

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

②①

N° 81 12296

⑤④ Ensemble détecteur photonique, lecteur à transfert de charges adapté, et cible de prise de vues utilisant un tel ensemble.

⑤① Classification internationale (Int. Cl.³). H 01 L 27/14; H 04 N 5/33.

②② Date de dépôt..... 23 juin 1981.

③③ ③② ③① Priorité revendiquée :

④① Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 51 du 24-12-1982.

⑦① Déposant : Société dite : THOMSON-CSF, société anonyme, résidant en France.

⑦② Invention de : Marc Arques.

⑦③ Titulaire : *Idem* ⑦①

⑦④ Mandataire :

ENSEMBLE DETECTEUR PHOTONIQUE, LECTEUR A TRANSFERT
DE CHARGES ADAPTE, ET CIBLE DE PRISE
DE VUES UTILISANT UN TEL ENSEMBLE

L'invention concerne un ensemble formé par un détecteur de rayonnement et son système de lecture à transfert de charges.

Un tel ensemble est utilisé à l'élaboration d'images de rayonnements incidents, infrarouge notamment.

5 L'invention concerne en particulier le cas ou les détecteurs, ou capteurs, et les lecteurs, réalisés à l'état solide, consistent en des diodes photovoltaïques ou photodiodes, d'une part et, d'autre part, en des lecteurs à transfert de charges (DTC) - CCD dans la littérature de langue anglaise- aujourd'hui bien connus, dans lesquels le signal à
 10 lire est transféré de proche en proche vers le registre de lecture. Ce signal est ici celui des charges libres engendrées dans la diode par le rayonnement reçu. L'invention sera décrite à titre non limitatif, dans le cas de telles diodes.

Un tel transfert s'accompagne toujours d'une certaine dégradation du signal. L'expérience montre que celle-ci se produit principalement à la jonction entre le dispositif de transfert de charges et le capteur. Elle a pour cause une injection défectueuse du signal de la photodiode dans le lecteur, liée aux valeurs relatives des impédances de la photodiode et de l'élément dans lequel est injecté son
 20 signal, à savoir le transistor de liaison entre photodiode et lecteur. Elle s'observe quel que soit le solide utilisé à la réalisation des diodes, tellurure d'étain plomb (Pb, Sn, Te) ou de cadmium mercure (Hg Cd Te) et celui utilisé au transfert de charges, couramment le silicium de type n ou p.

25 La difficulté est bien connue de l'homme de l'art ; elle ressort de la formule du rendement d'injection r qui peut s'écrire :

$$r = \frac{g_m R_D}{1 + g_m R_D}$$

et qui n'est autre que celle de la répartition des courants dans un ensemble de deux résistances alimentées en parallèle à courant constant, ici l'impédance R_D de la photodiode, et $\frac{1}{g_m}$, impédance du transistor, en désignant par le terme g_m , adopté dans ce qui suit, sa transconductance.

La résistance R_D n'est guère modifiable ; elle est pratiquement fixée par l'état actuel de la technologie de réalisation des photodiodes dans les matériaux cités.

Quant au terme g_m , on peut considérer qu'il est convenablement représenté, dans les conditions habituelles, avec des transistors à faible inversion, par

$$g_m = \frac{qI_s}{kT} \quad (1)$$

où q , k , et T sont la charge de l'électron, la constante de Boltzman et la température absolue, et où I_s représente le courant total de signal mis en jeu dans l'injection, courant qui comprend une composante alternative i_s correspondant aux variations du signal lors des lectures successives.

Pour augmenter le rendement r , qui croît avec le produit $g_m R_D$, et donc, à R_D pratiquement fixe, avec g_m , on ne dispose, à température de fonctionnement donnée, que de I_s .

On a déjà proposé des dispositions permettant d'augmenter ce courant, qui est fixé par le point de fonctionnement de la diode, en lui adjoignant un courant supplémentaire, voir : Topics in Applied Physics, vol. 38, p. 78 - Charge Coupled Devices - Editor D.F. Barbe Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New-York.

L'invention a pour objet un moyen nouveau d'augmentation du courant I_s , dans les conditions qui vont être précisées.

