



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 366 378**

51 Int. Cl.:  
**H02J 7/35** (2006.01)  
**H01L 31/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06753908 .0**  
96 Fecha de presentación : **23.05.2006**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1884008**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **06.02.2008**

54 Título: **Dispositivo de circuito de protección para un módulo solar.**

30 Prioridad: **24.05.2005 DE 10 2005 024 428**  
**25.07.2005 DE 10 2005 036 153**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**19.10.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**19.10.2011**

73 Titular/es: **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR  
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG  
e.V.**  
**Hansastrasse 27C**  
**80686 München, DE**

72 Inventor/es: **Schmidt, Heribert y  
Burger, Bruno**

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 366 378 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Dispositivo de circuito de protección para un módulo solar

- 5** La invención se refiere a un dispositivo de circuito de protección para un módulo solar, en el que una pluralidad de células solares están conectadas en serie. Un dispositivo de circuito de protección de este tipo se conoce por el documento JP 2000 174 308.
- 10** Los módulos solares son generalmente conocidos y están formados según la Figura 1a habitualmente por una conexión en serie de células, que suministran una tensión individual  $U_z$  de aprox. 0,5 V a 1 V. En caso de un sombreado parcial de una o varias células o también en caso de propiedades distintas de las células, en particular de la corriente de cortocircuito, en caso de una carga, se invierte la tensión en las células sombreadas. En el peor caso, es decir, en caso de un cortocircuito del generador solar, p.ej. en caso de un servicio en un regulador de carga de batería en derivación, decae la suma de las tensiones de todas las células no sombreadas en la dirección de bloqueo en la célula sombreada.
- 15** A continuación, se usará independientemente de la causa real de la inversión de la tensión siempre el concepto "caso de sombreado" y para el servicio no sombreado el concepto "servicio normal".
- 20** La tensión de bloqueo admisible de una célula solar está situada en pocos V hasta pocos 10 V. En función del número de células no sombreadas conectadas en serie con las células sombreadas puede sobrepasarse la tensión de bloqueo admisible, lo que puede conducir a penetraciones locales de la capa de barrera y a daños irreversibles de la célula. Para evitar esta tensión de bloqueo inadmisiblemente alta es conocido conectar de forma ideal un llamado diodo de derivación en paralelo a cada una de las células. Los costes son considerables y sólo son aceptables en aplicaciones especiales, véase p.ej. la navegación espacial. En módulos solares corrientes en el mercado se forman, por lo tanto, según la Figura 1a subgrupos  $UG_A$ ,  $UG_B$ , ...  $UG_X$  de células conectadas en serie, p.ej. 18 a 24, que son protegidos respectivamente por un diodo de derivación. Estos se conectan mediante los puntos de conexión 11, 12 con el subgrupo correspondiente. Para mayor claridad, en la Figura 1a, el diodo de derivación sólo está representado para el subgrupo  $UG_B$ .
- 25** En el servicio normal, según la Figura 1b, al diodo de derivación se aplica la suma de las tensiones de las células  $Z_1$ , a  $Z_n$ , que pertenecen al subgrupo, es decir, aprox. 15 V hasta más de + 20 V. La corriente de bloqueo  $I_S$  debería ser mínima para evitar pérdidas. En caso de un sombreado total de una o varias células en un subgrupo según la Figura 1c, por el diodo de derivación 2 fluye la corriente de cortocircuito o la corriente de punto de trabajo  $I_{SG}$  generada por las células dispuestas en el exterior del subgrupo, las células no sombreadas. Esta genera en el diodo de derivación 2, en
- 30** función de la tecnología de diodos usada, de la corriente que fluye y de la temperatura del diodo, una caída de tensión  $U_D$  de aprox. -0,4 V hasta más de -1 V. En la célula sombreada decae, por lo tanto, en el peor caso la suma de las tensiones de todas las células no sombreadas que se encuentran en el interior del subgrupo correspondiente, más la caída de tensión en el diodo de derivación.
- 35** El número de células reunidas en un subgrupo se elige de tal modo que en el peor caso no se sobrepasa la tensión de bloqueo admisible de la célula individual desconectada. Esto conduce a un número típico de aprox. 18 a 24 células por subgrupo.
- Para el diodo de derivación conocido resultan por lo tanto las siguientes condiciones de servicio:
- 40** En el servicio normal representado en la Figura 1b, a este diodo está aplicada la tensión de las células reunidas en un subgrupo en la dirección de bloqueo, es decir, típicamente aprox. +15 V hasta + 20 V. En el caso representado en la Figura 1c, con un sombreado total de una célula en el interior del grupo correspondiente, la corriente del generador solar  $I_{SG}$  fluye por el diodo de derivación y provoca una caída de tensión  $U_D$  de aprox. -0,4 V hasta más de -1 V. En la descripción expuesta a continuación, para mayor facilidad se supone que se produce una tensión de bloqueo de + 20 V y una tensión en estado de conducción  $U_D$  de - 0,6 V, pudiendo producirse también otros valores.
- 45** Los diodos de derivación están alojados habitualmente en una caja de conexión que está conectada con el módulo solar, por lo que están expuestos a temperaturas ambiente de aprox. -20 °C hasta a más de 85 °C. En una caja están alojados típicamente dos o tres diodos para dos o tres subgrupos  $UG_A$ ,  $UG_B$  y  $UG_C$ . Para aumentar las corrientes del generador solar  $I_{SG}$  admisibles, también es posible conectar en paralelo varios diodos de derivación.
- 50** En los diodos de derivación empleados en el estado de la técnica, en caso de sombreado se produce una potencia perdida relativamente grande. Durante poco tiempo, una potencia perdida de este tipo puede ser absorbida sin problemas por el diodo, aunque en el caso de sombreados de larga duración es difícil disipar la cantidad de calor que se genera del diodo y de la caja de conexión. Hay que tener además en cuenta la circunstancia de que las cargas máximas, es decir, las corrientes solares máximas se producen en la mayoría de los casos cuando al mismo tiempo

son elevadas las temperaturas ambiente o del módulo. El problema se complica a medida que aumenta el tamaño de las células solares, puesto que éstas suministran una corriente de cortocircuito o nominal que aumenta de forma proporcional a la superficie de la célula.

**5** Por lo tanto, la invención tiene el objetivo de crear un dispositivo de circuito de protección para un módulo solar que asuma las funciones de un diodo de derivación suministrando poca potencia perdida y presentando una estructura sencilla y garantizando una fiabilidad elevada y de larga duración.

Este objetivo se consigue según la invención mediante las características de la reivindicación principal.

**10** Puesto que está previsto un elemento de conmutación eléctrico controlable que sirve de elemento de derivación, cuya sección de conmutación puede conectarse en paralelo a la pluralidad de células solares y puesto que un circuito de alimentación suministra una tensión de control para el mando del electrodo de control, se proporciona un circuito de derivación que puede absorber sin problemas la corriente de cortocircuito o la corriente de punto de trabajo de las células sombreadas. Mediante la tensión de alimentación se controla el elemento de derivación controlable en su función de tal modo que se produzca poca potencia perdida. Gracias al seccionador también previsto, puede bloquearse la tensión aplicada en el servicio normal de las células solares a la sección de conmutación del elemento de conmutación al circuito de alimentación, mientras que en el caso de sombreado, el seccionador conmuta la tensión aplicada a la sección de conmutación al circuito de alimentación.

Gracias a las medidas indicadas en las reivindicaciones subordinadas son posibles variantes ventajosas y mejoras.

**20** Es especialmente ventajoso que el circuito de alimentación esté realizado como circuito de carga para un acumulador de energía o presente uno, que realiza un aumento de una tensión disponible en el caso de sombreado a una tensión más elevada para el mando del elemento de derivación controlable. De este modo, puede usarse la tensión de alimentación disponible gracias a la sección de conmutación en el caso de sombreado de -0,6 V para controlar el elemento de derivación controlable y, dado el caso, alimentar otros circuitos.

**25** Es ventajoso que el elemento de derivación controlable esté realizado como transistor de efecto de campo MOS (MOSFET), pudiendo asumir el diodo de cuerpo existente de forma inherente en el MOSFET durante poco tiempo por completo la corriente del generador solar, pudiendo usarse en el caso de corrientes pequeñas de generador solar de forma duradera como diodo de derivación.

De forma ventajosa, la capacidad inherente del elemento de derivación controlable, en el MOSFET usado, la capacidad de compuerta, se usa como acumulador de energía del circuito de alimentación o del circuito de carga, de modo que no se necesitan componentes acumuladores suplementarios.

**30** El seccionador está realizado de forma especialmente ventajosa como transistor bipolar que se hace funcionar de forma inversa, puesto que éste se hace funcionar en el servicio normal de forma convencional en circuito de colector común pudiendo bloquear, por lo tanto, sin problemas la tensión drenaje-fuente positiva de 20 V que se produce en el servicio normal.

**35** Es ventajoso realizar el seccionador como transistor de efecto de campo, preferiblemente como J-FET que conduce por sí mismo, puesto que éste presenta una resistencia de conexión baja, de modo que el siguiente circuito queda conectado casi sin pérdidas a la tensión de la sección de conmutación del elemento de derivación, la tensión de drenaje-fuente del MOSFET.

