



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 60 2004 010 771 T2 2008.12.04**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 528 667 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **60 2004 010 771.9**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **04 025 774.3**

(96) Europäischer Anmeldetag: **29.10.2004**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **04.05.2005**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **19.12.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **04.12.2008**

(51) Int Cl.⁸: **H03F 1/18 (2006.01)**

H03F 1/22 (2006.01)

H03F 3/19 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
2003372674 31.10.2003 JP

(73) Patentinhaber:
Sharp K.K., Osaka, JP

(74) Vertreter:
Müller - Hoffmann & Partner Patentanwälte, 81667 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB

(72) Erfinder:
Kawamura, Hiroshi, Kashihara-shi Nara 634-0805, JP

(54) Bezeichnung: **Einstellbarer Verstärker und mobiles, schnurloses Endgerät mit einem solchen Verstärker**

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

GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf variable Verstärker, die variable Gesamtcharakteristiken, einschließlich Verstärkung, Linearität und Rauschverhalten bieten, und bezieht sich auch auf mobile drahtlose Endgeräte, die einen solchen Verstärker für empfangene Signale verwenden.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0002] Mobile drahtlose Endgeräte müssen eine variable Empfangsleistung aufgreifen und die Übertragungsleistung einstellen. Um diese Bedürfnisse anzugehen, werden viele Verstärker mit variabler Verstärkung verwendet, um die Verstärkung zu verändern.

[0003] Diese Verstärker mit variabler Verstärkung in einer Empfängerschaltungsanordnung müssen das Rauschen auf ein Minimum verringern und eine große Verstärkung bereitstellen, wenn die Empfangsleistung niedrig ist. Bei hohen Empfangsleistungen müssen sie unter anderem eine hohe Linearität bereitstellen, um zu verhindern, dass die hohe Eingangsleistung das Ausgangssignal verzerrt.

[0004] Ein Beispiel eines Verstärkers mit variabler Verstärkung, der diese Anforderungen erfüllt, ist in "A Low-Noise Wideband Variable-Gain Amplifier Using an Interpolated Ladder Attenuator" ISSCC Digest of Technical Papers, S. 280–281, Feb. 1991 ("ISSCC Digest"), und Technical Report of Signal Science, Band 96, Nr. 462, ED 96–198, S. 9–14, 1997 ("Technical Report"), offenbart. Der Verstärker mit variabler Verstärkung erreicht ein geringes Rauschen bei großen Verstärkungen und eine hohe Linearität bei kleinen Verstärkungen durch eine kombinierte Verwendung eines Satzes von Verstärkern mit identischen Charakteristiken und mehreren Stufen von Dämpfern.

[0005] Wie in diesem Beispiel zu sehen ist, muss der Verstärker mit variabler Verstärkung in einer Empfängerschaltungsanordnung eines mobilen drahtlosen Endgeräts einen breiten Verstärkungsbereich, ein geringes Rauschen und eine hohe Linearität erreichen. Eine Differentialschaltungsanordnung kann in einem Verstärker mit variabler Verstärkung verwendet werden, um diese Ziele zu erreichen.

[0006] Ein weiterer Verstärker mit variabler Verstärkung ist in der japanischen ungeprüften Patentanmeldung 2002-252532 ("Tokukai 2002-252532"; veröffentlicht am 6. September 2002) offenbart. Der Verstärker enthält einen Eingangsabschnitt und einen Ausgangsabschnitt. Der Eingangsabschnitt enthält einen Satz von Verstärkerschaltungen mit variabler

Verstärkung, die jeweils eine mit einer Zunahme einer externen Spannungsabnahme abnehmende Verstärkung aufweisen und parallel geschaltet sind. In jeder Verstärkerschaltung mit variabler Verstärkung sind die Emitter der ersten und zweiten Transistoren mit einer Konstantstromquelle verbunden und sind auch über einen dazwischen liegenden Emitterwiderstand miteinander verbunden. In Reaktion auf ein Eingangssignal geben der erste und der zweite Transistor Kollektorströme über ihre Kollektoren aus. Beim Empfang der Kollektorstromeingänge vom Eingangsabschnitt erzeugt der Ausgangsabschnitt Ausgangssignale mit einer Verstärkung gemäß der Steuerspannung für die Ausgabe.

[0007] Die Verstärker mit variabler Verstärkung, die in ISSCC Digest, the Technical Report, und Tokukai 2002-252532, offenbart sind, sind jedoch dazu ausgelegt, ein Differenzeingangssignal zu verarbeiten. Sie können nicht direkt mit einer Signalquelle von Eintaktsignalen (unsymmetrischen Signalen) verbunden werden. Mit anderen Worten, wenn ein Verstärker mit variabler Verstärkung in eine Empfängerschaltungsanordnung eingebaut wird, gibt die Antenne, die die Signalquelle für den Verstärker mit variabler Verstärkung ist, Eintaktsignale aus. Wenn ein herkömmlicher Verstärker mit variabler Verstärkung in eine Empfängerschaltungsanordnung eingebaut ist, ist es somit wesentlich, ein Symmetrierglied vorzusehen, um das Eintaktsignal, das von der Antenne ausgegeben wird, in ein Differenzsignal umzusetzen. Das Symmetrierglied ist in einer integrierten Schaltung durch Siliciumverarbeitung schwierig herzustellen, was wiederum beim Integrieren der ganzen Empfängerschaltungsanordnung in eine einzelne integrierte Schaltung ein Problem ergibt, wenn der herkömmliche Verstärker mit variabler Verstärkung zusammen mit der Empfängerschaltungsanordnung verwendet wird. Wenn das Symmetrierglied mit einer Empfängerschaltungsanordnung verwendet werden soll, aber separat von der integrierten Schaltung als Chipkomponente eingebaut wird, benötigt die Empfängerschaltungsanordnung eine vergrößerte Montagefläche und Dicke bei der Montage. Wenn das Symmetrierglied mit der Empfängerschaltungsanordnung verwendet wird, verbraucht das Symmetrierglied außerdem einiges der Empfangsleistung, was die Empfangsempfindlichkeit und andere Qualitätsfaktoren verschlechtert.

[0008] Außerdem offenbart das Dokument US 2002/0113656 A1 einen Verstärker mit zwei oder mehr Verstärkungsstufen. Die hintere Verstärkungsstufe verstärkt ein Ausgangssignal eines Transistors der vorderen Stufe, der aus zwei oder mehr parallelen Transistoren besteht, deren Basisströme steuerbar sind.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0009] Die Erfindung hat zum Ziel, einen variablen Verstärker, der direkt mit einer Antenne, einem mit dieser gekoppelten Filter oder mit einer anderen Eintaktsignalquelle ohne dazwischen liegendes Symmetrierglied oder ähnliche Komponenten verbunden werden kann, und auch ein mobiles drahtloses Endgerät, das eine Empfängerschaltungsanordnung enthält, die eine verringerte Montagefläche und Dicke erfordert, aber eine ausgezeichnete Empfangsempfindlichkeit und andere Charakteristiken aufzuweisen hat, zu schaffen.

[0010] Gemäß der Erfindung wird diese Aufgabe durch einen variablen Verstärker gemäß Anspruch 1 und durch ein mobiles drahtloses Endgerät gemäß Anspruch 13 bewerkstelligt.

[0011] Vorteilhafte Weiterentwicklungen sind Gegenstand der beigefügten abhängigen Ansprüche.

[0012] Gemäß der Erfindung ist der variable Verstärker nicht differentiell, sondern liegt in einer einfachen Emitter-Konfiguration vor. Daher ist das Eingangssignal unsymmetrisch. Wenn er als Eintaktsignalquelle wie z. B. eine Antenne oder ein mit der Antenne verbundenes Filter verbunden ist, benötigt der variable Verstärker kein Symmetrierglied oder einen ähnlichen Eintakt/Differenz-Umsetzer. Der variable Verstärker kann daher direkt mit einer Eintaktsignalquelle gekoppelt werden. Durch geeignetes Regeln der Charakteristiken der Signalwege und geeignetes Steuern der Basisströme der Transistoren weist der variable Verstärker außerdem einen wünschenswerten Bereich einer variablen Verstärkung, einer Linearität, von Rauschen und anderen Charakteristiken auf.

[0013] Der Basisstrom-Steuerabschnitt steuert vorzugsweise die Basisströme der Transistoren, um die Gesamtverstärkung des variablen Verstärkers zu ändern. Folglich wird ein Verstärker mit variabler Verstärkung verwirklicht.

[0014] Die Wege umfassen vorzugsweise erste Signalwege und einen zweiten Signalweg, der ein Signal mit einem kleineren Signalverstärkungsfaktor und einer höheren Signalverstärkungslinearität als die ersten Signalwege verstärkt. Wenn dies der Fall ist, weist der zweite Signalweg vorzugsweise einen Dämpfer auf, der ein Signal zwischen dem zugehörigen der Transistoren und dem Eingangsanschluss dämpft.

[0015] Gemäß der Anordnung wird ein variabler Verstärker mit einer einfachen Struktur verwirklicht.

[0016] Der variable Verstärker der Erfindung kann ferner einen sekundären Transistor umfassen, des-

sen Emitter oder Source im Wesentlichen mit den Kollektoren der Transistoren verbunden ist. Die Basis oder das Gate des sekundären Transistors ist hinsichtlich Hochfrequenzkomponenten geerdet und der Kollektor oder Drain des sekundären Transistors ist im Wesentlichen mit einer Last verbunden.

[0017] Gemäß der obigen Anordnung sind die Transistoren im Wesentlichen mit dem sekundären Transistor in Kaskade geschaltet. Der variable Verstärker ist folglich in der Lage, einen Spiegeleffekt zu erleichtern, und verbessert den Bereich der variablen Verstärkung und Linearität.

[0018] Hier bezieht sich die "Erddung hinsichtlich Hochfrequenzkomponenten" auf die Verbindung mit einer Spannungsquelle mit einer ausreichend niedrigen Impedanz bei der Betriebsfrequenz. Um einen normalen Betrieb mit einer Basisschaltung mit in Kaskade geschalteten Komponenten zu erreichen, muss herkömmlich die Basis mit einer konstanten Spannung gekoppelt werden. Daher war es erwünscht, eine Spannungsquelle (Spannungserzeugungsschaltung), die die konstante Spannung zur Verbindung mit den Basen der Basisschaltung erzeugt, vorzusehen. Ein einfaches Verfahren zum Erzeugen einer gewünschten Spannung besteht darin, eine Quellenspannung zu teilen. Dies erfordert eine ausreichend niedrige Impedanz, die beispielsweise durch Leiten von fünfmal so viel Strom durch die Spannungsteilerwiderstände wie durch den Basisstrom der Basisschaltung oder Koppeln eines Kondensators mit der Basis der Basisschaltung für eine ausreichend niedrige Impedanz bei der Betriebsfrequenz erreicht werden kann.

[0019] Der variable Verstärker der Erfindung kann mehrere sekundäre Transistoren mit jeweils einem Emitter oder einem Source, der mit einem anderen der Kollektoren der Transistoren verbunden ist, umfassen.

[0020] Die Anordnung verhindert einen Signalverlust von nicht arbeitenden Basis-Emitter-Transistoren, wodurch eine hohe Signalisolation erreicht wird. Dies erweitert den Bereich der erhältlichen Verstärkung und verbessert die Linearität.

[0021] Der variable Verstärker der Erfindung kann ferner einen Spannungssteuerabschnitt umfassen, der die Basisspannung oder die Gatespannungen der sekundären Transistoren steuert.

[0022] Gemäß der Anordnung können die Basisspannungen oder Gatespannungen der sekundären Transistoren gemäß dem Betriebszustand der Basis-Emitter-Transistoren aktiv abgeschaltet werden. Dies verbessert die Charakteristiken weiter.

[0023] Der variable Verstärker der Erfindung kann

so ausgelegt sein, dass der Spannungssteuerabschnitt Basisspannungen oder Gatespannungen von im Wesentlichen Null für die sekundären Transistoren ermöglicht, wenn die Basisströme der Transistoren unter oder gleich einem vorbestimmten Pegel sind.

[0024] Die Anordnung mildert die Entwicklung der Verzerrung in den Basis-Emitter-Transistoren, wenn die Basisströme der Transistoren nahe Null liegen (abgeschaltet sind).

[0025] Der variable Verstärker der Erfindung kann so ausgelegt sein, dass die Transistoren jeweilige Einheitsverstärker bilden, und mindestens einer der Einheitsverstärker unterscheidet sich von anderen Einheitsverstärkern in einer Charakteristik.

[0026] Die Anordnung optimiert die Charakteristiken der Einheitsverstärker gemäß den Charakteristiken, die bei den individuellen Einheitsverstärkern erforderlich sind, wobei somit die Gesamtcharakteristiken des variablen Verstärkers erheblich verbessert werden.

[0027] Es ist bevorzugt, wenn die Transistoren jeweilige Einheitsverstärker bilden, die Wege erste Signalwege und einen zweiten Signalweg umfassen, der ein Signal mit einer kleineren Verstärkung als die ersten Signalwege verstärkt, und der Einheitsverstärker im zweiten Signalweg eine höhere Linearität aufweist als die Einheitsverstärker in den ersten Signalwegen. Eine höhere Linearität kann dem Einheitsverstärker im zweiten Signalweg als den Einheitsverstärkern in den ersten Signalwegen beispielsweise durch die folgenden Verfahren gegeben werden: (1) Eine negative Rückkopplung wird dem Transistor gegeben, der den Einheitsverstärker im zweiten Signalweg bildet, wohingegen keine negative Rückkopplung den Transistoren gegeben wird, die die Einheitsverstärker in den ersten Signalwegen bilden. (2) Die Stromdichte wird durch Konstruieren des Transistors, der den Einheitsverstärker im zweiten Signalweg bildet, mit einer kleineren Größe als die Transistoren, die die Einheitsverstärker in den ersten Signalwegen bilden, erhöht.

[0028] Der variable Verstärker der Erfindung kann so ausgelegt sein, dass der Basisstrom-Steuerabschnitt die Basisströme der Transistoren so steuert, dass ein kombinierter Stromverbrauch in den Transistoren gemäß einer Änderung eines Verhältnisses der Basisströme der Transistoren variiert.

[0029] Die Anordnung ermöglicht die Regelung des Stromverbrauchs in den Transistoren gemäß den Charakteristiken, die für die Einheitsverstärker erforderlich sind, die durch die Transistoren gebildet sind. Dies beseitigt den gesamten Stromverbrauch im variablen Verstärker.

[0030] Ein mobiles drahtloses Endgerät der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass es einen Verstärker umfasst, der ein empfangenes Signal verstärkt, und der Verstärker der variable Verstärker mit einer der vorangehenden Anordnungen ist.

[0031] Die Anordnung ermöglicht eine direkte Kopplung des Eingangs des variablen Verstärkers mit einer Antenne oder einem Bandpassfilter, das direkt mit der Antenne gekoppelt ist. Ein Symmetrierglied ist nicht mehr erforderlich, welches in mobilen drahtlosen Endgeräten, die um eine herkömmliche differentielle Verstärkerschaltung mit variabler Verstärkung aufgebaut sind, erforderlich wäre. Die Beseitigung des Symmetriergliedes trägt nicht nur zur gesamten Schaltungsverkleinerung im mobilen drahtlosen Endgerät, sondern auch zu Empfangsleistungseinsparungen durch Beseitigen des Leistungsverlusts im Symmetrierglied bei. Dies verwirklicht kompaktere mobile drahtlose Endgeräte mit hoher Leistung (hoher Empfindlichkeit) mit einer verlängerten Betriebszeit.

[0032] Zusätzliche Aufgaben, Vorteile und neue Merkmale der Erfindung sind teilweise in der folgenden Beschreibung dargelegt und werden teilweise für Fachleute bei der Untersuchung des Folgenden ersichtlich oder können durch die Ausführung der Erfindung gelernt werden.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0033] [Fig. 1](#) ist ein Schaltplan, der die Anordnung eines variablen Verstärkers gemäß einer Ausführungsform der Erfindung darstellt.

[0034] [Fig. 2](#) ist ein Schaltplan, der die Anordnung einer Basisstrom-Steuerschaltung im variablen Verstärker darstellt.

[0035] [Fig. 3](#) ist ein Graph, der darstellt, wie die Basisströme von drei Transistoren im variablen Verstärker mit einer Steuerspannung variieren.

[0036] [Fig. 4](#) ist ein Graph, der darstellt, wie die Gesamtverstärkung und IIP3 des variablen Verstärkers mit einer Steuerspannung variieren.

[0037] [Fig. 5](#) ist ein Schaltplan, der eine Variation des variablen Verstärkers gemäß der Ausführungsform darstellt.

[0038] [Fig. 6](#) ist ein Schaltplan, der die Anordnung eines variablen Verstärkers gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung darstellt.

[0039] [Fig. 7](#) ist ein Graph, der eine Verstärkungs-Frequenz-Charakteristik des variablen Verstärkers in [Fig. 1](#) und des variablen Verstärkers von [Fig. 6](#) zum Vergleich darstellt.

[0040] [Fig. 8](#) ist ein Schaltplan, der die Anordnung eines variablen Verstärkers gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung darstellt.

[0041] [Fig. 9](#) ist ein Graph, der eine Verstärkungs-Steuerspannungs- und eine IIP3-Steuerspannungs-Charakteristik des variablen Verstärkers in [Fig. 6](#) und des variablen Verstärkers in [Fig. 8](#) zum Vergleich darstellt.

[0042] [Fig. 10](#) ist ein Schaltplan, der die Anordnung einer Basisspannungs-Steuerschaltung in einem variablen Verstärker gemäß noch einer weiteren Ausführungsform der Erfindung darstellt.

[0043] [Fig. 11](#) ist ein Graph, der eine Basissstrom-Steuerspannungs-Charakteristik eines Transistors in einer Emitter-Konfiguration und eine Basisspannungs-Steuerspannungs-Charakteristik eines Transistors in einer Basis-Konfiguration darstellt, wobei beide Transistoren den variablen Verstärker mit der Basisspannungs-Steuerschaltung in [Fig. 10](#) bilden.

[0044] [Fig. 12](#) ist ein Graph, der eine Basissstrom-Steuerspannungs-Charakteristik eines Transistors in einer Emitter-Konfiguration und eine Basisspannungs-Steuerspannungs-Charakteristik eines Transistors in einer Basis-Konfiguration darstellt, wobei beide Transistoren einen variablen Verstärker gemäß noch einer weiteren Ausführungsform der Erfindung bilden.

[0045] [Fig. 13](#) ist ein Graph, der zum Vergleich eine Verstärkungs-Steuerspannungs- und eine IIP3-Steuerspannungs-Charakteristik des variablen Verstärkers mit der Basisspannungs-Steuerschaltung in [Fig. 19](#) und des variablen Verstärkers mit den in [Fig. 12](#) gezeigten Charakteristiken darstellt.

[0046] [Fig. 14](#) ist ein Schalplan, der die Anordnung eines variablen Verstärkers gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung darstellt.

[0047] [Fig. 15](#) ist ein Schaltplan, der die Anordnung einer Basisstrom-Steuerschaltung darstellt, die den Basisstrom eines Transistors in einer Emitter-Konfiguration in einem variablen Verstärker gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung steuert.

