



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 14 529 T2** 2004.08.05

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 963 037 B1**

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: **H03F 1/32**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 14 529.5**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 110 219.5**

(96) Europäischer Anmeldetag: **26.05.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **08.12.1999**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **04.02.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **05.08.2004**

(30) Unionspriorität:

**88002                      01.06.1998                      US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**DE, FR, GB**

(73) Patentinhaber:

**Motorola, Inc., Schaumburg, Ill., US**

(72) Erfinder:

**Finol, Jesus L., Gilbert, US; Lovelace, David K.,  
Chandler, US**

(74) Vertreter:

**SCHUMACHER & WILLSAU,  
Patentanwaltssozietät, 80335 München**

(54) Bezeichnung: **Verstärker zur Unterdrückung von Verzerrung durch Kombination von hyperbolischen Tangente- und hyperbolischen Sinustransfunktionsfunktionen**

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

## Hintergrund der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich im Allgemeinen auf Verstärker und im Besonderen auf einen Verstärker, der eine hyperbolische Tangensübertragungsfunktion mit einer hyperbolischen Sinusübertragungsfunktion verbindet, um Verzerrungen zu unterdrücken.

[0002] Verstärker werden gewöhnlich in einer Vielzahl von Anwendungen verwendet, um ein Eingangssignal zu verstärken und ein verstärktes Ausgangssignal zur Verfügung zu stellen. Verstärker arbeiten oft differentiell. Typische Endanwendungen für Differentialverstärker umfassen Radiofrequenz (RF)-Transceiver, Zellulartelefone, Pager, schnurlose Telefone, Filter und andere drahtlose Kommunikationseinrichtungen.

[0003] Ein wichtiges Merkmal von Differentialverstärkern besteht darin, über einen weiten Bereich von Eingangssignalamplituden einen linearen Betrieb beizubehalten. Beim Betrieb in seinem linearen Bereich stellt ein Differentialverstärker ein Ausgangssignal zur Verfügung, das zu dem Eingangssignal proportional ist, wobei die Proportionalität durch die Verstärkung des Verstärkers bestimmt wird. Die meisten Differentialverstärker nach dem Stand der Technik arbeiten über einen schmalen Bereich von Eingangssignalamplituden linear. Wenn der Verstärker außerhalb seines linearen Bereichs arbeitet, unterliegt das Ausgangssignal nichtlinearer Verzerrung und Rauschen.

[0004] Eine Technik nach dem Stand der Technik zum Vergrößern des linearen Bereichs des Differentialverstärkers umfasst das Platzieren von Degenerierungswiderständen ("degeneration registers") in den Emittern des Differentialtransistorpaares. Bedauerlicherweise haben die Degenerierungswiderstände auch den unerwünschten Effekt, die Verstärkung des Differentialverstärkers zu verringern und das Rauschverhalten zu erhöhen.

[0005] Somit existiert ein Bedarf an einen Differentialverstärker, der über einen weiten Bereich von Eingangssignalen einen linearen Betrieb mit hoher Verstärkung und niedrigem Rauschverhalten hat. Eine Verstärkungsschaltung gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1 ist aus dem Dokument US-A-4 247 825 bekannt.

## Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0006] **Fig. 1** stellt ein Blockdiagramm eines Verstärkers dar, der eine hyperbolische Tangens- und eine hyperbolische Sinusübertragungsfunktion verknüpft;

[0007] **Fig. 2** ist eine Wellenformdarstellung, die für die Erklärung der Funktion der Schaltung in **Fig. 1** nützlich ist; und

[0008] **Fig. 3** ist ein schematisches Diagramm eines Differentialverstärkers gemäß der Erfindung.

