



(12) DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
24.08.2005 Bulletin 2005/34

(51) Int Cl.7: G05F 3/26

(21) Numéro de dépôt: 05101272.2

(22) Date de dépôt: 18.02.2005

(84) Etats contractants désignés:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS IT LI LT LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR
Etats d'extension désignés:
AL BA HR LV MK YU

• Bendraoui, Abdellatif
44450 SAINT JULIEN DE CONCELLES (FR)
• Tual, Mikael
44600 SAINT-NAZAIRE (FR)

(30) Priorité: 20.02.2004 FR 0401753

(74) Mandataire: Windal-Vercasson, Gaelle I.M. et al
Cabinet Vidon,
16B, rue de Jouanet,
BP 90333
35703 Rennes Cédex (FR)

(71) Demandeur: ATMEL NANTES SA
44306 Nantes Cédex 3 (FR)

(72) Inventeurs:
• Chatal, Joel
44470 CARQUEFOU (FR)

(54) Dispositif de génération d'une tension électrique de référence de précision améliorée et circuit intégré électronique correspondant

(57) L'invention concerne un dispositif de génération d'une tension électrique de référence comprenant un premier et un second générateurs de courant délivrant respectivement un courant proportionnel et un courant inversement proportionnel à la température, et des moyens de sommation desdits courants, de façon à obtenir une tension indépendante de ladite température, ledit premier générateur de courant comprenant au moins un amplificateur opérationnel (14) et deux branches en parallèle, une première branche (31) compre-

nant une première source de courant et un premier transistor bipolaire, et une seconde branche (32) comprenant une seconde source de courant, une première résistance (R1) et un second transistor bipolaire.

Selon l'invention, un tel dispositif de génération d'une tension électrique de référence comprend des moyens de réduction de la dépendance à la valeur de ladite première résistance (R1) du courant circulant dans ladite première branche (31), lesdits moyens de réduction comprenant au moins une deuxième résistance de valeur non réglable (R4).

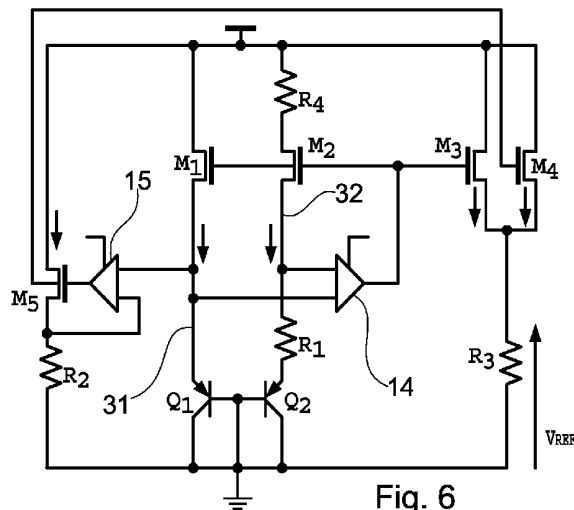


Fig. 6

Description

1. Domaine de l'invention

[0001] Le domaine de l'invention est celui de la conception de circuits électroniques et micro-électroniques. Plus précisément, l'invention concerne le domaine de la génération de tensions électriques de référence, utilisées dans toutes les applications qui nécessitent de pouvoir disposer d'une tension contrôlée présentant de très faibles variations en fonction de la température, des variations de la tension d'alimentation, ou des variations des paramètres technologiques de réalisation des différents composants.

[0002] De telles tensions électriques de référence sont particulièrement nécessaires dans les équipements portables alimentés par batteries (radiotéléphones, ordinateurs portables, etc.), ainsi que dans les systèmes utilisant des circuits électroniques complexes de hautes performances, et plus généralement dans les circuits intégrés à base de microcontrôleurs.

2. Solutions de l'art antérieur

[0003] Afin de pouvoir générer une tension de référence qui dépende aussi peu que possible des variations de la température, on utilise généralement deux sources de courant présentant des dépendances opposées à la température :

- une première source de courant, appelée PTAT (en anglais "Proportional To Absolute Temperature", en français "proportionnel à la température absolue"), dépend positivement des variations de la température :
- une seconde source de courant, appelée CPTAT (en anglais "Conversely Proportional To Absolute Temperature", en français "inversement proportionnel à la température absolue"), dépend négativement des variations de la température.

[0004] Une telle source de tension de référence basée sur des courants PTAT/CPTAT est aussi décrite dans un article de la revue IEEE Journal of Solid-State Circuits, publié en mai 1999, intitulé "A CMOS Bandgap Reference Circuit with Sub-1-V Operation" (en français "Une source de tension de référence CMOS fonctionnant à une tension inférieure à 1V"), par Hiromeri Bomba et al.

[0005] Plus précisément, le coefficient de température positif de la source de courant PTAT est généralement obtenu à partir d'une différence de tension entre deux diodes, ou entre deux jonctions base-émetteur de transistors bipolaires, polarisées en direct, et le coefficient de température négatif de la source de courant CPTAT est quant à lui obtenu à partir de la tension aux bornes d'une diode ou de la jonction base-émetteur d'un transistor bipolaire polarisée en direct.

[0006] Pour rendre la tension de référence générée indépendante des variations de la tension d'alimentation, on procède classiquement par cascodage ou par régulation.

5 [0007] On pourra se référer à la demande de brevet français n° FR 2842317 intitulée "Source de tension de référence, capteur de température, détecteur de seuil de température, puce et système correspondant" au nom du même Déposant que la présente demande de brevet pour une description plus détaillée d'un exemple de dispositif de génération de tension de référence de l'art antérieur.

10 [0008] La figure 1 présente, selon l'art antérieur, un exemple de dispositif de génération d'une tension de référence, de type "bandgap", capable de fonctionner à une tension d'alimentation faible, avec un faible courant de repos. Un tel dispositif comprend :

- une source de courant de type PTAT 10 comprenant deux transistors bipolaires Q2 et Q1, dont le rapport des surfaces d'émetteur vaut S_2/S_1 ;
- une source de courant de type CPTAT 11 ;
- une source de courant de polarisation 12, non illustrée sur la figure 1;
- 25 - une résistance de sommation des courants R_s 13.

[0009] Un premier amplificateur opérationnel 14 permet de polariser les composants bipolaires du circuit, et de générer un courant proportionnel à la température (PTAT), dont la valeur peut être ajustée en jouant sur la valeur de la résistance R_1 .

[0010] Un deuxième amplificateur opérationnel 15 est utilisé en montage suiveur, et est connecté au plus petit transistor bipolaire Q1 : il est utilisé pour générer un courant inversement proportionnel à la température (CPTAT), dont la valeur peut être ajustée en jouant sur la résistance R_2 .

[0011] Ces deux courants respectivement proportionnel (PTAT) et inversement proportionnel (CPTAT) à la température sont additionnés dans une troisième résistance R_s 13, pour générer une tension ajustable, que l'on peut rendre indépendante de la température par réglage des courants PTAT et CPTAT.

[0012] Un tel circuit comprend également une source de courant non représentée sur la figure 1, qui comprend un circuit de démarrage actif à la mise sous tension, et fournit le courant de polarisation des deux amplificateurs opérationnels 14 et 15.

[0013] Le dispositif de la figure 1 délivre une tension de référence V_{REF} , dont l'expression est donnée par $V_{REF} = R_s(I_1 + I_2)$.

[0014] On a, pour chacun des transistors bipolaires Q1 et Q2, une tension base-émetteur $V_{BE} = \frac{kT}{q} \ln \frac{I_E}{I_S}$ (soit
 45 pour Q1, $V_{BE1} = \frac{kT}{q} \ln \frac{I_{E1}}{I_{S1}}$ et pour Q2, $V_{BE2} = \frac{kT}{q} \ln \frac{I_{E2}}{I_{S2}}$),
 où I_E et I_S désignent respectivement les courants

d'émetteur et de saturation des transistors Q1 et Q2, et où T est la température absolue.