[0048] [Fig. 16](#) ist ein Blockdiagramm, das die Anordnung eines mobilen drahtlosen Endgeräts darstellt, das einen variablen Verstärker gemäß der Erfindung darstellt.

BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSFORMEN

AUSFÜHRUNGSFORM 1

[0049] Mit Bezug auf [Fig. 1](#) bis [Fig. 4](#) beschreibt

das Folgende eine Ausführungsform der Erfindung. Ein variabler Verstärker der Ausführungsform ist dazu beschaffen, seine Gesamtverstärkung und Linearität durch Umschalten zwischen einem Satz von Einheitsverstärkern, die zwischen einem Signaleingang und einem Signalausgang parallel geschaltet sind, zu verändern. Die Anzahl von umschaltbaren Stufen (d. h. die Anzahl von umschaltbaren Einheitsverstärkern) kann eine beliebige Zahl von mehr als oder gleich 2 sein. Die Zahl ist in dem Beispiel von [Fig. 13](#) (die ausführliche Beschreibung wird später gegeben).

[0050] Im variablen Verstärker der Ausführungsform unterscheidet sich mindestens einer der Signalwege, die sich vom Signaleingang zum Signalausgang über einen Satz von Transistoren erstrecken, in der Verstärkung und Linearität von den anderen, so dass die Gesamtverstärkung und Linearität des variablen Verstärkers mit dem Umschalten zwischen den Einheitsverstärkern variieren können. In dem Beispiel von [Fig. 1](#) (das später detailliert dargestellt wird) unterscheidet sich jeder Signalweg vom Signaleingang zu einem der Transistoren in der Dämpfung von den anderen.

[0051] Im variablen Verstärker der Ausführungsform enthält jeder Einheitsverstärker nur einen Transistor, d. h. eine Stufe, der ein npn-Bipolartransistor ist. Ferner weisen alle Transistoren dieselben Charakteristiken auf: insbesondere sind sie alle SiGe-Bipolartransistoren mit einer Emitterfläche von $20 \mu\text{m} \times 0,5 \mu\text{m}$.

[0052] [Fig. 1](#) ist ein Schaltplan, der die Anordnung eines variablen Verstärkers gemäß einer Ausführungsform der Erfindung darstellt (die Basisstrom-Steuerschaltung ist durch einen Block dargestellt). Der variable Verstärker der Ausführungsform, wie in [Fig. 1](#) gezeigt, enthält drei Signalverstärkungstransistoren: einen ersten Transistor Q1, einen zweiten Transistor Q2 und einen dritten Transistor Q3 (später detailliert ausgeführt). Der Verstärker enthält auch eine Basisstrom-Steuerschaltung (Basisstrom-Steuerabschnitt oder Basisstrom-Umschaltkreis) 1.

[0053] Die Transistoren Q1 bis Q3 sind zwischen einem Eingangsanschluss (Signaleingangsanschluss) EINGANG, an den ein Signal mit einer Gleichspannungskomponente angelegt wird, und einem Ausgangsanschluss (Signalausgangsanschluss) AUSGANG parallel geschaltet, wobei das Signal ausgegeben wird, nachdem es verstärkt wurde. Die Transistoren Q1 bis Q3 sind an ihren Emitttern geerdet. Die Kollektoren der Transistoren Q1 bis Q3 sind mit dem Ausgangsanschluss AUSGANG und auch mit demselben Ende eines gemeinsamen Lastwiderstandes RL verbunden. Das andere Ende des Widerstandes RL ist mit einer Leistungsversorgungsleitung VCC verbunden, über die eine Quellenspannung ge-

liefert wird.

[0054] Der Eingangsanschluss EINGANG ist mit der Basis des ersten Transistors Q1 über einen Kondensator CSR1 verbunden, der die Gleichspannungskomponente vom Eingangssignal entfernt. Der Eingangsanschluss EINGANG ist auch mit der Basis des zweiten Transistors Q2 über den Kondensator CSR1 und einem Dämpfer AT1, der ein Eingangssignal dämpft, verbunden. Der Dämpfer AT1 enthält einen Kondensator CSR2 und einen Kondensator CSH2. Der Kondensator CSR2 ist mit der Basis des ersten Transistors Q1 in Reihe geschaltet und mit dem Kondensator CSR1 in Reihe geschaltet. Der Kondensator CSH2 überbrückt einen Signalweg nach dem Kondensator CSR2, d. h. einen Signalweg, der den Kondensator CSR2 mit der Basis des zweiten Transistors Q2 verbindet, zur Masse. Ebenso ist der Eingangsanschluss EINGANG mit der Basis des dritten Transistors Q3 über den Kondensator CSR1, den Dämpfer AT1 und einen weiteren Dämpfer AT2, der das Eingangssignal dämpft, verbunden. Der Dämpfer AT2 enthält einen Kondensator CSR3 und einen Kondensator CSH3. Der Kondensator CSR3 ist mit der Basis des zweiten Transistors Q2 in Reihe geschaltet und mit dem Kondensator CSR2 in Reihe geschaltet. Der Kondensator CSH3 überbrückt einen Signalweg nach dem Kondensator CSR3, d. h. einen Signalweg, der den Kondensator CSR3 mit der Basis des dritten Transistors Q3 verbindet, zur Masse.

[0055] Nun betrachten wir die Charakteristiken der drei Signalwege ("Q1-Weg", "Q2-Weg" und "Q3-Weg"), die sich vom Eingangsanschluss EINGANG zum Ausgangsanschluss AUSGANG jeweils über die Transistoren Q1 bis Q3 erstrecken. Hier soll angenommen werden, dass die Ströme durch die Basen der Transistoren Q1 bis Q3 gleich sind. Der Transistor Q1 empfängt ein direkt in den Eingangsanschluss EINGANG eingespeistes Signal, d. h. ohne zwischenliegenden Dämpfer. Der Q1-Weg besitzt daher die größte Verstärkung der drei Signalwege. Im Gegensatz dazu empfängt der Transistor Q2 ein in den Eingangsanschluss EINGANG über den Dämpfer AT1 eingespeistes Signal. Der Q2-Weg weist daher eine kleinere Verstärkung und eine höhere Linearität als der Q1-Weg auf. Der Transistor Q3 empfängt ein in den Eingangsanschluss EINGANG eingespeistes Signal über die Dämpfer AT1, AT2. Der Q3-Weg weist daher eine kleinere Verstärkung und höhere Linearität als der Q2-Weg auf.

[0056] Ferner sind die Basen der Transistoren Q1 bis Q3 mit den Anschlüssen IB1 bis IB3 der Basisstrom-Steuerschaltung 1 verbunden, so dass die Basisstrom-Steuerschaltung 1 die individuellen Stromflüsse durch die Basen der Transistoren Q1 bis Q3 (Basisströme) steuern kann.

[0057] Die Basisstrom-Steuerschaltung 1, wie in

Fig. 2 gezeigt, enthält: Widerstände RC1, RC2, RC3, die Referenzspannungen erzeugen; einen Widerstand RREF, der eine Basisstromsumme festlegt; Feldeffekttransistoren QBREF, QBCS, die eine Stromspiegelschaltung bilden, die eine Stromsumme festlegt; Feldeffekttransistoren QB1, QB2, die ein erstes Differentialpaar bilden; und Feldeffekttransistoren QB3, QB4, die ein zweites Differentialpaar bilden. Die Transistoren QBREF, QBCS, QB1, QB2, QB3, QB4 sind p-Kanal-MOS-Transistoren (Metalloxid-Halbleiter-Transistoren).

[0058] Die Transistoren QBREF, QBCS bilden eine Stromspiegelschaltung: das Gate und der Drain des Transistors QBREF und das Gate des Transistors QBCS sind alle miteinander verbunden. Der Transistor QBREF ist mit der Leistungsversorgungsleitung VCC an seinem Source und mit einem Ende des Widerstandes RREF an seinem Drain und Gate gekoppelt. Das andere Ende des Widerstandes RREF ist geerdet. Der Transistor QBCS ist mit der Leistungsversorgungsleitung VCC an seiner Source und mit den Sources der Transistoren QB1, QB2 an seinem Drain gekoppelt. Die Stromspiegelschaltung legt die Summe der Stromflüsse durch die Basen der Transistoren Q1 bis Q3 fest (nachstehend die "Basisstromsumme"), so dass die Sources der Transistoren QB1, QB2 einen kombinierten Stromfluss leiten, der gleich der Stromsummenfestlegung ist. Der Stromfestlegungswiderstand RREF gibt den Stromfluss durch das Gate und den Drain des Transistors QBREF vor. Auf der Basis dieses Stromflusses bestimmt die Stromspiegelschaltung den Stromfluss durch die Sources der Transistoren QB1, QB2 (Basisstromsumme). Wenn der Transistor QBREF und der Transistor QBCS, die kombiniert sind, um eine Stromspiegelschaltung zu bilden, dieselbe Größe aufweisen, wird der kombinierte Stromfluss durch die Drains der Transistoren QB1, QB2 (Basisstromsumme) gleich dem Strom, der durch den Stromfestlegungswiderstand RREF bestimmt ist, der über die Zeit unveränderlich ist.

[0059] Die Widerstände RC1, RC2, RC3 sind zwischen der Leistungsversorgungsleitung VCC, über die eine Quellenspannung geliefert wird, und der Masse in Reihe geschaltet. Sie teilen die Quellenspannung, um Referenzspannungen VR1, VR2 ($VR1 < VR2$) zu erzeugen.

[0060] Die Transistoren QB1, QB2 sind an ihren Sources miteinander gekoppelt, was folglich das erste Differentialpaar bildet. Das Gate des Transistors QB1 wird mit der Referenzspannung VR2 gespeist. Unterdessen wird das Gate des Transistors QB2 mit einer externen variablen Steuerspannung VCTRL über einen Steuerspannungsanschluss VCTRL gespeist. Der Drain des Transistors QB1 ist mit der Basis des Transistors Q1 über den Anschluss IB1 gekoppelt. Der Drain des Transistors QB2 ist mit den

Sources der Transistoren QB3, QB4 gekoppelt. Das erste Differentialpaar bestimmt ein Verhältnis des Stromflusses durch die Basis des Transistors Q1 und des Stromflusses durch die Sources der Transistoren QB3, QB4 gemäß der Größenbeziehung zwischen der Steuerspannung VCTRL und der Referenzspannung VR2.

[0061] Die Transistoren QB3, QB4 sind an ihren Sources miteinander gekoppelt, was folglich das zweite Differentialpaar bildet. Das Gate des Transistors QB3 wird mit der Referenzspannung VR1 gespeist. Unerdessen wird das Gate des Transistors QB4 mit einer externen variablen Steuerspannung VCTRL über einen Steuerspannungsanschluss VCTRL gespeist. Der Drain des Transistors QB3 ist mit der Basis des Transistors Q2 über den Anschluss IB2 gekoppelt. Der Drain des Transistors QB4 ist mit der Basis des Transistors Q3 über den Anschluss IB3 gekoppelt. Das zweite Differentialpaar bestimmt ein Verhältnis des Stromflusses durch die Basis des Transistors Q2 und des Stromflusses durch die Basis des Transistors Q3 gemäß der Größenbeziehung zwischen der Steuerspannung VCTRL und der Referenzspannung VR1.

[0062] In der Basissteuerschaltung **1** wird folglich die Basisstromsumme, die durch die Sources der Transistoren QB1, QB2 fließt, bei einem durch die Transistoren QBREF, QBCS bestimmten Wert unter den Anschlüssen IB1 bis IB3 mittels der Transistoren QB1, QB2, QB3, QB4 gemäß der Steuerspannung VCTRL geteilt. Folglich ändert sich das Verhältnis der Stromwerte IB1 bis IB3 an den Anschlüssen IB1 bis IB3 (d. h. an den Basen der Transistoren Q1 bis Q3) kontinuierlich gemäß der Steuerspannung VCTRL. Dies ist in [Fig. 3](#) gezeigt, die die Umschaltcharakteristiken der Stromflüsse durch die Basen der Transistoren Q1 bis Q3 (Basisströme), d. h. Änderungen der Basisströme mit der Steuerspannung, darstellt.

[0063] Im dargestellten Fall bleibt das Verhältnis des Stromwerts IB1 zur Basisstromsumme bei 0%, wenn die Steuerspannung VCTRL bis zu etwa 0,9 V ist, und nimmt kontinuierlich von 0% auf 100% zu, wenn die Steuerspannung VCTRL von etwa 0,9 V auf etwa 2,35 V ansteigt. Das Verhältnis ist 100%, wenn die Steuerspannung VCTRL oberhalb etwa 2,35 V liegt. Das Verhältnis des Stromwerts IB2 zur Basisstromsumme bleibt bei 0%, wenn die Steuerspannung VCTRL bis zu etwa 0,2 V ist, und nimmt kontinuierlich von 0% auf etwa 80% zu, wenn die Steuerspannung VCTRL von etwa 0,2 V auf etwa 1,35 V ansteigt. Das Verhältnis nimmt dann kontinuierlich von etwa 80% auf 0% ab, wenn die Steuerspannung VCTRL von etwa 1,35 V auf etwa 2,35 V ansteigt, und bleibt bei 0%, wenn die Steuerspannung VCTRL oberhalb etwa 2,35 V liegt. Das Verhältnis des Stromwerts IB3 zur Basisstromsumme ist 100%, wenn die Steuerspannung VCTRL geringer ist als etwa 0,2 V,

und nimmt kontinuierlich von 100% auf 0% ab, wenn die Steuerspannung VCTRL von etwa 0, V auf etwa 1,45 V ansteigt. Das Verhältnis bleibt bei 0%, wenn die Steuerspannung VCTRL oberhalb etwa 1,45 V liegt. Zusammengenommen ändert sich das Verhältnis der Stromwerte IB1 bis IB3 an den Basen der Transistoren Q1 bis Q3 kontinuierlich mit der Steuerspannung VCTRL, vorausgesetzt, dass die Steuerspannung VCTRL etwa 0,2 V bis etwa 2,35 V ist.

[0064] Als nächstes wird die Operation des variablen Verstärkers in Reaktion auf Änderungen der Steuerspannung VCTRL beschrieben. Wenn die Steuerspannung VCTRL relativ zu den Referenzspannungen VR1 (= 0,85 V) und VR2 (= 1,7 V) ausreichend hoch ist (etwa 2,4 V oder höher), sperren die Transistoren QB2, QB4 in der Basisstrom-Steuerschaltung **1**. Dies verursacht, dass die Basisstromsumme, wie durch die Stromspiegelschaltung (Transistoren QBREF, QBCS) bestimmt, die für Stromsummeinstellzwecke verwendet wird, vollständig zur Basis des Transistors Q1 im Verstärker über den Transistor QB1 fließt. Die anderen Transistoren Q2, Q3 sperren. In diesem Zustand empfängt der Transistor Q1 das in den Eingangsanschluss EINGANG eingespeiste Signal ohne zwischenliegende Dämpfer, was die größte Verstärkung erzeugt. Außerdem ist IIP3 (Eingangsabfangpunkt dritter Ordnung oder Intermodulation dritter Ordnung, ausgedrückt in dB_V oder dBc), das ein Indikator der gesamten Linearität des variablen Verstärkers ist, die Linearität des Transistors Q1 selbst.

[0065] Wenn die Steuerspannung VCTRL fällt, wird der Stromfluss durch die Basis des Transistors Q1 teilweise zur Basis des Transistors Q2 umgelenkt. Insbesondere nimmt mit einer fallenden Steuerspannung VCTRL der Basisstrom des Transistors Q1 allmählich ab, und der Basisstrom des Transistors Q2 nimmt allmählich zu. Im Transistor Q1 nimmt der Kollektorstrom folglich ab, was die Verstärkung allmählich verringert. Im Gegensatz dazu nimmt im Transistor Q2 der Kollektorstrom zu, was die Verstärkung allmählich erhöht. Da der Q2-Weg beim gleichen Basisstrom eine niedrigere Verstärkung aufweist als der Q1-Weg, die vorher erwähnt, fällt die Gesamtverstärkung des variablen Verstärkers (siehe [Fig. 4](#)). Da der Q2-Weg beim gleichen Basisstrom eine hohe Linearität im Vergleich zum Q1-Weg aufweist, wie vorher erwähnt, steigt die Gesamtlinearität des variablen Verstärkers an (siehe [Fig. 4](#)).

[0066] Bei einer ausreichend niedrigen Steuerspannung VCTRL nimmt der Kollektorstrom des Transistors Q2 auf einen Pegel zu, auf dem die Verstärkung des Transistors Q2 so groß ist, dass der Transistor Q1 in der Praxis sperrt. Der variable Verstärker weist auf Grund der Anwesenheit des Dämpfers AT1 im Eingangsweg des Transistors Q2 eine relativ kleine Gesamtverstärkung auf. IIP3 des variablen Verstär-

kers ist insgesamt äquivalent zur Eigenschaft des Transistors Q2 plus dem Dämpfungsverhältnis in Dezibel (dB).

[0067] Wenn die Steuerspannung VCTRL weiter auf oder unter etwa 0,2 V fällt, sperren die Transistoren QB1, QB3. Folglich fließt die ganze Basisstromsumme, wie durch den Widerstand RREF und die Transistoren QBREF, QBCS in der Basisstrom-Steuerschaltung 1 bestimmt, zur Basis des Transistors Q3 über den Transistor QB1, was beide anderen Transistoren Q1, Q2 sperrt. In diesem Zustand wird das in den Eingangsanschluss EINGANG eingespeiste Signal über die Dämpfer AT1, AT2 zum Transistor Q3 geliefert. Der variable Verstärker weist die niedrigste Gesamtverstärkung auf. Im Gegensatz dazu ist IIP3 des variablen Verstärkers insgesamt am höchsten.

[0068] Die Charakteristiken von Verstärkung und IIP3 zur Steuerspannung VCTRL sind in [Fig. 4](#) gezeigt.

[0069] Wie im Vorangehenden detailliert dargestellt, bietet der variable Verstärker der Ausführungsform eine variable Verstärkung über einen breiten Bereich und erreicht eine hohe Linearität bei einer Bedingung mit großem Signal und niedriger Verstärkung. Der variable Verstärker der Ausführungsform enthält eine Verstärkerschaltungsanordnung einer Emitter-Konfiguration, nicht einer Differentialschaltungskonfiguration, die häufig in Silicium-RFICs (integrierten Hochfrequenzschaltungen) verwendet wird. Daher empfängt der variable Verstärker der Ausführungsform ein Eintakt-Eingangssignal (unsymmetrisches Eingangssignal), nicht ein differentielles Eingangssignal. Dies ermöglicht, dass der variable Verstärker der Ausführungsform direkt mit einer Antenne, einem Filter und anderen Eintakt-Signalquellen verbunden wird.

[0070] Ferner geschieht der Leistungsverbrauch praktisch nur im Verstärkerabschnitt, der aus einem einzelnen Transistor besteht, und seinem zugehörigen Lastwiderstand. Der variable Verstärker der Ausführungsform arbeitet daher mit niedrigen Quellenspannungen: beispielsweise nicht höher als etwa 1 V. Im Gegensatz dazu benötigt die Differentialschaltung eine Stromquelle, einen Verstärkerabschnitt und einen Lastwiderstand. Der Verstärkerabschnitt muss aus zwei Stufen von Transistoren bestehen und die Steuerspannung kann nicht viel verringert werden.