## Beschreibung einer bevorzugten Ausführungsform

[0009] Unter Bezug auf **Fig. 1** wird eine Verstärkungsschaltung **10** gezeigt, die für die Fertigung als integrierte Schaltung durch Verwenden konventioneller integrierter Schaltungsprozesse geeignet ist. Ein Eingangssignal  $V_{IN}$  wird den Dämpfungsgliedern **12** und **14** zugeführt, die wiederum die gedämpften Eingangssignale  $V_{12}$  und  $V_{14}$  zur Verfügung stellen. Die Eingangssignale  $V_{12}$  und  $V_{14}$  werden somit unabhängig gedämpft. Das gedämpfte Eingangssignal  $V_{12}$  wird durch den hyperbolischen Tangensverstärker ( $\tanh$ ) **16** verarbeitet. Die Gegenwirkleitwertübertragungsfunktion des Verstärkers **16** wird in **Fig. 2** als die Wellenform **20** gezeigt, die einer  $\tanh$ -Funktion mit einem linearen und einem nicht-linearen Bereich folgt. Das gedämpfte Eingangssignal  $V_{14}$  wird durch den hyperbolischen Sinus( $\sinh$ )-Verstärker **18** verarbeitet. Die Gegenwirkleitwertübertragungsfunktion des Verstärkers **18** wird in **Fig. 2** als die Wellenform **22** gezeigt, die einer  $\sinh$ -Funktion mit einem linearen und einem nicht-linearen Bereich folgt. Der Ausgangsstrom  $I_{16}$  des  $\tanh$ -Verstärkers **16** und der Ausgangsstrom  $I_{18}$  des  $\sinh$ -Verstärkers **18** fließen in die Eingänge des Summenknotens **26**. Der Summenknoten **26** verknüpft oder summiert die Ausgangsströme des Verstärkers **16** und **18** und stellt den Ausgangsstrom  $I_{OUT} = I_{16} + I_{18}$  zur Verfügung.

[0010] Die Gesamtgegenwirkleitwertübertragungsfunktion der Verstärkungsschaltung **10** wird in **Fig. 2** als Wellenformdarstellung **28** als die Summe der Wellenformdarstellung **20** und der Wellenformdarstellung **22** gezeigt. Der nicht-lineare Bereich der Wellenformdarstellung **20** wird gegen den nichtlinearen Bereich der Wellenformdarstellung **22** aufgehoben. Die Gegenwirkleitwertverstärkung  $I_{OUT}/V_{IN}$  der Verstärkungsschaltung **10**, die den Ausgang eines  $\tanh$ -Verstärkers und den Ausgang eines  $\sinh$ -Verstärkers verknüpft, ist über einen weiteren Bereich der Eingangssignale  $V_{IN}$  linear, als dies mit einem  $\tanh$ -Verstärker oder nur einem  $\sinh$ -Verstärker erlangt werden kann.

[0011] In einer alternativen Ausführungsform kann die Verknüpfung der Ausgangsströme  $I_{16}$  und  $I_{18}$  durch andere Mittel erreicht werden, vorausgesetzt, dass sich der nicht-lineare Bereich der  $\tanh$ -Übertragungsfunktion mit dem nichtlinearen Bereich der  $\sinh$ -Übertragungsfunktion aufhebt. Außerdem ist es, wie unten diskutiert,

in einigen Anwendungen wünschenswert, dass die Dämpfungsglieder **12** und **14** regelbar sind.

[0012] Wir wenden uns **Fig. 3** zu, darin werden weitere Details der Dämpfungsglieder **12** und **14** und des tanh-Verstärkers **16** und des sinh-Verstärkers **18** in einer Differentialkonfiguration gezeigt. Das Differentialeingangssignal  $V_{IN}$ , in der Größenordnung von 1 Volt, wird dem Widerstandsteilernetzwerk **30, 31, 32, 33** und **34** zugeführt. Die Spannung über dem Widerstand **34** stellt die gedämpfte Spannung  $V_{12}$  und die Spannung über den Widerständen **32, 33** und **34** die gedämpfte Spannung  $V_{14}$  dar. Andere Dämpfungsschaltungen, die ein Eingangssignal dämpfen, können für das Widerstandsteilernetzwerk **30–34** eingesetzt werden.

