

(12) **FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO**

| | |
|---|---|
| (22) Data de pedido: 2006.05.23 | (73) Titular(es): FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. HANSASTRASSE 27C 80686 MÜNCHEN DE |
| (30) Prioridade(s): 2005.05.24 DE 102005024428 2005.07.25 DE 102005036153 | (72) Inventor(es): HERIBERT SCHMIDT DE BRUNO BURGER DE |
| (43) Data de publicação do pedido: 2008.02.06 | (74) Mandatário: ELSA MARIA MARTINS BARREIROS AMARAL CANHÃO RUA DO PATROCÍNIO 94 1399-019 LISBOA PT |
| (45) Data e BPI da concessão: 2011.05.11 140/2011 | |

(54) Epígrafe: **DISPOSITIVO INTERRUPTOR DE PROTECÇÃO PARA UM MÓDULO SOLAR**

(57) Resumo:

É PROPOSTO UM DISPOSITIVO INTERRUPTOR DE PROTECÇÃO PARA UM MÓDULO SOLAR, NO QUAL UMA MULTIPLICIDADE DE CÉLULAS SOLARES, QUE TRABALHAM EM FUNCIONAMENTO NORMAL E NA SITUAÇÃO DE SOMBRA, ESTÃO LIGADAS EM SÉRIE. PELO MENOS UM ELEMENTO ELÉCTRICO DE COMUTAÇÃO CONTROLÁVEL, QUE SERVE COMO ELEMENTO DE BYPASS, ESTÁ, NESTE CASO, COM O SEU TRAJECTO DE COMUTAÇÃO LIGADO EM PARALELO À MULTIPLICIDADE DE CÉLULAS SOLARES. UM CIRCUITO DE ALIMENTAÇÃO COLOCA À DISPOSIÇÃO UMA TENSÃO DE CONTROLO, PARA O COMANDO DO ELÉCTRODO DE CONTROLO DO ELEMENTO DE BYPASS, SENDO QUE ESTÁ PREVISTO UM CIRCUITO SEPARADOR, PARA BLOQUEAR A TENSÃO EXISTENTE NO TRAJECTO DE COMUTAÇÃO DO ELEMENTO DE BYPASS PARA O CIRCUITO DE ALIMENTAÇÃO, NO FUNCIONAMENTO NORMAL E PARA PERMITIR A PASSAGEM DA TENSÃO EXISTENTE NO TRAJECTO DE COMUTAÇÃO, NA SITUAÇÃO DE SOMBRA DE PELO MENOS UMA CÉLULA SOLAR, PARA O CIRCUITO DE ALIMENTAÇÃO.

DESCRIÇÃO

"DISPOSITIVO INTERRUPTOR DE PROTECÇÃO PARA UM MÓDULO SOLAR"

A presente invenção refere-se a um dispositivo interruptor de protecção para um módulo solar, no qual uma multiplicidade de células solares estão ligadas em série. Um tal dispositivo interruptor de protecção é conhecido a partir do documento JP 2000174308.

Os módulos solares são em geral conhecidos e são constituídos, de acordo com a fig. 1a, habitualmente por uma ligação em série de células, que fornecem uma tensão individual U_z de cerca de 0,5 V a 1 V. Com uma situação de sombra parcial de uma ou várias células ou mesmo com características diferentes das células, em especial da corrente de curto-circuito, em caso de carga inverte-se a tensão através das células situadas na sombra. No pior dos casos, ou seja, em caso de curto-circuito do gerador solar, por exemplo, com funcionamento através de um regulador de carga de bateria em *shunt*, baixa a soma das tensões de todas as células não situadas na sombra, na direcção do bloqueio, através da célula situada na sombra.

Em seguida, independentemente da causa efectiva da inversão de tensão, é utilizado sempre o conceito "situação de sombra"; para o funcionamento sem sombra, o conceito "funcionamento normal".

A tensão de bloqueio admissível de uma célula solar vai de uns poucos Volts a umas poucas dezenas de Volts. Dependendo do

número das células não situadas na sombra ligadas em série à célula situada na sombra, a tensão de bloqueio admissível pode ser excedida, o que pode conduzir a rupturas locais da camada isoladora e danos irreversíveis da célula. Para evitar esta elevada tensão de bloqueio não admissível, é conhecido que, de maneira ideal, se liga um chamado diodo de *bypass* em paralelo a cada célula individual. Este esforço é considerável e suportável apenas no caso de aplicações especiais, veja-se, por exemplo, a astronáutica. Em módulos solares habituais no comércio, por conseguinte, são formados, de acordo com a figura 1a, subgrupos UG_A , UG_B , ... UG_X de células ligadas em série, por exemplo, 18 a 24, que são protegidas, respectivamente, através de um diodo de *bypass*. Estes estão ligados ao subgrupo respectivo através de conexões 11, 12. Para efeitos de melhor compreensão, na fig. 1a está representado apenas o diodo de *bypass* para o subgrupo UG_B .

