfiguration; die Transkonduktoren Gm1– und Gm2– entsprechen dem -Eingang (Rückkopplungseingang) bei einer Einzelkonfiguration. Der gm-Wert jedes Transkonduktors ist wie folgt:
Gm1+, Gm1– : Gm1
Gm2+, Gm2– : gm2

[0046] Der Transmissionskoeffizient zwischen dem Eingang und Ausgang in der Schaltung wird bestimmt durch:

$$\frac{Vo}{VI} = \frac{(gm1gm2) / (C1C2)}{S + \{(gm2) / (C2)\} S + (gm1gm2) / (C1C2)}$$

[0047] Wie es aus dieser Gleichung offensichtlich ist, weist die Schaltung der vorliegenden Ausführungsform einen LPF-Effekt zweiter Ordnung auf, da der Nullpunkt des Transmissionskoeffizienten doppelt bei unendlicher Frequenz existiert.

[0048] Jeder der Transkonduktoren Gm1+, Gm1–, Gm2+ und Gm2– in **Fig.** 1 weist die in **Fig.** 2 gezeigte Konfiguration auf. Mit anderen Worten umfasst jeder Transkonduktor Gm1+, Gm1–, Gm2+ und Gm2– Source-gekoppelte differentielle MOS-Transistoren M1 und M2, deren Source-Anschluss direkt mit der Leistungsversorgung verbunden ist, und gibt ein Differenzsignal der vorherigen Stufe in ein Gate ein. Die Drainterminals dieser beiden Transkonduktoren sind miteinander mit der gleichen Polarität verbunden, und integrierende Kondensatoren sind mit den positiven und negativen Ausgangsterminals verbunden, die dann als Differentialausgangsterminals arbeiten. Diese beiden Terminals werden von der Stromversorgung vorgespannt.

[0049] Um den Betrieb dieser Schaltung zu untersuchen, werden die Spannung-Strom-Wandlungseigenschaften der differentiellen MOS-Transistoren M1 und M2 gemessen. Es sei hier angenommen, dass alle Ein-

gangssignale vollständige Differenzsignale sind, und es wird vorausgesetzt, dass beide Transistoren identische Eigenschaften aufweisen und in der Sättigungs-Modusregion vorgespannt sind. Wenn der Ausgangswiderstand und der Substratkörpereffekt ignoriert werden, kann der Drainstrom der beiden Transistoren wie folgt definiert werden:

$$M1 : I1 = (k1/2)(VGS1 - Vth1)^2 \quad (1)$$

$$M2 : I2 = (k1/2)(VGS2 - Vth1)^2 \quad (2)$$

[0050] Bei dem obigen ist k = μCoxW/L = μ(εox/tox)W/L, mit μ = die Elektronenmobilität der Vorrichtung, εox = die Permittivität des Gate-Oxidfilms, tox = die Gate-Oxidfilmdicke, W ist die Gatebreite und L die Gatelänge des Wafers.

[0051] Wenn die Ausgabe die Differenz in den Drainströmen der differentiellen MOS-Transistoren M1 und M2 ist, kann die Ausgabe I1 – I2 basierend auf (1) und (2) bestimmt werden durch:

$$I1 - I2 = (k1/2)(VGS1 + VGS2 - 2Vth1)(VGS1 - VGS2)$$
$$= (k1/2)(VGS1 + VGS2 - 2Vth1)\,Vin$$

[0052] Wenn Vb die der Leistungsversorgungsspannung entsprechende Eingangssignalgleichspannung bezeichnet, ist das Eingangssignal vollständig differentiell, und da die Source-Terminals der differentiellen MOS-Transistoren M1 und M2 fest mit der Leistungsversorgung verbunden ist, ist VGS1 + VGS2 = 2Vb. Daher:

$$I1 - I2 = k1(VB - Vth1)Vin \quad (3)$$

[0053] Die Transkonduktanz Gm von der Differentialeingangsspannung zu der Differentialausgangsspannung kann definiert werden als:

$$Gm = Iout/Vin = (I1 - I2)/Vin$$
$$= k1\,(VB - Vth1) \quad (4)$$

[0054] Gleichung (4) umfasst weder ein Glied, das von dem Eingangsspannungssignal Vin unabhängig ist, noch ein Glied "Vin^2", das eine Störung zweiter Ordnung verursachen kann. Wenn das Paar von Elementen vollständig angepasst ist (M1 = M2), wird Gm idealerweise durch das W/L-Verhältnis der Elemente bestimmt. Daher ist, so lange wie der Ausgang differentiell extrahiert wird, die Transkonduktanz festgelegt und nicht vom Eingang abhängig. Ferner können Abweichungen in Vth1 durch Steuern der Eingangsbias-Spannung Vb eingestellt werden. Außerdem zeigt Gleichung (4), dass der Gm-Wert in Übereinstimmung mit Vb aktiv gesteuert werden kann.

[0055] Ein Transkonduktor wie oben, der Source-geerdet und vollständig differentiell ist, löst das Problem der Störung zweiter Ordnung, die dazu neigt, bei einer CMOS-Analogschaltung aufzutreten, und erzeugt eine hochlineare Transkonduktanz. Da die Stromversorgung außerdem nicht an dem differentiellen Source-Verbindungspunkt angeordnet sein muss, ist es möglich, nur den Spannungsteil der Stromversorgung als Leistungsspannung zu verwenden, wodurch der Vorteil der Spannungsverringerung gegeben ist.

[0056] **Fig.** 2 zeigt ein Beispiel, bei dem PMOS bei einem Differentialtransistor verwendet wird, wobei jedoch die gleiche Integratorschaltung gebildet werden kann, wenn NMOS in einem Differentialtransistor verwendet wird, wobei Leistung und GNU vertauscht werden, und die gleichen Wirkungen erhalten werden können.

