

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 80 19912

(54)

Procédé et dispositif de stabilisation du gain d'une photodiode à avalanche.

(51)

Classification internationale (Int. CL.⁹). H 01 L 23/56; G 02 B 5/16; H 01 L 29/90.

(22)

Date de dépôt..... 16 septembre 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° 11 du 19-3-1982.

(71)

Déposant : POPHILLAT Lucien, résidant en France.

(72)

Invention de : Lucien Pophillat.

(73)

Titulaire : *Idem* (71)

(74)

Mandataire : BREVATOME,
25, rue de Ponthieu, 75008 Paris.

La présente invention a pour objet un procédé et un dispositif de stabilisation du gain d'une photodiode à avalanche. Elle trouve une application dans la réalisation de récepteurs optiques destinés à des mesures
5 telles que la mesure de l'atténuation et de la bande passante d'une fibre optique.

Les photodiodes à avalanche sont généralement employées, à la place des photodiodes classiques PIN, pour assurer la photodétection d'un signal lumineux
10 transmis par une fibre optique, parce qu'elles permettent d'obtenir un rapport signal sur bruit élevé du fait de leur gain (ou facteur de multiplication) important. Ce gain est fonction de la tension inverse de polarisation (ou tension d'avalanche) et atteint 100 pour une tension
15 généralement comprise entre 200 et 300 V, dans le cas d'une photodiode au silicium. A tension d'avalanche constante, le gain peut varier avec la température, ce qui est la cause principale d'instabilité ; d'autres causes peuvent éventuellement provenir de microdégradations
20 dues au vieillissement ou à des surcharges accidentelles. Il est donc nécessaire, chaque fois qu'une mesure précise doit être effectuée de prévoir une stabilisation du gain de la photodiode à avalanche utilisée.

Un procédé connu de stabilisation consiste à
25 placer la photodiode à avalanche dans une enceinte thermostatée. La stabilisation obtenue est cependant imparfaite car elle ne tient pas compte de la différence de température qui peut exister entre la zone active de la photodiode et son boîtier. Cette différence est due à
30 l'énergie thermique dégagée au niveau de la zone active par le passage du photocourant. A titre indicatif, ce phénomène peut provoquer une erreur de 1 dB pour une puissance optique moyenne incidente de 100 nW et un gain de 100.

D'autres procédés et dispositifs ont été utilisés pour stabiliser le gain d'une photodiode à avalanche. Ils sont fondés sur une correction de la tension d'avalanche en fonction de la température, laquelle est encore mesurée à proximité du ou sur le boîtier de la photodiode. Le calcul de la correction, qui tient compte des caractéristiques de la photodiode utilisée, peut être effectué par des circuits analogiques ou numériques. Mais comme pour le premier procédé, l'écart de température entre la zone active de la photodiode et son boîtier n'est pas pris en compte ni corrigé.

La présente invention a pour but de remédier à ces inconvénients en proposant un procédé et un dispositif aptes à conférer à la photodiode la stabilité requise pour les mesures les plus fines. A cette fin, la grandeur servant de référence n'est plus la température mais le photocourant primaire c'est-à-dire le courant obtenu lorsque la tension appliquée est faible (de l'ordre de 10 V), le gain de la photodiode étant alors égal à l'unité. Ce courant est indépendant de la température et des éventuelles fluctuations aléatoires du gain avec la tension d'avalanche. Le gain de la photodiode est alors ajusté par correction de la tension appliquée à la photodiode. Selon l'invention on effectue donc un asservissement du photocourant en régime d'avalanche au photocourant primaire. Comme ce dernier est beaucoup plus faible que le premier, cela nécessite naturellement qu'il soit au préalable amplifié pour fournir une grandeur de référence convenable à partir duquel un signal d'erreur peut être engendré.

De manière plus précise, l'invention a pour objet un procédé de stabilisation du gain d'une photodiode à avalanche, ce procédé étant caractérisé en ce qu'une tension de polarisation étant appliquée à cette photodiode, on corrige cette tension en fonction d'une tension

d'erreur que l'on obtient en comparant le photocourant émis par la photodiode en régime d'avalanche au photocourant primaire amplifié dans un rapport égal au gain d'avalanche désiré.

