

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA  
Registro de la Propiedad Industrial



ESPAÑA

Concedido el Registro de acuerdo con los datos que figuran en la presente descripción y según el contenido de la Memoria adjunta.

19	ES	11	NUMERO	478910	10	A1
		21				
		22	FECHA DE PRESENTACION	23 MAR. 1978		

PATENTE DE INVENCION

20 PRIORIDADES:		
21 NUMERO	22 FECHA	23 PAIS
889.261	23 de marzo de 1.978	EE.UU. de A.
47 FECHA DE PUBLICIDAD	51 CLASIFICACION INTERNACIONAL	62 PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
	H 01 L 29/80	
24 TITULO DE LA INVENCION		
Perfeccionamientos en interruptores con un transistor de efecto de campo acoplado ópticamente.		
71 SOLICITANTE (ES)		
WESTERN ELECTRIC COMPANY, INCORPORATED,		
DOMICILIO DEL SOLICITANTE		
222 Broadway, New York, New York 10038, EE.UU. de A.		
72 INVENTOR (ES)		
WILLIAM CLIFTON KING.		
73 TITULAR (ES)		
74 REPRESENTANTE		
D. José Miguel Gómez-Acebo y Pombo.		

La presente invención se refiere a perfeccionamientos en interruptores con un transistor de efecto de campo acoplado ópticamente y en general a optoaisladores y en particular a optoaisladores que emplean una formación de uno o más fotodiodos conectados en serie para proporcionar control fotovoltáico de un transistor de efecto de campo (FET) que no ha de ser necesariamente fotosensible.

Los dispositivos que transmiten señales desde un circuito de entrada hasta un circuito de salida aislados eléctricamente del circuito de entrada son de importancia comercial considerable. Para muchas finalidades, se obtiene fácilmente aislamiento eléctrico con relés electromecánicos o transformadores de aislamiento. No obstante, estos dispositivos tienen el inconveniente de ser grandes e incompatibles con gran parte de la circuitería de estado sólido.

Por estas y otras razones, se han desarrollado dispositivos, comúnmente llamados optoaisladores u optoacopladores, que emplean acoplamiento óptico en lugar de eléctrico, para enlazar dos circuitos eléctricos. Estos dispositivos emplean una fuente luminosa, comúnmente un diodo fotoemisor (LED) situados en el circuito de entrada y un fotodetector, situado en el circuito de salida y acoplado ópticamente a la fuente luminosa, para acoplar los dos circuitos. La corriente que pasa a través del LED hace que emita luz de la cual se transmite parte al fotodetector donde hace que se genere una corriente de salida.

El fotodetector es normalmente un fotodiodo, un fototransistor o un foto SCR. Otro tipo de fotodetector que podría emplearse es el foto-FET.

Aunque tiene características, como puede ser la sen-

sibilidad óptica fácilmente ajustable, una característica de corriente-voltaje que pasa a través del origen, y estabilidad térmica, que son convenientes para los fotodetectores empleados en optoaisladores, no se ha utilizado en optoaisladores.

5. Las razones que existen para no haberse utilizado los foto-FET detectores se comprenderá mejor si se describe brevemente el funcionamiento de los FET ópticamente sensibles. Los FET ópticamente sensibles obtienen normalmente sus sensibilidades óptica haciendo que la región de agotamiento, establecida por polarización inversa de la unión puerta-fuente, sea ópticamente accesible, v.g., absorbiendo fotones en la región de agotamiento. La polarización inversa supera la tensión de contacto y no puede fluir corriente a través del JFET. La corriente fotoinducida, generada por la separación de los componentes de los pares de deficiencia electrónica producidos en el proceso de absorción, pasa entonces a través de una resistencia externa en el
10. circuito puerta-fuente y cambia la polarización de la puerta-fuente. La polarización de la puerta-fuente resultante es menor que la tensión del punto de contacto y el FET se activa.
- 15.