No funcionamento normal, de acordo com a figura 1b, através do diodo de *bypass*, a soma das tensões das células Z_1 a Z_n que pertencem ao subgrupo situa-se, portanto, em aproximadamente +15 V até mais de +20 V. A tensão I_s de bloqueio deve ser mínima para evitar perdas. Numa situação de sombra completa de uma ou várias células dentro de um subgrupo, de acordo com a fig. 1c, a corrente I_{SG} de curto-circuito ou de ponto operacional, produzida pelas células não situadas na sombra, que se situam fora do subgrupo atravessa o diodo 2 de *bypass*. Esta corrente produz no diodo 2 de *bypass*, em função da tecnologia do diodo utilizado, a corrente que o atravessa e da temperatura do diodo, uma queda de tensão U_D de cerca de -0,4 V até mais de -1 V. Através da célula situada na sombra, baixa assim, no pior dos casos, a soma das tensões de todas as células não situadas na sombra que se encontram dentro do subgrupo respectivo, incluindo a queda de tensão através do diodo de *bypass*.

O número das células reunidas num subgrupo é escolhido de modo que, no pior dos casos, não é excedida a tensão de bloqueio admissível da célula individual desligada. Isto conduz a um número típico de cerca de 18 a 24 células por subgrupo.

Para o diodo de *bypass* conhecido resultam, por conseguinte, as condições de funcionamento seguintes:

No funcionamento normal representado na fig. 1b, através do diodo de *bypass*, a tensão das células reunidas num subgrupo, na direcção do bloqueio, situa-se tipicamente, portanto, em cerca de +15 V até +20 V. No caso representado na fig. 1c de uma situação de sombra completa de uma célula dentro do subgrupo respectivo, a corrente I_{SG} do gerador solar atravessa o diodo de *bypass* e causa uma queda de tensão U_D de cerca de -0,4 V até mais de -1 V. Admite-se na descrição que se segue, para simplificação, que se produz uma tensão de bloqueio de +20 V e uma tensão U_D directa de -0,6 V, sendo que podem surgir outros valores.

Os díodos de *bypass* são alojados habitualmente numa tomada de conexão, que está ligada ao módulo solar e, por conseguinte, está exposta a temperaturas ambiente de cerca de -20 °C até mais de 85 °C. Numa tomada estão alojados, tipicamente, dois ou três díodos para dois ou três subgrupos UG_A , UG_B e UG_C . Para a elevação das correntes I_{SG} admissíveis do gerador solar podem também estar ligados em paralelo vários díodos de *bypass*.

Nos díodos de *bypass* utilizados no estado da técnica, no caso de uma situação de sombra surge uma dissipação de potência relativamente grande. Uma tal dissipação de potência pode ser suportada pelo diodo sem problemas no curto prazo; com situações

de sombra mais duradouras, no entanto, é difícil dissipar a quantidade de calor resultante do diodo e para fora da tomada de conexão. Neste caso deve ser considerada adicionalmente a circunstância de as cargas mais elevadas, ou seja, as correntes solares mais elevadas, surgirem geralmente com temperaturas ambiente ou temperaturas dos módulos simultaneamente elevadas. O problema agrava-se com células solares que se tornam maiores, uma vez que estas fornecem uma corrente de curto-circuito ou corrente nominal que aumenta proporcionalmente à superfície da célula.

Cabe à invenção, por conseguinte, o objectivo de criar um dispositivo interruptor de protecção para um módulo solar que assuma as funções de um diodo de *bypass*, sendo que gera pouca dissipação de potência e tem estrutura simples e garante uma grande e prolongada fiabilidade.

Este objectivo é resolvido, de acordo com a invenção, através das características da reivindicação principal.

Uma vez que está previsto um elemento eléctrico de comutação controlável, que serve como elemento de *bypass*, cujo trajecto de comutação pode ser ligado em paralelo à multiplicidade de células solares e que um circuito de alimentação coloque à disposição uma tensão de controlo, para o comando do eléctrodo de controlo, é posto à disposição um circuito de *bypass*, que pode assumir sem dificuldade a corrente de curto-circuito ou de ponto operacional das células solares situadas na sombra. Por meio da tensão de alimentação, o elemento de *bypass* controlável é controlado na sua função, de modo que surge pouca dissipação de potência. Através do circuito separador previsto além disso adiante, pode ser bloqueada a

tensão existente no trajecto de comutação do elemento de comutação para o circuito de alimentação, no funcionamento normal das células solares, enquanto que, na situação de sombra, o circuito separador deixa passar a tensão existente para o circuito de alimentação, através do trajecto de comutação.

Através das medidas indicadas nas reivindicações dependentes são possíveis desenvolvimentos e aperfeiçoamentos vantajosos.

É especialmente vantajoso que o circuito de alimentação esteja realizado como circuito de carga para um acumulador de energia ou apresente um circuito que proceda a uma conversão de uma tensão que está à disposição na situação de sombra, numa tensão mais elevada para o comando do elemento de *bypass* controlável. Desta maneira pode ser utilizada a tensão de alimentação de -0,6 V que está à disposição na situação de sombra, através do trajecto de comutação, para comandar o elemento de *bypass* controlável e, eventualmente, alimentar outros circuitos.

De maneira vantajosa, o elemento de *bypass* controlável está realizado como transístor MOS de efeito de campo (MOSFET), sendo que o diodo principal existente, inerente ao MOSFET, pode assumir completamente, por breves instantes, a corrente do gerador solar e, no caso de pequenas correntes do gerador solar, pode ser aproveitado de forma duradoura como diodo de *bypass*.

De maneira vantajosa, o condensador inerente ao elemento de *bypass* controlável, no caso do MOSFET utilizado o condensador de *gate*, é utilizado como acumulador de energia do circuito de alimentação ou de carga, de modo que não são necessários quaisquer módulos acumuladores adicionais.