[0015] Quand les tensions aux points A et B d'entrée dans l'amplificateur opérationnel 14 sont identiques, soit $v(A)=v(B)$, on peut exprimer $\Delta V_{BE} = V_{BE1} - V_{BE2}$

sous la forme suivante : $\Delta V_{BE} = \frac{kT}{q} \ln \frac{I_{S2}}{I_{S1}}$, où les courants

I_{S2} et I_{S1} sont proportionnels à la taille des émetteurs des transistors bipolaires Q2 et Q1.

[0016] On en déduit alors les expressions suivantes :

$$I1 = \frac{DV_{BE}}{R_1} = \frac{kT}{qR_1} \ln \frac{S_2}{S_1},$$

qui est proportionnel à la température absolue T, avec k et q constants, et où S_2/S_1 désigne le rapport des surfaces des émetteurs des deux transistors bipolaires Q2 et Q1,

et $I2 = \frac{V_{BE1}}{R_2}$, qui est inversement proportionnel à la température T.

[0017] La tension de référence VREF s'exprime alors : $VREF = R_s \left(\frac{kT}{qR_1} \ln \frac{S_2}{S_1} + \frac{V_{BE1}}{R_2} \right) = \frac{kTR_s}{qR_1} \ln \frac{S_2}{S_1} +$

$\frac{R_s V_{BE1}}{R_2}$. Le premier terme $\frac{kTR_s}{qR_1} \ln \frac{S_2}{S_1}$ de cette équation est proportionnel à la température absolue T, et le second terme $\frac{R_s V_{BE1}}{R_2}$ est inversement proportionnel à T.

Ainsi, si l'on parvient à égaler, en valeur absolue, les coefficients de température de chacun des ces deux termes, la tension VREF délivrée en sortie du dispositif de la figure 1 peut être, théoriquement, rendue indépendante des variations de la température T.

[0018] La figure 2, qui ne sera pas décrite ici plus en détail, présente un exemple de réalisation du dispositif représenté schématiquement sur la figure 1. Sur les figures 1 et 2, les mêmes éléments fonctionnels sont désignés par les mêmes références numériques.

[0019] La source de courant (qui comprend un circuit de démarrage actif à la mise sous tension, et fournit le courant de polarisation des deux amplificateurs opérationnels 14 et 15) qui n'était pas représentée sur la figure 1, est illustrée en figure 2 sous la référence numérique 12.

[0020] Il a également été proposé d'ajouter aux dispositifs de génération de tensions de référence existants une résistance supplémentaire réglable, en série avec le générateur PTAT, permettant d'ajuster la valeur du courant proportionnel à la température délivrée par le générateur. On parle alors de « trimming ».

3. Inconvénients de l'art antérieur

[0021] Des dispositifs de génération de tensions de référence de l'art antérieur, tels que ceux illustrés en figures 1 et 2 par exemple, comprennent des composants intégrés, tels que des résistances en polysilicium.

[0022] Un inconvénient de ces composants est que leur valeur peut varier de plus ou moins 20% environ, en fonction des paramètres de la technologie dans laquelle ils sont réalisés (typiquement, en fonction du wafer (ou tranche) de silicium sur lequel ils sont réalisés). Ces composants présentent donc une précision absolue médiocre, ce qui a pour effet d'induire une dispersion de la tension de référence délivrée en sortie, tant en fonction de la température que des paramètres technologiques (variations de "process").

[0023] Un inconvénient des techniques de génération de tensions de référence de type "Bandgap" de l'art antérieur est donc l'imprécision de la tension générée, en fonction des variations de la température et des paramètres technologiques.

[0024] L'ajout d'une résistance supplémentaire réglable en série avec le générateur PTAT (résistance de « trimming ») permet d'ajuster la valeur du courant proportionnel à la température délivrée par le générateur, mais nécessite un réglage de la résistance dès que des variations de process surviennent.

[0025] Il est donc nécessaire d'intervenir sur chaque dispositif pour ajuster la valeur de la résistance de « trimming » en fonction des variations du process, ce qui est particulièrement fastidieux.

4. Objectifs de l'invention

[0026] L'invention a notamment pour objectif de pallier ces inconvénients de l'art antérieur.

[0027] Plus précisément, un objectif de l'invention est de fournir une technique de génération d'une tension électrique de référence qui présente une précision accrue par rapport aux tensions de référence générées selon les techniques de l'art antérieur. Notamment, l'invention a pour objectif d'améliorer la précision de la tension de référence générée vis-à-vis des variations de la température et/ou des paramètres technologiques de fabrication des composants (notamment dans le cadre de l'utilisation de composants du type résistances en polysilicium).

[0028] En d'autres termes, l'invention a pour objectif de fournir une technique de génération d'une tension électrique de référence qui permette de réduire la dispersion de la tension de sortie d'un dispositif de type "bandgap".

[0029] Un autre objectif de l'invention est de proposer une telle technique qui soit simple et peu coûteuse à mettre en oeuvre, et qui ne nécessite pas le réglage de composants spécifiques.

[0030] Notamment, l'invention a pour objectif de fournir une telle technique qui limite les interventions d'ajus-

tement de la valeur des composants, après leur assemblage, lorsque leurs conditions de fonctionnement évoluent.

[0031] L'invention a encore pour objectif de proposer une telle technique qui n'accroisse pas de manière sensible la complexité des dispositifs de génération de tension de référence, par rapport à l'art antérieur.

[0032] L'invention a également pour objectif de fournir une telle technique qui soit bien adaptée aux dispositifs de génération de tensions électriques de référence à faible tension fonctionnant par sommation de courants.

5. Caractéristiques essentielles de l'invention

[0033] Ces objectifs, ainsi que d'autres qui apparaîtront par la suite, sont atteints à l'aide d'un dispositif de génération d'une tension électrique de référence comprenant un premier et un second générateurs de courant délivrant respectivement un courant proportionnel et un courant inversement proportionnel à la température, et des moyens de sommation desdits courants, de façon à obtenir une tension indépendante de ladite température, ledit premier générateur de courant comprenant au moins un amplificateur opérationnel et deux branches en parallèle, une première branche comprenant une première source de courant, contrôlée par l'amplificateur opérationnel, et un premier transistor bipolaire, et une seconde branche comprenant une seconde source de courant, contrôlée par l'amplificateur opérationnel, une première résistance et un second transistor bipolaire.

[0034] Selon l'invention, un tel dispositif de génération d'une tension électrique de référence comprend des moyens de réduction de la dépendance à la valeur de ladite première résistance du courant circulant dans ladite première branche, lesdits moyens de réduction comprenant au moins une deuxième résistance de valeur non réglable.

[0035] Ainsi, l'invention repose sur une approche tout à fait nouvelle et inventive de la génération d'une tension de référence, indépendante de la température et des variations de procédés de fabrication des composants constituant un tel dispositif. En effet, l'invention propose une technique de génération d'une tension de référence qui présente une précision améliorée par rapport aux techniques de l'art antérieur, grâce à une réduction de la sensibilité aux valeurs des résistances utilisées.

[0036] Cette technique repose sur un dispositif de type « bandgap » à base d'amplificateurs opérationnels.

[0037] Ce type de bandgap permet notamment de fournir une tension de sortie ajustable et comprise entre 0 V et la tension d'alimentation. Il peut également fonctionner à des tensions inférieures à 1V.

[0038] L'introduction nouvelle de moyens de réduction de la dépendance à la valeur des résistances permet de s'affranchir de la forte dispersion de la tension de référence générée en sortie, induite par les variations

de plus ou moins 20% des valeurs des résistances (en polysilicium par exemple) en fonction des paramètres technologiques de leur fabrication.

