

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
 INSTITUT NATIONAL  
 DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
 PARIS

(11) N° de publication :  
 (à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

2 681 961

(21) N° d'enregistrement national :

91 12278

(51) Int Cl<sup>5</sup> : G 05 F 3/26

(12)

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 30.09.91.

(30) Priorité :

(71) Demandeur(s) : SGS-THOMSON  
 MICROELECTRONICS (S.A.) (Société Anonyme) —  
 FR.

(43) Date de la mise à disposition du public de la demande : 02.04.93 Bulletin 93/13.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de recherche : Se reporter à la fin du présent fascicule.

(60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

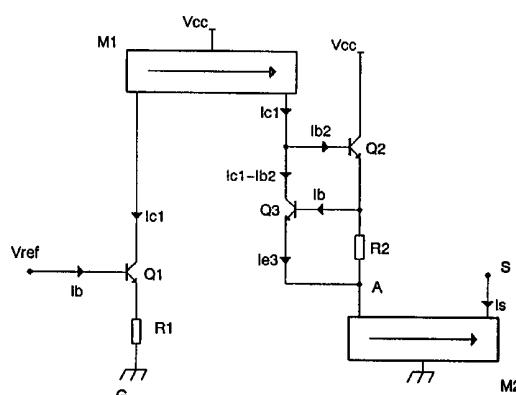
(72) Inventeur(s) : Ryat Marc.

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire : Michel de Beaumont Cabinet Conseil.

(54) Générateur de courant précis.

(57) La présente invention concerne un générateur de courant (Is), comprenant un premier transistor bipolaire (Q1) dont la base est reliée à un potentiel de référence (Vref) et l'émetteur à un premier potentiel d'alimentation (G) à travers une première résistance (R1); un premier miroir de courant (M1) dont l'entrée est reliée au collecteur du premier transistor (Q1) et dont la sortie est reliée à l'électrode de commande d'un deuxième transistor (Q2); un troisième transistor bipolaire (Q3) dont le collecteur est relié à la sortie du premier miroir de courant, dont la base est reliée, d'une part, à une électrode principale du deuxième transistor (Q2) et, d'autre part, à une borne d'une deuxième résistance (R2) dont l'autre borne est reliée à l'émetteur du troisième transistor (Q3); et un deuxième miroir de courant (M2) dont l'entrée est reliée à l'émetteur du troisième transistor (Q3) et dont la sortie (S) fournit ledit courant (Is).



A

GENERATEUR DE COURANT PRECIS

La présente invention concerne un générateur de courant et en particulier un générateur fournissant, à partir d'une tension de référence  $V_{ref}$  définie par rapport à la masse, un courant égal à  $V_{ref}/R$  à une faible erreur près, où  $R$  est une résistance.

La figure 1 représente un circuit classique d'un tel générateur. Ce générateur comprend un amplificateur opérationnel 10 pilotant la base d'un transistor NPN T1 dont l'émetteur est relié à l'entrée inverseuse de l'amplificateur 10 et à la masse 10 G à travers une résistance R. L'entrée non-inverseuse de l'amplificateur 10 reçoit une tension de référence  $V_{ref}$  par rapport à la masse. Cette tension de référence est fournie, par exemple, par un générateur de tension de référence de type "Band-Gap" stabilisée en température. Le collecteur du transistor T1 est relié à une borne de sortie de courant S qui est reliée à un noeud de circuit.

Avec cette configuration, la tension aux bornes de la résistance R s'établit à  $V_{ref}$  entraînant un courant d'émetteur du transistor T1 de valeur  $V_{ref}/R$ . Le courant de collecteur  $I_C$  du transistor T1 (le courant de sortie) s'établit à :

$$I_C \approx (1 - 1/\beta) V_{ref}/R, \quad (1)$$

où  $\beta$  désigne le gain en courant du transistor T1. Ce générateur fournit un courant proportionnel à  $V_{ref}$ , qui présente une

précision en température de l'ordre de 2 % sur une plage de -55° à 125°C. L'imprécision provient essentiellement du terme  $1/\beta$ . En utilisant un transistor MOS à la place du transistor bipolaire T1, le terme  $1/\beta$  est nul, ce qui améliore la précision.

5 Toutefois, la réalisation d'une telle source de courant nécessite l'emploi d'un amplificateur opérationnel qui comprend un grand nombre de composants (environ 12 transistors) et qu'il faut compenser par une capacité (non représentée) puisqu'il travaille en boucle fermée avec un gain unitaire. L'intégration d'une telle source de courant est donc coûteuse en 10 surface de silicium.

