



Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 5 Absatz 1 des Änderungsgesetzes
zum Patentgesetz

ISSN 0433-6461

(11) **203 415**

Int.Cl.³ 3(51) G 05 F 3/08
G 01 K 7/00

AMT FUER ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP G 05 F/ 2348 993

(22) 17.11.81

(44) 19.10.83

(71) TH "OTTO VON GUERICKE";DD;

(72) BARENTHIN, KLAUS,DIPL.-ING.;DD;

(73) siehe (72)

(74) TH OTTO VON GUERICKE BFN/SR 3032 MAGDEBURG BOLESŁAW-BIERUT-PLATZ 5

(54) **SCHALTUNGSANORDNUNG MIT FALLENDER SPANNUNGS-TEMPERATUR-CHARAKTERISTIK**

(57) Die Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung mit fallender Spannungs-Temperatur-Charakteristik unter Ausnutzung der Abhängigkeit der Flußspannung eines in Flußrichtung betriebenen Halbleiter-PN-Überganges von der Temperatur, vorzugsweise zur Anwendung in Referenzspannungsquellen und Temperaturmeßeinrichtungen. Das Ziel, mit verhältnismäßig geringem Mehraufwand den Anwendungsbereich bedeutend zu vergrößern, wird durch die Lösung folgender Aufgabe erreicht: Es ist eine Schaltungsanordnung mit einer streng linear über der Temperatur abfallenden Spannung zu schaffen. Dies geschieht durch die Hinzufügung eines weiteren in Flußrichtung betriebenen Halbleiter-PN-Überganges zu dem bereits bekannten, wobei die über den beiden Halbleiter-PN-Übergängen entstehenden temperaturabhängigen Flußspannungen von einer zwischengeschalteten Anordnung nach einer bestimmten Vorschrift zu einer streng linear über der Temperatur fallenden Spannung verarbeitet werden. Figur

234899 3

4

Titel der Erfindung

Schaltungsanordnung mit fallender Spannungs-Temperatur-Charakteristik

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung mit fallender Spannungs-Temperatur-Charakteristik unter Ausnutzung der Abhängigkeit der Flußspannung eines in Flußrichtung betriebenen Halbleiter-PN-Überganges von der Temperatur, vorzugsweise zur Anwendung in Referenzspannungsquellen und Temperaturmeßeinrichtungen.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Es sind Schaltungsanordnungen o. g. Art bekannt, bei denen der Halbleiter-PN-Übergang mit einem Konstantstrom gespeist wird. Die entstehende Flußspannung weist in ihrer Temperaturabhängigkeit jedoch Nichtlinearitäten auf, so daß solche Schaltungsanordnungen für Fälle mit sehr hohen Genauigkeitsanforderungen nicht ausreichen. Zur Verringerung der Nichtlinearitäten im Zusammenhang zwischen Flußspannung und Temperatur werden Schaltungsanordnungen benutzt, bei denen die Konstantstromspeisung durch Speisung des Halbleiter-PN-Überganges mit einem temperaturproportionalen Flußstrom I_F ersetzt wird, der der Funktion

$$I_F(T) = I_0 \cdot T/T_0 \quad (1)$$

genügt, wobei I_0 der Bezugswert dieses Stromes bei der

Temperatur $T = T_0$ ist.

Der bei derartiger Steuerung des Flußstromes entstehende Verlauf der Flußspannung in Abhängigkeit von der Temperatur ist jedoch weiterhin durch Nichtlinearitäten gekennzeichnet. Dadurch ist auch hier die Genauigkeit von Anordnungen, die auf diese fallende Spannungs-Temperatur-Charakteristik Bezug nehmen, und damit der Anwendungsbereich der o. a. Schaltungsanordnungen begrenzt.

Zum Beispiel erreichen bekannte Band-Gap-Referenzen im allgemeinen keinen geringeren Temperaturkoeffizienten als einige 10^{-5} K^{-1} (Low cost voltage references for analog circuits. Analog Dialogue 8 /1974/ H. 2, S. 12).

Weiterhin ist die Speisung eines Halbleiter-PN-Überganges mit einem quadratisch mit der Temperatur steigenden Flußstrom bekannt (Pat O'Neil, Carl Derrington: Transistoren als Temperatursensoren, Elektronik 29 /1980/ H. 11, S.81 - 84).