De maneira especialmente vantajosa, o circuito separador está realizado como transístor bipolar accionado por inversão, uma vez que este, no funcionamento normal, é accionado de modo convencional no circuito do colector e, por conseguinte, pode bloquear sem problemas a tensão positiva de *drain-source* de 20 V, que surge no funcionamento normal.

É vantajoso realizar o circuito separador como transístor de efeito de campo, de modo preferido como J-FET de activação automática, uma vez que este apresenta uma resistência de activação reduzida, de modo que o circuito que se segue está ligado quase sem perdas à tensão do trajecto de comutação do elemento de *bypass*, da tensão de *drain-source* do MOSFET.

De maneira vantajosa, o circuito de alimentação e/ou o circuito de carga apresenta um transformador com um enrolamento de realimentação e um primeiro elemento electrónico de comutação, sendo que o elemento de comutação e o transformador desempenham uma operação de inversão semelhante à de um oscilador de bloqueio, na qual a energia armazenada no transformador é transferida para o acumulador de energia, por exemplo, o condensador de *gate*. Através desta medida é possível, a partir da tensão reduzida na situação de sombra, de cerca de 0,6 V, produzir uma tensão elevada de aproximadamente 15 V, sendo que a energia necessária para a carga do condensador de *gate* pode ser transmitida rapidamente, de modo preferido num único ciclo.

De maneira especialmente vantajosa, o primeiro elemento electrónico de comutação é accionado por inversão, de modo que, ao mesmo tempo, forma o circuito separador e não são necessários quaisquer módulos adicionais para a separação.

Através da previsão de um primeiro circuito de descarga, que está ligado ao eléctrodo de controlo do elemento de *bypass* controlável, sendo a constante de tempo do circuito de descarga escolhida de modo que a relação do tempo de condução do elemento de *bypass* para o de não-condução seja grande, de modo preferido superior a 5, é possível controlar o elemento de *bypass* controlável de modo que surjam dissipações de potência reduzidas e, por conseguinte, a geração de calor seja reduzida.

É vantajoso que o primeiro circuito de descarga esteja realizado como circuito de descarga activa de actuação não-linear, o qual, acima de uma tensão limiar é de alta impedância e abaixo da tensão limiar, de baixa impedância, sendo a tensão limiar determinada no seu eléctrodo de controlo, através da tensão necessária para a passagem completa ao estado de condução do elemento comutador de *bypass*. Deste modo a dissipação de potência que ocorre no interior do MOSFET pode ser ainda mais reduzida.

É especialmente vantajoso realizar o primeiro circuito de descarga como um transistor J-FET de activação automática, que, no funcionamento normal, liga o eléctrodo de controlo do elemento comutador de *bypass* a um potencial de referência e assim impede uma ligação involuntária do elemento comutador de *bypass* e que, na situação de sombra, forma um elemento temporizador, juntamente com uma rede constituída por díodo, condensador e resistência de descarga, a qual desliga periodicamente o elemento comutador de *bypass*, após um tempo definido. Deste modo o eléctrodo de controlo do elemento comutador de *bypass*, no estado de condução, pode permanecer

sempre carregado num valor ideal, facto pelo qual a dissipação de potência se reduz ainda mais.

Alguns exemplos de realização da invenção estão representados no desenho e são explicados em pormenor na descrição que se segue. Mostram:

Figura 1 a ligação em circuito de células solares e díodos de *bypass* de acordo com o estado da técnica, bem como a tensão dos díodos no funcionamento normal e na situação de sombra,

Figura 2 um diagrama em bloco do dispositivo interruptor de protecção de acordo com a invenção,

Figura 3 uma primeira configuração, de acordo com o circuito, do dispositivo interruptor de protecção de acordo com a invenção,

Figura 4 a sequência temporal da tensão de *drain-source* do elemento de *bypass* controlável,

Figura 5 a sequência temporal da tensão de *gate-source*,

Figura 6 uma segunda configuração, de acordo com o circuito, do dispositivo interruptor de protecção de acordo com a invenção e

Figura 7 uma terceira configuração, de acordo com o circuito, do dispositivo interruptor de protecção de acordo com a invenção,

Figura 8 uma quarta configuração da invenção, de acordo com o circuito e

Figura 9 a sequência temporal da tensão de *gate-source* do elemento de *bypass* controlável e da tensão de *gate-source* do J-FET de activação automática, bem como a sequência temporal da tensão de *drain-source* do elemento de *bypass* controlável.

O dispositivo interruptor de protecção representado na figura 2 apresenta como parte integrante essencial um transístor 1 MOS de efeito de campo, que é parte integrante de uma unidade 30 de interruptor, que é descrita mais tarde em pormenor. O trajecto de *drain-source* como trajecto de comutação situa-se entre as conexões 11 e 12, que estão ligadas ao circuito em série das células solares do módulo solar. No funcionamento normal existe uma tensão positiva de 20 V no trajecto de *drain-source*, enquanto que na situação de sombra está presente uma tensão negativa de *drain-source* de 0,6 V. O díodo principal existente, inerente ao MOSFET 1, é designado por 2. Um circuito 40 separador está ligado, por um lado, à conexão de *drain* do MOSFET 1 e, por outro lado, a um circuito 50 de alimentação e/ou de carga (em seguida fala-se, no essencial, de circuito de carga) sendo que o circuito 40 separador, no funcionamento normal, deve bloquear a tensão positiva de *drain-source* até cerca de 20 V, enquanto que na situação de sombra deve encaminhar a reduzida queda de tensão negativa de 0,6 V ou mesmo menos, o mais possível com perdas reduzidas, ao circuito 50 de carga que se segue a jusante.

