



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) **EP 1 336 136 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des  
Hinweises auf die Patenterteilung:  
**16.06.2004 Patentblatt 2004/25**

(51) Int Cl.7: **G05F 3/30**

(86) Internationale Anmeldenummer:  
**PCT/DE2001/004230**

(21) Anmeldenummer: **01997727.1**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
**WO 2002/042856 (30.05.2002 Gazette 2002/22)**

(22) Anmeldetag: **08.11.2001**

(54) **VERFAHREN ZUM ABGLEICHEN EINES BGR-SCHALTKREISES UND BGR-SCHALTKREIS**  
**METHOD FOR ADJUSTING A BGR CIRCUIT**  
**PROCEDE POUR REGLER UN CIRCUIT BGR ET CIRCUIT BGR**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE FR GB**

• **MÜLLAUER, Markus**  
**9360 Friesach (AT)**

(30) Priorität: **22.11.2000 DE 10057844**

(74) Vertreter: **Lange, Thomas, Dr.**  
**Patentanwälte**  
**Lambsdorff & Lange**  
**Dingolfinger Strasse 6**  
**81673 München (DE)**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**20.08.2003 Patentblatt 2003/34**

(73) Patentinhaber: **Infineon Technologies AG**  
**81669 München (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**US-A- 5 325 045** **US-A- 5 352 973**  
**US-A- 6 014 020** **US-A- 6 118 264**

(72) Erfinder:  
• **LEIFHELM, Martin**  
**A-9500 Villach (AT)**

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).

**EP 1 336 136 B1**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Abgleichen eines BGR-Schaltkreises sowie einen nach dem Verfahren abgleichenbaren BGR-Schaltkreis.

**[0002]** Schaltungen, welche eine von Temperatur- und Versorgungsspannungsschwankungen unabhängige, konstante Ausgangsspannung erzeugen, werden in der Halbleiterschaltungstechnik in vielfältiger Weise benötigt. Sie werden sowohl in analogen, digitalen als auch in analog-digital-gemischten Schaltkreisen eingesetzt. Ein häufig verwendeter Typ solcher Schaltungen sind die sogenannten BGR-Schaltkreise (Bandgap-Reference-Schaltkreise).

**[0003]** Das Grundprinzip eines BGR-Schaltkreises besteht darin, zwei Teilsignale (Spannungen oder Ströme), die ein gegenläufiges Temperaturverhalten aufweisen, zu addieren. Während eines der beiden Teilsignale mit zunehmender Temperatur fällt, steigt das andere Teilsignal mit zunehmender Temperatur an. Aus der Summe der beiden Teilsignale wird dann die über einen gewissen Bereich temperaturkonstante Ausgangsspannung abgeleitet. Die Ausgangsspannung eines BGR-Schaltkreises wird gemäß üblichem Sprachgebrauch im folgenden auch als Referenzspannung bezeichnet.

**[0004]** Ein bei BGR-Schaltkreisen bekanntes Problem besteht darin, daß Schaltkreise derselben Herstellungsreihe unterschiedliche Referenzspannungen aufweisen. In der Praxis ist es daher häufig erforderlich, den BGR-Schaltkreis zur Erzielung einer ausreichenden Genauigkeit hinsichtlich des gewünschten absoluten Referenzspannungswerts und/oder der gewünschten Temperaturkonstanz der Referenzspannung abzugleichen.

**[0005]** BGR-Schaltkreise weisen sowohl passive Bauelemente, z.B. Widerstände, als auch aktive Bauelemente, zumeist in Form eines Differenz- oder Operationsverstärkers, auf. Ein Abweichen der Referenzspannung von dem idealen, berechneten Wert und von einem konstanten Temperaturverhalten geht auf eine fehlende Anpassung der passiven und aktiven Bauelemente zurück.

**[0006]** Das Ziel eines Abgleichs eines BGR-Schaltkreises besteht darin, einerseits eine Abweichung des bei einer bestimmten Temperatur erhaltenen Referenzspannungswerts von einem bezüglich dieser Temperatur berechneten Wert zu minimieren und andererseits die Temperaturcharakteristik der Referenzspannung zu optimieren, d.h. eine flache Spannungs-Temperatur-Kennlinie zu erhalten.

**[0007]** Zum Abgleichen von BGR-Schaltkreisen sind bisher die folgenden Verfahren bekannt:

**[0008]** Bei einem ersten bekannten Verfahren wird eine Offset-Kompensation direkt an dem den Offset erzeugenden Verstärker vorgenommen. Die meisten Operationsverstärker weisen hierfür geeignete Stelleingänge auf. Durch eine Offset-Kompensation wird der dominierende Fehleranteil der Abweichung zwischen dem am Ausgang der Schaltung erhaltenen Referenzspannungswert und dem berechneten Wert eliminiert. Nachteilig ist jedoch, daß in der Regel eine Restabweichung der genannten Größen bestehen bleibt und daß keine optimale Temperaturcharakteristik der Referenzspannung erhalten wird, sondern im Gegenteil häufig die Temperaturcharakteristik durch diesen Schritt sogar verschlechtert wird.

**[0009]** Bei einem zweiten bekannten Verfahren wird die Ausgangsspannung des Schaltkreises (d.h. die Referenzspannung) über einen regelbaren Widerstand oder ein anderes passives Bauelement der Schaltung direkt auf den berechneten Wert eingestellt. Auf diese Weise wird bei der Temperatur, bei welcher die Einstellung erfolgt, der korrekte Spannungswert erzielt. Nach-Nachteilig ist, daß bei diesem Verfahren eine optimale Temperaturkonstanz der Referenzspannung nicht garantiert werden kann.

**[0010]** BGR-Schaltkreise, die höchsten Anforderungen bezüglich des Absolutwertes und der Temperaturkonstanz der Referenzspannung genügen müssen, müssen sowohl in Hinblick auf ihren Absolutwert (welcher durch den Offset-Fehler dominiert wird) als auch in Hinblick auf ihr Temperaturverhalten optimiert werden. Solche BGR-Schaltkreise müssen bei zwei unterschiedlichen Temperaturen abgeglichen werden. Nachteilig ist der hierfür erforderliche hohe Aufwand.

**[0011]** In der U.S.-Patentschrift US 6,118,264 A ist ein BGR-Schaltkreis beschrieben, der mit einer Abgleichvorrichtung beschaltet ist. Die Abgleichvorrichtung generiert eine Kompensationsspannung, welche auf die von dem BGR-Schaltkreis bereitgestellte BGR-Spannung addiert wird, wodurch eine Referenzspannung erzeugt wird. Die Kompensationsspannung weist über bestimmte Temperaturbereiche eine zu der BGR-Spannung gegenläufige Temperaturcharakteristik auf. Insgesamt ergibt sich daraus eine verbesserte Temperaturcharakteristik der Referenzspannung.

