

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 80 08408

(54) Amplificateur opérationnel adapté à un fonctionnement sous rayonnement.

(51) Classification internationale (Int. Cl. ³). H 03 F 3/04.

(22) Date de dépôt..... 15 avril 1980.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande B.O.P.I. — « Listes » n° 42 du 16-10-1981.

(71) Déposant : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE, résidant en France.

(72) Invention de : Gérard Bourgoïn et Michel Fichet.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Brevatome,
25, rue de Ponthieu, 75008 Paris.

La présente invention concerne un amplificateur opérationnel adapté à un fonctionnement sous rayonnements. Elle s'applique notamment aux circuits électroniques soumis à des rayonnements neutroniques ou gamma par exemple. Ces circuits, lorsqu'ils peuvent fonctionner sous rayonnements, sont qualifiés de "circuits durcis".

On sait que pour les circuits électroniques qui fonctionnent dans l'environnement de sources radiatives, dans le domaine nucléaire ou spatial par exemple, il est fréquent d'utiliser des amplificateurs opérationnels. Ces amplificateurs sont utilisés par exemple dans des circuits intégrateurs, différentiateurs, comparateurs, ou sont tout simplement utilisés comme amplificateurs. Après irradiation, les amplificateurs opérationnels classiques subissent une dégradation de leurs caractéristiques de gain, de dynamique de sortie, de tension de décalage, etc... Ils deviennent, par conséquent, très rapidement inutilisables.

La plupart des amplificateurs opérationnels connus sont constitués par une association de circuits comprenant un circuit différentiel d'entrée, un circuit miroir, un générateur de courant alimentant le circuit différentiel et un convertisseur tension-courant connecté d'une part sur la liaison entre le circuit différentiel et le circuit miroir, et, d'autre part, sur l'étage de sortie de l'amplificateur opérationnel. Le circuit différentiel et le générateur de courant comprennent essentiellement des transistors à effet de champ, associés à des résistances, tandis que le circuit miroir, le convertisseur de tension courant et l'étage de sortie comprennent, soit des transistors bipolaires, soit une combinaison de transistors bipolaires et de transistors à effet de champ. Les caractéristiques de ces circuits présentent des dérives importantes

lorsqu'ils sont soumis à des rayonnements neutroniques ou gamma par exemple.

Pour les transistors bipolaires, le gain β_ϕ pour un courant collecteur I_C et pour une tension collecteur/émetteur V_{CE} déterminés après irradiation, est donné par la formule :

$$\beta_\phi = \frac{\beta_0}{1 + \beta_0 \cdot K \cdot \phi}$$

Dans cette formule, K désigne le coefficient de dégradation du transistor bipolaire tandis que β_ϕ et β_0 représentent les gains du transistor après et avant irradiation, ϕ désignant la fluence neutronique.

Cette formule permet de constater que le gain du transistor bipolaire diminue sous l'influence de l'irradiation.

La caractéristique de transfert d'un transistor à effet de champ, qui exprime la variation du courant drain I_D , en fonction de la tension grille-source V_{gs} est assimilable à une branche de parabole d'équation :

$$I_D = I_{DS} \left(1 - \frac{V_{gs}}{V_p}\right)$$

soit encore :

$$\sqrt{I_D} = \sqrt{I_{DS}} - \frac{\sqrt{I_{DS}}}{V_p} \cdot V_{gs}$$

Le paramètre $A = \sqrt{I_{DS}}/V_p$ caractérise une famille de composants. A est supérieur à 0, si le transistor à effet de champ considéré est de type P, tandis que A est inférieur à 0, si le transistor à effet de champ considéré est de type N.

Sous irradiation, la caractéristique $I_D = f(V_{gs})$ subit une translation, le paramètre A reste constant et le courant drain-source $I_{DS\phi}$ peut être exprimé en fonction du courant drain-

source I_{DS0} avant irradiation, par l'équation
 $I_{DS\phi} = I_{DS0} \exp. -K\phi$. Dans cette relation, K représente
le coefficient de dégradation du transistor à effet
de champ.

5 L'invention a pour but de remédier à
ces inconvénients et notamment de réaliser, à partir
du schéma d'un amplificateur opérationnel connu,
un amplificateur opérationnel dont les caractéristiques
se dégradent peu lorsqu'il est soumis à des rayonnements
10 neutroniques ou γ par exemple. Comme on le verra
par la suite, ces buts sont atteints, d'une part
grâce à l'utilisation d'une technologie particulière
de fabrication des différents circuits qui constituent
l'amplificateur opérationnel connu et, d'autre
15 part, grâce à l'adjonction de différents circuits
de compensation de dérive.