O circuito 50 de carga converte a reduzida tensão negativa de corrente contínua, que se encontra à disposição atrás do

circuito 40 separador, na situação de sombra, numa tensão positiva mais elevada, necessária para o comando do MOSFET 1 e/ou para a alimentação de outros elementos do circuito. Neste caso, podem ter aplicação conceitos baseados num armazenamento temporário de energia numa bobina de reactância ou num transformador, bem como bombas de carga de funcionamento capacitivo, sendo descrita mais tarde uma forma preferida de realização. A tensão transformada é armazenada temporariamente num acumulador 60 de energia, que aqui está desenhado como condensador, sendo que, de uma maneira especialmente vantajosa, o condensador de *gate* do MOSFET 1 é aproveitado directamente como acumulador de energia.

O eléctrodo G de *gate* do MOSFET 1 é comandado em função do tempo, por meio de um circuito 80 gerador de impulsos, sendo que o MOSFET passa ao estado de condução durante a maior parte do tempo de ciclo, para a redução da dissipação de potência, eventualmente funciona linearmente durante um período de tempo reduzido e durante um período de tempo curto está completamente bloqueado. A corrente de *bypass* do MOSFET 1 percorre então o díodo 2 principal. No caso dos circuitos de protecção de acordo com as figs. 3, 6 e 7, o condensador de *gate* do MOSFET é descarregado nas duas primeiras escalas de tempo, de acordo com a fig. 5, enquanto que no fim da terceira escala de tempo é carregado através do circuito de carga. No caso do circuito de protecção de acordo com a fig. 8, a descarga verifica-se, de acordo com a fig. 9, apenas nas escalas de tempo 2 e 3; no fim da quarta escala de tempo o condensador é carregado novamente, através do circuito de carga.

De modo preferido, está previsto um circuito 70 comparador, que monitoriza a tensão de *drain-source* e, no estado admissível,

envia um sinal a um circuito 90 lógico, que recebe igualmente o sinal do circuito temporizador. Os critérios de monitorização do circuito 70 comparador são, por exemplo, a polaridade, bem como o nível da tensão de *drain-source* do MOSFET 1. Um circuito 100 excitador, que, tal como todos os restantes circuitos, está ligado ao circuito 50 de alimentação ou de carga, comanda a *gate* do MOSFET 1, em função do sinal do circuito lógico.

Os blocos funcionais representados na figura 2 estão realizados para melhoria da compreensão, sendo que se pode reconhecer nos outros exemplos de realização que nem todos os blocos funcionais têm forçosamente de existir separadamente, podendo várias funções definidas previamente através dos blocos podem também ser reunidas num único componente.

Na figura 3 está representado um primeiro exemplo de realização do dispositivo interruptor de protecção de acordo com a invenção, com componentes discretos, sendo que os blocos funcionais estão representados parcialmente a tracejado. A unidade 30 de interruptor apresenta, como já referido, o MOSFET 1 com o diodo 2 principal, bem como o condensador 3 de *gate* inerente. Um primeiro diodo 7 Zener está ligado à conexão de *gate*, pelo condutor do potencial de referência ligado à conexão 12, na direcção da passagem da corrente. Serve para a limitação da tensão de *gate* a um valor admissível de, por exemplo, 15 V. Entre o potencial 32 de referência e o circuito 31 de controlo de *gate* está ligado um transistor 9 com o seu trajecto de comutação, cuja base está ligada à conexão de *drain* do MOSFET 1, através de uma resistência 10 de alta impedância. Paralelamente ao trajecto de comutação do transistor 9 situa-se um outro condensador 8 e entre este e o primeiro diodo 7 Zener está ligada uma resistência 6 em série, no circuito 31 de controlo.

Entre a conexão de *drain* e o circuito 31 de controlo de *gate* situam-se um diódo 13 e um segundo diódo 14 Zener.

Paralelamente ao diódo 2 principal inerente ao MOSFET 1 pode ser ligado um outro diódo 4, que, com o MOSFET 1 não ligado, conduz uma parte ou mesmo a totalidade da corrente de *bypass*.

Um elemento 5 de protecção contra sobretensão, por exemplo, um varistor ou um diódo *TransZorb*, situa-se em paralelo ao MOSFET 1 e limita impulsos de tensão instantâneos extremamente elevados.

Com este circuito de protecção, o MOSFET com o diódo 2 principal inerente está protegido de tensões demasiado elevadas, no trajecto de *drain-source* e no trajecto de *gate-source*. Além disso, na transição para o funcionamento normal, ou seja, com uma tensão positiva de *drain-source*, é necessária uma interrupção rápida e, além disso, deve ser impedida uma ligação involuntária do MOSFET no funcionamento normal.

Com uma tensão positiva de *drain-source*, ou seja, na transição para o funcionamento normal, o transistor 9 passa completamente ao estado de condução, através da resistência 10 em série da base, de alta impedância e descarrega o condensador 3 de *gate* do MOSFET 1 muito rapidamente, através da resistência 6 em série de baixa impedância (realimentação). Além disso o transistor 9 mantém a tensão de *gate-source* em quase 0 V, no funcionamento normal, através da resistência 6 em série. Assim é impedida, de modo fiável, uma ligação involuntária, por exemplo, através de uma tensão de *gate* induzida a partir do exterior. A corrente de perda que se dissipa através da resistência 10 em série da base, no funcionamento normal, é tão pequena que pode ser desprezada, com dimensionamento correspondente.

