



(22) **Date de dépôt/Filing Date:** 2008/12/08

(41) **Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.:** 2009/06/12

(45) **Date de délivrance/Issue Date:** 2016/08/16

(30) **Priorité/Priority:** 2007/12/12 (FR0759789)

(51) **Cl.Int./Int.Cl.** *G01J 5/24* (2006.01)

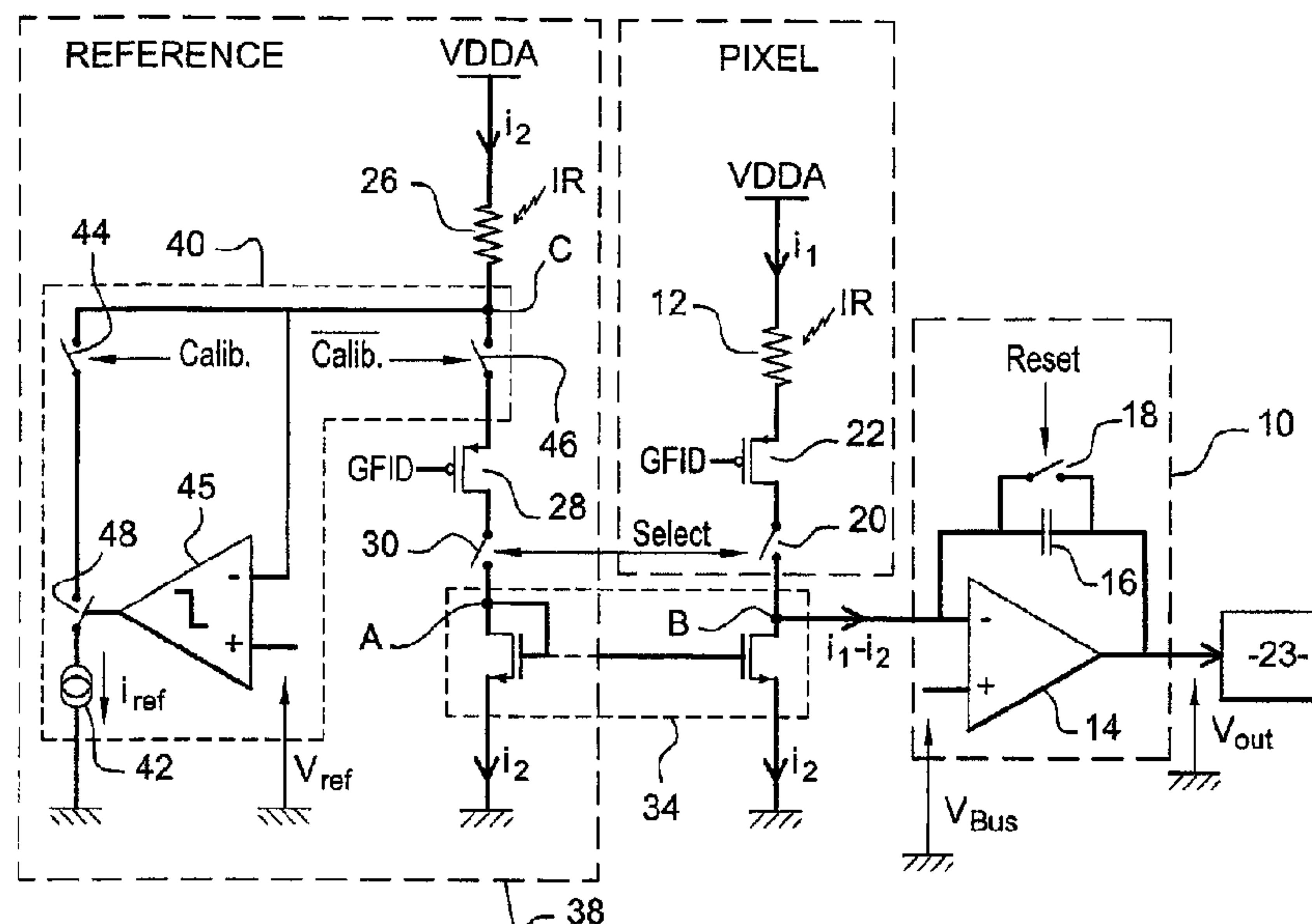
(72) **Inventeurs/Inventors:**
DUPONT, BENOIT, BE;
VILAIN, MICHEL, FR

(73) **Propriétaire/Owner:**
ULIS, FR

(74) **Agent:** BROUILLETTE & ASSOCIES/PARTNERS

(54) **Titre : DISPOSITIF POUR LA DETECTION D'UN RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUE COMPORTANT UN BOLOMETRE RESISTIF D'IMAGERIE, SYSTEME COMPRENANT UNE MATRICE DE TELS DISPOSITIFS ET PROCEDE DE LECTURE D'UN BOLOMETRE D'IMAGERIE D'UN TEL SYSTEME**

(54) **Title: ELECTROMAGNETIC DETECTION DEVICE INCLUDING A RESISTIVE IMAGING BOLOMETER, SYSTEM INCLUDING A MATRIX OF SUCH BOLOMETERS, AND PROCESS FOR READING AN IMAGING BOLOMETER IN SUCH A SYSTEM**



(57) **Abrégé/Abstract:**

L'invention concerne un dispositif pour la détection d'un rayonnement électromagnétique comportant un bolomètre résistif d'imagerie (12) sensible au rayonnement électromagnétique à détecter, destiné à être connecté électriquement à un circuit (10) de



(57) Abrégé(suite)/Abstract(continued):

formation de signal, et un bolomètre résistif de référence (26) associé électriquement au bolomètre d'imagerie (12), de manière à ce que le courant traversant le bolomètre de référence (26) soit retranché du courant traversant le bolomètre d'imagerie (12).

Selon l'invention, ce dispositif comporte des moyens (40) de commande de la résistance du bolomètre de référence par injection de courant dans celui-ci.

ABREGE TECHNIQUE

DISPOSITIF POUR LA DETECTION D'UN RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUE
COMPORTANT UN BOLOMETRE RESISTIF D'IMAGERIE, SYSTEME COMPRENANT UNE
5 **MATRICE DE TELS DISPOSITIFS ET PROCEDE DE LECTURE D'UN BOLOMETRE**
D'IMAGERIE D'UN TEL SYSTEME

L'invention concerne un dispositif pour la détection d'un rayonnement
électromagnétique comportant un bolomètre résistif d'imagerie (12) sensible au
10 rayonnement électromagnétique à détecter, destiné à être connecté électriquement à
un circuit (10) de formation de signal, et un bolomètre résistif de référence (26)
associé électriquement au bolomètre d'imagerie (12), de manière à ce que le courant
traversant le bolomètre de référence (26) soit retranché du courant traversant le
bolomètre d'imagerie (12).

15

Selon l'invention, ce dispositif comporte des moyens (40) de commande de la
résistance du bolomètre de référence par injection de courant dans celui-ci.

20 Figure 3

DISPOSITIF POUR LA DETECTION D'UN RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUE
COMPORTANT UN BOLOMETRE RESISTIF D'IMAGERIE, SYSTEME COMPRENANT UNE
MATRICE DE TELS DISPOSITIFS ET PROCEDE DE LECTURE D'UN BOLOMETRE
D'IMAGERIE D'UN TEL SYSTEME

5

DOMAINE DE L'INVENTION

La présente invention a trait au domaine de la détection de rayonnements électromagnétiques, et plus particulièrement infrarouge, à base de dispositifs microbolométriques.

10

Plus particulièrement, l'invention concerne un dispositif pour la détection d'un rayonnement électromagnétique comportant un bolomètre résistif d'imagerie sensible au rayonnement, destiné à être connecté électriquement à un circuit de formation de signal, et un bolomètre résistif de réjection de mode commun associé électriquement au bolomètre d'imagerie de manière à ce que le courant traversant le bolomètre de réjection de mode commun soit retranché du courant traversant le bolomètre d'imagerie.

15

20 ETAT ANTERIEUR DE LA TECHNIQUE

Dans le domaine des détecteurs infrarouges, il est connu d'utiliser des dispositifs agencés sous forme matricielle, et susceptibles de fonctionner à température ambiante, c'est-à-dire ne nécessitant pas de refroidissement à de très basses températures, contrairement aux dispositifs de détection appelés "détecteurs quantiques" qui eux, nécessitent un fonctionnement à très basse température, typiquement celle de l'azote liquide.

25

Ces détecteurs non refroidis utilisent traditionnellement la variation d'une grandeur physique d'un matériau approprié, en fonction de la température, au voisinage de 300K. Dans le cas des détecteurs bolométriques, cette grandeur physique est la résistivité électrique.

30

Un tel détecteur non refroidi associe généralement :

- 35 - des moyens d'absorption du rayonnement infrarouge et de conversion de celui-ci en chaleur,
- des moyens d'isolation thermique du détecteur, de telle sorte à permettre à celui-ci de s'échauffer sous l'action du rayonnement infrarouge,

- des moyens de thermométrie qui, dans le cadre d'un détecteur bolométrique, mettent en œuvre un élément résistif,
- et des moyens de lecture des signaux électriques fournis par les moyens de thermométrie.

5

Les détecteurs destinés à l'imagerie infrarouge sont classiquement réalisés sous la forme d'une matrice de détecteurs élémentaires selon une ou deux dimensions, ladite matrice étant formée de manière dite "monolithique" ou reportée sur un substrat généralement réalisé en silicium, dans lequel sont constitués des moyens d'adressage séquentiel des détecteurs élémentaires, et des moyens d'excitation électrique et de pré-

10

traitement des signaux électriques générés par ces détecteurs élémentaires. Ce substrat et les moyens intégrés sont communément désignés par le terme de « circuit de lecture ».

15

Pour obtenir une scène par l'intermédiaire de ce détecteur, on projette la scène à travers une optique adaptée sur la matrice de détecteurs élémentaires, et des stimuli électriques cadencés sont appliqués par l'intermédiaire du circuit de lecture à chacun des détecteurs élémentaires, ou à chaque rangée de tels détecteurs, afin d'obtenir un signal électrique constituant l'image de la température atteinte par chacun desdits

20

détecteurs élémentaires. Ce signal est traité de manière plus ou moins élaborée par le circuit de lecture, puis éventuellement par un dispositif électronique extérieur au boîtier afin de générer l'image thermique de la scène observée.

25

La difficulté essentielle de mise en œuvre des détecteurs bolométriques réside dans la très faible variation relative de leur résistance électrique, représentative des variations locales de température d'une scène observée, par rapport à la valeur moyenne de ces résistances.

30

En effet, les lois physiques d'émission thermique dans l'infrarouge de la scène observée entre 8 et 14 μm (correspondant à la bande de transparence de l'atmosphère terrestre dans laquelle sont habituellement utilisés des détecteurs bolométriques) conduisent à une puissance différentielle dP au niveau du plan focal détecteur de l'ordre de 50 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ lorsque la température de scène varie de 1K autour de 300 K. La détermination de cette valeur est aisément à la portée de l'homme du métier, en

35

appliquant les lois physiques précitées.

Cette estimation est valable pour une optique ouverte à $f/1$, une transmission élevée entre la scène et le détecteur, et lorsque le détecteur ne reçoit qu'une quantité négligeable d'énergie en dehors de la bande de longueur d'onde spécifiée, par exemple et typiquement si le boîtier est muni d'une fenêtre transparente dans cet intervalle et opaque en deçà et au-delà des limites indiquées.

Corollairement, la variation de température dT d'un bolomètre à l'équilibre thermique, liée à une puissance infrarouge dP absorbée sur sa surface S est donnée par l'expression suivante :

$$dT = R_{th} \cdot dP,$$

où R_{th} est une résistance thermique entre la partie sensible du bolomètre, qui s'échauffe sous l'effet du rayonnement infrarouge, et le substrat isotherme qui le porte.

Ainsi, pour un bolomètre de dimensions typiques de l'ordre de $30 \mu m \times 30 \mu m$, ce qui représente une surface de $9 \cdot 10^{-6} cm^2$, la résistance thermique typique selon l'état de la technique, est de l'ordre de 20 à 60 MK/W, ce qui conduit à un échauffement du bolomètre de l'ordre de 0,01 K à 0,03 K lorsque la température de l'élément de scène vu par ce bolomètre varie de 1 K.

