

12 **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

21 Anmeldenummer: 86112803.1

51 Int. Cl. 4: **G05F 3/00**

22 Anmeldetag: 16.09.86

30 Priorität: 30.09.85 DE 3534891

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
08.04.87 Patentblatt 87/15

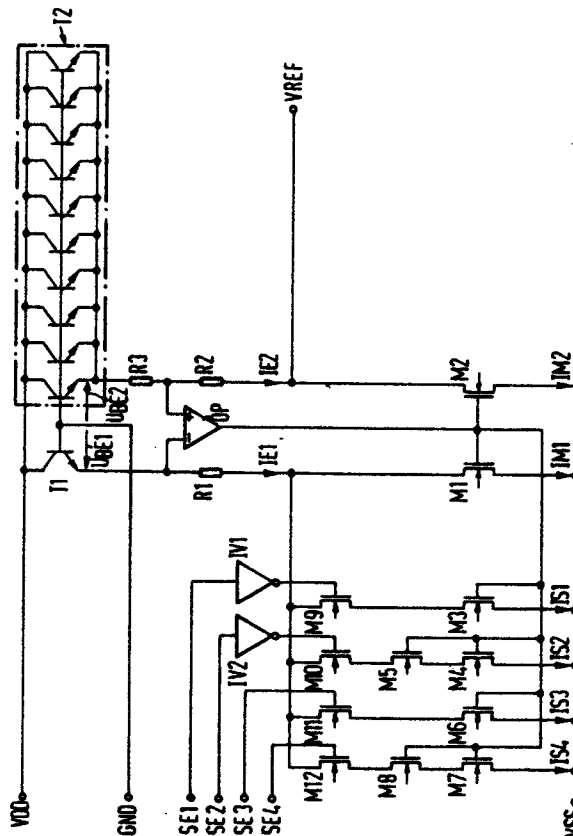
84 Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH DE FR GB IT LI LU NL SE

71 Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft Berlin und München**
Wittelsbacherplatz 2
D-8000 München 2(DE)

72 Erfinder: **Dielacher, Franz, Dipl.-Ing.**
Auer von Welsbachstrasse 51
A-9500 Villach(AT)
Erfinder: **Reisinger, Jochen, Dipl.-Ing.**
Paulapromenade 20
A-9500 Villach(AT)

84 Trimmbare Schaltungsanordnung zur Erzeugung einer temperaturunabhängigen Referenzspannung.

87 Der Temperaturkoeffizient von Bandgap-Schaltungen, die den Temperaturgang einer Basis-Emitter-Spannung durch Addition einer Spannung mit positivem Temperaturgang kompensieren sollen, ist aufgrund von Streueffekten oft ungleich Null. Durch Zu- oder Abschalten von Strömen, die das Verhältnis der Stromdichten in Bandgap-Transistoren beeinflussen, läßt sich die Bandgap-Schaltung einstellen und eine optimale Temperaturkompensation erreichen. Eine binäre Wichtung der schaltbaren Ströme ergibt einen großen Einstellbereich.



Trimmbare Schaltungsanordnung zur Erzeugung einer temperaturunabhängigen Referenzspannung

Die Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Referenzspannungen sind in nahezu allen Schaltungen mit integrierten Analog-Schaltkreisen erforderlich. Sie sollen unter allen Betriebsbedingungen konstant sein und keine oder aber eine bestimmte Temperaturdrift besitzen. Insbesondere in integrierten Schaltkreisen selbst werden zur Erzeugung der Referenzspannungen Bandgap-Schaltungen bevorzugt. Bandgap-Schaltungen sind beispielsweise in dem Buch "Halbleiter-Schaltungstechnik" von U. Tietze u. Ch. Schenk, 5. überarbeitete Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1980, Seiten 387 folgende beschrieben.

In der vorgenannten Veröffentlichung ist ausgeführt, daß mittels derartiger Bandgap-Schaltungen Referenzspannungen erzeugt werden können, die unabhängig vom Temperaturkoeffizienten der in ihr verwendeten Bauelemente sind, d.h. eine derartige Schaltung liefert im Idealfall eine temperaturunabhängige Referenzspannung, die dem Bandabstand des Halbleitermaterials entspricht. Für das häufig verwendete Silicium beträgt diese temperaturunabhängigere Differenzspannung 1,205 Volt. Eine Bandgap-Schaltung verwendet im Prinzip als Referenz die Basis-Emitter-Spannung eines Transistors, deren negativer Temperaturkoeffizient durch die Addition einer elektrischen Größe der Dimension "Spannung" mit positivem Temperaturkoeffizienten kompensiert wird.