L'invention a pour objet un amplificateur
opérationnel adapté à un fonctionnement sous rayon-
nements, comprenant un circuit différentiel d'entrée
20 relié par une sortie à un générateur de courant
et à un circuit miroir se comportant comme une
charge résistive du circuit différentiel, un circuit
convertisseur tension-courant dont l'entrée est
reliée à un point commun au circuit miroir et au
25 circuit différentiel, la sortie de ce circuit conver-
tisseur étant reliée à l'entrée d'un circuit de
sortie, caractérisé en ce que le circuit différentiel
comprend deux transistors à effet de champ monolithiques
appairés, dont les sources sont reliées à un point
30 commun et dont les grilles constituent les entrées
de l'amplificateur opérationnel, le circuit miroir
comprenant deux transistors bipolaires dont les
collecteurs sont reliés respectivement aux drains
des transistors du circuit différentiel, les bases
35 de ces transistors bipolaires étant reliées entre
elles, tandis que leurs émetteurs sont respectivement
reliés à une source positive de tension par l'inter-
médiaire d'une résistance, ce circuit miroir comprenant

en outre un transistor supplémentaire dont l'émetteur est relié aux bases des deux transistors bipolaires et dont la base est reliée au collecteur de l'un des deux transistors bipolaires, le collecteur de ce transistor supplémentaire étant relié à un circuit de dérivation .

Selon une autre caractéristique, le circuit générateur de courant comprend un premier transistor à effet de champ dont le drain est relié au point commun des sources des transistors à effet de champ du circuit différentiel et dont la source est reliée à une source de tension négative par l'intermédiaire d'une résistance, la grille de ce premier transistor à effet de champ étant reliée au drain d'un deuxième transistor à effet de champ dont la source est reliée à la source négative de tension par l'intermédiaire d'une résistance, la grille de ce deuxième transistor étant reliée à la source de tension négative, la grille du premier transistor étant en outre reliée par une résistance au point commun à une résistance de polarisation et à une diode Zener, elle-même reliée à la source de tension négative, cette résistance de polarisation étant reliée au circuit de dérivation de courant qui est constitué par une résistance reliée, d'une part au collecteur du transistor bipolaire supplémentaire du circuit miroir et, d'autre part, à la source de tension positive.

Selon une autre caractéristique, le circuit générateur de courant comprend un transistor bipolaire dont le collecteur est relié au point commun aux deux transistors à effet de champ du circuit différentiel et dont l'émetteur est relié à une source négative de tension par l'intermédiaire d'une résistance, la base du transistor bipolaire étant connectée

à une diode de Zener, elle-même reliée à la source négative de tension, cette base étant en outre reliée au collecteur du transistor bipolaire supplémentaire du circuit miroir par l'intermédiaire dudit circuit de dérivation de courant constitué par un transistor à effet de champ dont la source est reliée à la grille et à la diode Zener, le drain de ce transistor à effet de champ étant relié au collecteur du transistor bipolaire supplémentaire du circuit miroir.

Selon une autre caractéristique, le circuit convertisseur tension-courant comprend un premier transistor à effet de champ dont la grille et la source sont reliées à la source négative de tension et dont le drain est relié à la source d'un deuxième transistor à effet de champ, la grille de ce transistor étant reliée au collecteur de l'un des transistors du circuit miroir, tandis que le drain de ce deuxième transistor est relié à la source de tension positive, la source de ce deuxième transistor à effet de champ étant reliée par l'intermédiaire d'au moins un redresseur à un premier transistor bipolaire dont l'émetteur est relié à la source positive de tension, la base de ce premier transistor bipolaire étant reliée d'une part au redresseur et, d'autre part, à la source positive de tension par l'intermédiaire d'une résistance, le collecteur de ce premier transistor bipolaire étant relié à la base d'un deuxième transistor bipolaire dont le collecteur est relié à la source positive de tension, la base et l'émetteur de ce deuxième transistor étant reliés par l'intermédiaire d'une résistance shunt, le circuit de sortie étant connecté aux bornes de cette résistance et à la source négative de tension, les premier et deuxième transistors à effet de champ étant appairés.

Selon une autre caractéristique, le circuit convertisseur tension-courant comprend un transistor à effet de champ dont la grille est reliée au collecteur de l'un des transistors du circuit miroir, tandis
5 que le drain de ce transistor est relié à la source de tension positive, la source de ce deuxième transistor à effet de champ étant reliée par l'intermédiaire d'au moins un redresseur à un premier transistor bipolaire dont l'émetteur est relié à la source
10 positive de tension, la base de ce premier transistor bipolaire étant reliée d'une part au redresseur et d'autre part à la source positive de tension par l'intermédiaire d'une résistance, le collecteur de ce premier transistor bipolaire étant relié
15 à la base d'un deuxième transistor bipolaire dont le collecteur est relié à la source positive de tension, la base et l'émetteur de ce deuxième transistor étant reliés par l'intermédiaire d'une résistance shunt, le circuit de sortie étant connecté aux
20 bornes de cette résistance et à la source négative de tension, les premier et deuxième transistors à effet de champ étant appairés.

Selon une autre caractéristique, le circuit de sortie comprend un transistor à effet de champ
25 de sortie dont le drain est relié à la source de tension négative et dont la source est reliée à une borne de la résistance shunt du circuit convertisseur par l'intermédiaire d'une résistance, la grille de ce transistor à effet de champ de sortie
30 étant reliée à l'autre borne de la résistance shunt.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront mieux de la description qui va suivre, donnée en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 représente les principales bornes de connexion d'un amplificateur opérationnel.