Si R_b désigne la résistance électrique vue entre les deux pôles d'amenée du courant au niveau du matériau sensible bolométrique, la variation de résistance dR_b qui en résulte est exprimée par l'expression suivante :

$$dR_b = TCR \cdot dT$$

où TCR est un coefficient de variation relatif de résistance du matériau constituant la partie sensible du bolomètre au voisinage de la température de fonctionnement, classiquement voisin de -2 % par K pour les matériaux usuels dans ce domaine (oxydes de vanadium, silicium amorphe). En conséquence, la variation relative de résistance dR/R consécutive à un différentiel de 1 K sur la scène est de l'ordre de 0,02 à 0,06 %, soit $2 \cdot 10^{-4}$ à $6 \cdot 10^{-4}/K$.

Or, il est demandé aujourd'hui des résolutions thermiques d'imagerie nettement meilleures que 1 K et typiquement 0,05 K, voire moins. De tels résultats peuvent être obtenus par l'élaboration de structures présentant des résistances thermiques R_{th} très élevées de par la mise en œuvre de techniques sophistiquées. Cependant le besoin demeure de mesurer d'infimes variations relatives de résistance et typiquement, ainsi qu'indiqué précédemment, de l'ordre de quelques 10^{-6} , pour résoudre des variations

temporelles et spatiales de température de quelques dizaines de milliKelvin.

Afin d'expliciter la difficulté d'exploiter une aussi faible variation, on a schématisé en relation avec la figure 1, un circuit de lecture d'un bolomètre résistif 12 de résistance

- 5 R_b , soumis à un rayonnement infrarouge et connecté à l'une de ses bornes à une tension de polarisation constante V_{DDA} prédéterminée. Le circuit de lecture comprend un intégrateur 10 formé de :
- un amplificateur opérationnel 14 dont l'entrée non inverseuse (+) est mise à une tension constante V_{bus} prédéterminée ;
 - 10 - un condensateur 16, de capacité C_{int} prédéterminée, connecté entre l'entrée inverseuse (-) de l'amplificateur 14 et la sortie de celui-ci ;
 - un interrupteur de remise à zéro 18 connecté en parallèle du condensateur 16 et pilotable au moyen d'un signal Reset.

15 Le circuit de lecture comprend en outre :

- un premier interrupteur 20 de lecture, pilotable au moyen d'un signal « Select » et connecté à l'entrée inverseuse (-) de l'amplificateur opérationnel ;
- un transistor MOS 22 d'injection, dont la grille est mise à une tension GFID constante prédéterminée, dont la source est connectée à l'autre borne du
- 20 bolomètre 12, et dont le drain est connecté à l'autre borne du premier interrupteur 20 de sélection ; et
- une unité 23 de traitement d'information, connectée en sortie de l'amplificateur opérationnel 14, et déterminant en fonction de la tension V_{out} en sortie de celui-ci la variation de la résistance du bolomètre 12 induite par le rayonnement
- 25 infrarouge reçu par ce dernier, et donc ce rayonnement infrarouge.

Au début d'un cycle de lecture du bolomètre 12, l'interrupteur de remise à zéro 18, qui est à l'état fermé suite à un cycle de décharge du condensateur 16, est basculé à l'état ouvert par réglage du signal Reset à une valeur appropriée. Le premier

30 interrupteur 20 de lecture, qui est dans l'état ouvert, est basculé à l'état fermé par réglage du signal « Select ». Le courant traversant le bolomètre 12 est alors intégré par le condensateur 16. Lorsqu'une durée d'intégration ΔT_{int} prédéterminée s'est écoulée depuis le début du cycle de lecture, le premier interrupteur de lecture 20 est basculé dans son état ouvert. La tension V_{out} en sortie de cet intégrateur, image de la

35 résistance R_b du bolomètre, est alors donnée par l'expression :

$$V_{out} = \frac{V_{bolo}}{R_b} \times \frac{\Delta T_{int}}{C_{int}}$$

où V_{bolo} est la tension aux bornes du bolomètre 12, en admettant, pour simplifier, que R_b varie peu pendant la durée d'intégration T_{int} .

5 Ainsi, une matrice de N résistances (bolomètres) pourrait être lue selon ce principe à l'aide de l'intégration simultanée (au moyen de N intégrateurs) ou séquentielle (sur un intégrateur disposé en bout de ligne ou en bout de colonne, voire un seul intégrateur pour la matrice).

10 Lorsque la matrice ainsi réalisée est éclairée par la projection d'une scène infrarouge, V_{out} va présenter des variations spatiales (issues de chaque bolomètre) représentatives de la scène. Il est rappelé que la tension V_{out} telle qu'exprimée précédemment est constituée pour une très grande part, d'une partie constante d'un détecteur à l'autre (signal dit « de mode commun »), qui ne présente donc aucun intérêt en termes d'imagerie. Seules les infimes variations de V_{out} liées aux différences locales (entre un
15 bolomètre et un autre) et temporelles (la scène varie au cours du temps) de puissance optique reçue constituent le signal utile de la scène observée.

Or, les contraintes inhérentes aux circuits microélectroniques en termes de tension (quelques volts), les valeurs accessibles et maîtrisables des résistances bolométriques
20 R_b (quelques dizaines à quelques centaines de kOhms) et la nécessité d'utiliser des durées d'intégration suffisamment courtes, conduiraient à mettre en œuvre des capacités C_{int} de très grandes valeurs, en tout cas incompatibles avec la surface disponible dans chaque point élémentaire ou pixel de détection (de l'ordre de celle d'un bolomètre), et même en pratique incompatibles avec un report de cette capacité à
25 l'extérieur de la surface du circuit de lecture correspondant à la matrice sensible, où la surface est pourtant peu limitée. Il est donc nécessaire de mettre en place des modes de lecture qui limitent le courant à intégrer à des niveaux compatibles avec des capacités raisonnablement réalisables.

30 Par ailleurs, de par l'existence du couplage thermique entre le substrat et le bolomètre, les variations thermiques subies par le substrat se reportent sur le bolomètre. Comme les bolomètres usuels présentent une sensibilité très importante à de telles variations, ceci a pour conséquence que le signal utile de sortie est perturbé par cette composante de fond, ce qui nuit à la qualité de la détection du rayonnement
35 infrarouge.

Pour pallier ces inconvénients, il a été proposé une première structure résistive destinée à supprimer le courant de mode commun, dite de « référence » décrite dans

le document « *Performance of 320x240 Uncooled Bolometer-type Infrared Focal Plane Arrays* » de Yutaka Tanake et al., Proc. SPIE, vol 5074.

Le principe d'une structure résistive de référence est d'associer au bolomètre résistif
5 12 de la figure 1, un second bolomètre résistif identique, polarisé et connecté au
substrat de manière identique au premier bolomètre. Ce second bolomètre est en
outre agencé de manière à être essentiellement insensible au flux en provenance de
la scène, typiquement par une membrane métallique opaque. Les premier et second
bolomètres résistifs sont par ailleurs associés de sorte que le courant traversant le
10 second bolomètre est soustrait du courant traversant le premier bolomètre et que ce
soit cette différence de courants qui soit utilisée par le circuit de lecture.

Afin de distinguer les fonctions de ces deux bolomètres, on utilisera l'expression
bolomètre « d'imagerie » pour le premier bolomètre, et l'expression bolomètre « de
15 référence » pour le second bolomètre, même si dans certaines applications, de
thermométrie par exemple, on ne forme pas forcément une image, mais par exemple
une mesure de température.

Une structure de référence 24 est schématiquement illustrée à la figure 2A, qui
20 reprend les éléments de la figure 1, auxquels est associé un circuit dit « de
référence » 24. Le circuit de référence 24 comprend un bolomètre de référence 26,
un transistor MOS de polarisation 28 et un second interrupteur de lecture 30,
respectivement sensiblement identiques au bolomètre d'imagerie 12, au transistor
MOS d'injection 22 et au premier interrupteur de lecture 20.

25 Les éléments 26, 28 et 30 sont de plus polarisés et agencés de la même manière que
les éléments 12, 22 et 20, à la seule différence que le bolomètre de référence 26 est
pourvu d'une membrane métallique opaque 32 le protégeant du rayonnement issu de
la scène.

30 La structure résistive de référence comporte enfin un miroir de courant 34, dont une
branche d'entrée est connectée à une borne A du second interrupteur de lecture 30,
et dont l'autre branche d'entrée est connectée à une borne B du premier interrupteur
de lecture 20. Ce miroir de courant 34 reproduit sensiblement le courant i_2 traversant
35 le bolomètre de référence 26 au niveau de la borne B.

La mise en œuvre de miroirs de courant permet de ne disposer qu'une seule structure de référence par ligne, l'ensemble de ces structures étant disposé selon une « colonne » de référence pour un détecteur matriciel. Les miroirs de courant sont des structures connues de l'homme du métier. Elles permettent de manière générale la copie d'un courant de référence dans une structure éloignée, et en particulier la distribution de ce courant de référence dans une multitude d'éléments de circuiterie, indépendamment de leur charge résistive.

Ainsi, le courant i_2 traversant le bolomètre de référence est sensiblement égal au courant de mode commun, et le bolomètre de référence est sujet aux mêmes variations thermiques en provenance du substrat que le bolomètre d'imagerie. La différence $i_1 - i_2$ entre le courant i_1 traversant le bolomètre d'imagerie et le courant i_2 traversant le bolomètre de référence est alors sensiblement exempte des perturbations que sont le courant de mode commun et la composante liée aux variations thermiques du substrat. Cette différence de courant $i_1 - i_2$ correspond donc sensiblement au courant induit par la variation de résistance du bolomètre d'imagerie 12 du fait de son échauffement par le rayonnement infrarouge issu de la scène.

Toutefois, une structure résistive de référence est techniquement difficile à produire. En effet, pour obtenir un fonctionnement satisfaisant de celle-ci, il est nécessaire que la membrane métallique 32 protégeant le bolomètre de référence soit totalement opaque au flux issu de la scène, tout en étant thermiquement isolée des autres éléments de la structure pour éviter toute perturbation thermique sur le bolomètre de référence. On conçoit aisément qu'une telle membrane soit difficile à concevoir et à produire.

Pour pallier les inconvénients précédemment mentionnés, il a également été proposé une seconde structure résistive destinée à supprimer le courant de mode commun, dite de « compensation » décrite dans le document « *Uncooled amorphous silicon enhancement for 25 μ m pixel pitch achievement* » E Mottin et al, Proc. SPIE, Technology and Application XXVIII, Vol 4820.

La figure 2B schématise cette structure de compensation 52, qui comprend un bolomètre 50 construit typiquement à l'aide du même matériau que le bolomètre actif 12, mais essentiellement insensible au rayonnement incident du fait d'une résistance thermique par construction très faible par rapport au substrat, et optionnellement muni en complément d'un écran optique, ainsi qu'un transistor 54

de polarisation du bolomètre 50. Le bolomètre dit « thermalisé » 50 est connecté à une de ses bornes à une source de tension fixe V_{SK} , et à l'autre borne à la source d'un transistor 54 dont la grille est portée à un potentiel fixe G_{SK} et dont le drain est connecté à l'entrée inverseuse (-) de l'amplificateur 14.

5

La valeur de la résistance 50 et des polarisations sont réglées de telle manière à produire un courant de mode commun I_3 de grandeur comparable au courant I_1 , qui est retranché au courant I_1 au point de sommation de l'intégrateur 10, lequel intègre donc le courant $I_1 - I_3$.

10

Cette structure est efficace en termes de réjection de mode commun si la résistance thermique du bolomètre 50 est très faible devant celle du bolomètre d'imagerie 12, typiquement d'un facteur au moins de l'ordre de 10^3 , sinon il se forme des contrastes parasites préjudiciables à la qualité de l'image, non représentatifs de la scène, lorsqu'une zone très chaude de la scène forme une image sur ces structures. Ce résultat de haute conduction thermique peut être atteint par exemple en construisant les éléments bolométriques 50 directement au contact du substrat.

15

Cependant, une telle construction pose des problèmes ardues à maîtriser en termes de planéité des structures lors de l'assemblage technologique, et en pratique on est contraint de former les bolomètres 50 au même niveau que les membranes sensibles des bolomètres 12. Il s'ensuit qu'il subsiste ordinairement une résistance thermique non nulle entre l'élément 50 et le substrat, sauf à prendre des dispositions technologiques complexes qui nuisent au rendement de fabrication et au coût des détecteurs ainsi élaborés.