[0013] Der Verstärker **16** hat eine hyperbolische Tangensgegenwärtigkeitwertübertragungsfunktion. Der tanh-Verstärker **16** umfasst die Differentialtransistoren **36** und **38**. Die Stromquelle **40** steht in Beziehung zu dem Stromversorgungsleiter **42**, der bei Erdspannung arbeitet. Der Kollektor des Transistors **36** ist mit dem Knoten **44** gekoppelt, und der Kollektor des Transistors **38** ist mit dem Knoten **46** gekoppelt. Die Knoten **44** und **46** sind die Verknüpfungsschaltung oder Summenknoten an dem ersten und zweiten Ausgang des Differentialverstärkers **10**, der die Eingangsströme verknüpft, die in die Summenknoten fließen.

[0014] Wenn die Spannung an der Basis des Transistors **36** differentiell zu- und die Spannung an der Basis des Transistors **38** differentiell abnimmt, nimmt der Strom  $I_{36}$  zu und der Strom  $I_{38}$  ab. Wenn alternativ die Spannung an der Basis des Transistors **36** differentiell ab- und die Spannung an der Basis des Transistors **38** differentiell zunimmt, nimmt der Strom  $I_{36}$  ab und der Strom  $I_{38}$  zu. Die Summe der Ströme  $I_{36}$  und  $I_{38}$  bleibt gleich dem Strom  $I_{40}$ .

[0015] Der tanh-Verstärker **16** hat eine Gegenwärtigkeitwertübertragungsfunktion wie in der Wellenform **20** in **Fig. 2** gezeigt und wird wie folgt angegeben:

$$I_{DIFF1} = I_{40} \cdot \tanh(V_{IN}/2V_t) \quad (1)$$

wobei:  $I_{DIFF1} = I_{36} - I_{38}$

$V_t$  ist die thermische Transistorschwellenspannung (**25** Millivolt bei  $25^\circ\text{C}$ )

[0016] Der Strom  $I_{40}$  ist regelbar, um die Steigung der Wellenformdarstellung **20** und die zugehörige Verstärkung des Verstärkers **16** zu steuern.

[0017] Der Verstärker **18** hat eine hyperbolische Sinusgegenwärtigkeitwertübertragungsfunktion. Der sinh-Verstärker **18** umfasst die Transistoren **50** und **52**. Die Kollektoren der Transistoren **50** und **52** sind jeweils mit den Summenknoten **44** und **46** gekoppelt. Wenn die Spannung an der Basis des Transistors **50** zunimmt, nimmt die Emitterspannung des Transistors **50** an dem Knoten **54** entsprechend zu. Der Transistor **56** leitet einen Strom  $I_{58}$ , der durch die Stromquelle **58** bestimmt wird. Wenn die Spannung an dem Knoten **54** zunimmt, muss die Spannung an der Basis des Transistors **56** zunehmen, um die Basisemitterspannung ( $V_{be}$ ) des Transistors **56** zu erhalten, so dass der Transistor **56** fortfährt, den Strom  $I_{58}$  zu leiten.

[0018] Die Spannung an der Basis des Transistors **52** nimmt ab, wenn die Spannung an der Basis des Transistors **50** zunimmt. Die Emitterspannung des Transistors **52** an dem Knoten **64** nimmt entsprechend ab. Der Transistor **62** leitet einen Strom  $I_{70}$ , der durch die Stromquelle **70** bestimmt wird. Wenn die Spannung an dem Knoten **64** abnimmt, muss die Spannung an der Basis des Transistors **62** abnehmen, um die  $V_{be}$  des Transistors **62** zu erhalten, so dass der Transistor **62** fortfährt, den Strom  $I_{70}$  zu leiten. Mit zunehmender Basisspannung des Transistors **72** und abnehmender Basisspannung des Transistors **74** leitet der Transistor **72** weniger und der Transistor **74** mehr Strom. Der Transistor **50** leitet den Strom  $I_{50}$ , der gleich dem Strom  $I_{58}$  plus dem Strom ist, der durch den Transistor **74** fließt. Der Transistor **52** leitet den Strom  $I_{52}$ , der gleich dem Strom  $I_{70}$  plus dem Strom ist, der durch den Transistor **72** fließt. Entsprechend nimmt der Strom  $I_{50}$  in Reaktion auf das differentielle Eingangssignal zu und der Strom  $I_{52}$  ab.