**[0012]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein einfach durchführbares Abgleichverfahren für BGR-Schaltkreise anzugeben, mit welchem sich eine gute Temperaturkonstanz der Referenzspannung und eine gute Übereinstimmung des Referenzspannungswertes mit einem erwarteten bzw. berechneten Spannungswert erreichen lassen. Ferner zielt die Erfindung darauf ab, einen einfach abgleichenbaren BGR-Schaltkreis zu schaffen.

**[0013]** Die der Erfindung zugrundeliegende Aufgabenstellung wird durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst.

**[0014]** Demnach umfaßt das erfindungsgemäße Abgleichverfahren nach Anspruch 1 zwei nacheinander durchzuführende Abgleichschritte: In einem ersten Abgleichschritt wird ein Offset-Abgleich des Spannungsdifferenzverstärkers bei einer vorgegebenen Temperatur durchgeführt. In einem zweiten Abgleichschritt wird dann der Wert der Referenz-

spannung, welcher bei dem ersten Abgleichschritt erhalten wurde, auf den vorgegebenen (d.h. berechneten) Wert der Referenzspannung für diese Schaltung eingestellt.

**[0015]** Der besondere Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens liegt darin, daß die beiden Abgleichschritte bei ein und derselben Temperatur durchgeführt werden und dabei (dennoch) ein Abgleich sowohl in Hinblick auf den Absolutwert als auch die Temperaturcharakteristik der erhaltenen Referenzspannung herbeigeführt wird.

**[0016]** Mit dem Begriff "Spannungsdifferenzverstärker" ist jeder Typ eines Verstärkers gemeint, der zur Verstärkung einer Spannungsdifferenz ausgelegt ist. Insbesondere umfaßt der Begriff einen Differenzverstärker und einen Operationsverstärker.

**[0017]** Eine vorteilhafte Vorgehensweise bei der Durchführung des ersten Abgleichschrittes kennzeichnet sich dadurch, daß dieser Schritt die Teilschritte Kurzschließen der Eingänge des Spannungsdifferenzverstärkers und Regeln der Ausgangsspannung des Spannungsdifferenzverstärkers auf einen vorgegebenen Spannungswert umfaßt. Der vorgegebene Spannungswert kann insbesondere die Gleichtaktspannung (Common Mode Voltage) sein, welche das Mittel aus dem positiven und dem negativen Potential der Betriebsspannung des Spannungsdifferenzverstärkers ist. Der Spannungsdifferenzverstärker wird bei dem Offset-Abgleich vorzugsweise als Komparator betrieben.

**[0018]** Bei der erfindungsgemäßen Schaltung nach Anspruch 5 lassen sich die Eingänge des Spannungsdifferenzverstärkers durch das erste Schaltmittel von der äußeren Beschaltung trennen und durch das zweite Schaltmittel kurzschließen. In dieser Konfiguration des Schaltkreises kann dann der Kurzschlußabgleich des Spannungsdifferenzverstärkers zur Offset-Korrektur vorgenommen werden. Anschließend lassen sich die Eingänge des Spannungsdifferenzverstärkers durch das erste Schaltmittel wieder mit der äußeren Beschaltung verbinden und der Kurzschluß der Eingänge kann durch das zweite Schaltmittel aufgehoben werden. In dieser Konfiguration des Schaltkreises kann nun durch Verstellen des Widerstands des mindestens einen Bauelements mit einstellbarem Widerstand der Abgleich der Ausgangsspannung der Schaltung auf den vorgegebenen Wert der Referenzspannung durchgeführt werden. Durch diesen Abgleich wird bewirkt, daß sich in einem gewissen Bereich um die vorgegebene Temperatur herum eine nahezu konstante, d.h. temperaturunabhängige Referenzspannung einstellt.

**[0019]** Die Vorteile dieses BGR-Schaltkreises bestehen darin, daß sich mit derselben Schaltung sowohl der Spannungsoffset des Spannungsdifferenzverstärkers kompensieren als auch der Abgleich der passiven Bauelemente der Schaltung durchführen läßt.

**[0020]** Die Erfindung wird nachfolgend in beispielhafter Weise unter Bezugnahme auf die Zeichnungen erläutert; in diesen zeigen:

Fig. 1A ein Schaubild, in welchem die Referenzspannung über der Temperatur aufgetragen ist, zur Erläuterung des Offset-Fehlers;

Fig. 1B ein Schaubild, in welchem die Referenzspannung über der Temperatur aufgetragen ist, zur Erläuterung des Temperaturcharakteristik-Fehlers;

Fig. 2 ein Schaubild, in welchem die Referenzspannung über der Temperatur aufgetragen ist, zur Erläuterung der erfindungsgemäßen Kompensation des Offset-Fehlers;

Fig. 3 ein Schaubild, in welchem die Referenzspannung über der Temperatur aufgetragen ist, zur Erläuterung der erfindungsgemäßen Kompensation des Temperaturcharakteristik-Fehlers; und

Fig. 4 ein Schaltbild eines erfindungsgemäßen BGR-Schaltkreises.

**[0021]** Die Fig. 1A und 1B verdeutlichen die zwei wesentlichen Effekte, die für das Auftreten von Abweichungen zwischen der erhaltenen Referenzspannung und der berechneten Referenzspannung verantwortlich sind.

**[0022]** Fig. 1A zeigt den Fall, daß die von einem nicht abgeglichenen BGR-Schaltkreis ausgegebene, auf der Y-Achse aufgetragene Referenzspannung über den gesamten betrachteten Temperaturbereich (X-Achse) entweder höher (Referenzspannungskurve RS+) oder tiefer (Referenzspannungskurve RS-) als die berechnete ideale Referenzspannungskurve RS0 verläuft, jedoch in bezug auf ihr Temperaturverhalten einen optimal flachen und bezüglich der Raum- oder Einsatztemperatur TR symmetrischen Verlauf aufweist. Dieser Effekt wird hauptsächlich durch einen Offset im Spannungsdifferenzverstärker bewirkt. Er wird im folgenden als Offset-Fehler bezeichnet und ist in der Regel der dominante Fehleranteil bei nicht abgeglichenen BGR-Schaltkreisen.

**[0023]** Fig. 1B zeigt den Fall, daß die Referenzspannung entweder eine mit zunehmender Temperatur steigende Charakteristik (Referenzspannungskurve RSd+) oder eine mit zunehmender Temperatur fallende Charakteristik (Referenzspannungskurve RSd-) aufweist. Diesem Effekt liegt hauptsächlich eine fehlende Anpassung der passiven Bauelemente des BGR-Schaltkreises zugrunde. Er wird im folgenden auch als Temperaturcharakteristik-Fehler bezeichnet.

**[0024]** Bei einem nicht abgeglichenen BGR-Schaltkreis treten die beiden anhand der Fig. 1A und 1B erläuterten

Fehler gemeinsam auf.

**[0025]** Die Fig. 2 und 3 veranschaulichen die zwei Abgleichschritte des erfindungsgemäßen Verfahrens, welches zum Ziel hat, die erläuterten Fehler zu eliminieren.