Dadurch kann die Nichtlinearität der Spannungs-Temperatur-Charakteristik weiter verringert, aber nicht vollständig beseitigt werden. Außerdem entsteht bei dieser Speisungsvariante des Halbleiter-PN-Überganges ein beträchtlicher Schaltungsaufwand.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, eine Schaltungsanordnung mit fallender Spannungs-Temperatur-Charakteristik zu schaffen, bei der mit verhältnismäßig geringem Mehraufwand der Anwendungsbereich bedeutend vergrößert wird.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Schaltungsanordnung mit einer streng linear über der Temperatur abfallenden Spannung zu schaffen.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß zusätzlich zu dem bekannten Halbleiter-PN-Übergang ein zweiter

Halbleiter-PN-Übergang angeordnet ist und der erste Halbleiter-PN-Übergang mit einer Stromquelle, die einen Strom I_1 mit einer Temperaturabhängigkeit

$$I_1(T) = I_{01} \left(\frac{T}{T_0}\right)^\alpha \quad (1)$$

liefert und der zweite Halbleiter-PN-Übergang mit einer Stromquelle, die einen Strom I_2 mit einer Temperaturabhängigkeit

$$I_2(T) = I_{02} \left(\frac{T}{T_0}\right)^\beta \quad (2)$$

liefert, verbunden ist, wobei I_{01} bzw. I_{02} die Bezugswerte der beiden Ströme bei der Temperatur $T = T_0$ und α , β Exponenten mit der Bedingung

$$0 < \alpha \leq \beta \quad (3)$$

sind. Der jeweilige Verbindungspunkt der Stromquelle mit dem zugeordneten Halbleiter-PN-Übergang ist jeweils mit einem Eingang einer Anordnung verbunden, welche so ausgelegt ist, daß sie die Vorschrift

$$U_3 = U_{F1} + \gamma (U_{F2} - U_{F1}) \quad (4)$$

realisiert, wobei U_3 die Ausgangsspannung der Anordnung, U_{F1} bzw. U_{F2} die am Verbindungspunkt des ersten bzw. zweiten Halbleiter-PN-Überganges mit der jeweils zugeordneten Stromquelle anliegenden Flußspannung der Halbleiter-PN-Übergänge sind und für den Faktor γ die Vorschrift

$$\gamma > 0 \quad (5)$$

gilt.

Die Wirkung der Schaltungsanordnung beruht auf nachstehend näher erläuterten Zusammenhängen:

Über einem mit einem Flußstrom I_F gespeisten Halbleiter-PN-Übergang entsteht die temperaturabhängige Flußspannung $U_F(T)$. Für diese Flußspannung gilt in einem bestimmten Bereich der

Strom-Spannungs-Kennlinie des Halbleiter-PN-Überganges die Beziehung

$$U_F = U_T \ln \frac{I_F}{I_S}, \quad (6)$$

wobei
$$U_T = \frac{k}{q} T \quad (7)$$

die Temperaturspannung mit der Boltzmannkonstanten k , der Elementarladung q und der absoluten Temperatur T und

$$I_S = C T^{\nu} \exp \frac{-W_g}{kT} \quad (8)$$

der Sättigungsstrom mit den Bauelementeparametern C , ν und dem Bandabstand W_g ist.

Gleichungen (7) und (8) eingesetzt in Gleichung (6) führen zu

$$U_F = \frac{k}{q} T \left(\ln \frac{I_F}{C T^{\nu}} + \frac{W_g}{kT} \right), \quad (9)$$

woraus das Temperaturverhalten der Spannung U_F durch Ableiten nach der Temperatur ermittelt werden kann:

$$\frac{dU_F}{dT} = - \frac{1}{T} (U_g - U_F) - \frac{k}{q} \left(\nu - \frac{T}{I_F} \frac{dI_F}{dT} \right). \quad (10)$$

Hierbei ist
$$U_g = \frac{W_g}{q}. \quad (11)$$

Gibt man für den Flußstrom I_F eine bestimmte Temperaturabhängigkeit vor, so daß

$$\frac{T}{I_F} \frac{dI_F}{dT} = \text{const.} \quad (12)$$

gilt, ergibt sich als Lösung für die Differentialgleichung (10)

$$U_F = U_g - (U_g - U_{F0}) \frac{T}{T_0} - \nu' U_{T0} \frac{T}{T_0} \ln \frac{T}{T_0} \quad (13)$$

mit
$$U_{F0} = U_F (T = T_0), \quad (14)$$

$$U_{T0} = U_T (T = T_0) \quad (15)$$

$$\text{und } \nu' = \nu - \frac{T}{I_F} \frac{dI_F}{dT} \quad (16)$$

Bei der erfindungsgemäßen Verwendung von zwei Halbleiter-PN-Übergängen, die mit Strömen nach den Gleichungen (1) und (2) gespeist werden, gilt für die entstehenden Flußspannungen U_F

$$U_{F1} = U_{g1} - (U_{g1} - U_{F01}) \frac{T}{T_0} - (\nu_1 - \alpha) U_{T0} \frac{T}{T_0} \ln \frac{T}{T_0} \quad (17)$$

$$\text{und } U_{F2} = U_{g2} - (U_{g2} - U_{F02}) \frac{T}{T_0} - (\nu_2 - \beta) U_{T0} \frac{T}{T_0} \ln \frac{T}{T_0}, \quad (18)$$

wobei die Indizierung mit 1 bzw. 2 auf die Zugehörigkeit der entsprechenden Größen zu den Halbleiter-PN-Übergängen 1 bzw. 2 hinweist.