**40** El circuito de alimentación y/o el circuito de carga presenta de forma ventajosa un transformador con un arrollamiento de reacción positiva y un primer elemento de conmutación electrónico, ejerciendo el elemento de conmutación y el transformador de forma similar a un oscilador de bloqueo un proceso de basculación, en el que se transmite la energía acumulada en el transformador al acumulador de energía, p.ej. la capacidad de compuerta. Gracias a esta medida es posible generar a partir de la tensión reducida en el caso de sombreado de aprox. 0,6 V una tensión alta de aprox. 15 V, pudiendo transferirse la energía necesaria para la carga de la capacidad de compuerta de forma rápida, preferiblemente en un solo paso.

**45** El primer elemento de conmutación electrónico está conectado de forma ventajosa de modo inverso, formando así al mismo tiempo el seccionador no siendo necesarios componentes suplementarios para la separación.

**50** Gracias a que está previsto un primer circuito de descarga, que está conectado con el electrodo de control del elemento de derivación controlable, habiéndose elegido la constante de tiempo del circuito de descarga de tal modo que la relación del tiempo de la conducción del elemento de derivación al de la no conducción es grande, preferiblemente superior a 5, es posible controlar el elemento de derivación controlable de tal modo que se produzcan potencias perdidas reducidas siendo por lo tanto reducida la generación de calor.

- 5** Es ventajoso realizar el primer circuito de descarga como circuito de descarga activo que no actúa de forma lineal, que encima de una tensión umbral tiene una impedancia elevada y debajo de la tensión umbral una impedancia baja, dependiendo la tensión umbral de la tensión de su electrodo de control necesaria para el control completo del elemento de conmutación de derivación. De este modo puede reducirse aún más la potencia perdida que se produce en el interior del MOSFET.
- 10** Es especialmente ventajoso realizar el primer circuito de descarga con un J-FET que conduce por sí mismo, que en el servicio normal conecta el electrodo de control del elemento de conmutación de derivación con un potencial de referencia e impide así una conexión no deseada del elemento de conmutación de derivación y que en el caso de sombreado forma junto con una red de diodo, condensador y resistor de descarga un elemento temporizador, que desconecta el elemento de conmutación de derivación periódicamente después de un tiempo definido. De este modo, el electrodo de control del elemento de conmutación de derivación puede mantenerse siempre cargado en un valor óptimo en el estado conectado, por lo que se reduce aún más la potencia perdida.
- En el dibujo están representados ejemplos de realización de la invención que se explicarán más detalladamente en la descripción expuesta a continuación. Muestran:
- 15** La Figura 1 el cableado de células solares y diodos de derivación según el estado de la técnica, así como la tensión del diodo en el servicio normal y en caso de sombreado;
- la Figura 2 un diagrama de bloque del dispositivo de circuito de protección según la invención;
- la Figura 3 una primera configuración a modo de circuito del dispositivo de circuito de protección según la invención;
- la Figura 4 el desarrollo en el tiempo de la tensión drenaje-fuente del elemento de derivación controlable;
- 20** la Figura 5 el desarrollo en el tiempo de la tensión de compuerta-fuente;
- la Figura 6 una segunda configuración a modo de circuito del dispositivo de conmutación según la invención y
- la Figura 7 una tercera configuración a modo de circuito del dispositivo de circuito de protección según la invención;
- la Figura 8 una cuarta configuración a modo de circuito de la invención y
- 25** la Figura 9 el desarrollo en el tiempo de la tensión de compuerta-fuente del elemento de derivación controlable y de la tensión de compuerta-fuente del J-FET que conduce por sí mismo así como el desarrollo en el tiempo de la tensión de drenaje-fuente del elemento de derivación controlable.
- 30** El dispositivo de circuito de protección representado en la Figura 2 presenta como componentes sustancial un transistor de efecto de campo MOS 1, que forma parte de una unidad de conmutación 30 que se describirá a continuación más detalladamente. La sección de drenaje-fuente como sección de conmutación está situada entre las conexiones 11 y 12 que están conectadas con la conexión en serie de las células solares del módulo solar. En el servicio normal, en la sección de drenaje-fuente está aplicada una tensión positiva de 20 V, mientras que en el caso de sombreado hay una tensión de drenaje-fuente negativa de 0,6 V. El diodo de cuerpo existente de forma inherente del MOS-FET 1 se designa con 2.
- 35** Un seccionador 40 está conectado, por un lado, con la conexión de drenaje del MOSFET 1 y, por otro lado, con un circuito de alimentación y/o de carga 50 (denominado en lo sucesivo sustancialmente circuito de carga), debiendo bloquear el seccionador 40 en el servicio normal la tensión de drenaje-fuente positiva de hasta aprox. 20 V, mientras que en el caso de sombreado debe transmitir la caída de tensión negativa reducida de 0,6 V o también menos con las menores pérdidas posibles al circuito de carga 50 dispuesto a continuación.
- 40** El circuito de carga 50 transforma la tensión continua negativa reducida disponible en el caso de sombreado detrás del seccionador 40 en una tensión positiva más alta, necesaria para el mando del MOSFET 1 y/o para la alimentación de otras partes del circuito. Pueden emplearse conceptos basados en una acumulación intermedia de energía en una bobina de reactancia o un transformador así como bombas de carga que trabajan de forma capacitiva, describiéndose más adelante una forma de realización preferible. La tensión transformada se acumula de forma intermedia en un acumulador de energía 60, que está dibujado aquí como condensador, aprovechándose de una forma especialmente ventajosa la capacidad de compuerta del MOSFET 1 directamente como acumulador de energía.
- 45**
- 50** El electrodo de compuerta G del MOSFET 1 se manda en función del tiempo mediante un circuito temporizador 80, estando controlado el MOSFET durante el mayor tiempo del tiempo de ciclo por completo para reducir la potencia perdida, trabajando, dado el caso, de forma lineal durante un intervalo de tiempo más corto y estando bloqueado completamente durante un intervalo de tiempo corto. La corriente de derivación del MOSFET 1 fluye en este caso por el diodo de cuerpo 2. En los circuitos de protección según las Figuras 3, 6 y 7, se descarga según la Figura 5 en los

primeros dos intervalos de tiempo la capacidad de compuerta del MOSFET mientras que al final del tercer intervalo de tiempo vuelve a cargarse mediante el circuito de carga. En el circuito de protección según la Figura 8, la descarga se realiza según la Figura 9 sólo en los intervalos de tiempo 2 y 3; al final del cuarto intervalo de tiempo, la capacidad vuelve a cargarse mediante el circuito de carga.

- 5** Preferiblemente está previsto un comparador 70, que vigila la tensión de drenaje-fuente y que emite en el estado admisible una señal a un circuito lógico 90, que recibe también la señal del circuito temporizador. Los criterios de vigilancia del circuito comparador 70 son, por ejemplo, la polaridad así como el valor de la tensión de drenaje-fuente del MOSFET 1. Un circuito de excitación 100, que está conectado al igual que los demás circuitos con el circuito de alimentación o de carga 50 manda la compuerta del MOSFET 1 en función de la señal del circuito lógico.
- 10** Los bloques funcionales representados en la Figura 2 están representados para mejorar la claridad; en los otros ejemplos de realización puede verse que no es obligatorio que todos los bloques funcionales deben estar dispuestos por separado; también es posible reunir varias funciones proporcionadas por los bloques en un componente.
- 15** En la Figura 3 está representado un primer ejemplo de realización del dispositivo de circuito de protección según la invención con componentes discretos, estando representados los bloques funcionales en parte con líneas de trazo interrumpido. La unidad de conmutación 30 presenta, como ya se ha explicado anteriormente, el MOSFET 1 con el diodo de cuerpo 2, así como una capacidad de compuerta 3 existente de forma inherente. Un primer diodo Zener 7 está conectado mediante la línea del potencial de referencia conectada con la conexión 12 en la dirección de conducción con la conexión de compuerta. Sirve para limitar la tensión de compuerta a un valor admisible de p.ej. 15 V.
- 20** Entre el potencial de referencia 32 y la línea piloto de compuerta 31 está conectado un transistor 9 con su sección de conmutación, cuya base está conectada mediante una resistencia de alta impedancia 10 con la conexión de drenaje del MOSFET 1. En paralelo a la sección de conmutación del transistor 9 está conectado otro condensador 8 y entre el condensador 8 y el primer diodo Zener 7 está conectado un resistor intercalado 6 en la línea piloto 31. Entre la conexión de drenaje y la línea de piloto de compuerta 31 están dispuestos un diodo 13 y un segundo diodo Zener 14.
- 25** En paralelo al diodo de cuerpo 2 existente de forma inherente del MOSFET 1 puede estar conectado otro diodo 4, que conduce una parte de la corriente de derivación o también toda la corriente de derivación cuando no está conectado el MOSFET 1.
- Un elemento protector contra sobretensiones 5, p.ej. un varistor o un diodo TransZorb, está conectado en paralelo al MOSFET 1 y limita impulsos de tensión extremadamente altos de corta duración.
- 30** Con este circuito de protección, el MOSFET con el diodo de cuerpo 2 existente de forma inherente queda protegido de tensiones demasiado altas en la sección de drenaje-fuente y la sección de compuerta-fuente. Además, al cambiar al servicio normal, es decir, cuando hay una tensión de drenaje-fuente positiva, es necesaria una desconexión rápida y, además, debe impedirse una conexión no deseada del MOSFET en el servicio normal.
- 35** En caso de una tensión de drenaje-fuente positiva, es decir, al cambiar al servicio normal, el transistor 9 se controla por completo mediante el resistor intercalado 10 de alta impedancia y descarga la capacidad de compuerta 3 del MOSFET 1 muy rápidamente mediante el resistor intercalado 6 de baja impedancia (reacción positiva). Además, el transistor 9 mantiene la tensión de compuerta-fuente mediante el resistor intercalado 6 en el servicio normal en casi 0 V. De este modo se impide de forma fiable una conexión no deseada, p.ej. por una tensión de compuerta inducida desde el exterior. La corriente de fuga que sale en el servicio normal a través del resistor intercalado base 10 es despreciablemente reducida en caso de un dimensionado correspondiente.
- 40** En principio, los MOSFET tienen una resistencia limitada a la avalancha, es decir, en caso de sobrepasarse durante poco tiempo la tensión de drenaje-fuente máxima admisible, p.ej. superior a 60 V en caso de un MOSFET especificado para 40 V, el MOSFET se vuelve conductor y limita la punta de tensión sin sufrir daños. No obstante, en este modo de servicio puede abandonarse la gama de trabajo admisible y el componente puede estar sometido a más estrés. Por lo tanto, en caso de producirse una tensión excesiva, el MOSFET se manda mediante el diodo Zener 14 y el diodo 13 de forma selectiva a través de su sección de compuerta-fuente, elevándose la compuerta a un potencial positivo al sobrepasar el diodo Zener 14 la tensión Zener y haciéndose funcionar el MOSFET 1 de forma lineal. Para poder establecer una tensión de compuerta positiva cuando el transistor 9 es conductor, se necesita un resistor intercalado 6.
- 45**
- 50** El condensador 8 conectado mediante el resistor intercalado 6 en paralelo a la capacidad de compuerta 3, que típicamente presenta una capacidad superior a la de la capacidad de compuerta 3, reduce la susceptibilidad a interferencias del circuito. El condensador se conecta de forma ventajosa en el lado no orientado hacia la compuerta del resistor intercalado 6, puesto que gracias a ello en caso de una sobretensión transitoria sólo debe cargarse la capacidad de compuerta 3 comparativamente baja mediante el diodo Zener 14 y el diodo 13.
- Como ya se ha explicado anteriormente, el seccionador 40 tiene la función de separar la tensión drenaje-fuente positiva de 20 V en el servicio normal del circuito conectado a continuación y de transmitir la tensión drenaje-fuente negativa de

