

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
5. April 2007 (05.04.2007)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2007/036293 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01K 7/01 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2006/008791

(22) Internationales Anmeldedatum:
8. September 2006 (08.09.2006)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2005 045 635.9
23. September 2005 (23.09.2005) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **AUSTRIAMICROSYSTEMS AG** [AT/AT];
Schloss Premstätten, A-8141 Unterpremstätten (AT).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **NIEDERBERGER,
Mark** [CH/CH]; Eisenbahnstrasse 9, CH-8840 Einsiedeln
(CH).

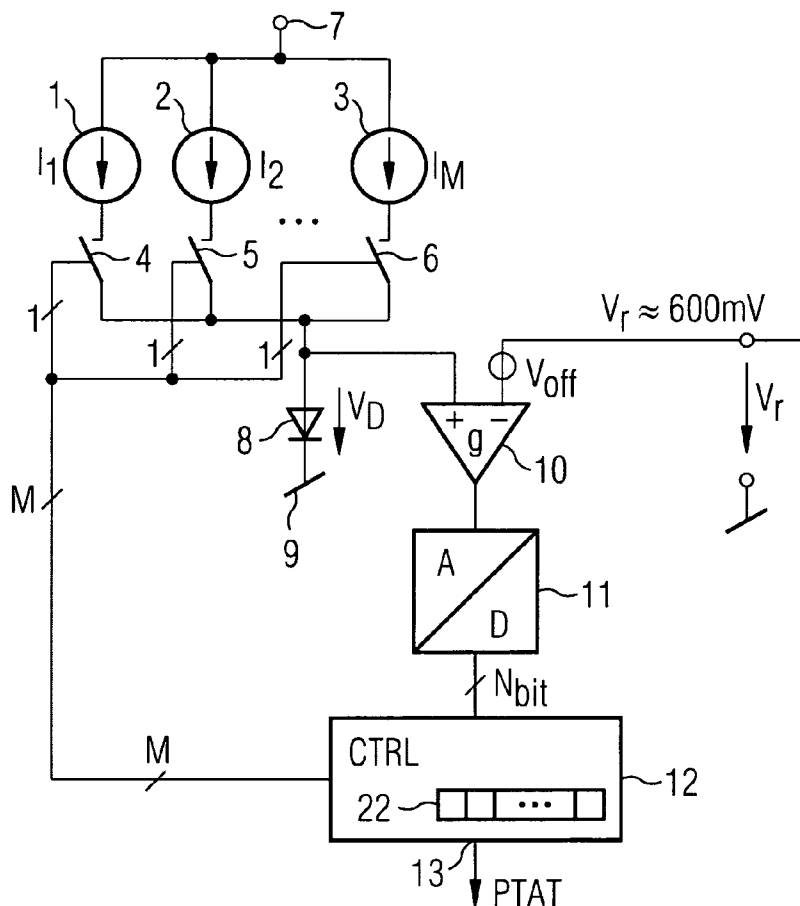
(74) Anwalt: **EPPING HERMANN FISCHER PATENTAN-
WALTSGESELLSCHAFT MBH**; Ridlerstr. 55, 80339
München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS,
JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS,
LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: TEMPERATURE-DEPENDENT SIGNAL PROVISION

(54) Bezeichnung: BEREITSTELLUNG EINES TEMPERATURABHÄNGIGEN SIGNALS



(57) Abstract: The invention relates to a method and device for providing a temperature-dependent signal. Several power sources (1, 2) are connected to one or several switched-on or off diodes (8). The diode on-state voltage is compared with a reference signal (V_r) in a comparator (10). A control circuit (12) controls the power sources in such a way that, for calibrating and each calibrating operation, only one power source is activated and all power sources are activated for a subsequent calibrating operation, thereby making it possible to calculate error terms which enable to provide in a highly accurate manner a temperature-dependent signal relative to the matching of the power sources therebetween.

(57) Zusammenfassung:

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Anordnung und ein Verfahren zur Bereitstellung eines temperaturabhängigen Signals. Es sind mehrere Stromquellen (1, 2) vorgesehen, die zu- und abschaltbar mit einer oder mehreren Dioden (8) verbunden sind. Die Durchlassspannung der

Diode wird in einem Vergleich (10) mit einem Referenzsignal (V_r)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2007/036293 A1



MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS,
RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG,
CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

- (84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC,

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

verglichen. Eine Steuerschaltung (12) steuert die Stromquellen (1, 2) so an, dass zur Kalibrierung in je einem Kalibrierschritt nur je eine der Stromquellen aktiviert ist und in einem weiteren Kalibrierschritt alle Stromquellen (1, 2) aktiviert sind. Dadurch können Fehlerterme berechnet werden, die eine sehr exakte Bereitstellung eines temperaturabhängigen Signals bezogen auf das Matching der Stromquellen untereinander ermöglichen.

Beschreibung

BEREITSTELLUNG EINES TEMPERATURABHÄNGIGEN SIGNALS

5

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Anordnung zur Bereitstellung eines temperaturabhängigen Signals sowie ein Verfahren zur Bereitstellung eines temperaturabhängigen Signals.

10 Für zahlreiche Anwendungen ist die Bereitstellung eines Signals wünschenswert, das proportional zur absoluten Temperatur ist. Solche Signale werden auch als PTAT, proportional-to-absolute-temperature, bezeichnet. Hierfür ist ein Schaltkreis geeignet, der eine so genannte On-Chip-Temperaturmessung
15 durchführt.