**[0026]** Fig. 2 verdeutlicht den ersten erfindungsgemäßen Abgleichschritt AS1. Die Referenzspannungskurve RSOT ist sowohl mit einem Offset-Fehler als auch mit einem Temperaturcharakteristik-Fehler behaftet. Durch einen Offset-Abgleich des Spannungsdifferenzverstärkers bei der Raum- oder Einsatztemperatur TR wird der Offset-Fehler eliminiert, so daß die Referenzspannungskurve RSOT parallel zur X-Achse in Richtung der berechneten idealen Referenzspannungskurve RS0 verschoben wird. Jedoch entsteht bei diesem Schritt nicht die optimale Temperaturcharakteristik (d.h. die dadurch erzeugte Referenzspannungskurve RST unterscheidet sich in ihrer Temperaturcharakteristik noch von der berechneten idealen Referenzspannungskurve RS0), da die Fehler der passiven Bauelemente des BGR-Schaltkreises nicht kompensiert werden.

**[0027]** Fig. 3 verdeutlicht den zweiten erfindungsgemäßen Abgleichschritt AS2. Dabei wird der Temperaturcharakteristik-Fehler der Referenzspannungskurve RST eliminiert, indem ein Abgleich der Referenzspannung auf den vorgegebenen Wert der Referenzspannung bei der Raum- oder Einsatztemperatur TR durchgeführt wird. Dadurch wird die Temperaturcharakteristik der Referenzspannungskurve RST an die berechnete ideale Referenzspannungskurve RS0 angepaßt, so daß beide Referenzspannungskurven anschließend den gleichen Verlauf aufweisen.

**[0028]** Fig. 4 zeigt einen erfindungsgemäßen BGR-Schaltkreis, welcher zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignet und ausgelegt ist. Der invertierende Eingang eines Operationsverstärkers OP1 ist über einen Schalter S1 mit einem Knoten K1 eines ersten Schaltungszweigs einer äußeren Beschaltung des Operationsverstärkers OP1 verbunden. Der nicht-invertierende Eingang des Operationsverstärkers OP1 steht über einen Schalter S2 mit einem Knoten K2 eines zweiten Schaltungszweigs der äußeren Beschaltung des Operationsverstärkers OP1 in Verbindung. Die zwei Schaltungszweige erstrecken sich jeweils von einem gemeinsamen festen Potential, insbesondere einer Masse VSS, bis zu einem gemeinsamen Knoten K3. Von dort sind sie über einen Schalter S3 mit dem Ausgang des Operationsverstärkers OP1 verbunden.

**[0029]** Der erste Schaltungszweig weist zwischen dem Knoten K1 und dem gemeinsamen Knoten K3 einen Widerstand R1 auf. Im zweiten Schaltungszweig befindet sich zwischen den Knoten K2 und K3 ein Widerstand R2.

**[0030]** Des weiteren steht der Knoten K1 über einen einstellbaren Widerstand R0 mit dem Kollektoranschluß eines Bipolartransistors T1 des ersten Schaltungszweigs in Verbindung. Der Basisanschluß des Bipolartransistors T1 ist ebenfalls mit seinem Kollektoranschluß verbunden, während der Emitteranschluß auf der Masse VSS liegt. Der Knoten K2 ist mit dem Kollektor und dem Emitteranschluß eines Bipolartransistors T2 des zweiten Schaltungszweigs verbunden. Der Emitteranschluß des Bipolartransistors T2 liegt wieder auf der Masse VSS.

**[0031]** Der invertierende und der nicht-invertierende Eingang des Operationsverstärkers OP1 lassen sich über einen Schalter S4 kurzschließen. Die in Fig. 4 dargestellte Konstantspannungsquelle Vdc repräsentiert die Gleichtaktspannung, welche durch das Mittel der Betriebsspannungspotentiale gegeben ist. Am Ausgang des Operationsverstärkers OP1 läßt sich eine Referenzspannung Vref abgreifen. An den Anschlüssen des Operationsverstärkers OP1 zum Offset-Abgleich liegt ein einstellbarer Widerstand Roffset an.

**[0032]** Zum Offset-Abgleich des Operationsverstärkers OP1 befinden sich die Schalter S4 und S5 in der geschlossenen Schaltstellung und die Schalter S1, S2 und S3 sind geöffnet. Dadurch wird die äußere Beschaltung von dem Operationsverstärker OP1 abgetrennt. In dieser Konfiguration des Schaltkreises wird der Operationsverstärker OP1 als Komparator betrieben. Durch Einstellen des einstellbaren Widerstands Roffset wird der Operationsverstärker OP1 abgeglichen, wobei der optimale Offset-Abgleich durch den Kippunkt des Komparators gekennzeichnet ist. Dieser entspricht der Gleichtaktspannung, d.h. ist z.B. bei symmetrischen Betriebsspannungspotentialen 0 V oder weist bei Betriebsspannungspotentialen von z.B. 0 V und 2,4 V einen Wert von 1,2 V auf. Der Abgleich erfolgt bei einer vorgegebenen Raum- oder Einsatztemperatur TR. Aufgrund dieses Offset-Abgleichs weist die Referenzspannung Vref beim späteren Betrieb des BGR-Schaltkreises keinen von dem Operationsverstärker OP1 verursachten Offset-Fehler auf.

**[0033]** Nach erfolgtem Offset-Abgleich des Operationsverstärkers OP1 werden die Schalter S4 und S5 geöffnet und die Schalter S1, S2 und S3 geschlossen. In dieser Schalterstellung kann der einstellbare Widerstand R0 bei der vorgegebenen Raum- oder Einsatztemperatur TR so eingestellt werden, daß die Referenzspannung Vref den Wert einer vorgegebenen Referenzspannung annimmt. Durch diese Maßnahme wird der Temperaturcharakteristik-Fehler eliminiert, so daß die Referenzspannung Vref über einen gewissen Temperaturbereich um die Raum- oder Einsatztemperatur TR herum einen konstanten Verlauf aufweist.