[0019] Wenn die Spannung an der Basis des Transistors **50** abnimmt, nimmt die Emitterspannung des Transistors **50** an dem Knoten **54** entsprechend ab. Wenn die Spannung an dem Knoten **54** abnimmt, muss die Spannung an der Basis des Transistors **56** abnehmen, um die  $V_{be}$  des Transistors **56** zu erhalten, so dass der Transistor **56** fortfährt, den Strom  $I_{58}$  zu leiten. Die Spannung an der Basis des Transistors **52** nimmt zu, wenn die Spannung an der Basis des Transistors **50** abnimmt. Die Emitterspannung des Transistors **52** an dem Knoten **64** nimmt entsprechend zu. Wenn die Spannung an dem Knoten **64** zunimmt, muss die Spannung an der Basis des Transistors **62** zunehmen, um die  $V_{be}$  des Transistors **62** zu erhalten, so dass der Transistor **62** fortfährt, den Strom  $I_{70}$  zu leiten. Mit abnehmender Basisspannung des Transistors **72** und zunehmender Basisspannung des Transistors **74** leitet der Transistor **72** mehr und der Transistor **74** weniger Strom. In Reaktion auf das differentielle Eingangssignal nimmt der Strom  $I_{50}$  ab und der Strom  $I_{52}$  zu.

[0020] Der sinh-Verstärker **18** hat eine Gegenwärtigkeitwertübertragungsfunktion, wie in der Wellenform **22** in **Fig. 2** gezeigt, und wird wie folgt angegeben:

$$I_{DIFF2} = 2 \cdot I_{58} \cdot \sinh(V_{IN}/2V_t) \quad (2)$$

wobei:  $I_{DIFF2} = I_{50} - I_{52}$

$I_{58}$  ist gleich  $I_{70}$

[0021] Die Ströme  $I_{58}$  und  $I_{70}$  sind regelbar, um die Steigung der Wellenformdarstellung **22** und die zugehörige Verstärkung des Verstärkers **18** zu steuern.

[0022] Die Ströme  $I_{50}$  und  $I_{52}$  fließen jeweils in die Summenknoten **44** und **46**. Somit ist der Ausgangsstrom  $I_{OUT1} = I_{36} + I_{50}$  und der Ausgangsstrom  $I_{OUT2} = I_{38} + I_{52}$ . Der Ausgangsstrom  $I_{OUT}$  der Verstärkungsschaltung **10** in **Fig. 1** wird als  $I_{OUT} = I_{OUT1} - I_{OUT2}$  angegeben, oder entsprechend als

$$I_{OUT} = A \tanh (B \cdot V_{IN}) + C \sinh (D \cdot V_{IN}) \quad (3)$$

$$= I_{40} * \tanh (B \cdot V_{IN} / 2V_t) + 2 \cdot I_{58} * \sinh (D \cdot V_{IN} / 2V_t) \quad (4)$$

wobei: A durch  $I_{40}$  bestimmt wird

B durch das Dämpfungsglied **12** bestimmt wird

C durch  $I_{58}$  bestimmt wird

D durch das Dämpfungsglied **14** bestimmt wird

[0023] Die Parameter A, B, C und D sind regelbar, um den linearen Arbeitsbereich des Eingangssignals  $V_{IN}$  zu maximieren. In einem Beispiel werden jeder der Ströme  $I_{40}$ ,  $I_{58}$  und  $I_{70}$  auf Werte zwischen 100 Mikroampere und 1 Milliampere gesetzt. Der Parameter B wird auf einen Wert von 0.5 und der Parameter D auf einen Wert von 0.9 gesetzt. Durch Verknüpfen des Betriebs des tanh-Verstärkers und des sinh-Verstärkers und Summieren des Ergebnisses nimmt der Bereich des linearen Betriebs für das Eingangssignal zu.