- 0,6 V en el caso de sombreado con pocas pérdidas a los componentes del circuito dispuestos a continuación. El seccionador 40 representado en la Figura 3 presenta un transmisor de efecto de campo de unión 28 (J-FET) de n canales que conduce por sí mismo, cuyo electrodo de fuente está conectado con la conexión de drenaje del MOSFET 1, cuyo electrodo de drenaje está conectado con el circuito de alimentación y de carga 50 dispuesto a continuación y cuyo electrodo de compuerta está conectado mediante una resistencia de compuerta 29 de impedancia elevada con la línea del potencial de referencia 32. Esta resistencia 29 limita la corriente mediante los diodos de compuerta en caso de una tensión de compuerta-drenaje o de compuerta-fuente positiva superior a 0,5 V, como se produce en el caso de sombreado. Para el bloqueo, el J-FET 28 de baja impedancia requiere una tensión de compuerta negativa de aprox. 5 V tanto respecto al drenaje como respecto a la fuente. Esto se consigue en el servicio normal directamente para la sección de fuente-compuerta. Para la sección de drenaje-compuerta, por lo contrario, esto sólo puede conseguirse si el potencial de drenaje adopta un valor positivo. Para ello es necesario que el circuito de alimentación y de carga 50 dispuesto a continuación pueda absorber una tensión de bloqueo de un valor similar a la tensión umbral del J-FET, es decir, de aproximadamente 5 V. Esta propiedad especial queda garantizada por el circuito de carga 50 descrito a continuación.
- 15** En lugar del J-FET 28 descrito, también puede usarse un MOSFET que conduce por sí mismo, que puede presentar un comportamiento similar, aunque en este caso no es necesaria una limitación de corriente mediante la resistencia 29, puesto que el aislamiento de la compuerta puede absorber típicamente  $\pm 20$  V.
- 20** El circuito de alimentación y/o de carga 50 tiene la función de transformar una tensión de entrada negativa de 0,6 V en una tensión de salida positiva suficiente para el mando del MOSFET 1, de p.ej. 15 V. Teniéndose en cuenta la caída de tensión que se reduce a medida que aumenta la temperatura a través del diodo de cuerpo 2 del MOSFET 1, así como eventuales caídas de tensión que se producen en el seccionador 40, debe estar garantizado un arranque seguro ya a tensiones incluso inferiores a 0,4 V. Además, el circuito de carga debe ser robusto y poderse fabricar con unos costes mínimos. Además, asume adicionalmente las funciones del comparador 70, así como en parte de los circuitos temporizadores y los circuitos de excitación 80, 100 de la Figura 2.
- 25** El circuito de carga 50 según la Figura 3 presenta un transistor 24 que funciona en circuito de emisor común, cuyo emisor está conectado con la conexión de drenaje del J-FET 28 y cuyo colector está conectado con el arrollamiento primario 21 de un transformador 20. La base del transistor 24 está conectada mediante un resistor intercalado 25 con un arrollamiento de reacción positiva 22. Un arrollamiento de salida 21' está conectado en serie con el arrollamiento primario 21, por lo que el transformador 20 está conectado como autotransformador. El colector del transistor 24 está conectado entre el arrollamiento primario 21 y el arrollamiento de salida 21'. El arrollamiento de salida 21' está conectado mediante un diodo rectificador 23 y el resistor intercalado 6 con la capacidad de compuerta 3 directamente con el condensador suplementario 8. Otro diodo 23' conecta el extremo del arrollamiento primario con el condensador suplementario 8.
- 30** Además, el circuito de carga 50 presenta un transistor 26, cuyo emisor está conectado con la conexión de drenaje del J-FET 28, cuyo colector está conectado entre el diodo 3 y el resistor intercalado 6 y cuya base está conectado mediante un resistor intercalado 28 con la conexión del arrollamiento de reacción positiva 22.
- Un resistor de descarga 81, que puede formar parte de un circuito temporizador 80', está conectado entre la línea del potencial de referencia 32 y la línea piloto de compuerta 31.
- 40** El modo de funcionamiento, en particular del circuito de alimentación o de carga, así como el comportamiento de conmutación del MOSFET 1, se describirán haciéndose referencia a los desarrollos de la tensión en función del tiempo según las Figuras 4 y 5. En caso de sombreado con el MOS-FET 1 conectado, en la sección de drenaje-fuente cae una tensión negativa de pocos milivoltios, p.ej. -30 mV, en función de la resistencia de conexión ( $R_{Dson}$ ) del MOSFET 1 y de la corriente de generador solar momentánea. Esto se indica en la Figura 4 con el intervalo (1). Puesto que en este caso no es suficiente la tensión suministrada a través del seccionador 40, correspondientemente tampoco está activo el circuito de alimentación 50. El resistor de descarga 81 descarga lentamente, p.ej. en 100 ms (intervalo (1)), la capacidad de compuerta 3 del MOSFET 1, que según la Figura 4 estaba cargada, p.ej., a 15 V. Cuando se alcanza la tensión umbral del MOSFET 1, p.ej. con una tensión compuerta-fuente de 5 V, éste pasa del intervalo completamente controlado al intervalo lineal (intervalo (2)) y la tensión drenaje-fuente aumenta lentamente según la Figura 4. Sin la recarga descrita más adelante de la capacidad de compuerta-fuente 3 mediante el circuito de carga 50, el MOSFET 1 pasaría al estado completamente bloqueado, fluyendo en este caso la corriente del generador solar completamente por el diodo de cuerpo 2, lo cual va unido a una caída de tensión negativa de aprox. 0,4 V a aprox. 1 V.
- 50** Con una tensión de aprox. 0,3 V a 0,4 V entre la línea 34 y la línea del potencial de referencia 32, es decir, de la conexión de drenaje del seccionador 40, en el transistor 24 fluye una corriente base suficientemente grande para provocar una corriente de colector notable y, por lo tanto, corriente en el arrollamiento primario 21 del transformador 20. De este modo se induce una tensión en el arrollamiento de reacción positiva 22 que, gracias al sentido de arrollamiento, se suma alcanzándose la tensión entre las líneas 32 y 34 reforzando por lo tanto la corriente base, por lo
- 55**

que comienza un proceso de basculación. El transistor 24 se conecta directamente y según la inductancia del arrollamiento primario 21 y la tensión aplicada al arrollamiento primario, que corresponde sustancialmente a la tensión aplicada entre las líneas 32, 34, se establece una corriente primaria que aumenta en el tiempo.

**5** Cuando el núcleo del transformador 20 alcanza la saturación o cuando la corriente base del transistor 24 ya no basta para el control completo, la reacción positiva se invierte y el transistor 24 se bloquea bruscamente. La energía acumulada en la inductancia del transformador se transmite mediante el arrollamiento primario 21, así como el arrollamiento de salida 21' y el diodo rectificador 23 a la capacidad de compuerta 3, así como al condensador suplementario 8. Esto puede verse al final del intervalo (3) o al principio del intervalo (1) de las Figuras 4 y 5. El MOSFET 1 se conecta correspondientemente y presenta, como se ha descrito, según su resistencia interior ya sólo una caída de tensión negativa de pocos milivoltios. El circuito de carga 50 ya no se alimenta con suficiente tensión y no está activo. El transformador 20 se dimensiona de tal modo que la energía acumulada en el mismo basta para cargar con un solo paso de transformación la capacidad de compuerta 3 o el condensador 8 al valor teórico de p.ej. 15 V.