25

Il est donc nécessaire dans le cas de mise en œuvre d'une structure de référence, et au moins utile lors de la mise en œuvre d'une structure de compensation, de prévoir un écran opaque d'insensibilisation optique sur ces structures de réjection de mode commun, or la complexification sensible qu'implique l'élaboration d'une telle membrane entraîne nécessairement un surcoût, du fait d'étapes supplémentaires de fabrication et d'un rendement de production nécessairement inférieur.

30

35 EXPOSE DE L'INVENTION

Le but de la présente invention est de résoudre le problème susmentionné en proposant une structure ayant un bolomètre de réjection de mode commun qui soit

isolé efficacement du rayonnement issu de la scène sans utiliser un écran physique de protection.

5 A cet effet, l'invention a pour objet un dispositif pour la détection d'un rayonnement électromagnétique comportant un bolomètre résistif d'imagerie sensible au rayonnement, destiné à être connecté électriquement à un circuit de formation de signal, et un bolomètre résistif de réjection de mode commun associé électriquement au bolomètre d'imagerie de manière à ce que le courant traversant le bolomètre de réjection de mode commun soit retranché du courant traversant le bolomètre d'imagerie.

10

Selon l'invention, ce dispositif comporte des moyens de commande de la résistance du bolomètre de réjection de mode commun par injection de courant dans celui-ci.

15 L'invention concerne aussi un dispositif pour la détection d'un rayonnement électromagnétique d'une scène comportant un bolomètre résistif d'imagerie sensible au rayonnement électromagnétique à détecter, destiné à être connecté électriquement à un circuit de formation de signal, et un bolomètre résistif de réjection de mode commun comprenant une première et une seconde bornes, ladite première borne étant connectée à une source de tension constante et ladite deuxième borne étant associée électriquement au
20 bolomètre résistif d'imagerie, de manière à ce que le courant traversant le bolomètre résistif de réjection de mode commun soit retranché du courant traversant le bolomètre résistif d'imagerie, le dispositif comportant des moyens de commande de la résistance du bolomètre résistif de réjection de mode commun par injection de courant dans celui-ci, caractérisé en ce que les moyens de commande de la résistance du bolomètre résistif de
25 réjection de mode commun comportent:

- une source de courant pour produire un courant de référence dans le bolomètre résistif de réjection de mode commun;
- des moyens pour connecter la source de courant au bolomètre résistif de réjection de mode commun de manière à ce que le courant de référence circule dans ce
30 bolomètre; et

- des moyens pour déconnecter la source de courant du bolomètre résistif de réjection de mode commun lorsqu'une tension à la seconde borne de ce bolomètre est égale à une tension de référence prédéfinie réglant ainsi la résistance du bolomètre résistif de réjection de mode commun sur le ratio entre la tension aux bornes dudit bolomètre et le courant de référence à l'instant de déconnection de la source de courant.

Ainsi, en utilisant des moyens de commande de la résistance du bolomètre de réjection de mode commun, il est possible de régler celle-ci à une valeur indépendante du rayonnement issu de la scène, et donc d'isoler par ce moyen électrique le bolomètre de réjection de mode commun de ce rayonnement.

Selon des modes de réalisation particuliers de l'invention, le dispositif comporte une ou plusieurs des caractéristiques suivantes.

Les moyens de commande de la résistance du bolomètre de réjection de mode commun comprennent des moyens d'injection d'un courant de référence prédéterminé dans celui-ci.

Les moyens de commande comprennent des moyens de déconnection des moyens d'injection de courant lorsqu'une tension à une borne du bolomètre de réjection de mode commun est sensiblement égale à une tension de référence prédéterminée.

La tension de référence est réglée à une valeur supérieure à la tension à la borne du bolomètre de réjection de mode commun lors d'une activation des moyens d'injection de courant.

Le bolomètre de réjection de mode commun est un bolomètre de référence, et le dispositif comprend un miroir de courant apte à être connecté électriquement sur une première branche à une borne du bolomètre d'imagerie, et sur une seconde branche à une borne du bolomètre de référence.

Le bolomètre de réjection de mode commun est un bolomètre de compensation.

Les moyens de commande sont aptes à fixer la résistance du bolomètre de réjection de mode commun sur une résistance de référence dépendante de la température du substrat au
5 dessus duquel est formé le bolomètre d'imagerie.

Le bolomètre d'imagerie et le bolomètre de réjection de mode commun sont agencés dans un pont de Wheatstone.

10 L'invention a également pour objet un système de détection d'un rayonnement électromagnétique. Celui-ci comporte une matrice d'au moins une ligne de dispositifs comportant chacun un bolomètre résistif d'imagerie sensible au rayonnement et un bolomètre résistif de réjection de mode commun associé électriquement au bolomètre d'imagerie, de manière à ce que le courant traversant le bolomètre de réjection de mode
15 commun soit retranché du courant traversant le bolomètre d'imagerie. Il comporte également un circuit de formation de signal apte à être connecté électriquement au bolomètre d'imagerie pour une lecture de la variation de résistance de celui-ci. Les dispositifs de détection de ce système sont du type susmentionné.

20 L'invention concerne de plus un système de détection d'un rayonnement électromagnétique comportant une matrice d'au moins une ligne de dispositifs comportant chacun :

- un bolomètre résistif d'imagerie sensible au rayonnement et un bolomètre résistif de réjection de mode commun associé électriquement au bolomètre résistif d'imagerie de manière à ce qu'un courant traversant le bolomètre
25 résistif de réjection de mode commun soit retranché d'un courant traversant le bolomètre résistif d'imagerie,
- et un circuit de formation de signal apte à être connecté électriquement au bolomètre résistif d'imagerie, *caractérisé* en ce que les dispositifs sont chacun conformes à ce qui a été préalablement décrit.

-11a-

Selon des modes de réalisation particuliers de l'invention, le système comporte une ou plusieurs des caractéristiques suivantes.

5 Les moyens de commande de la résistance du bolomètre de réjection de mode commun sont aptes à régler sa résistance à une valeur indépendante de la scène.

10 Le circuit de formation de signal est apte à être initialisé avant une lecture du bolomètre d'imagerie, et les moyens de commande de la résistance du bolomètre de réjection de mode commun sont aptes à régler celle-ci pendant l'initialisation du circuit d'intégration.

L'invention a également pour objet un procédé de lecture d'une variation de la résistance d'un bolomètre résistif d'imagerie d'une matrice de bolomètres constitutive d'un système de détection d'un rayonnement électromagnétique.

15 Ce procédé consiste :

- à faire circuler dans un bolomètre de réjection de mode commun un courant de mode commun de la matrice,
- à générer une différence de courant entre les courants circulant dans les bolomètres d'imagerie et les bolomètres de réjection de mode commun,
- 20 • à former le signal intégré relatif au bolomètre d'imagerie en fonction de la différence de courant.

25 L'invention consiste aussi à un procédé de lecture d'une variation de résistance d'un bolomètre résistif d'imagerie d'une matrice de bolomètres d'imagerie constitutive d'un système de détection du rayonnement électromagnétique, dans lequel le système comprend un bolomètre résistif de réjection de mode commun pour chaque ligne ou colonne de la matrice de bolomètres et dans lequel le procédé consiste:

- à faire circuler dans un bolomètre résistif de réjection de mode commun un courant de mode commun de la matrice de bolomètres résistifs d'imagerie,

-11b-

- à générer une différence de courant entre les courants circulant dans les bolomètres résistifs d'imagerie et les courants circulant dans les bolomètres résistifs de réjection de mode commun,
 - à former le signal relatif au bolomètre résistifs d'imagerie en fonction de la
- 5 différence de courant,

caractérisé en ce qu'il consiste en outre, préalablement à l'étape de circulation du courant de mode commun dans le bolomètre résistif réjection de mode commun, à régler la résistance du bolomètre résistif de réjection de mode commun a une valeur inférieure à celle de tous ces mêmes bolomètres lorsqu'ils sont exposés à une scène de température

10 égale à la température correspondant à la limite haute d'une dynamique de scène prédéterminée.

Selon l'invention, préalablement à l'étape de circulation du courant de mode commun dans le bolomètre de réjection de mode commun, on procède au réglage de la résistance du

15 bolomètre de réjection de mode commun à une valeur inférieure à celle de tous ces mêmes bolomètres lorsqu'ils sont exposés à une scène de température voisine de la limite haute d'une dynamique de scène prédéterminée.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

20

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple, et réalisée en relation avec les dessins annexés, dans lesquels des références identiques identifient des éléments identiques ou analogues, et dans lesquels: la figure 1 est une vue schématique d'un bolomètre sensible et de son dispositif de lecture

25 selon l'état antérieur de la technique;

la figure 2A est une vue schématique complétant la figure 1 avec compensation de mode commun à l'aide d'une structure résistive de référence selon l'état antérieur de la technique et des éléments de circuiterie associés;

-11c-

la figure 2B est une vue schématique complétant la figure 1 avec compensation de mode commun à l'aide d'une structure résistive de compensation selon l'état antérieur de la technique et des éléments de circuiterie associés;

la figure 3A est une représentation schématique complétant la figure 2A avec compensation
5 de mode commun à l'aide de la structure résistive de référence selon l'invention;

la figure 3B est une représentation schématique complétant la figure 2B avec compensation de mode commun à l'aide de la structure résistive de compensation selon l'invention;

la figure 4 est un organigramme d'un procédé de lecture d'un bolomètre d'imagerie à l'aide de la circuiterie schématisée sur les figures 3A et 3B;

10 la figure 5A est une vue schématique d'un détecteur bolométrique selon l'invention mettant en œuvre des structures de référence ;

La figure 5B est une vue schématique d'un détecteur bolométrique selon l'invention mettant en œuvre des structures de compensation.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

5

Une structure résistive de référence selon l'invention est agencée dans un détecteur bolométrique qui comprend :

- 10 ▪ une matrice d'imagerie unidimensionnelle ou bidimensionnelle de bolomètres d'imagerie agencée dans le plan focal d'une optique transparente aux infrarouges,
- 15 ▪ un circuit de lecture formé dans un substrat sous la surface de la matrice et comprenant des moyens d'adressage ligne par ligne et d'intégration colonne par colonne de la matrice ;
- 15 ▪ un ou plusieurs bolomètres de compensation de mode commun disposés dans chaque ligne ou alternativement, chaque colonne de la matrice d'imagerie mais au-delà de la zone sensible formant l'image pour les applications d'imagerie.

Un tel agencement de détecteurs bolométriques est classique et ne sera pas expliqué plus en détail par la suite. Pour de plus amples informations, on pourra se reporter 20 par exemple, pour l'application des bolomètres de référence disposés en bout de ligne, au document « *Performance of 320x240 Uncooled Bolometer-type Infrared Focal Plane Arrays* » de Yutaka Tanake et al, Proc. SPIE, vol 5074, et pour l'application des bolomètres de compensation disposés en bout de colonne, au document « *Uncooled amorphous silicon enhancement for 25µm pixel pitch achievement* » de E. Mottin et al, Proc. SPIE Technology and Application XXVIII, 25 Vol 4820.

Il va maintenant être expliqué en relation avec les figures 3A et 5A, un premier agencement préféré d'un bolomètre d'imagerie, d'un circuit de lecture de celui-ci et 30 d'un bolomètre de réjection de mode commun selon l'invention, de type dit « de référence ».

Comme illustré à la figure 3A, une structure de référence selon l'invention comprend une colonne de référence 38 dans laquelle, en lieu et place de la 35 membrane métallique de protection, insensibilisant le bolomètre de référence contre les rayonnements de l'état de la technique illustré à la figure 2A, il est prévu un circuit 40 de commande de la résistance du bolomètre de référence 26.

On notera donc que le bolomètre de référence 26 peut être soumis au rayonnement infrarouge issu de la scène au même titre que le bolomètre d'imagerie 12.

5 Le circuit 40 de commande comprend une source de courant constant 42, connectée à une borne C du bolomètre de référence 26 au travers d'un premier interrupteur de calibration 44 pilotable par un signal Calib. La source de courant 42 injecte dans le bolomètre de référence 26 un courant d'intensité prédéterminée I_{ref} lorsque le premier interrupteur de calibration 44 est dans son état fermé.