L'invention concerne un ensemble détecteur photonique, lecteur à transfert de charges comportant au moins un détecteur photonique exposé au rayonnement incident et un lecteur des signaux de ce détecteur, reliés entre eux par une transition consistant en un transistor à effet de champ (MOS) et une grille de

transfert, transition par laquelle les signaux sont transmis du détecteur au lecteur par commutation séquentielle des potentiels des électrodes du transistor, caractérisé en ce qu'il comprend, sur le substrat du transistor, au voisinage de la source de celui-ci, une électrode supplémentaire, des moyens pour accumuler sous celle-ci, au moment de la mise en fonctionnement de l'ensemble, à l'aide des signaux du détecteur, une charge de réserve fixe, et en ce que, enfin, le potentiel appliqué à cette électrode supplémentaire au cours du cycle de commutation est un potentiel décroissant régulièrement dans le temps.

L'invention sera mieux comprise en se reportant à la description qui suit et aux figures jointes, qui représentent :

- figure 1 : le schéma électrique équivalent d'une photodiode et de son système d'injection dans le lecteur ;
- figure 2, une représentation schématique, selon l'art connu, de l'ensemble précédent ;
- figure 3, le même ensemble modifié selon l'invention ;
- figure 4, un diagramme explicatif du fonctionnement de l'ensemble précédent ;
- figure 5, le diagramme des temps correspondant ;
- figure 6, un diagramme relatif à une variante de l'invention.

La figure 1 donne le schéma équivalent de l'ensemble photodiode, système d'injection. Sur ce schéma, sont représentées les quantités R_D et g_m dont il a été question ainsi que les parties capacitives C_D et C_{CCD} , respectivement de la photodiode et du système d'injection. En basse fréquence, dans les conditions de fonctionnement, la répartition du courant entre les deux parties est régie par la formule du rendement r donnée plus haut, où ces capacités n'interviennent pratiquement pas.

Dans ce qui suit, on adoptera la terminologie et la représentation habituelles en matière de transfert de charges, utilisant la notion de "puits de potentiel", la profondeur de ces puits sous chaque électrode étant proportionnelle au potentiel de surface sous l'élec-

trode. On pourra consulter pour ces données générales l'article de M.F. Tompsett sous les références "Charge Transfer Devices" J.Vac. Sci. Technol ; vol 9, N° 4, July-August 1972 Pages 1166 à 1181 et celui de W.S. Boyle et G.E. Smitt sous les références "Charge Coupled Semiconductor Devices" The Bell System Technical Journal, April 1970 pages 587 à 593.

Ceci étant, on indique, schématiquement sur la figure 2, comment se présente en général et selon l'art connu, la transition entre un détecteur et son lecteur. Le détecteur est sur la figure une diode photovoltaïque représentée de la façon conventionnelle, sans repères. Cette diode reçoit le rayonnement photonique $h\nu$ sous l'effet duquel elle engendre un signal électrique, elle est réalisée dans un substrat choisi pour sa sensibilité au rayonnement incident, en l'un des matériaux cités, par exemple. La transition consiste en un transistor à effet de champ MOS. Le repère S désigne l'électrode de source du transistor MOS, réalisée par exemple par une diffusion dans un substrat 1 de type opposé, préférentiellement une diffusion de type N dans un substrat, en silicium par exemple, de type P. Les autres électrodes du transistor sont représentées en G_C et G_{ST} désignant respectivement la grille de commande de ce transistor et, en quelque sorte, son drain, drain sous lequel a lieu le stockage des charges de signal avant leur injection dans le dispositif à transfert de charges, dont d'entrée est la grille marquée G_{CCD} précédé par une grille de transfert marquée G_T .

Sur la figure, la transition occupe, comme on le voit, la partie comprise entre les deux traits mixtes extrêmes ; elle est composée du transistor MOS compris entre les deux premiers traits mixtes et de la grille de transfert G_T , situés entre la photodiode, à gauche et le lecteur à CCD, à droite. C'est dans cette partie qu'intervient le rendement r considéré plus haut.

Les moyens de connexion entre le substrat dans lequel est réalisée la photodiode et celui, figuré avec le repère 1 sur la figure, qui relèvent de l'art connu, n'ont pas été représentés. La même lettre S est utilisée également, en indice, pour désigner le courant mis en

jeu dans l'opération d'injection du signal de la photodiode dans le lecteur à transfert de charges.