5 Dans une première variante de ce procédé, on obtient le photocourant primaire en abaissant temporairement la tension inverse de polarisation appliquée à la photodiode à stabiliser à une valeur correspondant à un gain unité et en mémorisant la valeur prise alors par le
10 photocourant émis par la photodiode.

Dans une seconde variante du procédé, on obtient le photocourant primaire en utilisant une photodiode auxiliaire de type PIN placée dans les mêmes conditions opératoires que la photodiode à stabiliser et
15 éclairée par une fraction du flux lumineux dirigé sur la photodiode à stabiliser, et en appliquant à cette photodiode auxiliaire une tension correspondant à un gain unité.

La présente invention a également pour objet un
20 dispositif de stabilisation du gain d'une photodiode à avalanche ; ce dispositif met en oeuvre le procédé qui vient d'être défini et il est caractérisé en ce qu'il comprend une source réglable de tension inverse de polarisation de la photodiode et une boucle d'asservissement
25 de cette tension, cette boucle étant constituée par un moyen pour mesurer la valeur du photocourant primaire correspondant à un gain unité, un amplificateur de ce courant dans un rapport égal au gain désiré, un comparateur à deux entrées dont l'une est reliée audit amplifi-
30 cateur et dont l'autre est reliée à la photodiode et reçoit le photocourant en régime d'avalanche, le signal délivré par ce comparateur constituant un signal de correction appliqué à la source réglable de tension inverse de polarisation.

35 Comme le procédé qu'il met en oeuvre, le dispo-

sitif de l'invention comprend deux variantes, selon qu'il utilise ou non une photodiode auxiliaire de type PIN pour obtenir le photocourant de comparaison.

Des modes particuliers de réalisation vont maintenant être décrits en référence à des dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 est un schéma des moyens essentiels du dispositif de l'invention dans la première variante où le signal de comparaison est prélevé sur la photodiode à stabiliser,
- la figure 2 représente un mode particulier de réalisation d'un dispositif conforme à cette première variante,
- la figure 3 représente le circuit d'une base de temps utilisable dans le dispositif de la figure précédente,
- la figure 4 est un schéma des moyens essentiels du dispositif de l'invention dans la seconde variante utilisant une photodiode PIN auxiliaire.

Dans le cas spécifique où la photodiode à stabiliser est utilisée dans un appareil destiné à effectuer une mesure, il n'est pas nécessaire d'assurer en permanence la réception du signal lumineux. Il est alors avantageux de n'utiliser qu'une seule photodiode à avalanche, pour la mesure des photocourants primaire et d'avalanche. En effet, une photodiode à avalanche peut fonctionner comme une photodiode classique PIN par abaissement de la tension inverse de polarisation à environ 10 V. Durant cet abaissement, le gain global du photorécepteur est divisé par le gain M que l'on trouve en régime d'avalanche. Durant cette période, naturellement, le flux lumineux incident n'est plus mesuré, ce qui signifie que la mesure est interrompue. Cette coupure peut être de très courte durée devant la période de fonctionnement utile où le gain a sa valeur normale M et elle n'apporte donc aucune gêne sensible dans la plupart des cas et notamment lors-

qu'il s'agit d'effectuer une mesure de l'atténuation et de la bande passante d'une fibre optique.

Le bloc-diagramme schématique d'un dispositif mettant en oeuvre cette variante du procédé est représenté sur la figure 1. Tel que représenté, le dispositif comprend une photodiode 10 chargée par une résistance 20, un premier interrupteur 21 relié à la résistance 20, un premier condensateur 22, un amplificateur 23 dont le facteur d'amplification est égal au gain M désiré, un second interrupteur 24 relié à la résistance 20, un second condensateur 25, un amplificateur différentiel 26 à deux entrées, l'une reliée à la sortie de l'amplificateur 23 et l'autre au condensateur 25, une source de tension 30 réglable, commandée par le signal délivré par l'amplificateur 30 et délivrant une tension de polarisation déterminant un régime d'avalanche pour la photodiode 10 et une source auxiliaire 31 délivrant une tension de polarisation de l'ordre d'une dizaine de volts déterminant un régime où le gain est égal à l'unité, et enfin un commutateur 32 permettant de relier l'une ou l'autre des deux sources 30 et 31 à la photodiode 10. Par ailleurs, un condensateur 40 relie la photodiode à un amplificateur 41 relié à une borne de sortie 42.