[0039] Si cette deuxième résistance est réalisée selon le même procédé technologique que la première résistance, l'évolution de sa valeur sera ainsi similaire à celle de la première résistance, ce qui permet une compensation fine de la dépendance à la valeur de la première résistance du courant circulant dans la première branche.

[0040] L'utilisation d'une telle résistance de valeur non réglable permet notamment de s'affranchir des problèmes d'ajustement des composants, puisque la valeur de la résistance est réglée dès son intégration dans le dispositif de génération de tension de référence.

[0041] L'invention permet ainsi la suppression d'une étape de réglage des composants, qui était selon l'art antérieur nécessaire dès qu'une variation de la résistivité survenait.

[0042] Avantageusement, lesdits moyens de réduction agissent de façon à augmenter, respectivement réduire, le courant circulant dans ladite première branche lorsque la résistivité de ladite première résistance est supérieure, respectivement inférieure, à une valeur de référence.

[0043] On maintient ainsi un équilibre relatif entre les courants générés par chacun des premier et deuxième générateurs de courant du dispositif, lorsque les paramètres technologiques évoluent, ce qui permet de réduire la dispersion de la tension de référence générée en sortie.

[0044] De façon avantageuse, ladite deuxième résistance est placée sur ladite seconde branche, sur une liaison établie entre lesdites première et seconde sources de courant.

[0045] Cette deuxième résistance est ainsi placée en série avec le transistor bipolaire de la seconde branche.

[0046] La deuxième résistance peut notamment être montée en série entre la seconde source de courant et une alimentation du dispositif de génération de tension.

[0047] De manière préférentielle, ladite deuxième résistance est choisie de façon à ce que le rapport desdits courants proportionnel et inversement proportionnel à la température reste compris dans un intervalle de valeurs prédéterminé lorsque la valeur de ladite première résistance varie.

[0048] Cet intervalle de valeurs est aussi étroit que possible, de façon à assurer que le rapport des courants générés par chacun des premier et deuxième générateurs soit aussi constant que possible, en fonction de l'évolution des paramètres technologiques.

[0049] Avantageusement, les première et seconde résistances sont réalisées selon une même technologie, de façon à présenter un même comportement en fonction des variations de conditions de fonctionnement dudit dispositif.

[0050] Notamment, les première et seconde résistances peuvent être des résistances en polysilicium réali-

sées sur un même wafer.

[0051] L'invention concerne aussi un circuit intégré électronique comprenant un dispositif de génération d'une tension électrique de référence comprenant un premier et un second générateurs de courant délivrant respectivement un courant proportionnel et un courant inversement proportionnel à la température, et des moyens de sommation desdits courants, de façon à obtenir une tension indépendante de ladite température. Le premier générateur de courant comprend au moins un amplificateur opérationnel et deux branches en parallèle, à savoir une première branche comprenant une première source de courant, contrôlée par l'amplificateur opérationnel, et un premier transistor bipolaire, et une seconde branche comprenant une seconde source de courant, contrôlée par l'amplificateur opérationnel, une première résistance et un second transistor bipolaire.

[0052] Un tel dispositif de génération comprend des moyens de réduction de la dépendance à la valeur de ladite première résistance du courant circulant dans ladite première branche, lesdits moyens de réduction comprenant au moins une deuxième résistance de valeur non réglable.

6. Liste des figures

[0053] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante d'un mode de réalisation préférentiel, donné à titre de simple exemple illustratif et non limitatif, et des dessins annexés, parmi lesquels :

- la figure 1, déjà commentée précédemment en relation avec l'art antérieur, présente un synoptique d'un dispositif de génération d'une tension de référence de type "bandgap" ;
- la figure 2, également commentée ci-dessus en relation avec l'art antérieur, illustre un exemple de réalisation du dispositif de la figure 1 ;
- la figure 3 illustre les transistors bipolaires et les miroirs de courant utilisés pour générer un courant PTAT dans le dispositif de la figure 2 ;
- la figure 4 présente les courbes des tensions d'entrée de l'amplificateur opérationnel 14 de la figure 2 en fonction du courant I1 ;
- la figure 5 illustre le déplacement de la courbe de tension d'entrée V(IN-M) de la figure 4, sous l'effet du changement de résistivité des composants du dispositif de la figure 2 ;
- la figure 6 présente le schéma général d'un dispositif de génération de tension de référence "bandgap" selon l'invention, dans lequel une résistance R4 supplémentaire a été ajoutée dans le générateur PTAT pour compenser les variations de résistivité des composants ;
- la figure 7 décrit plus en détail le générateur PTAT du dispositif de la figure 6 ;

- la figure 8 présente les courbes représentatives de la tension de référence générée en sortie d'un dispositif "bandgap" de l'art antérieur et d'un dispositif "bandgap" de l'invention, en fonction de la résistivité nominale des composants résistifs utilisés dans de tels dispositifs ;
- la figure 9 présente les courbes représentatives de la tension de référence générée en sortie d'un dispositif "bandgap" de l'art antérieur et d'un dispositif "bandgap" de l'invention, en fonction de la température ;
- la figure 10 présente un histogramme de mesures de tensions de référence VREF en sortie d'un dispositif conforme à l'invention, réalisées à partir de 7 wafers (ou tranches de silicium) distincts.

7. Description d'un mode de réalisation de l'invention

[0054] Le principe général de l'invention repose sur l'introduction de moyens permettant de réduire la dépendance à la valeur des résistances du courant de type PTAT dans un dispositif de génération de tension de référence par sommation de courants.

[0055] On présente, en relation avec les figures 3 à 5, le problème de l'art antérieur que l'invention permet de résoudre.

[0056] Pour ce faire, la figure 3 illustre en détail le générateur de courant de type PTAT référencé 10 sur les figures 1 et 2. Un tel générateur 10 comprend deux branches en parallèle 31 et 32 :

- la première branche 31 comprend un premier transistor bipolaire Q1 de type pnp et une source de courant formée par le transistor pmos M1 monté en miroir de courant ;
- la deuxième branche 32 comprend un deuxième transistor bipolaire Q2 de type pnp, une source de courant formée par le transistor pmos M2 monté en miroir de courant et une première résistance R1.

[0057] Un transistor supplémentaire pmos M0 et une source de courant 10 ont été ajoutés pour alimenter en courant les transistors bipolaires Q1 et Q2.

[0058] Les tensions aux points in_p et in_m, notées V(in_p) et V(in_m), représentent les deux tensions d'entrée aux points A et B de l'amplificateur opérationnel 14 des figures 1 et 2, en fonction du courant (identique) injecté sur ces points A et B. Comme illustré sur la figure 4, qui représente l'évolution de ces deux tensions V(in_p) et V(in_m) en fonction du courant I1 dans les branches 31 et 32, on a V(in_p) = V(in_m) au point de régulation P ("regulating point"). On notera que, sur la figure 4, l'abscisse des deux courbes correspond au courant (identique) injecté au niveau des points A et B (exprimé en dizaines de microampères μA , soit $1 \cdot 10^{-5}\text{A}$). L'ordonnée de ces courbes correspond quant à elle à la tension, exprimée en Volts V, aux points A et B.

[0059] Lorsque la valeur de la résistance R1 décroît (en raison des variations des paramètres technologiques de sa fabrication, encore appelées "variations process"), le courant $I_1 = \frac{\Delta V_{BE}}{R_1}$ dans la deuxième branche

32 croît, conformément à l'équation : $I_1 = \frac{\Delta V_{BE}}{R_1} = \frac{kT}{qR_1} \ln$

$\frac{S_2}{S_1}$, selon une variation linéaire.