Em princípio, os MOSFET estão limitados em avalanche fixa, ou seja, em caso de ultrapassagem instantânea da tensão de *drain-source* máxima admissível, por exemplo, superior a 60 V no caso de um MOSFET especificado para 40 V, o MOSFET conduz a corrente e limita o pico de tensão, sem sofrer danos. Com este modo de funcionamento, no entanto, a área de trabalho admissível pode ser excedida e o componente pode suportar um *stress* agravado. Por conseguinte, ao surgir uma tensão excessiva, o MOSFET é comandado de modo orientado através do seu trajecto de *gate-source*, através do diodo 14 Zener e do diodo 13, sendo que, ao exceder a tensão Zener do diodo 14 Zener, a *gate* é elevada a um potencial positivo e o MOSFET 1 é accionado na escala linear. Para poder formar uma tensão positiva de *gate*, com o transistor 9 em estado de condução, é necessária a resistência 6 em série.

O condensador 8 ligado em paralelo ao condensador 3 de *gate* inerente, através da resistência 6 em série, o qual apresenta, tipicamente, uma capacidade maior que o condensador 3 de *gate*, reduz a sensibilidade a avarias do circuito. O condensador está ligado, de modo vantajoso, do lado da resistência 6 em série oposto à *gate*, uma vez que, no caso de uma sobretensão transiente, apenas o condensador 3 de *gate*, comparativamente baixo, tem de ser carregado através do diodo 14 Zener e do diodo 13.

Como já explicado anteriormente, o circuito 40 separador tem o objectivo de separar a tensão positiva de *drain-source* de 20 V, no funcionamento normal, do circuito que se segue e permitir a passagem da tensão negativa de *drain-source* de 0,6 V, na situação de sombra, com poucas perdas, para os elementos do circuito que se seguem. O circuito 40 separador representado na

figura 3 apresenta um transistor FET (J-FET) 28 de junção de canais de tipo n, de activação automática, cujo eléctrodo de *source* está ligado à conexão de *drain* do MOSFET 1, cujo eléctrodo de *drain* está ligado ao circuito 50 de alimentação ou de carga que se segue e cujo eléctrodo de *gate* está ligado ao condutor 32 de potencial de referência, através de uma resistência 29 de *gate* de alta impedância. Esta resistência 29 limita a corrente através dos díodos de *gate*, com uma tensão positiva de *gate-drain* ou de *gate-source* superior a 0,5 V, como surge na situação de sombra. Para o bloqueio, o J-FET 28 de baixa impedância necessita, quer em relação à *drain*, quer também em relação à *source*, de uma tensão negativa de *gate* de cerca de 5 V. Isto é conseguido directamente no funcionamento normal, para o trajecto de *source-gate*. Para o trajecto de *drain-gate*, em contrapartida, isso apenas pode ser conseguido quando o potencial de *drain* assume um valor positivo. Para isso é necessário que o circuito 50 de alimentação ou de carga que se segue possa receber uma tensão de bloqueio à altura da tensão limiar do J-FET, portanto, aproximadamente 5 V. Esta característica especial é garantida através do circuito 50 de carga a seguir descrito.

Em lugar do J-FET 28 descrito, pode também ser utilizado um MOSFET de activação automática, que apresenta um comportamento semelhante, sendo que então, no entanto, não é necessária uma limitação de corrente através da resistência 29, uma vez que o isolamento de *gate* pode receber, tipicamente, ± 20 V.

O circuito 50 de alimentação e/ou de carga tem como objectivo converter uma tensão de entrada negativa de 0,6 V numa tensão de saída positiva, por exemplo, de 15 V, suficiente para o comando do MOSFET 1. Tendo em consideração a progressiva queda

de tensão com temperatura crescente, através do diodo 2 principal do MOSFET 1, bem como quedas de tensão que surgem eventualmente no circuito 40 separador, deve ser garantido um arranque seguro já com tensões inferiores a 0,4 V. Além disso, o circuito de carga deve ser muito robusto e pode ser montado com esforço mínimo. Assume adicionalmente as funções do circuito 70 comparador, bem como parcialmente as dos circuitos 80, 100 temporizador e excitador da figura 2.

O circuito 50 de carga de acordo com a figura 3 apresenta um transistor 24 accionado num circuito emissor, cujo emissor está ligado à conexão de *drain* do J-FET 28 e cujo colector está ligado ao enrolamento 21 primário de um transformador 20 de conversão. A base do transistor 24 está ligada a um enrolamento 22 de realimentação, através de uma resistência 25 em série. Em série com o enrolamento 21 primário situa-se um enrolamento 21' de saída, facto pelo qual o transformador 20 de conversão está ligado como autotransformador. O colector do transistor 24 está ligado entre o enrolamento 21 primário e o enrolamento 21' de saída. O enrolamento 21' de saída está ligado ao condensador 3 de *gate* ou directamente ao condensador 8 adicional, através de um diodo 23 rectificador e da resistência 6 em série. Um outro diodo 23' liga a extremidade do enrolamento primário ao condensador 8 adicional.