Par ailleurs, la tension entre la borne S et la masse doit rester supérieure à une valeur minimale égale à  $V_{ref}+V_{ce_{sat}}$ , où  $V_{ce_{sat}}$  désigne la tension émetteur- 15 collecteur d'un transistor bipolaire en régime de saturation. Cette valeur minimale est généralement plus grande lorsqu'on utilise un transistor MOS à la place du transistor T1. Ceci entraîne que l'on ne peut pas convenablement fournir un courant à un noeud d'un circuit, dont le potentiel risque de varier et 20 de devenir inférieur à  $V_{ref}+V_{ce_{sat}}$ .

Un objet de la présente invention est de réaliser un générateur de courant précis qui, intégré, occupe une faible surface de silicium.

Un autre objet de la présente invention est de réa- 25 liser un tel générateur capable de fournir un courant précis à un noeud dont le potentiel varie dans une grande plage.

Ces objets sont atteints grâce à un générateur de courant comprenant un premier transistor bipolaire dont la base est reliée à un potentiel de référence et l'émetteur à un pre- 30 mier potentiel d'alimentation à travers une première résistance ; un premier miroir de courant dont l'entrée est reliée au collecteur du premier transistor et dont la sortie est reliée à l'électrode de commande d'un deuxième transistor ; un troisième transistor bipolaire dont le collecteur est relié à la sortie du

premier miroir de courant, dont la base est reliée, d'une part, à une électrode principale du deuxième transistor et, d'autre part, à une borne d'une deuxième résistance dont l'autre borne est reliée à l'émetteur du troisième transistor ; et un deuxième 5 miroir de courant dont l'entrée est reliée à l'émetteur du troisième transistor et dont la sortie fournit ledit courant.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, le deuxième miroir de courant comprend un quatrième transistor dont le collecteur constitue l'entrée du miroir, et dont l'émetteur 10 est relié au premier potentiel d'alimentation ; au moins un cinquième transistor connecté en parallèle sur la base et l'émetteur du quatrième transistor et dont le collecteur fournit ledit courant ; et un sixième transistor dont l'émetteur est relié à la base du quatrième transistor et dont la base est 15 reliée, soit à la base, soit à l'émetteur du troisième transistor.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, le deuxième transistor est choisi parmi : un transistor MOS, un transistor bipolaire, ou un transistor Darlington.

20 Selon un mode de réalisation de la présente invention, le premier miroir de courant est un miroir du type Wilson.

Un avantage de la présente invention est que celle-ci convient particulièrement à une réalisation de générateur de courant à plusieurs sorties.

25 Ces objets, caractéristiques et avantages ainsi que d'autres de la présente invention seront exposés en détail dans la description suivante de modes de réalisation particuliers faite en relation avec les figures jointes parmi lesquelles :

La figure 1, précédemment décrite, représente un générat<sup>30</sup>eur de courant précis classique ;

la figure 2 illustre un mode de réalisation d'un générat<sup>30</sup>eur de courant précis selon la présente invention ;

la figure 3 illustre un autre mode de réalisation du générat<sup>30</sup>eur de la présente invention ; et

la figure 4 illustre un autre mode de réalisation du générateur de la présente invention dans une technologie incorporant des éléments bipolaires et des éléments CMOS (BICMOS).

A la figure 2, un transistor Q1 reçoit sur sa base une tension de référence Vref. L'émetteur du transistor Q1 est relié à la masse G à travers une résistance R1 de valeur R. Un miroir de courant M1, supposé idéal, recopie le courant Ic1. Le courant recopié se partage en un courant Ib2 de base d'un transistor NPN Q2 et un courant Ic1-Ib2 de collecteur d'un transistor NPN Q3.

Le miroir M1 est connecté à une tension haute d'alimentation Vcc et son sens de recopie est indiqué par une flèche. Le collecteur du transistor Q2 est relié à la tension Vcc et son émetteur est relié, d'une part, à la base du transistor Q3 et, d'autre part, à une borne d'une résistance R2 de même valeur que la résistance R1. L'autre borne de la résistance R2 est reliée à un noeud A auquel est relié l'émetteur du transistor Q3. Le courant Is dans le noeud A est recopié sur une borne de sortie S par un miroir de courant M2, supposé idéal, connecté à la masse.

Dans la suite de la description, on supposera que les transistors ont des caractéristiques pratiquement identiques, notamment le même gain  $\beta$ , grand devant 1, et la même tension base-émetteur Vbe, ce qui est facile à réaliser dans un circuit intégré.