Le fonctionnement de ce dispositif est le suivant. La photodiode à avalanche 10 est chargée par la résistance 20 qui présente à ses bornes une tension moyenne proportionnelle au photocourant moyen. Lorsque le commutateur 32 relie la photodiode à l'alimentation 30 délivrant la tension d'avalanche, l'interrupteur 24 prélève la tension aux bornes de la résistance 20, dans des conditions qui correspondent au fonctionnement en avalanche où le gain est M. Cette tension (qui est naturellement directement proportionnelle au photocourant d'avalanche) est gardée en mémoire par le condensateur 25. Lorsque le commutateur 32 relie la photodiode à l'alimen-

tation 31, c'est l'interrupteur 21 qui prélève la tension aux bornes de la résistance 20, dans des conditions qui correspondent à un gain unité. Cette tension (qui est elle aussi directement proportionnelle au photocourant) est gardée en mémoire dans le condensateur 22 et appliquée à l'amplificateur 23 dont le gain G a été fixé précisément à la valeur M désirée.

Si les deux tensions appliquées au comparateur 26 ne sont pas égales, celui-ci délivre une tension d'erreur non nulle qui agit sur la source de tension 30. La tension d'avalanche délivrée par celle-ci est alors modifiée dans un sens tel que la tension d'erreur s'annule. Une telle boucle d'asservissement maintient donc en permanence l'égalité $M = G$, et stabilise ainsi le gain d'avalanche.

Par ailleurs le signal véhiculant l'information relative à la mesure en cours est appliqué à travers le condensateur 40 à l'amplificateur 41 et il est finalement disponible sur la borne 42 qui constitue la sortie de mesure du dispositif.

La figure 2 représente un mode particulier de réalisation du dispositif de la figure 1. L'interrupteur 21 de la figure 1 y est constitué par un premier transistor à effet de champ 210 commandé par une impulsion de tension I_3 et par un second transistor à effet de champ 211 commandé par une impulsion I_4 . Le front de montée de cette dernière est suffisamment retardé par rapport à celui de I_3 pour que le signal parasite dû au passage du front de montée de I_3 à travers la capacité grille-source du transistor 210 n'altère pas la valeur de l'échantillon prélevé par le transistor 211.

L'amplificateur 23 de la figure 1 est constitué par des amplificateurs opérationnels 230, 233 et 235 associés à un condensateur 231 qui bloque la composante continue dépendant de la tension de décalage à l'entrée

de l'amplificateur 230 et par un potentiomètre 232 assurant le réglage de l'équilibre de la boucle d'asservissement.

5 L'interrupteur 24 est constitué par un transistor à effet de champ 241 commandé par une impulsion I_1 et précédé par un amplificateur opérationnel 240.

10 Les sources de tension 30 et 31 de la figure 1 sont constituées d'une source de tension continue 300 reliée à quatre transistors 301, 302, 320, 321. Le transistor ballast 301 est commandé, par l'intermédiaire du transistor 302, par la tension d'erreur venant du compa-
15 rateur 26 ; la tension délivrée par 301 est ensuite appliquée sur la photodiode à avalanche à travers le transistor 320. Le transistor 321 est commandé par une impulsion I_2 ; lorsqu'il est saturé, la photodiode à avalanche reçoit une tension d'une dizaine de volts déterminée par un pont diviseur formé par des résistances 310 et 311.

La base de temps représentée sur la figure 3 est destinée à délivrer les impulsions I_1 , I_2 , I_3 et I_4 nécessaires à la commande des transistors 241, 321, 210
20 et 211. Elle comprend deux amplificateurs opérationnels 60 et 61, le premier engendrant un signal triangulaire et le second transformant ce signal en un signal trapézoïdal qui est comparé à quatre seuils différents dans des comparateurs 62, 63, 64 et 65. Ces comparateurs délivrent
25 respectivement les impulsions de commande I_1 , I_2 , I_3 , et I_4 .