20. De éste modo quedan ilustrados los diversos inconvenientes de los optoaisladores que podrían emplear FET ópticamente sensible. En primer lugar, los foto-FET disponibles en el mercado son FET de modulo de empobrecimiento y se necesita una fuente de tensión por separado para polarizar en sentido inverso la unión puerta-fuente y, por lo tanto, desconectar el FET.
25. En segundo lugar, los foto-FET no se prestan a la construcción de los optoaisladores normalmente conectados. En tercer lugar, los foto-FET no se prestan a una fácil construcción de optoaisladores bilaterales que son convenientes en muchas aplicaciones
30. puesto que pueden funcionar sin tener en cuenta la polaridad de

la tensión alimentada.

5. Los optoaisladores bilaterales, v.g., foto-SCR conectados de forma antiparalela, que no emplean FET se encuentran disponibles en el mercado, pero tienen inconvenientes. Tienen características no lineales por el origen de sus curvas de corriente-tensión de salida y, por lo tanto, son inapropiados para utilizarse como interruptores analógicos de bajo nivel. Además, son dispositivos de bloqueo y se necesita, por lo tanto, una señal de tensión adicional para devolver el interruptor a su estado inicial.

10. Un interruptor ópticamente sensible que emplea un FET y que es útil en optoaisladores se obtiene, según ésta invención, empleando la tensión desarrollada por lo menos por una formación de fotodiodos conectados en serie consistente por lo menos en un fotodiodo iluminado, conectado entre la puerta y la fuente del FET de capa de transición normalmente conectado, para controlar el funcionamiento del FET. El número de fotodiodos conectados en serie en la formación de fotodiodos es suficiente para producir una tensión, cuando se ilumina la formación, que excede de la tensión del punto de contacto y desconecta el FET. Si se emplean FET de modulo de capa de transición, se excede de la tensión umbral de la puerta. Cuando el drenaje y la fuente del FET se conectan a un circuito eléctrico y la formación del fotodiodo se ilumina por una fuente luminosa, como un LED conectado a otro circuito eléctrico, el resultado es un optoaislador normalmente conectado.

20. Una modalidad adicional es un interruptor bilateral simétrico que emplea por lo menos dos formaciones de fotodiodos y un FET de capa de transición. Una formación de fotodiodos se conecta entre la puerta y la "fuente" y una segunda formación

25.  
30.

de fotodiodos se conecta entre la puerta y el "drenaje" del FET. Dos diodos de bloqueo de polaridad inversa evitan que los voltajes positivos de la fuente o de drenaje se acoplen a la puerta a través de los diodos polarizados en sentido directo. Las dos formaciones de fotodiodos se pueden iluminar por la misma fuente luminosa. La polarización establecida por una u otra formación será suficiente para desconectar el FET.

5.

Otra modalidad consigue dos niveles de control óptico empleando el interruptor FET ópticamente sensible descrito con un FET ópticamente sensible. Un nivel de control óptico se obtiene, según se ha descrito anteriormente, y el segundo nivel se obtiene empleando un segundo LED para iluminar la parte ópticamente sensible del FET y controlar la corriente que pasa a través del FET.

10.

15.

La figura 1 es una representación esquemática de un FET fotosensible tradicional.

La figura 2 es una representación esquemática de un interruptor de FET ópticamente sensible con sensibilidad óptica proporcionada por una formación de fotodiodos conectados en serie, que se iluminan por una fuente luminosa LED, y se conecta entre la puerta del FET y la fuente.

20.

La figura 3 es una representación esquemática del interruptor bilateral simétrico acoplado ópticamente; y

La figura 4 es una representación esquemática del interruptor de FET ópticamente sensible con niveles de control óptico.

25.

Un FET fotosensible de zona de transición de  $n$  canales 1, se representa en la figura 1. La polarización negativa, indicada por el signo menos, se alimenta a la puerta G a través de la resistencia  $R_1$  y establece una región de agota-

30.

