


Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTSCHRIFT A5

(11)

646 555

(21) Gesuchsnummer: 2519/79

(22) Anmeldungsdatum: 16.03.1979

(30) Priorität(en): 20.03.1978 NL 7802973

(24) Patent erteilt: 30.11.1984

 (45) Patentschrift
veröffentlicht: 30.11.1984

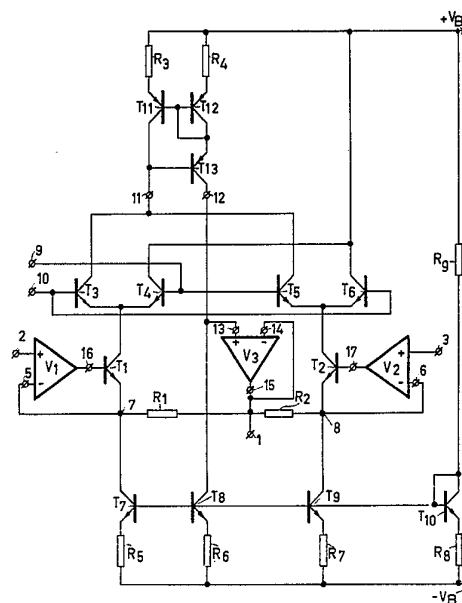
 (73) Inhaber:
N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Eindhoven
(NL)

 (72) Erfinder:
Van de Plassche, Rudy Johan, Eindhoven (NL)

 (74) Vertreter:
Patentanwalts-Bureau Isler AG, Zürich

(54) Verstärkerschaltung mit regelbarem Verstärkungsfaktor.

(57) Zur automatischen Verstärkerregelung für elektronische Potentiometer sind zwei Spannungs-Stromwandler vorhanden. Diese bestehen je aus einem Verstärker (V_1 , V_2) und einem Transistor (T_1 , T_2). Die Verstärker sind mit dem Ausgang (16, 17) auf die Basen der Transistoren geführt und weisen je einen direkten Eingang (2, 3) als Signaleingänge und einen invertierenden Eingang (5, 6) auf. Diese invertierenden Eingänge sind mit den Emittern (7, 8) der Transistoren (T_1 , T_2) verbunden. Diese invertierenden Eingänge (5, 6) sind mit dem Ausgang (15) der Verstärkerschaltung verbunden. Damit wird eine Verstärkerschaltung gebildet, die keine Steilheitsregelung aufweist und deren Gegenkopplung vom Stromverteilungsfaktor unabhängig ist.



PATENTANSPRÜCHE

1. Verstärkerschaltung mit regelbarem Verstärkungsfaktor mit einem ersten und einem zweiten Transistor (T_3 , T_4) mit miteinander verbundenen Emittern, einem dritten und einem vierten Transistor (T_5 , T_6) mit miteinander verbundenen Emittern, einem Ausgang, der mit den Kollektoren des ersten und des dritten Transistors (T_3 , T_5) gekoppelt ist, wobei die Basis-Elektrode des dritten Transistors mit der Basis-Elektrode des zweiten Transistors und die Basis-Elektrode des vierten Transistors mit der Basis-Elektrode des ersten Transistors verbunden ist, und eine Regelspannungsquelle zwischen die Basen des ersten und zweiten Transistors angeschlossen ist, Ruhestromquellen, mit deren Hilfe Ruhestrome den miteinander verbundenen Emittern des ersten und des zweiten Transistors und den miteinander verbundenen Emittern des dritten und des vierten Transistors zugeführt werden, und eine Signalstromquellenanordnung, mit deren Hilfe Signalstrom wenigstens den miteinander verbundenen Emittern des ersten und des zweiten Transistors zugeführt wird, dadurch gekennzeichnet, dass die Signalstromquellenanordnung einen ersten Spannungs-Stromwandler (T_1 , V_1) mit einem ersten in bezug auf den Ausgang (15 bzw. 1) der Verstärkerschaltung invertierenden Eingang (5) und einem zweiten Eingang (2), der einen ersten Signalspannungseingang der Verstärkerschaltung bildet, sowie einen zweiten Spannungs-Stromwandler (T_2 , V_2) enthält mit wenigstens einem ersten in bezug auf den Ausgang (12) der Verstärkerschaltung invertierenden Eingang (6), wobei die ersten Eingänge (5, 6) des ersten und des zweiten Spannungs-Stromwandlers mit dem Ausgang (12) der Verstärkerschaltung verbunden sind.

2. Verstärkerschaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Spannungs-Stromwandler einen fünften Transistor (T_1), dessen Basis- und Emitter-Elektroden Eingänge bilden, und der zweite Spannungs-Stromwandler einen sechsten Transistor (T_2) enthält, dessen Basis- und Emitter-Elektroden Eingänge bilden, wobei die Kollektor-Elektrode des fünften Transistors (T_1) mit dem miteinander verbundenen Emitter-Elektroden des ersten und des zweiten Transistors (T_3 , T_4) verbunden ist, während die Kollektor-Elektrode des sechsten Transistors (T_2) mit den miteinander verbundenen Emitter-Elektroden des dritten und des vierten Transistors (T_5 , T_6) verbunden ist.

3. Verstärkerschaltung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Basis-Elektrode des fünften Transistors (T_1) mit dem Signaleingang der Verstärkerschaltung gekoppelt ist, und dass die Emitter-Elektrode (7) des fünften Transistors (T_1) mit der Emitter-Elektrode (8) des zweiten Transistors verbunden ist, wobei diese Elektroden einen gemeinsamen Gegenkopplungseingang (1) bilden, der in gegenkoppelndem Sinne mit dem Ausgang (15) der Verstärkerschaltung verbunden ist.

4. Verstärkerschaltung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Emitter (7) des fünften Transistors (T_1) und dem gemeinsamen Gegenkopplungseingang (1) ein erster Widerstand (R_1) und zwischem Emitter (8) des sechsten Transistors (T_2) und dem gemeinsamen Gegenkopplungseingang (1) ein zweiter Widerstand (R_2) angeordnet ist, dessen Widerstandswert im wesentlichen gleich dem des ersten Widerstandes ist.

5. Verstärkerschaltung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Spannungs-Stromwandler zusätzlich einen Differenzverstärker (V_1) mit einem invertierenden (5) und einem nichtinvertierenden Eingang (2) und einem Ausgang (16) enthält, wobei der Ausgang mit der Basis des fünften Transistors (T_1), der invertierende Eingang (5) mit dem Emitter (7) des fünften Transistors (T_1) und der nichtinvertierende Eingang (2) mit dem Signaleingang der Verstärkerschaltung verbunden ist.

6. Verstärkerschaltung nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Basis-Elektrode (17) des sechsten Transistors (T_2) mit einem zweiten Signaleingang (3) der Verstärkerschaltung verbunden ist.

7. Verstärkerschaltung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Spannungs-Stromwandler zusätzlich einen Differenzverstärker (V_2) mit einem invertierenden (6) und einem nichtinvertierenden Eingang (3) und einem Ausgang (17) enthält, wobei der Ausgang mit der Basis des sechsten Transistors (T_2), der invertierende Eingang (6) mit dem Emitter (8) des sechsten Transistors (T_2) und der nichtinvertierende Eingang (3) mit dem Signaleingang der Verstärkerschaltung verbunden ist.

8. Verstärkerschaltung nach einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Emitter (7, 8) des fünften und des sechsten Transistors (T_1 , T_2) mit je einer Ruhestromquelle (T_7 , T_8) verbunden sind.

9. Verstärkerschaltung nach einem der Ansprüche 2 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass sie ein dem Ausgangsstromkreis nachgeschaltetes Schaltungsteil (T_8 , V_3) mit hoher Impedanz enthält, über das der Ausgangsstrom in eine Spannung umgewandelt wird.

10. Verstärkerschaltung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Schaltungsteil mit hoher Impedanz eine Stromquelle umfasst.

11. Verstärkerschaltung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Schaltungsteil einen Differenzverstärker (V_3) mit einem invertierenden (14) und einem nichtinvertierenden (13) Eingang und einem Ausgang (15) enthält, wobei der Ausgang (15) mit dem gemeinsamen Gegenkopplungseingang (1) und mit dem invertierenden Eingang (14) und der nichtinvertierende Eingang (13) mit dem Ausgang der Verstärkerschaltung (12) verbunden ist.