**[0034]** Im folgenden wird die Funktionsweise des in Fig. 4 dargestellten BGR-Schaltkreises erläutert.

**[0035]** In dem Schaltbild treten folgende Ströme und Spannungen auf:

|      |  |
|------|--|
| Ic1  | Kollektorstrom des Bipolartransistors T1         |
| Ic2  | Kollektorstrom des Bipolartransistors T2         |
| Vbe1 | Basis-Emitter-Spannung des Bipolartransistors T1 |

## EP 1 336 136 B1

(fortgesetzt)

|      |  |
|------|--|
| Vbe2 | Basis-Emitter-Spannung des Bipolartransistors T2       |
| VR0  | An dem einstellbaren Widerstand R0 abfallende Spannung |
| VR1  | An dem Widerstand R1 abfallende Spannung               |
| VR2  | An dem Widerstand R2 abfallende Spannung               |

**[0036]** Die am Ausgang der Operationsverstärkers OP1 anliegende Spannung Vref läßt sich durch die an dem Widerstand R2 abfallende Spannung VR2 und die Basis-Emitter-Spannung Vbe2 des Bipolartransistors T2 ausdrücken:

$$V_{ref} = VR2 + V_{be2} \quad (1)$$

**[0037]** Die an einem Bipolartransistor zwischen Basis und Emitter abfallende Spannung weist eine Temperaturabhängigkeit auf. Beispielsweise beträgt der Temperaturkoeffizient dieser Basis-Emitter-Spannung bei einer Temperatur von 300 K und einer anliegenden Spannung von 0,6 V etwa -2 mV/K. Um eine temperaturstabilisierte Referenzspannung Vref zu erhalten, muß zu der Basis-Emitter-Spannung eine Spannung mit betragsmäßig gleich großem Temperaturkoeffizienten, aber entgegengesetztem Vorzeichen addiert werden. Das bedeutet, daß die an dem Widerstand R2 abfallende Spannung VR2 bei einer Temperatur von 300 K einen Temperaturkoeffizienten von +2 mV/K aufweisen muß. Diese temperaturabhängige Spannung wird unter Zuhilfenahme des Bipolartransistors T1 erzeugt.

**[0038]** Um dieses ersichtlich zu machen, müssen noch verschiedene Maschengleichungen des in Fig. 4 dargestellten BGR-Schaltkreises aufgestellt werden. Es gelten des weiteren:

$$V_{ref} = VR1 + V_{be2} \quad (2)$$

$$VR0 = V_{be2} - V_{be1} \quad (3)$$

**[0039]** Zur Aufstellung von Gleichung (3) für die an dem einstellbaren Widerstand R0 abfallende Spannung VR0 muß berücksichtigt werden, daß zwischen dem invertierenden und dem nicht-invertierenden Eingang eines idealen Operationsverstärkers keine Spannung abfällt. Ebenso fließen durch diese Eingänge eines idealen Operationsverstärkers keine Ströme. Daher wird der Widerstand R1 von dem gleichen Strom Ic1 wie der einstellbare Widerstand R0 durchflossen, und es gilt:

$$VR1/R1 = VR0/R0 \quad (4)$$

**[0040]** Setzt man Gleichungen (2) und (3) in Gleichung (4) ein, so erhält man:

$$V_{ref} = V_{be2} + (R1/R0) * (V_{be2} - V_{be1}) \quad (5)$$

**[0041]** Aus dem Vergleich von Gleichung (5) mit Gleichung (1) wird ersichtlich, daß der zweite Summand der rechten Seite von Gleichung (5) die Spannung VR2 darstellt.

**[0042]** Die temperaturabhängigen Kollektorströme Ic1 und Ic2 der Bipolartransistoren T1 bzw. T2 hängen exponentiell von den Basis-Emitter-Spannungen Vbe1 bzw. Vbe2 sowie von einer sogenannten Temperaturspannung VT ab:

$$I_{cx} = I_{sx} * (\exp(V_{bex}/V_T) - 1) \text{ mit } x = 1, 2 \quad (6)$$

**[0043]** Hierbei steht Isx für den Sperrstrom des jeweiligen Bipolartransistors T1 bzw. T2. Für die Temperaturspannung VT gilt folgende Abhängigkeit von der absoluten Temperatur T in Kelvin:

$$V_T = k * T/q, \quad (7)$$

wobei  $k$  die Boltzmann-Konstante ( $1,38 \cdot 10^{-23}$  J/K) und  $q$  die Elementarladung ( $1,6 \cdot 10^{-19}$  C) bezeichnen. Umformen von Gleichung (6) liefert für  $V_{bex} \gg k \cdot T/q$ :

$$V_{bex} = V_T \cdot \ln(I_{cx}/I_{sx}) \quad (8)$$

**[0044]** Wendet man diese Gleichung auf den in Fig. 4 dargestellten BGR-Schaltkreis an und berücksichtigt, daß

$$V_{R1} = V_{R2} \quad (9)$$

gilt, so ergibt sich für Gleichung (3):

$$V_{R0} = V_{be2} - V_{be1} = V_T \cdot \ln(R1/R2) \quad (10)$$

**[0045]** Bei dieser Gleichung wurde vorausgesetzt, daß die beiden Bipolartransistoren T1 und T2 baugleich sind und demnach den gleichen Sperrstrom  $I_{sx}$  aufweisen. Gleichung (10) kann nun in Gleichung (5) eingesetzt werden:

$$V_{ref} = V_{be2} + (R1/R0) \cdot V_T \cdot \ln(R1/R2) \quad (11)$$

**[0046]** Wie oben schon beschrieben wurde, weist die Basis-Emitter-Spannung  $V_{be2}$  einen Temperaturkoeffizienten von -2 mV/K auf. Aus Gleichung (7) geht hervor, daß die Temperaturspannung  $V_T$  einen Temperaturkoeffizienten von +0,086 mV/K besitzt. Durch geeignete Wahl der Widerstände  $R0$ ,  $R1$  und  $R2$  kann der zweite Summand der rechten Seite von Gleichung (11) derart ausgelegt werden, daß er einen Temperaturkoeffizienten von +2 mV/K besitzt.

**[0047]** Zusammengefaßt werden durch den erfindungsgemäßen BGR-Schaltkreis zwei Spannungen erzeugt, die entgegengesetzte, aber betragsmäßig gleich große Temperaturkoeffizienten aufweisen. Durch die Addition dieser beiden Spannungen erhält man eine temperaturstabilisierte Referenzspannung. Aufgrund von Inhomogenitäten unter den gleichen Bauelementen, die für die verschiedenen BGR-Schaltkreise der gleichen Herstellungsreihe verwendet werden, kommt es zu Abweichungen vom idealen Wert der Referenzspannung und vom idealen Temperaturverhalten der Referenzspannung. Der erfindungsgemäße BGR-Schaltkreis erlaubt es, derartige Inhomogenitäten durch Spannungsabgleiche sowohl des verwendeten Operationsverstärkers als auch der eingebauten Widerstände zu kompensieren.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Abgleichen eines BGR-Schaltkreises zum Erzeugen einer temperaturstabilisierten Referenzspannung ( $V_{ref}$ ) auf einen vorgegebenen Wert der Referenzspannung, wobei die Schaltung einen Spannungsdifferenzverstärker (OP1) und eine dem Spannungsdifferenzverstärker (OP1) zugeordnete äußere Beschaltung mit mindestens einem Bauelement mit veränderbarem Widerstand ( $R0$ ) umfaßt, mit den Schritten:

(a) Durchführen eines Offset-Abgleichs des Spannungsdifferenzverstärkers (OP1) bei einer vorgegebenen Temperatur ( $T_R$ ); und nachfolgend

(b) Durchführen eines Abgleichs der Referenzspannung auf den vorgegebenen Wert der Referenzspannung bei derselben vorgegebenen Temperatur ( $T_R$ ) durch Einstellen des veränderbaren Widerstands ( $R0$ ) des mindestens einen Bauelements.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Schritt (a) die Teilschritte aufweist:

(a1) Kurzschließen der Eingänge des Spannungsdifferenzverstärkers (OP1); und

(a2) Regeln der Ausgangsspannung des Spannungsdifferenzverstärkers (OP1) auf einen vorgegebenen Spannungswert.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet,**

- daß der Spannungsdifferenzverstärker (OP1) in Schritt (a2) als Komparator betrieben wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

**dadurch gekennzeichnet,**

**daß** der Schritt (b) die Teilschritte aufweist:

- (b1) Messen der Referenzspannung ( $V_{ref}$ ) der Schaltung; und
- (b2) Verstellen des veränderbaren Widerstands ( $R_0$ ) des mindestens einen Bauelements, bis die gemessene Referenzspannung ( $V_{ref}$ ) den vorgegebenen Wert der Referenzspannung annimmt.