Zum Zwecke einer solchen On-Chip-Temperaturmessung wird häufig eine Spannungsdifferenz zwischen zwei Bipolar-Dioden ausgewertet, die mit unterschiedlichen Stromdichten beaufschlagt
20 werden. Als Bipolar-Dioden sind vorliegend Bipolar-Transistoren verstanden, die als Diode beschaltet sind. Die Differenz der Spannungen über den beiden Dioden entspricht gerade einer temperaturproportionalen Spannung V_{PTAT} gemäß der Vorschrift:

25
$$V_{Ptat} = V_{d2} - V_{d1} = V_T * l_n \frac{I_2}{I_1}$$

Dabei bezeichnet V_{d1} die Spannung über der in Durchlassrichtung beschalteten ersten Diode, V_{d2} die Spannung über der in Durchlassrichtung beschalteten zweiten Diode, der Quotient aus I_2 / I_1 das Verhältnis der Stromdichten, mit denen die
30 erste bzw. zweite Diode beaufschlagt werden, und V_T die Temperaturspannung einer Diode.

Um eine solche Schaltung bereitzustellen, ist es beispielsweise üblich, zwei zueinander skalierte Stromquellen vorzusehen, die in je einem Strompfad mit je einer in Vorwärtsrichtung gepolten Diode zwischen einen Versorgungspotenzialanschluss und einen Bezugspotenzialanschluss geschaltet sind. Je ein Eingang eines Differenzverstärkers ist mit je einer Anode einer Diode verbunden. Am Ausgang steht damit ein Signal bereit, welches dem Wert der Spannung V_{Ptat} , multipliziert mit dem Verstärkungsfaktors g des Differenzverstärkers, entspricht.

Wenn das temperaturproportionale Signal als Digitalsignal bereitgestellt werden soll, so kann sich an den Differenzverstärker ein Analog/Digital-Konverter anschließen.

Eine solche Anordnung leidet jedoch unter Fehlanpassungen sowohl der Dioden als auch der Stromquellen, so genannten mismatches, die unvermeidlich bei der Massenherstellung integrierter Schaltkreise auftreten. Darüber hinaus führt auch der Offset des Verstärkers zu einer Messungenauigkeit. Methoden zum Kompensieren solcher Nichtidealitäten umfassen beispielsweise die so genannte Bauteilrotation oder das Chopping.

Beispielsweise in dem Dokument von Anton Bakker: CMOS Smart Temperature Sensors - An Overview, IEEE Proceedings, Vol. 2, June 2002, ist ein Überblick über Temperatursensoren angegeben, die in integrierter CMOS-Prozesstechnik herstellbar sind. Beispielsweise in Figur 8 dieses Dokuments wird vorgeschlagen, eine hohe Genauigkeit eines integrierten P_{tat} -Generators mit einer Chopper-Technik zu erzielen, also dem Zerhacken von Signalen in periodischer Weise.

In dem Aufsatz von A. Bakker und J. H. Huijsing: Micropower CMOS Temperature Sensor With Digital Output, IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 3.1, No. 7, July 1996, ist ebenfalls ein gechoppt betriebener Ptat-Schaltkreis in Figur 3
5 gezeigt, bei dem zusätzlich ein $\Sigma\Delta$ -Konverter zur Signalauswertung vorgesehen ist.

In dem Dokument "A Switched-Capacitor Temperature Sensor in 0.6 μm CMOS" von Mike Tuthill, Journal of Solid-State Circuits, Vol. 3.3, No. 7, July 1998, ist ein integrierter Temperatursensor gezeigt, der in so genannter Switched Current, Switched Capacitor Technik beschaltet ist.
10

Auch in dem Aufsatz von A. Bakker und J. H. Huijsing et al.: A CMOS Smart Temperature Sensor With A 3σ Inaccuracy of $\pm 0.5^\circ\text{C}$ from -50°C to 120°C , IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 40, No. 2, February 2005, zeigt einen Temperatursensor mit $\Sigma\Delta$ -Modulator und Chopping-Prinzip.
15

Diesen Schaltkreisen ist die Eigenschaft gemeinsam, dass die zu kompensierenden Fehler nicht völlig ausgelöscht werden. Entweder ist ein großer Aufwand in analoger Schaltungstechnik erforderlich oder es werden zusätzliche unerwünschte Eigenschaften wie Ladungsinjektion, Schaltungsrauschen oder Ähnliches eingeführt.
20
25

In dem Dokument US 6,554,469 ist ein Temperatursensor mit vier Strömen und einem Transistor gezeigt. Dabei ist vorgesehen, den Transistor mit jedem der vier Ströme zu beaufschlagen und jeweils die Basis-Emitter-Spannung, die daraus resultiert, zu messen. Es verbleibt jedoch ein Fehler bezüglich der linearen Verstärkung, bedingt durch einen Mismatch der Stromquellen.
30

Das Dokument EP 1 132 794 A1 beschreibt ein Verfahren und eine Anordnung zur Gewinnung einer temperaturunabhängigen Spannungsreferenz. Dabei wird der Verstärkungsfaktor eines Analog/Digital-Wandlers aus einer Vielzahl digitaler Messwerte errechnet.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Anordnung und ein Verfahren zur Bereitstellung eines temperaturabhängigen Signals anzugeben, bei denen Verstärkungsfehler der Temperaturmessung deutlich verringert sind. Dabei soll der Schaltkreis eine geringe Empfindlichkeit gegenüber Fehlanpassungen der verwendeten Bauteile haben.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe bezüglich der Vorrichtung gelöst durch eine Anordnung zur Bereitstellung eines temperaturabhängigen Signals, aufweisend:

- eine erste Stromquelle, die zu- und abschaltbar mit einer Diode verbunden ist,
- eine zweite Stromquelle, die zu- und abschaltbar mit der Diode oder einer anderen Diode verbunden ist,
- einen Vergleichler, der an einem Eingang mit der ersten und mit der zweiten Stromquelle gekoppelt ist und dem an einem zweiten Eingang ein Referenzsignal zuführbar ist,
- eine Steuerschaltung mit einem Eingang, der mit einem Ausgang des Vergleichlers gekoppelt ist und mit Ausgängen zum Zu- und Abschalten der Stromquellen, derart, dass zur Kalibrierung in einem ersten Kalibrierzustand nur die erste Stromquelle aktiviert ist, in einem zweiten Kalibrierzustand nur die zweite Stromquelle aktiviert ist und in einem dritten Kalibrierzustand alle Stromquellen aktiviert sind, und mit einem Ausgang der Steuerschaltung zur Bereit-

stellung des temperaturabhängigen Signals in einem Normalbetriebszustand.

Bezüglich des Verfahrens wird die Aufgabe gelöst durch ein

- 5 Verfahren zur Bereitstellung eines temperaturabhängigen Signals mit den Schritten:
- Erzeugen eines ersten Stroms mit einer ersten Stromquelle,
 - Erzeugen eines zweiten Stroms mit einer zweiten Stromquelle,
 - 10 - Erzeugen eines dritten Stroms mit der ersten und der zweiten Stromquelle,
 - Vergleichen einer Spannung über einer Strom durchflossenen Diode mit einem Referenzsignal,
 - Berechnen von Fehlertermen in Abhängigkeit der drei Ströme,
 - 15 - Bereitstellen eines bezüglich der Fehlerterme kompensierten temperaturabhängigen Signals.

Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des vorgeschlagenen Prinzips sind jeweils Gegenstand der abhängigen

20 Patentansprüche.

Es entspricht dem vorgeschlagenen Prinzip, mehrere Stromquellen in je einem Strompfad zu- und abschaltbar ausgeführt vorzusehen. Die Strompfade mit den Stromquellen haben entweder

- 25 je eine oder eine gemeinsame Diode. Es erfolgt jeweils ein Vergleich einer Spannung über einer von einem Strom durchflossenen Diode mit dem Referenzsignal. Zur Kalibrierung wird dabei nacheinander zunächst jede Stromquelle einzeln aktiviert und in einem weiteren Schritt bzw. Kalibrierzustand
- 30 werden alle Stromquellen zugleich aktiviert. Aus diesen Messungen zur Kalibrierung können Fehlerterme berechnet werden, wie nachfolgend ausführlich erläutert. Das temperaturabhängi-

ge Signal wird bezüglich dieser Fehlerterme kompensiert bereitgestellt.

Nach dem vorgeschlagenen Prinzip werden Verstärkungsfehler
5 der Temperaturmessung reduziert, indem Fehlanpassungen, englisch: mismatches, zwischen Stromquellen und/oder Dioden, sowie ein Verstärker-Offset durch einfache arithmetische Operationen eliminiert werden.

10 Der vorgeschlagene Schaltkreis stellt dabei geringere Anforderungen an die analogen Schaltungseigenschaften wie beispielsweise die Paarungstoleranz, englisch: matching, gleich dimensionierter Bauteile.

15 Der Schaltkreis sieht Stromquellen vor, die unabhängig voneinander an die eine oder mehreren Dioden hinzu- oder weggeschaltet werden können. Aufgrund eines logarithmischen Verhältnisses zwischen der Vorwärtsspannung der Diode und dem Vorwärtsstrom der Diode kann ein Mismatch bezogen auf jede
20 Einheitsstromquelle in einfacher Weise gemessen und später kompensiert werden. Dies erfolgt bevorzugt durch einfache Addition oder Subtraktion eines zugeordneten Fehlerterms. Die vorgeschlagene Architektur vereinfacht und verbessert weiterhin die Testmöglichkeiten des Schaltkreises, da der relative
25 Fehlerbeitrag jeder Stromquelle einzeln und unabhängig voneinander gemessen werden kann. Dadurch ist keine hochpräzise Strommessung erforderlich.

Bevorzugt ist ein Analog/Digital-Wandler zwischen den
30 Vergleichen und die Steuerschaltung geschaltet. Hierdurch können die erwähnten arithmetischen Operationen in digitaler Weise, bevorzugt durch einfache digitale Addition oder Subtraktion von Fehlertermen, durchgeführt werden.

Die Steuerschaltung umfasst bevorzugt Mittel zum Berechnen und Kompensieren von Fehlern in Abhängigkeit der Vergleichsergebnisse.

5

Weiter umfasst die Steuerschaltung bevorzugt Fehlerspeicher, wobei mindestens je ein Fehlerspeicher vorgesehen ist pro Stromquelle, der dieser zugeordnet ist.

10 Zur weiteren Reduzierung von Mismatches sind alle Stromquellen zu- und abschaltbar mit derselben Diode verbunden. Somit kann der gesamte Schaltkreis mit nur einer einzigen Diode realisiert werden.

15 Bevorzugt sind die Stromquellen bezüglich der Stromhöhe im zugeschalteten Zustand je gleich ausgelegt. Solche Stromquellen werden auch als Einheits-Stromquellen bezeichnet.

In einer Ausführungsform sind alle Stromquellen in integrierter Halbleiter-Schaltungstechnik integriert und haben gleiche geometrische Abmessungen.