12. Verstärkerschaltung nach einem der Ansprüche 2 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass ein Stromspiegel vorhanden ist, dessen Eingang sowohl mit dem Kollektor des ersten Transistors als auch mit dem Kollektor des dritten Transistors verbunden ist und dessen Ausgang den Ausgang der Verstärkerschaltung bildet.

Die Erfindung bezieht sich auf eine Verstärkerschaltung mit regelbarem Verstärkungsfaktor mit einem ersten und einem zweiten Transistor mit miteinander verbundenen Emittern, einem dritten und einem vierten Transistor mit miteinander verbundenen Emittern, einem Ausgang, der mit den Kollektoren des ersten und des dritten Transistors gekoppelt ist, wobei die Basis-Elektrode des dritten Transistors mit der Basis-Elektrode des zweiten Transistors und die Basis-Elektrode des vierten Transistors mit der Basis-Elektrode des ersten Transistors verbunden ist, und eine Regelspannungsquelle zwischen die Basen des ersten und des zweiten Transistors angeschlossen ist, Ruhestromquellen, mit deren Hilfe Ruhestrome den miteinander verbundenen Emittern des ersten und des zweiten Transistors und den miteinander verbundenen Emittern des dritten und des vierten Transistors zugeführt werden, und eine Signalstromquellenanordnung, mit deren Hilfe Signalstrom wenigstens den miteinander verbundenen Emittern des ersten und des zweiten Transistors zugeführt wird.

Derartige Verstärkerschaltungen sind allgemein als automatischer Verstärkungsregler, elektronisches Potentiometer u.dgl. bekannt und können u.a. Lautstärke- und Tonregelungen in Audiogeräten verwendet werden. Wenn auch an den Regelsignaleingang ein Wechsellspannungssignal angelegt wird, können derartige Schaltungen als Multiplizierer, Modulatoren oder Demulatoren verwendet werden.

Derartige Schaltungen, z.B. nach der US-PS 3 684 974, bestehen im allgemeinen aus einem einseitig oder differentiell angesteuerten Differenzpaar mit einer Stromverteilerschaltung in jedem der Kollektoren beider Transistoren dieses Differenzpaares. Diese Stromverteilerschaltungen enthalten je zwei Transistoren, deren Emitter mit dem Kollektor desjenigen Transistors verbunden sind, in dessen Kollektorkreis sie aufgenommen sind. Die Basis eines der beiden Transistoren der einen Stromverteilerschaltung ist dabei mit der Basis eines der Transistoren der anderen Stromverteilerschaltung verbunden, während die Basis-Elektroden der beiden anderen Transistoren gleichfalls miteinander verbunden sind. Durch das Anlegen einer Spannung zwischen den beiden Paaren miteinander verbundener Basis-Elektroden können die Stromverteilungsfaktoren der beiden Stromverteilerschaltungen gesteuert werden. Ein Ausgangssignal mit einer von einer Stromverteilung unabhängigen Gleichstromkomponente wird dadurch erhalten, dass der Kollektor des einen Transistors der einen Stromverteilerschaltung mit dem Kollektor des anderen Transistors der anderen Stromverteilerschaltung verbunden wird. Wenn der Verstärkungsfaktor des Eingangsdifferenzpaares A und der Stromverteilungsfaktor K ist (wobei $0 \leq K \leq 1$ ist), ist die Verstärkung gleich AK . Wenn ein zweiter Ausgang durch eine Verbindung zwischen dem Kollektor des anderen Transistors der einen Stromverteilerschaltung und dem Kollektor des einen Transistors der anderen Stromverteilerschaltung gebildet wird, ist die Verstärkung zu diesem zweiten Ausgang gleich $(1 - K) A$. Eine derartige Verstärkerschaltung kann dann als zwei Verstärker mit Verstärkungsfaktoren AK bzw. $(1 - K) A$ und (einem) gemeinsamen Eingang (Eingängen) aufgefasst werden.