Avec la configuration de la figure 2, le courant Ic1 vaut exactement

$$Ic1 = (Vref - Vbe)/R - Ib, \quad (2)$$

où Ib désigne le courant de base du transistor Q1. Ce courant de base est défini par :

$$Ib = Ic1/\beta \approx (Vref - Vbe)/\beta R.$$

Le courant dans la résistance R2, placée entre base et émetteur du transistor Q3, s'établit à  $Vbe/R$  et est fourni par le transistor Q2 dont le courant de base Ib2 s'établit à une valeur voisine de

$$Ib2 = Vbe/\beta R. \quad (3)$$

Comme le transistor Q3 est traversé par un courant proche de celui dans le transistor Q1, son courant de base aura sensiblement la même valeur  $I_b$ . Le courant d'émetteur du transistor Q3 est défini par :

$$I_{e3} = I_{c1} - I_{b2} + I_b.$$

C'est-à-dire, en combinant les équations (2) et (3) :

$$I_{e3} = V_{ref}/R - V_{be}/R - V_{be}/\beta R. \quad (4)$$

On obtient ainsi dans le noeud A et en sortie du miroir M2 un courant

$$10 \quad I_S = I_{e3} + V_{be}/R = V_{ref}/R - V_{be}/\beta R \\ = (1-k/\beta)V_{ref}/R, \quad (5)$$

où  $k = V_{be}/V_{ref}$ .

Cette formule (5) est similaire à la formule (1) du courant  $I_C$  fourni par le circuit de la figure 1. Ainsi, le générateur selon l'invention de la figure 2 fournit un courant selon sensiblement la même précision que le générateur classique de la figure 1, mais présente les avantages suivants :

- il occupe notablement moins de surface de silicium car il est beaucoup moins complexe qu'un amplificateur opérationnel (on verra ci-après que les miroirs de courant comprennent 2 à 4 transistors chacun), et car il ne nécessite pas de capacité de compensation, et

- en choisissant un miroir M2 adéquat, dont on donnera un exemple ci-après, la borne S peut être soumise à une tension plus basse que la valeur minimum  $V_{ce\text{sat}} + V_{ref}$  du générateur de la figure 1.

Si l'on veut améliorer davantage la précision du courant de sortie  $I_s$ , il faut réduire ou supprimer le terme perturbateur  $k/B$  introduit par le courant  $I_{B2}$ . Ceci peut être réalisé, comme cela est décrit en relation avec la figure 3, en remplaçant le transistor bipolaire  $Q_2$  par un transistor Darlington, ou par un transistor MOS (figure 4) si la technologie de fabrication le permet.

La figure 3 illustre un autre mode de réalisation plus détaillé du générateur de courant selon la présente invention. On y retrouve des mêmes éléments qu'à la figure 2 désignés par des mêmes références. En plus de la borne de sortie de courant 5 S, ce mode de réalisation comprend deux autres bornes S2 et S3. Le transistor bipolaire Q2 a été ici remplacé par un transistor Darlington Q2'.

Le miroir M1 représenté est un miroir classique du type Wilson qui est un miroir à transistors bipolaires proche de 10 l'idéal. Le miroir comprend deux transistors PNP Q4, Q5 en série entre le collecteur du transistor Q1 et la tension d'alimentation Vcc et deux autres transistors PNP Q6, Q7 en série entre le collecteur du transistor Q3 et la tension d'alimentation Vcc. L'entrée du miroir M1 correspond à la base et au collecteur 15 court-circuités du transistor Q4. La sortie du miroir correspond au collecteur du transistor Q6 dont la base est reliée à la base du transistor Q4. Le collecteur et la base du transistor Q7 sont court-circuités et reliés à la base du transistor Q5.

Le gain d'un transistor Darlington étant beaucoup plus 20 grand que celui d'un transistor classique, de l'ordre de  $\beta^2$ , son courant de base Ib2 devient négligeable devant le courant Is.

Le miroir M2 comprend deux transistors NPN Q8 et Q9 à émetteurs reliés à la masse et dont les bases sont reliées ensemble. Le collecteur du transistor Q8 constitue l'entrée du 25 miroir et il est relié au noeud A. Le collecteur du transistor Q9 constitue la sortie du miroir et est relié à la borne S. Des transistors supplémentaires Q10 et Q11 sont connectés de la même manière que le transistor Q9 respectivement à une borne de sortie S2 et à une borne de sortie S3. Le courant de base des 30 transistors Q8 à Q11 est fourni par l'émetteur d'un transistor NPN Q12 dont le collecteur est relié à la tension d'alimentation Vcc et dont la base est reliée à l'émetteur du transistor Q2'. Le courant de base consommé par le transistor Q12 est négligeable devant Is, ce qui rend ce miroir proche de l'idéal.