[0060] Le point de régulation P du dispositif de génération de type "bandgap" (c'est-à-dire le point où $V(\text{in}_p) = V(\text{in}_m)$), se déplace alors du point P vers le point P', sous l'effet du déplacement de la courbe représentative de la tension $V(\text{in}_m)$, comme illustré par la figure 5. A nouveau, l'abscisse des deux courbes correspond au courant (identique) injecté au niveau des points A et B (exprimé en dizaines de microampères μA , soit 10^{-5}A). L'ordonnée de ces courbes correspond quant à elle à la tension, exprimée en Volts V, aux points A et B.

[0061] Le point de régulation P correspond à une valeur initiale de la résistance R1, et le nouveau point de régulation P' correspond à une diminution de 20% de la valeur de R1 par rapport au point P.

[0062] Parallèlement, le courant qui traverse la résistance R2 du générateur de courant CPTAT 11 des figures 1 et 2 augmente, car la tension V_{BE1} qui est la tension base-émetteur du transistor bipolaire Q1 augmente également. On a en effet :

$$V_{R2} = V_{BE1} = \log\left(\frac{I_1}{IS1}\right),$$

où IS1 est une constante et où V_{R2} désigne la tension aux bornes de la résistance R_2 ;

$$\text{et } I_2 = \frac{V_{R2}}{R_2} = \frac{V_{BE1}}{R_2}.$$

[0063] En conséquence, lorsque la valeur de la résistance R1 diminue en fonction de variations de process (typiquement dans une proportion d'environ 20%), les courants I1 et I2 augmentent tous les deux, conformément au déplacement du point de régulation P illustré par la figure 5, et la tension délivrée en sortie du dispositif de génération de tension de référence (de type "bandgap") augmente donc alors selon l'équation : $V_{REF} = R_s(I_1 + I_2)$.

[0064] Cependant, comme indiqué ci-dessus, le courant I1 augmente linéairement avec R1 selon une loi en

K/R_1 , où K est une constante (car $I_1 = \frac{kT}{qR_1} \ln \frac{S_2}{S_1}$), alors

que le courant I2 augmente, d'une part, linéairement avec R2 selon une loi en K'/R_2 , où K' est une constante, et d'autre part, de manière logarithmique selon une loi en $\ln(1/R_1)$.

[0065] Dans l'expression $V_{REF} = \frac{kTR_s}{qR_1} \ln \frac{S_2}{S_1} + \frac{R_s V_{BE1}}{R_2}$,

le premier terme de l'équation, en R_s/R_1 , reste donc constant lorsque la résistivité des composants en polysilicium varie, alors que le second terme varie en fonction de la valeur absolue de la résistivité p de ces composants.

[0066] L'effet global qui en résulte est donc double :

- d'une part, on constate une augmentation de la dispersion de la tension de sortie VREF ;
- d'autre part, le coefficient de température de la tension VREF se dérègle, car le courant I2 (qui dépend négativement de la température, de type CP-TAT) augmente plus vite que le courant I1 (qui dépend positivement de la température, de type PTAT).

[0067] C'est pour pallier à ces problèmes que les inventeurs de la présente demande de brevet proposent un nouveau type de dispositif de génération de tension de référence, dont un mode de réalisation particulier est illustré en figure 6.

[0068] Le montage de la figure 6 correspond au montage des figures 1 et 2, dans lesquels on a ajouté un transistor supplémentaire R4 en série dans la deuxième branche de courant 32 du miroir de courant du générateur de courant PTAT 10. Une telle résistance supplémentaire R4, de valeur non réglable, a pour objectif de réduire la sensibilité de la tension de sortie VREF aux variations des valeurs des composants résistifs du dispositif.

[0069] Plus précisément, l'effet de la résistance R4 peut être illustré à partir du schéma de la figure 7. On désigne par I_{M1} le courant qui circule dans la première branche 31 du générateur PTAT, et par I_{M2} le courant qui circule dans la deuxième branche 32 du générateur PTAT.

[0070] La relation entre les valeurs des courants I_{M1} et I_{M2} peut être exprimée sous la forme :

$$\frac{I_{M1}}{I_{M2}} = \frac{(V_{gsM1} - V_T)^2}{(V_{gsM2} - V_T)^2}$$

et

$$(V_{gsM1} - V_{gsM2}) = R_4 * I_{M2},$$

où V_{gsM1} et V_{gsM2} désignent respectivement la tension entre la grille et la source des transistors M1 et M2, et où V_T est la tension de seuil de ces transistors.

[0071] Lorsque la valeur de R1 diminue, le courant I_{M2} au travers du transistor M2 augmente comme décrit précédemment en relation avec la figure 3. Dans le même

temps, la valeur de la résistance R4 diminue également, car les résistances R1 et R4 sont réalisées selon la même technologie : par exemple, R1 et R4 sont deux résistances en polysilicium réalisées sur le même wafer.

[0072] Il convient de préciser que la résistance R4 présente une valeur non ajustable. Ici, ce sont les variations de process qui modifient légèrement la valeur de cette résistance. Aucune intervention pour ajuster (« trimmer ») la valeur de R4 n'est nécessaire.

[0073] Lorsque R4 diminue,

$$\left(V_{g^{s_{M1}}} - V_{g^{s_{M2}}} \right)$$

diminue donc également, et le rapport I_{M1}/I_{M2} décroît donc aussi.

[0074] En résumé, on obtient donc deux effets opposés :

- d'une part, la valeur du courant I_{M2} croît, en raison de la diminution de R1 ;
- d'autre part, le rapport I_{M1}/I_{M2} diminue, en raison de la diminution de la valeur de R4.

[0075] En ajustant le rapport R4/R1, il est donc possible de maintenir le courant I_{M1} quasiment constant lorsque la résistivité des composants change, en fonction des variations des paramètres technologiques. La tension V_{BE1} demeure alors constante et le courant CP-

$$I_2 = \frac{V_{BE1}}{R_2}$$

ne dépend plus que de R2.

[0076] L'invention propose ainsi une technique de génération d'une tension de référence présentant une précision améliorée par rapport aux techniques de l'art antérieur, grâce à une réduction de la sensibilité aux valeurs des résistances, et ne nécessitant pas le réajustement de la valeur des composants en cas de variations de la température, de l'alimentation, ...

[0077] Pour reprendre les notations utilisées précédemment en relation avec la figure 3, le courant $I_1 = I_{M2}$ change en fonction de la résistivité des composants en suivant une loi linéaire en K/R (où R est une valeur de résistance et K est une constante) et le courant I2 change également en fonction de la résistivité des composants en suivant une loi quasi-linéaire. Ainsi, la tension de référence délivrée en sortie du dispositif $V_{REF} = R_s (I_1 + I_2)$ peut présenter un coefficient de température plus précis, car la dispersion du rapport I_1/I_2 est réduite.

[0078] Ceci est illustré sur la figure 8, sur laquelle on a représenté l'évolution de la tension de référence VREF en fonction des variations de résistivité des composants d'un dispositif de génération de tension de référence :

- tel qu'illustré en figure 2, i.e. ne présentant pas de résistance R4 supplémentaire (courbe référencée

81) ;

- tel qu'illustré en figure 7, i.e. présentant une résistance R4 supplémentaire, selon l'invention (courbe référencée 82).

5

[0079] L'abscisse des courbes de la figure 8 représente la résistivité du polysilicium par rapport à la résistivité nominale (ainsi, une abscisse de 1,2 correspond par exemple à une augmentation de 20% de la résistivité), et l'ordonnée VREF correspond à la tension de sortie du "bandgap", exprimée en Volts.

10

[0080] Comme on peut le constater, la tension de référence VREF délivrée en sortie du dispositif "bandgap" de l'invention ne dépend quasiment plus des variations de process : en effet, lorsque la résistivité des composants du dispositif évolue, la tension VREF reste désormais presque constante (courbe référencée 82). Selon l'art antérieur en revanche (courbe référencée 81), la tension VREF diminuait fortement lorsque la résistivité des composants augmentait.