**10** En un transformador real, la inductancia de dispersión inevitable del arrollamiento del transformador 21 conduce a una punta de sobretensión en el transistor 24 cuando el transistor 24 se desconecta rápidamente, la cual puede conducir a daños en el mismo. El diodo 23' impide esta punta, dejando fluir la corriente que fluye en el momento de la desconexión en el arrollamiento del transformador al condensador no cargado en este momento.

**15** Se vuelve a indicar que "paso" siempre hace referencia al circuito de carga 50, mientras que el concepto "ciclo" siempre hace referencia al circuito en conjunto. El paso de carga está formado por dos fases.: La primera fase se ha descrito anteriormente y comienza y se mantiene durante el intervalo de tiempo (3) del ciclo total. El proceso de basculación propiamente dicho sólo dura pocos  $\mu\text{s}$ ; la parte sustancial del tiempo está ocupada por el "lento" aumento de la corriente hasta el final del intervalo (3). A continuación comienza la segunda fase del paso, en la que la energía es transmitida del transformador a las capacidades. Este proceso tiene lugar en el flanco descendente, es decir, en parte en el intervalo (3) y en el intervalo (1) del ciclo siguiente. No obstante, este proceso de recarga en conjunto dura sólo pocos  $\mu\text{s}$ .

**20** Como puede verse por el modo de funcionamiento arriba descrito, el transistor 24 asume con su sección base-emisor además de la función de conmutación también la función del comparador 70 de la figura 2, es decir, sólo trabaja cuando la tensión drenaje-fuente aplicada es suficientemente grande. Por lo tanto, es ventajoso que el transistor 24 esté acoplado térmicamente al MOSFET 1. Puesto que los dos componentes están basados en la tecnología de silicio, las tensiones en estado de conducción del diodo de cuerpo y también del diodo base-emisor varían en el mismo sentido, de modo que queda garantizado un funcionamiento seguro del circuito a todas las temperaturas.

**25** Cuando la tensión drenaje-fuente negativa del MOSFET o la tensión suministrada al circuito de carga 50 no es suficientemente grande, p.ej. por la resistencia interior del seccionador 40, el proceso de basculación o el paso de transformación arriba descrito, que tiene lugar en el intervalo (3), no se desarrolla forzosamente por completo. Por lo tanto, es posible que la capacidad de compuerta 3 del MOSFET 1 o el condensador 8 no se cargue completamente, en particular en caso de corrientes pequeñas del generador solar.

**30** Para garantizar adicionalmente un servicio estable del dispositivo de circuito de protección, al comenzar el proceso de basculación, la compuerta del MOSFET 1 se descarga muy rápidamente a través del transistor 26 conectado, como puede verse en la Figura 5, intervalo (3). El MOSFET 1 bloquea momentáneamente y la tensión drenaje-fuente aumenta según la Figura 4 rápidamente de aprox. -0,4 V, el valor umbral del proceso de basculación, a aprox. -0,6 V, la tensión en estado de conducción del diodo de cuerpo 2. Por lo tanto, gracias al transistor 26 se genera una reacción positiva suplementaria. En la segunda fase del paso de transformación, el transistor 26 se bloquea completamente mediante la tensión en este momento negativa en el arrollamiento de reacción positiva 22, de modo que pueden cargarse la capacidad de compuerta 3 o el condensador 8.

**35** El ciclo total del circuito según la Figura 3 está formado según las figuras 4 y 5 por una primera fase larga (100 ms), en la que el MOSFET 1 se controla por completo, una segunda fase más corta (20 ms), en la que llega a la zona lineal y la tensión drenaje-fuente sube lentamente hasta aprox. -0,4 V, y una tercera fase corta, en la que se desconecta completamente por el circuito de reacción positiva durante un tiempo corto (p.ej. 1 ms). No obstante, la cantidad de calor que se genera en la segunda y la tercera fase no representa ningún problema y puede disiparse de forma convencional.

**40** Como ya se ha explicado varias veces, en el servicio normal del módulo, la tensión drenaje-fuente del MOSFET sube a valores positivos de aprox. 15 V a aprox. 20 V. Para que bloquee el J-FET 28 usado en el seccionador 40, deben ser positivas tanto su conexión de drenaje como su conexión de fuente aprox. 5 V respecto a la conexión de compuerta; si esto no es el caso, fluiría una corriente de fuga no admisible en el circuito de carga 50. Puesto que en el circuito según la Figura 3, las secciones de emisor-base de los transistores 24 y 26 para tensiones positivas en la línea 34 están dispuestas en la dirección de bloqueo, pudiendo absorber también una tensión de bloqueo de hasta aprox. 5 V, puede

**50**

**55**

subir el potencial de drenaje del J-FET 28 hasta 5 V y el J-FET 28 puede bloquear por completo, como es requerido.

En la Figura 6 está representado otro ejemplo de realización, que consigue una simplificación del circuito representado en la Figura 3, porque se reúnen las funciones del seccionador 40 y del transistor 24 del circuito de alimentación o de carga 50. Por lo demás, el circuito corresponde al circuito según la Figura 3 y también son aplicables los diagramas de tensión según la Figura 4 y la Figura 5.

Como puede verse, el transistor 24 se hace funcionar de forma inversa. Cuando en un transistor bipolar se intercambian el emisor y el colector, se mantienen las propiedades principales de transistor; no obstante, en el servicio inverso se reduce la amplificación de la corriente aproximadamente lo que corresponde a un factor de 30. Esta propiedad se tiene en cuenta con un resistor intercalado base 25 de una impedancia correspondientemente baja. En la práctica, para la limitación de la corriente basta eventualmente ya con la resistencia óhmica del arrollamiento de reacción positiva 22, de modo que no es necesario usar un componente 25 concentrado. El servicio inverso del transistor 24 conlleva la gran ventaja de que en el servicio normal del módulo solar se hace funcionar en circuito de colector común, estando conectados su base y también el emisor a modo de tensión continua al potencial de referencia 32. En este modo de servicio, el transistor puede absorber sin problemas la tensión que se produce de 20 V, también es posible usar un tipo de transistor de tensión estable, que resiste mejor a eventuales impulsos de sobretensión. Una oscilación del circuito de alimentación o de carga queda excluida por el arrollamiento de reacción positiva 22 que en este caso de servicio actúa como realimentación.

El transistor 26 sigue funcionando en servicio convencional y su función corresponde a la de la Figura 3. No obstante, su emisor está conectado con el emisor del transistor 24. Por lo tanto, en el estado conectado del transistor 24, la compuerta del MOSFET 1 puede descargarse rápidamente a través del transistor 26, ya no teniendo que absorber el mismo en este modo de conexión tensiones de bloqueo negativas en la fase de conducción del MOSFET 1 ni tampoco en el servicio normal del módulo.

Como se ha descrito anteriormente, en los circuitos según la Figura 3 y la Figura 6, la energía necesaria para la carga de la capacidad de compuerta 3 o del condensador 8 se transmite en un solo paso, es decir, en un solo proceso de basculación del transformador 20 y del transistor. No obstante, el circuito de carga también puede transmitir la energía en varios pasos, cargando la capacidad de compuerta del MOSFET 1 o un acumulador de energía en varios pasos desconectándose a continuación.

Finalmente, el proceso de carga incompleto ya mencionado de la capacidad de compuerta o del condensador 8 también puede constituirse como principio mediante un dimensionado correspondiente, p.ej. del resistor intercalado base 25, para conseguir un servicio continuamente lineal del MOSFET 1. En este modo de servicio, el transistor 24 sirve de regulador para la tensión drenaje-fuente. El MOSFET 1 no se controla completamente sino que se mantiene en servicio lineal mediante el transistor 24 como regulador. Por lo tanto, en el caso de sombreado decae una tensión negativa de aprox. 0,3 V a 0,4 V en la sección de drenaje-fuente, que basta para hacer funcionar continuamente el circuito de alimentación o de carga 50. En este concepto, las pérdidas en el interior del MOSFET 1 son mayores que en caso de un MOSFET completamente conmutado. No obstante, es ventajoso que con este MOSFET que trabaja de forma lineal no se produzcan saltos en la tensión del generador solar o la corriente del generador solar.

Para reducir aún más la potencia perdida que se produce en el interior del MOSFET 1, el servicio transitorio en la zona lineal del MOSFET puede impedirse según el intervalo (2) en la Figura 4 y en la Figura 5. Un circuito de este tipo está representado en la Figura 7, que se distingue del circuito según la Figura 3 ó la Figura 6 mediante el circuito de descarga designado con 80". E los circuitos según la Figura 3 y la Figura 6, el momento de desconexión del MOSFET 1 depende del elemento temporizador formado por su capacidad de compuerta 3, el condensador 8 eventualmente existente, así como el resistor de descarga 81. En lugar del resistor de descarga 81 se usa un circuito de descarga de compuerta activa que no actúa de forma lineal. Este tiene la propiedad de tener una alta impedancia por encima de una determinada tensión umbral, siendo por lo contrario de una impedancia claramente más baja al quedar el valor por debajo de la tensión umbral. Un circuito con esta propiedad puede realizarse, por ejemplo, mediante un circuito disparador de Schmitt. Cuando el punto de conmutación de este circuito disparador, es decir, el umbral de basculación del circuito de descarga de compuerta 80", es más elevado que la tensión de compuerta máxima necesaria para el control completo del MOSFET 1, p.ej. es de 6 V o superior, ésta bajará en primer lugar lentamente tras una carga por el circuito de carga 50 para volver a bajar rápidamente cuando queda debajo del umbral de disparo o de basculación iniciando un nuevo paso de carga. Con un circuito de este tipo se evita el servicio del MOSFET 1 en el intervalo lineal, que está designado en la Figura 4 y en la Figura 5 con el intervalo (2), y la potencia perdida vuelve a reducirse.