20 Zum Zu- und Abschalten der Stromquellen ist in einer Ausführung je ein Schalter in Serie zu einer zugeordneten Stromquelle geschaltet.

Alternativ oder zusätzlich können die Stromquellen selbst zu- und abschaltbar ausgebildet sein. Dies kann beispielsweise dadurch realisiert sein, dass jeweils das für die Stromquelle zu deren Betrieb vorgesehene Bias-Signal zu- und abschaltbar ausgeführt ist.

30

Bevorzugt umfasst die Bias-Zuführung für die Stromquellen einen Stromspiegel. Dabei kann mit Vorteil das gemeinsame Basis- bzw. Gate-Signal des Stromspiegels schaltbar ausgeführt werden. Hierfür kann beispielsweise ein Schalter jeweils zwischen die Gate-Anschlüsse bzw. Basisanschlüsse der den jeweiligen Stromspiegel bildenden Transistoren geschaltet sein.

Weiter bevorzugt sind zur Ansteuerung der Stromquellen mit einem Bias-Signal die Stromspiegel mit einem gemeinsamen Eingangstransistor ausgeführt, der mit je einem Ausgangstransistor, der je einer Stromquelle zugeordnet ist, einen jeweiligen Stromspiegel bildet. Dadurch werden die Gleichlaufeigenschaften der Schaltung weiter verbessert.

Das Referenzsignal, das dem Vergleicher zugeführt wird, ist auf die Durchlassspannung, welche auch als Vorwärtsspannung bezeichnet wird, der zugeordneten Diode bzw. Dioden ausgerichtet. Bevorzugt wird das Referenzsignal in Form einer Referenzspannung von etwa 600 mV bereitgestellt.

Die Anordnung ist bevorzugt vollständig in integrierter Schaltungstechnik ausgebildet. Das am Ausgang der Steuerung bereitgestellte, temperaturabhängige Signal ist bevorzugt ein temperaturproportionales Signal, englisch: PTAT, proportional to absolute temperature.

Die Erfindung wird nachfolgend an Ausführungsbeispielen anhand von Zeichnungen näher erläutert.

Es zeigen:

Figur 1 eine beispielhafte Anordnung nach dem vorgeschlagenen Prinzip anhand eines Schaltplans und

Figur 2 ein Ausführungsbeispiel der Ansteuerung der Stromquellen mit schaltbaren Stromspiegeln.

5 Figur 1 zeigt eine Anordnung zur Bereitstellung eines temperaturabhängigen Signals PTAT. Eine erste Stromquelle 1 ist gemeinsam mit einem ersten Schalter 4 in einem ersten Strompfad angeordnet. In einem zweiten Strompfad ist eine zweite Stromquelle 2 mit einem zweiten Schalter 5 angeordnet. Eine
10 M-te Stromquelle 3 ist zusammen mit einem weiteren Schalter 6 in einem dritten Strompfad angeordnet. Die drei Strompfade umfassend je eine Stromquelle 1, 2, 3 und einen Schalter 4, 5, 6, sind miteinander in einer Parallelschaltung verschaltet und zwischen einem Versorgungspotenzialanschluss 7 und dem
15 Anodenanschluss einer Diode 8 angeschlossen. Der Kathodenanschluss der Diode 8 ist mit einem Bezugspotenzialanschluss 9 verbunden.

Der Anodenanschluss der Diode 8 ist weiterhin mit einem
20 nicht-invertierenden Eingang eines Vergleichers 10 verbunden, dessen invertierendem Eingang ein Referenzsignal V_r zuführbar ist. Dieses Signal kann eine Offset-Spannung V_{off} haben. Der Vergleichers 10 hat einen Verstärkungsfaktor g . Der Ausgang des Vergleichers 10 ist über einen Analog/Digital-Wandler 11
25 mit einer Steuerschaltung 12 über eine Leitung mit der Wortbreite N bit verbunden. Die Steuerschaltung 12 umfasst Fehlerspeicher 22. Die Steuerschaltung 12 hat einen digitalen Ausgang der Breite M Bit entsprechend der Anzahl der den Stromquellen 1, 2, 3 zugeordneten Schalter 4, 5, 6. Dieser
30 Steuerausgang der Steuerschaltung 12 ist mit Steuereingängen der Schalter 4, 5, 6 zu deren Ansteuerung verbunden. Dies dient dazu, die Stromquellen 1, 2, 3 individuell und unabhängig voneinander zu- und abschalten zu können. Ein weiterer

Ausgang 13 dient zur Bereitstellung des temperaturabhängigen Signals PTAT.

Die Schaltung von Figur 1 ist in integrierter Schaltungstechnik ausgebildet zur On-Chip Temperaturmessung. Es ist lediglich eine einzelne Diode 8 vorgesehen und eine Anzahl von M Stromquellen 1, 2, 3, die der Diode zugeschaltet werden können. Der Verstärker 10 ist als Differenzverstärker ausgeführt und verstärkt die Durchlassspannung V_D der Diode bezogen auf die Referenzspannung V_r . Die Referenzspannung V_r hat ungefähr den gleichen Wert wie die zu erwartende Durchlassspannung der Diode von beispielsweise ca. 600 mV. Der Analog/Digital-Wandler 11 konvertiert den Ausgangswert des Differenzverstärkers 10 zu einem digitalen Wert von N Bit. In einem Kalibriervorgang ist vorgesehen, zunächst jede der Stromquellen 1, 2, 3 einzeln zu aktivieren, das bedeutet, dass in jedem dieser Kalibriervorgänge jeweils die übrigen Stromquellen abgeschaltet sind. In einem weiteren Kalibrierschritt werden alle Stromquellen zugleich zugeschaltet, wie später noch näher erläutert.