- miento. Si la polarización es suficientemente grande, el canal de drenaje a la fuente, normalmente en conducción, se empobrece y el FET deja de conducir. Si la luz, procedente de una fuente no representada pero indicada por  $H_v$ , ilumina ahora la región de agotamiento, se generan pares de electrones y pares de huecos según se absorben fotones. El campo eléctrico en la región de agotamiento separa los electrones y los pares de huecos y fluye la corriente en el circuito externo de la puerta a la fuente. La corriente resultante fluye a través de la resistencia  $R_1$  y establece una polarización, desplazando parcialmente la polarización alimentada de la puerta a la fuente y reduciendo el tamaño de la región de agotamiento. Si la polarización de transición es suficientemente grande, fluye corriente a través del canal desde el drenaje hasta la fuente y se hace conductor el FET.

- El interruptor de FET ópticamente sensible de esta invención se representa esquemáticamente en la figura 2. Los electrodos de drenaje y de fuente del FET de capa de transición de canal n-3 se conectan a un circuito de salida eléctrico (no ilustrado). La polarización de la puerta, que controla el tamaño de la región de agotamiento y la corriente a través del FET, se obtiene por una formación de fotodiodos conectados en serie 7 que tienen por lo menos un fotodiodo conectado entre la puerta y la fuente del FET. El fotodiodo, según se emplea en este ejemplo, significa cualquier dispositivo semiconductor fotosensible. El número de fotodiodos está determinado por la exigencia de que, cuando se iluminan los fotodiodos, la tensión desarrollada por los fotodiodos sea por lo menos igual a la tensión del punto de contacto. Como no se alimenta al FET de polarización externa de la puerta a la fuente, a no ser la pro-

ducida por los fotodiodos, el FET conduce normalmente. La fuente luminosa representada es un LED 5 que se conecta a un circuito de entrada eléctrica (no ilustrado).

5. Algunos de los fotones emitidos por el LED son absorbidos por los fotodiodos y si el voltaje desarrollado entre la puerta y la fuente excede de la tensión del punto de contacto, el FET se desconecta. Cuando el FET se conecta a un circuito eléctrico de salida, todo el sistema funciona como un interruptor eléctrico acoplado ópticamente.

10. El interruptor descrito tiene características de velocidad de conmutación limitadas. Antes de que se puede desconectar el FET, su capacitancia de entrada debe cargarse por la corriente producida por los fotodiodos. El tiempo necesario para cargar la capacitancia de entrada dependerá de la intensidad

15. de la iluminación de los fotodiodos y su eficacia. Cuando se interrumpe la iluminación de los fotodiodos, la capacitancia de entrada del FET debe descargarse antes de que el FET pueda conectarse. Los trayectos disponibles, la unión puerta-canal de polarización inversa y la formación de fotodiodos, constituyen

20. trayectos de alta impedancia. El resultado es una constante de tiempo relativamente larga que se puede reducir poniendo en derivación los fotodiodos con la resistencia  $R_2$  que se conecta en paralelo con la formación de fotodiodos entre la puerta y la fuente. El valor de  $R_2$  debe ser suficientemente grande para

25. no cargar de un modo sensible los fotodiodos cuando los fotodiodos se iluminan y suficientemente pequeñas para que exista una impedancia pequeña si se compara con la de la formación de fotodiodos o la unión puerta-fuente de polarización inversa.