10 Le circuit 40 de commande comprend également un second interrupteur de calibration 46, pilotable au moyen d'un signal $\overline{\text{Calib}}$, qui est un signal complémentaire du signal Calib. Ce second interrupteur de calibration est agencé entre une borne C du bolomètre et la source du transistor MOS 28.

15 Le circuit 40 comprend en outre un comparateur 45, qui compare une tension V_C de la borne C du bolomètre de référence 26 à une tension de référence prédéterminée V_{ref} .

20 Enfin, un troisième interrupteur 48, piloté par un signal de sortie du comparateur 45, est agencé entre la source de courant 42 et le bolomètre de référence 26. Plus particulièrement, le comparateur 45 maintient le troisième interrupteur 48 dans son état fermé lorsque la tension V_{ref} est supérieure à la tension V_C à la borne C, et bascule le troisième interrupteur 48 dans son état ouvert lorsque la tension V_{ref} est sensiblement égale à la tension V_C .

25 Un détecteur bolométrique comportant une matrice d'imagerie, lue par un circuit de lecture à réjection de courant de mode commun à partir de structures de référence comportant les éléments venant d'être décrits est illustré à la figure 5A.

30 Un procédé de lecture du bolomètre sensible 12 mis en œuvre par le circuit de commande 40 va maintenant être décrit en relation avec la figure 4.

Une première étape de ce procédé est une étape d'initialisation 50. L'étape 50 consiste notamment à sélectionner une valeur pour le courant I_{ref} et une valeur pour la tension V_{ref} , d'une manière qui sera expliquée plus en détail par la suite.

Une étape 52 de préchauffage du bolomètre de référence 26 sous courant constant I_{ref} et d'initialisation de l'intégrateur 10 est ensuite déclenchée par la fermeture de

l'interrupteur de « Reset » 18. Le terme de « préchauffage » est ici utilisé pour signifier qu'un cycle additionnel par rapport au fonctionnement de l'état de la technique est mis en œuvre avant un cycle de lecture classique du bolomètre d'imagerie 12. Ce cycle additionnel consiste à élever la température du bolomètre de référence 26 à une valeur particulière dépendante des valeurs I_{ref} et V_{ref} , comme cela va être expliqué ci-dessous.

On notera qu'il est équivalent pour un bolomètre de parler de sa température ou de sa résistance, ces deux grandeurs étant en effet reliées de manière bi-univoque.

10

A cet effet, la valeur du signal Select est réglée pour faire basculer les premier et second interrupteurs de lecture 20 et 30 dans leur état ouvert. Parallèlement, la valeur du signal Calib est réglée pour faire basculer le premier interrupteur de calibration 44 dans son état fermé et pour faire basculer le second interrupteur de calibration 46 dans son état ouvert.

15

Le bolomètre de référence 26 est ainsi polarisé par l'injection dans celui-ci du courant I_{ref} et subit donc un échauffement par effet joule.

20 Dans le cas d'un matériau classiquement utilisé pour fabriquer un bolomètre, comme par exemple du silicium amorphe ou un oxyde de vanadium, la résistance R_b du bolomètre évolue selon une loi d'Arrhenius selon la relation :

$$R_b = R_{ABS} \times \exp(Ea/KT) \quad (1)$$

25 où :

- Ea est une énergie d'activation de la conductivité électrique du matériau bolométrique ;
- R_{ABS} est la valeur de la résistance du bolomètre de référence lorsque la température de celui-ci tend vers l'infini ;
- 30 ▪ K la constante de Boltzmann ; et
- T est la température absolue à laquelle est portée la membrane du bolomètre.

Le coefficient de variation relative en température « TCR » de la résistance R_b qui découle de la relation (1) est exprimé par :

35

$$TCR = -Ea/(K T^2)$$

Cette grandeur est donc négative, la résistance R_b diminue lorsque la température augmente.

Toujours en 52, le niveau de la commande « Reset » est par ailleurs réglé pour faire basculer l'interrupteur de remise à zéro 18 dans son état fermé, déclenchant de ce fait la décharge du condensateur 16, qui sera maintenu dans cet état jusqu'à l'étape 58 décrite ci-après

Lors d'une étape suivante 54, un test est mis en œuvre pour déterminer si la résistance R_b du bolomètre de référence 26 est sensiblement égale à une résistance prédéterminée R_{ref} . Si le résultat de ce test est négatif, le préchauffage du bolomètre de référence 26 se poursuit. Sinon, l'étape de test 54 se termine par l'arrêt du préchauffage du bolomètre de référence 26 par la déconnexion de la source de courant 42 du bolomètre de référence 26.

15

Plus particulièrement, l'étape 54 est mise en œuvre par le comparateur 45. Selon la loi d'Ohm, la tension V_b aux bornes du bolomètre de référence 26 est modélisable selon la relation :

20

$$V_b = V_{DDA} - V_C = R_b \times I_{ref} \quad (2)$$

Le comparateur 45 bascule alors le troisième interrupteur 48 dans son état ouvert, déconnectant ainsi la source de courant 42 du bolomètre de référence 26, lorsque la tension V_{ref} est sensiblement égale à $V_C = V_{DDA} - V_b$, c'est-à-dire lorsque R_b vérifie la relation :

25

$$R_b = R_{ref} = \frac{V_{DDA} - V_{ref}}{I_{ref}} \quad (3)$$

Le préchauffage du bolomètre de référence 26 est ainsi terminé.

30

On notera que la résistance R_{ref} que présente le bolomètre de référence en fin de préchauffage est indépendante de la quantité de rayonnement infrarouge reçu par le bolomètre de référence. Le bolomètre de référence 26 est ainsi insensibilisé.

On peut en effet montrer que l'échauffement θ subi par le bolomètre de référence 26 au moment de la déconnexion de la source de courant 42 par le comparateur 45 s'approxime au premier ordre selon la relation :

35

$$\theta = \frac{1}{TCR} \times \ln \left(\frac{VDDA - V_{ref}}{R_0 \times I_{ref}} \right) \quad (4)$$

Comme on peut le constater, cet échauffement ne dépend pas du rayonnement infrarouge, mais uniquement de paramètres internes au bolomètre et ainsi que de paramètres du circuit de commande 40, à savoir le courant I_{ref} et la tension V_{ref} .

Lors d'une étape suivante 58, une lecture du bolomètre d'imagerie est déclenchée une fois le bolomètre de référence 26 préchauffé et le condensateur 16 déchargé.

10

Dans cette étape 58, la valeur du signal « Calib » est réglée pour faire basculer le premier interrupteur de calibration 44 dans son état ouvert et pour faire basculer le deuxième interrupteur de calibration 46 dans son état fermé.

15 Parallèlement, le niveau de la commande « Select » est réglé pour faire basculer les premier et second interrupteurs de lecture 20, 30 dans leur état fermé.

Parallèlement, le niveau de la commande « Reset » est ajusté pour ouvrir l'interrupteur 18 afin d'initier l'intégration du courant sur l'entrée (-) de l'intégrateur 10.

20

Le courant i_2 traversant le bolomètre de référence 26 est alors reproduit au point B. Il est donc retranché, en entrée de l'intégrateur 10, au courant i_1 traversant le bolomètre d'imagerie 12.

25

L'étape de lecture du bolomètre d'imagerie se termine alors en 60, lorsque la durée d'intégration ΔT_{int} s'est écoulée depuis la fermeture des premier et second interrupteurs de lecture 20, 30.

30 Les valeurs du courant I_{ref} et de la tension V_{ref} sont sélectionnées lors de l'étape 50 de manière à ce que :

- la valeur de V_{ref} soit inférieure à la tension V_C de la borne C lors du déclenchement du préchauffage du bolomètre de référence. Ainsi, la condition de commutation du comparateur 45 n'est pas d'emblée satisfaite. Dans le cas contraire, le préchauffage du bolomètre de référence 26 serait inhibé et le bolomètre de référence serait ainsi sensible au rayonnement ;

35

- 5 à la fin de l'étape 54, la résistance des bolomètres de référence 26 soit inférieure à celle du moins résistif des bolomètres de référence 26 de la colonne de compensation 38, lorsque ce dernier voit un élément de scène présentant une température voisine de la limite haute d'une dynamique de scène prédéterminée. Alternativement et avantageusement, comme les bolomètres de référence 26 sont typiquement équivalents aux bolomètres d'imagerie 12, cette valeur peut être estimée à partir de la lecture de la trame précédente, ou plus largement, d'un nombre prédéterminé de trames antérieures. En effet, avant l'étape 54, les bolomètres de référence 26 sont sensibles à la scène. Par conséquent, si I_{ref} et V_{ref} sont mal choisis, le comparateur 45 peut basculer instantanément et arrêter immédiatement la chauffe des bolomètres de référence 26. En d'autres termes, il convient de choisir la température θ selon la relation (4) supérieure à la température maximale que peut induire la scène, c'est-à-dire imposer une résistance inférieure à celle que peut induire la scène en son point le plus chaud. Sans cette condition, l'insensibilisation au flux radiatif risque d'être inopérante sur une ou plusieurs lignes si la zone la plus chaude de l'image vient à balayer la ou les colonne(s) de pixels de référence ; et

10

15

20

 - la durée d'échauffement nécessaire pour que la résistance du bolomètre de référence atteigne la valeur R_{ref} soit inférieure à une durée fixe estimée acceptable compte tenu de la fréquence de trame. En effet, la décharge du condensateur 16 est quasi immédiate, comparée à la durée de chauffage des bolomètres de référence. Ainsi, le cadencement des signaux Reset et Select peut être conservé.

25

Il va maintenant être expliqué en relation avec les figures 3B et 5B, un second agencement préféré d'un bolomètre d'imagerie, d'un circuit de lecture de celui-ci et d'un bolomètre de réjection de mode commun selon l'invention, de type dit « de compensation ».

30

Comme illustré à la figure 3B, une structure de réjection de mode commun selon une seconde forme de l'invention comprend une ligne de compensation 52 dans laquelle il est prévu un circuit 40 de commande de la résistance du bolomètre de compensation 50, identique et assurant la même fonction que celui précédemment décrit. Chaque bolomètre 50 peut comporter un ou plusieurs éléments bolométriques thermalisés au substrat de telle manière à présenter une résistance thermique faible devant celle des bolomètres d'imagerie 12, mais cependant non négligeable, c'est à

35

dire typiquement réalisée à l'aide de procédés simplifiés, et en particulier sans formation d'écran opaque au rayonnement.

Le circuit 40, injecte d'une part dans le bolomètre de compensation 50 un courant d'intensité prédéterminée $I_{ref-comp}$ lorsque le premier interrupteur de calibration 44 est dans son état fermé, et le second interrupteur 46, agencé entre une borne D du bolomètre 50 et la source du transistor MOS 54, est simultanément dans son état ouvert ; d'autre part le circuit 40 compare au moyen du comparateur 45 une tension V_D de la borne D du bolomètre de compensation 50 à une tension de référence prédéterminée $V_{ref-comp}$; et enfin le comparateur 45 maintient le troisième interrupteur 48 dans son état fermé lorsque la tension $V_{ref-comp}$ est supérieure à la tension V_D à la borne D, et bascule le troisième interrupteur 48 dans son état ouvert lorsque la tension $V_{ref-comp}$ est sensiblement égale à la tension V_D .

La figure 5B illustre un détecteur bolométrique comportant une matrice d'imagerie, lue par un circuit de lecture à réjection de courant de mode commun à partir de structures de compensation comportant les éléments venant d'être décrits.

Le procédé de lecture du bolomètre sensible 12 mis en œuvre par le circuit de commande 40 peut être décrit exactement de la même manière que précédemment développé, à travers une séquence d'étapes 50 à 54 identiques, en considérant respectivement « compensation » pour « référence », $V_{ref-comp}$ pour V_{ref} , $I_{ref-comp}$ pour I_{ref} , « bolomètre 50 » pour « bolomètre 26 », « borne D » pour « borne C », V_D pour V_C , V_{SK} pour V_{DDA} , R_{comp} pour R_b , R_{comp} étant la résistance du bolomètre de compensation 50.