[0071] Die Verstärkungs-Steuerspannungs-Charakteristik des variablen Verstärkers, der in [Fig. 1](#) gezeigt ist (siehe [Fig. 4](#)), enthält kleine Kurven und ist nicht sehr linear. Die Verstärkungs-Steuerspannungs-Charakteristik wird jedoch mit einer größeren Anzahl von umschaltbaren Stufen (Anzahl von umschaltbaren Einheitsverstärkern) auf Kosten von vergrößerten Schaltungsabmessungen linearer. Die An-

zahl von umschaltbaren Stufen sollte daher so bestimmt werden, dass sie ein gutes Gleichgewicht zwischen den Schaltungsabmessungen und der Linearität der Verstärkungs-Steuerspannungs-Charakteristik trifft.

[0072] Außerdem kann die Ausführungsform, die bisher einen npn-Transistor angenommen hat, auf einen pnp-Transistor angewendet werden, um einen ähnlichen variablen Verstärker zu schaffen.

[0073] Ferner hat die Ausführungsform bisher die Dämpfer AT1, AT2, die zwischen den Eingangsanschluss EINGANG und die Transistoren Q2, Q3 eingefügt sind, die um einen Kondensator gebaut sind, angenommen. Die Dämpferstruktur auf Kondensatorbasis ist keineswegs in irgendeiner speziellen Weise begrenzt. Andere Strukturen sind auch verfügbar. Außerdem können, wie in [Fig. 5](#) gezeigt, die Dämpfer AT1, AT2 auf Kondensatorbasis beide gegen Dämpfer AT3, AT4 auf Widerstandsbasis ausgetauscht werden. In solchen Fällen müssen jedoch die Basen der Transistoren Q1 bis Q3 von den Dämpfern AT3, AT4 zum Betrieb gleichspannungsisoliert werden. Dies wird durch Einfügen der Kondensatoren CDC1, CDC2, CDC3 jeweils zwischen die Transistoren Q1 bis Q3 in einer Emitter-Konfiguration und die Dämpfer AT3, AT4 durchgeführt. In dem in [Fig. 5](#) gezeigten variablen Verstärker ist überdies ein Widerstand RSR1 zwischen den Basen der Transistoren Q1 bis Q3 und dem Eingangsanschluss EINGANG vorgesehen.

[0074] Der Dämpfer AT3 enthält einen Widerstand RSR2 und einen Widerstand RSH2. Der Widerstand RSR2 ist mit der Basis des ersten Transistors Q1 in Reihe geschaltet und mit dem Widerstand RSR1 in Reihe geschaltet. Der Widerstand RSH2 überbrückt einen Signalweg nach dem Widerstand RSR2, d. h. einen Signalweg, der den Widerstand RSR2 mit der Basis des zweiten Transistors Q2 verbindet, zur Masse. Der Dämpfer AT4 enthält einen Widerstand RSR3 und einen Widerstand RSH3. Der Widerstand RSR3 ist mit der Basis des zweiten Transistors Q2 in Reihe geschaltet und mit dem Widerstand RSR2 in Reihe geschaltet. Der Widerstand RSH3 überbrückt einen Signalweg nach dem Widerstand RSR3, d. h. einen Signalweg, der den Widerstand RSR3 mit der Basis des dritten Transistors Q3 verbindet, zur Masse.

[0075] Die Dämpfer AT3, AT4 auf Widerstandsbasis weisen die folgenden Vorteile gegenüber den Dämpfern auf Kondensatorbasis auf: Sie machen den variablen Verstärker kleiner und belegen insbesondere, wenn sie in einen Chip integriert sind, eine kleinere Chipfläche. (2) Sie ermöglichen weniger Signalverlust im variablen Verstärker und insbesondere, wenn die Schaltung auf einer einzelnen Platine angebracht ist, weniger Signalverlust durch die Platine. (3) Sie werden leichter abgeglichen. Die Dämpferstruktur

auf Widerstandsbasis ist wieder keineswegs in irgendeiner speziellen Weise begrenzt. In der Struktur in [Fig. 5](#) ist der Widerstand RSR1 auch nicht wesentlich.

[0076] Außerdem ist in der Ausführungsform die Basisstrom-Steuerschaltung die analoge Schaltung, die wie in [Fig. 2](#) gezeigt angeordnet ist. Diese Basisstrom-Steuerschaltung zur Verwendung beim Basisstrom ist jedoch nicht in irgendeiner speziellen Weise begrenzt, vorausgesetzt, dass sie in der Lage ist, das Verhältnis der Stromwerte IB1 zu IB3 an den Basen der Transistoren Q1 bis Q3 über einen vorbestimmten Bereich gemäß der Steuerspannung VC-TRL kontinuierlich zu ändern. Die Basisstrom-Steuerschaltung kann beispielsweise dazu strukturiert sein, die Basisströme der Transistoren Q1 bis Q3 unter Verwendung eines D/A-Umsetzers (Digital-Analog-Umsetzers) digital zu steuern. Basisstrom-Steuerschaltungen verschiedener Strukturen können auch verwendet werden, wenn die Basisströme der Transistoren Q1 bis Q3 mittels einer analogen Schaltungsanordnung gesteuert werden.

[0077] Ferner ist die Basisstrom-Steuerschaltung der Ausführungsform dazu ausgelegt, eine im Wesentlichen konstante Basisstromsumme zu erzeugen. Die Basisstromsumme ist jedoch nicht notwendigerweise konstant. Ein großer Strom kann zu einem Verstärkerabschnitt geliefert werden, wenn die Linearität eine Rolle spielt, und ein kleiner Strom zu einem Verstärkerabschnitt, wenn die Linearität keine große Rolle spielt. Insbesondere kann die Basisstromsumme größer sein, wenn ein maximaler Basisstrom für den Transistor Q3 erzeugt wird, wenn die Linearität eine Rolle spielt, im Vergleich zu den anderen Transistoren Q1, Q2, als wenn ein maximaler Basisstrom für den Transistor Q2 erzeugt wird. Alternativ kann die Basisstromsumme kleiner sein, wenn ein maximaler Basisstrom für den Transistor Q1 erzeugt wird, wenn die Linearität keine große Rolle spielt, als wenn ein maximaler Basisstrom für den Transistor Q2 erzeugt wird. Ferner können die Basisströme der Transistoren Q2, Q3 verringert werden, während eine solche negative Rückkopplung zu den Transistoren Q2, Q3 geliefert wird, die zu einer ausreichenden Linearität führt. Der Transistor Q1 benötigt einen gewissen Strom, da er die ganze hohe Linearität, das geringe Rauschen und die große Verstärkungsleistung bieten muss. Die Transistoren Q2, Q3 müssen unterdessen nicht diesen Pegel an hoher Verstärkung, niedriger Rauschleistung bieten, was die Verwendung einer negativen Rückkopplung ermöglicht, um den Leistungsverbrauch zu verringern. Ein Vorteil einer konstanten Basisstromsumme für die Transistoren Q1 bis Q3 ist zu beachten: die Gleichspannungsausgabe wird im Wesentlichen konstant.

[0078] Der variable Verstärker der Ausführungsform hat bisher angenommen, dass jeder Signalweg, der

sich vom Signaleingangsanschluss zum Signalausgangsanschluss über einen Satz von Transistoren erstreckt, von den anderen verschiedene Charakteristiken aufweist. Einige der Signalwege können sich jedoch dieselben Charakteristiken teilen, vorausgesetzt, dass mindestens einer von ihnen von den anderen verschiedene Charakteristiken aufweist.

[0079] Der variable Verstärker der Ausführungsform hat bisher angenommen, dass seine Verstärkung und Linearität durch die Steuerung des Stromflusses durch die Basen der Transistoren veränderbar sind. Alternativ können beliebige andere Charakteristiken durch die Steuerung des Stromflusses durch die Basen der Transistoren veränderbar sein.

[0080] Wie im Vorangehenden enthält der variable Verstärker der Ausführungsform einen Satz von Bipolartransistoren, deren Emitter im Wesentlichen geerdet und deren Kollektoren mit im Wesentlichen identischen Lasten verbunden sind. Der Verstärker ändert seine Gesamtcharakteristiken durch Änderungen der Basisströme durch die Transistoren. Diese Struktur verwendet eine einfache Emitter-Konfiguration, keine Differentialschaltung. Das Eingangssignal ist unsymmetrisch und kein Eintakt- oder Differentialumsetzer wie z. B. ein Symmetrierglied ist erforderlich. Der Verstärker bietet auch wünschenswerte Charakteristiken, einschließlich eines Bereichs von variabler Verstärkung, Linearität und Rauschleistung.

[0081] Wie im Vorangehenden ist der variable Verstärker der Ausführungsform eine Verstärkerschaltung mit einem Satz von Emittern, die geerdet sind. Der variable Verstärker erreicht einen breiten Bereich von Verstärkungen und Linearität durch Ändern seiner Gesamtcharakteristiken durch kontinuierliches (analoges) Umschalten mittels eines analogen Signals zwischen den Basisströmen der Bipolartransistoren, die in der Verstärkung verwendet werden.

[0082] Nun existieren viele Eintaktverstärker mit variabler Verstärkung. Viele von ihnen schaffen eine variable Verstärkung. Die Linearität ist jedoch nicht variabel, oder wird, wenn überhaupt, bei niedrigeren Verstärkungen schlechter. Der Eintaktverstärker mit variabler Verstärkung der Erfindung bildet einen guten Kontrast dazu: wie vorher erwähnt, verbessert sich die Linearität fortschreitend mit einem Abfall der Verstärkung. Dieses Merkmal ist in Verstärkern mit variabler Verstärkung mit Differentialeingang, die der Erfindung vorangehen und die im "HINTERGRUND DER ERFINDUNG" vorstehend detailliert dargestellt wurden, zu finden, aber nicht in Eintaktverstärkern mit variabler Verstärkung, die der Erfindung vorangehen. Daher wird gefolgert, dass die Erfindung beim Schaffen eines Eintaktverstärkers mit variabler Verstärkung mit niedrigem Rauschen bei großen Verstärkungen und hoher Linearität bei niedrigen Verstärkungen erfolgreich war.

AUSFÜHRUNGSFORM 2

[0083] Mit Bezug auf [Fig. 6](#), [Fig. 7](#) beschreibt das Folgende eine weitere Ausführungsform der Erfindung. Der Bequemlichkeit halber sind Elemente der Ausführungsform, die dieselbe Anordnung und Funktion wie Elemente der Ausführungsform 1 aufweisen und die in dieser Ausführungsform erwähnt sind, mit denselben Bezugszeichen angegeben und auf deren Beschreibung wird verzichtet.

[0084] In dem variablen Verstärker der Ausführungsform 1 sind die Basis/Kollektor-Kapazitäten der Transistoren Q1 bis Q3 durch einen Spiegeleffekt auf Grund der einfachen Emitter-Konfiguration erhöht. Der variable Verstärker der Ausführungsform 1 weist daher keine sehr guten Charakteristiken bei hohen Frequenzen auf.

[0085] Folglich verwendet der variable Verstärker der Ausführungsform eine Kaskadenverbindung, um die Charakteristiken bei hohen Frequenzen zu verbessern. [Fig. 6](#) stellt die Anordnung eines variablen Verstärkers der Ausführungsform dar.

[0086] Im variablen Verstärker der Ausführungsform 1 waren die Kollektoren der Basis-Emitter-Transistoren Q1 bis Q3 mit einem Lastwiderstand RL verbunden. Im variablen Verstärker der Ausführungsform sind die Basis-Emitter-Bipolartransistoren Q1 bis Q3 mit einem sekundären Transistor Q4 in Kaskade geschaltet. Der Emitter des Transistors Q4 ist mit den Kollektoren der Basis-Emitter-Transistoren Q1 bis Q3 gekoppelt. Der Kollektor des Transistors Q4 ist mit dem Lastwiderstand RL gekoppelt. Der Transistor Q4 ist hinsichtlich Hochfrequenzkomponenten geerdet, da der Transistor Q4 an seiner Basis mit einer festen Vorspannung VBB (= 2,0 V) von einem Anschluss VBB gespeist wird. Nachstehend wird ein Transistor, der hinsichtlich Hochfrequenzkomponenten wie dieser geerdet ist, als "Transistor in Basisschaltung" bezeichnet. Dies ist der einzige Hauptunterschied zwischen der Anordnung des variablen Verstärkers der Ausführungsform 1 und jener des variablen Verstärkers der Ausführungsform.

[0087] Ähnlich der Ausführungsform 1 enthält der variable Verstärker der Ausführungsform npn-Bipolartransistoren als Basis-Emitter-Transistoren Q1 bis Q3. Der Transistor Q4 in Basisschaltung ist auch ein npn-Bipolartransistor. Ähnlich der Ausführungsform 1 stehen die Basisströme der Basis-Emitter-Transistoren Q1 bis Q3 unter der Steuerung der Basisstrom-Steuerschaltung 1, die im Schaltplan von [Fig. 2](#) gezeigt ist. Der variable Verstärker der Ausführungsform erzeugt ähnliche Effekte zur Ausführungsform 1.

[0088] [Fig. 7](#) zeigt simulierte Verstärkungs-Frequenz-Charakteristiken, eine für den variablen Ver-

stärker der Ausführungsform 1 und die andere für den variablen Verstärker der Ausführungsform. Der variable Verstärker der Ausführungsform zeigt eine Verstärkung mit großen Absolutwerten und eine etwas verbesserte Frequenzcharakteristik im Vergleich zum variablen Verstärker der Ausführungsform 1. Dies liegt vermutlich an der Kaskadenverbindung, die den Spiegeleffekt lindert.

[0089] Der in [Fig. 6](#) gezeigte variable Verstärker enthält den Bipolartransistor Q4 in Basisschaltung als sekundären Transistor, der mit den Kollektoren der Basis-Emitter-Transistoren Q1 bis Q3 in Kaskade geschaltet ist. Der sekundäre Transistor kann ein Feldeffekttransistor (FET) wie z. B. ein MOS-Transistor sein, wobei sein Gate geerdet ist. Wenn dies der Fall ist, sollte der Feldeffekttransistor über seinen Source mit den Kollektoren der Transistoren Q1 bis Q3 und über seinen Drain mit dem Lastwiderstand RL gekoppelt sein.

[0090] Wie im Vorangehenden detailliert dargestellt, umfasst der variable Verstärker der Ausführungsform eine erste Gruppe von Transistoren und einen zweiten Transistor. Die erste Gruppe von Bipolartransistoren ist an ihren Emitttern im Wesentlichen geerdet und über ihre Kollektoren im Wesentlichen mit dem Emitter oder Source des zweiten Transistors verbunden. Die Basis oder das Gate des zweiten Transistors ist hinsichtlich Hochfrequenzkomponenten geerdet. Das heißt, der zweite Transistor weist eine Basisschaltungskonfiguration oder eine Gateschaltungskonfiguration auf. Der Kollektor oder Drain des zweiten Transistors ist im Wesentlichen mit einer Last verbunden. Die Gesamtcharakteristiken des Verstärkers werden durch Regeln der Basisströme der ersten Gruppe von Transistoren verändert. Die Schaltungskonstruktion umfasst eine beträchtliche Kaskadenverbindung und mildert den Spiegeleffekt, was den Bereich der variablen Verstärkung und Linearität gegenüber der Ausführungsform 1 verbessert.

AUSFÜHRUNGSFORM 3

[0091] Mit Bezug auf [Fig. 8](#), [Fig. 9](#) beschreibt das Folgende eine weitere Ausführungsform der Erfindung. Hier sind der Bequemlichkeit halber Elemente der Ausführungsform, die dieselbe Anordnung und Funktion wie Elemente der Ausführungsform 1 oder 2 aufweisen und die in dieser Ausführungsform erwähnt sind, mit denselben Bezugszeichen angegeben und auf deren Beschreibung wird verzichtet.

[0092] [Fig. 8](#) ist ein Schaltplan eines variablen Verstärkers der Ausführungsform. Der variable Verstärker der Ausführungsform 2 enthielt den einzelnen Transistor Q4 als Transistor in Basisschaltung, der mit den Basis-Emitter-Transistoren in Kaskade geschaltet war. Der Transistor Q4 war den Basis-Emitter-Transistoren Q1 bis Q3 gemeinsam. Im Gegen-

satz dazu sind im variablen Verstärker der Ausführungsform die Basis-Emitter-Transistoren Q1 bis Q3 mit jeweiligen Transistoren Q41 bis Q43 in einer Basisschaltungskonfiguration in Kaskade geschaltet. Die Transistoren Q41 bis Q43 sind über ihre Emitter jeweils mit den Kollektoren der Basis-Emitter-Transistoren Q1 bis Q3 und über ihre Kollektoren jeweils mit dem gemeinsamen Lastwiderstand RL gekoppelt. Dies ist der einzige Hauptunterschied zwischen der Anordnung des variablen Verstärkers der Ausführungsform 2 und jener des variablen Verstärkers der Ausführungsform. Ähnlich zu den Ausführungsformen 1, 2 sind alle Transistoren im variablen Verstärker der Ausführungsform npn-Bipolartransistoren. Der Kollektor des Transistors Q4 ist mit dem Lastwiderstand RL verbunden. Die Transistoren Q41 bis Q43 werden an ihrer Basis mit festen Vorspannungen VBB1 bis VBB3 (= 2,0 V) von Anschlüssen VBB1, VBB2, VBB3 gespeist und sind auch hinsichtlich Hochfrequenzkomponenten geerdet.

[0093] Im variablen Verstärker der Ausführungsform 2 trat ein Signalverlust durch die Basis/Kollektor-Kapazität der Basis-Emitter-Transistoren Q1 bis Q3 selbst dann auf, wenn die Basis-Emitter-Transistoren Q1 bis Q3 gesperrt waren. Der variable Verstärker der Ausführungsform bildet einen guten Kontrast dazu: das Sperren der Basis-Emitter-Transistoren Q1 bis Q3 stoppt die Stromflüsse durch die Kollektoren der Transistoren Q41 bis Q43 in Basisschaltung, wodurch die Transistoren Q41 bis Q43 in Basisschaltung auf Grund der Bereitstellung der Transistoren Q41 bis Q43 in Basisschaltung in Zusammenhang mit den jeweiligen Basis-Emitter-Transistoren Q1 bis Q3 gesperrt werden. Daher kann in den Transistoren Q41 bis Q43 in Basisschaltung der Signalverlust durch die Kollektor/Emitter-Kapazität stattfinden, die weitaus kleiner ist als die Basis/Kollektor-Kapazität. Die Transistoren Q41 bis Q43 in Basisschaltung weisen folglich eine hohe Signalisolation auf.

[0094] [Fig. 9](#) zeigt simulierte Verstärkungs- und IIP3-Steuerspannungs-Charakteristiken, eine für den variablen Verstärker der Ausführungsform 2, die einen Transistor in Basisschaltung enthält, der den Transistoren Q1 bis Q3 gemeinsam ist (geteilte Basisschaltungskonfiguration), und die andere für den variablen Verstärker der Ausführungsform, der individuelle Transistoren in Basisschaltung für die Transistoren Q1 bis Q3 (separate Basisschaltungskonfiguration) enthält. Es wäre verständlich, dass der variable Verstärker der Ausführungsform eine verbesserte Isolation und einen verbesserten IIP3 bei niedrigen Verstärkungen gegenüber dem variablen Verstärker der Ausführungsform 2, der einen geteilten Transistor in Basisschaltung enthält, aufweist. Die Verbesserung von IIP3 ist beachtenswert.