Die Spannungsgröße wird aus der Differenz der Basis-Emitter-Spannungen zweier mit verschiedenen Stromdichten betriebener Transistoren gebildet und läßt sich über einem Widerstand abgreifen.

Diese Überlegungen gelten jedoch idealerweise nur für eine einzige Temperatur, bei der der negative Temperaturkoeffizient der Basis-Emitter-Spannung des Transistors durch den positiven Temperaturkoeffizienten der durch den Widerstand und den durchfließenden Strom gebildeten Spannung exakt kompensiert wird. Da in erster Näherung die Spannung mit positivem Temperaturkoeffizienten linear mit der Temperatur ansteigt, die Basis-Emitter-Spannung eines Transistors jedoch nichtlinear mit der Temperatur abfällt, ist eine näherungsweise Kompensation des Temperaturkoeffizienten höchstens in einem schmalen Temperaturbereich möglich. In der Praxis versucht man, Bandgap-Schaltungen so zu dimensionieren und herzustellen, die möglichst gut auf diesen relativ schmalen Temperaturbereich abgestimmt sind.

Abgesehen von Temperatureffekten höherer Ordnung läßt sich diese Forderung aufgrund von Streueffekten, beispielsweise herstellungsbedingten Geometriefehlern der Transistor- und Widerstandsbereiche oder parasitärer Effekte der verwendeten Materialien, nur schwer verwirklichen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Schaltungsanordnung zur Erzeugung einer von der Temperatur möglichst unabhängigen Referenzspannung anzugeben.

Diese Aufgabe wird bei einer Schaltungsanordnung der eingangs genannten Art erfindungsgemäß durch die Merkmale des kennzeichnenden Teils des Patentanspruchs 1 gelöst.

Der Erfindung liegt der Gedanke zugrunde, die Ströme durch die Transistoren der Bandgap-Schaltung mit unterschiedlichen Basis-Emitter-Spannungen auch nach der Herstellung der Bandgap-Schaltung so aufeinander abstimmen zu können, daß sich die Temperaturkoeffizienten mit unterschiedlichem Vorzeichen möglichst gut kompensieren. Dazu dienen zwei die benannten Transistoren speisende Ströme, deren Verhältnis durch Zu- oder Abschalten von Stromquellen einstellbar ist.

Weitere Ausgestaltungen des Erfindungsgedankens sind in Unteransprüchen gekennzeichnet.

Die Erfindung wird im folgenden anhand eines in der Figur der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert, die ein Schaltbild einer trimmbaren Bandgap-Spannungsreferenz zeigt.

Die Elemente T1, T2, M1, M2, R1 bis R3 und OP zeigen eine Bandgap-Spannungsreferenz mit Metalloxid-Halbleitern nach dem Stand der Technik. Die Schaltungsanordnung enthält gleiche bipolare Transistoren, von denen 10 parallel geschaltet und mit dem gemeinsamen Bezugszeichen T2 versehen sind, um kenntlich zu machen, daß diese 10 Einzeltransistoren beispielsweise durch einen einzigen Transistor mit entsprechend größeren Emitter- bzw. Kollektorflächen ersetzt werden können.

Die Kollektoren und die Basen der mit dem Bezugszeichen T1 und T2 bezeichneten 11 Einzeltransistoren sind jeweils miteinander verbunden, wobei die Kollektoren der Transistoren an einer Klemme VDD einer Speisespannungsquelle und die gemeinsamen Basen der Transistoren an einer Klemme GND eines Bezugspotentials angeschlossen sind. Die Emitterkreise der aus T1 und T2 bestehenden Transistoranordnung werden von Stromquellen versorgt, die durch die Transistoren M1 und M2 gebildet und miteinander gekoppelt sind. Der Emitter des Transistors T1 ist über den Widerstand R1 mit dem Ausgangskreis des Transistors M1 verbunden, während der gemeinsame

Emitteranschluß der mit T2 bezeichneten Transistoranordnung über die Serienschaltung aus dem Widerstand R3 und R2 an den Ausgangskreis des Transistors M2 angeschlossen ist. Die als Source dienenden Anschlüsse der beiden Metalloxid-Halbleitertransistoren M1 und M2 sind mit einer Klemme VSS der Versorgungsspannungsquelle verbunden. Die Gates der beiden Transistoren M1 und M2 werden gemeinsam vom Ausgang eines Operationsverstärkers OP angesteuert, dessen invertierender Eingang am Verbindungspunkt des Widerstandes R1 mit dem Emitter des Transistors T2 und dessen nichtinvertierender Eingang am Verbindungspunkt der beiden in Serie geschalteten Widerstände R2 und R3 gelegt ist. Der Verbindungspunkt des Transistors R2 mit dem Ausgangskreis des Transistors M2 ist an die den Ausgang der Bandgap-Schaltung bildende Klemme VREF gelegt.