[0057] **Fig.** 3 zeigt eine tatsächliche Schaltung, bei der der Verstärker mit festem Gain GA in **Fig.** 1 auf K = 1 eingestellt ist. Mit anderen Worten werden MOS-Transistoren M3 und M4 als Lasten für die differentiellen MOS-Transistoren M1 und M2 bereitgestellt, die das gleiche Transistorpaar wie der Transkonduktor von **Fig.** 2 sind. Das Differenzsignal der vorhergehenden Stufe wird in die Gates der MOS-Transistoren M1 und M2 eingegeben. Hier wurde herausgefunden, wenn die Spannung-Strom-Wandlungseigenschaften differentieller MOS-Transistoren M1 und M2 unter den gleichen Bedingungen wie bei der obigen Berechnung gemessen werden, dass sowohl M1 als auch M2 die gleichen Betriebseigenschaften aufweisen, wie es bei den Gleichungen (1) bzw. (2) bestimmt wurde. Auf ähnliche Weise können die Betriebseigenschaften (Drain-Spannungen) von M3 und M4 durch die folgenden Gleichungen definiert werden:

$$M3 : I1 = (k2/2)(VGS3 - Vth2)^2 \quad (5)$$

$$M4 : I2 = (k2/2)(VGS4 - Vth2)^2 \quad (6)$$

[0058] Durch gleichzeitig Lösen der Gleichungen (1), (2), (5) und (6) kann der Gain von Differentialeingangsspannung zu der Differentialausgangsspannung bestimmt werden durch:

$$Vout/Vin = (VGS3 - VGS4)/(VGS1 - VGS2)$$
$$= /\sqrt{(k1/k2)} \quad (7)$$

[0059] Gleichung (7) zeigt, dass, wenn das Paar von Elementen perfekt übereinstimmen (M1 = M2, M3 = M4), der Gain Idealerweise einfach aus dem Geometriefaktor W/L der Elemente bestimmt werden kann; im Prinzip erzeugen die Differenzsignale einen Verstärker mit festem Gain ohne Verzerrung. Alternativ ist für Gleichtaktsignale der Verstärker Source-Erde und weist einen Gain auf, der ungefähr gleich dem Gain für ein Differenzsignal jedoch phaseninvertiert ist. Für Differenzsignale bestimmt die Verbindung mit der nächsten Stufe eine Phasenpolarität des Verstärkers, um eine negative Phase auszugeben, wobei jedoch für ein Gleichtaktsignal der Verstärker immer phaseninvertiert ist. Bei der in **Fig.** 1 gezeigten Schaltung wird ein Gleichtaktsignal nach diesem Verstärker invertiert.

[0060] Die Source des in **Fig.** 2 gezeigten Transkonduktors ist direkt geerdet. Da der Source-Anschluss nicht mit der Stromversorgung zum Vorspannung verbunden ist, kann die Gleichtaktspannung des Eingangssignals nicht entfernt werden.

[0061] Tatsächlich eliminiert das Verwenden dieses Merkmals die Notwendigkeit für eine fest zugeordnete Gleichstromrückkopplungsschaltung, wie es bei der in **Fig.** 1 gezeigten Filterschaltung gezeigt ist.

[0062] Eine Differentialschaltung mit MOS-Transistoren M1 und M2 weist einen hohen Gain zwischen dem Eingang und dem Ausgang mit Bezug auf Gleichtaktspannungen auf, da die Source-Anschlüsse von M1 und M2 durch die Leistungsversorgung festgelegt sind. Mit anderen Worten werden sich, wenn die Eingangs-Gate-Spannungen beide ansteigen, die Ausgangs-Drain-Spannungen stark verringern. Umgekehrt steigen, wenn die Eingangs-Gate-Spannungen beide abfallen, die Ausgangs-Drain-Spannungen stark an. Außerdem weist der in **Fig.** 3 gezeigte Verstärker mit festem Gain einen umgekehrten Gain mit Bezug auf die Gleichtaktspannungen auf, wie es bereits erläutert wurde.

[0063] Die Transmission von Gleichtaktspannungen in der Schaltung von **Fig.** 1 wird gemessen. Diese Schaltung weist eine Rückkopplungsschleife auf, die entlang des Pfads: Gm2+ Gm1– ~ 1 ~ Gm2+ zurückkehrt. Wenn wir die Transmission der Gegentaktspannungen entlang dieser Schleife betrachten, ist offensichtlich, dass, da jeder Bestandteil der Konfiguration insgesamt drei Mal vor der Rückkehr invertiert wird, und so die Schleife eine negative Rückkopplung aufweist. Mit anderen Worten stabilisiert sich die Ausgangsspannung jedes Bestandteils der Konfiguration auf einer Spannung, die gemäß dem Stromwert der Bias-Stromversorgung auf der GND-Seite bestimmt wird. Wenn die Formen der MOS-Transistoren, die jeden Transkonduktor bilden, alle gleich sind, und die Bias-Stromwerte auf der GND-Seite, die den Transkonduktor vorspannen, alle gleich sind, werden die Ausgangsspannungen jeder Stufe alle gleich sein. I1 und I2 weisen die Hälfte des Stromwerts jeder Stromversorgung auf, wobei diese Spannungen gleich dem VGS-Wert sind, der durch Eingeben dieser Stromwerte in Gleichungen (1) und (2) bestimmt wurde. Diese Konvergenzspannung muss jedoch zuvor vorhergesagt und eine Gegentaktspannung nahe dieser Konvergenzspannung muss als Eingang Vin eingegeben werden. Da sich jeder Feldeffekttransistor auf einen Stromwert selbst vorspannt, der mit der Stromversorgung auf der Drain-Seite bestimmt wird, gibt es keine Notwendigkeit, eine fest zugeordnete Gleichstromrückkopplungsschaltung bereitzustellen.