Adicionalmente, o circuito 50 de carga apresenta um transistor 26, cujo emissor está ligado à conexão de *drain* do J-FET 28, cujo colector está situado entre o diodo 3 e a resistência 6 em série e cuja base está ligada à conexão 22 de realimentação, através de uma resistência 27 em série.

Uma resistência 81 de descarga, que pode ser parte integrante de um circuito 80' gerador de impulsos, está ligada entre o condutor 32 de potencial de referência e o circuito 31 de controlo de *gate*.

O modo de funcionamento, em especial do circuito de alimentação ou carga, bem como o comportamento de comutação do MOSFET 1, é descrito de acordo com as figuras 4 e 5, tomando como referência as perdas de tensão em função do tempo. Na situação de sombra e com o MOSFET 1 ligado, passa uma tensão negativa de poucos milivolts, por exemplo -30 mV, através do trajecto de *drain-source*, dependendo da resistência de conexão (R_{DSon}) do MOSFET 1 e da corrente instantânea do gerador solar. Isto está referenciado na figura 4 pela zona (1). Uma vez que então a tensão fornecida através do circuito 40 separador não é suficiente, correspondentemente também o circuito 50 de alimentação não está activo. A resistência 81 de descarga descarrega lentamente, por exemplo, dentro de 100 ms (zona (1)), o condensador 3 de *gate* do MOSFET 1, que foi carregado, por exemplo, para 15 V, correspondendo à figura 4. Se for alcançada a tensão limiar do MOSFET 1, por exemplo, com uma tensão de *gate-source* de 5 V, então esta transita da zona de passagem completa para a zona linear (zona (2)) e a tensão de *drain-source* sobe lentamente, correspondendo à figura 4. Sem a recarga, descrita mais adiante, do condensador 3 de *gate-source* através do circuito 50 de carga, o MOSFET 1 passaria para o estado de completamente bloqueado, sendo que, neste caso, a corrente do gerador solar circula completamente através do diódo 2 principal, ligada a uma queda de tensão negativa de cerca de 0,4 V até cerca de 1 V.

No caso de uma tensão de cerca de 0,3 V até 0,4 V, entre o condutor 34 e o condutor 32 de potencial de referência, ou seja, a conexão de *drain* do circuito 40 separador, circula uma corrente de base suficientemente grande no transistor 24, para obter uma corrente perceptível do colector e, por conseguinte, corrente através do enrolamento 21 primário do transformador 20. Deste modo é induzida no enrolamento 22 de realimentação uma tensão que, em função do sentido do enrolamento, acresce à tensão entre os condutores 32 e 34 e, por conseguinte, reforça a corrente de base, facto pelo qual se inicia uma operação de inversão. O transistor 24 passa completamente ao estado de condução e forma-se, correspondendo à indutância do enrolamento 21 primário e à tensão presente no enrolamento primário, que corresponde, no essencial, à tensão presente entre os condutores 32, 34, uma corrente primária crescente no tempo.

Caso o núcleo do transformador 20 atinja a saturação ou a corrente de base do transistor 24 já não seja suficiente para assegurar a passagem completa ao estado de condução, então inverte-se a realimentação e o transistor 24 é bloqueado bruscamente. A energia armazenada na indutância do transformador é transferida para o condensador 3 de *gate*, bem como para o condensador 8 adicional, através do enrolamento 21 primário, bem como do enrolamento 21' de saída e do diodo 23 rectificador. Isto pode ser reconhecido no fim da zona (3) ou no início da zona (1) das figuras 4 e 5. O MOSFET 1 liga-se assim e apresenta, como descrito, apenas ainda uma queda de tensão negativa de poucos milivolts, correspondendo à sua resistência interior. O circuito 50 de carga não está então suficientemente alimentado com tensão e não está activo. O transformador 20 é dimensionado de modo que a energia nele armazenada é suficiente, já com um ciclo do conversor, para carregar o condensador 3 de

gate ou o condensador 8, para o valor nominal de 15 V, por exemplo.

No caso de um transformador real a inevitável indução por difusão do enrolamento 21 do transformador, aquando da interrupção rápida do transistor 24, conduz a um pico de sobretensão no transistor 24, que pode danificar este. O diodo 23' impede este pico, na medida em que permite à corrente que circula no enrolamento do transformador, no momento da interrupção, prosseguir para o condensador, então não carregado.

Chama-se mais uma vez a atenção para que "período" refere-se sempre ao circuito 50 de carga, o conceito de "ciclo" refere-se sempre à totalidade do circuito. O período de carga é constituído por duas fases: a primeira fase foi descrita anteriormente e começa e prolonga-se através da duração da zona (3) da totalidade do ciclo. A operação de inversão propriamente dita, neste caso, dura apenas poucos μs , a parte essencial do tempo consiste na subida "lenta" da corrente até ao final da zona (3). Então começa a segunda fase, na qual a energia é transferida do transformador para os condensadores. Esta operação situa-se no flanco inclinado, portanto, parcialmente na zona (3) e na zona (1) do ciclo seguinte. Esta operação de transferência, no entanto, no seu conjunto, dura também apenas alguns μs .