A l'issue de l'étape 54, la résistance du bolomètre de compensation 50 est portée à la valeur prédéterminée $R_{comp-ref}$ égale à $V_{ref-comp} / I_{ref-comp}$

Les étapes 58 et 60 sont identiques à ce qui a précédemment été décrit, à ceci près que seul l'interrupteur 20 est concerné pour la sélection du bolomètre à lire.

Avant l'étape 54, les bolomètres de référence 26 sont faiblement, mais mesurablement sensibles à la scène. Par conséquent, si $I_{ref-comp}$ et $V_{ref-comp}$ sont mal choisis, le comparateur 45 peut basculer instantanément et arrêter immédiatement la chauffe des bolomètres de compensation 50. En d'autres termes, il convient de choisir la température θ selon la relation (4) supérieure à la température maximale que peut induire la scène sur les bolomètres de compensation, c'est-à-dire imposer

une résistance inférieure à celle que peut induire la scène en son point le plus chaud. Sans cette condition, l'insensibilisation risque d'être inopérante sur une ou plusieurs colonnes, si la zone la plus chaude de l'image vient à balayer la ou les lignes(s) de bolomètres de compensation.

5

En conséquence, les valeurs du courant $I_{ref-comp}$ et de la tension $V_{ref-comp}$ sont sélectionnées lors de l'étape 50 de manière à ce que :

- 10 ▪ la valeur de $V_{ref-comp}$ soit inférieure à la tension V_D de la borne D lors du déclenchement du préchauffage du bolomètre de compensation. Ainsi, la condition de commutation du comparateur 45 n'est pas d'emblée satisfaite. Dans le cas contraire, le préchauffage du bolomètre de compensation 50 serait inhibé et le bolomètre de compensation ne serait pas insensibilisé au rayonnement ;
- 15 ▪ à la fin de l'étape 54, la résistance $R_{comp-ref}$ des bolomètres de compensation 50 soit inférieure à celle du moins résistif des bolomètres de compensation, lorsque ce dernier voit un élément de scène présentant une température voisine de la limite haute d'une dynamique de scène prédéterminée.
- 20 ▪ Alternativement, les valeurs $I_{ref-comp}$ et $V_{ref-comp}$ sont sélectionnées de telle manière que la résistance $R_{comp-ref}$ des bolomètres de compensation 50 soit inférieure à celle du moins résistif des bolomètres de compensation à l'issue de la trame précédente. Avantagusement, cette valeur est extraite de la lecture de la trame précédente, à la fin de laquelle on aura procédé à la lecture de résistance de la ligne de compensation. Plus largement, on peut exploiter le résultat des lectures de la ligne de compensation en relation avec un nombre
- 25 prédéterminé de trames antérieures ; et
- 30 ▪ la durée d'échauffement nécessaire pour que la résistance du bolomètre de compensation atteigne la valeur $R_{comp-ref}$ soit inférieure à une durée fixe estimée acceptable compte tenu de la fréquence de lecture ligne. En effet, la décharge du condensateur 16 est quasi immédiate, comparée à la durée de chauffage des bolomètres de compensation. Ainsi, le cadencement des signaux Reset et Select peut être conservé.

Grâce à l'invention, on obtient lors de la lecture du bolomètre d'imagerie 12, et cela sans recourir à un dispositif physique de protection contre les rayonnements issu de la scène :

35

- une insensibilisation du bolomètre de réjection de mode commun vis-à-vis du rayonnement infrarouge issu de la scène. En effet, la durée de lecture est de l'ordre d'une cinquantaine à une centaine de micro-secondes, alors que la

- constante de temps thermique d'un bolomètre actif ou de référence est de l'ordre de quelques millisecondes. On montre ainsi, que dans le pire des cas, la variation de température du bolomètre de référence due au rayonnement issu de la scène pendant un cycle de lecture provoque une variation typiquement inférieure à 1% du courant en entrée de l'intégrateur. Dans le cas de la mise en œuvre d'un bolomètre partiellement thermalisé de compensation, la constante de temps thermique peut être de l'ordre de grandeur du temps d'intégration, et l'insensibilisation est de ce fait moins efficace en termes relatifs, cependant la sensibilité de ces bolomètres au flux thermique est déjà faible par construction, et de fait le résultat de l'invention est satisfaisant en ce que la variation du courant en entrée de l'intégrateur devient négligeable ;
- un coût de fabrication moindre puisque le circuit de commande de la résistance du bolomètre de réjection de mode commun est constitué directement dans le circuit de lecture, entraînant l'économie de fabrication de l'écran d'insensibilisation aux rayonnements, nécessaire ou au moins utile aux bolomètres de réjection de mode commun de l'état de la technique ; et
 - une atténuation substantielle des effets de la dispersion naturelle des résistances des bolomètres de réjection de mode commun, du fait que la résistance de ces éléments est imposée à une valeur commune pour toute la colonne de bolomètres de référence, ou pour toute la ligne de bolomètres de compensation.

Il a été décrit un mode de réalisation particulier de l'invention.

- En variante, la source de courant est pilotable. Par exemple, un profil de courant variable pendant la durée de préchauffage peut être préalablement déterminé de manière à encore optimiser cette durée.

- En variante encore, la sélection des valeurs V_{ref} et I_{ref} , ou $I_{ref-comp}$ et $V_{ref-comp}$ est sélectionnée de telle manière à imposer à la fin de l'étape de mise à température uniforme des bolomètres de réjection de mode commun préalable à la lecture, une résistance inférieure d'une quantité absolue ou relative prédéterminée par rapport à la valeur moyenne d'équilibre thermique des résistances R_b ou R_{comp} lorsque le circuit de commande de résistance des bolomètres de réjection de mode commun n'est pas activé.

Le propos suivant détaille ce qu'entend le terme « prédéterminé » selon le cas de mise en œuvre de structures de référence ou de compensation.

En effet, l'échauffement d'équilibre, ou ce qui revient au même, la résistance à l'équilibre thermique d'un bolomètre de référence ou de compensation sous l'effet du rayonnement maximal que le détecteur est destiné à détecter, c'est-à-dire lorsqu'il voit une scène dont la température est voisine de la limite haute de la dynamique de scène prévue, est facilement estimable à partir de ses caractéristiques de construction, notamment sa résistance thermique, l'aire efficace de sa membrane sensible et son coefficient d'absorption intégré dans la bande spectrale auquel il est sensible. Cette résistance est par ailleurs dérivable directement de la calibration d'un détecteur représentatif disposé devant un corps noir porté à ladite température.

Il suffit donc d'imposer la valeur de résistance R_{ref} ou $R_{comp-ref}$ obtenue dans les conditions précédemment indiquées, au moyen de l'invention et de la sélection des valeurs appropriées de V_{ref} et I_{ref} (ou plus simplement une seule de ces deux quantités, si l'autre est correctement dimensionnée *a priori*) liées entre elles par la relation $V_{ref} / I_{ref} = R_{ref}$, ou $V_{ref-comp} / I_{ref-comp} = R_{comp-ref}$.

Optionnellement, il peut être utile de compléter la diminution de résistance définie par l'insensibilisation à la dynamique de scène prévue selon les indications précédentes, par une diminution supplémentaire destinée à supprimer l'effet des dispersions naturelles des résistances de réjection de mode commun.

Pour donner un ordre de grandeur utile et clarifier ce propos, pour obtenir l'insensibilisation des structures de réjection de mode commun à une scène portée à 100°C au dessus de la température du plan focal, il convient d'échauffer avant intégration les bolomètres de référence de l'ordre de 2°C environ par rapport à leur température d'équilibre lorsque le détecteur voit une scène à température ambiante et en l'absence de thermalisation électrique selon l'invention. Ceci revient à diminuer leur résistance de 4% environ en considérant les matériaux bolométriques habituels du domaine.

Si la dispersion naturelle des résistances de référence est par ailleurs de l'ordre de 1%, ce qui représente un pire cas, il convient de réduire au moyen de l'invention les résistances de référence de 5% environ au total avant la phase d'intégration pour éliminer les effets spatialement dispersifs de cette distribution naturelle des résistances de référence sur la formation du signal, quelle que soit la température de scène jusqu'à 100°C. Au-delà de cette température, l'insensibilisation n'est effective

au mieux que sur une partie des lignes du détecteur et la dispersion naturelle de réjection de mode commun réapparaît progressivement.

5 Pour ce qui concerne la sélection des valeurs $I_{ref-comp}$ et $V_{ref-comp}$ à appliquer aux bolomètres de compensation, un écart de résistance sensiblement plus modéré que dans le cas précédent sera efficace pour insensibiliser la réjection de mode commun sur une dynamique de scène identique.

10 En effet, pour un bolomètre de compensation par exemple 100 fois moins sensible au rayonnement que les bolomètres actifs, un échauffement électrique préalable à la phase d'intégration d'environ 20mK est adéquat.

15 Contrairement au cas précédemment détaillé, c'est davantage la dispersion naturelle des résistances R_{comp} , indépendamment du flux thermique, qui définit la diminution de résistance à imposer avant intégration, pour assurer que toutes les colonnes seront insensibilisées. En effet si on retient comme précédemment une dispersion spatiale de l'ordre de 1% sur R_{comp} , l'échauffement préalable doit conduire à au moins 1% de diminution de résistance, c'est-à-dire s'élever à environ 1°C. Un tel échauffement est réalisable pour des structures dites thermalisées de la technique courante, en
20 l'espace de quelques microsecondes, compatible avec le chronogramme habituel de fonctionnement du détecteur, à l'aide de tensions $V_{ref-comp}$ et courants $I_{ref-comp}$ facilement réalisables en circuiterie standard du domaine.

25 C'est cet écart relatif ou absolu, globalement considéré, de manière peut-être moins raffinée que suggéré précédemment à l'aide d'estimations déduites du signal d'image, ou spécifique aux bolomètres de compensations, mais avantageusement appliqué de manière simple car indépendante de la scène courante, qu'on a appelé « écart prédéterminé ».

30 Les commentaires produits précédemment en support des variantes proposées s'appliquent nominalement et exactement à un détecteur maintenu à température de plan focal fixe, par exemple régulée par un module à effet Peltier (TEC) ou à l'aide d'un chauffage régulé du circuit de lecture.

35 Si la température du plan focal est appelée à varier, comme il est maintenant de plus en plus répandu pour des raisons économiques, il convient typiquement de prévoir une évolution concomitante et pertinente des conditions de thermalisation des bolomètres de réjection de mode commun, de manière à obtenir un résultat

satisfaisant d'insensibilisation au flux thermique de scène, à toute température dans la gamme opérationnelle du détecteur.

5 A cette fin, on peut prévoir par exemple une circuiterie électronique de type analogique, comportant typiquement au moins un élément destiné à asservir la tension V_{ref} (resp. $V_{ref-comp}$) ou le courant I_{ref} (resp. $I_{ref-comp}$) de manière adéquate en fonction de la température du plan focal (du substrat portant le circuit de lecture). Un élément typique est par exemple un amplificateur opérationnel contre-réactionné par un bolomètre thermalisé par construction (de type compensation, et disposé en
10 dehors de la surface en relation avec la scène), lequel bolomètre définit le gain de l'amplificateur en proportion de sa résistance, c'est-à-dire selon une loi représentative de la température du substrat du circuit de lecture.

15 Une autre disposition à cette fin d'asservissement fonctionnel en température de plan focal est de fournir à l'unité de traitement 28 une mesure de température du plan focal, par exemple au moyen d'une sonde formée en surface du substrat, laquelle unité de traitement établit numériquement la ou les corrections à appliquer aux sources de tension ou/et courant contrôlant les bolomètres de réjection de mode commun.

20 De cette manière, les considérations établies dans l'ensemble du document, implicitement pour une température de plan focal particulière, sont applicables à toute autre température dans une gamme étendue au voisinage de la température ambiante.

25 De même, en variante le bolomètre d'imagerie et le bolomètre de réjection de mode commun sont agencés en pont de Wheastone tel que décrit dans le document US 2003/0146383.

30 La présente invention trouve application dans le domaine des capteurs d'image à détection bolométrique, quelle que soit la bande de fréquences de détection ou du type de matériau bolométrique utilisé pour fabriquer les bolomètres d'imagerie et de référence, comme par exemple du silicium amorphe (a-Si), de l'oxyde de vanadium (Vox), un métal (Ti).