5 - la figure 2 représente un amplificateur opérationnel de type connu, qui présente d'importantes dégradations de ses caractéristiques, lorsqu'il est soumis à des radiations,

- la figure 3 est un schéma d'un premier mode de réalisation d'un amplificateur opérationnel conforme à l'invention,

10 - la figure 4 est un schéma représentant un autre mode de réalisation d'un amplificateur opérationnel conforme à l'invention.

La figure 1 représente schématiquement les principales bornes de connexion d'un amplificateur opérationnel monté sous boîtier. Les bornes
15 S_2 et S_3 désignent respectivement les entrées négative et positive de l'amplificateur opérationnel. Les bornes S_7 et S_4 désignent respectivement les entrées de polarisation positive +V et négative -V' de
20 l'amplificateur opérationnel. La borne S_6 est la borne de sortie de cet amplificateur ; les bornes S_1 et S_5 permettent de régler les tensions de décalage d'un amplificateur opérationnel tandis que la borne S_8 permet d'effectuer des compensations de fréquence
25 dans la réponse de l'amplificateur opérationnel. Ces bornes de connexion sont identiques pour les amplificateurs opérationnels connus et pour l'amplificateur opérationnel de l'invention.

L'amplificateur opérationnel, de type
30 connu, représenté sur la figure 2 comprend comme mentionné plus haut, un circuit différentiel d'entrée ED, un circuit générateur de courant GC, un circuit miroir CM, un circuit convertisseur tension courant TC et enfin un circuit de sortie CS. Les différentes
35 entrées ou sorties de l'amplificateur opérationnel sont référencées $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8$; elles correspondent aux bornes du boîtier dans

lequel ce circuit est monté. La borne 7 est reliée à une tension positive $+V$ tandis que la borne 4 est portée à une masse de référence ou à un potentiel négatif $-V'$.

5 Le circuit différentiel d'entrée est un amplificateur différentiel, constitué de manière connue, par un double transistor monolithique, à effet de champ F, G, de type N dont les sources sont reliées aux résistances R_4 , R_5 . Ce circuit
10 différentiel est associé au circuit miroir CM qui comprend des transistors bipolaires H, I, J et qui se comporte comme une charge résistive, les résistances R_6 , R_7 étant incluses dans cette charge. Ce circuit miroir permet également de convertir
15 l'effet différentiel de sortie qui existe normalement entre les collecteurs des transistors I et J, en un effet unilatéral, qui pilote en tension l'entrée du circuit convertisseur tension-courant TC. Le circuit miroir permet également de régler la tension
20 de décalage, en plaçant un potentiomètre entre les sorties S_1 et S_5 , le curseur de ce potentiomètre étant relié à la borne S_7 sur laquelle est appliquée la tension $+V$. Le circuit générateur de courant GC comprend un transistor à effet de champ E relié
25 à une résistance R_3 qui permet d'ajuster le débit en courant dans le circuit différentiel ED. Dans ce circuit différentiel les résistances R'_4 et R'_5 permettent de rattraper la dissymétrie qui peut exister entre les deux transistors à effet de champ
30 F et G, sans créer de déséquilibre dans le circuit miroir CM.

Lorsque cet amplificateur opérationnel de type connu est soumis à une irradiation, le générateur de courant GC se dégrade à cause du
35 glissement de la caractéristique de transfert du transistor à effet de champ. Il en résulte que les chutes de tension aux bornes des résistances

R_4^i , R_5^i , R_6 , R_7 diminuent et perturbent ainsi les réglages initiaux. Ce glissement des caractéristiques présente des conséquences néfastes et primordiales dans le circuit différentiel ED ; en effet, la compensation effectuée par les résistances R_4^i et R_5^i avant irradiation n'est plus adaptée pour les transistors F et G lorsqu'ils sont irradiés. Les transistors I et J de type bipolaire, présentent une chute de gain très importante sous irradiation, ce qui provoque une augmentation du courant collecteur dans le transistor bipolaire H ; cette augmentation de courant intervient alors comme une variation supplémentaire du courant dans le circuit générateur de courant GC. De plus, l'augmentation de courant collecteur de H est accompagnée par une augmentation du courant base de ce transistor, ce qui accentue encore la dissymétrie du circuit différentiel ED.

La plus grande partie du gain global de l'amplificateur opérationnel représenté sur cette figure dépend de l'efficacité de transfert du circuit convertisseur tension-courant TC. Ce convertisseur comprend un générateur de courant constitué par le transistor bipolaire C associé à la résistance R_2 ; le transistor C permet de polariser le transistor bipolaire B de manière à créer dans celui-ci une tension base émetteur V_{BE} qui fixe la tension source du transistor à effet de champ D par rapport à la tension d'alimentation +V. Il en résulte que le courant qui traverse le transistor à effet de champ D est fonction de la tension grille. Le courant base du transistor B est un complément du courant délivré par le circuit générateur de courant GC et du courant du transistor D. Ce courant est amplifié par le transistor B

et le courant I_C dans le collecteur du transistor dépend de la tension de sortie du circuit différentiel ED. Sous irradiation, le générateur de courant constitué par le transistor C et la résistance R_2 du convertisseur tension-courant TC délivre un courant plus faible en raison de la chute du gain du transistor C et des variations de courant du générateur de courant pilote GC. Pour une tension de polarisation constante du transistor à effet de champ D, le courant dans ce transistor diminue en raison du glissement de la caractéristique de transfert. Sous irradiation, le gain du transistor B diminue et limite ainsi le courant de sortie dans le transistor à effet de champ A du circuit de sortie CS.