15

20

[0081] La figure 9 présente quant à elle l'évolution de la tension de référence VREF en fonction de la température, pour chacun de ces deux cas (avec (courbe référencée 91) ou sans (courbe référencée 92) résistance R4 supplémentaire), pour une résistivité des composants en polysilicium égale à 1,2 fois leur résistivité nominale.

25

30

[0082] Sur la figure 9, l'abscisse des courbes représente la température, exprimée en degrés Celsius (°C), et leur ordonnée représente la tension de sortie VREF du "bandgap", exprimée en Volts (V). Dans les deux cas, pour une résistivité du polysilicium égale à 1, la variation de VREF avec la température est quasi nulle.

35

[0083] Comme on peut le constater, la stabilité, en fonction de la température, de la tension VREF générée en sortie du dispositif "bandgap" est meilleure dans le cas où, conformément à l'invention, une résistance R4 a été ajoutée en série dans la branche 32 du miroir de courant du générateur PTAT 10.

40

[0084] La figure 10 présente un histogramme de différentes mesures de tensions de référence "bandgap" VREF obtenues à partir de 7 wafers distincts. Plus précisément, cet histogramme correspond aux mesures de la tension de sortie du "bandgap", pour une solution où une résistance R4 a été ajoutée. Ces mesures ont été faites à 25°C. L'abscisse de l'histogramme correspond aux différentes valeurs de tension VREF mesurées (en Volts), et l'ordonnée de chaque barre de l'histogramme représente la fréquence (i.e. le nombre de pièces) pour chaque valeur de la tension VREF en abscisse (aucune unité de mesure n'est donc associée aux valeurs obtenues en ordonnée).

45

50

[0085] D'autres modes de réalisation de l'invention pourraient être envisagés. En effet, dans l'exemple présenté ci-dessus en relation avec la figure 6, les moyens de réduction de la dépendance à la valeur de la résistance R1 du courant circulant dans la première branche 31 du générateur de courant PTAT consistent en une

55

résistance R4 placée en série dans cette branche.

[0086] Cependant, ces moyens pourraient aussi consister en un courant supplémentaire injecté dans la première branche 31 du générateur de courant PTAT, qui viendrait compenser les variations du courant I_{M1} dues au changement de résistivité de R1. Notamment, ces moyens pourraient consister en une source de courant supplémentaire et proportionnelle au courant I1 placée en dérivation sur le transistor bipolaire Q1.

[0087] Ces moyens pourraient également consister en une ou plusieurs résistances supplémentaires, externes au circuit du générateur de courant PTAT 10.

[0088] On notera par ailleurs que l'utilisation de résistances R1, R2 et Rs externes au circuit, et précises, permettrait également d'améliorer la stabilité de la résistance, mais accroîsseraient tant le nombre d'entrées/sorties que le nombre de composants utilisés, et entraîneraient donc une augmentation globale du coût du dispositif de type "bandgap" de l'invention.

Revendications

1. Dispositif de génération d'une tension électrique de référence comprenant un premier et un second générateurs de courant délivrant respectivement un courant proportionnel et un courant inversement proportionnel à la température, et des moyens de sommation desdits courants, de façon à obtenir une tension indépendante de ladite température, ledit premier générateur de courant comprenant au moins un amplificateur opérationnel (14) et deux branches en parallèle, une première branche (31) comprenant une première source de courant et un premier transistor bipolaire, et une seconde branche (32) comprenant une seconde source de courant, une première résistance (R1) et un second transistor bipolaire, **caractérisé en ce qu'il** comprend des moyens de réduction de la dépendance à la valeur de ladite première résistance (R1) du courant circulant dans ladite première branche (31), lesdits moyens de réduction comprenant au moins une deuxième résistance de valeur non réglable (R4).
2. Dispositif de génération selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** lesdits moyens de réduction agissent de façon à augmenter, respectivement réduire, le courant circulant dans ladite première branche (31) lorsque la résistivité de ladite première résistance (R1) est supérieure, respectivement inférieure, à une valeur de référence.
3. Dispositif de génération selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, **caractérisé en ce que** ladite deuxième résistance (R4) est placée sur ladite seconde branche (32), sur une liaison établie entre lesdites première et seconde sources de courant.
4. Dispositif de génération selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** ladite deuxième résistance (R4) est montée en série entre ladite seconde source de courant et une alimentation dudit dispositif.
5. Dispositif de génération selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** ladite deuxième résistance (R4) est choisie de façon à ce que le rapport desdits courants proportionnel et inversement proportionnel à la température reste compris dans un intervalle de valeurs prédéterminé lorsque la valeur de ladite première résistance (R1) varie.
6. Dispositif de génération selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** lesdites première et seconde résistances sont réalisées selon une même technologie, de façon à présenter un même comportement en fonction des variations de conditions de fonctionnement dudit dispositif.
7. Dispositif de génération selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** lesdites première et seconde résistances sont des résistances en polysilicium réalisées sur un même wafer.
8. Circuit intégré électronique comprenant un dispositif de génération d'une tension électrique de référence comprenant un premier et un second générateurs de courant délivrant respectivement un courant proportionnel et un courant inversement proportionnel à la température, et des moyens de sommation desdits courants, de façon à obtenir une tension indépendante de ladite température, ledit premier générateur de courant comprenant au moins un amplificateur opérationnel (14) et deux branches en parallèle, une première branche (31) comprenant une première source de courant et un premier transistor bipolaire, et une seconde branche (32) comprenant une seconde source de courant, une première résistance (R1) et un second transistor bipolaire, **caractérisé en ce que** ledit dispositif de génération comprend des moyens de réduction de la dépendance à la valeur de ladite première résistance (R1) du courant circulant dans ladite première branche (31), lesdits moyens de réduction comprenant au moins une deuxième résistance de valeur non réglable (R4).