35 Par sa capacité d'adaptation à différentes températures de fonctionnement d'un capteur d'image à détection bolométrique, l'invention s'applique aussi bien aux capteurs régulés thermiquement qu'aux capteurs opérant à une température variable

du plan focal (communément désigné par l'expression « TEC-LESS »), et cela qu'un obturateur ait été ou non prévu en association avec l'optique.

REVENDICATIONS

1. Dispositif pour la détection d'un rayonnement électromagnétique d'une scène comportant un bolomètre résistif d'imagerie (12) sensible au rayonnement électromagnétique à détecter, destiné à être connecté électriquement à un circuit (10) de formation de signal, et un bolomètre résistif de réjection de mode commun (26, 50) comprenant une première et une seconde bornes, ladite première borne étant connectée à une source de tension constante et ladite deuxième borne étant associée électriquement au bolomètre résistif d'imagerie (12), de manière à ce que le courant traversant le bolomètre résistif de réjection de mode commun (26, 50) soit retranché du courant traversant le bolomètre résistif d'imagerie (12), le dispositif comportant des moyens (40) de commande de la résistance du bolomètre résistif de réjection de mode commun par injection de courant dans celui-ci, caractérisé en ce que les moyens (4) de commande de la résistance du bolomètre résistif de réjection de mode commun comportent:

- une source de courant (42) pour produire un courant de référence dans le bolomètre résistif de réjection de mode commun (26, 50);
- des moyens (48) pour connecter la source de courant (42) au bolomètre résistif de réjection de mode commun (26; 50) de manière à ce que le courant de référence circule dans ce bolomètre; et
- des moyens (48) pour déconnecter la source de courant (42) du bolomètre résistif de réjection de mode commun (26; 50) lorsqu'une tension à la seconde borne de ce bolomètre est égale à une tension de référence prédéfinie réglant ainsi la résistance du bolomètre résistif de réjection de mode commun (26; 50) sur le ratio entre la tension aux bornes dudit bolomètre et le courant de référence à l'instant de déconnection de la source de courant.

2. Dispositif pour la détection d'un rayonnement infrarouge selon la revendication 1, *caractérisé* en ce que la tension de référence est réglée à une valeur supérieure à la tension à la borne (C ; D) du bolomètre résistif de réjection de mode commun lors d'une activation des moyens (42) d'injection de courant.
3. Dispositif pour la détection d'un rayonnement infrarouge selon la revendication 1 ou 2, *caractérisé* en ce que le bolomètre résistif de réjection de mode commun est un bolomètre de référence, et en ce qu'il comprend un miroir de courant (34) apte à être connecté électriquement sur une première branche à une borne (C) du bolomètre résistif d'imagerie, et sur une seconde branche à une borne du bolomètre de référence (26).
4. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, *caractérisé* en ce que le bolomètre résistif de réjection de mode commun est un bolomètre de compensation (50).
5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, *caractérisé* en ce que les moyens de commande (40) sont aptes à fixer la résistance du bolomètre résistif de réjection de mode commun (26; 50) sur une résistance de référence dépendante de la température du substrat au dessus duquel est formé le bolomètre résistif d'imagerie (12).
6. Dispositif pour la détection d'un rayonnement infrarouge selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, *caractérisé* en ce que le bolomètre résistif d'imagerie et le bolomètre résistif de réjection de mode commun sont agencés dans un pont de Wheatstone.
7. Système de détection d'un rayonnement électromagnétique comportant une matrice d'au moins une ligne de dispositifs comportant chacun :
 - un bolomètre résistif d'imagerie (12) sensible au rayonnement et un bolomètre résistif de réjection de mode commun (26; 50) associé électriquement au bolomètre résistif d'imagerie (12) de manière à ce qu'un

courant traversant le bolomètre résistif de réjection de mode commun (26 ; 50) soit retranché d'un courant traversant le bolomètre résistif d'imagerie (12),

- et un circuit de formation de signal (10) apte à être connecté électriquement au bolomètre résistif d'imagerie (12), *caractérisé* en ce que les dispositifs sont chacun conformes à l'une quelconque des revendications 1 à 6.

8. Système de détection d'un rayonnement infrarouge selon la revendication 7, *caractérisé* en ce que les moyens (40) de commande de la résistance du bolomètre résistif de réjection de mode commun sont aptes à régler sa résistance à une valeur indépendante de la scène.

9. Système de détection d'un rayonnement infrarouge selon la revendication 7 ou 8, *caractérisé* en ce que le circuit de formation de signal (10) est apte à être initialisé avant une lecture du bolomètre résistif d'imagerie (12), et en ce que les moyens (40) de commande de la résistance du bolomètre résistif de réjection de mode commun sont aptes à régler celle-ci pendant l'initialisation du circuit (10) de formation de signal.

10. Procédé de lecture d'une variation de résistance d'un bolomètre résistif d'imagerie (12) d'une matrice de bolomètres d'imagerie constitutive d'un système de détection du rayonnement électromagnétique, dans lequel le système comprend un bolomètre résistif de réjection de mode commun pour chaque ligne ou colonne de la matrice de bolomètres et dans lequel le procédé consiste:

- à faire circuler dans un bolomètre résistif de réjection de mode commun un courant de mode commun de la matrice de bolomètres résistifs d'imagerie,
- à générer une différence de courant entre les courants circulant dans les bolomètres résistifs d'imagerie et les courants circulant dans les bolomètres résistifs de réjection de mode commun,

- à former le signal relatif au bolomètre résistifs d'imagerie en fonction de la différence de courant,

caractérisé en ce qu'il consiste en outre, préalablement à l'étape de circulation du courant de mode commun dans le bolomètre résistif réjection de mode commun, à régler la résistance du bolomètre résistif de réjection de mode commun a une valeur inférieure à celle de tous ces mêmes bolomètres lorsqu'ils sont exposés à une scène de température égale à la température correspondant à la limite haute d'une dynamique de scène prédéterminée.

1/6

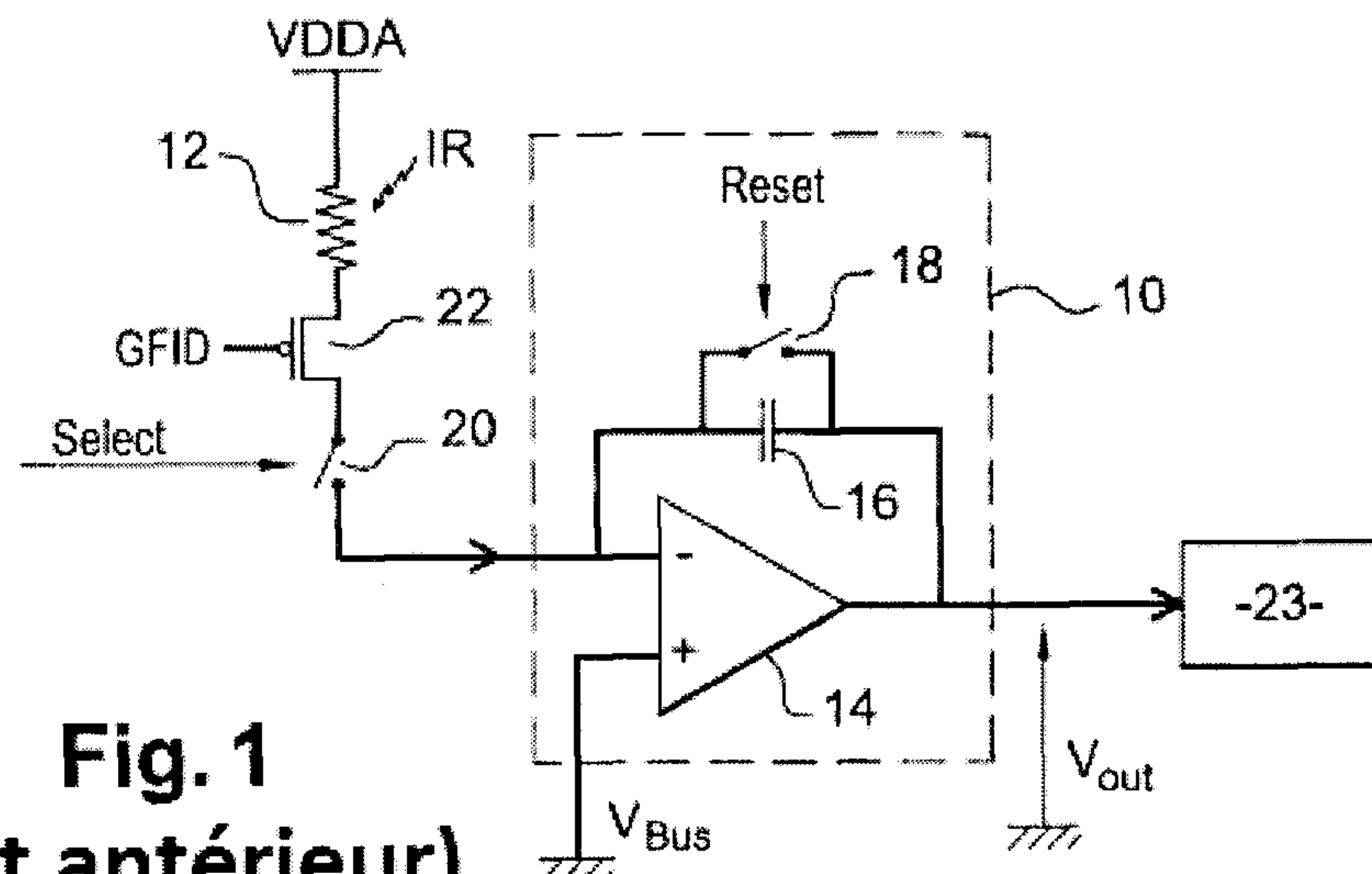


Fig. 1
(Art antérieur)

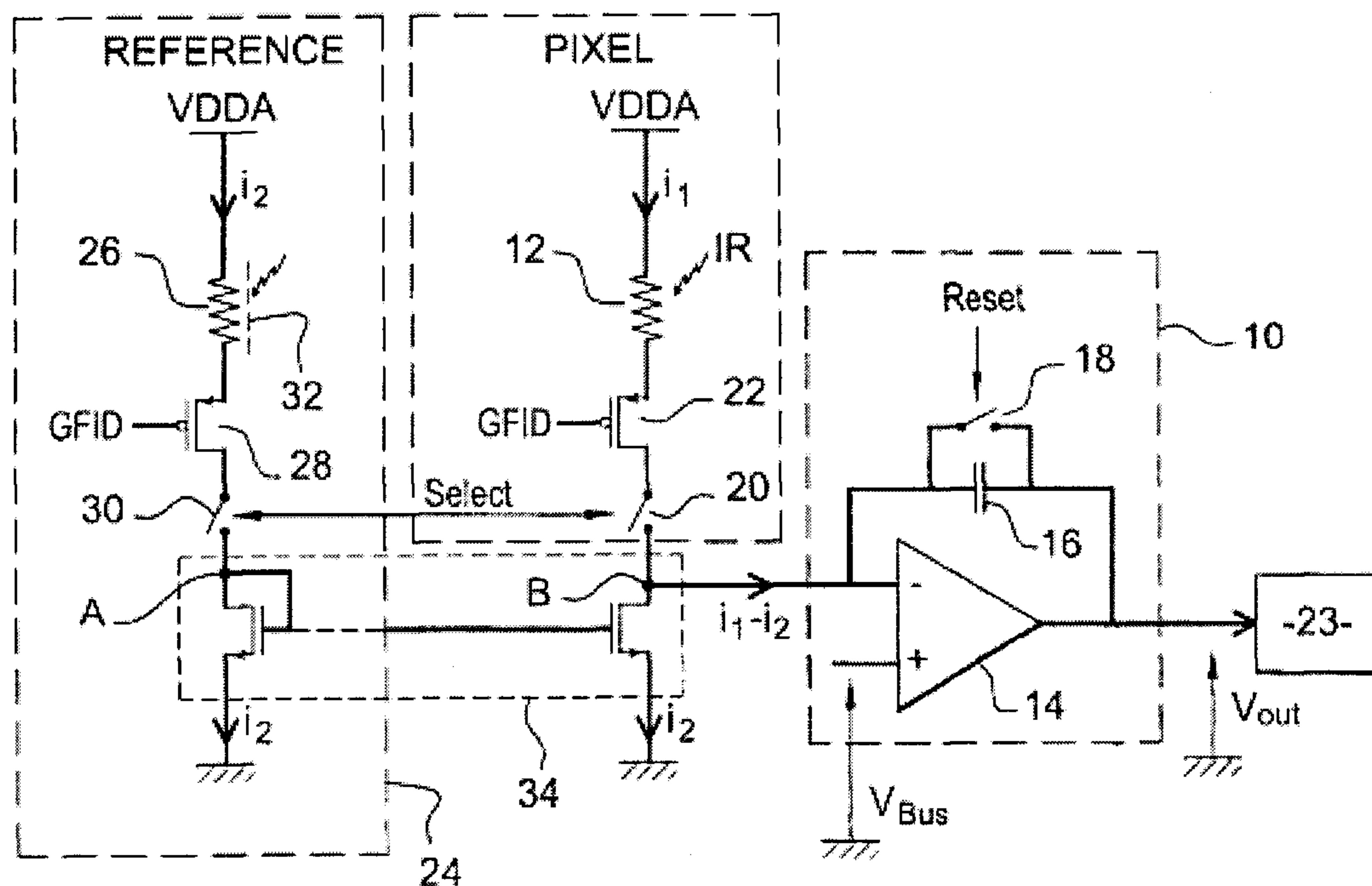


Fig. 2A (Art antérieur)