[0064] Daher kann die Anzahl von Elementen in der Filterschaltung der vorliegenden Ausführungsform stark verringert werden, um ein kostengünstiges CMOS-Filter zu erhalten. Das obige Beispiel beschrieb eine aus zwei Stufen bestehende Filterschaltung, wobei jedoch durch Einstellen der Anzahl von Verstärkern mit festem Gain auf der Rückkopplungsschleife eine Gleichtaktspannungs-Transmission mit negativer Rückkopplung in einer Filterschaltung mit einer erhöhten Anzahl von Stufen verwirklicht werden kann.

[0065] Daher kann durch Kombinieren des in **Fig.** 2 gezeigten Transkonduktors mit dem Verstärker mit festem Gain in **Fig.** 3 ein kostengünstiges kleines Filter mit vorgegebenen Eigenschaften ohne die Notwendigkeit für eine fest zugeordnete Gleichstromrückkopplungsschaltung erzeugt werden.

[0066] Diese Art von Gleichtaktrückkopplungsschleife ist gegen Spannungsschwankung empfindlich. Da die Schleife "Gm2+ ~ Gm1– ~ 1 ~ Gm2+" in **Fig.** 1 zwei Stufen mit hohem Gain Gm2+ und Gm1– aufweist, ist Pha-

senkompensation wesentlich, um die aus der Hochfrequenzphasenverzögerung resultierende Schwingung zu verhindern. In **Fig.** 1 wird dies durch Teilen des Kondensators C1 am Gm1-Ausgangsterminal in zwei Teile und Verbinden jedes Teils mit einer entsprechenden GND erreicht. Auf diese Art und Weise gibt es, obwohl 2C1 eine kapazitive Last mit Bezug auf die Gleichtaktspannung an dem Ausgangsterminal des Transkonduktors Gm1 aufweist, keine kapazitive Last mit Bezug auf die Gleichtaktspannung an dem Ausgangsterminal des Transkonduktors Gm2.

[0067] Daher kann eine Phasenkombination, bei der Gm1 und 2C1 verwendet werden, um einen Pol mit niedriger Frequenz zu erzeugen, bei der Gleichtaktrückkopplungsschleife bereitgestellt werden. Da der Kondensator Filtercharakteristika definiert und ebenfalls eine Phasenkompensation für die Gleichtaktrückkopplungsschleife bereitstellt, weist dieses Verfahren den Vorteil auf, hoch wirtschaftlich zu sein.

[0068] Außerdem werden, wenn die Stromwerte aller Stromversorgungen, die das Ausgangsterminal jeder Stufe vorspannen, angepasst sind, wird die VGS der MOS-Transistoren, die jeden Transkonduktor bilden, zur gleichen Zeit geändert. Dies bedeutet eine Änderung in VB in Gleichung (4) und ermöglicht, dass Gm jedes Transkonduktors proportional gesteuert werden kann, wie es oben erläutert ist. Folglich können Filterkennlinien auf der Frequenzachse verschoben werden, was insbesondere zum Einstellen einer zeitkonstanten Variation wirksam ist, die durch die Variation bei IC-Herstellungsprozessen verursacht wird.

[0069] Als nächstes wird eine zweite Ausführungsform der Erfindung mit Bezug auf die in **Fig.** 4 gezeigte Schaltungskonfiguration erläutert. Die zweite Ausführungsform unterscheidet sich von der in **Fig.** 1 dargestellten ersten dadurch, dass der Transkonduktor Gm1+ entfernt ist, Kondensatoren C1 und C2, die mit dem Bezugsspannungspunkt verbunden waren, nun mit dem Eingang Vin verbunden sind, und die Transkonduktoren Gm1– erster), Gm2+ (zweiter) und Gm2– (dritter) verbleiben.

[0070] In diesem Fall kann ohne weiteres vermutet werden, dass es keine Gleichstromtransmission vom Eingang zum Ausgang gibt, und das Filter ein Bandpassfilter (BPF) ist. Wie bei der ersten Ausführungsform wird, da die Gleichtakttransmissionsschleife genau die gleiche wie die in **Fig.** 1 ist, eine stabile Selbstvorspannung auf ähnliche Weise mittels einer Gleichtaktspannungsrückkopplungsschleife erzeugt, und es gibt keinen Bedarf für eine fest zugeordnete Gleichstromrückkopplungsschaltung. Bei der zweiten Ausführungsform können jedoch im Vergleich mit **Fig.** 1 Stromversorgungen I1 und I2 für den Teil, von dem der Transkonduktor Gm1+ entfernt wurde, annehmbarer niedrige Stromwerte aufweisen.

[0071] **Fig.** 5 zeigt eine Schaltungskonfiguration einer dritten Ausführungsform der Erfindung. Die dritte Ausführungsform unterscheidet sich von der in **Fig.** 4 gezeigten Ausführungsform darin, dass der Eingang mit dem Ausgang Vout über Kondensatoren C2 und C2 verbunden ist, und beide Terminals des Kondensators C1 zwischen den Eingangsterminals des Verstärkers mit festem Gain GA verbunden sind. Die Transkonduktoren Gm1– (erster), Gm2+ (zweiter) und Gm2-(dritter) verbleiben.