Bei einem derartigen Verstärker wird der Verstärkungsfaktor durch den Term A mitbestimmt, der von den verwendeten Komponenten, somit u.a. von der Temperatur, der Ungleichheit der Komponenten und der Nichtlinearität des Eingangsdifferenzpaares, abhängig ist, wodurch u.a. Drift und Verzerrung des Signals auftreten.

Es ist bekannt, die genannte Abhängigkeit durch die Anwendung von Gegenkopplung in hohem Masse zu eliminieren. Der Gegenkopplungsfaktor bestimmt dann den Verstärkungsfaktor. Durch eine Gegenkopplung zwischen dem Ausgang und dem Eingang einer Verstärkerschaltung vom genannten Typ würde aber auch der Einfluss der Stromverteilerschaltung, somit der Faktor K, eliminiert werden, wodurch die Verstärkerschaltung nicht mehr regelbar wäre.

Aus der DE-PS 22 62 580 ist es bekannt, dass um einen Faktor AK verstärkte Signal als Ausgangssignal und das um den Faktor $A(1 - K)$ verstärkte Signal als Gegenkopplungssignal zu benutzen. Wenn in einem derartigen Fall die Gegenkopplung maximal und das Eingangssignal gleich V_i ist, gilt für das Ausgangssignal V_u :

$$V_u = \frac{AK}{1 + A(1 - K)} V_i$$

Für K etwa gleich 1 gilt annähernd:

$$V_u = AK V_i$$

In diesem Falle ist die Gegenkopplung nahezu unwirksam.

Für K etwa gleich 0 und sehr grosses A gilt annähernd:

$$V_u = K V_i$$

In diesem Falle ist die Gegenkopplung optimal.

Der Nachteil einer derartigen Gegenkopplung ist, dass das Ausmass der Gegenkopplung von dem regelbaren Faktor

K abhängig ist, was jedoch für gewisse Anwendungen günstiger als das Fehlen einer Gegenkopplung ist.

Aus der US-PS 3 875 522 ist eine Verstärkerschaltung mit regelbarer Verstärkung und mit einer k-unabhängigen Gegenkopplung bekannt. Diese Verstärkerschaltung enthält ein erstes und ein zweites Paar emittergekoppelter Transistoren, wobei die Kollektoren der ersten Transistoren beider Paare zusammen den Ausgang bilden, während die Basis-Elektroden dieser ersten Transistoren zwei unabhängige Eingänge bilden. Die Gegenkopplung wird dadurch hergestellt, dass der Ausgang mit den Basis-Elektroden der zweiten Transistoren beider Paare verbunden ist. Der Verstärkungsfaktor kann dabei dadurch geregelt werden, dass die den miteinander verbundenen Emittoren der beiden Paare zugeführten Ruhestrome in bezug aufeinander geregelt werden. Bei dieser Verstärkerschaltung ist die Gegenkopplung optimal. Da es sich hier aber um eine Steilheitsregelung handelt, führt die Nichtlinearität der Transistoren der beiden Paare doch zu Verzerrungen, vor allem an den Grenzen des Regelbereiches, an denen stets einem der beiden Paare ein verhältnismässig niedriger Ruhestrom zugeführt wird.

Die Erfindung bezweckt, eine Verstärkerschaltung der eingangs genannten Art, also ohne Steilheitsregelung, mit einer k-unabhängigen Gegenkopplung zu schaffen. Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Signalstromquellenanordnung einen ersten Spannungs-Stromwandler mit einem ersten in bezug auf den Ausgang der Verstärkerschaltung invertierenden Eingang und einem zweiten Eingang, der einen ersten Signalspannungseingang der Verstärkerschaltung bildet, sowie einen zweiten Spannungs-Stromwandler enthält mit wenigstens einem ersten in bezug auf den Ausgang der Verstärkerschaltung invertierenden Eingang, wobei die ersten Eingänge des ersten und des zweiten Spannungs-Stromwandlers mit dem Ausgang der Verstärkerschaltung verbunden sind.