In einer Normalbetriebsart, die auch als Messbetriebsart zur Bereitstellung des temperaturabhängigen Signals bezeichnet werden kann, wird die Durchlassspannung V_D der Diode 8 bei zwei verschiedenen Stromwerten der Diodenströme gemessen, die als I_0 und als I_1 bezeichnet werden. Wie bereits erläutert, und insbesondere, um die Anforderungen an den AD-Wandler 11 zu verringern, wird die Diodenspannung nicht absolut gemessen, sondern relativ als Referenzspannung bezogen auf ein Referenzpotential V_r . Diese Spannungsdifferenz wird von dem Differenzverstärker 10 mit einer Verstärkung g verstärkt und mit dem A/D-Wandler 11 in einen Digitalwert konvertiert. Dabei wird die Diodenspannung nach dem beschriebenen Prinzip

11

bei zwei verschiedenen Strömen gemessen und jedes Mal auf das Referenzsignal V_r bezogen. Schließlich wird die Differenz dieser ermittelten Werte mit digitaler Signalverarbeitung in der Steuerschaltung 12 berechnet durch einfache Subtraktion
 5 der gemessenen Digitalwerte.

Die Berechnung der Spannungswerte V_1 und V_0 erfolgt dabei gemäß den nachfolgend angeführten Berechnungsvorschriften.

$$\begin{aligned}
 V_1 &= g(V_{d1} + V_{off} - V_r) \\
 V_0 &= g(V_{d0} + V_{off} - V_r)
 \end{aligned}$$

Dabei bezeichnet g die Verstärkung des Differenzverstärkers 10, V_{off} einen eventuell vorhandenen Offset des Differenzverstärkers 10, V_r die Referenzspannung, V_{d1} die Diodenspannung bei dem Strom I_1 und V_{d0} die Diodenspannung für einen Strom I_0 , bei dem alle M Stromquellen zugeschaltet sind gemäß der Summenformel

$$I_0 = \sum_M I_x$$

20

Daraus ergibt sich durch Differenzbildung der beiden Spannungen V_1 , V_0 das PTAT-Signal in Form einer Spannung V_{PTAT} gemäß der folgenden Vorschrift:

$$V_{PTAT} = V_0 - V_1 = g(V_{d0} - V_{d1}) = g \cdot \underbrace{V_T}_{\frac{k \cdot T}{q}} \cdot l_n \frac{I_0}{I_1}$$

25

Man erkennt, dass die eventuell vorhandene Offset-Spannung des Differenzverstärkers und auch der Wert des Referenzsig-

nals sich völlig auslöschen. Da die gleiche Diode für beide Messungen V_1 und V_0 benutzt wird, treten hierdurch keine Fehler auf.

- 5 Im Hinblick auf eventuelle Streuungen oder Fehlanpassungen der Werte der Stromquellen gilt die nachfolgende Betrachtung. Die Stromquelle zur Bereitstellung des Stroms I_0 wird durch alle M zueinander angepassten Stromquellen gebildet, die als Einheits-Stromquellen auftreten und demnach im Idealzustand
 10 jeweils den identischen Strom I_1 abgeben. Jede Stromquelle kann aber einen Fehler ε_x bezüglich der ersten Stromquelle 1 haben, die den Strom I_1 bereitstellt. Der Strom I_0 kann daher dargestellt werden als

$$15 \quad I_0 = I_1 \sum_{x=1}^M (1 + \varepsilon_x)$$

Daraus ergibt sich für das temperaturproportionale Signal V_{PTAT} :

$$20 \quad V_{PTAT} = g \cdot V_T \cdot l_n \frac{I_1 \sum_{x=1}^M (1 + \varepsilon_x)}{I_1}$$

$$V_{PTAT} = g \cdot V_T \cdot l_n \left[\sum_{x=1}^M (1 + \varepsilon_x) \right]$$

$$V_{PTAT} = g \cdot V_T \cdot l_n \left[M \left(1 + \frac{\sum_{x=1}^M \varepsilon_x}{M} \right) \right]$$

13

$$V_{PTAT} = g \cdot V_T \cdot \left[l_n M + l_n \left(1 + \frac{\sum^M \varepsilon_x}{M} \right) \right]$$

Dabei ist

$$\frac{\sum^M \varepsilon_x}{M}$$

5

der durchschnittliche Mismatch aller einzelnen Stromquellen
1, 2, 3.

Da die Stromquellen zueinander als Einheitsstromquellen aus-
gebildet sind, kann der relative Fehler einer einzelnen
10 Stromquelle ebenso wie der durchschnittliche Mismatch aller
Stromquellen gemäß obiger Vorschrift als klein angesehen wer-
den. Daraus folgt, dass in erster Näherung gilt: $\ln(1+x) \approx x$.
Dies trifft mit sehr guter Näherung dann zu, wenn x klein ge-
15 gen 1 ist. Daraus ergibt sich für das Ergebnis der PTAT-
Spannung:

$$V_{PTAT} = g \cdot V_T \cdot \left[\underbrace{l_n \cdot M}_{ideal} + \underbrace{\frac{\sum^M \varepsilon_x}{M}}_{Fehlerterm} \right]$$

20 Die obige Formel umfasst einen idealen Term und einen Fehler-
term. Der Fehlerterm entspricht dem Durchschnitt aller Ein-
zelfehler. Dieser Fehlerterm kann daher sehr einfach ermit-
telt werden, indem die Diodenspannung zunächst für jede ein-
zeln aktivierte Stromquelle erfasst wird und danach der Feh-
25 ler in Bezug auf die Diodenspannung V_{d1} für die erste Strom-
quelle 1 mit dem Strom I_1 ermittelt wird.