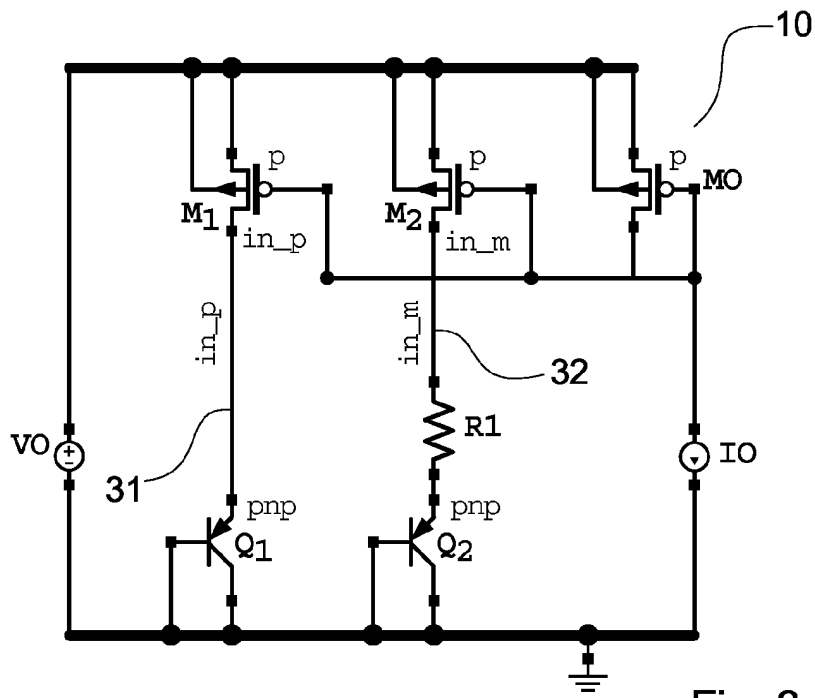


Fig. 3

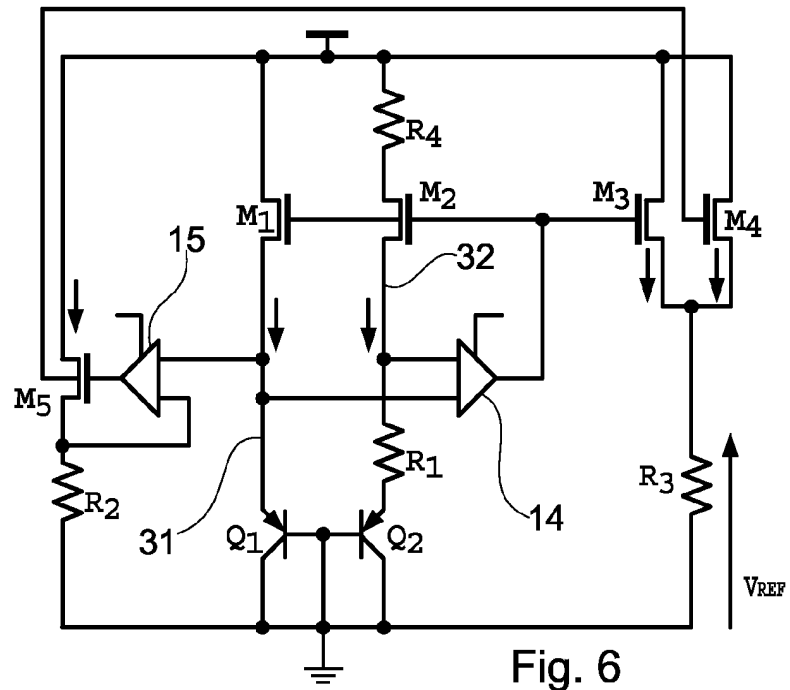


Fig. 6

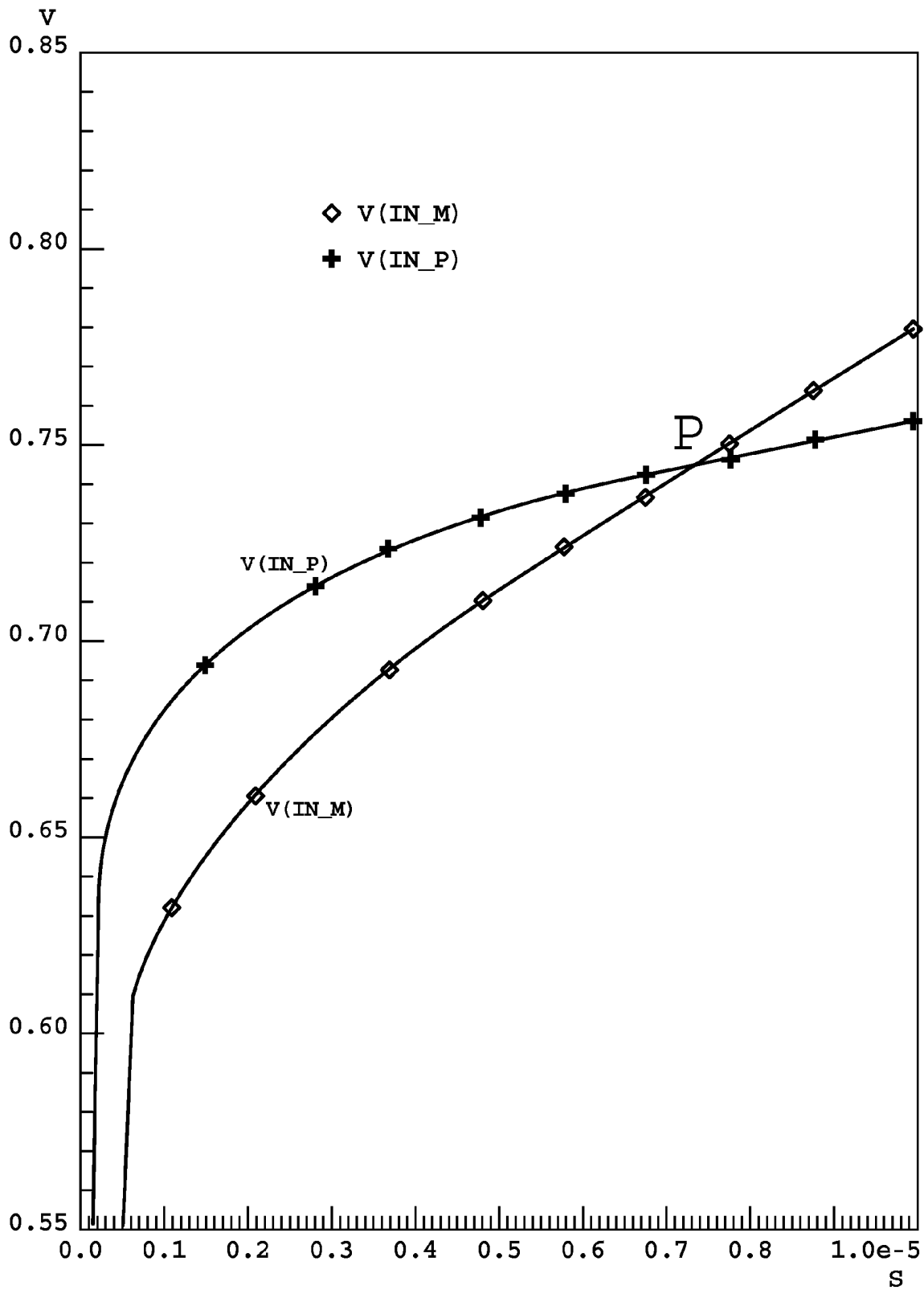


Fig. 4

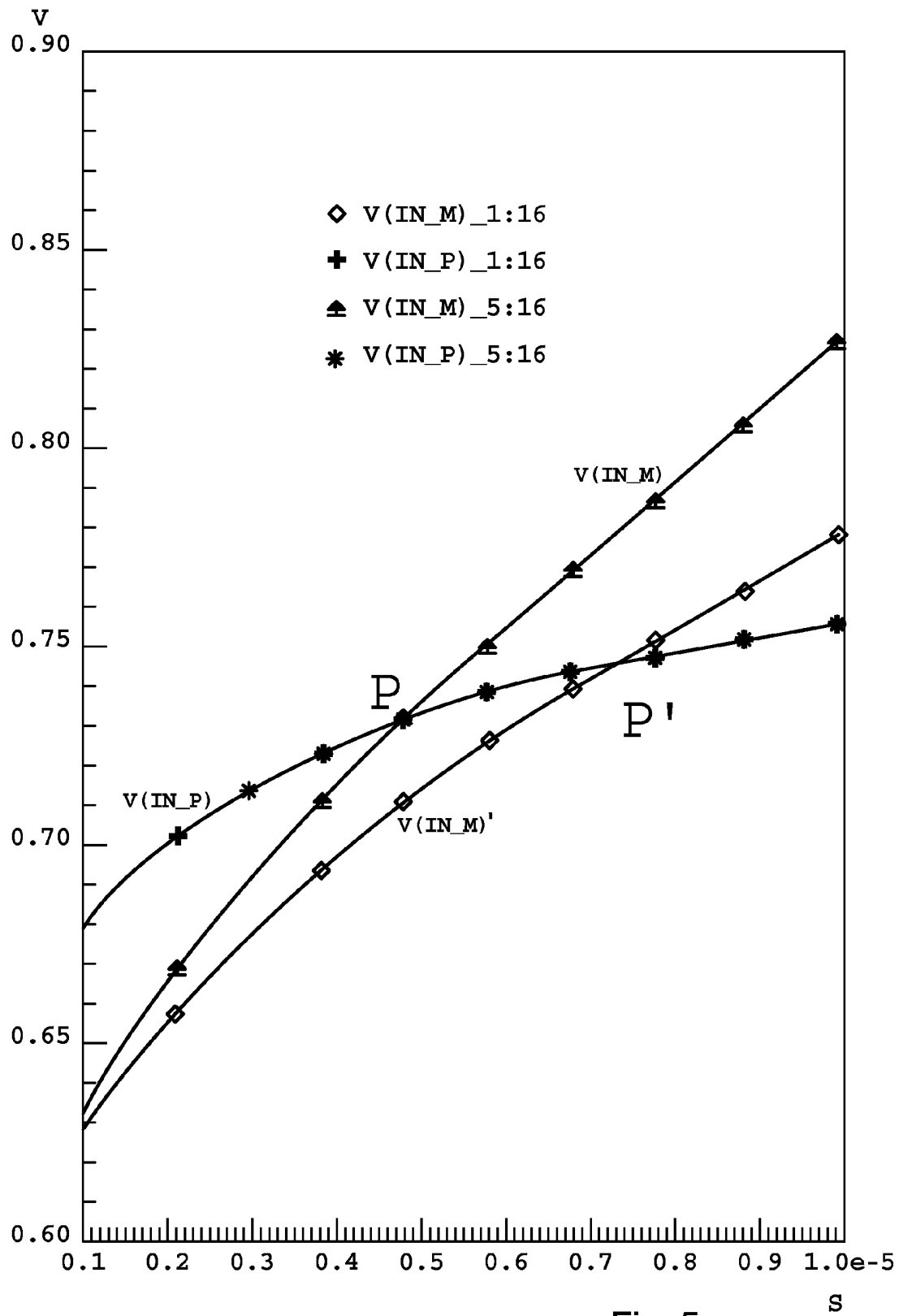


Fig. 5

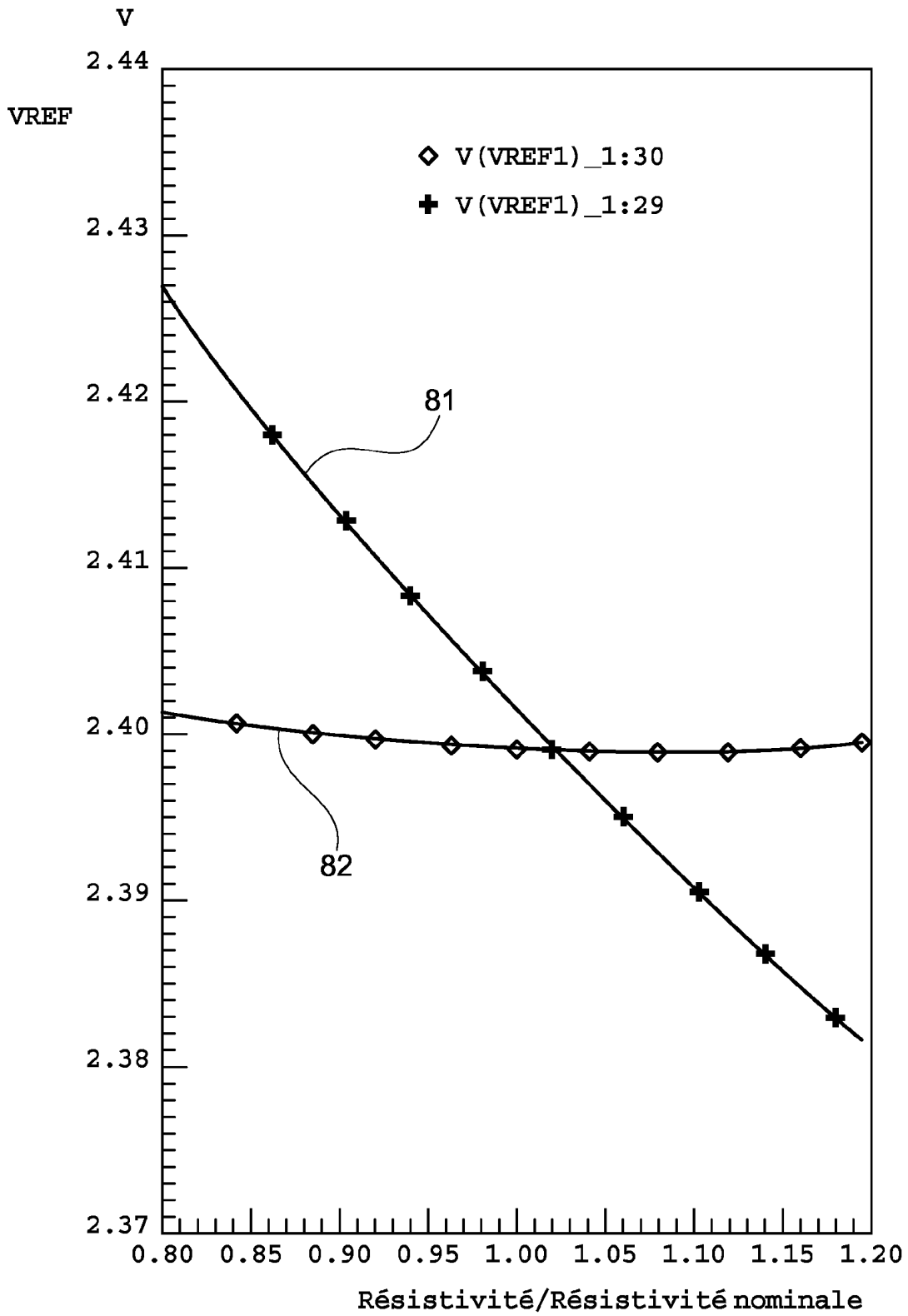


Fig. 8

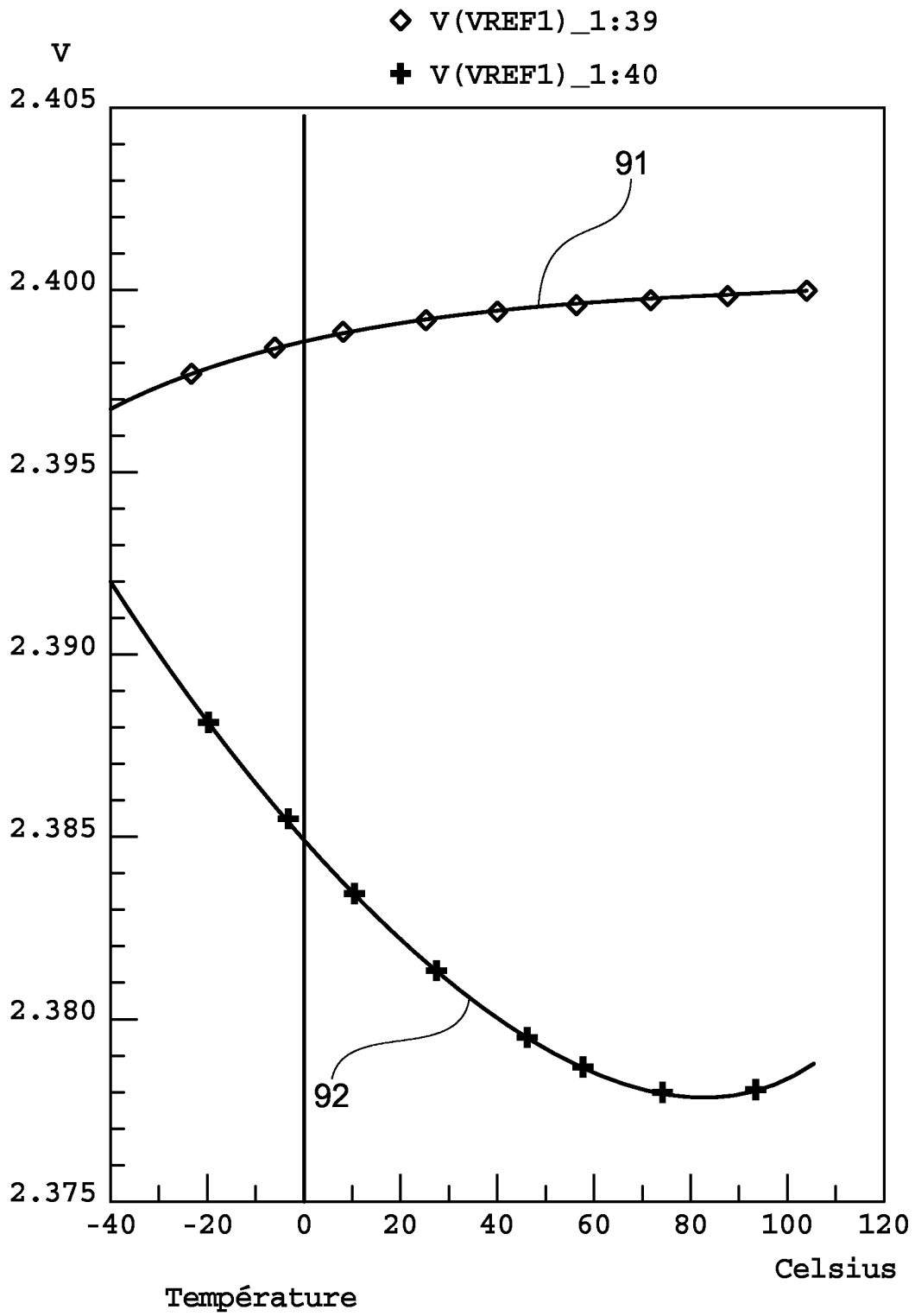


Fig. 9

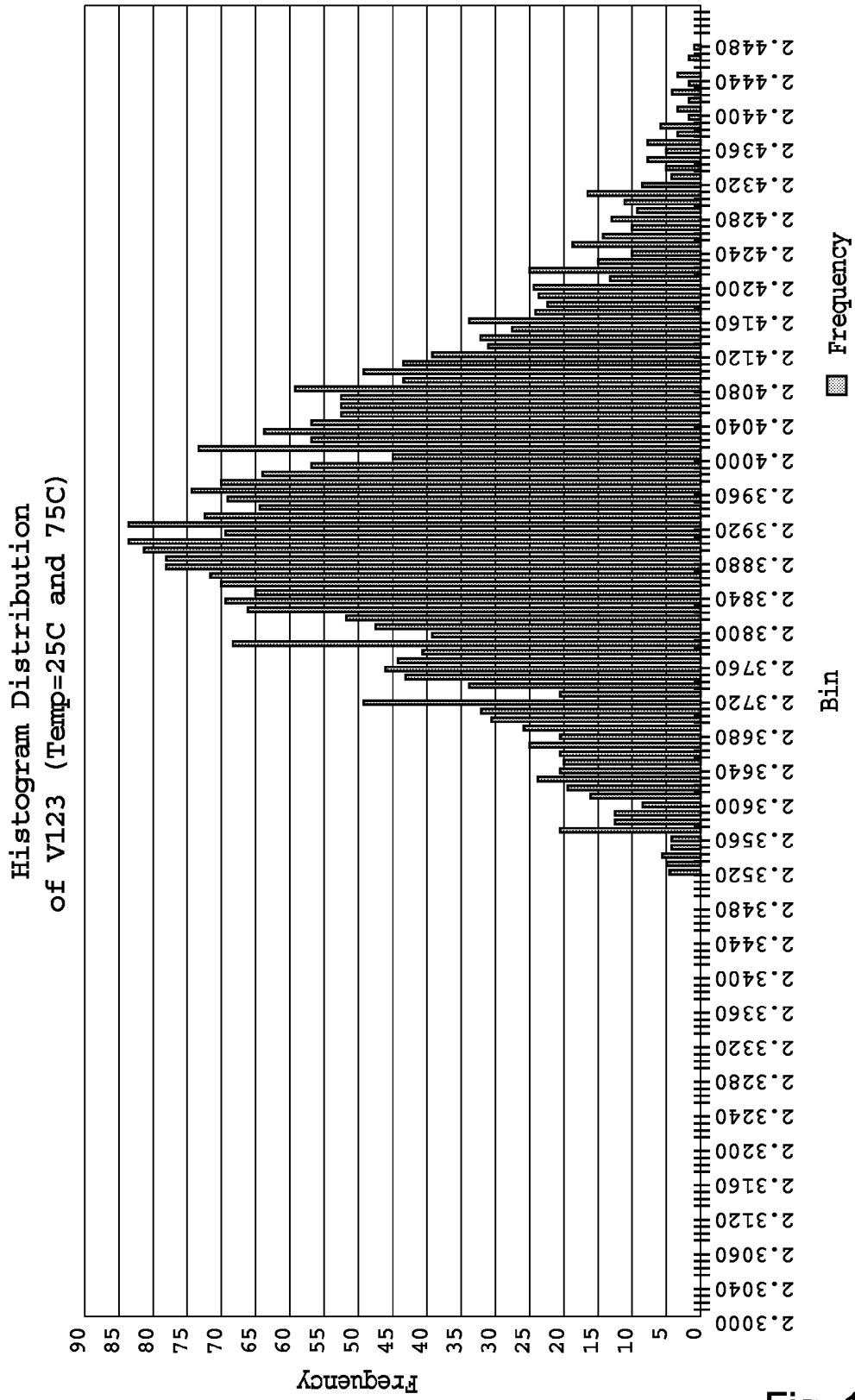


Fig. 10



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 05 10 1272

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.7)
Y	US 2002/125938 A1 (KIM YOUNG HEE ET AL) 12 septembre 2002 (2002-09-12) * alinéa [0025] - alinéa [0032]; figure 2 *	1-8	G05F3/26
Y	----- GUPTA V ET AL: "Predicting the effects of error sources in bandgap reference circuits and evaluating