Con este circuito 80" queda conectado un MOSFET de señal débil 87 entre la línea piloto de compuerta 31 y la línea del potencial de referencia 32, cuya conexión de compuerta está conectada con el colector de un transistor 83, cuyo emisor está conectado nuevamente al potencial de referencia 32. La conexión base está conectada con un divisor de tensión 84, 85 entre la línea piloto de compuerta 31 y la línea del potencial de referencia 32. Finalmente, está conectada una resistencia 86 entre la línea 31 y la conexión de compuerta del MOSFET 87. De la conexión de colector

del transistor 83, un condensador 88 está conectado con el arrollamiento de reacción positiva 22.

En caso de tensiones de compuerta elevadas del MOSFET 1, el transistor 83 se controla completamente mediante el divisor de tensión 84, 85. Su potencial de colector y, por lo tanto, también el potencial de compuerta del MOSFET 87 están por lo tanto cercanos al potencial de referencia 32, por lo que el MOSFET 87 está bloqueado.

- 5** La capacidad de compuerta 3 del MOSFET 1, así como el condensador 8 se descargan lentamente mediante las resistencias de alta impedancia 84, 85 y 86. Cuando la tensión de la compuerta del MOSFET 1 queda por debajo de un valor mínimo, el transistor 83 comienza a bloquear y la tensión de compuerta del MOSFET 1 sube. Cuando se alcanza la tensión umbral de p.ej. aprox. 1 ... 2 V, cuando se trata de un MOSFET de señal débil 87, la sección de drenaje-fuente cambia a una impedancia baja y la capacidad de compuerta 3 o el condensador 8 se descargan rápidamente.
- 10** De este modo sigue bajando la corriente base para el transistor 83 y comienza un proceso de basculación. Este proceso de basculación se favorece porque, a partir de una determinada tensión drenaje-fuente del MOSFET 1, arranca el circuito de alimentación o de carga 50 de la forma arriba descrita. En la primera parte del paso se eleva la tensión en el arrollamiento de reacción positiva 22 a valores positivos. Este aumento se transmite a través del condensador de acoplamiento 88 a la compuerta del MOSFET 87, por lo que se vuelve a reforzar el proceso de reacción positiva quedando completamente descargados la capacidad de compuerta 3 o el condensador 8. De este modo se bloquea también muy rápidamente por completo el MOSFET 1.

Debido a la reacción positiva suplementaria mediante el condensador 88, puede suprimirse la derivación de reacción positiva mostrada en la Figura 6 a través del transistor 26 y el resistor intercalado 27.

- 20** En la segunda fase del paso de carga, el MOSFET 87 se bloquea por completo en el arrollamiento de reacción positiva mediante el salto de tensión negativo transmitido por el condensador 88, de modo que la capacidad de compuerta 3 o el condensador 8 pueden volver a cargarse. La Figura 8 muestra otra realización especialmente ventajosa del circuito de protección. Corresponde sustancialmente al circuito según la Figura 6, suprimiéndose el transistor al igual que el resistor intercalado 10 y habiéndose sustituido el circuito de descarga pasivo 80' por un circuito de descarga activo 80''.

- 25** El punto central del circuito de descarga activo 80'' es el J-FET 81' que conduce por sí mismo. Por un lado, sustituye el transistor 9 con el resistor intercalado 10, conectando en el servicio normal del módulo solar la compuerta del MOSFET 1 mediante el resistor intercalado 6 y los arrollamientos 21' y 21 del transformador con el conductor del potencial de referencia 32. De este modo se impide con seguridad una conexión indeseada del MOSFET 1 por tensiones de compuerta inducidas desde el exterior o también corrientes de fuga de los diodos 13 y 14. Por otro lado, permite un mando óptimo del MOSFET 1 según la Figura 9, lo cual conduce a otra reducción de la potencia perdida en el elemento de conmutación de derivación.

- 30** A diferencia de los circuitos anteriormente descritos, en el circuito según la Figura 8, la compuerta del MOSFET 1 no se descarga tras el proceso de carga por una resistencia, sino que la tensión de compuerta  $U_{GS}$  mantiene durante todo el intervalo de tiempo 1 su valor completo. De este modo, el MOSFET tiene una impedancia muy baja durante este intervalo de tiempo, por lo que la potencia perdida es correspondientemente reducida. El momento de desconexión del MOSFET 1 depende de una constante de tiempo del elemento temporizador formado por el condensador 82' y la resistencia 84'. En la fase de carga de los condensadores 8 y 3 al final del intervalo de tiempo 4 se carga también el condensador 82' mediante el diodo 83' alcanzando la suma de las tensiones en los tres arrollamientos 21, 21' y 22, en este ejemplo a 17,5 V. Cuando después de la desmagnetización del transformador 20 la tensión de los arrollamientos 21 y 21' vuelve a cambiar a cero, el potencial en la compuerta del J-FET 81' cambia a un valor de -17,5 V. Por lo tanto, el J-FET queda completamente bloqueado y en el caso ideal no puede salir carga de los condensadores 8 y 3. El condensador 82' se descarga lentamente, p.ej., en 100 ms, mediante la resistencia 84'. Cuando la tensión de compuerta del J-FET 81' alcanza la tensión umbral del mismo (en este ejemplo - 2 V), el J-FET pasa a ser de baja impedancia y descarga los condensadores 8 y 3 mediante los arrollamientos 21' y 21, por lo que la tensión de compuerta  $U_{GS}$  del MOSFET 1 baja muy rápidamente, lo cual está representado en la Figura 9 en el intervalo de tiempo 2. Cuando esta tensión queda por debajo de la tensión umbral del MOSFET 1, este comienza a bloquear y su tensión drenaje-fuente  $U_{DS}$  sube rápidamente según la Figura 9, intervalo 3. Cuando se alcanza un valor de aprox. -0,4 V, comienza el proceso de basculación del circuito de carga 50, como se ha descrito en relación con los circuitos descritos hasta ahora, que va unido a una continuación muy rápida de la descarga de los condensadores 8 y 3 por el transistor 26. Sigue el intervalo 4, en el que el transistor 24 es completamente conductor y se acumula energía en el transformador 20. Al final de este intervalo se procede a la nueva carga de los condensadores 8 y 3, así como 82'.

Puesto que el MOSFET 1 está completamente controlado durante la mayor parte del tiempo de ciclo y puesto que el intervalo de tiempo en el estado de bloqueo representa menos del 1 % del tiempo de ciclo, se vuelve a reducir la potencia perdida en el circuito según la Figura 8 en comparación con los demás circuitos.

Por supuesto, todos los circuitos descritos pueden estar formados con tipos de semiconductores complementarios.

**5** Además de la función como elemento de derivación de pocas pérdidas, el MOSFET 1 puede asumir como función adicional también una puesta en cortocircuito de la tensión del generador solar durante la instalación, en caso de una inspección o en caso de un incendio. Para ello se solicitan, por ejemplo, mediante una línea piloto las conexiones de compuerta de todos los MOSFET en un generador solar con una tensión de control, de modo que queda puesta en cortocircuito la tensión de cada módulo individual. De este modo es posible un contacto sin peligros de las partes activas y de las líneas del generador solar.