Le dispositif de la figure 4 correspond à la second variante de l'invention, qui utilise une photodiode
30 auxiliaire de type PIN. Les éléments déjà représentés sur la figure 1 portent les mêmes références pour simplifier. Le dispositif représenté comprend, en outre, la photodiode auxiliaire en question, qui porte la référence 10' et qui est chargée par une résistance 20' et un coupleur directif 12 qui prélève une partie du flux lumineux
35

5 dirigé sur la photodiode 10. Le commutateur 32 de la figure 1 ainsi que les moyens 21, 24, 22, 25 pour prélever par intermittence la valeur du courant primaire, deviennent inutiles dans cette variante où la photodiode 10 est en permanence reliée à la source 31. L'entrée de l'amplificateur 23 est alors en permanence reliée à la résistance de charge 20'.

10 Le dispositif qui vient d'être décrit peut être utilisé dans un appareillage de mesure de l'atténuation de la bande passante d'une fibre optique tel que celui qui est décrit dans la demande de brevet d'invention français déposée le 02.03.79 sous le numéro EN 79 05 543 et ayant pour titre "Appareillage et procédé de mesure de la fonction de transfert d'une fibre optique".

REVENDICATIONS

1. Procédé de stabilisation du gain d'une photodiode à avalanche, à laquelle une tension de polarisation est appliquée, caractérisé en ce qu'on corrige cette tension en fonction d'une tension d'erreur que l'on obtient en comparant le photocourant émis par la photodiode en régime d'avalanche au photocourant primaire amplifié dans un rapport égal au gain d'avalanche désiré.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on obtient le photocourant primaire en abaissant temporairement la tension inverse de polarisation appliquée à la photodiode à stabiliser à une valeur correspondant à un gain unité et en mémorisant la valeur prise alors par le photocourant émis par la photodiode.

3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on obtient le photocourant primaire en utilisant une photodiode auxiliaire de type PIN placée dans les mêmes conditions opératoires que la photodiode à stabiliser et éclairée par une fraction du flux lumineux dirigé sur la photodiode à stabiliser, et en appliquant à cette photodiode auxiliaire une tension correspondant à un gain unité.

4. Dispositif de stabilisation du gain d'une photodiode à avalanche (10), mettant en oeuvre le procédé selon la revendication 1 et comprenant une source réglable (30) de tension inverse de polarisation reliée à la photodiode, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une boucle d'asservissement de cette tension, cette boucle étant constituée par un moyen pour mesurer la valeur du photocourant primaire correspondant à un gain unité, un amplificateur (23) de ce courant dans un rapport égal au gain désiré, un comparateur (26) à deux entrées dont l'une est reliée audit amplificateur et dont l'autre est

reliée à la photodiode et reçoit le photocourant en régime d'avalanche, le signal délivré par ce comparateur constituant un signal d'erreur appliqué à la source réglable (30) de tension inverse de polarisation.

5 5. Dispositif selon la revendication 4, caractérisé en ce que le moyen pour mesurer la valeur du photocourant primaire comprend une source de tension auxiliaire (31) délivrant une tension correspondant à un gain
10 unité pour la photodiode, un commutateur (32) disposé entre cette source auxiliaire (31) et la source réglable (30) pour relier alternativement à la photodiode (10) à stabiliser l'une ou l'autre de ces deux sources, deux
15 moyens (21, 24) pour prélever alternativement les valeurs des photocourants en régime d'avalanche et en régime à gain unité, et deux moyens de mémorisation (22, 25) des
15 deux photocourants ainsi prélevés, le moyen (22) propre à mémoriser la valeur du photocourant en régime de gain
15 unité étant suivi d'un amplificateur (23) de gain égal au gain d'avalanche désiré, cet amplificateur étant relié à
20 l'une des entrées du comparateur (26), l'autre entrée étant reliée au moyen de mémorisation (25) du courant en régime d'avalanche.