5. BGR-Schaltkreis zum Erzeugen einer temperaturstabilisierten Referenzspannung, welche

- einen Spannungsdifferenzverstärker (OP1) mit einem invertierenden und einem nicht-invertierenden Eingang, welchem ein Mittel zur Offset-Korrektur (Roffset) zugeordnet ist, und
- eine äußere Beschaltung des Spannungsdifferenzverstärkers (OP1), welche mit dem invertierenden und dem nicht-invertierenden Eingang und dem Ausgang des Spannungsdifferenzverstärkers (OP1) in Verbindung steht, umfaßt, wobei die äußere Beschaltung

- derart aufgebaut ist, daß die Summe mindestens zweier Teilsignale, deren Charakteristiken bezüglich der Temperatur unterschiedliche Vorzeichen aufweisen, der Ausgangsspannung des Spannungsdifferenzverstärkers (OP1) entspricht,
- mindestens ein Bauelement mit veränderbarem Widerstand ( $R_0$ ) umfaßt, mittels welchem die Temperaturcharakteristik mindestens einer der mindestens zwei Teilsignale beeinflussbar ist, sowie
- ein erstes Schaltmittel ( $S_1$ ,  $S_2$ ) zur Trennung der Eingänge des Spannungsdifferenzverstärkers (OP1) von der äußeren Beschaltung, und
- ein zweites Schaltmittel ( $S_4$ ) zum Kurzschließen der Eingänge des Spannungsdifferenzverstärkers (OP1)

aufweist.

6. Schaltung nach Anspruch 5,

**dadurch gekennzeichnet,**

- daß die äußere Beschaltung zwei Schaltungszweige umfaßt, welche sich von einem gemeinsamen festen Potential, insbesondere Masse ( $V_{SS}$ ), zum Ausgang des Spannungsdifferenzverstärkers (OP1) erstrecken,
- daß der invertierende Eingang des Spannungsdifferenzverstärkers (OP1) über einen ersten Schalter ( $S_1$ ) des ersten Schaltmittels ( $S_1$ ,  $S_2$ ) an einem Knoten  $K_1$  des ersten Schaltungszweigs liegt, und
- daß der nicht-invertierende Eingang des Spannungsdifferenzverstärkers (OP1) über einen zweiten Schalter ( $S_2$ ) des ersten Schaltmittels ( $S_1$ ,  $S_2$ ) an einem Knoten  $K_2$  des zweiten Schaltungszweigs liegt.

7. Schaltung nach Anspruch 5 oder 6,

**dadurch gekennzeichnet,**

- daß jeder der zwei Schaltungszweige jeweils eine Transistorschaltung ( $T_1$ ,  $T_2$ ) umfaßt.

8. Schaltung nach einem der Ansprüche 5 bis 7,

**dadurch gekennzeichnet,**

- daß die Knoten  $K_1$  und  $K_2$  jeweils mit dem Ausgang des Spannungsdifferenzverstärkers (OP1) über einen Widerstand ( $R_1$ ,  $R_2$ ) verbunden sind.

9. Schaltung nach einem der Ansprüche 5 bis 8,

**dadurch gekennzeichnet,**

- daß einer der zwei Knoten  $K_1$  und  $K_2$  über das mindestens eine Bauelement mit veränderbarem Widerstand ( $R_0$ ) mit dem Kollektoranschluß eines ersten Transistors ( $T_1$ ) verbunden ist, dessen Basisanschluß mit seinem Kollektoranschluß verbunden ist und dessen Emitteranschluß auf dem gemeinsamen festen Potential liegt, und
- daß der andere der zwei Knoten  $K_1$  und  $K_2$  mit dem Kollektoranschluß eines zweiten Transistors ( $T_2$ ) ver-

bunden ist, dessen Basisanschluß mit seinem Kollektoranschluß verbunden ist und dessen Emitteranschluß auf dem gemeinsamen festen Potential liegt.

10. Schaltung nach einem der Ansprüche 5 bis 9,  
**dadurch gekennzeichnet,**

- **daß** einer der beiden Eingänge des Spannungsdifferenzverstärkers (OP1) mit einer Konstantspannungsquelle (Vdc) verbindbar ist, und
- **daß** die Schaltung dritte Schaltmittel (S5) zur Trennung dieses Eingangs des Spannungsdifferenzverstärkers (OP1) von der Konstantspannungsquelle (Vdc) aufweist.

11. Schaltung nach einem der Ansprüche 5 bis 10,  
**dadurch gekennzeichnet,**

- **daß** es sich bei dem Spannungsdifferenzverstärker (OP1) um einen Operationsverstärker handelt.

12. Schaltung nach einem der Ansprüche 5 bis 11,  
**dadurch gekennzeichnet,**

- **daß** das Mittel zur Offset-Korrektur (Roffset) ein einstellbarer Trimmwiderstand ist.

## Claims

1. Method for adjusting a BGR circuit for generating a temperature-stabilized reference voltage (Vref) to a predetermined value of the reference voltage, the circuit comprising a voltage differential amplifier (OP1) and an external circuitry - assigned to the voltage differential amplifier (OP1) - having at least one component having a variable resistance (R0), having the steps of:

- (a) carrying out an offset adjustment of the voltage differential amplifier (OP1) at a predetermined temperature (TR); and subsequently
- (b) carrying out an adjustment of the reference voltage to the predetermined value of the reference voltage at the same predetermined temperature (TR) by setting the variable resistance (R0) of the at least one component.

2. Method according to Claim 1,  
**characterized**  
**in that** step (a) has the substeps of:

- (a1) short-circuiting the inputs of the voltage differential amplifier (OP1); and
- (a2) regulating the output voltage of the voltage differential amplifier (OP1) to a predetermined voltage value.

3. Method according to Claim 2,  
**characterized**

- **in that** the voltage differential amplifier (OP1) is operated as a comparator in step (a2).

4. Method according to one of the preceding claims,  
**characterized**  
**in that** step (b) has the substeps of:

- (b1) measuring the reference voltage (Vref) of the circuit; and
- (b2) varying the variable resistance (R0) of the at least one component until the measured reference voltage (Vref) assumes the predetermined value of the reference voltage.