[0095] In der Ausführungsform waren die Basis-Emitter-Transistoren Q1 bis Q3 mit den individu-

ellen zusätzlichen Transistoren Q41 bis Q43 in Basisschaltung versehen. Jedoch benötigen nicht alle Basis-Emitter-Transistoren Q1 bis Q3 einen individuellen Transistor in Basisschaltung. Die Basis-Emitter-Transistoren können in Gruppen unterteilt werden, wobei jede Gruppe ihren eigenen Transistor in Basisschaltung aufweist. Im variablen Verstärker in [Fig. 8](#) können die Transistoren Q2, Q3 beispielsweise mit einem Transistor in Basisschaltung versehen sein.

[0096] Der variable Verstärker der Ausführungsform enthält die Bipolartransistoren Q41 bis Q43 in Basisschaltung als Transistoren (sekundäre Transistoren), die mit den Kollektoren der Basis-Emitter-Transistoren Q1 bis Q3 in Kaskade geschaltet sind. Ähnlich zur Ausführungsform 2 können die sekundären Transistoren gegen Feldeffekttransistoren wie z. B. MOS-Transistoren ausgetauscht werden, wobei ihr Gate geerdet ist. Wenn dies der Fall ist, sollten die Feldeffekttransistoren über ihre Sources mit den Kollektoren der Transistoren Q1 bis Q3 und über ihre Drains mit dem Lastwiderstand RL gekoppelt sein.

[0097] Wie im Vorangehenden detailliert dargestellt, ist der variable Verstärker der Ausführungsform eine Variation des variablen Verstärkers der Ausführungsform 2, der eine erste Gruppe von Transistoren und einen zweiten Transistor umfasste: der zweite Transistor ist gegen einen Satz von Transistoren ausgetauscht. Der variable Verstärker der Ausführungsform unterscheidet sich vom variablen Verstärker der Ausführungsform 2 darin, dass ein Satz von Transistoren in Basisschaltung oder Gateschaltung anstelle eines einzelnen Transistors in der Kaskadenschaltungsanordnung vorgesehen ist. Die Struktur verhindert einen Signalverlust durch einen nicht arbeitenden Basis-Emitter-Transistor, wobei eine hohe Isolation erreicht wird. Dies erweitert wiederum den Bereich der variablen Verstärkung und verbessert die Linearität.

AUSFÜHRUNGSFORM 4

[0098] Mit Bezug auf [Fig. 8](#), [Fig. 10](#), [Fig. 11](#) beschreibt das Folgende eine weitere Ausführungsform der Erfindung. Hier sind der Bequemlichkeit halber Elemente der Ausführungsform, die dieselbe Anordnung und Funktion wie Elemente von irgendeiner der Ausführungsformen 1 bis 3 aufweisen und die in dieser Ausführungsform erwähnt sind, mit denselben Bezugszeichen angegeben und auf deren Beschreibung wird verzichtet.

[0099] In den variablen Verstärkern der Ausführungsformen 2, 3 wurden die Vorspannungen für die Basis-Emitter-Transistoren Q1, Q2 gesteuert, wohingegen die Vorspannungen für die Transistoren in Basisschaltung (Q4, Q41 bis Q43) fest waren. In variablen Verstärkern mit einer solchen Anordnung sperren

die Transistoren in Basisschaltung (Q4, Q41 bis Q43) nur passiv, wenn der Stromfluss stoppt, und können vorübergehend bei einem Eingangssignal mit hohem Pegel durchsteuern. Diese unzureichende Isolation kann ein Hindernis beim Erweitern des Bereichs der variablen Verstärkung der variablen Verstärker in den Ausführungsformen 2, 3 sein. Die Transistoren in Basisschaltung (Q4, Q41 bis Q43) sind auch in Betrieb (ein kleiner Basisstrom fließt), selbst wenn sie gesperrt sind, was eine Verzerrung verursachen und die Linearität verschlechtern kann.

[0100] Um dieses Problem anzugehen, unterscheidet sich der variable Verstärker der Ausführungsform von der Schaltung in [Fig. 8](#) darin, dass, wenn irgendeiner/irgendwelche der Basis-Emitter-Transistoren Q1 bis Q3 gesperrt ist/sind, die Basisspannung(en) der gesperrten Transistoren in Basisschaltung Q41, Q42, Q43 so gesteuert wird/werden, dass die Basisspannung(en) der zugehörigen Transistoren in Basisschaltung Q41, Q42, Q43 auf im Wesentlichen 0 V gezwungen wird. Folglich werden die Transistoren in Basisschaltung Q41, Q42, Q43 aktiv gesperrt, was die Isolation weiter verbessert.

[0101] Der variable Verstärker der Ausführungsform enthält eine Basisspannungs-Steuerschaltung, die die Basisspannungen VBB1 bis VBB3 der Transistoren in Basisschaltung Q41, Q42, Q43 steuert. Die Basisspannungs-Steuerschaltung ist mit den Anschlüssen VBB1, VBB2, VBB3 des in Kaskade geschalteten Variablen Verstärkers in [Fig. 8](#) gekoppelt

[0102] [Fig. 10](#) zeigt die Anordnung der Basisspannungs-Steuerschaltung (Spannungssteuerabschnitt), die mit der Schaltung von [Fig. 8](#) verbunden ist.

[0103] Mit Bezug auf [Fig. 10](#) unterscheidet sich die Basisspannungs-Steuerschaltung 2 von der Basisstrom-Steuerschaltung 1 in [Fig. 2](#) wie folgt: Der MOS-Transistor ist der Stromumschaltabschnitt in einem Feldeffekttransistor vom n-Typ (n-Kanal-MOS-Transistor). Eine Stromspiegelschaltung ist vorgesehen, die einen Feldeffekttransistor vom p-Typ (p-Kanal-MOS-Transistor) enthält. Die Basisstrom-Steuerschaltung 1 in [Fig. 1](#) gibt den Strom direkt vom Stromumschaltabschnitt aus. Im Gegensatz dazu steuert in der Basisspannungs-Steuerschaltung 2 in [Fig. 10](#) der Stromumschaltabschnitt den eingehenden Stromfluss und die Stromspiegelschaltung ändert die Richtung, in der der Strom fließt. Diese Operation erhöht die maximale tolerierbare Ausgangsspannung. Eine Spiegelschaltung, die aus einem Transistor QB3C und einem Transistor QB3M besteht, ist mit dem Drain des Transistors QB1 gekoppelt. Eine weitere Spiegelschaltung, die aus einem Transistor QB2C und einem Transistor QB2M besteht, ist mit dem Drain des Transistors QB3 gekoppelt. Eine weitere Spiegelschaltung, die aus ei-

nem Transistor QB1C und einem Transistor QB1M besteht, ist mit dem Drain des Transistors QB4 gekoppelt. Ein Paar von Widerständen R1U, R1L ist mit der Spiegelschaltung, die QB1M enthält, gekoppelt. Ein weiteres Paar von Widerständen R2U, R2L ist mit der Spiegelschaltung, die QB2M enthält, gekoppelt. Ein weiteres Paar von Widerständen R3U, R3L ist mit der Spiegelschaltung, die QB3M enthält, gekoppelt. Die Widerstandspaare sind vorgesehen, um den Strom von der Spiegelschaltung in eine Spannung umzusetzen. Die Transistoren QB1C, QB1M, QB2C, QB2M, QB3C, QB3M sind alle Feldeffekttransistoren vom p-Typ (p-Kanal-MOS-Transistoren).

[0104] In der Basisspannungs-Steuerschaltung 2 werden die Ströme IB1 bis IB3 durch die jeweiligen Spiegelschaltungen, die jeweils aus dem Transistor QBXC (X = 1, 2, 3) und dem Transistor QBXM (X = 1, 2, 3) bestehen, in Ausgangsströme umgesetzt. Diese Ströme werden durch die Widerstände, die jeweils aus dem Widerstand RXU (X = 1, 2, 3) und dem Widerstand RXL (X = 1, 2, 3) bestehen, in Spannungen umgesetzt, um die Basisspannungen VBB1 bis VBB3 zu erzeugen, die in die Transistoren Q41 bis Q43 eingespeist werden sollen.

[0105] Wie im Vorangehenden detailliert dargestellt, erzeugt die Basisspannungs-Steuerschaltung 2 die Basisströme IB1 bis IB3 gemäß der Steuerspannung VCTRL und erzeugt dann die Basisspannungen VBB1, VBB2, VBB3 aus den Basisströmen IB1 bis IB für die Ausgabe über die Anschlüsse VB1, VB2, VB3.

[0106] Die Ströme IB1 bis IB3, die jeweils zu den Transistoren QB4, QB3, QB1 fließen, die in [Fig. 10](#) gezeigt sind, weisen eine Steuerspannungsabhängigkeit, wie in [Fig. 3](#) gezeigt, ähnlich zur Basisstrom-Steuerschaltung 1, die in [Fig. 2](#) gezeigt ist, auf.

[0107] Unter der Annahme, dass zwei Transistoren (Transistor QBXC (X = 1, 2, 3) und Transistor QBXM (X = 1, 2, 3)), die eine Spiegelschaltung bilden, dieselbe Gatebreite aufweisen, wird die Steuerspannungsabhängigkeit der Basisspannungen, die in [Fig. 11](#) gezeigt ist, durch Bestimmen der Widerstandswerte der Widerstände R1U, R1L, R2U, R2L, R3U, R3L und der Ströme IREF durch die Widerstände so, dass die Beziehung:

$$(RXU + RXL) \times IREF \gg \text{Quellenspannung}$$

erfüllt ist, erhalten. In [Fig. 11](#) sind der Basisstrom eines Basis-Emitter-Transistors (Q1 bis Q3) und die Basisspannung seines in Kaskade geschalteten Transistors in Basisschaltung (Q41 bis Q43) durch dieselbe Art von Linie (durchgezogen, gestrichelt und Strich-Punkt) angegeben. Wünschenswerterweise variieren die Basisspannungen VBB1 bis VBB3 der Transistoren Q41 bis Q43 in Basisschaltung kaum,

wenn die Basis-Emitter-Transistoren (Q1 bis Q3) in Betrieb sind. Es ist daher bevorzugt, wenn die Ströme durch die Widerstände R1U, R1L, R2U, R2L, R3U, R3L im Vergleich zu den erforderlichen Basisströmen ausreichend groß sind.

[0108] Das Untersuchen der Umschaltcharakteristiken zeigt auf, dass, wenn die Basisspannungen VBB1 bis VBB3 der Transistoren Q41 bis Q43 in Basisschaltung und die Basisströme IB1 bis IB3 der Basis-Emitter-Transistoren Q1 bis Q3 fallen, die Basisspannungen VBB1 bis VBB3 der Transistoren Q41 bis Q43 in Basisschaltung abfallen (fast auf 0 V fallen), nachdem die Basisströme IB1 bis IB3 der Basis-Emitter-Transistoren Q1 bis Q3 auf ausreichend niedrige Pegel fallen. Wenn die Basis-Emitter-Transistoren Q1 bis Q3 nicht in Betrieb sind, werden die Basisspannungen VBB1 bis VBB3 der Transistoren Q41 bis Q43 in Basisschaltung auf fast 0 V hinab gebracht. Dies verbessert die Isolation, die Verstärkungsmilderung und IIP3 weiter.

[0109] Ähnlich zur Basisstrom-Steuerung ist die Schaltung, die die Basisspannungen der Transistoren Q41 bis Q43 in Basisschaltung steuert, nicht auf die in [Fig. 10](#) gezeigte analoge Schaltung (Basisspannungs-Steuerung 2) begrenzt. Verschiedene Alternativen stehen zur Verfügung, einschließlich analoger Schaltungen mit anderen Strukturen. Eine weitere Alternative ist eine Schaltung, die ein Steuersignal unter Computersteuerung digital erzeugt und dann die Basisspannungen der Transistoren Q41 bis Q43 in Basisschaltung aus dem Steuersignal unter Verwendung eines D/A-Umsetzers erzeugt, um die Einheitsverstärker zu steuern.

[0110] Wie im Vorangehenden detailliert dargestellt, unterscheidet sich der variable Verstärker der Ausführungsform vom variablen Verstärker der Ausführungsform 3 darin, dass die Basisströme der ersten Gruppe von Transistoren verändert werden und auch die Basis- oder Gatespannungen der mehreren zweiten Transistoren verändert werden. Ferner ist der variable Verstärker der Ausführungsform so beschaffen, dass die mehreren Transistoren in Basisschaltung oder Gateschaltung gemäß dem Betriebszustand der Basis-Emitter-Transistoren aktiv gesperrt werden. Die Anordnung verbessert die Charakteristiken weiter.

AUSFÜHRUNGSFORM 5

[0111] Mit Bezug auf [Fig. 12](#), [Fig. 13](#) beschreibt das Folgende eine weitere Ausführungsform der Erfindung. Der Bequemlichkeit halber sind hier Elemente der Ausführungsform, die dieselbe Anordnung und Funktion wie Elemente von irgendeiner der Ausführungsformen 1 bis 4 aufweisen und die in dieser Ausführungsform erwähnt sind, mit denselben Bezugszeichen angegeben und auf deren Beschreibung

wird verzichtet.

[0112] Das Untersuchen der Eigenschaften des variablen Verstärkers der Ausführungsform 4 im Detail zeigt auf, dass IIP3 mit abnehmenden Basisströmen IB1 bis IB3 der Basis-Emitter-Transistoren Q1 bis Q3 fällt. Um diese Charakteristik zu verbessern, wenn die Basisspannungen VBB1 bis VBB3 der Transistoren Q41 bis Q43 in Basisschaltung und die Basisströme IB1 bis IB3 der Basis-Emitter-Transistoren Q1 bis Q3 fallen, zwingt der variable Verstärker der Ausführungsform die Transistoren in Basisschaltung in den gesperrten Zustand, bevor die Basisströme IB1 bis IB3 der Basis-Emitter-Transistoren Q1 bis Q3 auf solche Pegel fallen, bei denen eine Verzerrung auftreten kann. Die Charakteristiken werden somit verbessert.

[0113] Diese Umschaltcharakteristiken werden unter anderem durch Einstellen der Widerstandswerte der Widerstände RC1, RC2, RC3, die Referenzspannungen in der Basisspannungs-Steuerung 2 erzeugen, wie in [Fig. 10](#) gezeigt, und der Widerstandswerte der Widerstände R1U, R1L, R2U, R2L, R3U, R3L, die die Strom/Spannungs-Umsetzung ausführen, erhalten.

[0114] [Fig. 12](#) zeigt die Umschaltcharakteristiken in Verbindung mit den Basisströmen IB1 bis IB3 der Basis-Emitter-Transistoren Q1 bis Q3 und der Steuerspannung VCTRL und auch die Umschaltcharakteristiken in Verbindung mit den Basisspannungen VBB1 bis VBB3 der Transistoren Q41 bis Q43 in Basisschaltung und der Steuerspannung VCTRL.

[0115] Mit Bezug auf [Fig. 11](#) sind die Basisspannungen VBB1 bis VBB3 der Transistoren Q41 bis Q43 in Basisschaltung über einen ganzen Bereich der Steuerspannung VCTRL konstant, wenn von Null verschiedene Basisströme IB1 bis IB3 der Basis-Emitter-Transistoren Q1 bis Q3 vorliegen. Wenn die Basisspannungen VBB1 bis VBB3 der Transistoren Q41 bis Q43 in Basisschaltung und die Basisströme IB1 bis IB3 der Basis-Emitter-Transistoren Q1 bis Q3 verringert werden, fallen die Basisströme IB1 bis IB3 der Basis-Emitter-Transistoren Q1 bis Q3 vollständig ab (fallen fast auf 0 V), bevor die Basisspannungen VBB1 bis VBB3 der Transistoren Q41 bis Q43 in Basisschaltung auf fast 0 V fallen.

[0116] Im Gegensatz dazu fallen die Basisspannungen VBB1 bis VBB3 der Transistoren Q41 bis Q43 in Basisschaltung fast auf 0 V, sperren daher (Abschalten), wenn die Basisströme IB1 bis IB3 der Basis-Emitter-Transistoren Q1 bis Q3 auf oder unter 10% eines vorbestimmten Stroms (vorbestimmter Wert) fallen.

[0117] [Fig. 13](#) zeigt die Verstärkungs- und IIP3-Charakteristiken des variablen Verstärkers der Ausführungsform (die Verstärkung wird nur in einer

Emitter-Konfiguration gesteuert) zusammen mit jenen des variablen Verstärkers der Ausführungsform 4 (die Verzerrung ist in einer Basisschaltungskonfiguration entfernt) für Vergleichszwecke. Es ist selbstverständlich, dass im variablen Verstärker der Ausführungsform die IIP3-Verschlechterung in einem Bereich der Steuerspannung VCTRL, in dem die Transistoren Q1 bis Q3 umschaltbar sind, erheblich gemildert ist.

[0118] Wie im Vorangehenden detailliert dargestellt, unterscheidet sich der variable Verstärker der Ausführungsform vom variablen Verstärker der Ausführungsform 4 darin, dass die Basis- oder Gatespannungen der Transistoren in Basisschaltung oder Gateschaltung abgeschaltet werden, bevor die Basisströme der Basis-Emitter-Transistoren als Steuerung der Basisströme der Basis-Emitter-Transistoren und der Basis- oder Gatespannungen der Transistoren in Basisschaltung oder Gateschaltung abgeschaltet werden. Ferner mildert die Steuerung die Entwicklung einer Verzerrung, wenn die Basis-Emitter-Transistoren sperren.

AUSFÜHRUNGSFORM 6

[0119] Mit Bezug auf [Fig. 14](#) beschreibt das Folgende eine weitere Ausführungsform der Erfindung. Hier sind der Bequemlichkeit halber Elemente der Ausführungsform, die dieselbe Anordnung und Funktion aufweisen wie Elemente von irgendeiner der Ausführungsformen 1 bis 5 und die in dieser Ausführungsform erwähnt sind, mit denselben Bezugszeichen angegeben und auf deren Beschreibung wird verzichtet.

[0120] In den obigen Ausführungsformen 1 bis 5 teilten sich alle Einheitsverstärker (Transistoren Q1 bis Q3) identische Charakteristiken (Verstärkung und Linearität). Individuelle Einheitsverstärker können verschiedene Charakteristiken aufweisen. Das Erreichen einer großen Verstärkung benötigt typischerweise ein geringes Rauschen, aber nicht viel Linearität. Ein hoher Grad an Linearität ist jedoch erforderlich, wenn der Signaleingang eine so große Amplitude aufweist, dass der Verstärker zum Erzeugen einer kleinen Verstärkung festgelegt wird.