 6. Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce que les moyens pour prélever les valeurs des
25 photocourants sont des interrupteurs (21, 24) reliés à une résistance (20) disposée en série avec la photodiode, les moyens de mémorisation étant constitués par deux
25 condensateurs (22, 25) reliés auxdits interrupteurs (21, 24), ces condensateurs mémorisant des tensions directement proportionnelles auxdits courants.
30 7. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'il comprend une base de temps assurant périodiquement les commandes suivantes :

 a) ouverture de l'interrupteur (24) prélevant la tension
35 correspondant au fonctionnement en régime d'avalanche,

- b) commande du commutateur (32) pour application d'une tension inverse de polarisation telle que le gain soit égal à l'unité,
- 5 c) fermeture puis ouverture de l'interrupteur (21) prélevant la tension correspondant au fonctionnement en gain unité,
- d) commande du commutateur (32) pour application de la tension d'avalanche,
- 10 e) fermeture de l'interrupteur (24) prélevant la tension correspondant au fonctionnement en régime d'avalanche.

8. Dispositif selon les revendications 5 et 7, caractérisé en ce que les interrupteurs prélevant les tensions correspondant au fonctionnement en régime d'avalanche et au fonctionnement en gain unité sont des transistors à effet de champ (210, 211, 241).

9. Dispositif selon la revendication 8, caractérisé en ce que les moyens de prélèvement de la tension correspondant au fonctionnement en gain unité comprennent deux transistors à effet de champ (210, 211) situés en amont et en aval d'un amplificateur opérationnel (230) suivi d'un condensateur (231) bloquant la composante continue de manière à s'affranchir des dérives de tension de décalage à l'entrée dudit amplificateur opérationnel.

25 10. Dispositif selon la revendication 4, caractérisé en ce que le moyen pour mesurer la valeur du photocourant primaire est constitué par une photodiode auxiliaire (10') de type PIN polarisée pour obtenir un gain unité et placée dans les mêmes conditions opératoires que la photodiode à stabiliser et éclairée par une fraction du signal lumineux dirigé sur la photodiode à stabiliser.

FIG.1

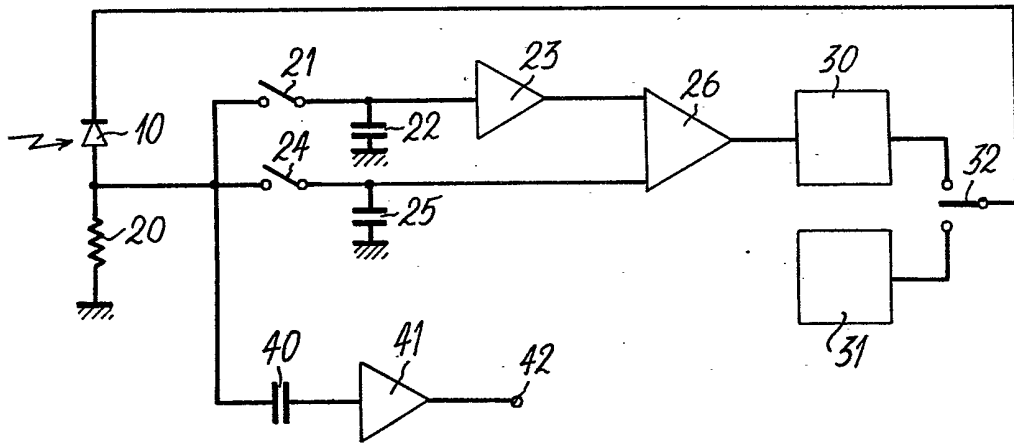
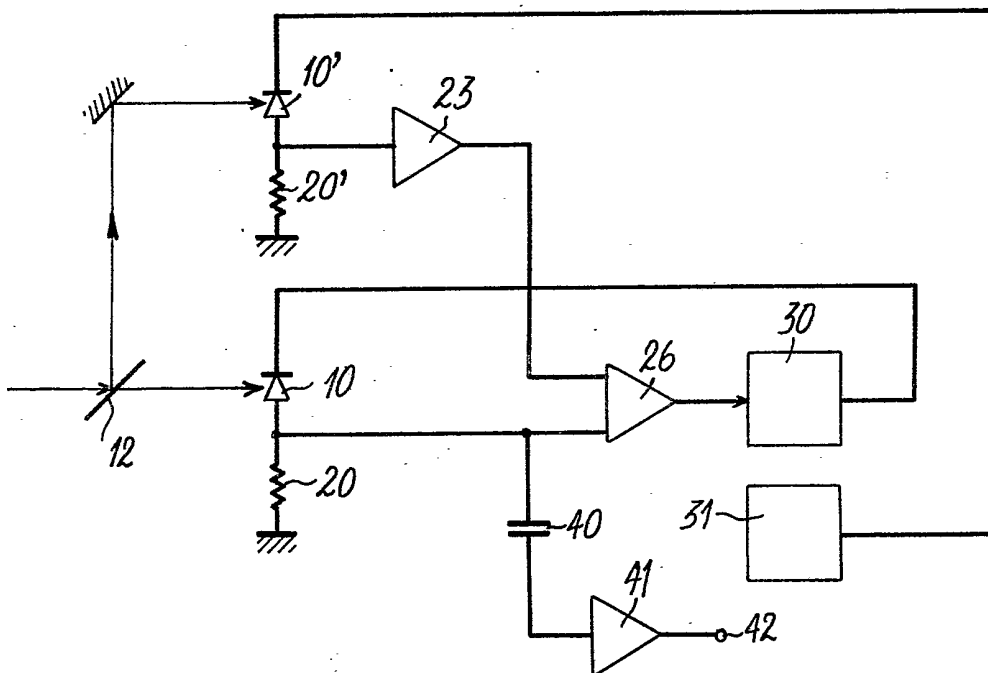