La figure 3, reproduit le schéma précédent tel que modifié par l'invention. Une grille supplémentaire portant le repère G_{SC} est appliquée sur le substrat 1 ; dans l'exemple, elle est disposée entre la source S et la grille de commande G_C . Son rôle est la création du courant supplémentaire dont il a été question qui, ajouté au courant de signal, améliore le rendement d'injection ; il sera précisé ci-dessous à l'aide des figures 4(a, b, c, d).

C'est à cause de ce rôle, au cours duquel elle agit comme une source de courant, qu'on lui a affecté l'indice SC.

Les figures 4, représentent les états successifs des puits de potentiel et les charges contenues dans ces puits au cours d'un cycle d'injection du signal d'un détecteur dans le lecteur correspondant. Le transfert des charges s'y opère comme dans un dispositif à transfert de charges, comme il va être indiqué.

Sur ces figures, les puits de potentiel sont représentés, selon l'usage, par des échelons suivant l'axe des potentiels, orienté positivement vers le bas. Des pointillés sont utilisés pour montrer ce que serait le potentiel de ces puits en l'absence de charges ; la présence de charges est indiquée par des hachures ; ϕ_S est le potentiel de surface sous l'électrode considérée.

Au début du cycle, c'est-à-dire au temps $t = t_0$, l'état de la transition est celui de la figure 4(a).

La colonne étroite couverte de hachures à gauche de la figure représente la quantité de charges présente dans la diode de source S, maintenue constamment, comme on le voit, au niveau haut du potentiel du puits sous la grille G_C . Les charges du signal injectées dans cette diode la traversent pour gagner le puits de potentiel sous G_{SC} . Une petite quantité de charges, notée Q_i est présente dans le puits de la grille de stockage G_{ST} . On reviendra sur cette quantité Q_i plus loin.

Pendant la période d'intégration, T_i qui suit, on applique à la grille G_{SC} de l'ensemble de l'invention une rampe de tension, c'est-

à-dire une tension qui décroît régulièrement dans le temps, suivant une loi linéaire éventuellement. La tension G_{SC} diminuant (flèche de la figure 4(b)), le puits sous cette électrode se vide partiellement des charges qu'il contient qui se déplacent, sous G_C , vers l'électrode de stockage G_{ST} . Un courant supplémentaire I_0 est créé par l'écoulement de ces charges, désignées par Q_0 sur la figure, courant qui s'ajoute au courant de signal I_S dans l'expression (1) de la transconductance g_m , qui se trouve de ce fait augmentée, et éventuellement de façon sensible ; la quantité Q_0 peut être de l'ordre de la quantité de charges Q_S du signal, ou plusieurs fois supérieure à cette dernière. On notera que, dans le cas de la loi linéaire, le courant additionnel est pratiquement constant pendant toute la période d'intégration, car la capacité sous la grille G_{SC} reste constante pendant cette période, du fait que le potentiel de surface sous cette grille est fixé par le potentiel de la grille G_C , qui est maintenu constant pendant tout le cycle, comme le montrent les diagrammes des figures 4.

A la fin de la période d'intégration, T_i la situation est celle de la figure 4(b), où, sous la grille de stockage G_{ST} , sont représentées les charges Q_i , Q_S et Q_0 .

Au temps t_2 , peu après la fin de la période d'intégration, la charge Q_S est transférée sous la grille G_T , dont le potentiel est augmenté à cette fin, vers la grille d'entrée G_{CCD} (flèche) du dispositif à transfert de charges, figure 4(c). Au cours de cette phase, le potentiel haut de G_T est tel que la charge Q_S , et elle seule, est transférée sous G_{CCD} , à l'exclusion de toute fraction de la charge Q_0 , la charge Q_i étant telle que la somme des charges $Q_0 + Q_i$ remplisse alors exactement le puits de stockage sous G_{ST} . On bloque ensuite le canal sous G_T puis on diminue le potentiel sous G_S , et on redonne au potentiel de G_{SC} la valeur qu'il avait au sommet de la rampe de tension, au temps t_0 . Ceci a pour effet de ramener la charge Q_0 sous l'électrode G_{SC} ; la situation est celle de la figure 4(d), au temps t_3 . La charge Q_i est alors répartie sous les électrodes G_{SC} , G_C et éventuellement G_T ; elle est représentée sur

la figure 4(d) par le petit rectangle horizontal couvert de hachures serrées. Enfin, on élève le potentiel de G_{ST} pour revenir aux conditions de l'instant initial t_0 , avant le cycle suivant et ainsi de suite.