Die erfindungsgemäße Korrektureinrichtung zur Änderung des Übersetzungsverhältnisses der aus den Transistoren M1 und M2 gebildeten Stromquellen liegt parallel zum Ausgangskreis des Transistors M1. Sie enthält vier schaltbare Stromquellen, von denen je zwei gleich ausgelegt sind. Die Stromquellen lassen sich durchaus den Transistoren M9 bis M12 gebildete Transistorschalter dem Ausgangskreis des Transistors M1 parallel schalten. Dabei steuern die Transistoren M9 und M11 bzw. M10 und M12 gleich ausgelegte Stromquellen an. So sind die Ausgangskreise der Transistoren M3 und M9 bzw. M6 und M11 jeweils in Serie und parallel zum Ausgangskreis des Transistors M1 geschaltet. Andererseits sind die Ausgangskreise der Transistoren M4, M5 und M10 bzw. M7, M8 und M12 ebenfalls jeweils in Serie und ebenfalls parallel zum Ausgangskreis des Transistors M1 geschaltet. Die Gates der Transistoren M3 bis M8 sind ebenso wie die Gates der Transistoren M1 und M2 gemeinsam mit dem Ausgang des Operationsverstärkers OP verbunden. Die Gates der Transistoren M9 und M10 sind über zwei Inverter IV1 und IV2 mit den Klemmen SE1 und SE2 der Steuereingänge verbunden. Die Gates der Transistoren M11 und M12 sind direkt an die Klemmen SE3 und SE4 der Steuereingänge angeschlossen.

Sämtliche Transistoren M1 bis M12 sind n-Kanal-Metalloxid-Halbleitertransistoren, jedoch lassen sich auch Transistoren anderen Typs verwenden. Auch für die im Ausführungsbeispiel als npn-Transistoren ausgeführten Elemente T1 und T2 lassen sich Transistoren anderen Typs einsetzen.

Die Bandgap-Schaltung nach dem Stand der Technik, d.h. ohne die Transistoren M3 bis M12 und die Inverter IV1 und IV2 steuert über den Operationsverstärker OP die beiden Stromspiegeltransistoren M1 und M2 so, daß der invertierende

und nichtinvertierende Eingang des Operationsverstärkers auf gleichem Potential liegen. Das bedeutet, daß die Basis-Emitter-Spannung U_{BE2} der mit T2 bezeichneten Transistoranordnung kleiner sein muß als die Basis-Emitter-Spannung U_{BE1} des Transistors T1. Die damit gleichbedeutende Forderung einer geringeren Stromdichte durch die mit T2 bezeichnete Transistoranordnung wird gemäß der Figur durch das Parallelschalten gleicher Transistoren erreicht. Somit können die Ströme IE1 und IE2 in der Schaltung des Ausführungsbeispiels gleich oder verschieden voneinander sein, solange die Forderung für die Stromdichten der bipolaren Transistoren T1 und T2 erfüllt ist.

Die über den Widerstand R3 abfallende Spannung wird durch die über den Widerstand R2 abfallende Spannung vergrößert. Die in der Schaltung an der Klemme VREF gegenüber dem Bezugspotential GND anliegende Spannung besitzt negatives Vorzeichen und setzt sich zusammen aus der Summe der Basis-Emitter-Spannung U_{BE1} und dem Produkt aus dem Widerstandsverhältnis R2 zu R3, der Temperaturspannung, die gleich der Boltzmannkonstanten multipliziert mit der absoluten Temperatur bezogen auf die Elementarladung ist, und aus dem natürlichen Logarithmus des Verhältnisses der Ströme IE1 und IE2. Damit wird deutlich, daß sich die elektrische Größe mit dem positiven Temperaturkoeffizienten über das Widerstandsverhältnis R2 zu R3 und das Stromverhältnis IE1 zu IE2 beeinflussen läßt.