Dans ce circuit de sortie CS, le courant de sortie de ce transistor détermine en traversant la résistance R_1 la tension grille-source V_{GS} du transistor de sortie A. Cette tension V_{GS} commande le courant drain du transistor A ; la différence entre le courant de commande et le courant drain détermine le courant de sortie. Sous irradiation, il y a glissement de la caractéristique de transfert du transistor à effet de champ A.

Il résulte de ces observations que les caractéristiques de cet amplificateur opérationnel connu se dégradent de façon très importante lorsqu'il est soumis à une irradiation.

La figure 3 est un schéma d'un premier mode de réalisation d'un amplificateur opérationnel conforme à l'invention. Dans ce premier mode de réalisation, l'amplificateur opérationnel comprend, comme les amplificateurs connus, un circuit différentiel d'entrée ED relié par une sortie à un générateur de courant GC et à un circuit miroir CM qui se comportent comme une charge résistive du circuit différentiel ED. L'amplificateur comprend

aussi un circuit convertisseur tension-courant TC dont l'entrée est reliée à un point commun au circuit miroir CM et au circuit différentiel ED ; la sortie de ce circuit convertisseur est reliée à l'entrée d'un circuit de sortie CS.

Selon l'invention, le circuit différentiel ED comprend deux transistors 8, 9 à effet de champ monolithique appairés dont les sources sont reliées à un point commun PC et dont les grilles constituent les entrées de l'amplificateur opérationnel. Le circuit miroir CM comprend deux transistors bipolaires 11, 12, dont les collecteurs sont reliés respectivement aux drains des transistors du circuit différentiel ED ; les bases de ces transistors bipolaires sont reliées entre elles tandis que leurs émetteurs sont reliés à une source positive de tension +V connectée à la borne S_7 par l'intermédiaire des résistances R_7 , R_8 . Ce circuit miroir comprend en outre un transistor supplémentaire 10 dont l'émetteur est relié aux bases de deux transistors bipolaires 11, 12 ; la base de ce transistor bipolaire supplémentaire est reliée au collecteur d'un transistor bipolaire (12). Le collecteur du transistor supplémentaire 10 est relié à un circuit de dérivation de courant dans le circuit générateur de courant GC. Ce circuit de dérivation de courant sera décrit plus loin en détail.

Dans un premier mode de réalisation de l'amplificateur opérationnel conforme à l'invention, tel que représenté sur la figure 3, le circuit générateur de courant GC comprend un premier transistor 7 à effet de champ, dont le drain est relié au point commun PC des sources des transistors à effet de champ 8, 9, du circuit différentiel ED ;

la source de ce premier transistor est reliée par l'intermédiaire d'une résistance R_4 à la source de tension $-V'$ connectée à la borne S_4 . La grille de ce premier transistor à effet de champ 7 est reliée au drain d'un deuxième transistor à effet de champ 6, dont la source est elle-même reliée à la source négative de tension $-V'$ par l'intermédiaire d'une résistance R_5 . La grille de ce deuxième transistor à effet de champ est reliée à la source de tension négative $-V'$ tandis que la grille du premier transistor à effet de champ 7 est en outre reliée par l'intermédiaire d'une autre résistance R_6 au point commun PC' à une résistance de polarisation R_9 et à une diode Zener Z ; cette résistance R_9 est reliée au circuit de dérivation de courant qui est constitué, dans ce premier mode de réalisation de l'amplificateur opérationnel conforme à l'invention, par une résistance R_{10} reliée d'une part au collecteur du transistor bipolaire supplémentaire 10 du circuit miroir CM et, d'autre part, à la source de tension positive $+V$.

Dans ce premier mode de réalisation de l'amplificateur conforme à l'invention, le circuit convertisseur tension-courant TC comprend un premier transistor à effet de champ 4 dont la grille et la source sont reliées à la source négative de tension $-V'$ et dont le drain est relié à la source d'un deuxième transistor à effet de champ D ; la grille du transistor D est reliée au collecteur de l'un des transistors 11 du circuit miroir CM, tandis que le drain du transistor D est relié à la source de tension $+V$; la source de ce deuxième transistor D est reliée à la base d'un premier transistor bipolaire 3 par l'intermédiaire d'au moins un redresseur R ; l'émetteur du premier transistor

bipolaire 3 est relié à la source positive de tension +V. La base de ce transistor est également reliée à la source positive de tension par l'intermédiaire d'une résistance R_3 tandis que son collecteur est
5 relié à la base d'un deuxième transistor bipolaire 2. Le collecteur de ce deuxième transistor bipolaire est relié à la source positive de tension +V tandis que son émetteur et sa base sont reliés par l'intermédiaire d'une résistance shunt R_2 ; le circuit
10 de sortie CS est connecté aux bornes de cette résistance et à la source de tension négative $-V'$.