[0072] Wenn ein Signal bei dieser Konfiguration eingegeben wird, zeigt, da der Nullpunkt des Transmissionskoeffizienten bei der Nullfrequenz doppelt existiert, die Schaltung die Wirkungen eines Hochpassfilters (HPF). Da die Gleichtakttransmissionsschleife genau die selbe wie diejenige in **Fig.** 4 ist, wird auf ähnliche Weise eine stabile Selbstvorspannung mittels einer Gleichtaktspannungsrückkopplungsschleife erzeugt, und es gibt keinen Bedarf für eine fest zugeordnete Gleichstromrückkopplungsschaltung.

[0073] Gemäß der in Ausführungsformen 1 bis 3 beschriebenen Erfindung ist es möglich, eine Filterschaltung vorgegebener höherer Ordnung durch erfindungsgemäßes kaskadenartiges Verbinden der Haupteigenschaften der drei Arten von Filterschaltungen oder alternativer Arten der Filterschaltungen zu erzeugen. Dies zieht ferner Nutzen aus dem kleinen und kostengünstigen Filter, der durch die Erfindung bereitgestellt wird.

Patentansprüche

1. Filterschaltung mit:

einem Transkonduktor (Gm1, Gm2) mit einem Paar von Differentialspannungseingangsenden und einem Paar von Differentialstromausgangsenden, wobei der Transkonduktor ein Paar von ersten Feldeffekttransistoren (M1, M2) umfasst, deren Gates mit den Differentialspannungseingangsenden des Transkonduktors und deren Drains mit einem Paar von Stromquellen und mit den Differentialstromausgangsenden des Transkonduktors verbunden sind, während ihre Sources gemeinsam mit einer Leistungsversorgung verbunden sind, wobei der Transkonduktor eine erste Differentialmoduseingangsspannung in einen Differentialmodusausgangsstrom umwandelt, wobei eine Gleichtakteingangsspannung mit invertierter Phase ausgegeben wird

einem Verstärker (GA) mit einem Paar von Differentialspannungseingangsenden und einem Paar von Differentialspannungsausgangsenden, wobei der Verstärker zwei Paare von zweiten Feldeffekttransistoren umfasst, wobei ein Paar Transistoren der Eingangsseite sind, deren Gates mit den Differentialspannungseingangsenden des Verstärkers und deren Sources gemeinsam mit der Leistungsversorgung verbunden sind, während ihre Drains mit den Differentialspannungsausgangsenden des Verstärkers und mit den Sources des anderen Paars von zweiten Feldeffekttransistoren verbunden sind, deren Gates wiederum gemeinsam mit einer gemeinsamen unveränderlichen Spannungsquelle und deren Drains gemeinsam mit einem Bezugspotential verbunden sind, wobei der Verstärker eine zweite Differentialmoduseingangsspannung in eine Differentialmodusausgangsspannung umwandelt, während eine Gleichtakteingangsspannung mit invertierter Phase ausgegeben wird;
wobei der Transkonduktor und der Verstärker ein Bauelement in einer Rückkopplungsschleife bilden, wobei eine Gesamtzahl derartiger, mit Transkonduktor und Verstärker geformter Bauelemente ungerade – einschließlich eins – ist, und
wobei ein Kondensator mit den Differentialstromausgangsenden des Transkonduktors verbunden ist.

2. Filterschaltung gemäß Anspruch 1, bei der die Frequenzkennlinie der Filterschaltung auf der Frequenzachse durch Steuern aller mit den Drains des Paars erster Feldeffekttransistoren verbundenen Stromquellen proportional verschoben wird, während ihr gemeinsames Stromverhältnis konstant bleibt.

3. Filterschaltung gemäß Anspruch 1, bei der die Rückkopplungsschleife durch einen einzigen Transkonduktor und eine gerade Anzahl von Verstärkern gebildet wird.

4. Filterschaltung gemäß Anspruch 1, bei der die Rückkopplungsschaltung durch einen ersten Transkonduktor (Gm1), einen zweiten Transkonduktor (Gm2) und eine ungerade Anzahl von Verstärkern gebildet wird.

5. Filterschaltung gemäß Anspruch 4, bei der die Differentialstromausgangsenden des zweiten Transkonduktors mit einem ersten Kondensatorelement (C2) als zwischengeschalteter Kondensator verbunden sind, während die Differentialstromausgangsenden des ersten Transkonduktors mit einem Paar von Kondensatoren verbunden sind, deren andere Enden mit dem Bezugspotential verbunden sind.

6. Filterschaltung gemäß Anspruch 1, bei der die Rückkopplungsschleife durch einen einzigen Verstärker, einen ersten Transkonduktor mit einem ersten Paar von Differentialspannungseingangsenden und einem ersten Paar von Differentialstromausgangsenden sowie einen zweiten Transkonduktor mit einem zweiten Paar von Differentialspannungseingangsenden und einem zweiten Paar von Differentialstromausgangsenden gebildet ist, wobei die Filterschaltung ferner umfasst:
einen Transkonduktor der Eingangsseite mit einem Paar von Eingangsenden und einem Paar von Ausgangsenden, wobei der Transkonduktor der Eingangsseite eine Eingangsdifferentialmodusspannung in einen Ausgangsdifferentialmodusstrom umwandelt, während eine Eingangsgleichtaktspannung mit invertierter Phase ausgegeben wird; und
einen dritten Transkonduktor mit einem dritten Paar von Differentialspannungseingangsenden und einem dritten Paar von Differentialstromausgangsenden, wobei der dritte Transkonduktor eine dritte Differentialmoduseingangsspannung in einen dritten Differentialmodusausgangsstrom umwandelt, während eine dritte Gleichtakteingangsspannung mit invertierter Phase ausgegeben wird,
wobei das Paar von Ausgangsenden des Transkonduktors der Eingangsseite mit dem ersten Paar von Differentialstromausgangsenden des ersten Transkonduktors an einem ersten Paar von Knoten verbunden ist, wobei das erste Paar von Knoten ferner mit dem Paar von Differentialspannungseingangsenden des Verstärkers und einem Paar von Stromquellen verbunden ist,
wobei das Paar von Differentialspannungsausgangsenden des Verstärkers mit dem zweiten Paar von Differentialspannungseingangsenden des zweiten Transkonduktors verbunden ist,
wobei das zweite Paar von Differentialstromausgangsenden des zweiten Transkonduktors mit dem dritten Paar von Differentialstromausgangsenden des dritten Transkonduktors an einem zweiten Paar von Knoten verbunden ist, wobei das zweite Paar von Knoten ferner mit einem ersten Kondensator (C2) als zwischengeschalteter Kondensator, einem zweiten Paar von Stromquellen, dem ersten Paar von Differentialspannungseingangsenden des ersten Transkonduktors mit umgekehrter Polarität, und dem dritten Paar von Differentialspannungseingangsenden des dritten Transkonduktors mit invertierter Polarität verbunden ist, und
wobei das Paar von Eingangsenden des Transkonduktors der Eingangsseite als ein Eingang der Filterschaltung verwendet wird.