2/6

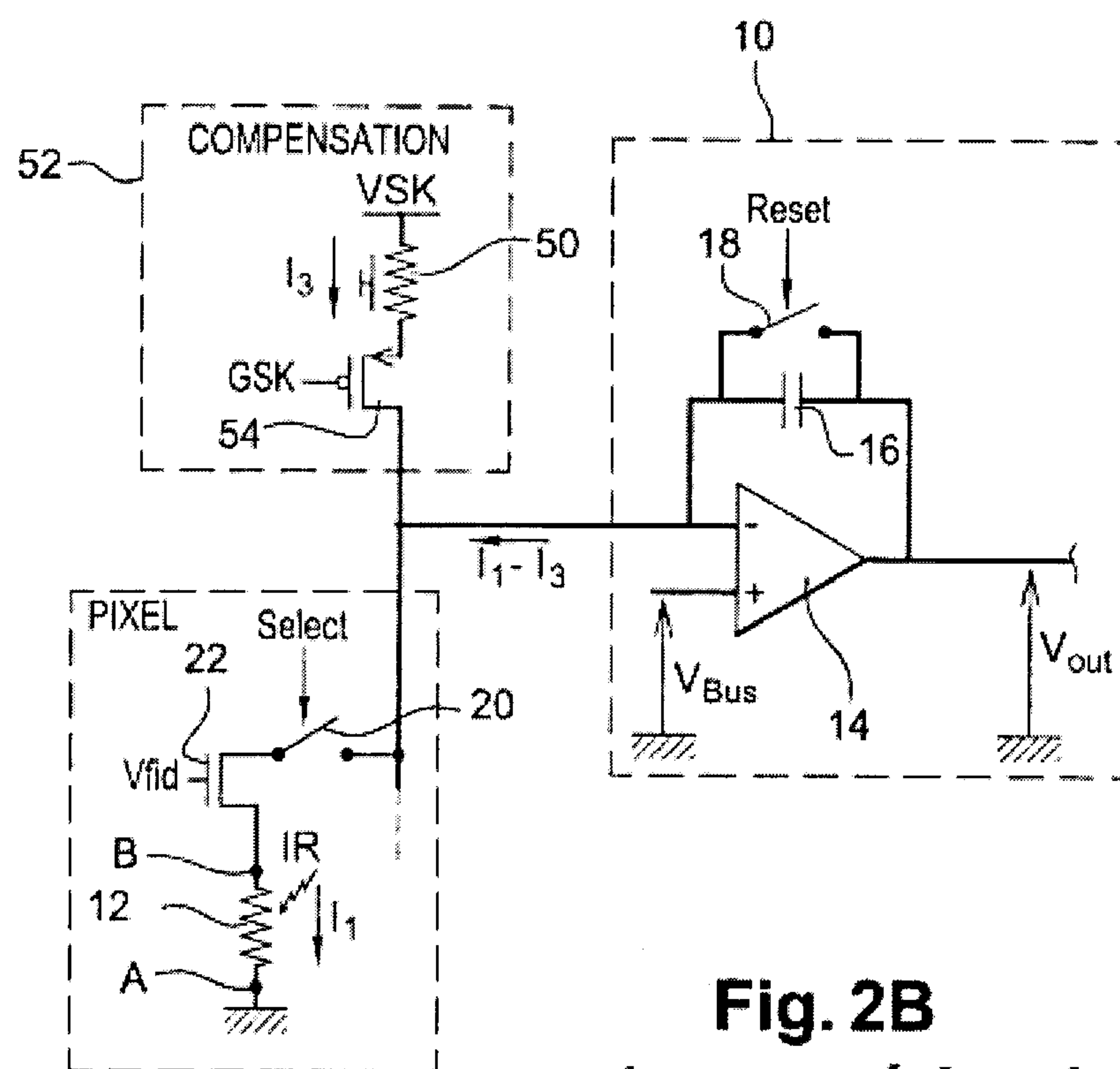


Fig. 2B
(Art antérieur)