Der Fehlerterm für eine beliebige einzelne Stromquelle V_y mit $y = 2 \dots M$ ergibt sich dabei gemäß der nachfolgenden Berechnung:

$$V_y = g(V_{DY} + V_{off} - V_r)$$

$$V_y - V_1 = g(V_{DY} - V_{d1}) = g \cdot V_T \cdot \ln \frac{I_y}{I_1}$$

mit $I_y = I_1(1 + \varepsilon_y)$ folgt:

$$V_y - V_1 = g \cdot V_T \cdot \ln \frac{I_1(1 + \varepsilon_y)}{I_1}$$

$$V_y - V_1 = g \cdot V_T \cdot \ln(1 + \varepsilon_y)$$

Mit der bekannten Näherungsregel für den angegebenen Logarithmus naturalis ergibt sich in guter Näherung für den Fehlerterm einer einzelnen Stromquelle:

$$V_y - V_1 = g \cdot V_T \cdot \varepsilon_y$$

Besonders einfach in digitaler Schaltungstechnik kann der Fehlerterm berechnet werden, wenn M so gewählt wird, dass es einem Wert 2^k entspricht für ganzzahlige k .

Im Ergebnis kann festgestellt werden, dass die Mismatches der einzelnen Stromquellen sich nach dem vorgeschlagenen Prinzip ebenfalls auslöschen.

Das vorgeschlagene Prinzip erfordert eine Anzahl von $M+1$ Messungen bei einer Anzahl von M Stromquellen. Dabei werden M Messungen durchgeführt für die Messung der Durchlassspannung bezogen auf jede einzelne Stromquelle sowie einer Messung zur Ermittlung der Durchlassspannung bei Beaufschlagung mit dem Summenstrom aus allen Stromquellen. Wie oben aufgezeigt, wer-

den alle durch Mismatch bedingten Fehler und Offset-Fehler vollständig ausgelöscht.

Eine für den Analog/Digital-Wandler 11 benötigte Spannungsreferenz braucht keinen besonders geringen Temperaturdrift haben. Ein Temperaturdrift von beispielsweise 50 ppm/K, der nicht zu schwierig zu erreichen ist, führt lediglich zu einem Temperaturfehler von 0,5°C über einen Temperaturbereich von 100°C. Ein geringerer Temperaturdrift der Referenz des AD-Wandlers 11 verbessert die Messgenauigkeit noch weiter.

Figur 2 zeigt ein Ausführungsbeispiel für eine andere Betriebsart des Zu- und Abschaltens der Stromquellen.

Die Schaltung von Figur 2 entspricht in den verwendeten Bauteilen und deren vorteilhafter Verschaltung weitgehend derjenigen von Figur 1. Es sind jedoch zur Vereinfachung der Darstellung einige Funktionsblöcke in Figur 2 nicht eingezeichnet, beispielsweise der Vergleicher 10, der Konverter 11 und die Steuerschaltung 12. Im Unterschied zu Figur 1 ist bei Figur 2 keine jeweilige Serienschaltung einer Stromquelle mit einem Schalter in einem je gemeinsamen Stromzweig vorgesehen, sondern vielmehr sind die Stromquellen 14, 15, von denen in Figur 2 beispielhaft und ohne Beschränkung der Allgemeinheit lediglich zwei eingezeichnet sind, unmittelbar zwischen den Versorgungspotenzialanschluss 7 und den Anodenanschluss der Diode 8 geschaltet. Die Schalter 16, 17 zum Zu- und Abschalten der Stromquellen 14, 15 sind bei Figur 2 statt dessen jeweils am Steueranschluss der Stromquellen, also vorliegend am Gate-Anschluss der als PMOS-Feldeffekttransistor ausgebildeten Stromquellen 14, 15 angeschlossen. Ein weiterer Anschluss der Schalter 16, 17 ist miteinander und mit einem Gate-Anschluss eines Eingangstransistors 18 der Stromspiegel ver-

16

schaltet. Der Eingangstransistor 18 der Stromspiegel ist als Diode verschaltet und an eine Bias-Referenzstromquelle 19 angeschlossen. Somit bildet sowohl der Transistor 14, als auch der Transistor 15 zusammen mit dem Transistor 18 jeweils einen Stromspiegel, der jedoch mittels der Schalter 16, 17 unabhängig voneinander zu- und abschaltbar ausgebildet ist.

Selbstverständlich können bei Figur 2 auch weitere Stromquellen mit weiteren Schaltern vorgesehen sein.

10

Die Gleichlaufeigenschaften der Stromquellen werden durch die gemeinsame Bias-Versorgung noch weiter verbessert.

15

Selbstverständlich kann die Schaltung von Figur 2 auch mit n-Kanal-Transistoren, mit Bipolartransistoren, in BiCMOS-Schaltungstechnik oder einer anderen Schaltungstechnik ausgebildet sein.