La figure 4 représente un autre mode de réalisation d'un amplificateur opérationnel conforme à l'invention. Dans cet autre mode de
15 réalisation, le générateur de courant GC comprend un transistor bipolaire 6' dont le collecteur est relié au point commun PC des deux transistors à effet de champ 8, 9, du circuit différentiel ED ; l'émetteur du transistor 6' est relié à une source
20 de tension négative $-V'$ par l'intermédiaire d'une résistance R_4 . La base de ce transistor 6' est connectée à une diode Zener Z, elle-même reliée à la source négative de tension $-V'$; cette base est en outre reliée aux collecteurs du transistor
25 bipolaire supplémentaire 10 du circuit miroir CM, par l'intermédiaire du circuit de dérivation de courant ; ce circuit est constitué ici par un transistor à effet de champ 4' dont la source est reliée à la grille et à la diode Zener Z. Le drain de
30 ce transistor à effet de champ 4' est relié aux collecteurs du transistor bipolaire supplémentaire 10 du circuit miroir CM.

Dans ce second mode de réalisation de l'amplificateur opérationnel conforme à l'invention,
35 le circuit convertisseur tension-courant TC est

constitué de la même manière que le circuit convertisseur tension-courant TC, dans le premier mode de réalisation de l'amplificateur représenté sur la figure 3.

5 Dans les deux modes de réalisation de l'amplificateur opérationnel, le circuit de sortie CS comprend un transistor de sortie 1 à effet de champ dont le drain est relié à la source de tension négative $-V'$ et dont la source est reliée à une
10 borne de la résistance shunt R_2 du circuit convertisseur TC, par l'intermédiaire d'une résistance R_1 . La grille de ce transistor de sortie est reliée à l'autre borne de la résistance shunt R_2 .

15 La dérive des caractéristiques de l'amplificateur opérationnel connu est compensé dans les deux modes de réalisation de l'amplificateur opérationnel conforme à l'invention grâce à des compensations réalisées à chaque étage de cet amplificateur opérationnel.

20 L'étage d'entrée constitué par le circuit différentiel ED et par le circuit miroir CM est compensé grâce à l'utilisation de deux transistors bipolaires appairés 11, 12 dans le circuit miroir CM. Pour augmenter le gain de cet étage, les composants présentent une forte résistance dynamique
25 au courant. Le courant collecteur du transistor 10 est dérivé dans le circuit auxiliaire constitué par les résistances R_9 et R_{10} pour ne pas déséquilibrer le montage, sous irradiation. Les deux résistances de compensation R_4^1 , R_5^1 du circuit différentiel
30 ED de la figure 2 peuvent être supprimées en choisissant des transistors monolithiques 8, 9 présentant de hautes performances. Pour cela, la différence des tensions grille-source des deux transistors 8, 9

du circuit différentiel d'entrée doit être très faible et ce circuit doit présenter un gain en tension très élevé. Lorsque ces transistors sont identiques, ils subissent une dégradation semblable sous irradiation, ce qui permet de conserver la symétrie du circuit différentiel d'entrée. On met à profit cette remarque pour compenser la dérive du générateur de courant GC dans le premier mode de réalisation de l'amplificateur de l'invention représenté sur la figure 3. En effet, sous irradiation et à courant constant, la tension grille-source V_{GS} du transistor à effet de champ 7 diminue. Pour compenser cet effet, on augmente la tension grille, il en résulte que sous irradiation, le courant drain du transistor à effet de champ 6 du générateur de courant GC diminue. Cette diminution de courant provoque une diminution de la tension aux bornes de la résistance R_6 et donc une augmentation du potentiel de la grille du transistor 7. Le calcul des résistances R_5 et R_6 en fonction de la tension aux bornes de la diode Zener Z conduit à une compensation optimale du circuit différentiel d'entrée, pour une fluence donnée d'irradiation.

Dans le deuxième mode de réalisation de l'amplificateur conforme à l'invention, le circuit générateur de courant GC est constitué par un transistor bipolaire 6' associé à une diode Zener Z qui permet de compenser les variations de courant dans le transistor 6', sous irradiation.

Dans le circuit de sortie CS, la tension grille-source V_{GS} du transistor à effet de champ 1 est égale à la tension V_{R1} aux bornes de la résistance R_1 augmentée de la tension base-émetteur du transistor bipolaire 2 du circuit convertisseur tension-courant TC. La présence de la jonction émetteur base du

transistor 2 dans le circuit convertisseur tension-courant TC, permet ainsi d'augmenter la tension grille-source du transistor de sortie 1 et ainsi, de diminuer le courant dans ce transistor.

5 Le convertisseur tension-courant TC qui comprend deux transistors bipolaires 2, 3, présente un gain global en diminution sous irradiation. Lorsque le courant dans la résistance R_1 du circuit de sortie CS diminue, comme on l'a indiqué précédemment, le courant dans la base du transistor 10 3 du circuit convertisseur TC peut rester pratiquement constant, si la dérive se compense. Comme les transistors à effet de champ 4, D sont appairés, leurs caractéristiques se dégradent de la même 15 façon et les variations de courant dans le transistor 4 sont absorbées par le transistor D. La tension grille-source du transistor D n'est donc modifiée que par les variations du courant base dans le transistor 3. Par l'adjonction des deux diodes 20 R et de la résistance de polarisation R_3 , le transistor D fonctionne en dehors de sa zone de saturation, ce qui permet ainsi de régler son gain. La résistance R_2 permet de maintenir le courant base du transistor 3 à une valeur suffisante pour que la résistance 25 dynamique des diodes soit faible à leur point de fonctionnement.