Wenn das Signal am Signaleingang des ersten Spannungs-Stromwandlers gleich V_{i1} ist und der zweite Spannungs-Stromwandler einen Signaleingang mit einem Signal gleich V_{i2} aufweist, gilt für das Ausgangssignal V_s :

$$V_s = AKV_{i1} + A(1 - K) V_{i2}$$

Wenn dieses Signal in gegenkoppelndem Sinne völlig den beiden Spannungs-Stromwandlern zugeführt wird, gilt für $A \gg 1$ mit Substitutionen von V_{i1} bzw. V_{i2} durch $(V_{i1} - V_s)$ bzw. $(V_{i2} - V_s)$ im vorhergehenden Ausdruck:

$$V_s = KV_{i1} + (1 - K)V_{i2}$$

Dabei sei bemerkt, dass der Signaleingang des zweiten Spannungs-Stromwandlers nicht notwendigerweise vorhanden zu sein braucht. In diesem Falle gilt:

$$V_s = KV_{i1}$$

Dabei sei bemerkt, dass die Verstärkerschaltung nach der Erfindung nicht auf Schaltungen mit Bipolartransistoren beschränkt ist. Wenn z.B. Feldeffekttransistoren verwendet werden, ist unter Basis-, Emitter- bzw. Kollektor-Elektrode Gate-, Source- bzw. Drain-Elektrode zu verstehen.

Die Erfindung wird nachstehend beispielsweise anhand der Zeichnung näher erläutert, deren einzige Figur eine bevorzugte Ausführungsform einer Verstärkerschaltung nach der Erfindung zeigt.

Diese Ausführungsform enthält einen ersten Spannungs-Stromwandler mit einem Transistor T_1 , dessen Basis mit dem Ausgang 16 eines Verstärkers V_1 verbunden ist, dessen nicht-invertierender Eingang den Signaleingang 2 bildet und dessen

invertierender Eingang 5 mit dem Emitter 7 des Transistors T_1 verbunden ist. Der Emitter 7 des Transistors T_1 ist mit einer Ruhestromquelle, die aus dem Transistor T_7 und dem Widerstand R_3 besteht, und über einen Widerstand R_1 mit dem Gegenkopplungseingang 1 verbunden.

Ein zweiter Spannungs-Stromwandler enthält einen Transistor T_2 , dessen Basis mit dem Ausgang 17 des Verstärkers V_2 verbunden ist, dessen nichtinvertierender Eingang den Signaleingang 3 bildet und dessen invertierender Eingang 6 mit dem Emitter 8 des Transistors T_2 verbunden ist. Der Emitter 8 des Transistors T_2 ist mit einer Ruhestromquelle mit Transistor T_9 und Widerstand R_7 und über einen Widerstand R_2 mit dem Gegenkopplungseingang 1 verbunden.

Die Kollektor-Elektrode des Transistors T_1 ist mit den gemeinsamen Emitter-Elektroden der Transistoren T_3 und T_4 verbunden, die eine Stromverteilerschaltung bilden. Die Basis-Elektroden dieser Transistoren T_3 und T_4 sind mit Regelsignaleingängen 10 bzw. 9 verbunden. Auf ähnliche Weise ist der Kollektor des Transistors T_2 mit den gemeinsamen Emitter-Elektroden der Transistoren T_5 und T_6 verbunden, die eine zweite Stromverteilerschaltung bilden. Die Basis-Elektroden der Transistoren T_5 und T_6 sind mit Regelsignaleingängen 9 bzw. 10 verbunden. Die Kollektor-Elektroden der Transistoren T_4 und T_6 sind mit dem Speiseanschlusspunkt $+V_B$ und die Kollektor-Elektroden der Transistoren T_3 und T_5 sind mit dem Eingang 11 einer Stromspiegelschaltung verbunden, die aus Transistoren T_{11} , T_{12} und T_{13} und Widerständen R_3 und R_4 besteht. Der Ausgang 12 der Stromspiegelschaltung ist mit einer Ruhestromquelle, die aus dem Transistor T_8 und dem Widerstand R_6 besteht, und mit dem nichtinvertierenden Eingang eines Differenzverstärkers V_3 verbunden, dessen Ausgang 15 mit dem Gegenkopplungseingang 1 verbunden ist. Dieser Differenzverstärker V_3 ist als Spannungsfolger geschaltet, dadurch, dass der invertierende Eingang 14 mit dem Ausgang 15 verbunden ist.