5. BGR circuit for generating a temperature-stabilized reference voltage, which comprises

- a voltage differential amplifier (OP1) having an inverting and a noninverting input, which is assigned a means



for offset correction (Roffset), and

- an external circuitry of the voltage differential amplifier (OP1), which is connected to the inverting and noninverting inputs and the output of the voltage differential amplifier (OP1), the external circuitry

- being constructed in such a way that the sum of at least two partial signals whose characteristics have different signs with regard to the temperature corresponds to the output voltage of the voltage differential amplifier (OP1),
- comprising at least one component having a variable resistance (R0), by means of which the temperature characteristic of at least one of the at least two partial signals can be influenced, and
- having a first switching means (S1, S2) for isolating the inputs of the voltage differential amplifier (OP1) from the external circuitry, and
- having a second switching means (S4) for short-circuiting the inputs of the voltage differential amplifier (OP1).

**6. Circuit according to Claim 5, characterized**

- **in that** the external circuitry comprises two circuit branches which extend from a common fixed potential, in particular ground (VSS), to the output of the voltage differential amplifier (OP1),
- in that the inverting input of the voltage differential amplifier (OP1) is connected to a node K1 of the first circuit branch via a first switch (S1) of the first switching means (S1, S2), and
- **in that** the noninverting input of the voltage differential amplifier (OP1) is connected to a node K2 of the second circuit branch via a second switch (S2) of the first switching means (S1, S2).

**7. Circuit according to Claim 5 or 6, characterized**

- **in that** each of the two circuit branches respectively comprises a transistor circuit (T1, T2).

**8. Circuit according to one of Claims 5 to 7, characterized**

- **in that** the nodes K1 and K2 are respectively connected to the output of the voltage differential amplifier (OP1) via a resistor (R1, R2).

**9. Circuit according to one of Claims 5 to 8, characterized**

- **in that** one of the two nodes K1 and K2 is connected via the at least one component having a variable resistance (R0) to the collector terminal of a first transistor (T1), whose base terminal is connected to its collector terminal and whose emitter terminal is at the common fixed potential, and
- **in that** the other of the two nodes K1 and K2 is connected to the collector terminal of a second transistor (T2), whose base terminal is connected to its collector terminal and whose emitter terminal is at the common fixed potential.

**10. Circuit according to one of Claims 5 to 9, characterized**

- **in that** one of the two inputs of the voltage differential amplifier (OP1) can be connected to a constant voltage source (Vdc), and
- **in that** the circuit has third switching means (S5) for isolating this input of the voltage differential amplifier (OP1) from the constant voltage source (Vdc).

**11. Circuit according to one of Claims 5 to 10, characterized**

- **in that** the voltage differential amplifier (OP1) is an operational amplifier.

12. Circuit according to one of Claims 5 to 11,  
characterized

- in that the means for offset correction (Roffset) is an adjustable trimming resistor.

## Revendications

1. Procédé d'équilibrage d'un circuit BGR pour produire une tension ( $V_{ref}$ ) de référence stabilisée en température sur une valeur prescrite de la tension de référence, le circuit comprenant un amplificateur (OP1) différentiel de tension et un montage extérieur associé à l'amplificateur (OP1) différentiel de tension et ayant au moins un composant de résistance ( $R_0$ ) variable, comprenant les stades qui consistent :

(a) à effectuer un équilibrage de décalage de l'amplificateur (OP1) différentiel de tension pour une température ( $T_R$ ) prescrite ; et ensuite

(b) à effectuer un équilibrage de la tension de référence sur la valeur prescrite de la tension de référence à la même température ( $T_R$ ) prescrite en réglant la résistance ( $R_0$ ) variable du au moins un composant.

2. Procédé suivant la revendication 1,  
caractérisé

en ce que le stade (a) comprend les sous-stades :

(a1) court-circuitage des entrées de l'amplificateur (OP1) différentiel de tension ; et

(a2) réglage de la tension de sortie de l'amplificateur (OP1) différentiel de tension sur une valeur de tension prescrite.

3. Procédé suivant la revendication 2,  
caractérisé

- en ce que l'on fait fonctionner l'amplificateur (OP1) différentiel de tension au stade (a2) en tant que comparateur.

4. Procédé suivant l'une des revendications précédentes,  
caractérisé

en ce que le stade (b) comprend les sous-stades :

(b1) mesure de la tension ( $V_{ref}$ ) de référence du montage ; et

(b2) réglage de la résistance ( $R_0$ ) variable du au moins un composant jusqu'à ce que la tension ( $V_{ref}$ ) de référence mesurée prenne la valeur prescrite de la tension de référence.

5. Circuit BGR de production d'une tension de référence stabilisée en température, qui comprend,

- un amplificateur (OP1) différentiel de tension ayant une entrée inverseuse et une entrée non inverseuse qui est associé à un moyen (Roffset) de correction de décalage ; et
- un montage extérieur de l'amplificateur(OP1) différentiel de tension, qui est en liaison avec l'entrée inverseuse et l'entrée non inverseuse et avec la sortie de l'amplificateur (OP1) différentiel de tension, le montage extérieur étant constitué de façon à ce que la somme d'au moins deux signaux partiels dont les caractéristiques ont, pour ce qui concerne la température, des signes différents, corresponde à la tension de sortie de l'amplificateur (OP1) différentiel de tension,
- comprenant au moins un composant à résistance ( $R_0$ ) variable au moyen duquel la caractéristique de température d'au moins l'un des deux signaux partiels peut être influencée, ainsi que
- un premier moyen ( $S_1$ ,  $S_2$ ) d'interruption pour séparer les entrées de l'amplificateur (OP1) différentiel de tension du montage extérieur, et
- un deuxième moyen ( $S_4$ ) d'interruption pour court-circuiter les entrées de l'amplificateur (OP1) différentiel de tension.

6. Circuit suivant la revendication 5,

**caractérisé**

- **en ce que** le montage extérieur comprend deux branches de circuit, qui s'étendent d'un potentiel fixe commun, notamment de la masse (VSS), à la sortie de l'amplificateur (OP1) différentiel de tension ;
- **en ce que** l'entrée inverseuse de l'amplificateur (OP1) différentiel de tension s'applique, par un premier interrupteur (S1) du premier moyen (S1, S2) d'interruption, à un noeud (K1) de la première branche du circuit ; et
- **en ce que** l'entrée non inverseuse de l'amplificateur (OP1) différentiel de tension s'applique, par un deuxième interrupteur (S2) du premier moyen (S1, S2) d'interruption, à un noeud (K2) de la deuxième branche du circuit.

**7. Circuit suivant la revendication 5 ou 6,**  
**caractérisé**

- **en ce que** chacune des deux branches du circuit comprend, respectivement, un circuit (T1, T2) à transistor.

**8. Circuit suivant l'une des revendications 5 à 7,**  
**caractérisé**

- **en ce que** les noeuds (K1 et K2) sont reliés, respectivement, à la sortie de l'amplificateur (OP1) différentiel de tension par une résistance (R1, R2).