Como se depreende do modo de funcionamento acima descrito, o transistor 24 com o seu trajecto emissor de base, a par da função de comutação, assume também a função do circuito 70 comparador da figura 2, ou seja, funciona apenas quando a tensão de *drain-source* existente é suficientemente grande. De modo vantajoso, o transistor 24 é, por conseguinte, acoplado termicamente ao MOSFET 1. Uma vez que ambos os componentes se

baseiam na tecnologia do silício, as tensões de passagem do diodo principal e também do diodo emissor de base alteram-se no mesmo sentido, de modo que está garantido um funcionamento seguro do circuito, com todas as temperaturas.

Quando a tensão negativa de *drain-source* do MOSFET 1 ou a tensão fornecida ao circuito 50 de carga não é suficientemente grande, por exemplo em função da resistência interior do circuito 40 separador, a operação de inversão ou ciclo do conversor acima descrito, que é indicado através da zona (3), não decorre forçosamente na totalidade. Com isso, em especial no caso de pequenas correntes do gerador solar, o condensador 3 de *gate* do MOSFET 1 ou o condensador 8 pode não ser carregado completamente.

Para assegurar adicionalmente um funcionamento estável do dispositivo interruptor de protecção, no início da operação de inversão a *gate* do MOSFET 1 é descarregada muito rapidamente, através do transistor 26 então ligado, como se pode reconhecer na figura 5, zona (3). O MOSFET 1 bloqueia instantaneamente e a tensão de *drain-source*, de acordo com a figura 4, sobe rapidamente de cerca de $-0,4$ V ao valor limiar da operação de inversão, para cerca de $-0,6$ V, a tensão de passagem do diodo 2 principal. Através do transistor 26 resulta, portanto, uma realimentação adicional. Na segunda fase do ciclo do conversor, o transistor 26 é bloqueado completamente, através da tensão então negativa no enrolamento 22 de realimentação, de modo que o condensador 3 de *gate* ou o condensador 8 podem ser carregados.

A totalidade do ciclo do circuito de acordo com a figura 3 compõe-se, correspondendo às figuras 4 e 5, de uma primeira fase longa (100 ms), na qual o MOSFET 1 passa completamente ao estado de condução, uma segunda fase mais curta (20 ms), na qual chega

à zona linear e a tensão de *drain-source* sobe lentamente até cerca de -0,4 V e uma terceira fase curta, na qual aquele é desligado completamente por um breve período (por exemplo, 1 ms), através do circuito de realimentação. A quantidade de calor que surge na segunda e terceira fase, no entanto, não representa qualquer problema e pode ser dissipada de modo convencional.

Como já exposto várias vezes, no funcionamento normal do módulo a tensão de *drain-source* do MOSFET eleva-se para valores positivos de cerca de 15 V até cerca de 20 V. Para que o J-FET 28 utilizado no circuito 40 separador bloqueia, quer a sua conexão de *drain*, quer também a sua conexão de *source* devem ter uma tensão positiva de cerca de 5 V em relação à conexão de *gate*, caso contrário passaria no circuito 50 de carga uma corrente de dissipação não admissível. Uma vez que no circuito de acordo com a figura 3 os trajectos de base do emissor dos transístores 24 e 26 para tensões positivas se situam na direcção de bloqueio, no condutor 34 e podem suportar mesmo uma tensão de bloqueio de até cerca de 5 V, o potencial de *drain* do J-FET 28 pode elevar-se até 5 V e com isso o J-FET 28, como exigido, pode bloquear completamente.

Na figura 6 está representado um outro exemplo de realização, que consegue uma simplificação do circuito representado na figura 3, de modo que as funções do circuito 40 separador e do transístor 24 do circuito 50 de alimentação ou de carga são reunidas. No restante, o circuito corresponde ao da figura 3 e também são aplicáveis os diagramas de tensão de acordo com a figura 4 e a figura 5.

Como se pode reconhecer, o transístor 24 é accionado por inversão. Se forem trocados o emissor e o colector num transístor

bipolar, então mantêm-se as características de princípio dos transístores, no entanto, no funcionamento inverso reduz-se a amplificação da corrente, aproximadamente no factor 30. Esta característica é tida em conta numa correspondente resistência 25 em série da base de baixa impedância. Na prática, para a limitação da corrente, em certas circunstâncias, é suficiente já a resistência óhmica do enrolamento 22 de realimentação, de modo que não tem de ser utilizado qualquer módulo 25 concentrado. O funcionamento inverso do transístor 24 traz consigo a grande vantagem de este ser accionado no circuito colector, no funcionamento normal do módulo solar, sendo que a sua base e também o emissor se situam no potencial 32 de referência, sob tensão contínua. Neste modo de funcionamento o transístor pode suportar sem problemas a ocorrência de tensão de 20 V; também é possível utilizar um tipo de transístor de tensão estável, que resiste melhor a eventuais impulsos de sobretensão. Uma oscilação do circuito de alimentação ou carga está excluída, devido ao enrolamento 22 de realimentação, que actua neste caso de funcionamento como realimentação negativa.

O transístor 26, além disso, é accionado de modo convencional e o seu funcionamento corresponde ao da figura 3. No entanto, o seu emissor está ligado ao emissor do transístor 24. Com isso, no estado de condução do transístor 24, a *gate* do MOSFET 1 pode ser descarregada rapidamente através do transístor 26, sendo que este, neste género de ligação em circuito, não tem de suportar quaisquer tensões de bloqueio negativas, na fase de condução do MOSFET 1 e mesmo no funcionamento normal do módulo.