5 On donne, pour fixer les idées, sur la figure 5, un exemple de diagramme des temps correspondant au cycle décrit. Sur cette figure les axes des tensions V sont orientés, cette fois, positivement vers le haut ; le diagramme est fait à tension de grille de commande V_{GC} constant. On a coupé l'axe des temps pour respecter les
10 proportions entre le temps d'intégration marqué T_i et la durée de la fin du cycle, entre t_1 et t_3 , qui est une faible fraction de la période T_i , de l'ordre du dixième au centième.

 L'invention utilise, comme on l'a dit, une quantité de charges Q_0 supplémentaire pour améliorer l'injection dans le dispositif à
15 transfert de charges. En même temps, il a été question d'une autre quantité Q_i dont l'utilité n'a pas été jusqu'ici mise en évidence. En fait, dans le cas où le dispositif ne comprend qu'un seul détecteur, c'est-à-dire une photodiode unique et un seul lecteur, une telle charge Q_i n'est pas nécessaire. Il en va autrement lorsque sont mises
20 en oeuvre plusieurs photodiodes et leurs lecteurs, comme dans les dispositifs de prises de vue, où elles sont en grand nombre et disposées suivant une mosaïque dans le substrat détecteur ou sur quelques barrettes seulement, comme on sait que cela peut être le cas dans l'état actuel de la technologie des cibles. En général les
25 transitions sont alors commandées toutes à la fois, ou par groupes, par des tensions communes appliquées à leurs électrodes ; c'est le cas notamment pour les grilles G_T mais, comme les potentiels de seuil de ces grilles ne sont pas tous les mêmes, pour une tension appliquée donnée, leurs potentiels de surface sont différents, et le
30 transfert exact des seules quantités Q_S selon la figure 4(c) ne se trouve pas assuré pour toutes les transitions. C'est pour remédier à cet état de choses que l'invention prévoit d'introduire une charge initiale, la charge Q_i en question, sous les éléments de stockage G_{ST}

de chaque ensemble détecteur, lecteur, d'une valeur propre à chacun d'eux.

5 Dans tous les cas, la quantité de charge Q_i est obtenue à partir des charges de signal de la photodiode, accumulées sous G_{SC} et G_{ST} dans une phase préliminaire, au cours de laquelle on maintient la photodiode exposée au rayonnement sans procéder au transfert de ses signaux vers le lecteur. La charge Q_i est généralement faible, de l'ordre de Q_S ou un peu supérieur, comme représenté.

10 On procède de même pour la quantité Q_o , sensiblement supérieure aux précédentes. Cette charge est la même pour tous les ensembles détecteurs, lecteurs.

15 Dans une variante de l'invention, une diode supplémentaire D est formée dans le substrat 1, associée à une grille G_i et reliée à une source de tension, V_i , comme le montre le dessin de la figure 6. La grille G_i occupe une position adjacente à l'une des sources S des figures précédentes (ou plusieurs d'entre elles). Cette disposition assure la protection de la photodiode contre des surtensions éventuelles au moment de la mise en fonctionnement.

20 La compensation s'opère comme suit d'après le diagramme des figures 6(a), 6(b), 6(c).

Dans un premier temps, les potentiels sur G_{SC} et G_T sont portés au niveau bas, le potentiel sur G_{ST} étant au niveau haut. On impose le potentiel V_i comme potentiel de surface sous G_i , G_{SC} , G_C , G_{ST} et S, en appliquant une tension élevée sur G_i (figure 6(a)).

25 Dans un deuxième temps, on isole S_1 , G_{SC} , G_C et G_{ST} de la tension V_i en appliquant une tension faible sur G_i (figure 6(b)).

30 Dans un troisième temps, on applique la tension haute sur G_T . Cette tension doit être telle que le puits de stockage sous G_{ST} puisse alors contenir une charge supérieure à Q_o . Une partie des charges est évacuée sous le CCD (flèches). Nous obtenons alors la situation de la figure 6(c). La situation sous S_1 , G_{SC} , G_C , G_{ST} et G_T est la même que sur la figure 4(c). On dispose sous G_{ST} de la charge $Q_o + Q_i$. Les conditions normales de fonctionnement sont réalisées.