30. Una modalidad adicional del interruptor ópticamente sensible es el interruptor bilateral simétrico acoplado óptica-

5. mente que se representa esquemáticamente en la figura 3. Existen dos formaciones de fotodiodos que controlan el FET. La formación 15 tiene uno o más fotodiodos conectados en serie y se conecta entre la puerta y la fuente de un FET de modo de agotamiento de canal n-9 a través del diodo de bloqueo de polaridad inversa conectado en serie D 2 y la formación 13 tiene uno o más fotodiodos conectados en serie y se conecta entre la puerta y el drenaje a través el diodo de bloqueo de polaridad inversa conectado en serie D 1. Se pueden conectar resistencias de gran valor  $R_3$  y  $R_4$ , normalmente de megahomios, entre la puerta y el drenaje y la puerta y la fuente, respectivamente, del FET 9 y sirven para la misma función que la resistencia  $R_2$ . El drenaje y la fuente del FET 9 se conectan a un circuito eléctrico de salida y la fuente luminosa 11 se conecta a un circuito eléctrico de entrada. Las consideraciones similares a las expuestas con respecto a la modalidad ilustrada en la figura 2 determinan el número de fotodiodos en cada formación v.g., el voltaje producido debe ser por lo menos igual a la tensión del punto de contacto cuando se iluminan los fotodiodos. El dispositivo ilustrado es simétrico con respecto al drenaje y fuente del FET y, por consiguiente, el interruptor puede funcionar con una u otra polaridad de tensión alimentada entre el drenaje y la fuente. Se puede omitir una u otra resistencia  $R_3$  o  $R_4$ , v.g., se puede emplear una sola resistencia conectada entre el electrodo puerta y el electrodo fuente o drenaje, pero conservando la simetría de la polaridad de la tensión si no se necesitan tiempos de conmutación simétricos.

30. El FET de zona de transición está normalmente conectado cualquiera que sea la polaridad de la unión drenaje-fuente.

- El funcionamiento del interruptor, que se puede emplear como fotoaislador, es similar al del interruptor de la figura 2. Cuando el LED 11 se conecta por la corriente que fluye en el circuito eléctrico de entrada, se emite luz y se reduce en ambas formaciones de fotodiodos. Si el "drenaje" es positivo con respecto a la "fuente", la formación 15 establece una polarización negativa de la puerta, con respecto a la fuente, que excede de la tensión del punto de contacto y el FET 9 se desconecta. El diodo D1 evita que el voltaje de drenaje positivo se acople a la puerta a través de la formación de fotodiodos de polarización en sentido directo 12 y evita la polarización negativa establecida en la puerta por la formación de fotodiodos 15. Cuando el LED 11 está conectado y la polaridad de la unión drenaje-fuente es la inversa a la descrita, la formación de fotodiodo 13 establece una polarización de puerta negativa que excede de la tensión del punto de contacto y el FET 9 se desconecta. El diodo D2 evita que se acople el voltaje positivo de la fuente a la puerta a través de la formación de fotodiodos polarizada en sentido directo 15 y evite, por lo tanto, la polarización negativa establecida en la puerta por la formación 15. Todo el sistema funciona como un interruptor eléctrico acoplado ópticamente, que es simétrico con respecto a la tensión alimentada entre el drenaje y la fuente. La resistencia  $R_3$  y  $R_4$  ponen en derivación las formaciones de fotodiodos para descargar la capacitancia del FET y reducir el tiempo de conmutación. Las magnitudes de  $R_3$  y  $R_4$  son comparables a la de  $R_2$ .  $R_3$  no ha de ser necesariamente igual que  $R_4$  si no se precisan tiempos simétricos de conmutación.
- Una modalidad adicional consigue dos niveles de con-

trol óptico a través del dispositivo ilustrado esquemáticamente en la figura 4. El FET de zona de transición de zona n 17, la formación de fotodiodos 23 y el LED 21 funciona como el interruptor ópticamente sensible descrito anteriormente e ilustrado en la figura 2. El LED 19 y el FET 17, que es ahora ópticamente sensible, funcionan como un interruptor de FET fotosensible tradicional ilustrado en la figura 1. El FET ópticamente sensible está conectado cuando LED 21 está desconectado. Cuando el LED 21 está conectado, el FET está desconectado cuando el LED 19 está desconectado y está conectado cuando el LED 19 está conectado, el LED 19 proporciona control en ésta modalidad de una forma similar a la fuente luminosa, v.g., el LED en el interruptor de FET fotosensible tradicional. Se desarrolla una polarización a través del resistor de la puerta  $R_5$  por la corriente que fluye en el circuito externo que se genera por los fotones absorbidos en la región de agotamiento.