Bezugszeichenliste

	1	Stromquelle
	2	Stromquelle
5	3	Stromquelle
	4	Schalter
	5	Schalter
	6	Schalter
	7	Versorgungspotenzialanschluss
10	8	Diode
	9	Bezugspotenzialanschluss
	10	Vergleicher
	11	Analog/Digital-Wandler
	12	Steuerschaltung
15	13	Ausgang
	14	Transistor
	15	Transistor
	16	Schalter
	17	Schalter
20	18	Transistor
	19	Stromquelle
	22	Fehlerspeicher
	V_D	Durchlassspannung
	V_r	Referenzsignal
25	I_1	Strom
	I_2	Strom
	I_M	Strom
	M	Anzahl der Stromquellen
	g	Verstärkung

Patentansprüche

1. Anordnung zur Bereitstellung eines temperaturabhängigen Signals, aufweisend

- 5 - eine erste Stromquelle (1), die zu- und abschaltbar mit einer Diode (8) verbunden ist,
- eine zweite Stromquelle (2), die zu- und abschaltbar mit der Diode (8) oder einer anderen Diode verbunden ist,
- einen Vergleicher (10), der an einem Eingang mit der ersten
10 und mit der zweiten Stromquelle (1, 2) gekoppelt ist und dem an einem zweiten Eingang ein Referenzsignal (V_r) zuführbar ist,
- eine Steuerschaltung (12) mit einem Eingang, der mit einem Ausgang des Vergleichers (10) gekoppelt ist und mit Ausgängen zum Zu- und Abschalten der Stromquellen (1, 2), derart,
15 dass zur Kalibrierung in einem ersten Kalibrierzustand nur die erste Stromquelle (1) aktiviert ist, in einem zweiten Kalibrierzustand nur die zweite Stromquelle (2) aktiviert ist und in einem dritten Kalibrierzustand alle Stromquellen
20 (1, 2, 3) aktiviert sind, und mit einem Ausgang der Steuerschaltung zur Bereitstellung des temperaturabhängigen Signals (PTAT) in einem Normalbetriebszustand.

2. Anordnung nach Anspruch 1,

- 25 dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerschaltung (12) Mittel zum Berechnen und Kompensieren von Fehlern in Abhängigkeit der Vergleichsergebnisse umfasst.

- 30 3. Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass

die Steuerschaltung (12) Fehlerspeicher (22) umfasst, wobei je einer der Fehlerspeicher je einer der Stromquellen (1, 2) zugeordnet ist.

- 5 4. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, dass
ein Analog/Digital-Wandler (11) zwischen den Vergleichern (10)
und die Steuerschaltung (12) geschaltet ist.
- 10 5. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, dass
alle Stromquellen (1, 2) zu- und abschaltbar mit derselben
Diode (8) verbunden sind.
- 15 6. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Stromquellen (1, 2) bezüglich der Stromhöhe im zugeschalteten Zustand je gleich ausgelegt sind.
- 20 7. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
zum Zu- und Abschalten der Stromquellen (1, 2) je ein Schalter (4, 5) vorgesehen ist, der mit der zugeordneten Stromquelle (1, 2) in einem gemeinsamen Strompfad angeordnet ist.
- 25 8. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Stromquellen (1, 2) von einer gemeinsamen Bias-Quelle
(18, 19) angesteuert sind.
- 30 9. Anordnung nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet, dass

zur Ansteuerung der Stromquellen (14, 15) mit der gemeinsamen Bias-Quelle (18, 19) je ein Stromspiegel vorgesehen ist, wobei ein gemeinsamer Eingangstransistor (18) der Stromspiegel von der Bias-Quelle (18, 19) umfasst ist.

5

10. Anordnung nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet, dass

zum Zu- und Abschalten der Stromquellen (14, 15) jeweils das Basis- oder Gatesignal im zugeordneten Stromspiegel (14, 18;
10 15, 18) schaltbar ist.

11. Verfahren zur Bereitstellung eines temperaturabhängigen Signals mit den Schritten:

- 15 - Erzeugen eines ersten Stroms (I_1) mit einer ersten Stromquelle (1),
- Erzeugen eines zweiten Stroms (I_2) mit einer zweiten Stromquelle (2),
- Erzeugen eines dritten Stroms (I_0) mit der ersten und der zweiten Stromquelle (1, 2),
- 20 - Vergleichen einer Spannung über einer mit dem ersten, dem zweiten oder dem dritten Strom (I_1 , I_2 , I_0) durchflossenen Diode (8) mit einem Referenzsignal,
- Berechnen von Fehlertermen in Abhängigkeit der drei Ströme,
- Bereitstellen eines bezüglich der Fehlerterme kompensierten
25 temperaturabhängigen Signals.

12. Verfahren nach Anspruch 11,
gekennzeichnet durch

Digitalisieren des bei dem Vergleich abgegebenen Vergleichs-
30 signals.