[0121] Solche Charakteristiken werden wie folgt erhalten: Keine negative Rückkopplung wird zum Verstärker geliefert, der am nächsten zum Eingang liegt. Eine negative Rückkopplung wird zu den Transistoren Q2, Q3 (Verstärker nach einem Dämpfer) durch Verbinden eines Widerstandes oder Induktors mit den Emittieren der Transistoren Q2, Q3 für eine höhere Linearität geliefert.

[0122] Wie in [Fig. 14](#) gezeigt, unterscheidet sich der variable Verstärker der Ausführungsform vom variablen Verstärker der Ausführungsform 1 in [Fig. 1](#) darin,

dass ein Widerstand RE2 und ein Widerstand RE3 zwischen den Emitter des Transistors Q2 und die Masse bzw. zwischen den Emitter des Transistors Q3 und die Masse eingefügt sind, um eine negative Rückkopplung zu verwirklichen. Der Transistor Q2 und der Widerstand RE2 bilden einen Einheitsverstärker, während der Transistor Q3 und der Widerstand RE3 einen weiteren Einheitsverstärker bilden.

[0123] Alternativ kann ein Kondensator oder ein Widerstand zwischen der Basis und dem Kollektor der Transistoren Q2, Q3 angeordnet werden, um eine negative Rückkopplung zu den Transistoren Q2, Q3 zu liefern. Das Koppeln eines Induktors mit einem Emitter ist die beste Wahl hinsichtlich der Rauschcharakteristiken. Das Koppeln eines Widerstandes mit einem Emitter ist eine nahe zweite. Das Anordnen eines Widerstandes oder eines Kondensators zwischen der Basis und dem Kollektor der Transistoren Q2, Q3 für eine negative Rückkopplung führt zu einer schlechten Rauschcharakteristik.

[0124] Das Erhöhen der Stromdichte für die Transistoren Q2, Q3 ist auch für weitere Linearitätsverbesserungen wirksam. Der Transistor Q1, der am nächsten zum Eingang liegt, muss einen niedrigen Basiswiderstand aufweisen, um ein geringes Rauschen zu erreichen. Dazu muss der Transistor Q1 relativ große Abmessungen besitzen. Um den Stromverbrauch im Transistor Q1 auf ein mögliches Minimum zu verringern, kann die Stromdichte des Transistors Q1 nicht sehr erhöht werden. Die Spezifikationen der Transistoren Q2, Q3, die stromabwärts von den Dämpfern AT1, AT2 liegen, sind jedoch weniger streng hinsichtlich der Rauschcharakteristiken. Somit wird die Linearität durch Verringern der Transistoren Q2, Q3 in der Abmessung verbessert, was daher zur Stromdichte der Transistoren Q2, Q3 beiträgt.

[0125] Ein geringes Rauschen bei großen Verstärkungen und eine hohe Linearität bei kleinen Verstärkungen werden durch Optimieren der Charakteristiken der individuellen Einheitsverstärker durch diese oder eine ähnliche Methode erreicht.

[0126] Wie im Vorangehenden detailliert dargestellt, unterscheidet sich der variable Verstärker der Ausführungsform von den variablen Verstärkern von irgendeiner der Ausführungsformen 1 bis 5 darin, dass die Einheitsverstärker, die jeweils einen Transistor enthalten, zwei oder mehrere Arten von Einheitsverstärker(n) mit verschiedenen Charakteristiken umfassen. In dieser Struktur weist der Verstärker erheblich verbesserte Gesamtcharakteristiken durch Optimieren der Charakteristiken der individuellen Verstärker gemäß den Charakteristiken auf.

AUSFÜHRUNGSFORM 7

[0127] Mit Bezug auf [Fig. 15](#) beschreibt das Folgende

de eine weitere Ausführungsform der Erfindung. Hier sind der Bequemlichkeit halber Elemente der Ausführungsform, die dieselbe Anordnung und Funktion wie Elemente von irgendeiner der Ausführungsformen 1 bis 6 aufweisen und die in dieser Ausführungsform erwähnt sind, mit denselben Bezugszeichen angegeben und auf deren Beschreibung wird verzichtet.

[0128] Wie vorher erwähnt, musste in den variablen Verstärkern der Ausführungsformen 1 bis 6 der Einheitsverstärker (Transistor Q1), der am nächsten zum Eingang lag, eine große Verstärkung und ein geringes Rauschen aufweisen. Um das letztere zu erreichen, war das Verringern des Basiswiderstandes des Transistors Q1 unvermeidlich, was wiederum bedeutete, dass der Transistor Q1 mit hinzugefügten Abmessungen auftreten musste. Um eine große Verstärkung zu erreichen, muss der Transistor Q1 einen ausreichend großen Strom leiten. Der Transistor Q1 musste einen ausreichend großen Strom auch leiten, um ein ausreichendes Niveau an Linearität zu erreichen. Der Stromverbrauch im ersten Einheitsverstärker (Transistor Q1) war daher ziemlich groß.

[0129] Im Gegensatz dazu war in den variablen Verstärkern der Ausführungsformen 1 bis 6 die Linearität eine wichtige Charakteristik für die zwei Einheitsverstärkerabschnitte, die um die Transistoren Q2, Q3 gebaut waren, in die ein Signal über die Dämpfer AT1, AT2 eingespeist wurde. Eine Weise zum Erreichen einer guten Linearität mit diesen Einheitsverstärkerabschnitten besteht darin, einen großen Strom durch die Transistoren Q2, Q3 zu leiten. In der Schaltungskonstruktion der variablen Verstärker der Ausführungsformen 1 bis 6 waren jedoch die Eingänge der Einheitsverstärkerabschnitte mit den Dämpfern AT1, AT2 verbunden. Dies trug zur Verbesserung von IIP3, einem Linearitätsindikator, bei. Außerdem konnte die Linearität der Einheitsverstärkerabschnitte beispielsweise durch Liefern einer negativen Rückkopplung zu den Transistoren Q2, Q3 oder Verringern der Transistoren Q2, Q3 in der Emitterfläche (folglich Erhöhen der Stromdichte) verbessert werden. Kurz gesagt, wenn die Rauschcharakteristiken nicht sehr wichtig sind, kann die Linearität des Einheitsverstärkerabschnitts selbst dann verbessert werden, wenn die Ströme durch die Transistoren Q2, Q3 verringert sind.

[0130] Der variable Verstärker der Ausführungsform unterscheidet sich vom variablen Verstärker der Ausführungsform 6 in [Fig. 14](#) hauptsächlich darin, dass die Basisstrom-Steuerschaltung 1 in [Fig. 2](#) gegen die Basisstrom-Steuerschaltung 11 in [Fig. 15](#) ausgetauscht ist.

[0131] Die Basisstrom-Steuerschaltung 11 in [Fig. 15](#) unterscheidet sich von der Basisstrom-Steuerschaltung 1 in [Fig. 2](#) wie folgt: der MOS-Transistor im Stromumschaltabschnitt ist ein Feldeffekttransis-

tor vom n-Typ (n-Kanal-MOS-Transistor). Eine Stromspiegelschaltung ist vorgesehen, die einen Feldeffekttransistor vom p-Typ (p-Kanal-MOS-Transistor) enthält. Die Basisstrom-Steuerschaltung 1 in [Fig. 2](#) gibt Strom direkt aus dem Stromumschaltabschnitt aus. Im Gegensatz dazu steuert in der Basisstrom-Steuerschaltung 2 in [Fig. 15](#) der Stromumschaltabschnitt den eingehenden Stromfluss und die Stromspiegelschaltung ändert die Richtung, in der der Strom fließt. Eine Spiegelschaltung, die aus einem Transistor QB3C und einem Transistor QB3M besteht, ist mit dem Drain des Transistors QB1 gekoppelt. Eine weitere Spiegelschaltung, die aus einem Transistor QB2C und einem Transistor QB2M besteht, ist mit dem Drain des Transistors QB3 gekoppelt. Eine weitere Spiegelschaltung, die aus einem Transistor QB1C und einem Transistor QB1M besteht, ist mit dem Drain des Transistors QB4 gekoppelt. Die Transistoren QB1C, QB1M, QB2C, QB2M, QB3C, QB3M sind alle Feldeffekttransistoren vom p-Typ (p-Kanal-MOS-Transistoren).

[0132] Im Gegensatz zur Basisstrom-Steuerschaltung 1 in [Fig. 1](#), in der die Basisstromsumme konstant gehalten wird, ermöglicht die Basisstrom-Steuerschaltung 11 in [Fig. 15](#) eine freie Einstellung der individuellen Basisströme IB1 bis IB3 durch die Transistoren Q1 bis Q3 durch Regeln der Gatebreite der Transistoren QB1M, QB2M, QB3M. Die Basisstrom-Steuerschaltung 11 steuert die Basisströme IB1 bis IB3 so, dass der kombinierte Stromverbrauch in den Transistoren Q1 bis Q3 sich gemäß dem Verhältnis der Basisströme IB1 bis IB3 durch die Transistoren Q1 bis Q3 ändert.

[0133] IIP3 steht beispielsweise im Verhältnis zum Kollektorstrom. Vorausgesetzt, dass das Hinzufügen der Emitterwiderstände RE2, RE3 in [Fig. 14](#) zum variablen Verstärker in [Fig. 3](#) IIP3 um 3 dB verbessert, während die Kollektorströme aufrechterhalten werden, bleibt IIP3 beispielsweise im Wesentlichen unverändert, wenn die Kollektorströme der Transistoren Q2, Q3 im variablen Verstärker in [Fig. 1](#) auf die Hälfte verringert werden. Daher sollten in diesem Fall beispielsweise die Basisströme IB1, IB3 durch die Transistoren Q1, Q3 so gesteuert werden, dass der Kollektorstrom des Transistors Q3 einen Maximalwert von der Hälfte von jenem des Kollektorstroms des Transistors Q1 aufweist. Diese Spezifikationen ermöglichen einen gewissen Stromverbrauch in den Transistoren Q1 bis Q3, wenn die Eingangsleistung klein ist, aber ein hohes Empfindlichkeitsniveau erforderlich ist, mit anderen Worten, wenn das Verhältnis des Basisstroms IB1 zum Basisstrom IB3 hoch ist. Die Spezifikationen ermöglichen auch weitere Verringerungen des Stromverbrauchs in den Transistoren Q1 bis Q3, wenn die Eingangsleistung hoch ist, mit anderen Worten, wenn das Verhältnis des Basisstroms IB1 zum Basisstrom IB3 niedrig ist. Wenn sich der Basisstrom IB1 beispielsweise auf 100% der

Basisstromsumme beläuft, unterscheidet sich in diesem Fall der Stromverbrauch in den Transistoren Q1 bis Q3 nicht signifikant vom variablen Verstärker in [Fig. 1](#). Wenn der sich der Basisstrom IB3 auf 100% der Basisstromsumme beläuft, ist der Stromverbrauch die Hälfte von jenem im variablen Verstärker in [Fig. 1](#).

[0134] Im Gegensatz dazu kann der Stromverbrauch in einem variablen Verstärker verringert werden, wenn die Eingangsleistung klein ist, und relativ hoch angehoben werden, wenn die Eingangsleistung groß ist und ein hoher IIP3 erforderlich ist. Dies ist anwendbar, wenn dieser variable Verstärker in einer Vorrichtung verwendet wird, deren Verdrahtungsentwurf weder einen hohen IIP3 noch eine große Verstärkung erfordert, wenn die Eingangsleistung klein ist, aber einen hohen IIP3 erfordert, wenn die Eingangsleistung groß ist.

[0135] Die Ausführungsform verwendet die einfachsten Basis-Emitter-Schaltungen, die zu jenen in der Ausführungsform 1 äquivalent sind. Die Ausführungsform weist weitere Verbesserungen der Charakteristiken durch Kaskadenverbindungen und Modifikationen an der Basisspannungs-Steuerschaltung wie in den Ausführungsformen 2 bis 5 auf.

[0136] Die herkömmlichen Schaltungen in ISSCC Digest und im Technical Report können nicht den Leistungsverbrauch gemäß der Leistung einstellen, da eine Umschaltsteuerung und Stromsummenbestimmung durch zwei individuelle Schaltungen ausgeführt werden.

[0137] Wie im Vorangehenden unterscheidet sich der variable Verstärker der Ausführungsform vom variablen Verstärker in irgendeiner der Ausführungsformen 1 bis 6 darin, dass der Stromverbrauch (Kollektorstrom) in der ersten Gruppe von Transistoren sich von einem Transistor zum anderen unterscheidet. Die Struktur ermöglicht eine Einstellung des Stromverbrauchs gemäß den Charakteristiken. Der Gesamtstromverbrauch des Verstärkers ist folglich verringert.

AUSFÜHRUNGSFORM 8

[0138] Mit Bezug auf [Fig. 16](#) beschreibt das Folgende eine weitere Ausführungsform der Erfindung. Hier sind der Bequemlichkeit halber Elemente der Ausführungsform, die dieselbe Anordnung und Funktion aufweisen wie Elemente von irgendeiner der Ausführungsformen 1 bis 7 und die in dieser Ausführungsform erwähnt sind, mit denselben Bezugszeichen angegeben und auf deren Beschreibung wird verzichtet.

[0139] [Fig. 16](#) ist ein Blockdiagramm eines mobilen drahtlosen Endgeräts (z. B. Mobiltelefons), das ei-

nen variablen Verstärker, der in den vorangehenden Ausführungsformen beschrieben wurde, als Hochfrequenzverstärker mit variabler Verstärkung (RFVGA) enthält. Ein mobiles drahtloses Endgerät **10** der Ausführungsform, wie in [Fig. 16](#) gezeigt, enthält: eine Antenne **16**; ein Bandpassfilter (BPF) **17**, das die Bandbreite des eingehenden Hochfrequenzsignals, das von der Antenne **16** empfangen wird, begrenzt; einen Hochfrequenzverstärker mit variabler Verstärkung (RFVGA) **12**, der das durch das Bandpassfilter **17** gefilterte Hochfrequenzsignal verstärkt; einen Mischer (MIX) **13**, der das Hochfrequenzsignal, das durch den Hochfrequenzverstärker **12** mit variabler Verstärkung verstärkt wurde, mit dem Oszillationssignal, das aus dem Spannungssteuerungsozillator (VCO) **14** ausgegeben wird, mischt, um das verstärkte Hochfrequenzsignal in ein Basisbandsignal umzusetzen; und einen Demodulator (DEMOD) **15**, der das Basisbandsignal demoduliert, um das ursprüngliche Signal zurückzugewinnen. Der Hochfrequenzverstärker **12** mit variabler Verstärkung ist irgendeiner der variablen Verstärker der Ausführungsformen 1 bis 7.

[0140] Auf Grund der Verwendung des Hochfrequenzverstärkers **12** mit variabler Verstärkung gemäß der Erfindung als Hochfrequenzverstärker mit variabler Verstärkung ist das mobile drahtlose Endgerät **10** mit einer solchen Konstruktion in der Lage, das Bandpassfilter (BPF) **17** direkt mit dem Eingang des Hochfrequenzverstärkers mit variabler Verstärkung zu koppeln, wobei kein Symmetrierglied mehr erforderlich ist, das in mobilen drahtlosen Endgeräten auf der Basis einer herkömmlichen Differenzverstärkerschaltungsanordnung erforderlich wäre. Die Beseitigung des Symmetriergliedes trägt nicht nur zur gesamten Schaltungsverkleinerung im mobilen drahtlosen Endgerät, sondern auch zu Empfangsleistungseinsparungen durch Beseitigen des Leistungsverbrauchs im Symmetrierglied bei. Daher verwirklicht die Verwendung des Hochfrequenzverstärkers **12** mit variabler Verstärkung gemäß der Erfindung ein kompaktes mobiles drahtloses Endgerät **10** mit hoher Empfindlichkeit.

[0141] Ferner kann der Hochfrequenzverstärker **12** mit variabler Verstärkung gemäß der Erfindung die Beziehung zwischen der Verstärkung und dem Stromverbrauch gemäß den Charakteristiken des mobilen drahtlosen Endgeräts optimieren; folglich verbraucht das resultierende mobile drahtlose Endgerät weniger Leistung, was eine verlängerte Betriebszeit ermöglicht.

[0142] Der variable Verstärker gemäß der Erfindung kann als Verstärker für das empfangene Signal in mobilen drahtlosen Endgeräten verwendet werden. Ferner kann der variable Verstärker gemäß der Erfindung in Endgeräten für das drahtlose Kommunikationssystem, das mit Hochfrequenzsignalen arbeitet,

wie z. B. Mobiltelefonen, verwendet werden.

[0143] Nachdem die Erfindung so beschrieben wurde, ist es offensichtlich, dass dieselbe in vielen Weisen verändert werden kann. Solche Veränderungen sollen nicht als Abweichung vom Schutzbereich der Erfindung betrachtet werden, und alle derartigen Modifikationen, die für einen Fachmann offensichtlich wären, sollen innerhalb des Schutzbereichs der folgenden Ansprüche eingeschlossen sein.

Patentansprüche

1. Variabler Verstärker, mit:

- Einheitsverstärkern (Q1, Q2, Q3), die zwischen einem Eingangssignalanschluss (INPUT) und einem Ausgangssignalanschluss (OUTPUT) parallelgeschaltet sind,
- wobei jeder Einheitsverstärker einen ersten Bipolartransistor in einer nicht differentiellen Emittterkonfiguration enthält und einen entsprechenden Signalweg von dem Eingangssignalanschluss zu dem Ausgangssignalanschluss schafft, und
- einem Basis-Strom-Steuerabschnitt, der Basis-Ströme der ersten Bipolartransistoren so steuert, dass die Charakteristik des Signalwegs eines ersten Einheitsverstärkers (Q1) von der Charakteristik des Signalwegs eines weiteren Einheitsverstärkers (Q2) verschieden ist, gekennzeichnet durch
- einen Dämpfer (CSR2, CSH2; RSR2, RSH2), durch den der Eingangssignalanschluss (INPUT) und der Eingang des ersten Einheitsverstärkers (Q1) mit dem Eingang des weiteren Einheitsverstärkers (Q2) verbunden sind.

2. Variabler Verstärker nach Anspruch 1, wobei die Transistoren Kollektoren besitzen, die im Wesentlichen mit einer einzigen Last verbunden sind.

3. Variabler Verstärker nach Anspruch 1, ferner mit einem sekundären Transistor (Q4), dessen Emitter oder dessen Source im Wesentlichen mit den Kollektoren der Transistoren (Q3) verbunden ist, wobei der sekundäre Transistor (Q4) eine Basis oder ein Gate besitzt, die bzw. das für Hochfrequenzkomponenten geerdet ist, und einen Kollektor oder einen Drain besitzt, der im Wesentlichen mit einer Last verbunden ist.

4. Variabler Verstärker nach Anspruch 3, wobei zwei oder mehr der sekundären Transistoren (Q41, Q42, Q43) vorgesehen sind, wovon jeder mit einem Emitter oder einer Source mit einem anderen der Kollektoren des Transistors (Q1, Q2, Q3) der Einheitsverstärker verbunden ist.

5. Variabler Verstärker nach Anspruch 4, ferner mit einem Spannungssteuerabschnitt (2), der Basis-Spannungen oder Gate-Spannungen der sekun-

dären Transistoren (Q41, Q42, Q43) steuert.