Die Verknüpfung der Gleichungen (17) und (18) nach der Vorschrift (4) liefert

$$U_3 = U_{g1} + (U_{g2} - U_{g1}) - \left\{ U_{g1} - U_{F0} + \gamma \left[(U_{g2} - U_{g1}) - (U_{F02} - U_{F01}) \right] \right\} \frac{T}{T_0} - \left[\nu_1 - \alpha + \gamma (\nu_2 - \beta - \nu_1 + \alpha) \right] U_{T0} \frac{T}{T_0} \ln \frac{T}{T_0}. \quad (19)$$

Durch Festlegung des Faktors γ nach der Vorschrift

$$\gamma = \frac{1}{1 - \frac{\nu_2 - \beta}{\nu_1 - \alpha}} \quad (20)$$

entsteht aus Gleichung (19) ein linearer Zusammenhang zwischen der Spannung U_3 und der Temperatur T :

$$U_3 = U_{g1} + \gamma (U_{g2} - U_{g1}) - \left\{ U_{g1} - U_{F0} + \gamma \left[(U_{g2} - U_{g1}) - (U_{F02} - U_{F01}) \right] \right\} \frac{T}{T_0}. \quad (21)$$

Durch geeignete Wahl der Bezugsströme I_{01} und I_{02} läßt sich der Zusammenhang

$$U_{g2} - U_{g1} = U_{FO2} - U_{FO1} \quad (22)$$

herstellen, womit aus Gleichung (21)

$$U_3 = U_{g1} + \gamma (U_{g2} - U_{g1}) - (U_{g1} - U_{FO1}) \frac{T}{T_0} \quad (23)$$

folgt.

Noch günstigere Bedingungen ergeben sich bei der Verwendung gleicher, beispielsweise integrierter, Halbleiter-PN-Übergänge 1 und 2,

$$\text{wobei} \quad \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma, \quad (24)$$

$$U_{g1} = U_{g2} = U_g \quad \text{und} \quad (25)$$

$$U_{FO1} = U_{FO2} = U_{FO} \quad (26)$$

gilt.

Damit vereinfacht sich Gleichung (21) zu

$$U_3 = U_g - (U_g - U_{FO}) \frac{T}{T_0}, \quad (27)$$

wodurch ein streng linearer Zusammenhang zwischen der Spannung U_3 und der Temperatur T gegeben ist.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll im nachstehenden Ausführungsbeispiel näher erläutert werden.

Gemäß Zeichnung besteht die Schaltungsanordnung mit linear fallender Spannungs-Temperatur-Charakteristik aus Halbleiter-PN-Übergängen 1; 2, Stromquellen 3; 4, Verbindungspunkten 5; 6; 7 und einer Anordnung 8, die einen Operationsverstärker 9 mit Widerständen 10; 11 enthält und Eingänge 12; 13 sowie einen Ausgang 14 besitzt.

Die Wirkungsweise der Schaltungsanordnung ist folgende: Die Halbleiter-PN-Übergänge 1 bzw. 2 werden von den Stromquellen 3 bzw. 4 gespeist, die zur Erfüllung der Gleichung (12) die Ströme

$$I_1 = I_{01} = \text{const.} \quad (28)$$

$$\text{bzw.} \quad I_2 = I_{02} \frac{T}{T_0} \quad (29)$$

liefern, wodurch für das vorliegende Ausführungsbeispiel die Exponenten α und β aus den Gleichungen (1) und (2) die Werte

$$\alpha = 0 \quad (30)$$

$$\text{bzw.} \quad \beta = 1 \quad (31)$$

annehmen.

Die Anordnung 8 enthält zur Realisierung der Vorschrift (4) eine bekannte Operationsverstärkerschaltung mit den Widerständen 10 und 11, deren Werte R_{10} und R_{11} mit

$$R_{10} = (\gamma - 1) R_{11} \quad (32)$$

festgelegt sind.

Der Wert R_{11} ist so gewählt, daß der über den Widerstand 11 zum Verbindungspunkt 5 fließende Strom gegenüber dem Strom I_1 vernachlässigbar klein ist.