Los parámetros de diseño que se deben considerar son parámetros conocidos. Por ejemplo, la zona del colector del fotodiodo, la eficacia, intensidad de iluminación y número de fotodiodos están relacionados con el tiempo necesario para desconectar el FET. Además, después que se desconecta el LED, la constante de tiempo asociada con la descarga de la capacitancia de la puerta a la fuente a través de la resistencia en derivación (si se usa) y la gran impedancia de la formación de fotodiodos y la unión puerta-fuente inversa se relaciona con el tiempo necesario para que se conecte el FET. En general, se obtienen tiempos mínimos de conmutación, en conmutación saturada con grandes corrientes de LED. v.g., corriente elevada de la formación de fotodiodos, capacitancias bajas de la unión y resistencias bajas de derivación. Las variaciones y las

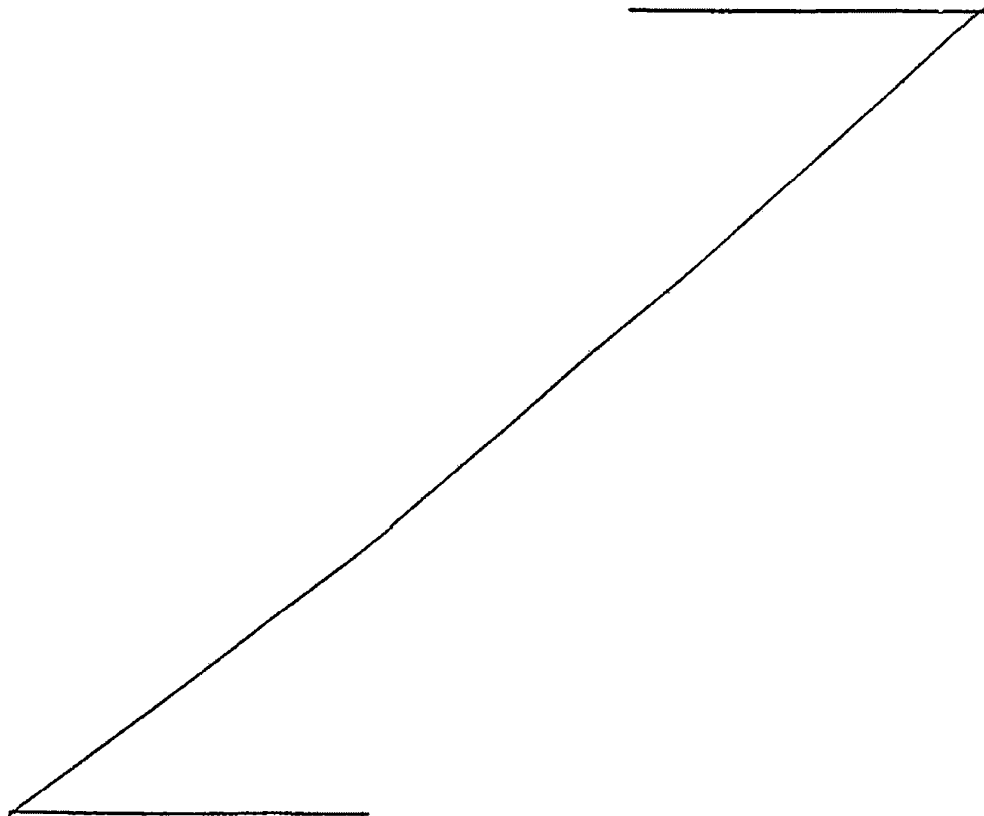
5. relaciones entre las resistencias de derivación, resistencia de carga, corriente de los fotodiodos, número de fotodiodos, tensión de los fotodiodos, tensión del punto de contacto del FET y velocidades de conmutación son factores conocidos por los expertos en la materia y no es preciso describirlo con más detalle.