 L'amplificateur opérationnel conforme à l'invention, qui vient d'être décrit, permet bien d'atteindre les buts mentionnés plus haut ; 30 c'est ainsi par exemple que sous irradiation neutronique voisine de 10^{14} neutrons/cm², la variation de tension de décalage est inférieure à 5 millivolts, le gain est égal à la moitié du gain en absence d'irradiation, tandis que la dynamique de sortie 35 est inchangée.

REVENDICATIONS

1. Amplificateur opérationnel adapté
à un fonctionnement sous rayonnements, comprenant
un circuit différentiel d'entrée (ED) relié par
une sortie à un générateur de courant (GC) et à
5 un circuit miroir (CM) se comportant comme une
charge résistive du circuit différentiel, un circuit
convertisseur tension-courant (TC) dont l'entrée
est reliée à un point commun au circuit miroir
(CM) et au circuit différentiel (ED), la sortie
10 de ce circuit convertisseur étant reliée à l'entrée
d'un circuit de sortie (CS), caractérisé en ce
que le circuit différentiel comprend deux transistors
à effet de champ (8,9) monolithiques appairés,
dont les sources sont reliées à un point commun
15 (PC) et dont les grilles constituent les entrées
de l'amplificateur opérationnel, le circuit miroir
comportant deux transistors bipolaires (11,12)
dont les collecteurs sont reliés respectivement
aux drains des transistors du circuit différentiel,
20 les bases de ces transistors bipolaires étant reliées
entre elles, tandis que leurs émetteurs sont respec-
tivement reliés à une source positive de tension
(+V) par l'intermédiaire d'une résistance (R_7 ,
 R_8), ce circuit miroir comportant en outre un tran-
25 sistor supplémentaire (10) dont l'émetteur est
relié aux bases des deux transistors bipolaires
(11, 12) et dont la base est reliée au collecteur
de l'un des deux transistors bipolaires, (11,12),
le collecteur de ce transistor supplémentaire (10)
30 étant relié à un circuit de dérivation de courant
dans le circuit générateur de courant.

2. Amplificateur selon la revendication 1,

caractérisé en ce que le circuit générateur de courant (GC) comprend un premier transistor à effet de champ (7) dont le drain est relié au point commun (PC) des sources des transistors à effet de champ (8, 9) du circuit différentiel (ED) et dont la source est reliée à une source de tension négative ($-V'$) par l'intermédiaire d'une résistance (R_4), la grille de ce premier transistor à effet de champ (7) étant reliée au drain d'un deuxième transistor à effet de champ (6) dont la source est reliée à la source négative de tension ($-V'$) par l'intermédiaire d'une résistance (R_5), la grille de ce deuxième transistor étant reliée à la source de tension négative ($-V'$), la grille du premier transistor (7) étant en outre reliée par une résistance (R_6) au point commun à une résistance de polarisation (R_9) et à une diode Zener (Z), elle-même reliée à la source de tension négative ($-V'$), cette résistance de polarisation (R_9) étant reliée au circuit de dérivation de courant qui est constitué par une résistance (R_{10}) reliée, d'une part au collecteur du transistor bipolaire supplémentaire (10) du circuit miroir (CM) et, d'autre part, à la source de tension positive ($+V$).

3. Amplificateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que le circuit générateur de courant (GC) comprend un transistor bipolaire (6') dont le collecteur est relié au point commun aux deux transistors à effet de champ (8, 9) du circuit différentiel (ED) et dont l'émetteur est relié à une source négative de tension ($-V'$) par l'intermédiaire d'une résistance (R_4'), la base du transistor bipolaire (6') étant connectée à une diode Zener (Z), elle-même reliée à la source négative de tension ($-V'$), cette base étant en outre reliée au collecteur