Il est possible également, dans une autre variante au schéma de la figure 3, d'ajouter une grille supplémentaire entre la source S et la grille G_{SC} , qui permette d'isoler la diode S du reste de la transition pendant que s'effectue le retour de la charge Q_0 de l'électrode de stockage G_{ST} vers l'électrode G_{SC} , entre les instants t_2 et t_3 .

On remarquera enfin que l'invention, décrite dans le cas d'une grille G_{SC} placée entre la source S et l'électrode de contrôle G_S , est en tous points transposable au cas où la grille G_{SC} serait située du côté opposé à G_C par rapport à cette source ; dans ce cas, les charges accumulées sous G_{SC} suivraient sans difficultés le même cheminement sous les différentes grilles après avoir franchi le potentiel constant sous S.

Pour la clarté, les grilles ont été représentées sur les dessins coplanaires et sans recouvrement les unes par rapport aux autres. Un tel recouvrement peut s'avérer nécessaire dans la pratique ; elles pourraient aussi ne pas être coplanaires.

D'autres variantes, et en particulier la combinaison de celles décrites, accessibles à l'homme de l'art, sont comprises également dans l'invention.

La structure de l'invention est de réalisation facile, l'intégration dans le substrat de la grille supplémentaire G_{SC} ne posant aucun problème dans l'état actuel de la technologie. Le rôle de source de courant qu'elle joue évite l'apport de charges extérieures pour la création du courant supplémentaire. Les variations de tension de seuil de la grille de transfert G_T est sans influence sur cette source.

L'invention trouve une application dans la réalisation des cibles de prise de vues en infrarouge.

REVENDECATIONS

1. Ensemble détecteur photonique, lecteur à transfert de charges comportant au moins un détecteur photonique exposé au rayonnement incident et un lecteur (G_{CCD}) des signaux de ce détecteur, reliés entre eux par une transition consistant en un transistor à effet de champ (MOS) (S, G_C , G_{ST}) et une grille de transfert (G_T), transition par laquelle les signaux sont transmis du détecteur au lecteur par commutation séquentielle des potentiels des électrodes du transistor, caractérisé en ce qu'il comprend, sur le substrat (1) du transistor, au voisinage de la source (S) de celui-ci, une électrode supplémentaire (G_{SC}), des moyens pour accumuler sous celle-ci, au moment de la mise en fonctionnement de l'ensemble, à l'aide des signaux du détecteur, une charge de réserve fixe (Q_0), et en ce que, enfin, le potentiel appliqué à cette électrode supplémentaire au cours du cycle de commutation est un potentiel décroissant régulièrement dans le temps.

2. Ensemble suivant la revendication 1 comprenant au moins deux détecteurs, et deux transistors dont les électrodes sont commandées par les mêmes potentiels, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens pour accumuler sous l'électrode (G_{ST}) de chaque transition, au moment de la mise en fonctionnement de l'ensemble, une autre quantité de charges (Q_i) compensant l'inégalité des potentiels régnant dans le substrat (1) sous les différentes grilles (G_T) portées au même potentiel.

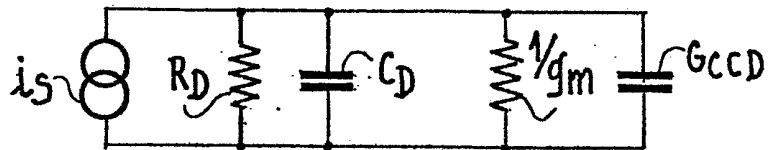
3. Ensemble suivant l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que les moyens d'accumulation des charges Q_0 et Q_i comprennent une diode (D) formée dans le substrat (1) au voisinage de la source (S), une grille (G_i) appliquée sur ce substrat, adjacente à l'une des électrodes (S), (G_{SC}), (G_C) ou (G_{ST}), et des moyens pour appliquer une différence de potentiel à la diode (D) par rapport au substrat.