7. Filterschaltung gemäß Anspruch 1, bei der die Rückkopplungsschleife durch einen einzigen Verstärker, einen ersten Transkonduktor mit einem ersten Paar von Differentialspannungseingangsenden und einem ers-

ten Paar von Differentialstromausgangsenden sowie einen zweiten Transkonduktor mit einem zweiten Paar von Differentialspannungseingangsenden und einem zweiten Paar von Differentialstromausgangsenden gebildet ist, wobei die Filterschaltung ferner umfasst:
einen Transkonduktor der Eingangsseite mit einem Paar von Eingangsenden und einem Paar von Ausgangsenden, wobei der Transkonduktor der Eingangsseite eine Eingangsdifferentialmodusspannung in einen Ausgangsdifferentialmodusstrom umwandelt, während eine Eingangsgleichtaktspannung mit invertierter Phase ausgegeben wird; und
einen dritten Transkonduktor mit einem dritten Paar von Differentialspannungseingangsenden und einem dritten Paar von Differentialstromausgangsenden, wobei der dritte Transkonduktor eine dritte Differentialmoduseingangsspannung in einen dritten Differentialmodusausgangsstrom umwandelt, während eine dritte Gleichtakteingangsspannung mit invertierter Phase ausgegeben wird,
wobei das Paar von Ausgangsenden des Transkonduktors der Eingangsseite mit dem ersten Paar von Differentialstromausgangsenden des ersten Transkonduktors an einem ersten Paar von Knoten verbunden ist, wobei das erste Paar von Knoten ferner mit dem zweiten Paar von Differentialspannungseingangsenden des zweiten Transkonduktors und einem Paar von Stromquellen verbunden ist,
wobei das zweite Paar von Differentialstromausgangsenden des zweiten Transkonduktors mit dem dritten Paar von Differentialstromausgangsenden des dritten Transkonduktors an einem zweiten Paar von Knoten verbunden ist, wobei das zweite Paar von Knoten ferner mit einem ersten Kondensatorelement (C2) als zwischengeschalteter Kondensator, einem zweiten Paar von Stromquellen, dem dritten Paar von Differentialspannungseingangsenden des dritten Transkonduktors mit invertierter Polarität und dem Paar von Differentialspannungseingangsenden des Verstärkers mit invertierter Polarität verbunden ist,
wobei das Paar von Differentialspannungsausgangsenden des Verstärkers mit dem ersten Paar von Differentialspannungseingangsenden des ersten Transkonduktors verbunden ist, und
wobei das Paar von Eingangsenden des Transkonduktors der Eingangsseite als eine Eingabe der Filterschaltung verwendet wird.

8. Filterschaltung gemäß Anspruch 1, bei der die Rückkopplungsschleife durch einen einzigen Verstärker, einen ersten Transkonduktor mit einem ersten Paar von Differentialspannungseingangsenden und einem ersten Paar von Differentialstromausgangsenden sowie einen zweiten Transkonduktor mit einem zweiten Paar von Differentialspannungseingangsenden und einem zweiten Paar von Differentialstromausgangsenden gebildet ist, wobei die Filterschaltung ferner umfasst:
einen dritten Transkonduktor mit einem dritten Paar von Differentialspannungseingangsenden und einem dritten Paar von Differentialstromausgangsenden, wobei der dritte Transkonduktor eine dritte Differentialmoduseingangsspannung in einen dritten Differentialmodusausgangsstrom umwandelt, während eine dritte Gleichtakteingangsspannung mit invertierter Phase ausgegeben wird,
wobei das erste Paar von Differentialstromausgangsenden des ersten Transkonduktors mit dem Paar von Differentialspannungseingangsenden des Verstärkers an einem ersten Paar von Knoten verbunden ist, wobei das erste Paar von Knoten ferner mit einem Paar von Stromquellen und einem Paar von Kondensatoren (C1, C1) verbunden ist,
wobei das Paar von Differentialspannungsausgangsenden des Verstärkers mit dem zweiten Paar von Differentialspannungseingangsenden des zweiten Transkonduktors verbunden ist,
wobei das zweite Paar von Differentialstromausgangsenden des zweiten Transkonduktors mit dem dritten Paar von Differentialstromausgangsenden des dritten Transkonduktors an einem zweiten Paar von Knoten verbunden ist, wobei das zweite Paar von Knoten ferner mit einem ersten Kondensator (C2) als zwischengeschalteter Kondensator, einem zweiten Paar von Stromquellen, dem dritten Paar von Differentialspannungseingangsenden des dritten Transkonduktors mit invertierter Polarität und dem ersten Paar von Differentialspannungseingangsenden des ersten Transkonduktors mit invertierter Polarität verbunden ist, und
wobei das Paar von Enden der Kondensatoren, das nicht mit dem ersten Paar von Knoten verbunden ist, als ein Eingang der Filterschaltung verwendet wird.