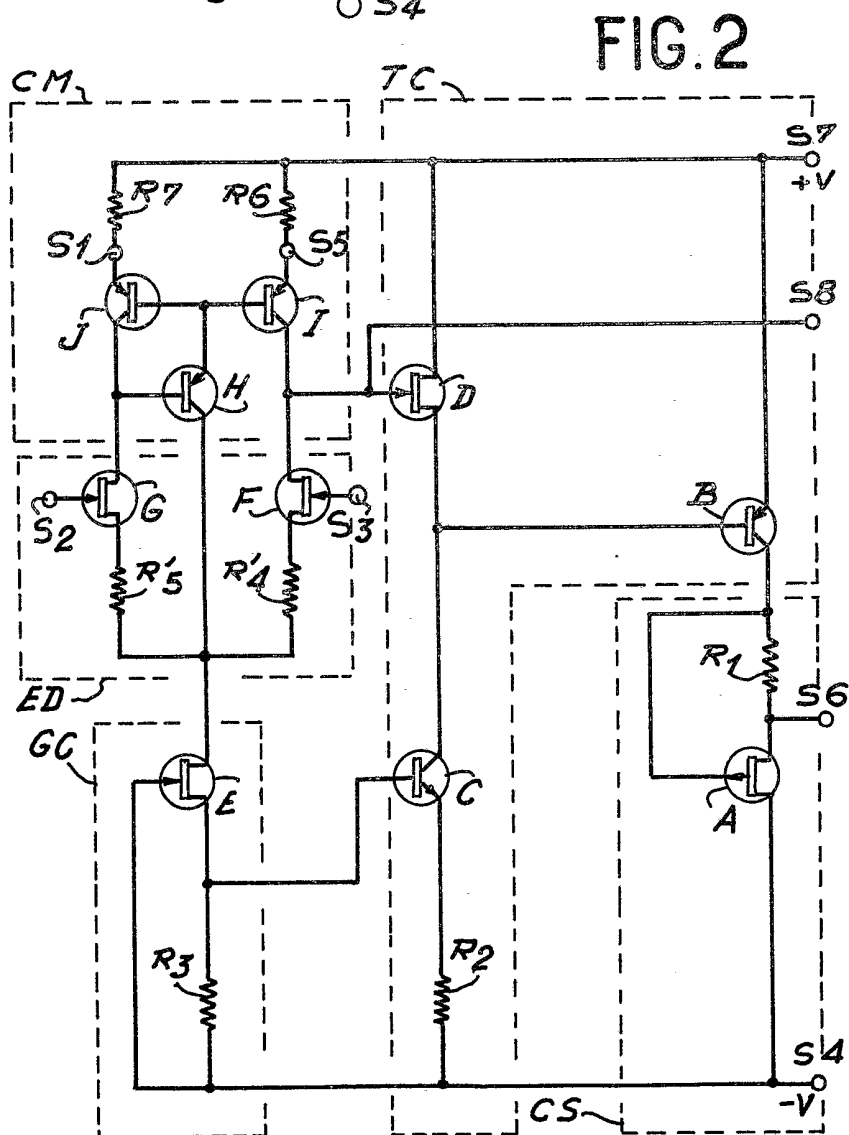
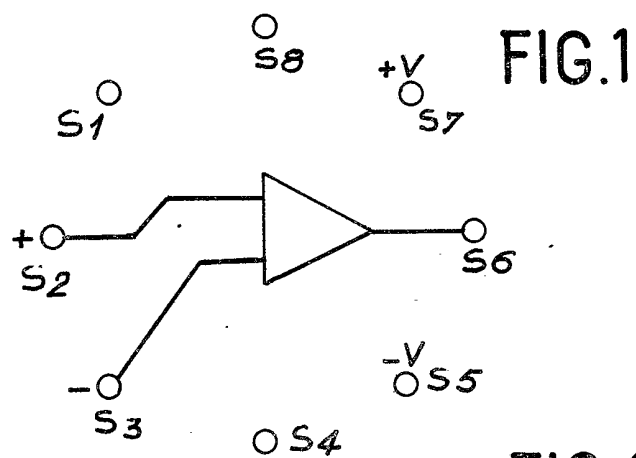
du transistor bipolaire supplémentaire (10) du circuit miroir (CM) par l'intermédiaire dudit circuit de dérivation de courant constitué par un transistor à effet de champ (4') dont la source est reliée
5 à la grille et à la diode de Zener (2), le drain de ce transistor à effet de champ (4') étant relié au collecteur du transistor bipolaire supplémentaire (10) du circuit miroir (CM).

4. Amplificateur selon la revendication 2,
10 caractérisé en ce que le circuit convertisseur tension-courant (TC) comprend un premier transistor à effet de champ (4) dont la grille et la source sont reliées à la source négative de tension ($-V'$) et dont le drain est relié à la source d'un deuxième
15 transistor à effet de champ (D), la grille de ce transistor (D) étant reliée au collecteur de l'un des transistors (11) du circuit-miroir (CM), tandis que le drain de ce deuxième transistor (D) est
20 relié à la source de tension positive, la source de ce deuxième transistor à effet de champ étant reliée par l'intermédiaire d'au moins un redresseur (R) à un premier transistor bipolaire (3) dont l'émetteur est relié à la source positive de tension
25 ($+V$), la base de ce premier transistor bipolaire étant reliée d'une part au redresseur (R) et, d'autre part, à la source positive de tension ($+V$) par l'intermédiaire d'une résistance (R_3), le collecteur de ce premier transistor bipolaire (3) étant relié
30 à la base d'un deuxième transistor bipolaire (2) dont le collecteur est relié à la source positive de tension ($+V$), la base et l'émetteur de ce deuxième transistor (2) étant reliés par l'intermédiaire d'une résistance shunt (R_2), le circuit de sortie (CS) étant connecté aux bornes de cette résistance
35 et à la source négative de tension ($-V'$), les premier et deuxième transistors à effet de champ (4, D) étant appairés.