**9. Circuit suivant l'une des revendications 5 à 8,**  
**caractérisé**

- **en ce que** l'un des deux noeuds (K1, K2) est relié par le au moins un composant à résistance (R0) variable à la borne de collecteur d'un premier transistor (T1) dont la borne de base est reliée à sa borne de collecteur et dont la borne d'émetteur est au potentiel fixe commun, et
- **en ce que** l'autre des deux noeuds (K1, K2) est relié à la borne de collecteur d'un deuxième transistor (T2) dont la borne de base est reliée à sa borne de collecteur et dont la borne d'émetteur est au potentiel fixe commun.

**10. Circuit suivant l'une des revendications 5 à 9,**  
**caractérisé**

- **en ce que** l'une des deux entrées de l'amplificateur (OP1) différentiel de tension peut être reliée à une source (Vdc) de tension constante, et
- **en ce que** le circuit comprend un troisième moyen (S5) d'interruption pour séparer cette entrée de l'amplificateur (OP1) différentiel de tension de la source (Vdc) de tension constante.

**11. Circuit suivant l'une des revendications 5 à 10,**  
**caractérisé**

- **en ce que** l'amplificateur (OP1) différentiel de tension est un amplificateur opérationnel.

**12. Circuit suivant l'une des revendications 5 à 11,**  
**caractérisé**

- **en ce que** le moyen (Roffset) de correction de décalages est une résistance de réglage variable.