Die weitere Funktionsweise der erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung wird bei folgenden Materialkonstanten und frei gewählten Bezugsgrößen erläutert, wobei die Realisierung der Halbleiter-PN-Übergänge 1 und 2 durch integrierte Silizium-Transistoren erfolgen soll, deren Kollektor-Basis-Übergang im Kurzschluß betrieben wird:

$$U_{g1} = U_{g2} = U_g = 1,2 \text{ V}$$

$$\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma = 3$$

$$T_0 = 300 \text{ K.}$$

Die benutzten Halbleiter-PN-Übergänge 1; 2 sollen bei dieser Bezugstemperatur T_0 und einem Strom

$$I_{F01} = I_{F02} = I_{F0} = 0,1 \text{ mA}$$

eine Flußspannung

$$U_{F01} = U_{F02} = U_{F0} = 0,6 \text{ V}$$

aufweisen.

Aus Gleichung (20) und den Beziehungen (30) und (31) erhält man

$$\gamma = 3. \quad (33)$$

Damit ergibt sich für die Widerstände 10 und 11 der Zusammenhang

$$R_{10} = 2 R_{11}, \quad (34)$$

der im Ausführungsbeispiel mit den Werten

$$R_{10} = 20 \text{ k}\Omega \quad \text{und} \quad R_{11} = 10 \text{ k}\Omega$$

realisiert wird.

Am Ausgang 14 der Schaltungsanordnung entsteht gegenüber dem Verbindungspunkt 7 eine Spannung U_3 nach Gleichung (27), die im vorliegenden Ausführungsbeispiel durch einen Temperaturkoeffizienten D_T mit

$$D_T = - \frac{U_g - U_{FO}}{T_0} = - 2 \text{ mV K}^{-1} \quad (35)$$

gekennzeichnet ist.

Es ist auch denkbar, die Beziehung (4) mit einem Faktor γ^2 nach Gleichung (20) zu erfüllen, wenn für die beiden Ströme I_1 und I_2

$$I_1 = I_2 \quad (36)$$

$$\text{mit} \quad \mathcal{L} = \beta \quad (37)$$

gilt und die Materialkonstanten $\mathcal{D}_1$ und $\mathcal{D}_2$ sich voneinander unterscheiden.

Weiterhin ist es möglich, die Anordnung 8 auf andere Weise als im Ausführungsbeispiel beschrieben zu realisieren.

Für die Stromquellen 3 und 4 können zur Erzielung des erfindungsgemäßen Effektes allgemein übliche Anordnungen verwendet werden.

Erfindungsanspruch

Schaltungsanordnung mit fallender Spannungs-Temperatur-Charakteristik unter Ausnutzung der Abhängigkeit der Flußspannung eines in Flußrichtung betriebenen Halbleiter-PN-Überganges von der Temperatur, vorzugsweise zur Anwendung in Referenzspannungsquellen und Temperaturmeßeinrichtungen, gekennzeichnet dadurch, daß zusätzlich zu dem bekannten Halbleiter-PN-Übergang (1) ein zweiter Halbleiter-PN-Übergang (2) angeordnet ist und der erste Halbleiter-PN-Übergang (1) mit einer Stromquelle (3), die einen Strom I_1 mit einer Temperaturabhängigkeit

$$I_1(T) = I_{01} \left(\frac{T}{T_0}\right)^\alpha$$

liefert und der zweite Halbleiter-PN-Übergang (2) mit einer Stromquelle (4), die einen Strom I_2 mit einer Temperaturabhängigkeit

$$I_2(T) = I_{02} \left(\frac{T}{T_0}\right)^\beta$$

liefert, verbunden ist, wobei I_{01} bzw. I_{02} die Bezugswerte der beiden Ströme bei der Temperatur $T = T_0$ und α, β Exponenten mit der Bedingung

$$0 < \alpha \leq \beta$$

sind und der jeweilige Verbindungspunkt (5; 6) der Stromquelle (3; 4) mit den zugeordneten Halbleiter-PN-Übergängen (1; 2) jeweils mit einem Eingang (12; 13) einer Anordnung (8) verbunden ist, welche so ausgelegt ist, daß sie die Vorschrift

$$U_3 = U_{F1} + \gamma(U_{F2} - U_{F1})$$

realisiert, wobei U_3 die Ausgangsspannung der Anordnung (8), U_{F1} bzw. U_{F2} die an dem Verbindungspunkt (5; 6) des ersten bzw. zweiten Halbleiter-PN-Überganges (1; 2) mit der jeweils zugeordneten Stromquelle (3; 4) anliegende Flußspannung ist und für den Faktor γ die Vorschrift $\gamma > 0$ gilt.

Hierzu 1 Seite Zeichnung