6. Variabler Verstärker nach Anspruch 5, wobei der Spannungssteuerabschnitt (2) Basis-Spannungen oder Gate-Spannungen für die sekundären Transistoren (Q41, Q42, Q43) von im Wesentlichen Null zulässt, wenn die Basis-Ströme der Transistoren niedriger oder gleich einem vorgegebenen Pegel sind.

7. Variabler Verstärker nach Anspruch 1, wobei der Signaleingangsanschluss (INPUT) ein Eintaktsignal empfängt.

8. Variabler Verstärker nach Anspruch 1, wobei die Charakteristik, in der sich einer der Wege von den anderen unterscheidet, aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus einem Signalverstärkungsfaktor, der Linearität und dem Rauschverhalten besteht.

9. Variabler Verstärker nach Anspruch 1, wobei die Wege erste Signalwege und einen zweiten Signalweg, der ein Signal mit einem kleineren Signalverstärkungsfaktor und einer höheren Linearität als die ersten Signalwege verstärkt, enthalten.

10. Variabler Verstärker nach Anspruch 9, wobei für einen der Transistoren, der den zweiten Signalweg bildet, eine negative Rückkopplung vorgesehen ist, und für die anderen Transistoren, die die ersten Signalwege bilden, keine negative Rückkopplung vorgesehen ist, so dass der zweite Signalweg eine höhere Linearität als die ersten Signalwege hat.

11. Variabler Verstärker nach Anspruch 9, wobei einer der Transistoren, der den zweiten Signalweg bildet, eine geringere Größe und daher eine höhere Stromdichte als andere Transistoren, die die ersten Signalwege bilden, hat, so dass der zweite Signalweg eine höhere Linearität als die ersten Signalwege zeigt.

12. Variabler Verstärker nach Anspruch 1, wobei der Basis-Strom-Steuerabschnitt (1) die Basis-Ströme der Transistoren steuert, so dass sich ein kombinierter Stromverbrauch in den Transistoren entsprechend einer Änderung des Verhältnisses der Basis-Ströme der Transistoren ändert.

13. Mobiles drahtloses Endgerät, das einen Verstärker enthält, der ein empfangenes Signal verstärkt, wobei der Verstärker der variable Verstärker nach einem der Ansprüche 1 bis 12 ist.