5. Amplificateur selon la revendication 3, caractérisé en ce que le circuit convertisseur tension-courant (TC) comprend un transistor à effet de champ (D) dont la grille est reliée au collecteur de l'un des transistors (11) du circuit miroir, (CM), tandis que le drain de ce deuxième transistor (D) est relié à la source de tension positive, la source de ce deuxième transistor à effet de champ étant reliée par l'intermédiaire d'au moins un redresseur (R) à un premier transistor bipolaire (3) dont l'émetteur est relié à la source positive de tension (+V), la base de ce premier transistor bipolaire étant reliée d'une part au redresseur (R) et d'autre part à la source positive de tension (+V) par l'intermédiaire d'une résistance (R_3), le collecteur de ce premier transistor bipolaire étant relié à la base d'un deuxième transistor bipolaire (2) dont le collecteur est relié à la source positive de tension (+V), la base et l'émetteur de ce deuxième transistor (2) étant reliés par l'intermédiaire d'une résistance shunt (R_2), le circuit de sortie (CS) étant connecté aux bornes de cette résistance et à la source négative de tension (-V'), les premier et deuxième transistors à effet de champ (4, D) étant appairés.

6. Amplificateur selon l'une quelconque des revendications 4 et 5, caractérisé en ce que le circuit de sortie (CS) comprend un transistor à effet de champ (1) de sortie dont le drain est relié à la source de tension négative (-V') et dont la source est reliée à une borne de la résistance shunt (R_2) du circuit convertisseur (TC) par l'intermédiaire d'une résistance (R_1), la grille de ce transistor à effet de champ (1) de sortie étant reliée à l'autre borne de la résistance shunt (R_2).

1 / 3



2 / 3

FIG. 3

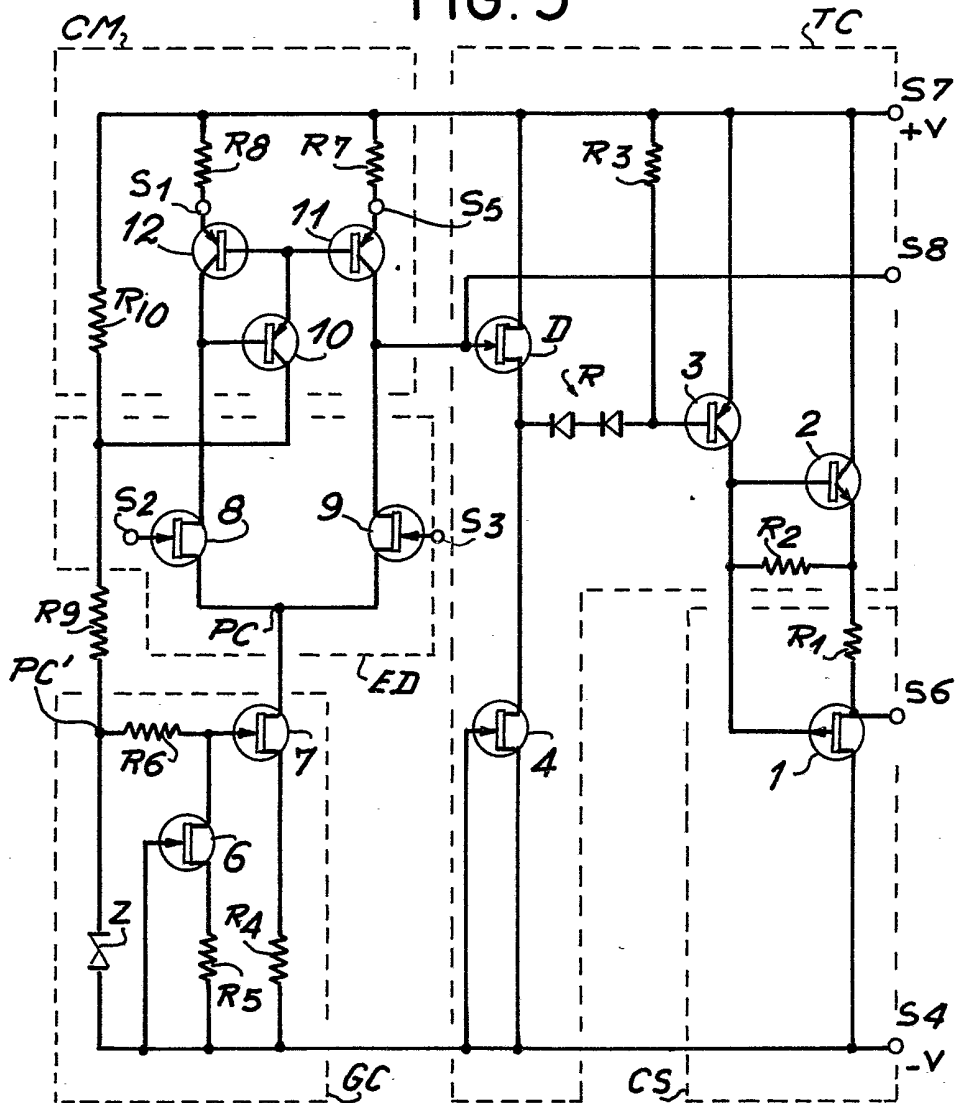


FIG. 4