1/1

FIG 1

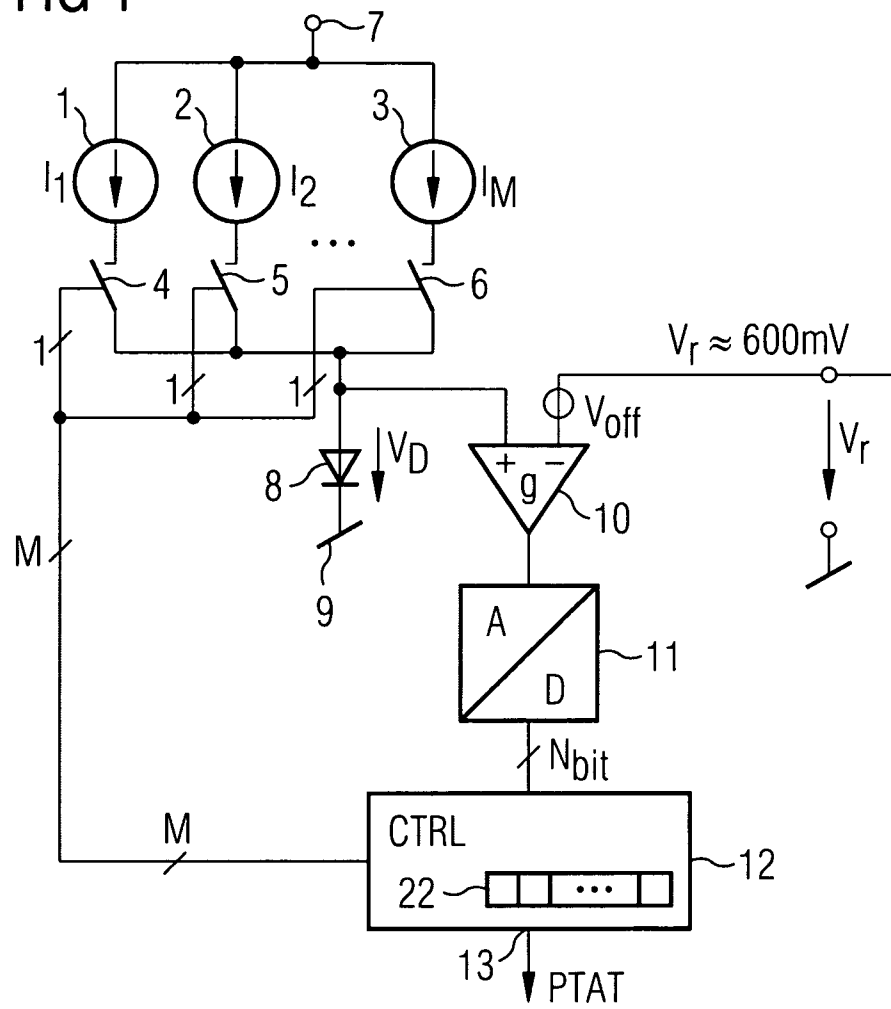
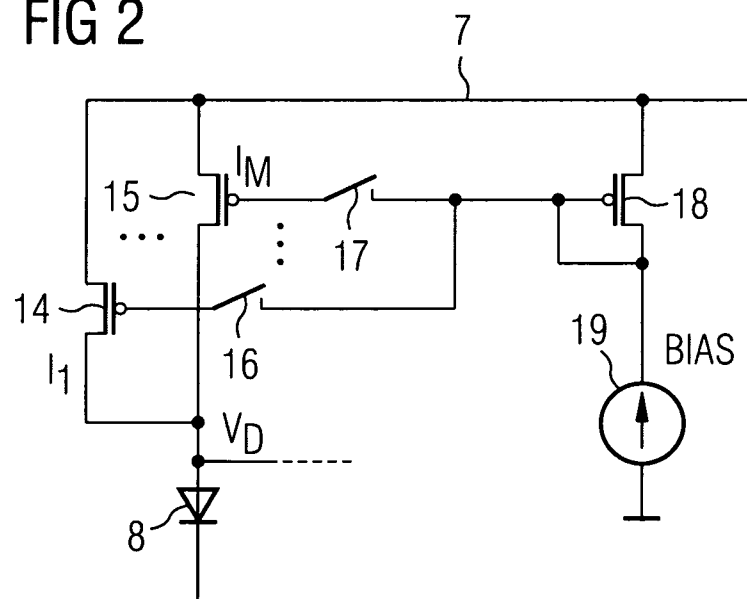


FIG 2



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2006/008791

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G01K7/01

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6 008 685 A (KUNST DAVID J [US]) 28 December 1999 (1999-12-28) column 3, line 65 - column 6, line 11 figures 3,4	1-12
A	----- US 6 078 208 A (NOLAN JAMES B [US] ET AL) 20 June 2000 (2000-06-20) column 1, lines 19-26 figure 1	1-12
A	----- US 6 554 469 B1 (THOMSON DAVID [US] ET AL) 29 April 2003 (2003-04-29) cited in the application the whole document	1,5,7-9

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

17 October 2006

Date of mailing of the international search report

30/10/2006

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

de Bakker, Michiel

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2006/008791

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6008685	A	28-12-1999	US 6242974 B1	05-06-2001
US 6078208	A	20-06-2000	EP 1000331 A1	17-05-2000
			JP 2002516986 T	11-06-2002
			WO 9961873 A1	02-12-1999
US 6554469	B1	29-04-2003	NONE	

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. G01K7/01

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

G01K

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 6 008 685 A (KUNST DAVID J [US]) 28. Dezember 1999 (1999-12-28) Spalte 3, Zeile 65 – Spalte 6, Zeile 11 Abbildungen 3,4	1-12
A	US 6 078 208 A (NOLAN JAMES B [US] ET AL) 20. Juni 2000 (2000-06-20) Spalte 1, Zeilen 19-26 Abbildung 1	1-12
A	US 6 554 469 B1 (THOMSON DAVID [US] ET AL) 29. April 2003 (2003-04-29) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	1,5,7-9



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

17. Oktober 2006

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

30/10/2006

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL – 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

de Bakker, Michiel

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2006/008791

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 6008685	A	28-12-1999	US	6242974 B1	05-06-2001
US 6078208	A	20-06-2000	EP	1000331 A1	17-05-2000
			JP	2002516986 T	11-06-2002
			WO	9961873 A1	02-12-1999
US 6554469	B1	29-04-2003	KEINE		