**10**

## REIVINDICACIONES

- 5 1.- Dispositivo de circuito de protección para un módulo solar, en el que una pluralidad de células solares que trabajan en parte en servicio normal y al mismo tiempo en parte en caso de sombreado están conectadas en serie, con al menos un elemento de conmutación (1) eléctrico controlable que sirve de elemento de derivación, cuya sección de conmutación puede conectarse en paralelo a la pluralidad de células solares, con un circuito de alimentación (50) para suministrar una tensión de control para el mando del electrodo de control del elemento de derivación (1), caracterizado por un seccionador (40) para bloquear la tensión aplicada en el servicio normal a la sección de conmutación del elemento de derivación al circuito de alimentación (50) y para conmutar la tensión aplicada a la sección de conmutación en caso de sombreado de al menos una célula solar al circuito de alimentación (50).
- 10 2.- Dispositivo de circuito de protección según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el circuito de alimentación está realizado como circuito de carga (50) para un acumulador de energía (3, 8, 60), que realiza la conversión de una tensión disponible en el caso de sombreado a una tensión más elevada para el mando del elemento de derivación controlable.
- 15 3.- Dispositivo de circuito de protección según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado porque** el elemento de derivación (1) controlable está realizado como transistor de efecto de campo MOS.
- 4.- Dispositivo de circuito de protección según la reivindicación 2 ó 3, **caracterizado porque** el acumulador de energía está realizado como condensador (8) y/o como capacidad (3) inherente del elemento de derivación (1) controlable.
- 5.- Dispositivo de circuito de protección según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** el seccionador (40) está realizado como transistor de efecto de campo, preferiblemente como J-FET o MOSFET.
- 20 6.- Dispositivo de circuito de protección según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** el seccionador está realizado como transistor bipolar que se hace funcionar de forma inversa.
- 25 7.- Dispositivo de circuito de protección según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado porque** está previsto un circuito temporizador (80), que define un tiempo de ciclo, durante el cual el elemento de derivación (1) controlable está completamente conectado durante un primer intervalo de tiempo y completamente bloqueado durante un segundo intervalo de tiempo, cargándose el acumulador de energía (3, 8, 60) durante el segundo intervalo de tiempo.
- 8.- Dispositivo de circuito de protección según la reivindicación 7, **caracterizado porque** el ciclo de tiempo presenta un tercer intervalo de tiempo situado entre el primero y el segundo intervalo de tiempo, en el que el elemento de derivación (1) controlable se hace funcionar en estado lineal.
- 30 9.- Dispositivo de circuito de protección según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado porque** el circuito de alimentación o de carga (50) presenta un circuito de regulación (24) con el que el elemento de derivación controlable puede hacerse funcionar continuamente en el estado lineal.
- 35 10.- Dispositivo de circuito de protección según una de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado porque**, para generar la tensión necesaria para el mando del elemento de derivación (1) controlable, el circuito de alimentación o de carga (50) presenta un transformador o al menos una bobina o al menos un condensador para la acumulación intermedia de energía para aumentar la tensión disponible en caso de desconexión.
- 11.- Dispositivo de circuito de protección según una de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado porque**, para generar la tensión necesaria para el mando del elemento de derivación (1) controlable, el circuito de alimentación o de carga (50) presenta una bomba de carga para aumentar la tensión disponible en caso de desconexión.
- 40 12.- Dispositivo de circuito de protección según una de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado porque** el circuito de alimentación (50) presenta un transformador (20) con un arrollamiento de reacción positiva (22) y un primer elemento de conmutación (24) electrónico, ejerciendo el elemento de conmutación y el transformador (20) un proceso de basculación similar a un oscilador de bloqueo, durante el cual la energía acumulada en el transformador (20) se transfiere al acumulador de energía (3, 8, 60).
- 45 13.- Dispositivo de circuito de protección según la reivindicación 12, **caracterizado porque** el primer elemento de conmutación (24) electrónico se hace funcionar de forma inversa formando al mismo tiempo el seccionador (40).
- 14.- Dispositivo de circuito de protección según la reivindicación 12 ó 13, **caracterizado porque** un arrollamiento de salida suplementario (21') está conectado en serie con el arrollamiento primario (21) a modo de un autotransformador.
- 15.- Dispositivo de circuito de protección según una de las reivindicaciones 12 a 14, **caracterizado porque** la sección de conmutación del primer elemento de conmutación (24) está conectada en serie con el arrollamiento primario (21) y

el arrollamiento de reacción positiva (22) está conectado con el electrodo de control del primer elemento de conmutación (24).

- 5** 16.- Dispositivo de circuito de protección según una de las reivindicaciones 1 a 15, **caracterizado porque** el electrodo de control del elemento de derivación (1) controlable está conectado con un primer circuito de descarga (80', 80", 80'''), habiéndose elegido la constante de tiempo del primer circuito de descarga de tal modo que la relación del tiempo de la conducción del elemento de derivación (1) al tiempo de no conducción es grande, preferiblemente > 5.
- 17.- Dispositivo de circuito de protección según la reivindicación 16, **caracterizado porque** el primer circuito de descarga presenta una resistencia (81) conectada en paralelo a la capacidad inherente (3) del elemento de derivación (1) y, dado el caso, a un condensador (8) conectado en paralelo a esta capacidad inherente.
- 10** 18.- Dispositivo de circuito de protección según una de las reivindicaciones 12 a 17, **caracterizado porque** el circuito de alimentación (50) presenta un circuito de descarga rápida (26), que descarga rápidamente la capacidad inherente (3) y, dado el caso, el condensador suplementario (8) conectado en paralelo al comenzar el proceso de basculación.
- 15** 19.- Dispositivo de circuito de protección según la reivindicación 18, **caracterizado porque** el circuito de descarga rápida presenta un segundo elemento de conmutación (26) electrónico, cuyo electrodo de control está conectado con el arrollamiento de reacción positiva y cuya sección de conmutación está conectada, partiendo de la conexión del electrodo de control del elemento de conmutación de derivación (1), en paralelo a la sección de conmutación del primer elemento de conmutación electrónico (24) o en serie con éste.
- 20** 20.- Dispositivo de circuito de protección según la reivindicación 16, **caracterizado porque** el primer circuito de descarga (80'') está realizado como circuito de descarga activo que no actúa de forma lineal, que por encima de una tensión umbral tiene una impedancia elevada y por debajo de la tensión umbral tiene una impedancia baja, dependiendo la tensión umbral de la tensión necesaria para el control completo del elemento de conmutación de derivación (1) en su electrodo de control.
- 21.- Dispositivo de circuito de protección según la reivindicación 20, **caracterizado porque** el primer circuito de descarga (80'') está realizado como circuito disparador de Schmitt.
- 25** 22.- Dispositivo de circuito de protección según la reivindicación 16, **caracterizado porque** el primer circuito de descarga (80''') presenta un J-FET que conduce por sí mismo y una red de diodo (83'), condensador (82') y resistor de descarga (83'), que forman un elemento temporizador para la desconexión periódica del elemento de conmutación de derivación después de un tiempo definido.
- 30** 23.- Dispositivo de circuito de protección según una de las reivindicaciones 1 a 22, **caracterizado porque** el elemento de conmutación de derivación controlable tiene asignado un circuito de protección (30) contra sobretensión, así como contra una conexión indeseada.
- 35** 24.- Dispositivo de circuito de protección según una de las reivindicaciones 1 a 23, **caracterizado porque** para la puesta en cortocircuito del módulo solar para fines de inspección o en caso de incendio, a los electrodos de control de los elementos de derivación se aplica una tensión tal que los elementos de derivación se conmutan a modo de conducción.