Avec cette configuration, tous les transistors ayant le même gain  $\beta$ , les courants de collecteur  $I_{s2}$  et  $I_{s3}$  seront égaux au courant  $I_s$ , c'est-à-dire  $V_{ref}/R$ . En jouant sur le gain (la surface) des transistors  $Q10$  et  $Q11$ , on pourra obtenir des 5 courants de sortie  $I_{s2}$  et  $I_{s3}$  qui seront des fractions ou des multiples prédéterminés du courant  $I_s$ . On pourra bien entendu rajouter d'autres transistors connectés comme les transistors  $Q10$  et  $Q11$  pour augmenter le nombre de sorties de courant.

Avec ce miroir de courant  $M2$ , la tension minimum sur 10 les bornes  $S$ ,  $S2$  et  $S3$  est égale à la tension  $V_{cesat}$  des transistors  $Q9$  à  $Q11$ , c'est-à-dire environ 0,3 volt (au lieu de  $V_{cesat}+V_{ref}$  dans le générateur de l'art antérieur).

La figure 4 illustre un mode de réalisation en technologie BICMOS d'un générateur selon la présente invention. On y 15 retrouve des mêmes éléments qu'à la figure 2 désignés par des mêmes références. Le transistor  $Q2$  a été remplacé par un transistor MOS à canal N  $Q2''$ , d'où il résulte un courant  $I_{b2}$  nul et un courant  $I_s$  exactement égal à  $V_{ref}/R$ .

La présente invention est susceptible de nombreuses 20 variantes et modifications qui apparaîtront à l'homme de l'art, notamment, si l'on désire une source de courant à sens opposé, tous les transistors seront remplacés par leurs complémentaires, la masse et la tension  $V_{cc}$  étant alors interverties. La base du transistor  $Q12$  peut être reliée au noeud  $A$  au lieu d'être reliée 25 à la base du transistor  $Q3$ . Tous les transistors, notamment les transistors des exemples de miroirs de courant bipolaires, peuvent être remplacés par des transistors MOS correspondants, mais la stabilité en température sera alors moins bonne.

REVENDICATIONS

1. Générateur de courant ( $I_s$ ), comprenant un premier transistor bipolaire (Q1) dont la base est reliée à un potentiel de référence ( $V_{ref}$ ) et l'émetteur à un premier potentiel d'alimentation (G) à travers une première résistance ( $R_1$ ), caractérisé en ce qu'il comprend :

- un premier miroir de courant (M1) dont l'entrée est reliée au collecteur du premier transistor (Q1) et dont la sortie est reliée à l'électrode de commande d'un deuxième transistor (Q2) ;
- 10 - un troisième transistor bipolaire (Q3) dont le collecteur est relié à la sortie du premier miroir de courant, dont la base est reliée, d'une part, à une électrode principale du deuxième transistor (Q2) et, d'autre part, à une borne d'une deuxième résistance ( $R_2$ ) dont l'autre borne est reliée à l'émetteur du troisième transistor (Q3) ; et
- 15 - un deuxième miroir de courant (M2) dont l'entrée est reliée à l'émetteur du troisième transistor (Q3) et dont la sortie (S) fournit ledit courant ( $I_s$ ).

2. Générateur de courant selon la revendication 1, caractérisé en ce que le deuxième miroir de courant (M2) comprend un quatrième transistor (Q8) dont le collecteur constitue l'entrée du miroir, et dont l'émetteur est relié au premier potentiel d'alimentation (G) ; au moins un cinquième transistor (Q9) connecté en parallèle sur la base et l'émetteur du quatrième transistor (Q8) et dont le collecteur fournit ledit courant ( $I_s$ ) ; et un sixième transistor (Q12) dont l'émetteur est relié à la base du quatrième transistor (Q8) et dont la base est reliée, soit à la base, soit à l'émetteur du troisième transistor (Q3).

3. Générateur de courant selon la revendication 1, caractérisé en ce que le deuxième transistor (Q2) est choisi parmi : un transistor MOS, un transistor bipolaire, ou un transistor Darlington.

5       4. Générateur de courant selon la revendication 1, caractérisé en ce que le premier miroir de courant (M1) est un miroir du type Wilson.