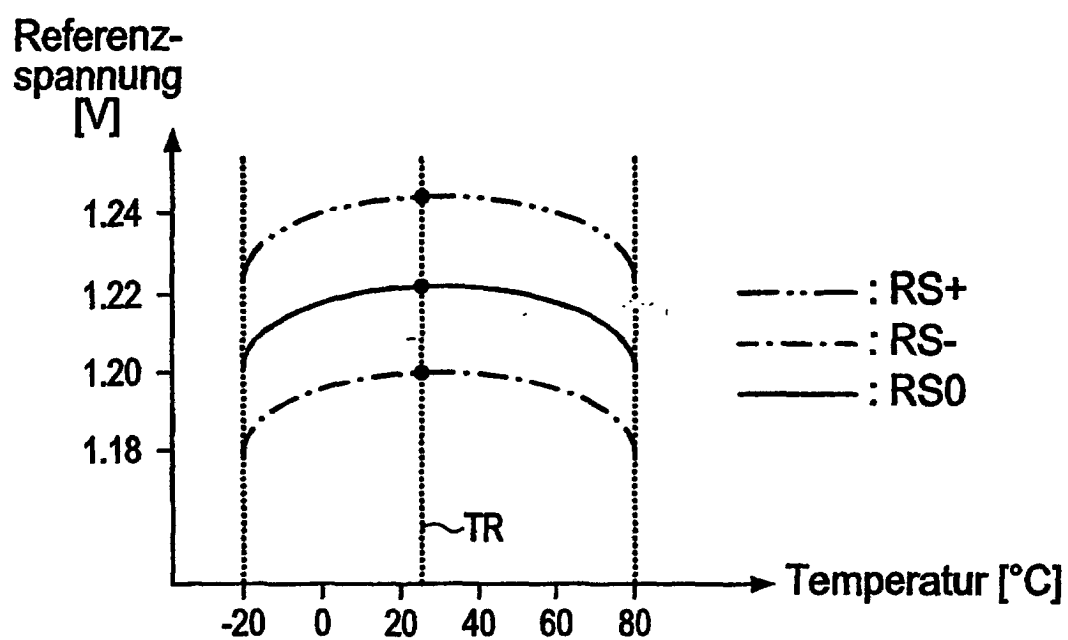


Fig.1A

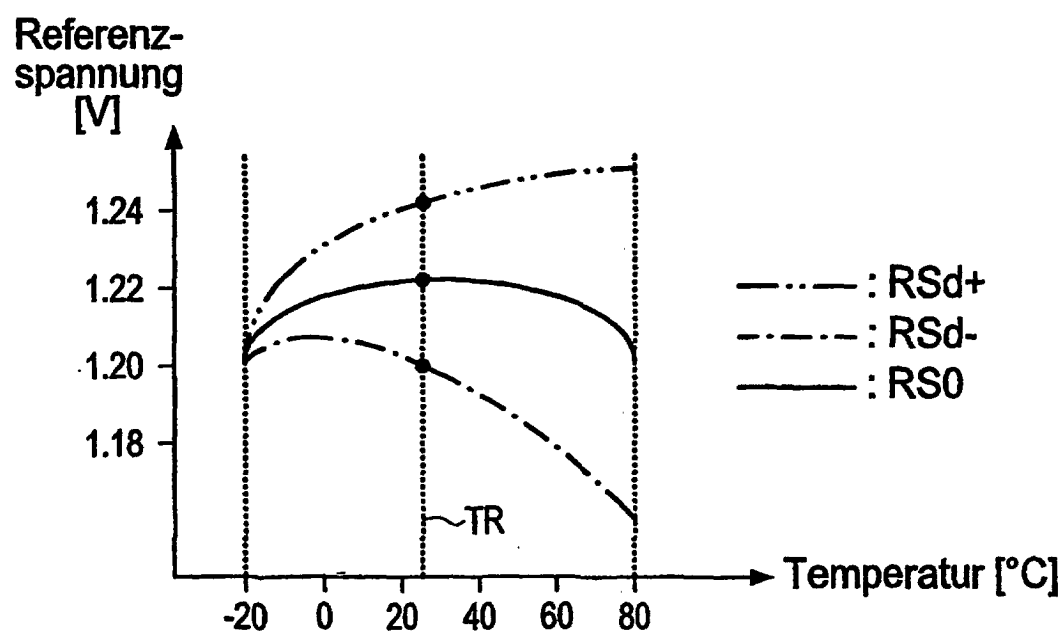


Fig.1B

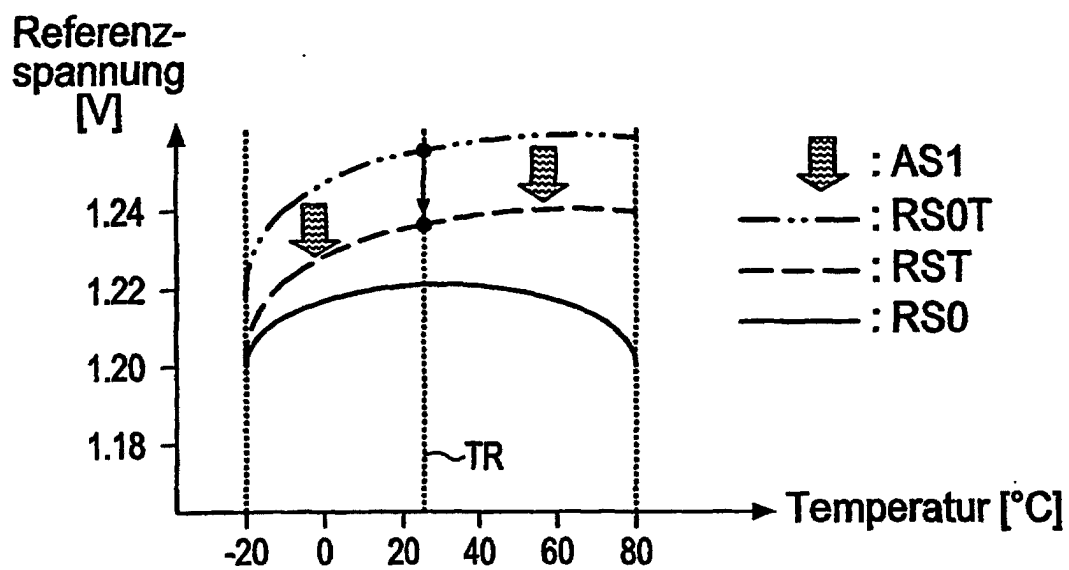


Fig. 2

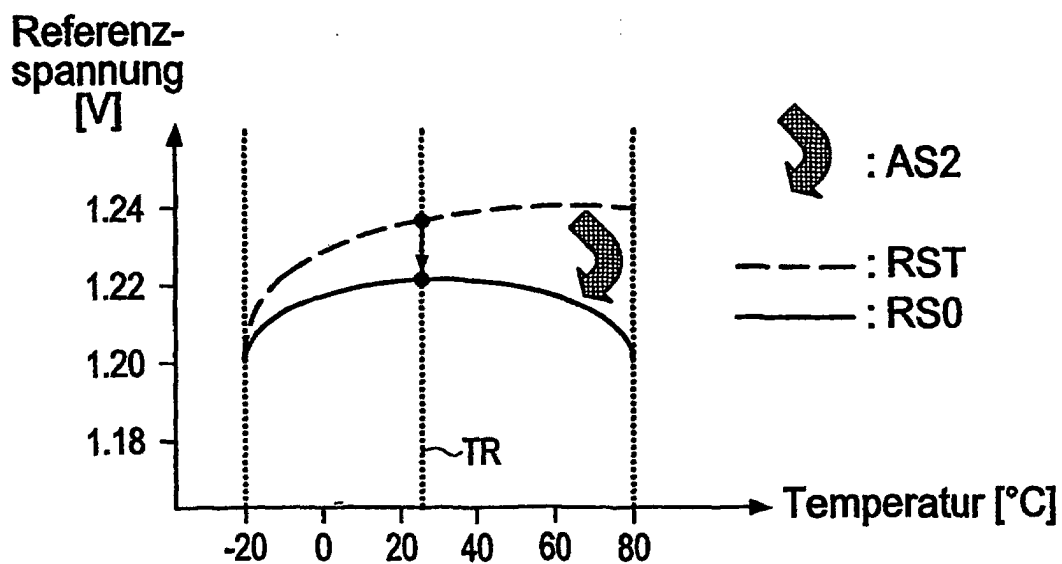


Fig. 3

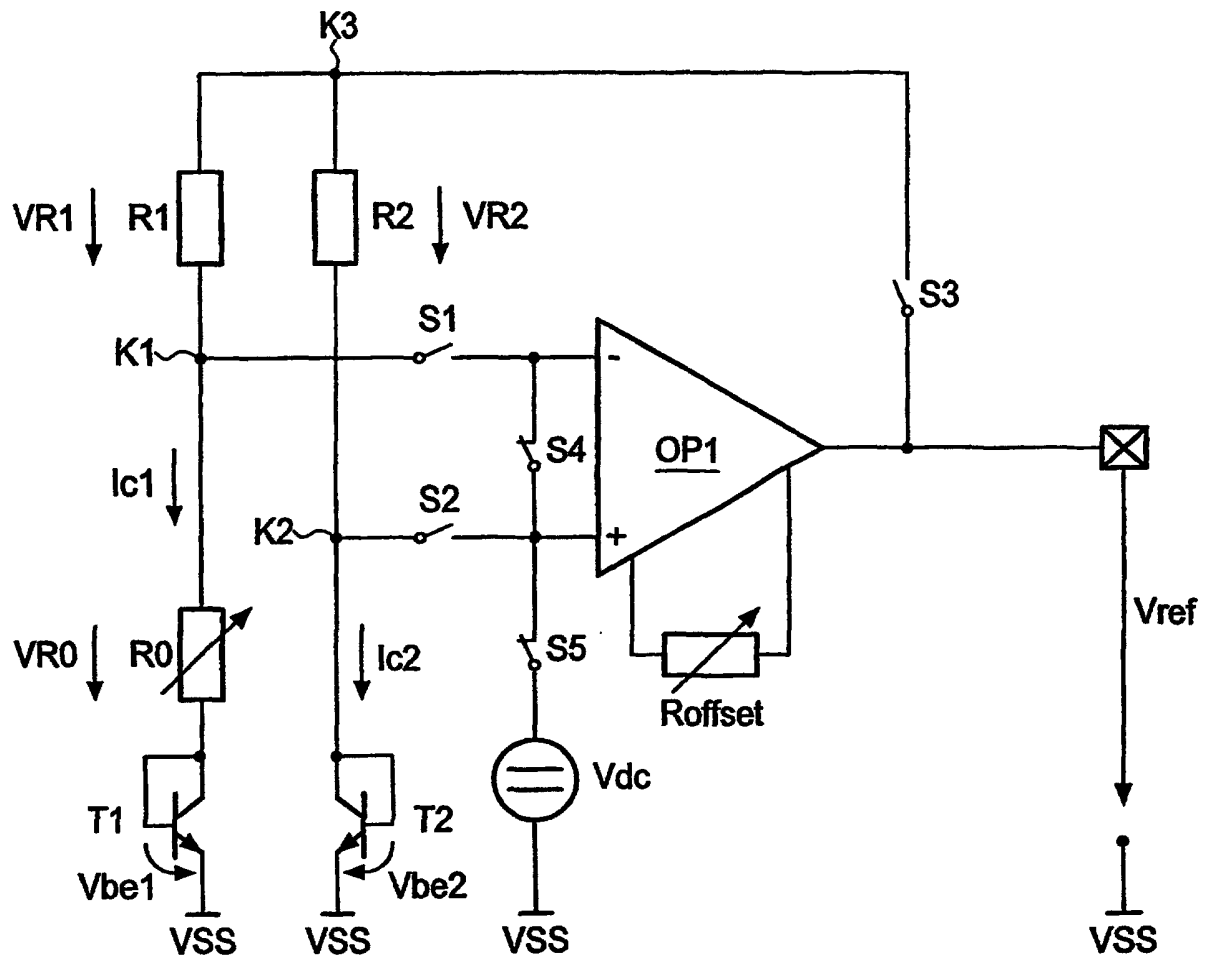


Fig. 4