their design implications" 2002 45TH MIDWEST SYMPOSIUM ON CIRCUITS AND SYSTEMS. CONFERENCE PROCEEDINGS (CAT. NO.02CH37378), vol. 3, 2002, pages III 575-III 578, XP002300515 PISCATAWAY, NJ, USA ISBN: 0-7803-7523-8 * alinéas [03.2], [0004]; figures 1,2 *	1-8	
A	----- EP 0 504 983 A (PHILIPS NV) 23 septembre 1992 (1992-09-23) * abrégé; figure 1 *	1-8	
A	----- EP 0 197 965 B (AMERICAN TELEPHONE & TELEGRAPH) 16 janvier 1991 (1991-01-16) * page 2, ligne 41 - page 6, ligne 63; figures 2,3 *	1-8	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.7)
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 10 mai 2005	Examineur Nicolaucig, A
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ----- & : membre de la même famille, document correspondant	

1
EPC FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 05 10 1272

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

10-05-2005

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2002125938 A1	12-09-2002	KR 2002053188 A	05-07-2002
EP 0504983 A	23-09-1992	EP 0504983 A1	23-09-1992
		JP 5083048 A	02-04-1993
EP 0197965 B	22-10-1986	US 4645948 A	24-02-1987
		CA 1252835 A1	18-04-1989
		DE 3581399 D1	21-02-1991
		EP 0197965 A1	22-10-1986
		ES 8700502 A1	01-01-1987
		HK 44692 A	26-06-1992
		JP 2615009 B2	28-05-1997
		JP 62500327 T	05-02-1987
		SG 84291 G	22-11-1991
		US 4830976 A	16-05-1989
		WO 8602180 A1	10-04-1986

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82