1/2

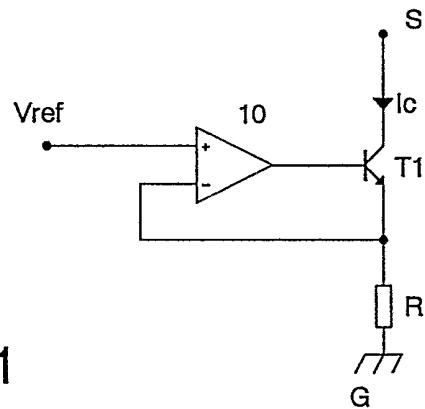


Fig 1

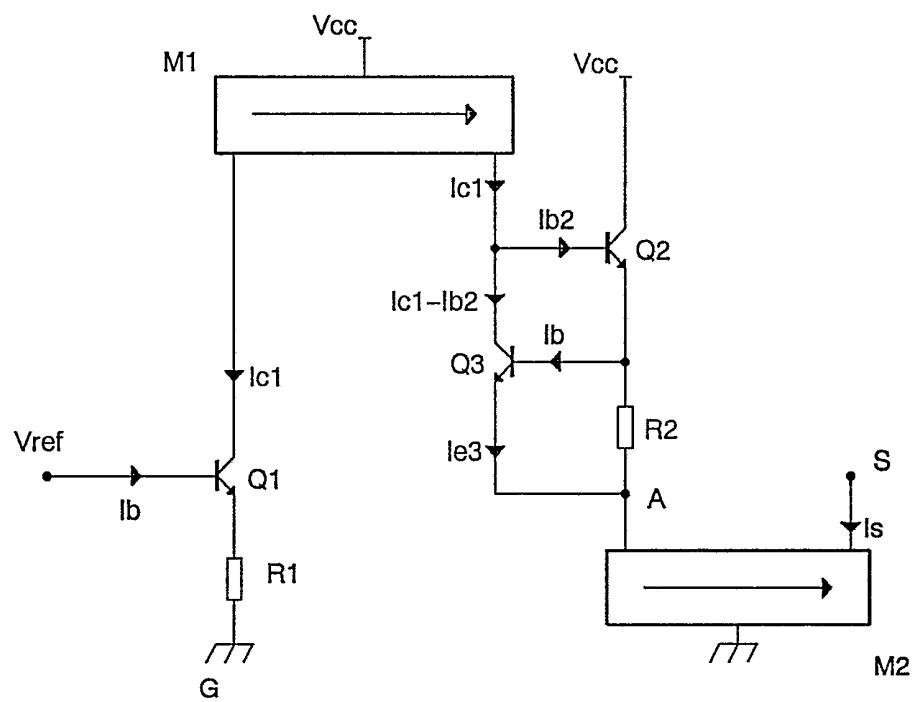


Fig 2

2/2

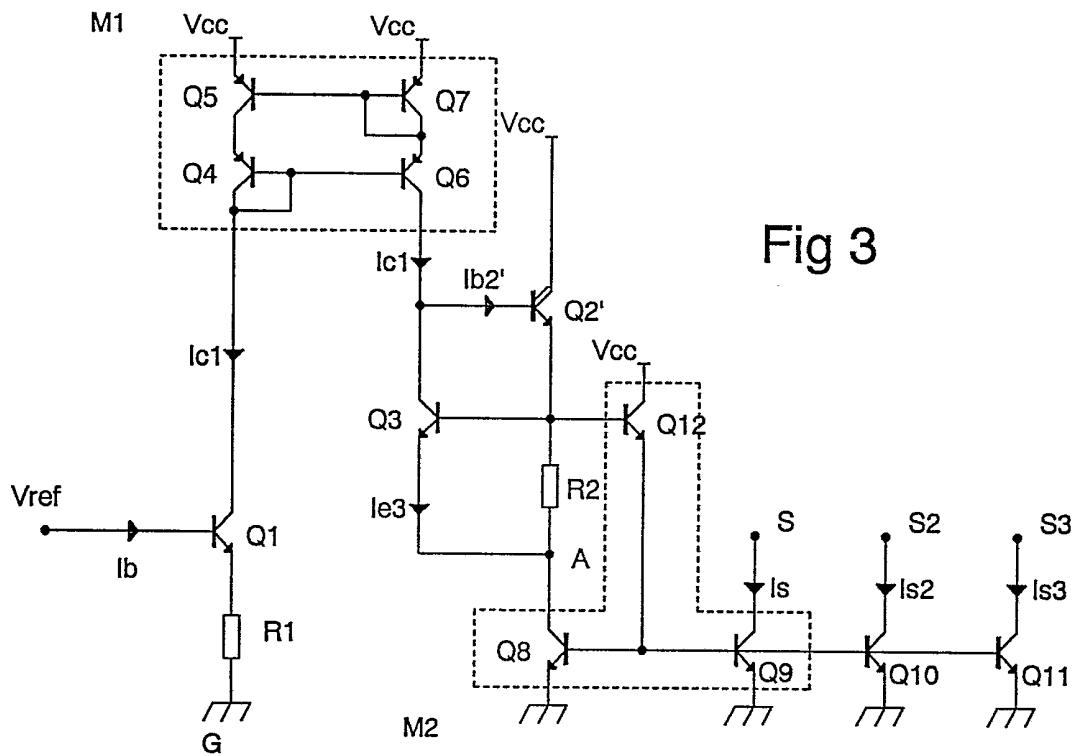


Fig 3

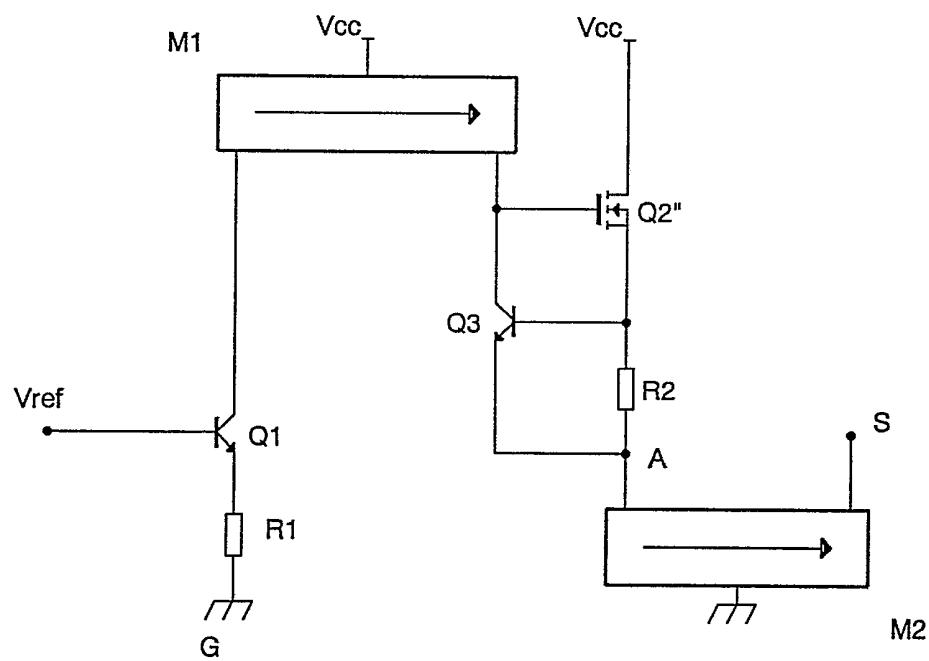


Fig 4

**INSTITUT NATIONAL  
de la  
PROPRIETE INDUSTRIELLE**

## RAPPORT DE RECHERCHE

établi sur la base des dernières revendications déposées avant le commencement de la recherche

FR 9112278  
FA 464616

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée	
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US-A-4 330 744 (EMBREE ET AL.) * colonne 1, ligne 48 - colonne 5, ligne 57; figures *	1,4	
Y	---	2,3	
Y	US-A-4 591 780 (YAMADA ET AL.) * colonne 4, ligne 35 - ligne 61; figure 2 *	2	
Y	---		
Y	US-A-4 742 292 (HOFFMAN) * colonne 5, ligne 25 - colonne 6, ligne 13; figure 5 *	3	
Y	---		
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 10, no. 95 (E-395)(2152) 12 Avril 1986 & JP-A-60 236 308 ( MITSUBISHI DENKI K.K ) 25 Novembre 1985 * le document en entier *	1	
A	---		
A	US-A-4 437 023 (GILL,JR.) * colonne 2, ligne 23 - colonne 3, ligne 35; figures *	1-4	
A	---		
A	DE-A-3 432 561 (C.A. WEIDMÜLLER GMBH & CO)		
A	-----		
Date d'achèvement de la recherche		Examinateur	
12 JUIN 1992		SAAW L.J.	
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ..... & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgarion non-écrite P : document intercalaire			