Erfindungsgemäß erfolgt die Kompensation der Temperaturkoeffizienten durch die Veränderung des Verhältnisses der Ströme IE1 zu IE2 durch Trimmen. Dazu werden dem vom Transistor M1 gelieferten Strom IM1 wahlweise die Ströme IS1 bis IS4 der schaltbaren Stromquellen, die sich additiv zum Strom IE1 zusammensetzen, zugeschaltet. Die Zuschaltung erfolgt über die Transistoren M9 bis M12. Im Ausführungsbeispiel gemäß der Figur können dem Strom IM1 über die Steuereingänge SE1 bis SE4 jeweils zwei Ströme zu oder zwei Ströme abgeschaltet werden. Vor dem Trimmen liegen die Steuereingänge SE1 bis SE4 auf dem Potential der Klemme VDD der Versorgungsspannungsquelle. Das heißt, daß die Schalter M9 und M10 aufgrund der Inverter IV1 und IV2 gesperrt sind und die Schalter M11 und M12 leitend sind. Der Strom IE1 ergibt sich dann aus der Summe der Ströme IM1, IS3 und IS4. Durch den Trimmvorgang können die Steuereingänge SE1 bis SE4 wahlweise auf das Potential der Klemme VSS der Versorgungsspannungsquelle gelegt werden, wodurch sich der Strom IE1 vergrößert oder verkleinert. Damit kann aber auch das Verhältnis der Ströme IE1 zu IE2 vergrößert oder verkleinert wer-

den. Die Ströme IS1 bis IS4 der schaltbaren Stromquellen sind dabei sinnvollerweise wesentlich kleiner als die Ströme IM1 bzw. IM2 der Transistoren M1 und M2.

Verwendet man gleiche Transistoren für die schaltbaren Stromquellen, deren durch das Verhältnis von Kanalweite zu Kanallänge bestimmte Einzelströme gleich groß sind, so sind die Ströme IS1 und IS3 gleich groß und halb so groß wie die ebenfalls jeweils gleichen Ströme IS2 und IS4. Damit sind die Trimmströme IS1 bis IS4 der schaltbaren Stromquellen binär gewichtet, so daß sich ein großer Trimbereich ergibt.

Als Bipolartransistoren T1 bzw. der Einzeltransistoren der Transistoranordnung T2 lassen sich im Ausführungsbeispiel gemäß der Figur vertikale npn-Transistoren verwenden, die sich beim p-Wannen-CMOS-Prozeß ergeben. Eine besonders vorteilhafte Ausgestaltung ergibt sich, wenn der Emitter als Ringemitter um den Basiskontakt angeordnet ist, wodurch sich wegen der größeren Emitterfläche eine wesentlich bessere Stromverstärkung der bipolaren Transistoren ergibt. Gleichzeitig erhöht sich bei einer Bandgap-Schaltung mit Ringemittern die Zuverlässigkeit gegenüber einer Bandgap-Schaltung, bei der die Emitter in der Mitte der Basiszone liegen.

Die erreichbare Genauigkeit einer erfindungsgemäßen trimmbaren Bandgap-Schaltung im Temperaturbereich von $+10^{\circ}\text{C}$ bis $+70^{\circ}\text{C}$ besser als 10 ppm pro Grad Celsius.

Ansprüche

1. Schaltungsanordnung zur Erzeugung einer temperaturunabhängigen Referenzspannung mit als Stromquellen ausgebildeten Transistoren (M1 bis M8) und einer von ihnen gespeisten Bandgap-

Schaltung (T1, T2, R1 bis R3, OP), mit Bipolartransistoren (T1, T2), **dadurch gekennzeichnet**, daß das Verhältnis der Emitterströme (IE1, IE2) der Bipolartransistoren (T1, T2) einstellbar ist.

2. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß parallel zu einer Stromquelle (M1) weitere schaltbare Stromquellen (M3 bis M8) liegen.

3. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die weiteren Stromquellen (M3 bis M8) einzeln schaltbar sind.

4. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Teil der weiteren Stromquellen (M3 bis M8) zuschaltbar (M6 bis M8) und der andere Teil abschaltbar (M3 bis M5) ist.

5. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die weiteren Stromquellen (M3 bis M8) von Transistoren (M9 bis M12) geschaltet werden.

6. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die von den weiteren Stromquellen (M3 bis M8) lieferbaren Ströme (IS1 bis IS4) binär gewichtet sind.

7. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß die weiteren Stromquellen (M3 bis M8) von gleichen Transistoren eines Typs gebildet werden, die parallel oder in Serie geschaltet werden.

8. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Stromquellen (M1 bis M8) und die als Schalter dienenden Transistoren (M9 bis M12) mit Hilfe von Metalloxid-Halbleitern ausgebildet werden.