10. Como ejemplo de velocidades de conmutación y otros parámetros que caben esperar en la práctica, se midió la respuesta del interruptor de la figura 2 que tiene una transductancia de aproximadamente  $32 \text{ K } \Omega$ . La tensión del punto de contacto del FET era de 2,5 voltios y la corriente del punto de contacto ( $V_{GS} = 0$ ) era de 110 mA. La resistencia  $R_2$  era de  $470 \text{ K } \Omega$  la tensión de alimentación era de 10 voltios y la resistencia de la carga era de  $1 \text{ K } \Omega$ . Con una corriente del LED de GaAlAs de 10 mA de corriente continua, la respuesta de conmutación saturada de una formación con tres LED GaAlAs conectados en serie, funcionando como fotodetectores, se observó que tenía un tiempo de desconexión total de aproximadamente 50 microsegundos y un tiempo de conexión total de aproximadamente 50 microsegundos.

15. Aunque la invención se ha descrito con modalidades que emplean FET de zona de transición de agotamiento de la zona n, que den por resultado conmutadores y optoaisladores normalmente conectados, la invención se puede emplear también  
20. con FET de zona de transición de agotamiento de la zona p si las polaridades de las formaciones de fotodiodos y los diodos de bloqueo se invierten. También se pueden emplear FET de modo de saturación de la zona n ó de la zona p. Con los FET de zona de saturación, la formación de fotodiodos debe producir un  
25. voltaje que supere el voltaje umbral de la puerta. Esto dará  
30.

- por resultado interruptores y optoaisladores normalmente desconectados y la polaridad de la formación de diodos será la inversa a la descrita para los FET de zona de transición de la zona n. El conmutador simétrico que emplea FET de modo de intensificación es útil solamente para valores pequeños de tensión de drenaje a la fuente. Las resistencias actúan como un divisor de voltaje y el voltaje o tensión de la puerta a la fuente o de la puerta a drenaje producido por el divisor de voltaje debe ser menor que el voltaje umbral de la puerta del FET.
- 5.
- 10.

- Descrita suficientemente la naturaleza del invento, así como la manera de realizarlo en la práctica, debe hacerse constar que las disposiciones anteriormente indicadas son susceptibles de modificaciones de detalle en cuanto no alteren su principio fundamental.
- 15.



REIVINDICACIONES

5. 1.- Perfeccionamientos en interruptores con un transistor de efecto de campo acoplado ópticamente, del tipo que comprende un transistor de efecto de campo que tiene un electrodo fuente, un electrodo puerta y un electrodo de drenaje, conectándose los electrodos de fuente y de drenaje a un circuito eléctrico de salida, y un dispositivo de control acoplado ópticamente a una fuente luminosa para controlar la corriente a través del transistor de efecto de campo, caracterizados porque el dispositivo de control comprende una formación de fotodiodos conectada entre los electrodos puerta y fuente y que tiene por lo menos un fotodiodo, interconectándose en serie entre sí los fotodiodos cuando se encuentran presentes en un número de más de 1, eligiéndose el número de fotodiodos en la formación para producir, al iluminarse la fuente luminosa, un voltaje suficiente para controlar la corriente a través del FET.
- 10.
- 15.
20. 2.- Perfeccionamientos según la reivindicación 1, caracterizados porque el FET es un FET de modulo de empobrecimiento.
- 3.- Perfeccionamientos según las reivindicaciones 1 ó 2, caracterizados porque la fuente luminosa se conecta a un circuito eléctrico de entrada.
25. 4.- Perfeccionamientos según las reivindicaciones 1, 2 o 3, caracterizados porque se conecta una resistencia entre los electrodos puerta y fuente para aumentar la velocidad de conmutación del FET entre sus estados de conexión y desconexión.
30. 5.- Perfeccionamientos según las reivindicaciones 2,

5. 3 ó 4, caracterizados porque el dispositivo de control comprende de un diodo de bloqueo de polaridad inversa conectado en serie con la formación de fotodiodos entre los electrodos puerta y fuente, otra formación de fotodiodos similar que tiene por lo menos un fotodiodo y se conectan entre los electrodos puerta y drenaje, y otro diodo de bloqueo de polaridad inversa conectado en serie con la otra formación de fotodiodos entre el electrodo puerta y el electrodo de drenaje.