4. Ensemble suivant l'une des revendications 1, 2 ou 3,

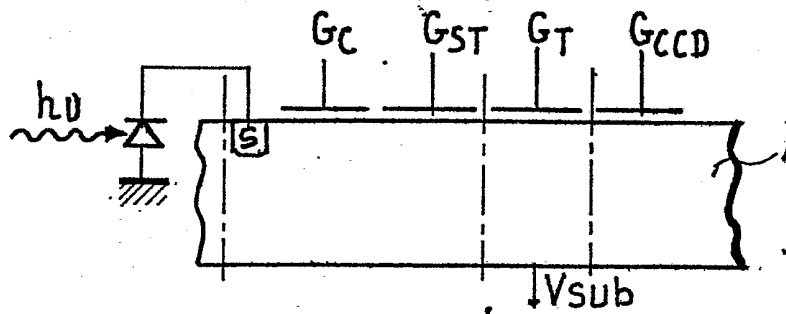
caractérisé en ce que les détecteurs sont des diodes photovoltaïques.

5 5. Ensemble suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le potentiel appliqué à cette électrode supplémentaire décroît linéairement dans le temps.

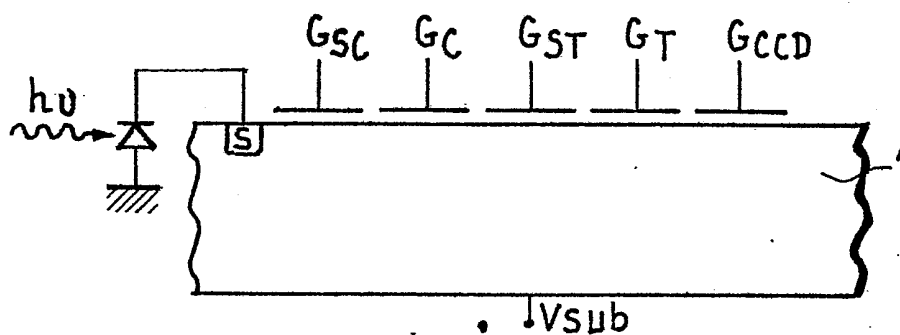
6. Cible de prise de vues caractérisée en ce qu'elle comporte au moins un ensemble suivant l'une des revendications 1 à 5.