9. Filterschaltung gemäß Anspruch 1, bei der die Rückkopplungsschaltung durch einen einzigen Verstärker, einen ersten Transkonduktor mit einem ersten Paar von Differentialspannungseingangsenden und einem ersten Paar von Differentialstromausgangsenden sowie einen zweiten Transkonduktor mit einem zweiten Paar von Differentialspannungseingangsenden und einem zweiten Paar von Differentialstromausgangsenden gebildet ist, wobei die Filterschaltung ferner umfasst:
einen dritten Transkonduktor mit einem dritten Paar von Differentialspannungseingangsenden und einem dritten Paar von Differentialstromausgangsenden, wobei der dritte Transkonduktor eine dritte Differentialmoduseingangsspannung in einen dritten Differentialmodusausgangsstrom umwandelt, während eine dritte Gleichtakteingangsspannung mit invertierter Phase ausgegeben wird,
wobei das erste Paar von Differentialstromausgangsenden des ersten Transkonduktors mit dem zweiten Paar

von Differentialspannungseingangsenden des zweiten Transkonduktors an einem ersten Paar von Knoten verbunden ist, wobei das erste Paar von Knoten ferner mit einem Paar von Kondensatoren (C1, C2) als der Kondensator und einem Paar von Stromquellen verbunden ist,
wobei das zweite Paar von Differentialstromausgangsenden des zweiten Transkonduktors mit dem dritten Paar von Differentialstromausgangsenden des dritten Transkonduktors an einem zweiten Paar von Knoten verbunden ist, wobei das zweite Paar von Knoten ferner mit einem ersten Kondensator (C2) als zwischengeschalteter Kondensator, einem zweiten Paar von Stromquellen, dem dritten Paar von Differentialspannungseingangsenden des dritten Transkonduktors mit invertierter Polarität und dem Paar von Differentialspannungseingangsenden des Verstärkers mit invertierter Polarität verbunden ist,
wobei das Paar von Differentialspannungsausgangsenden des Verstärkers mit dem ersten Paar von Differentialspannungseingangsenden des ersten Transkonduktors verbunden ist, und
wobei das Paar von Enden der Kondensatoren, das nicht mit dem ersten Paar von Knoten verbunden ist, als ein Eingang der Filterschaltung verwendet wird.

10. Filterschaltung gemäß Anspruch 1, bei der die Rückkopplungsschleife durch einen einzigen Verstärker, einen ersten Transkonduktor mit einem ersten Paar von Differentialspannungseingangsenden und einem ersten Paar von Differentialstromausgangsenden sowie einen zweiten Transkonduktor mit einem zweiten Paar von Differentialspannungseingangsenden und einem zweiten Paar von Differentialstromausgangsenden gebildet ist, wobei die Filterschaltung ferner umfasst:
einen dritten Transkonduktor mit einem dritten Paar von Differentialspannungseingangsenden und einem dritten Paar von Differentialstromausgangsenden, wobei der dritte Transkonduktor eine dritte Differentialmoduseingangsspannung in einen dritten Differentialmodusausgangsstrom umwandelt, während eine dritte Gleichtakteingangsspannung mit invertierter Phase ausgegeben wird,
wobei das erste Paar von Differentialstromausgangsenden des ersten Transkonduktors mit dem Paar von Differentialspannungseingangsenden des Verstärkers an einem ersten Paar von Knoten verbunden ist, wobei das erste Paar von Knoten ferner mit einem Paar von Stromquellen und einem ersten Kondensator (C1) als zwischengeschalteter Kondensatorverbunden ist, wobei das Paar von Differentialspannungsausgangsenden des Verstärkers mit dem zweiten Paar von Differentialspannungseingangsenden des zweiten Transkonduktors verbunden ist,
wobei das zweite Paar von Differentialstromausgangsenden des zweiten Transkonduktors mit dem dritten Paar von Differentialstromausgangsenden des dritten Transkonduktors an einem zweiten Paar von Knoten verbunden ist, wobei das zweite Paar von Knoten ferner mit einem Paar von Kondensatoren (C2, C2) als der Kondensator, einem zweiten Paar von Stromquellen, dem dritten Paar von Differentialspannungseingangsenden des dritten Transkonduktors mit invertierter Polarität und dem ersten Paar von Differentialspannungseingangsenden des ersten Transkonduktors mit invertierter Polarität verbunden ist, und
wobei das Paar von Enden der Kondensatoren, das nicht mit dem zweiten Paar von Knoten verbunden ist, als ein Eingang der Filterschaltung verwendet wird.