[0024] Zusammenfassend stellt die vorliegende Erfindung, wie in den angehängten Ansprüchen dargelegt, einen Differentialverstärker zur Verfügung, der einen tanh-Verstärker und einen sinh-Verstärker umfasst, die jeweils ein Eingangssignal empfangen. Die Eingangssignale in den tanh-Verstärker und den sinh-Verstärker werden unabhängig gedämpft. Die Übertragungsfunktion des tanh-Verstärkers und des sinh-Verstärkers haben jeweils einen linearen Bereich und einen nicht-linearen Bereich. Die Ausgänge des tanh-Verstärkers und des sinh-Verstärkers werden summiert, so dass sich der nicht-lineare Bereich des tanh-Verstärkers mit dem nichtlinearen Bereich des sinh-Verstärkers aufhebt. Die Gesamtübertragungsfunktion des Differentialverstärkers ist durch die Aufhebung der nicht-linearen Bereiche über einen weiten Bereich von Eingangssignalamplituden linear.

### Patentansprüche

1. Verstärkungsschaltung, die einen Eingang zum Empfangen eines Eingangssignals und einen Ausgang zum Bereitstellen eines Ausgangssignals hat, wobei die Verstärkungsschaltung folgendes umfasst: einen ersten Verstärker (**16**), der eine hyperbolische Tangensgegenwertübertragungsfunktion und einen Eingang hat, der so gekoppelt ist, dass er das Eingangssignal empfängt, einen zweiten Verstärker (**18**), der eine hyperbolische Sinusgegenwertübertragungsfunktion und einen Eingang hat, der so gekoppelt ist, dass er das Eingangssignal empfängt, und eine Verknüpfungsschaltung (**26**) mit einem ersten und zweiten Eingang, die mit den Ausgängen des jeweils ersten und zweiten Verstärkers gekoppelt sind und die einen Ausgang zum Bereitstellen des Ausgangssignals der Verstärkungsschaltung hat, wobei der zweite Verstärker folgendes umfasst:

einen ersten Transistor (**50**), der einen ersten Leitungsanschluss hat, der mit einem ersten Summenknoten (**44**) gekoppelt ist, und einen Steuerungsanschluss hat, der so gekoppelt ist, dass er eine erste Komponente des Eingangssignals empfängt;

einen zweiten Transistor (**52**), der einen ersten Leitungsanschluss hat, der mit einem zweiten Summenknoten (**46**) gekoppelt ist, und einen Steuerungsanschluss hat, der so gekoppelt ist, dass er eine zweite Komponente des Eingangssignals empfängt;

wobei der erste Leitungsanschluss des ersten und zweiten Transistors den Ausgang des zweiten Verstärkers zur Verfügung stellt, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zweite Verstärker weiterhin folgendes umfasst:

einen dritten Transistor (**56**), der einen ersten Leitungsanschluss hat, der mit einem zweiten Leitungsanschluss des ersten Transistors gekoppelt ist, und einen zweiten Leitungsanschluss hat, der mit einem Steuerungsanschluss des dritten Transistors gekoppelt ist;

einen vierten Transistor (**72**), der einen ersten Leitungsanschluss hat, der mit einem zweiten Leitungsanschluss des zweiten Transistors gekoppelt ist, und einen zweiten Leitungsanschluss hat, der mit einer ersten Stromversorgungsleitung gekoppelt ist, und einen Steuerungsanschluss hat, der mit dem Steuerungsanschluss des dritten Transistors gekoppelt ist;

eine erste Stromquelle (**58**), die einen Ausgang hat, der mit dem zweiten Leitungsanschluss des dritten Transistors gekoppelt ist;

einen fünften Transistor (**62**), der einen ersten Leitungsanschluss hat, der mit dem zweiten Leitungsanschluss des zweiten Transistors gekoppelt ist, und einen zweiten Leitungsanschluss hat, der mit einem Steuerungsan-