FIG.4



2/2

FIG. 2

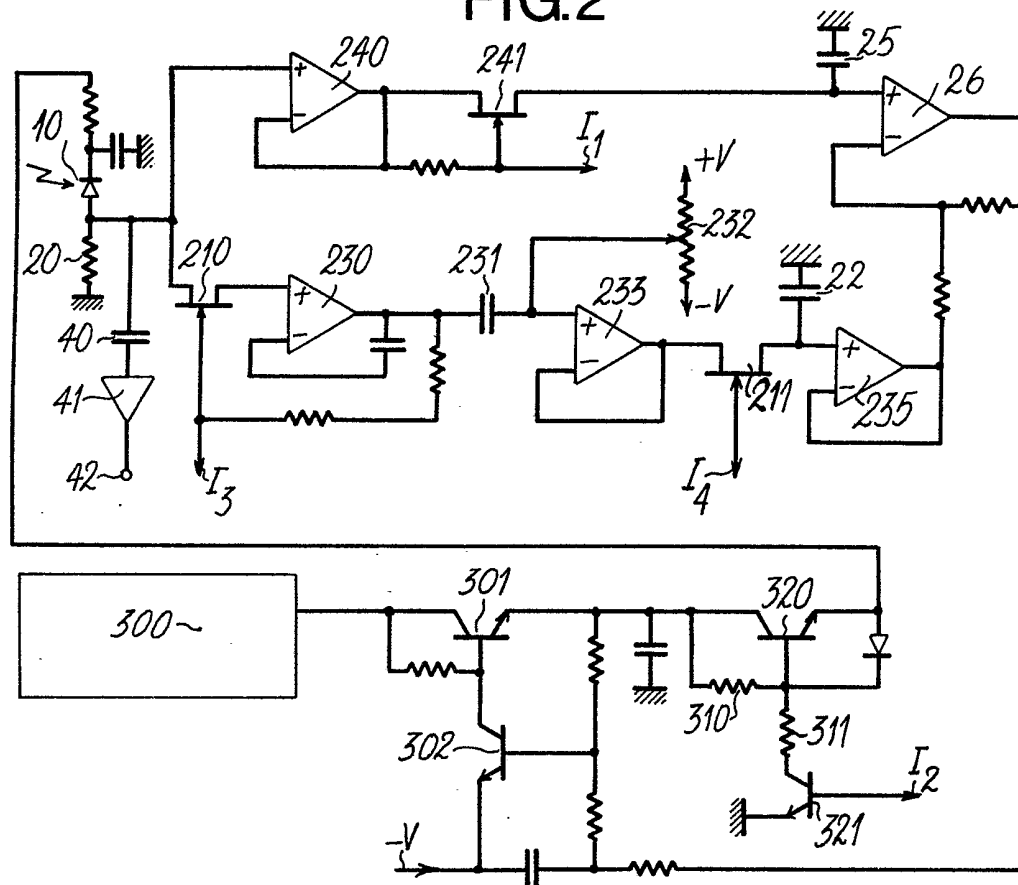


FIG. 3