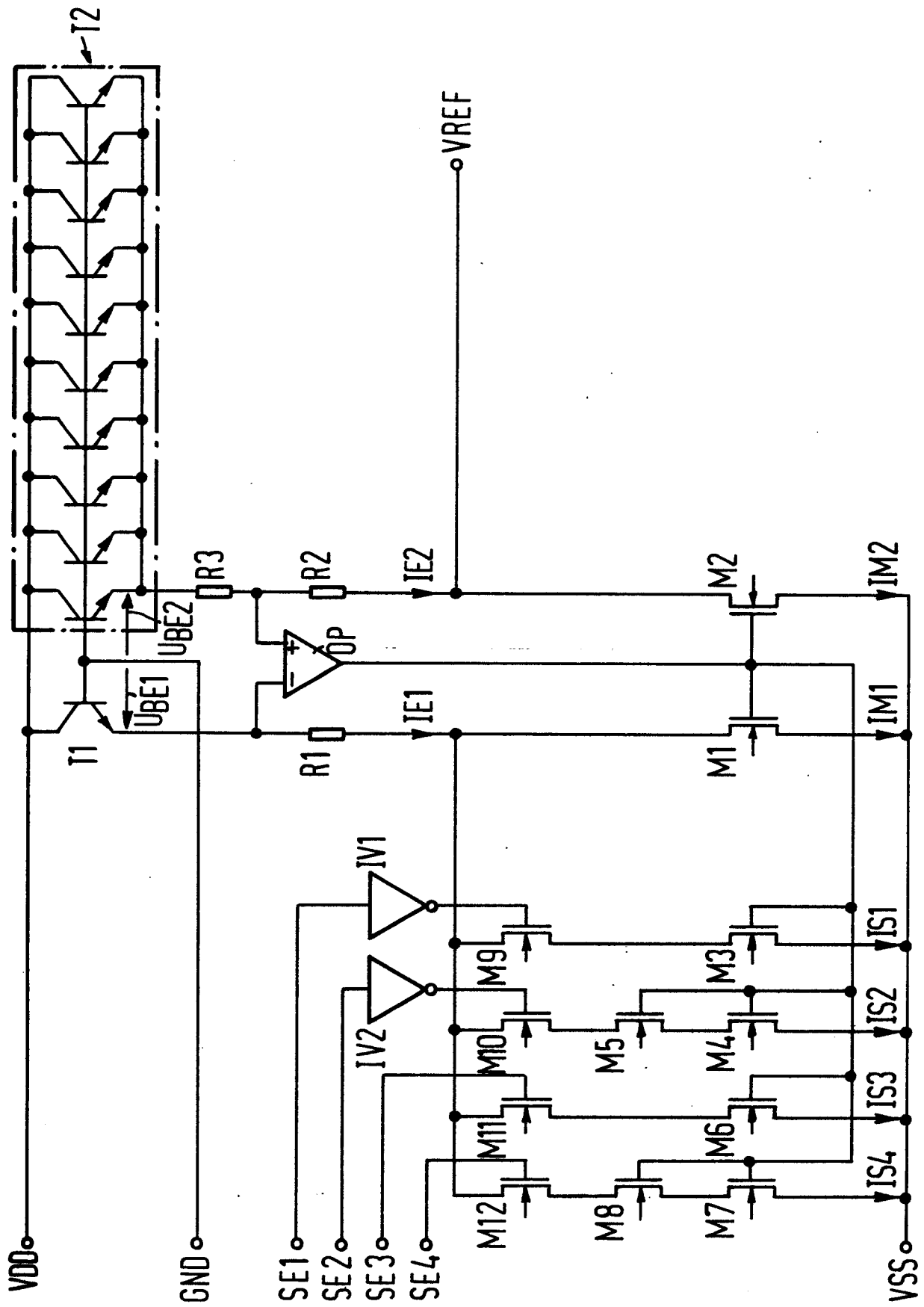
9. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Bipolartransistoren (T1, T2) der Bandgap-Schaltung um den Basiskontakt angeordnete Ringemitter aufweisen.

40

45

50

55





EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl. 4)
A	ELECTRONIC DESIGN, Band 26, nr. 23, 8. November 1978, Seiten 74-82, Rochelle Park, US; D. BINGHAM: "CMOS: higher speeds, more drive and analog capability expand its horizons" * Seite 81, Figur 7 *	1	G 05 F 3/00
A	--- US-A-4 325 018 (RCA) * Zusammenfassung; Spalte 6, Zeilen 29-36; Figuren 4,5 *	1,2	
A	--- US-A-4 069 431 (RCA) * Zusammenfassung; Figur 1 *	1	

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 08-12-1986	Prüfer ZAEGEL B.C.
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			