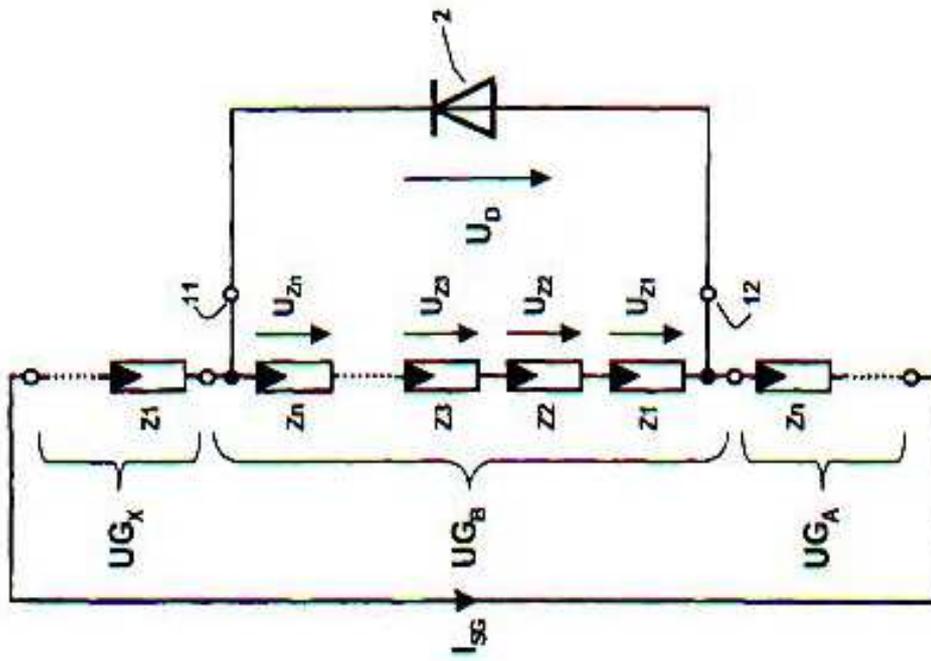


Figura 1a

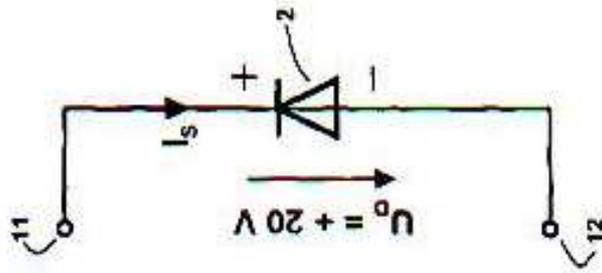


Figura 1b

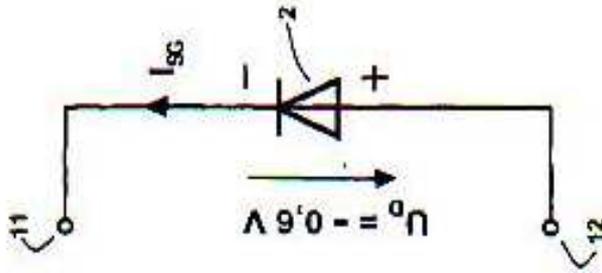


Figura 1c

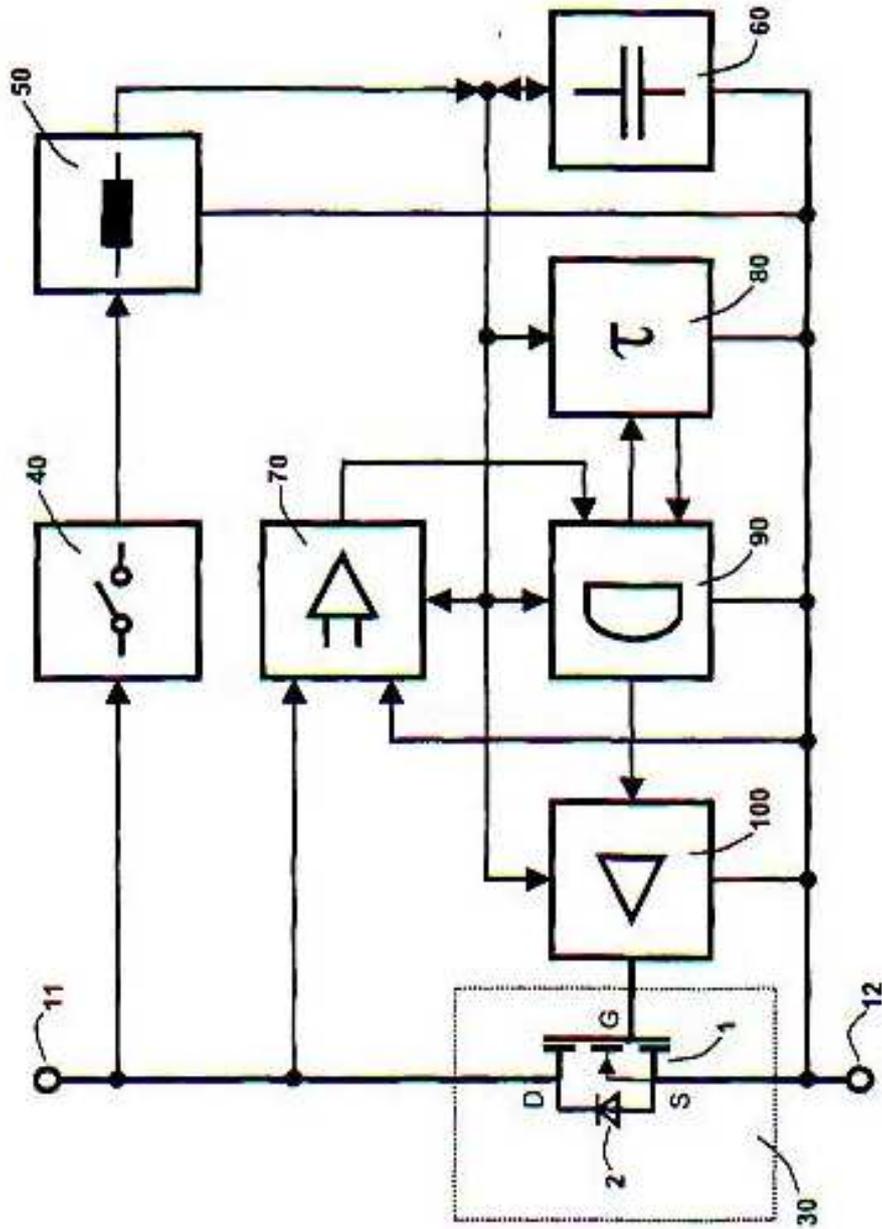


Figura 2

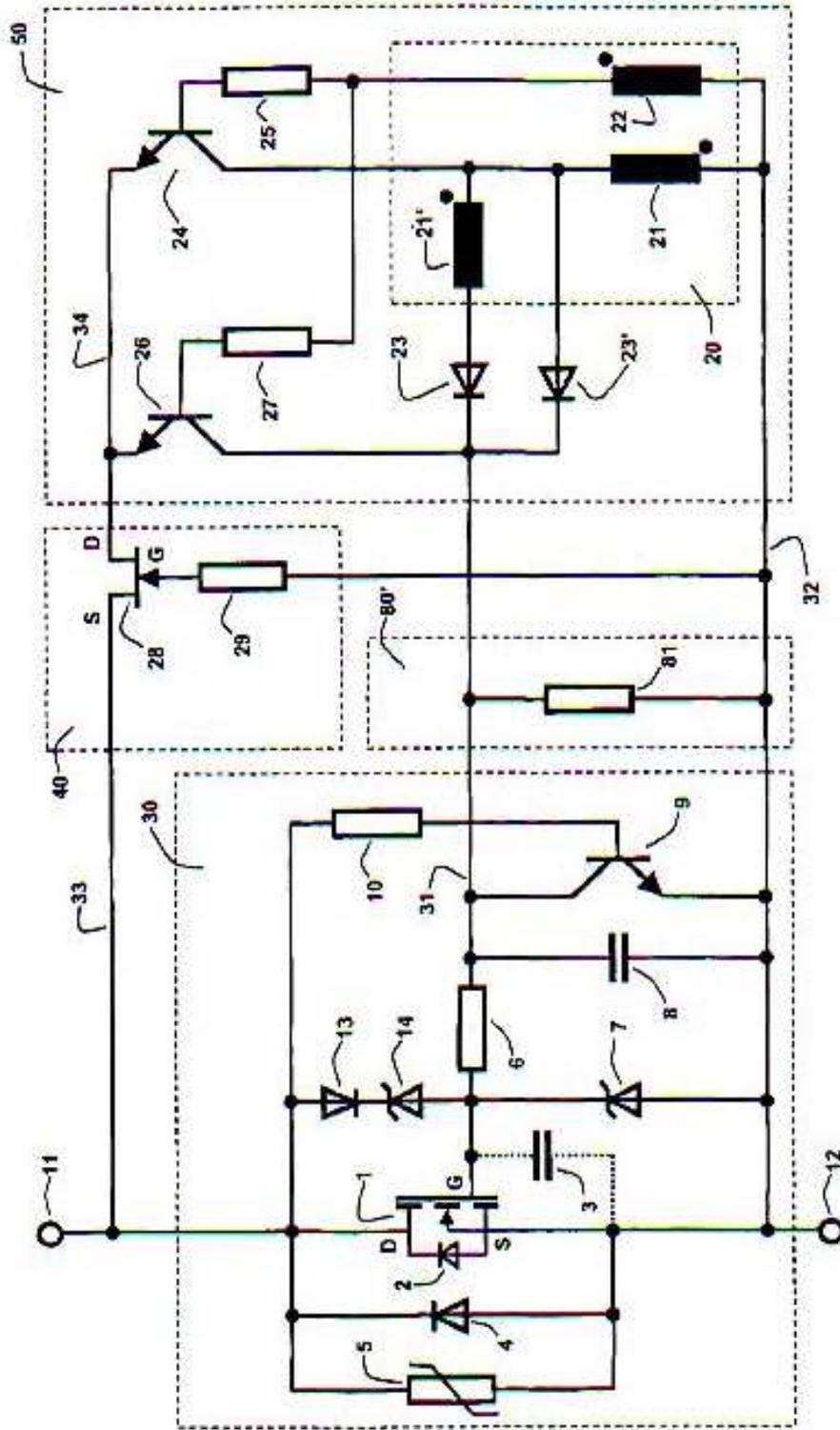