10. 6.- Perfeccionamientos según la reivindicación 5, caracterizados porque el dispositivo de control comprende además otra resistencia de derivación conectada entre el electrodo puerta y el electrodo de drenaje para aumentar la velocidad de conmutación del FET entre sus estados de conexión y desconexión.

15. 7.- Perfeccionamientos según las reivindicaciones 1, 2 o 3, caracterizados porque el FET tiene una región ópticamente sensible y otra fuente luminosa conectada a un segundo circuito eléctrico de entrada que se acopla ópticamente a la región ópticamente sensible.

20. 8.- Perfeccionamientos según la reivindicación 7, caracterizados porque se conecta una resistencia entre los electrodos puerta y fuente en serie con la formación de fotodiodos.

25. 9.- Perfeccionamientos según la reivindicación 1, caracterizados porque el FET es un FET de zona de saturación.

10.- Perfeccionamientos en interruptores con un transistor de efecto de campo acoplado ópticamente, tal y como queda sustancialmente descrito en la presente Memoria, y en los dibujos adjuntos.

Esta Memoria consta de catorce hojas, escritas a máquina por una sola cara.

Madrid, 23 MAR. 1970

WESTERN ELECTRIC COMPANY, INCORPORATED.

J. M. GOMEZ ACEBO Y PARRA

p. p. Firmado: J. Gomez Acebo

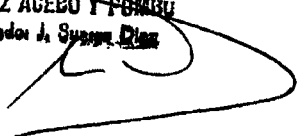


FIG. 1

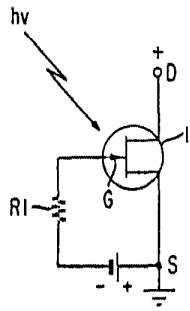


FIG. 2

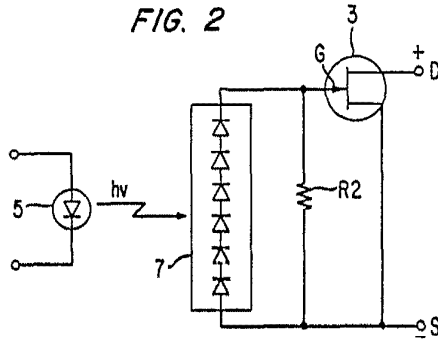


FIG. 3

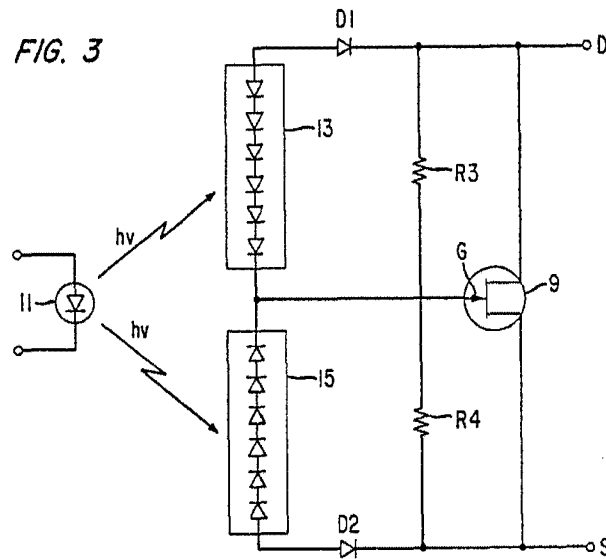
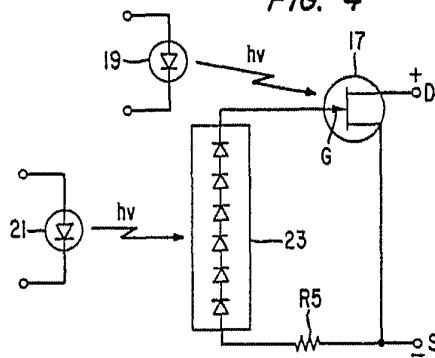


FIG. 4



ES CAL  
VARIABLE

23 MAR. 1979

Madrid

J. M. GOMEZ ACEBO Y FUENTE

Prop. Firmador J. Suarez Diaz