schluss des fünften Transistors gekoppelt ist;

einen sechsten Transistor (**74**), der einen ersten Leitungsanschluss hat; der mit dem zweiten Leitungsanschluss des ersten Transistors gekoppelt ist, einen zweiten Leitungsanschluss hat, der mit der ersten Stromversorgungsleitung gekoppelt ist, und einen Steuerungsanschluss hat, der mit dem Steuerungsanschluss des fünften Transistors gekoppelt ist; und

eine zweite Stromquelle (**70**), die einen Ausgang hat, der mit dem zweiten Leitungsanschluss des fünften Transistors gekoppelt ist.

2. Verstärkungsschaltung gemäß Anspruch 1, die weiterhin umfasst:

ein erstes Dämpfungsglied, das einen Eingang hat, der so gekoppelt ist, dass er das Eingangssignal und einen mit dem Eingang des ersten Verstärkers gekoppelten Ausgang empfängt; und

ein zweites Dämpfungsglied, das einen Eingang hat, der so gekoppelt ist, dass er das Eingangssignal und einen mit dem Eingang des zweiten Verstärkers gekoppelten Ausgang empfängt.

3. Verstärkungsschaltung gemäß Anspruch 1, wobei die Verknüpfungsschaltung die ersten und zweiten Summenknoten an dem ersten und zweiten Ausgang der Verstärkungsschaltung umfasst.

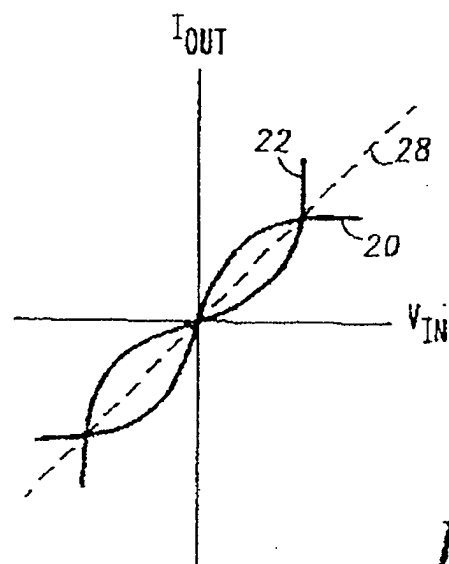
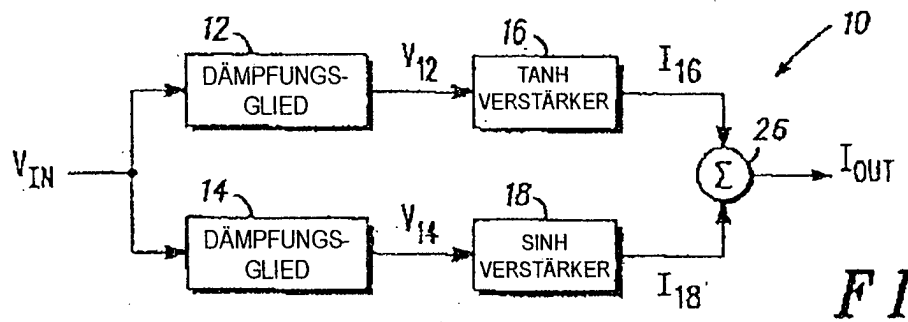
4. Verstärkungsschaltung gemäß Anspruch 3, wobei der erste Verstärker folgendes umfasst:

einen siebenten Transistor (**36**), der einen ersten Leitungsanschluss hat, der mit dem ersten Summenknoten gekoppelt ist, und einen Steuerungsanschluss hat, der so gekoppelt ist, dass er die erste Komponente des Eingangssignals empfängt;

einen achten Transistor (**38**), der einen ersten Leitungsanschluss hat, der mit dem zweiten Summenknoten gekoppelt ist, und einen Steuerungsanschluss hat, der so gekoppelt ist, dass er die zweite Komponente des Eingangssignals empfängt; und

eine dritte Stromquelle (**40**), die einen Ausgang hat, der mit dem zweiten Leitungsanschluss des siebenten Transistors und weiterhin mit dem zweiten Leitungsanschluss des achten Transistors gekoppelt ist.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen



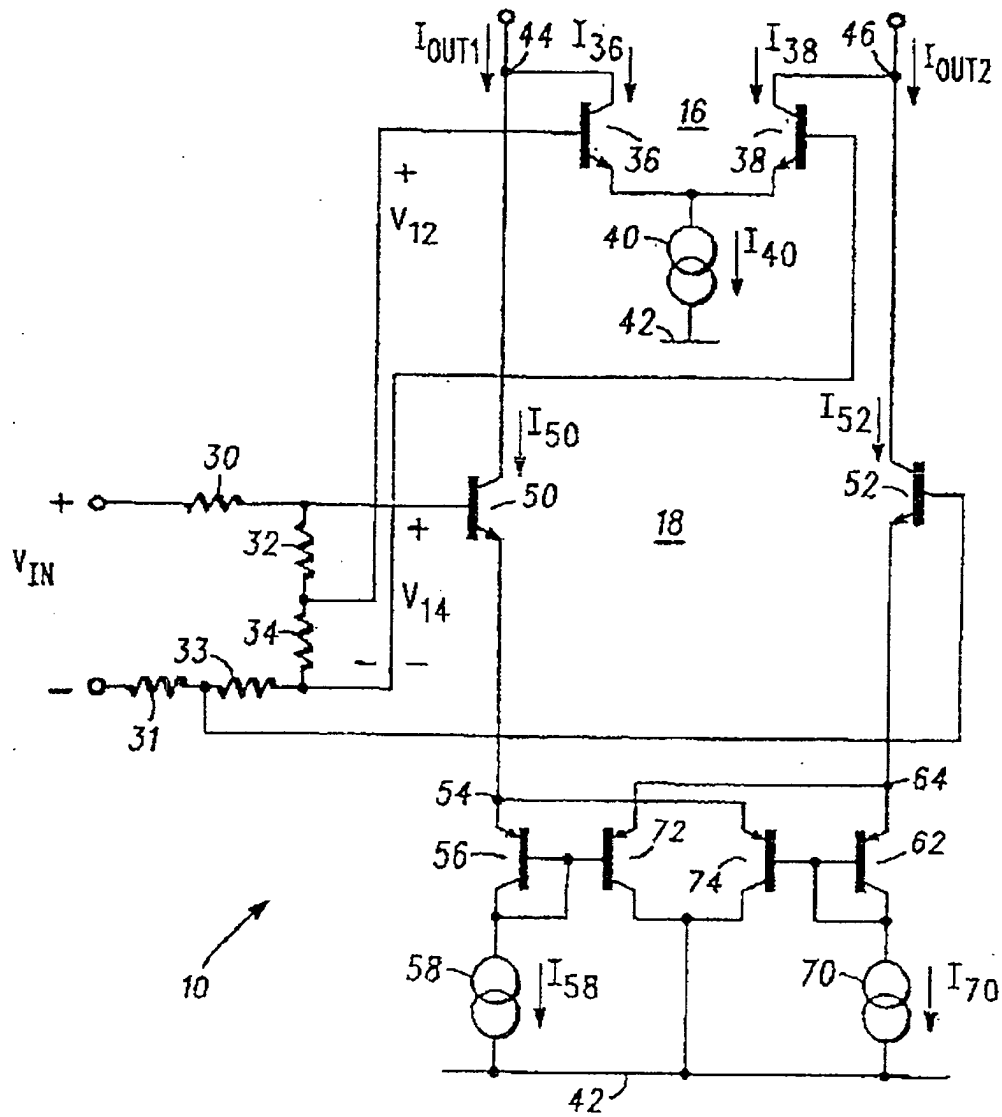


FIG. 3