Es folgen 16 Blatt Zeichnungen

FIG.1

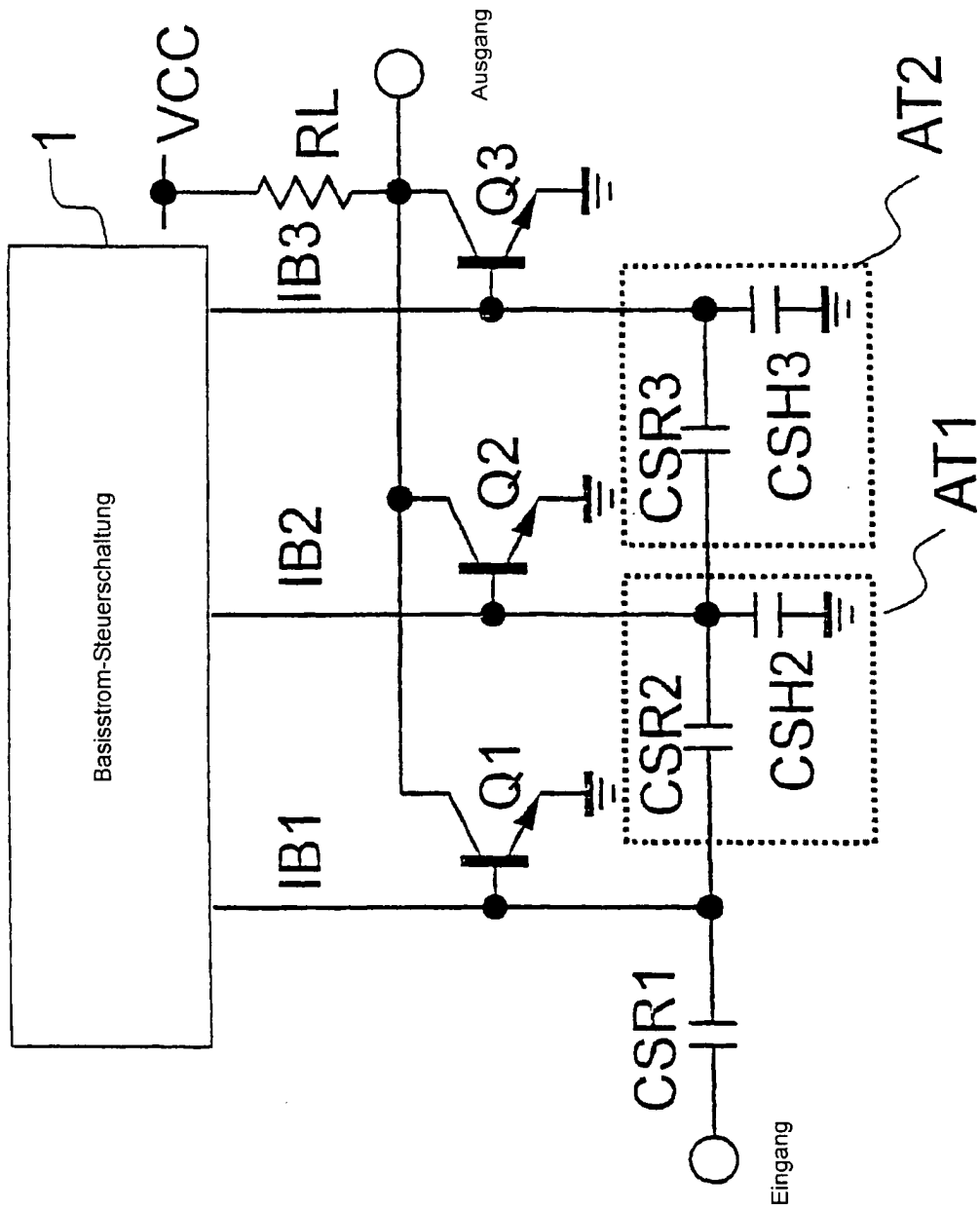


FIG.2

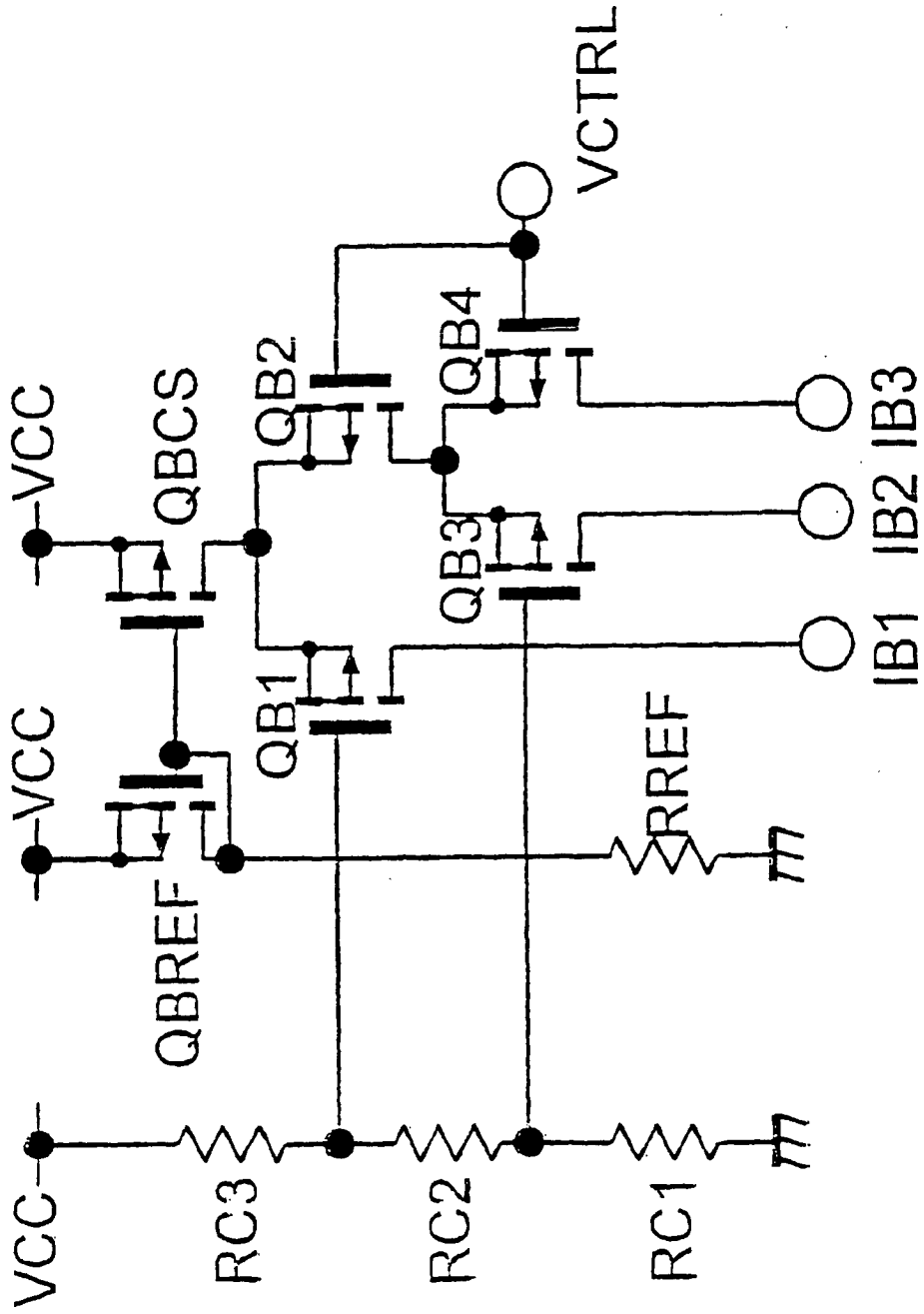


FIG.3

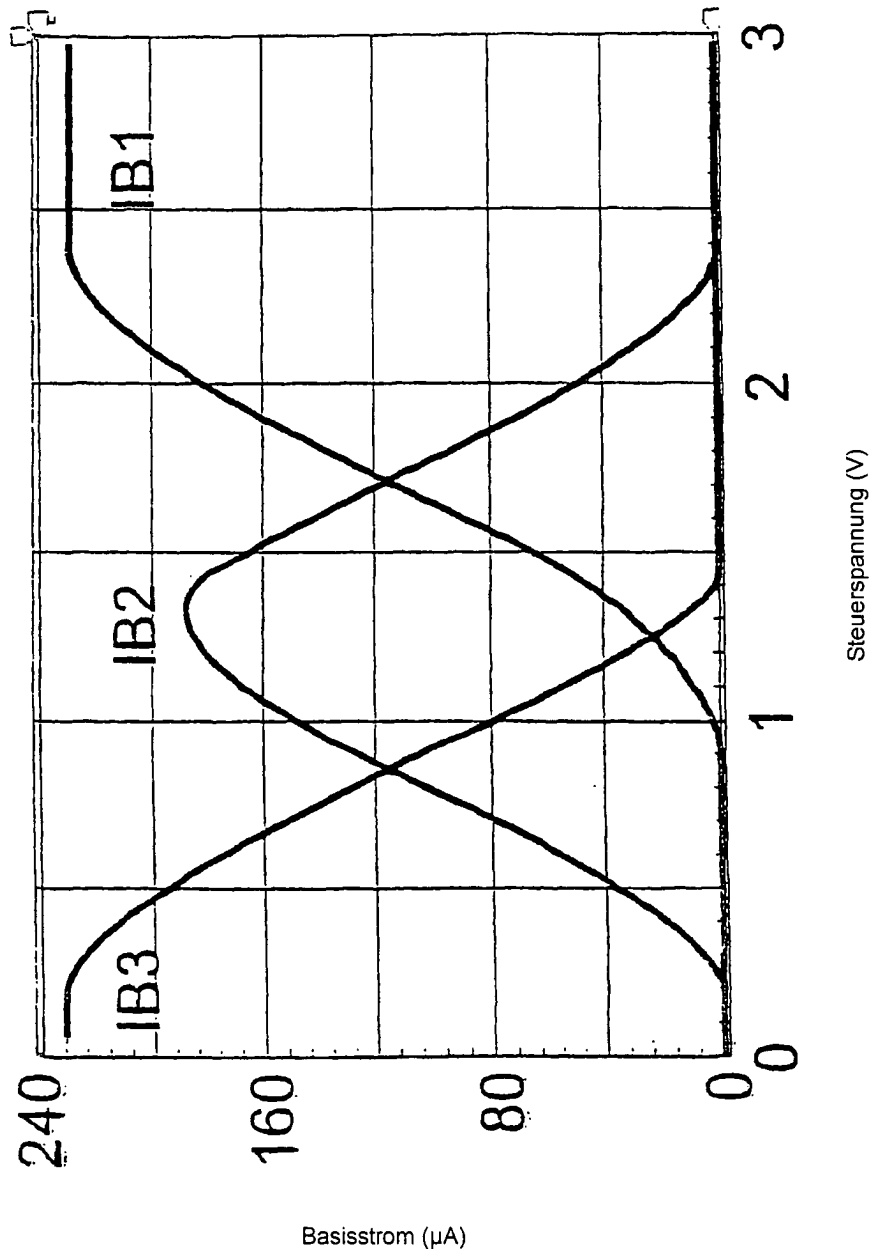


FIG.4

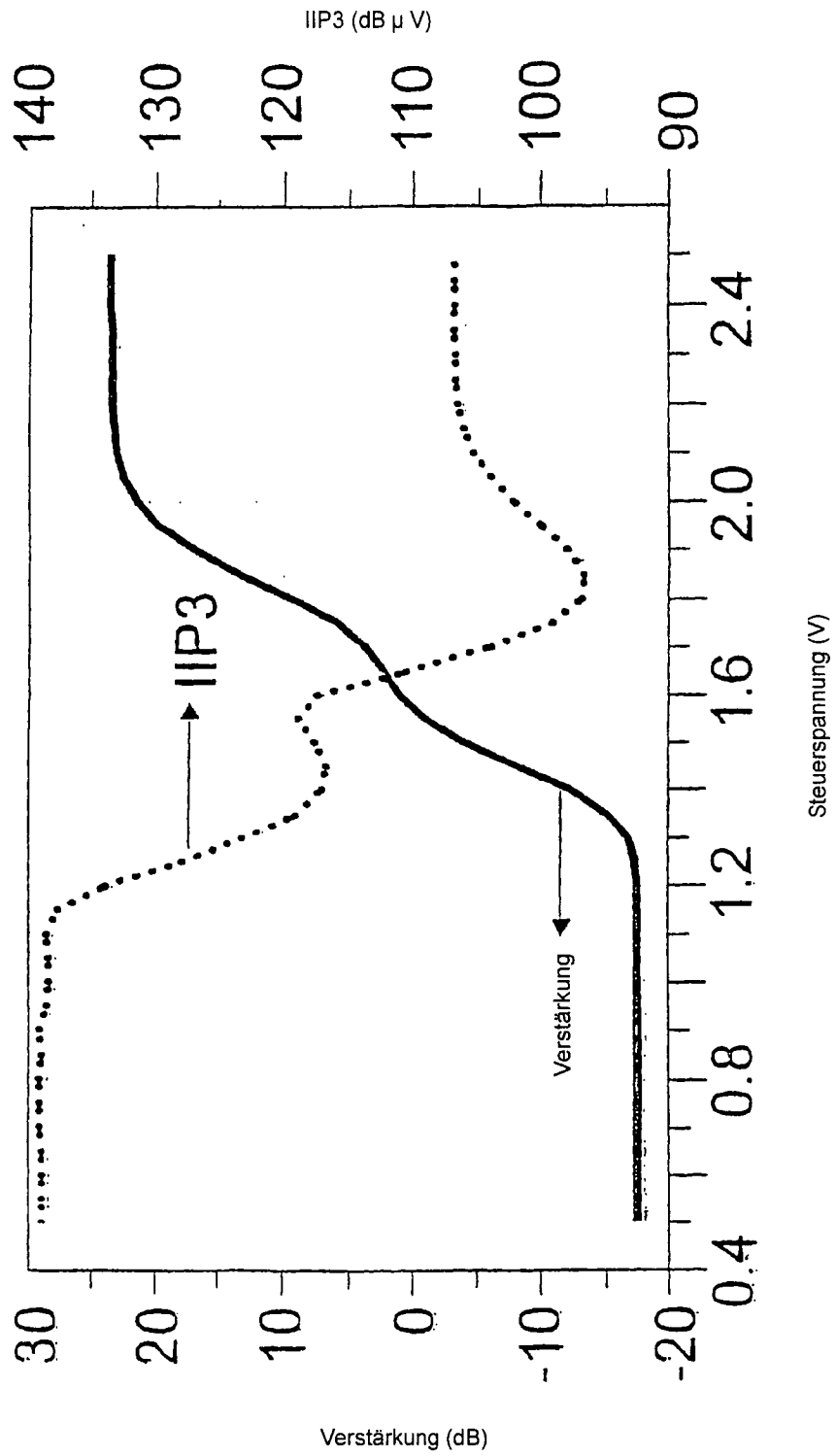


FIG.5

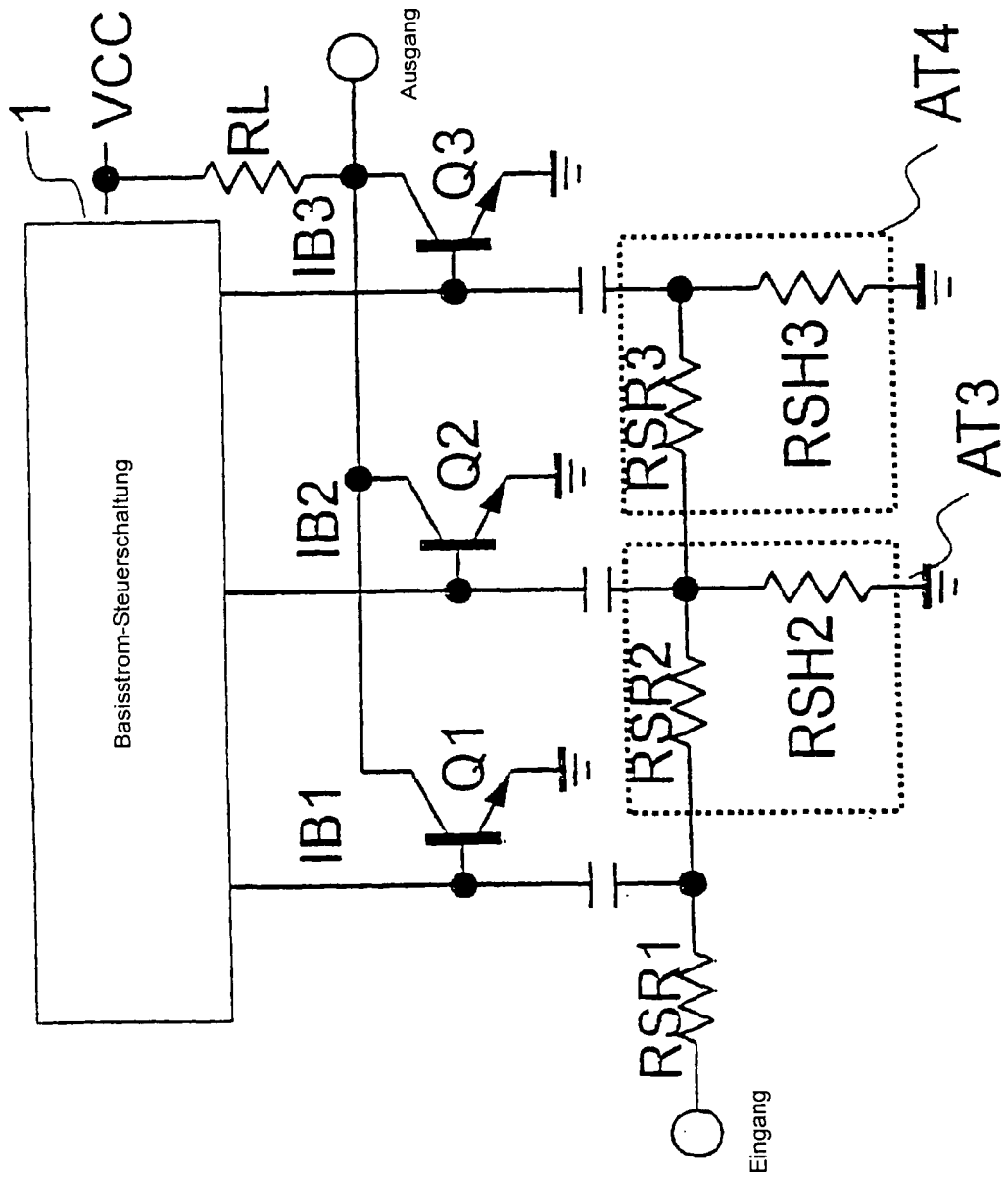


FIG.6

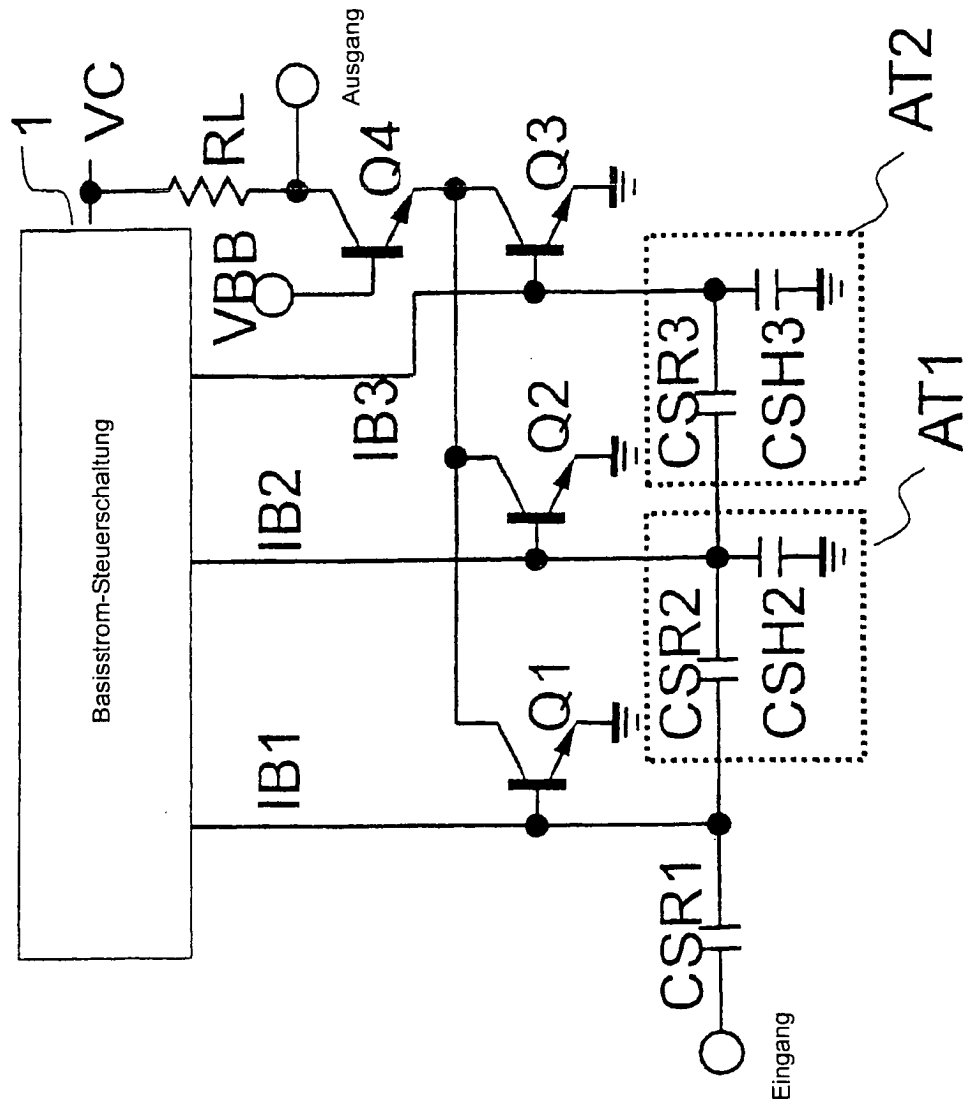


FIG.7

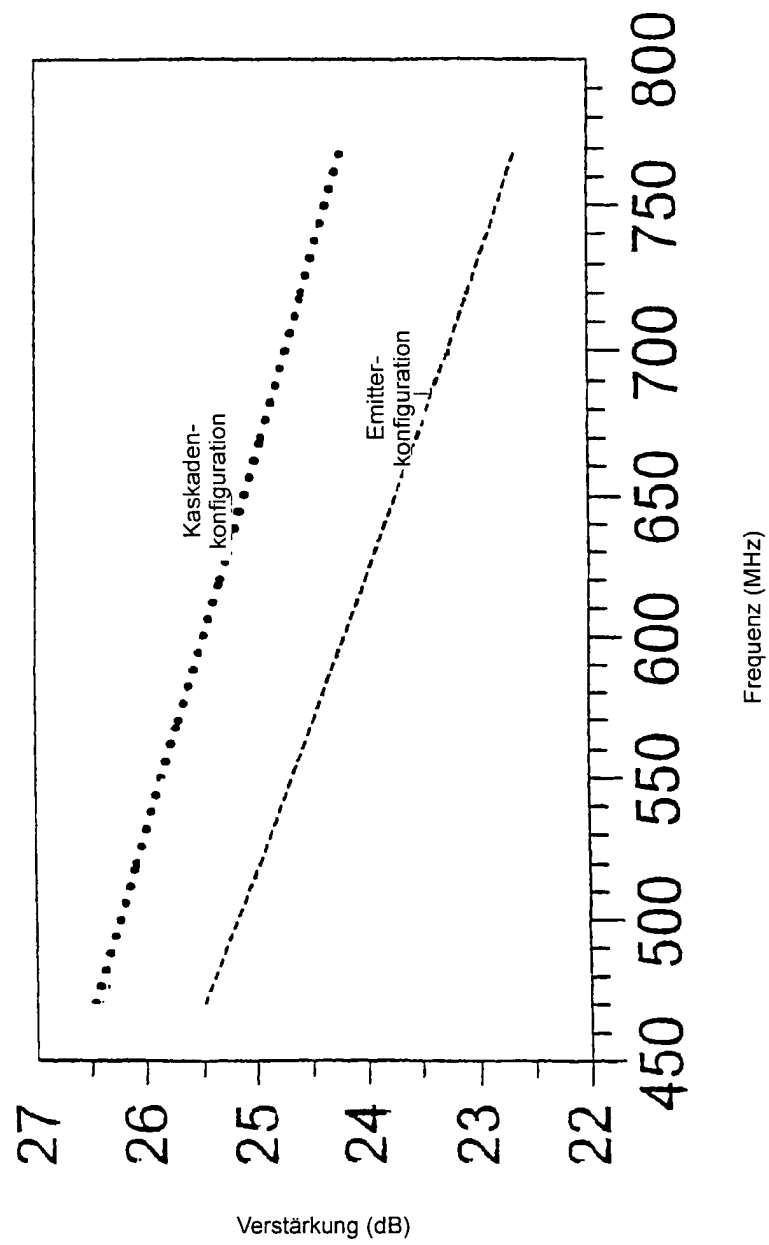


FIG.8