^{1/3}
 FIG_1


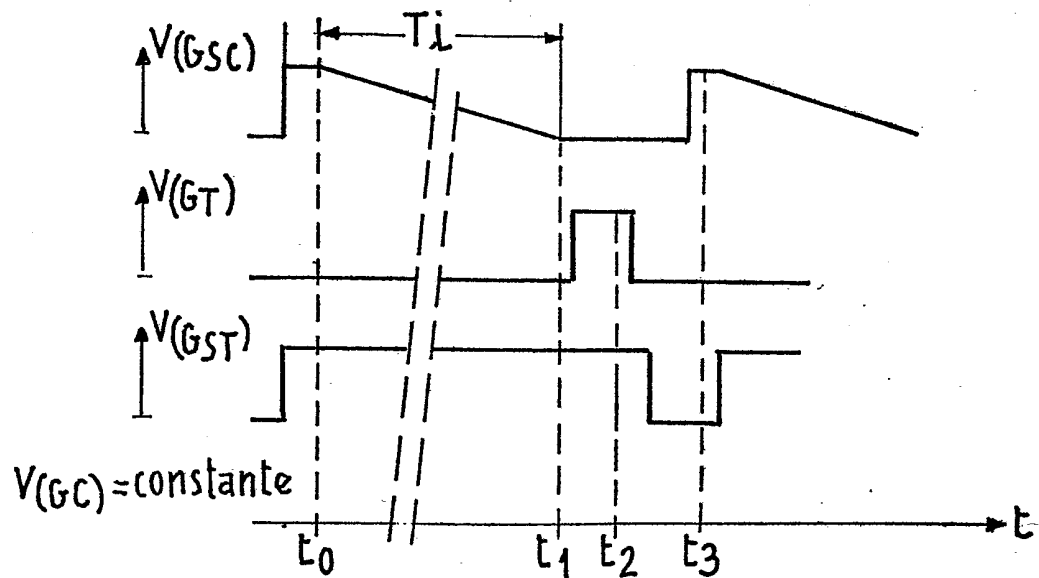
FIG_2



FIG_3

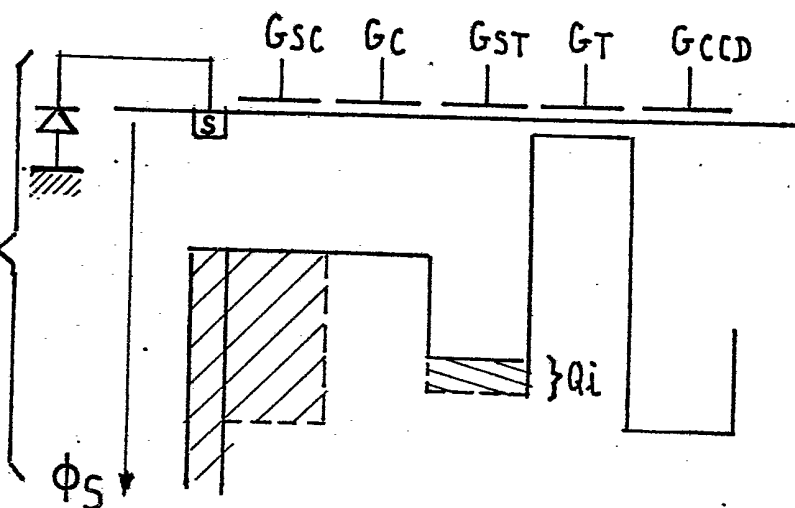


FIG_5

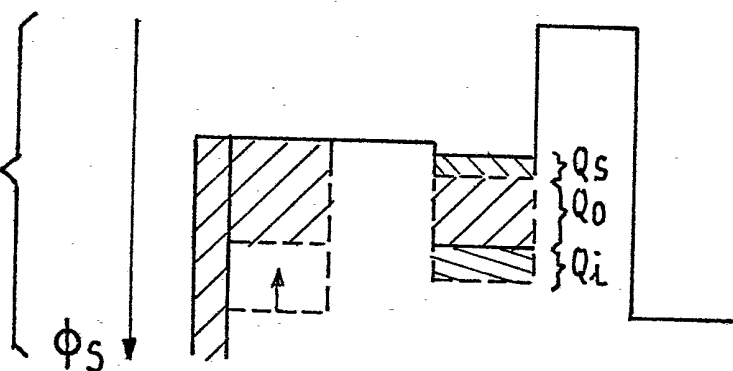


2/3

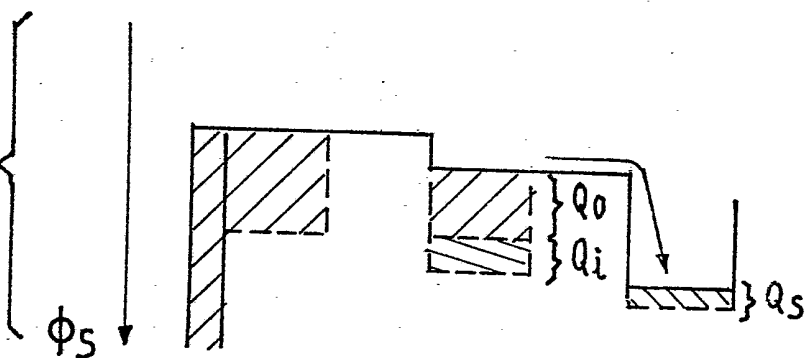
FIG_4-a



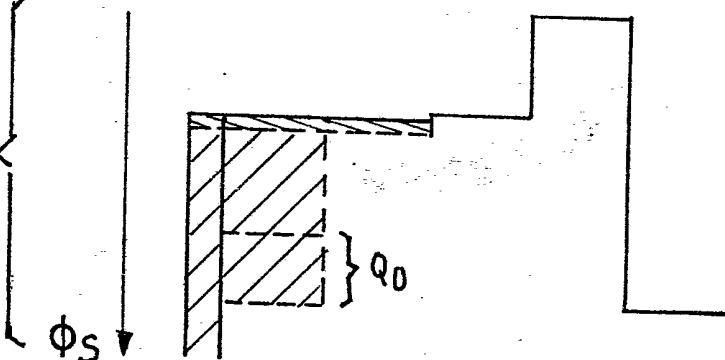
FIG_4-b



FIG_4-c



FIG_4-d



3/3