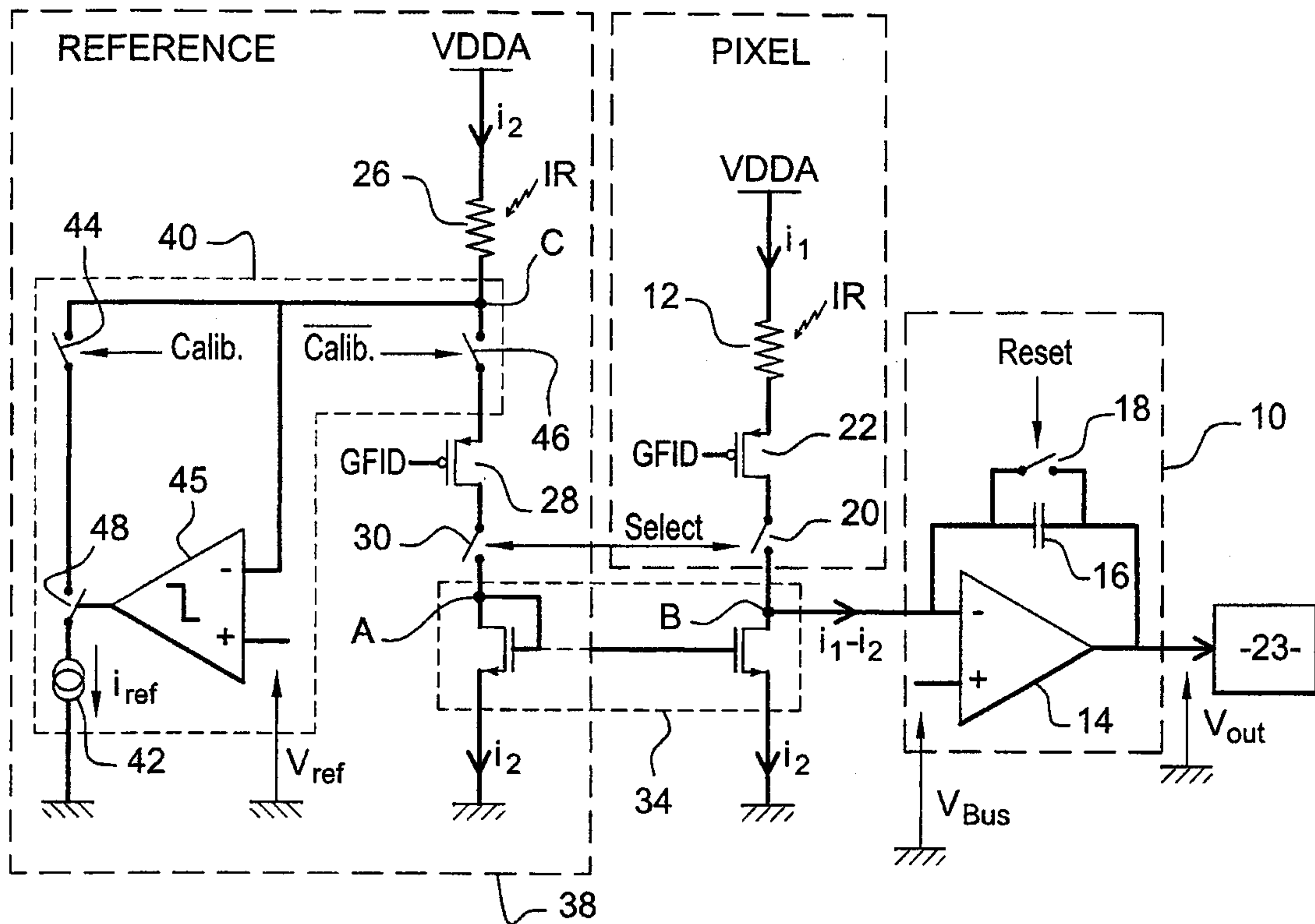


Fig. 3A

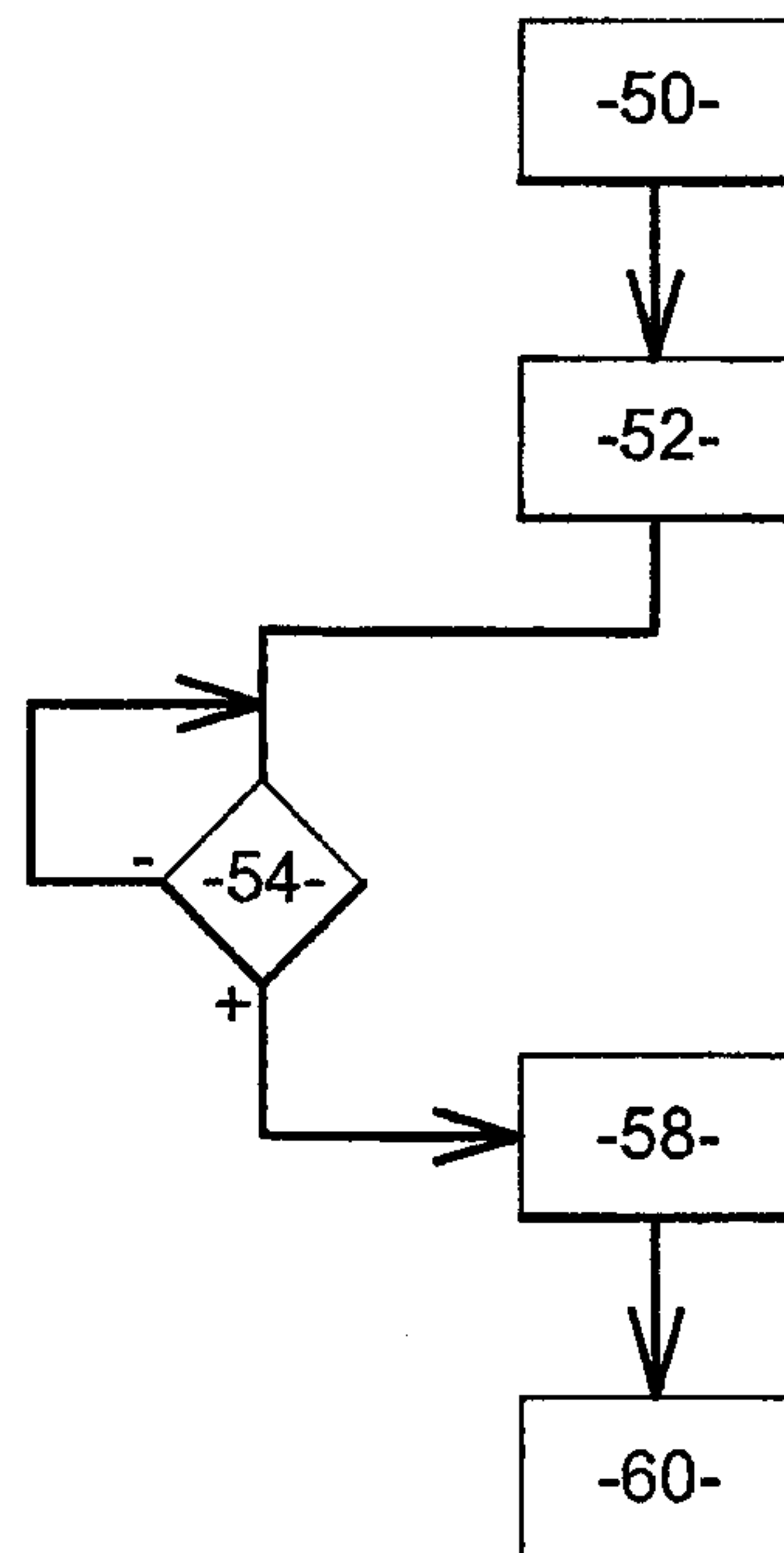


Fig. 4

4/6

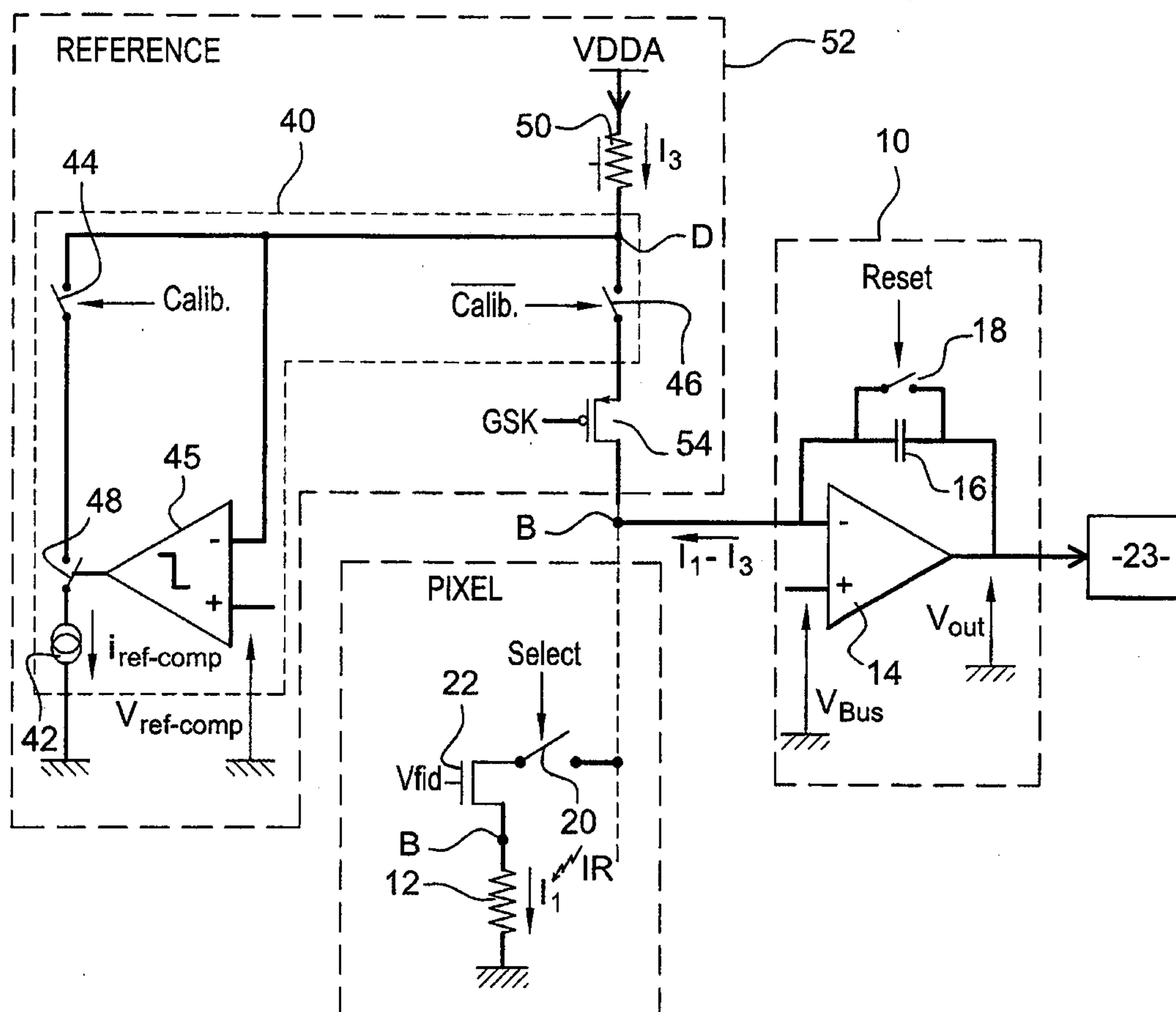


Fig. 3B

5 / 6

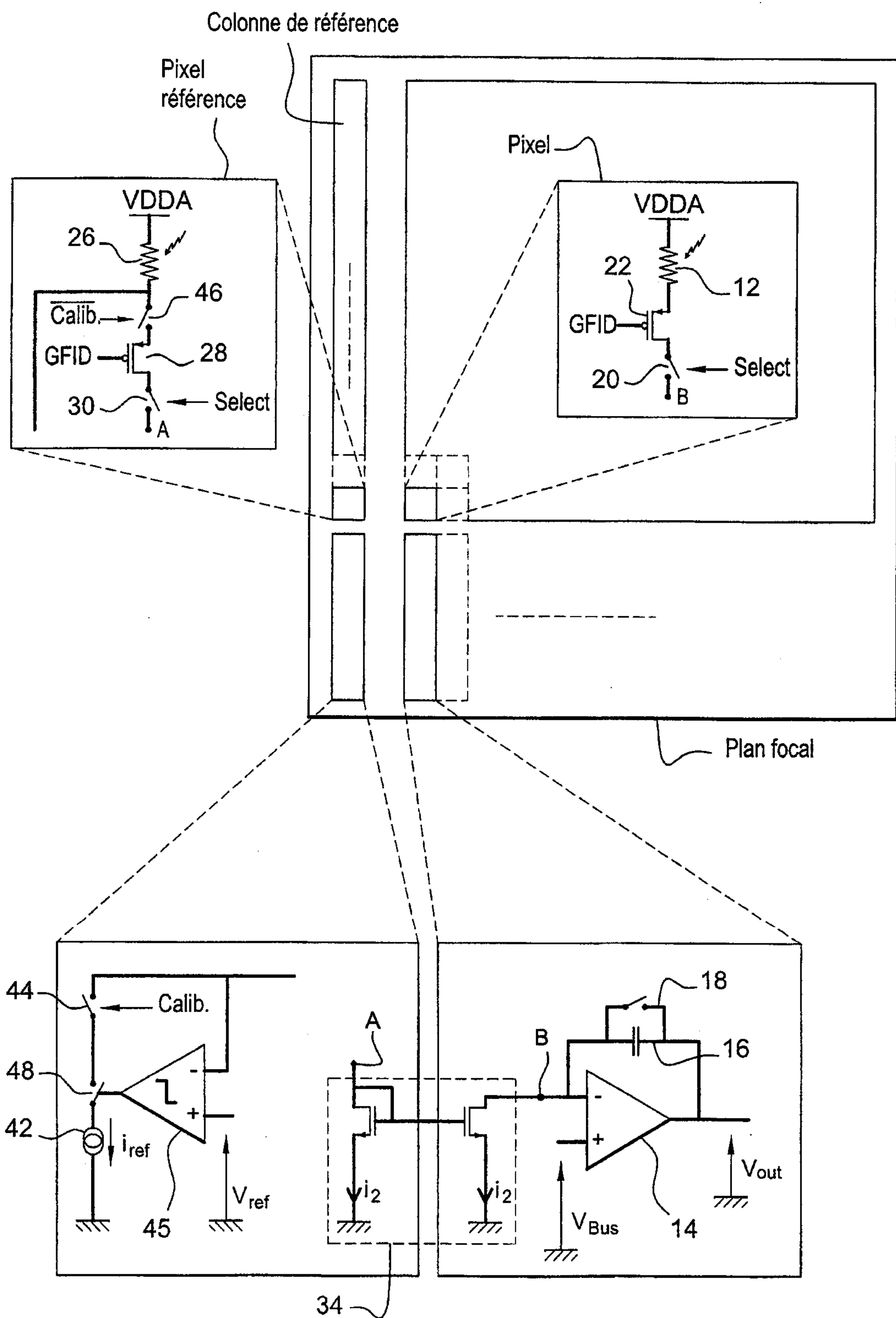


Fig. 5A

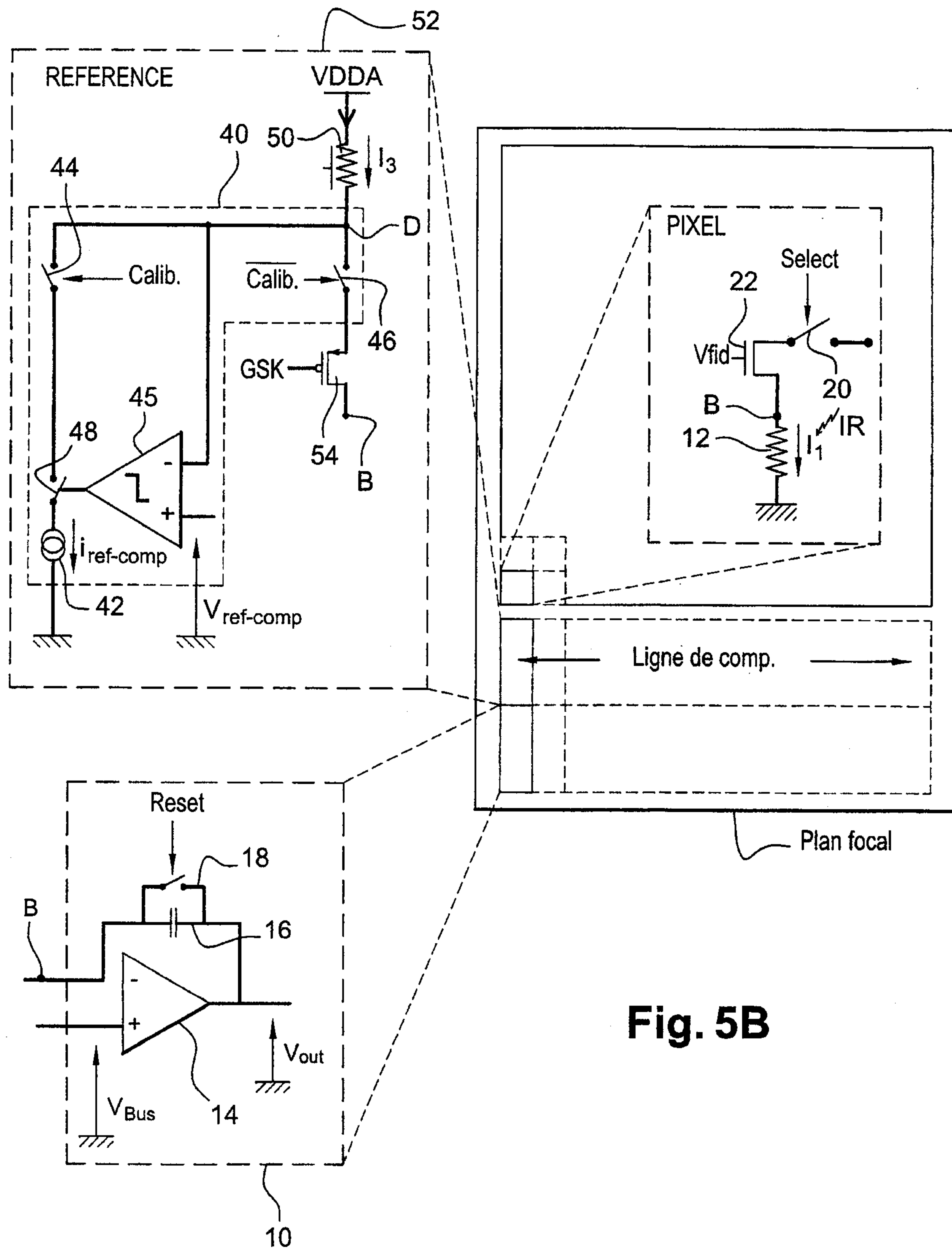


Fig. 5B