Die Stromquellentransistoren T_7 , T_8 und T_9 werden dadurch auf einen bestimmten Gleichstrom eingestellt, dass zwischen den Speiseanschlusspunkten $+V_B$ und $-V_B$ eine Reihenschaltung des Widerstandes R_9 , des als Diode geschalteten Transistors T_{10} und des Widerstandes R_8 angeordnet ist. Die Spannung über der Diode T_{10} und dem Widerstand R_8 wird den Basis-Elektroden der Transistoren T_7 , T_8 und T_9 zugeführt.

Eine Eingangssignalspannung V_{i1} am Eingang 2 ist, weil der Verstärker V_1 über den Basis-Emitter-Übergang des Transistors T_1 gekoppelt ist, auch am Emitter 7 des Transistors T_1 vorhanden. Auf gleiche Weise ist eine Signaleingangsspannung V_{i2} am Eingang 3 auch an dem Emitter 8 des Transistors T_2 vorhanden. Über dem Widerstand R_1 ist also eine Signalspannung $V_{i1} - V_u$ und über dem Widerstand R_2 ist

eine Signalspannung $V_{i2} - V_u$ vorhanden, wobei V_u die Spannung am Gegenkopplungseingang 1 ist. Wenn die Widerstände R_1 und R_2 einen Widerstandswert gleich R_0 aufweisen, ist der Kollektorsignalstrom des Transistors T_1 gleich $(V_{i1} - V_u)/R_0$ und der Kollektorsignalstrom des Transistors T_2 gleich $(V_{i2} - V_u)/R_0$.

Die Zusammenschaltung des Transistors T_1 , des Differenzverstärkers V_1 und des Widerstandes R_1 , ebenso wie die des Transistors T_2 , des Differenzverstärkers V_2 und des Widerstandes R_2 , kann als ein Spannungs-Stromwandler beschrieben werden. Die Spannung $V_{i1} - V_u$ wird über einen Widerstand R_1 in einen Strom

$$\frac{V_{i1} - V_u}{R_0}$$

umgewandelt. Diese Umwandlung kann auch mit Wandlern anderer Art erfolgen.

Die Kollektorströme der Transistoren T_3 und T_4 , ebenso wie die der Transistoren T_5 und T_6 , verhalten sich wie $K:1-K$, wobei K durch die Spannung zwischen den Eingängen 9 und 10 bestimmt wird. Der Eingangssignalstrom am Eingang 11 des Stromspiegels und, falls der Stromspiegel einen Verstärkungsfaktor gleich 1 aufweist, auch am Ausgang 12 dieses Stromspiegel ist dann gleich:

$$K \frac{(V_{i1} - V_u)}{R_0} + (1 - K) \frac{(V_{i2} - V_u)}{R_0}$$

Wenn die Signalimpedanz, die durch die Kollektorimpedanz des Transistors T_8 und die zu dieser parallelgeschalteten Eingangsimpedanz des Verstärkers V_3 gebildet wird, einen Wert R_t aufweist, gilt für die Spannung V_u am Ausgang 15 bzw. am Gegenkopplungseingang:

$$V_u = K \frac{R_t}{R_0} \cdot n(V_{i1} - V_u) + (1 - K) \frac{R_t}{R_0} \cdot n(V_{i2} - V_u),$$

wobei n die Verstärkung des Stromspiegels und die Basisstromverluste der Transistoren T_1 , T_2 , T_3 und T_5 darstellt.

Wenn gilt, dass der Faktor $R_t/R_0 \cdot n$ viel grösser als 1 ist, wird für V_u gefunden:

$$V_u = K V_{i1} + (1 - K) V_{i2}.$$

Wenn die Kollektorströme der Transistoren T_7 , T_8 und T_9 gleich sind, abgesehen von Basisstromverlusten, der Ruhestrom am Ausgang 12 des Stromspiegels gleich dem Kollektorstrom des Transistors T_8 .