Figura 3

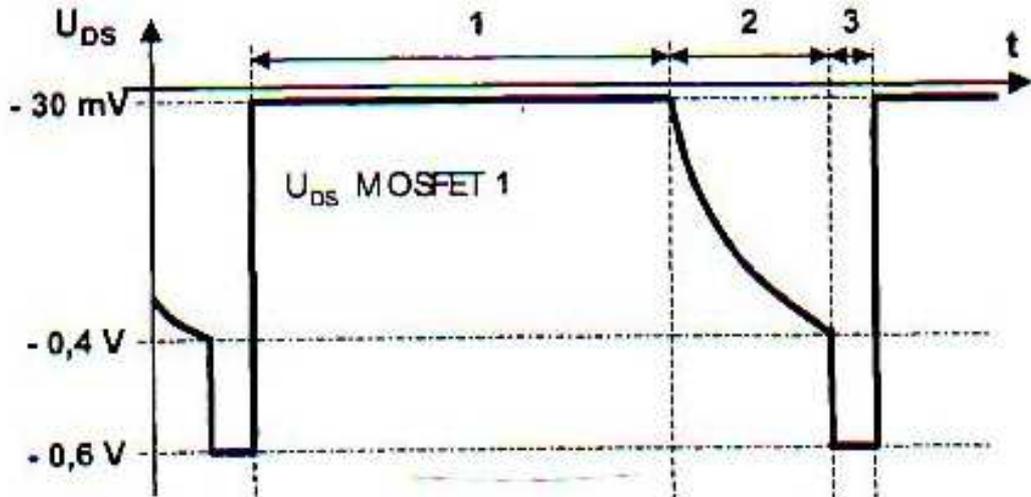


Figura 4

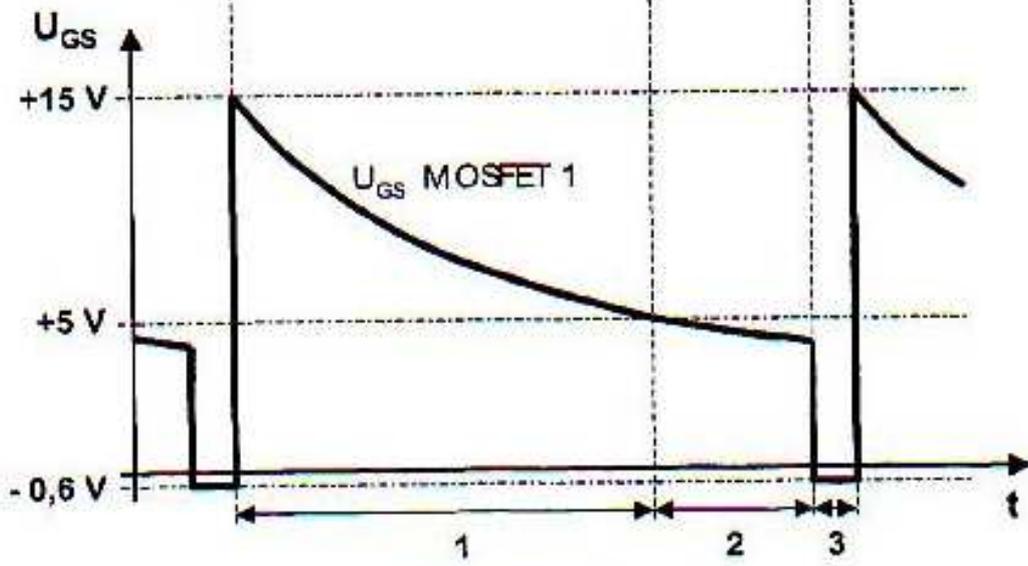


Figura 5



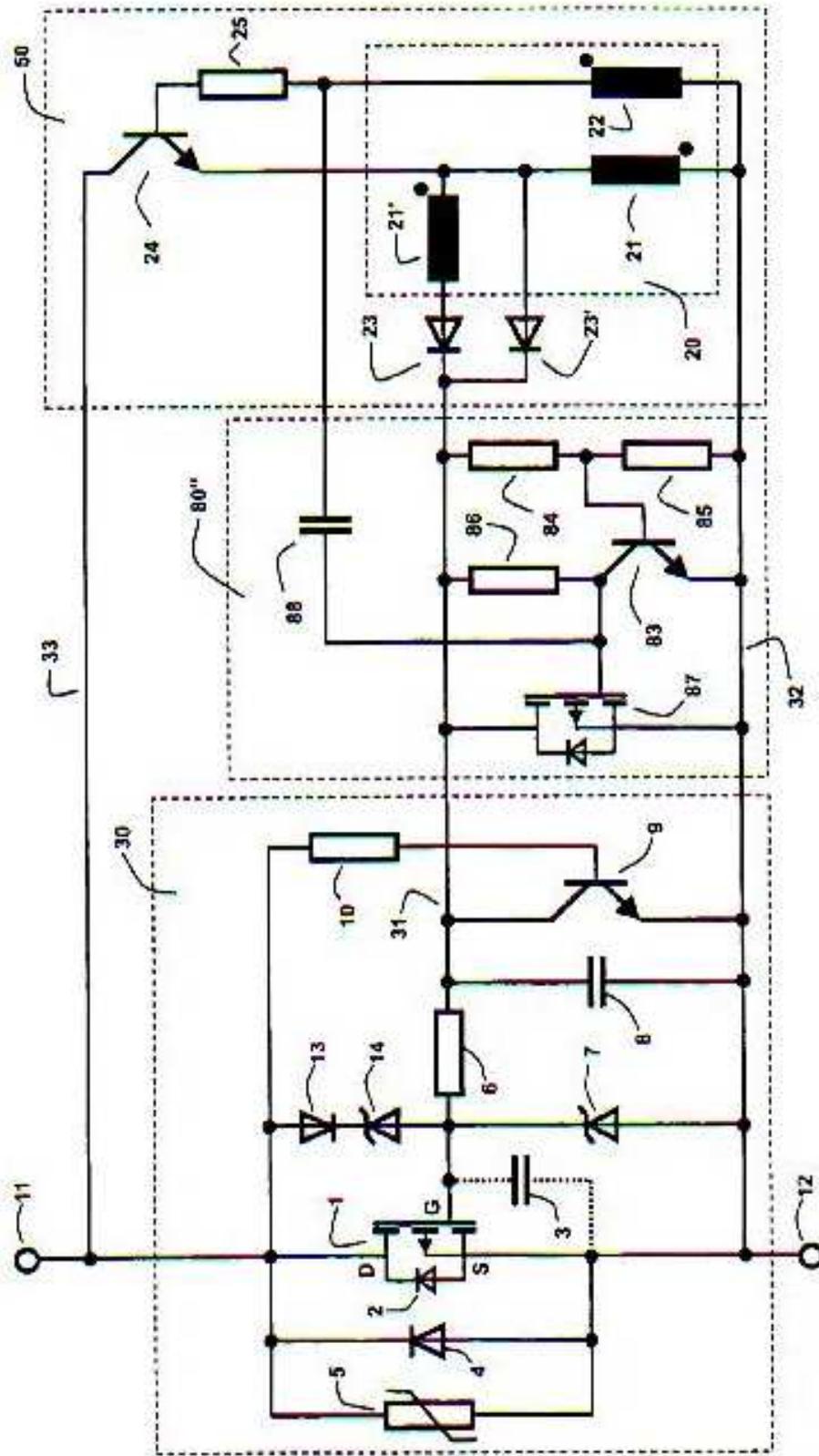


Figura 7



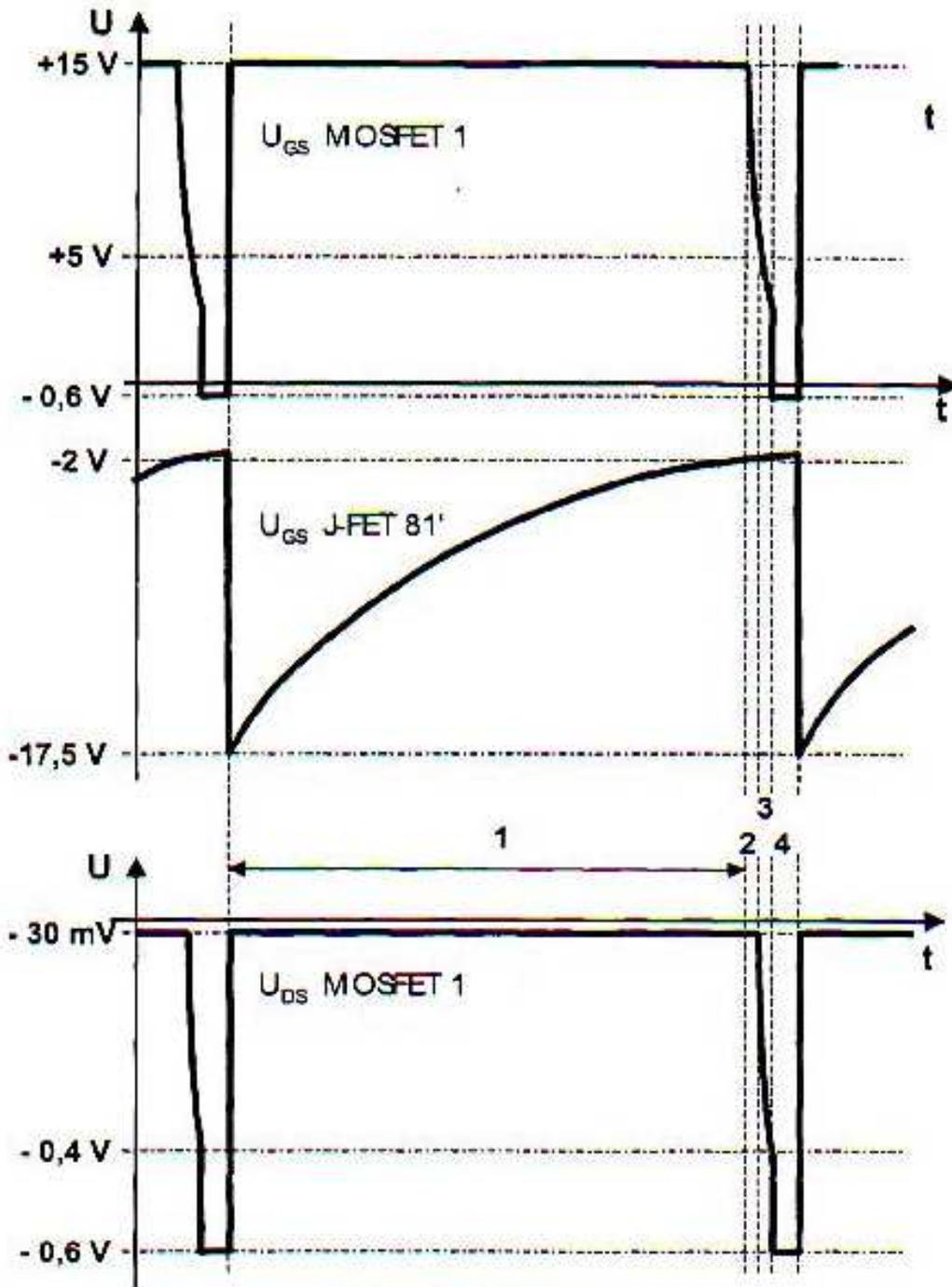


Figura 9