11. Filterschaltung gemäß Anspruch 1, bei der die Rückkopplungsschleife durch einen einzigen Verstärker, einen ersten Transkonduktor mit einem ersten Paar von Differentialspannungseingangsenden und einem ersten Paar von Differentialstromausgangsenden sowie einen zweiten Transkonduktor mit einem zweiten Paar von Differentialspannungseingangsenden und einem zweiten Paar von Differentialstromausgangsenden gebildet ist, wobei die Filterschaltung ferner umfasst:
einen dritten Transkonduktor mit einem dritten Paar von Differentialspannungseingangsenden und einem dritten Paar von Differentialstromausgangsenden, wobei der dritte Transkonduktor eine dritte Differentialmoduseingangsspannung in einen dritten Differentialmodusausgangsstrom umwandelt, während eine dritte Gleichtakteingangsspannung mit invertierter Phase ausgegeben wird,
wobei das erste Paar von Differentialstromausgangsenden des ersten Transkonduktors mit dem zweiten Paar von Differentialspannungseingangsenden des zweiten Transkonduktors an einem ersten Paar von Knoten verbunden ist, das erste Paar von Knoten ferner mit einem ersten Kondensator (C1) als zwischengeschalteter Kondensator und einem Paar von Stromquellen verbunden ist,
wobei das zweite Paar von Differentialstromausgangsenden des zweiten Transkonduktors mit dem dritten Paar von Differentialstromausgangsenden des dritten Transkonduktors an einem zweiten Paar von Knoten verbunden ist, wobei das zweite Paar von Knoten ferner mit einem Paar von Kondensatoren (C2, C2) als der Kondensator, einem zweiten Paar von Stromquellen, dem dritten Paar von Differentialspannungseingangsenden des dritten Transkonduktors mit invertierter Polarität und dem Paar von Differentialspannungseingangsenden des Verstärkers mit invertierter Polarität verbunden ist,
wobei das Paar von Differentialspannungsausgangsenden des Verstärkers mit dem ersten Paar von Differentialspannungseingangsenden des ersten Transkonduktors verbunden ist, und
wobei das Paar von Enden der Kondensatoren, das nicht mit dem zweiten Paar von Knoten verbunden ist, als

ein Eingang der Filterschaltung verwendet wird.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG.1