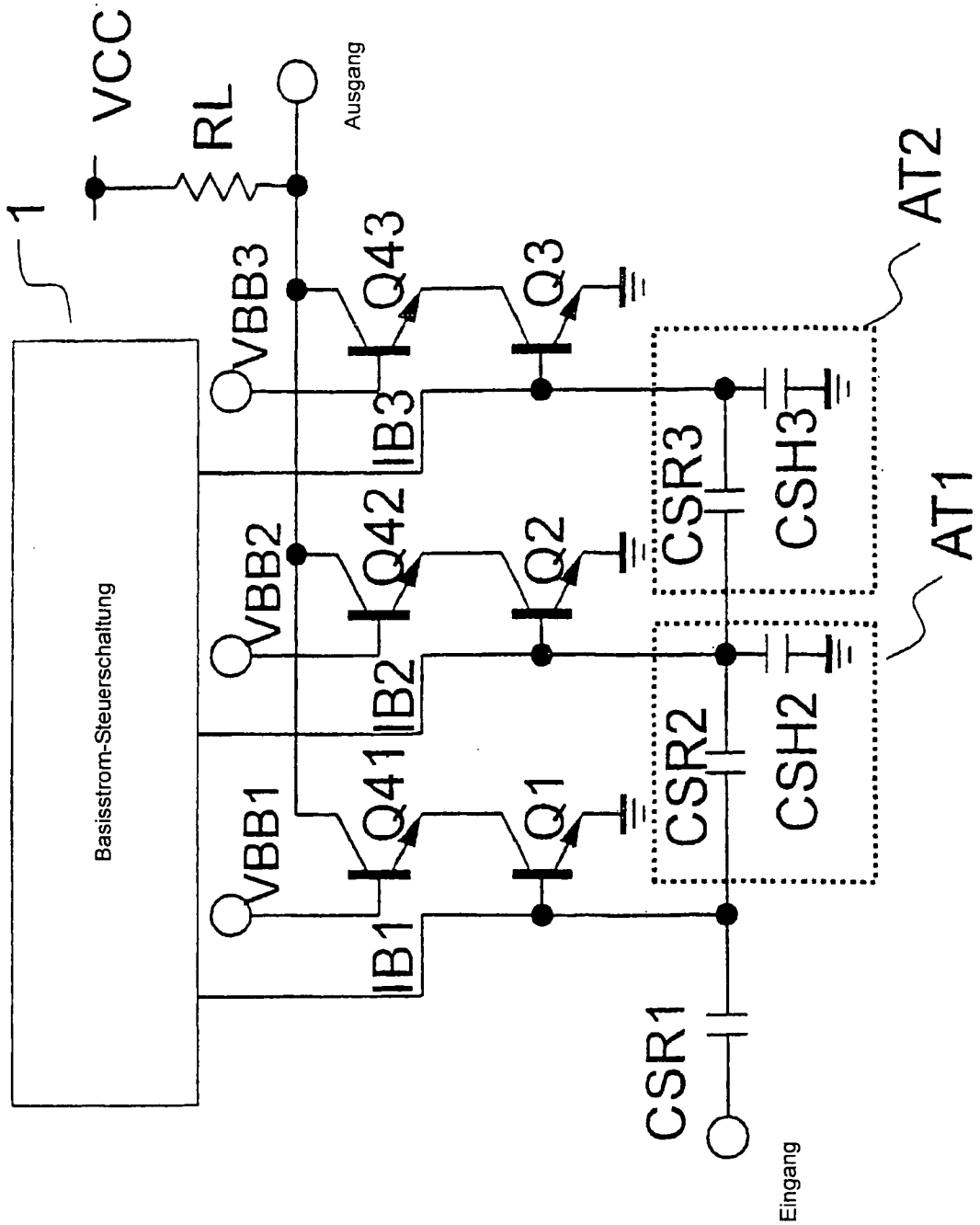


FIG.9

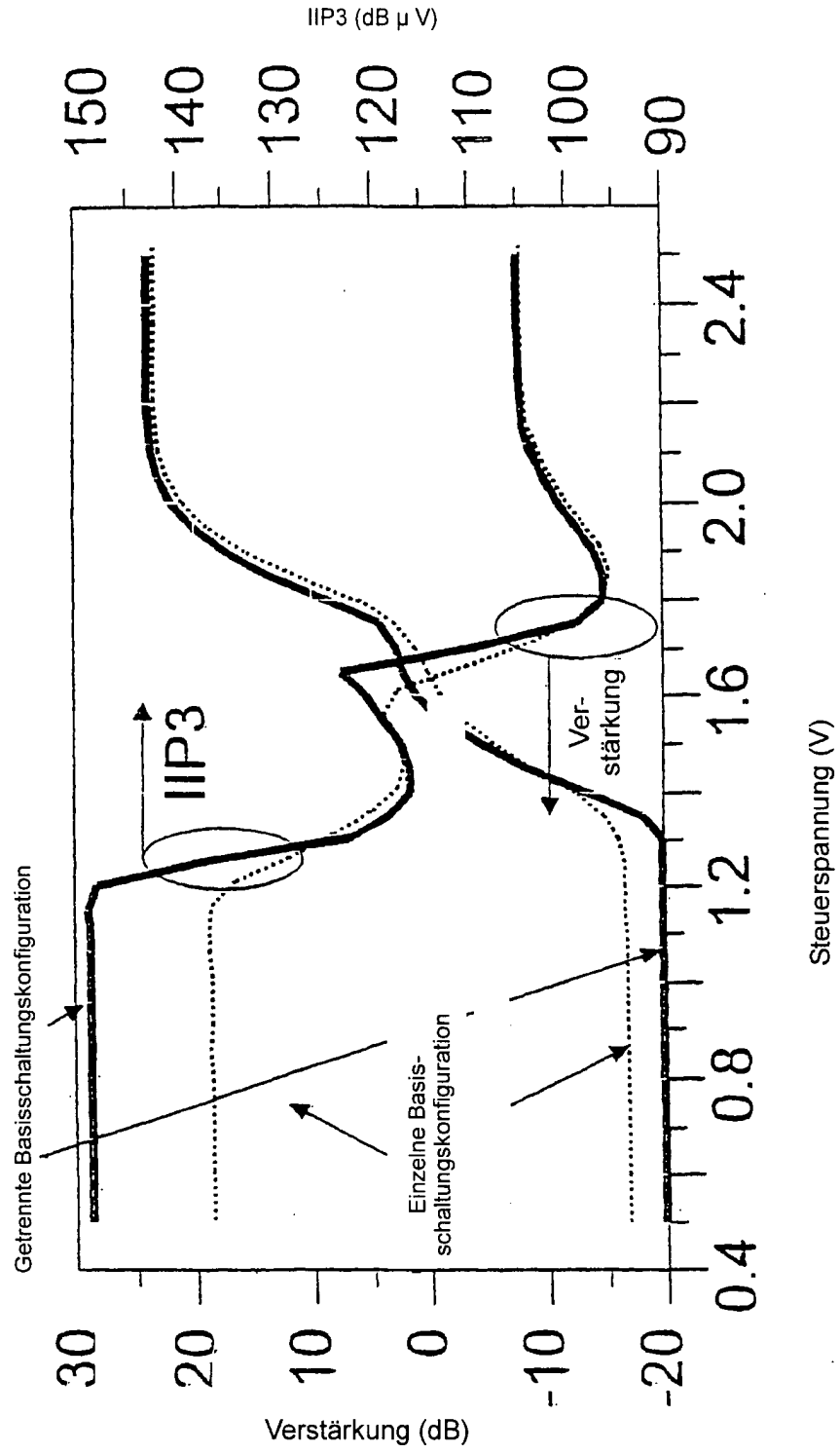


FIG.10

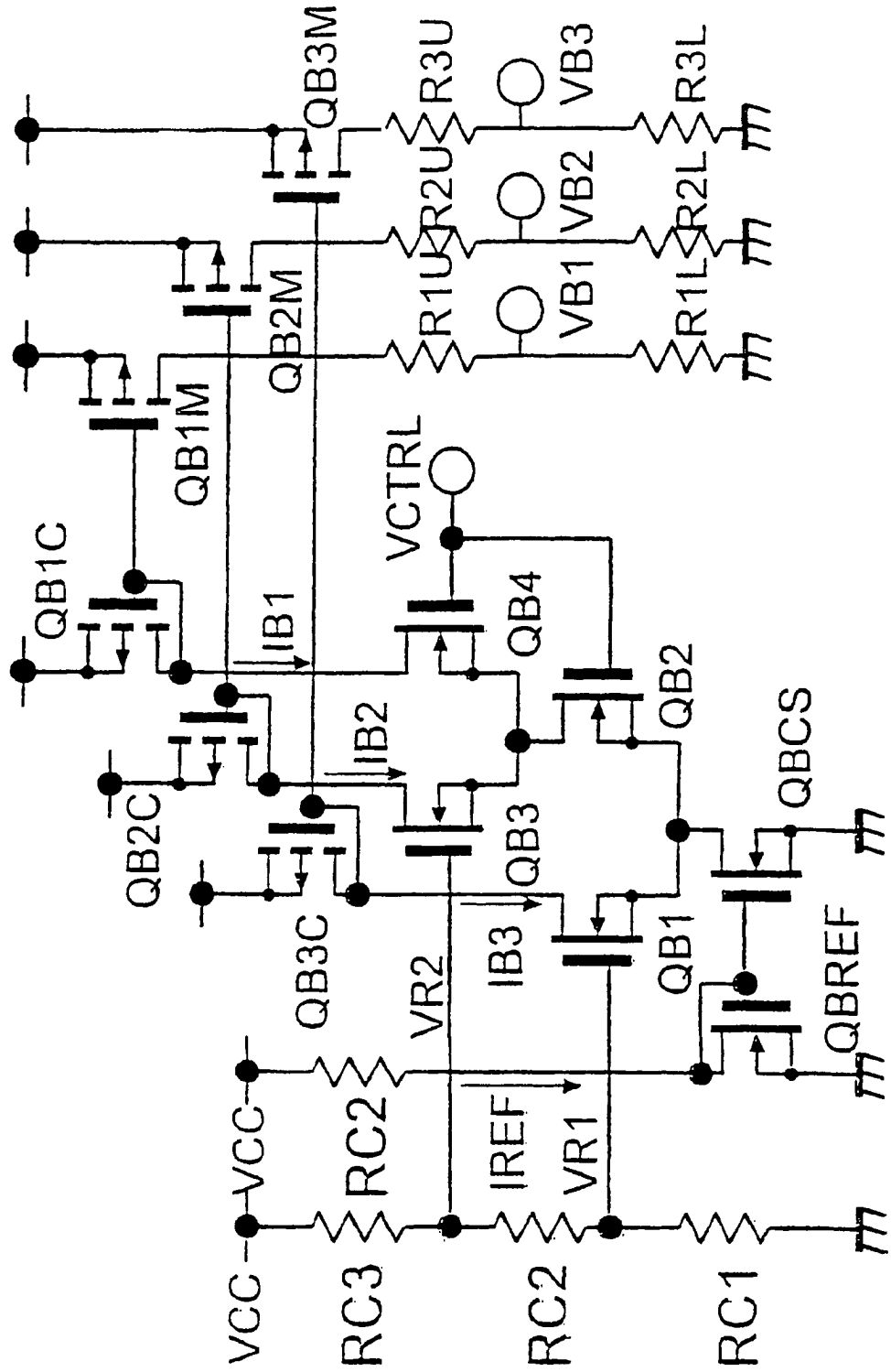


FIG.11

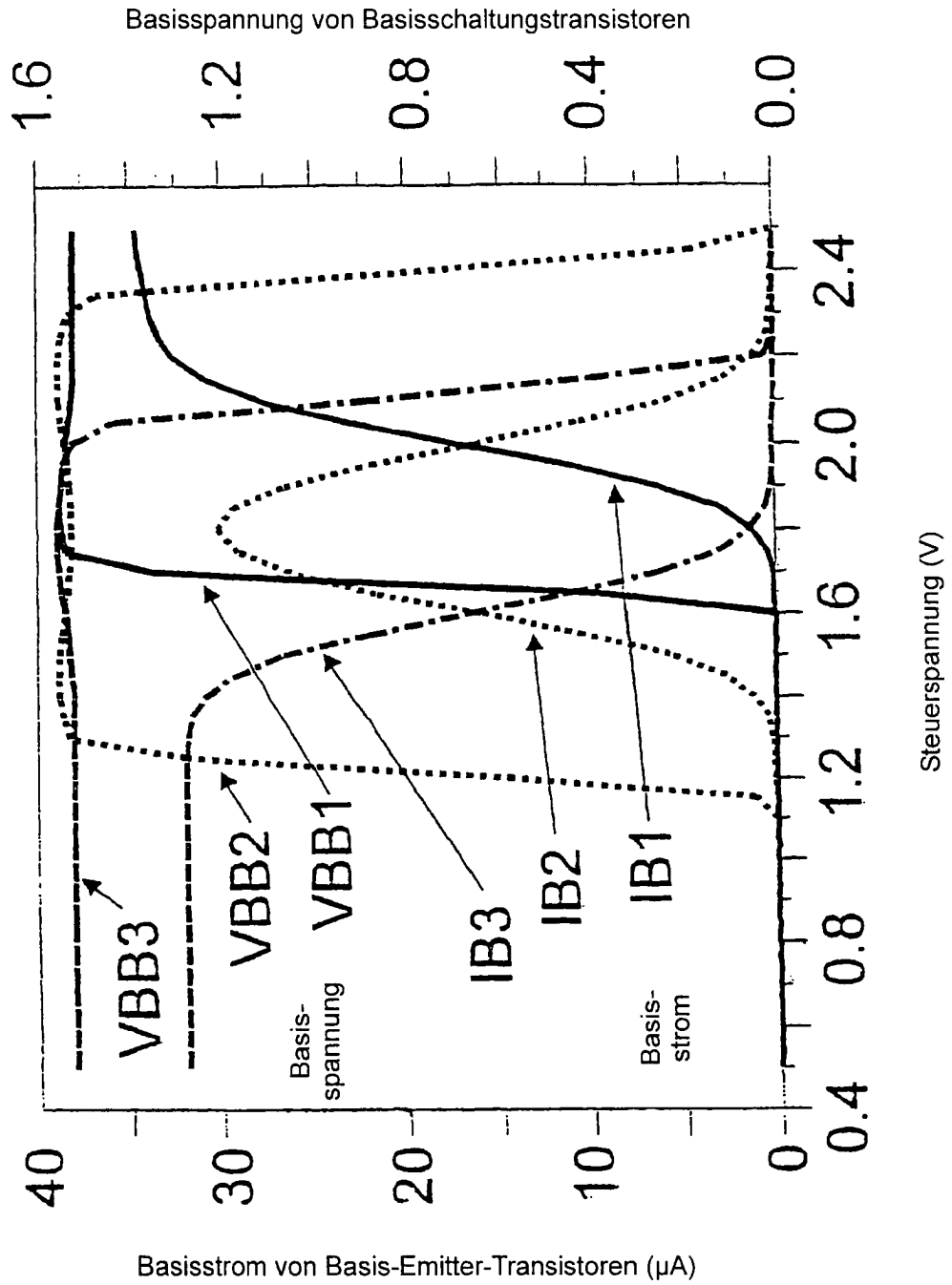


FIG.12

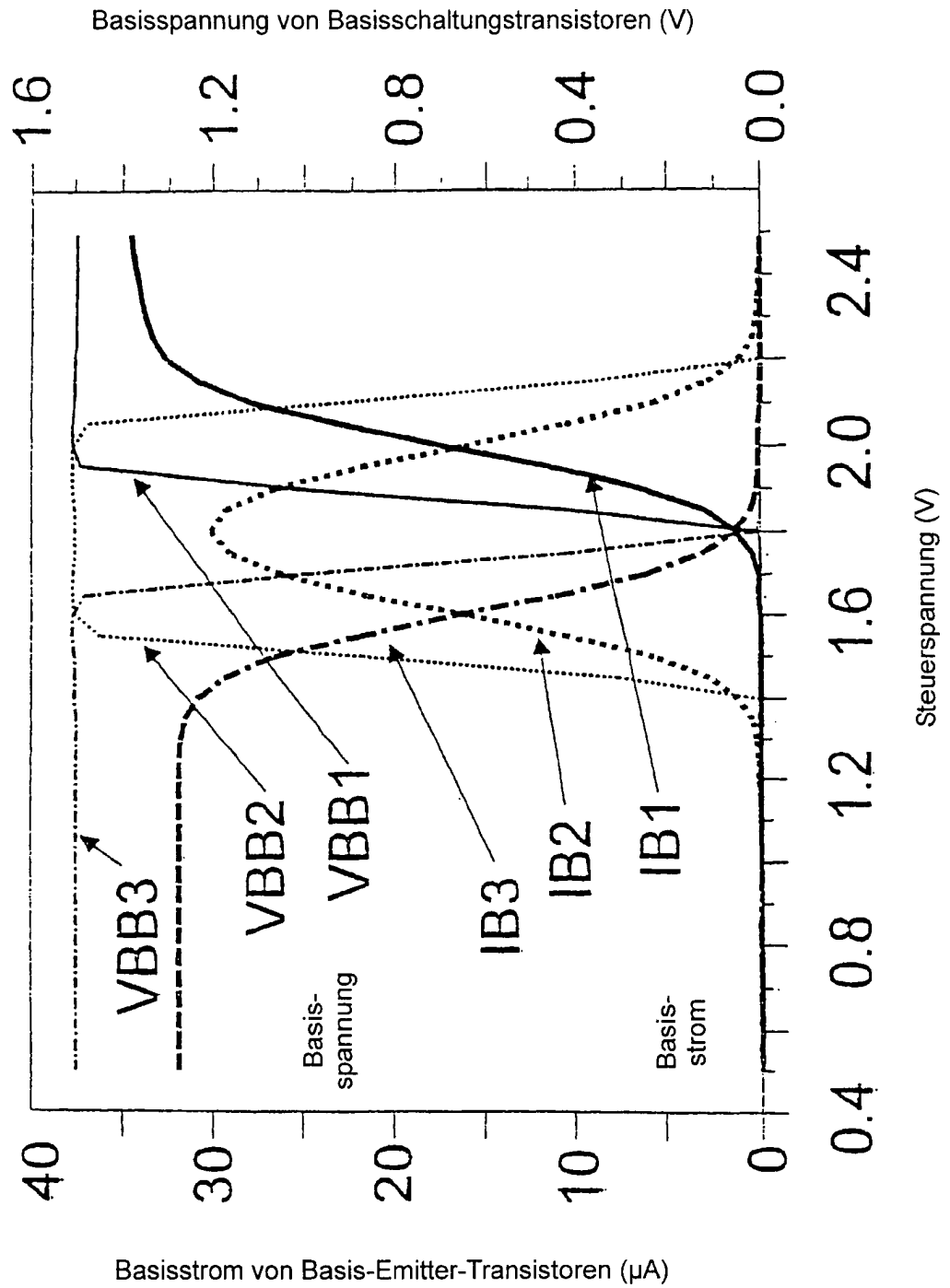


FIG.13

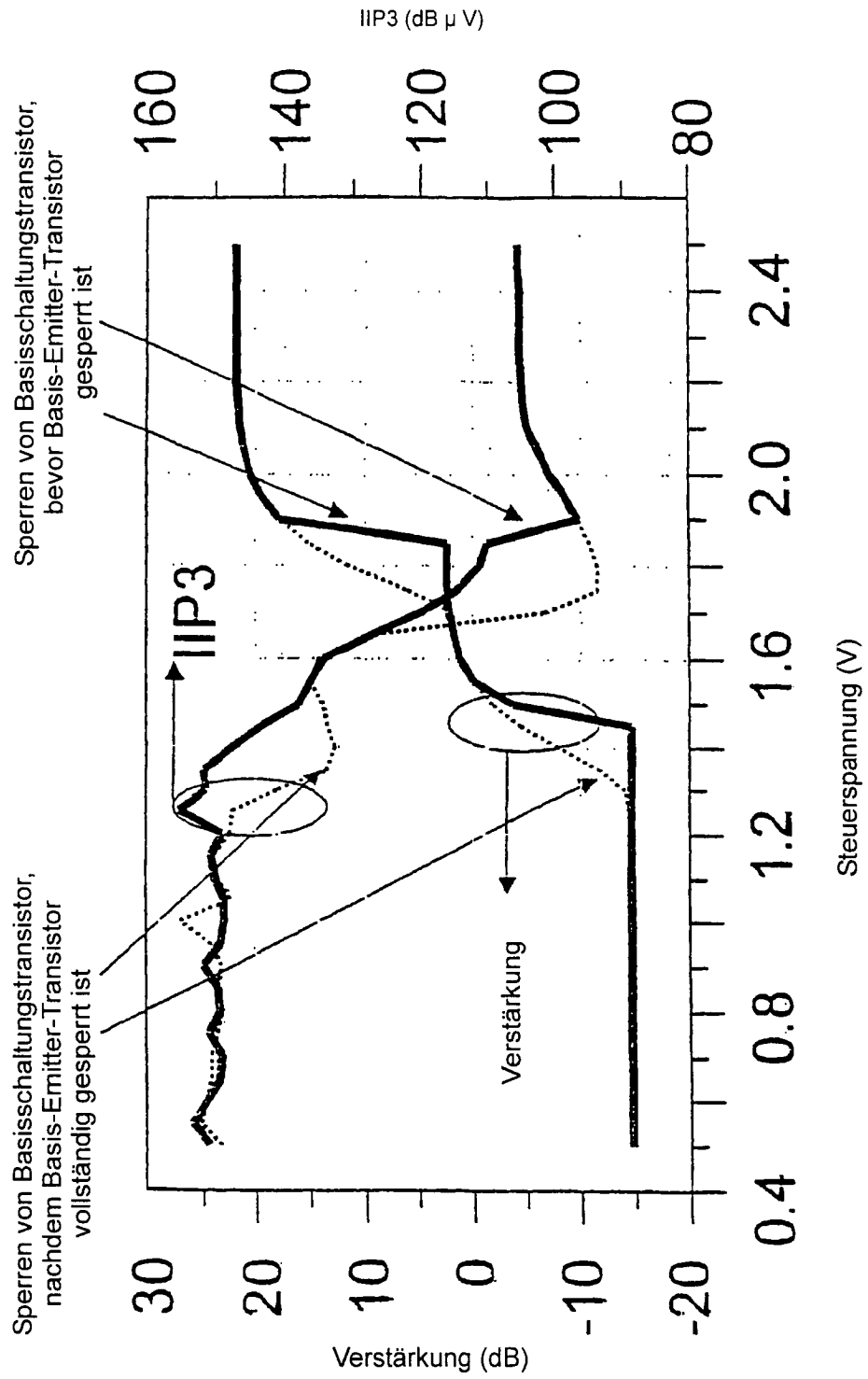


FIG.14

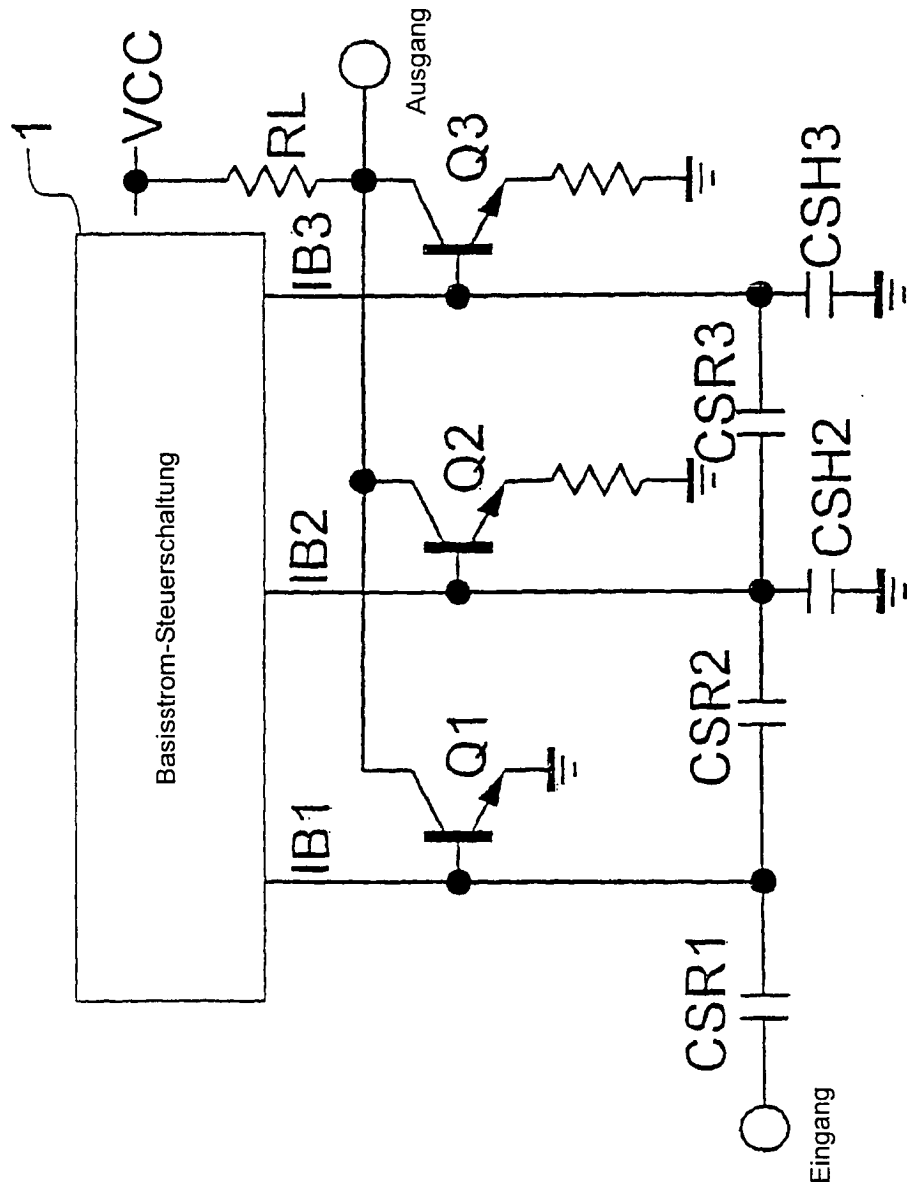


FIG.15

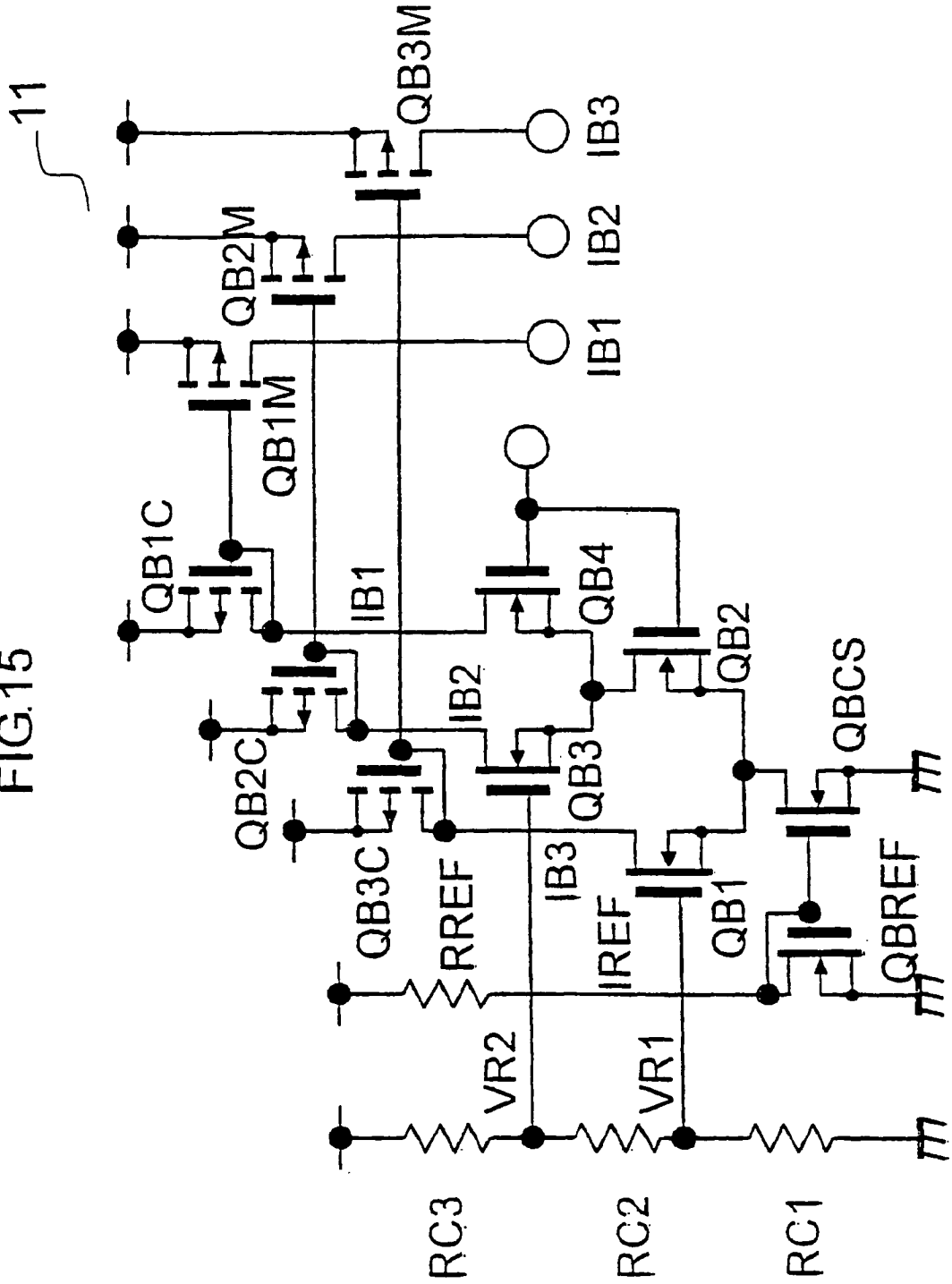


FIG.16