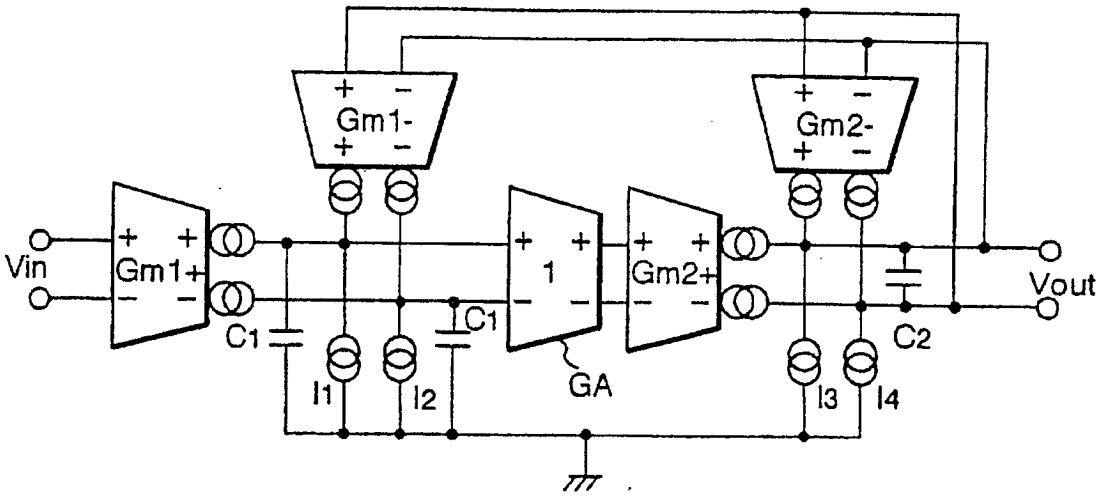

FIG.2

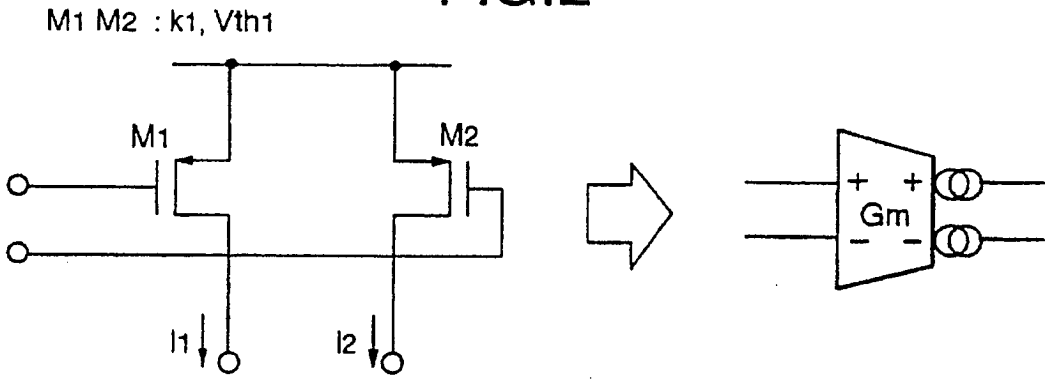

FIG.3

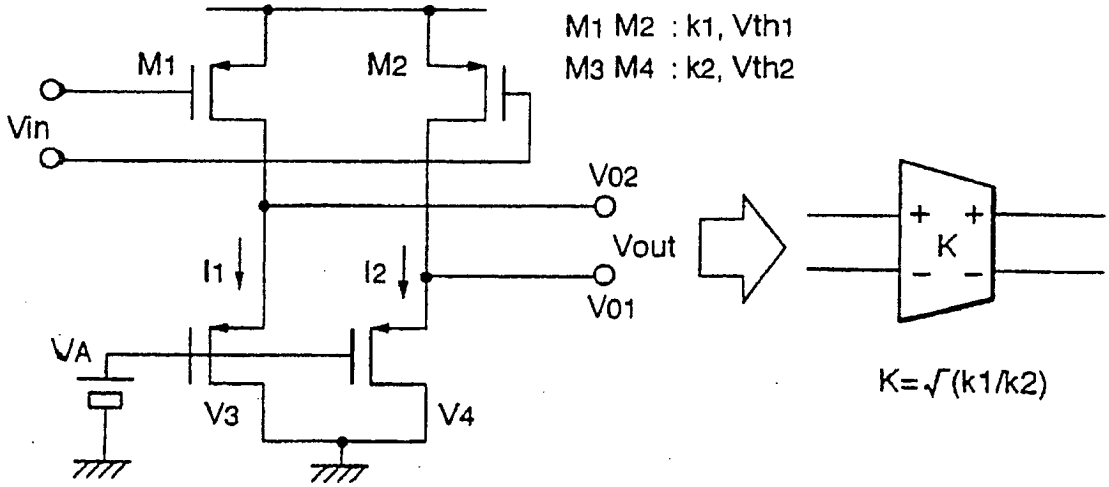

FIG.4

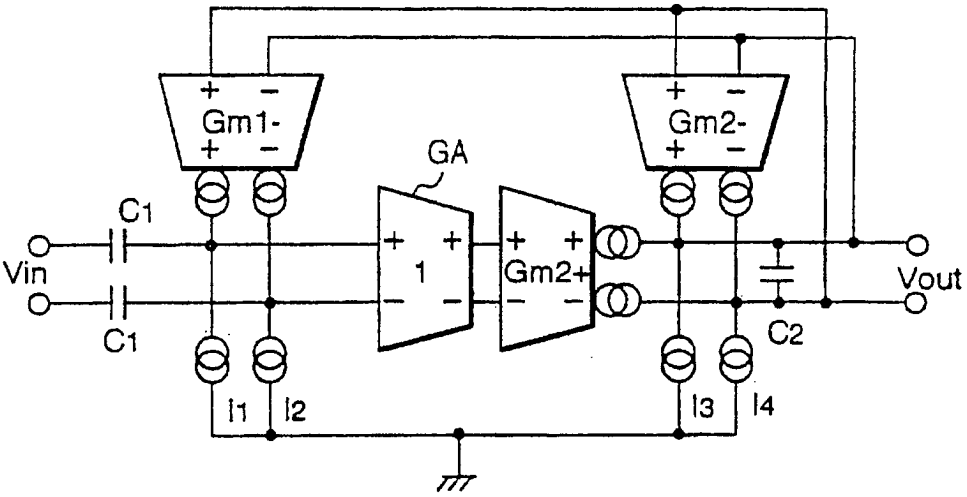

FIG.5

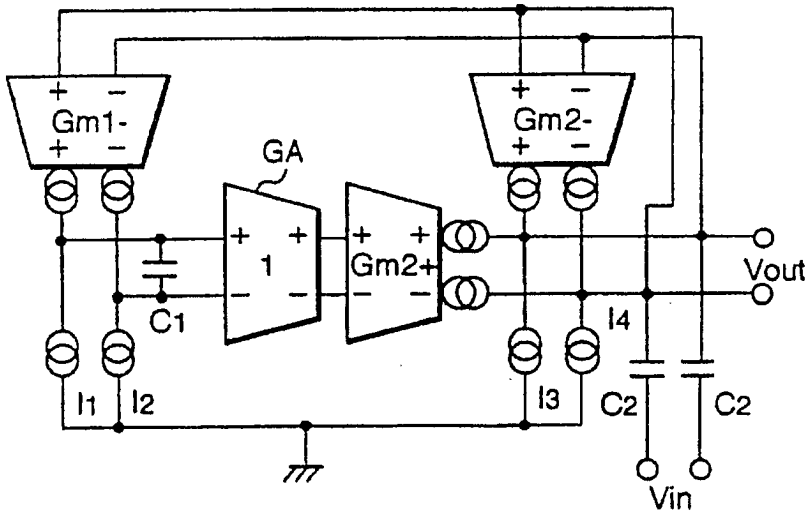

FIG.6

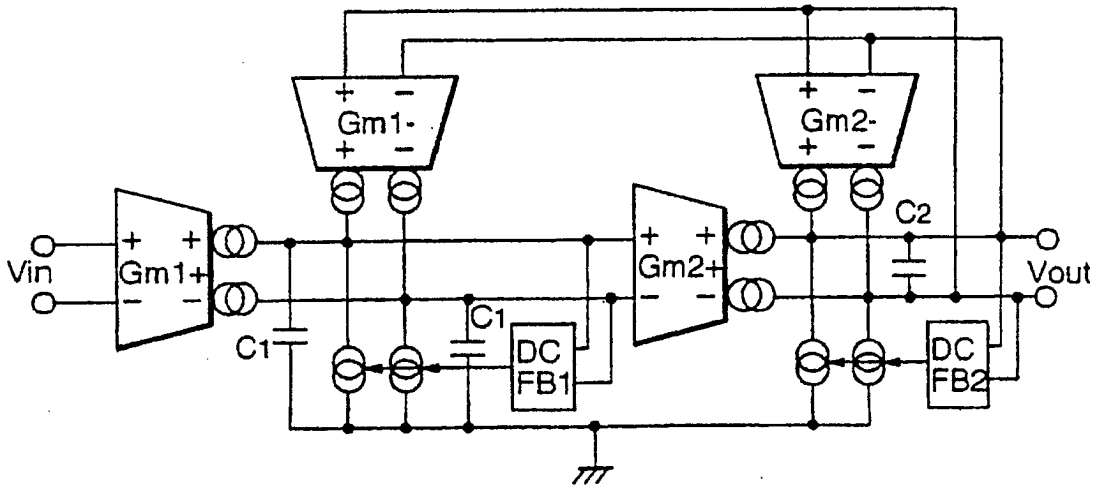

FIG.7