Como acima descrito, nos circuitos correspondentes à figura 3 e à figura 6 a energia necessária para o carregamento do condensador 3 de *gate* ou do condensador 8 é transferida num

único período, ou seja, numa única operação de inversão do transformador 20 de conversão e do transistor 24. O circuito de carga pode, no entanto, também transferir a energia em vários períodos, sendo que carrega e depois desliga o condensador de *gate* do MOSFET 1 ou um acumulador de energia em vários períodos.

Finalmente, a já referida operação de carga incompleta do condensador de *gate* ou do condensador 8, pode, em princípio, ser realizada também através de um dimensionamento correspondente, por exemplo, da resistência 25 em série da base, para alcançar de forma duradoura a zona linear do MOSFET 1. Neste modo de funcionamento o transistor 24 serve como regulador para a tensão de *drain-source*. O MOSFET 1, neste caso, não passa completamente ao estado de condução, mas é antes mantido no funcionamento linear como regulador, através do transistor 24. Neste caso, em situação de sombra, uma tensão negativa de cerca de 0,3 V a 0,4 V diminui através do trajecto de *drain-source*, que é suficiente para permitir ao circuito 50 de alimentação ou de carga funcionar continuamente. Com este conceito, as perdas no interior do MOSFET 1 são maiores que no caso de um MOSFET completamente no estado de condução. Mas é uma vantagem que, no caso deste MOSFET de funcionamento linear, não surjam quaisquer oscilações na tensão ou na corrente do gerador solar.

Para reduzir ainda mais a dissipação de potência que ocorre no interior do MOSFET 1, pode ser impedido o funcionamento temporário na zona linear do MOSFET, correspondendo à zona (2) na figura 4 e na figura 5. Um tal circuito está representado na figura 7, que se distingue do circuito de acordo com a figura 3 ou figura 6 através do circuito de descarga designado por 80''. No caso dos circuitos de acordo com a figura 3 e a figura 6, o ponto de interrupção do MOSFET 1 é determinado pelo elemento

temporizador formado pelo seu condensador 3 de *gate*, o condensador 8 eventualmente existente, bem como pela resistência 81 de descarga. Em lugar da resistência 81 de descarga é utilizado um circuito de descarga activa de *gate*, de funcionamento não linear. Este tem a característica de, acima de uma determinada tensão limiar, ser de alta impedância, abaixo da tensão limiar, no entanto, torna-se nitidamente de baixa impedância. Um circuito com esta característica pode ser realizado, por exemplo, através de um circuito disparador de Schmitt. Quando o ponto de comutação deste circuito disparador, ou seja, o limiar de inversão do circuito 80'' de descarga de *gate*, é fixado mais alto que a tensão de *gate* máxima necessária para o MOSFET 1 passar completamente ao estado de condução, por exemplo, em 6 V ou mais, então esta tensão, após uma carga através do circuito 50 de carga, começa por baixar lentamente, para, após ultrapassar por defeito o limiar de disparo ou de inversão, baixar rapidamente e desencadear um novo ciclo de carga. Com um tal circuito, é evitado o funcionamento do MOSFET 1 na zona linear, que é designada na figura 4 e na figura 5 por zona (2) e a dissipação de potência baixa uma vez mais.

No caso deste circuito 80'' é ligado um MOSFET 87 de sinal de baixo nível, entre o circuito 31 de controlo de *gate* e o circuito 32 de potencial de referência, cuja conexão de *gate* está ligada ao colector de um transístor 83, cujo emissor, por sua vez, se situa no potencial 32 de referência. A conexão da base está ligada a um divisor 84, 85 de tensão, entre o circuito 31 de controlo de *gate* e o circuito 32 de potencial de referência. Finalmente, é ligada uma resistência 86 entre o circuito 31 e a conexão de *gate* do MOSFET 87. A partir da conexão do colector do transístor 83, um condensador 88 está ligado ao enrolamento 22 de realimentação.

Com tensões de *gate* elevadas do MOSFET 1, o transístor 83 passa completamente ao estado de condução, através do divisor 84, 85 de tensão. O seu potencial do colector e, por conseguinte, também o potencial de *gate* do MOSFET 87, situam-se assim perto do potencial 32 de referência e o MOSFET 87, por conseguinte, é bloqueado.

O condensador 3 de *gate* do MOSFET 1 e o condensador 8 são descarregados lentamente, através das resistências 84, 85 e 86 de alta impedância. Se a tensão de *gate* do MOSFET 1 ultrapassar por defeito um valor mínimo, então o transístor 83 começa a bloquear e a tensão de *gate* do MOSFET 87 sobe. Se a sua tensão limiar, por exemplo, de cerca de 1 ... 2 V for alcançada com um MOSFET 87 de sinal de baixo nível, então o seu trajecto de *drain-source* torna-se de baixa impedância e o condensador 3 de *gate* ou o condensador 8 são descarregados rapidamente. Deste modo a corrente de base para o transístor 83 continua a baixar e inicia-se uma operação de inversão. Esta operação de inversão é apoiada por, a partir de uma determinada tensão de *drain-source* do MOSFET 1, o circuito 50 de alimentação ou de carga entra em funcionamento, como descrito anteriormente. Neste caso, na primeira fase do ciclo, a tensão no enrolamento 22 de realimentação sobe para valores positivos. Esta subida transmite-se à *gate* do MOSFET 87, através do condensador 88 de acoplamento, facto pelo qual a operação de realimentação é mais uma vez reforçada e o condensador 3 de *gate* ou o condensador 8 são descarregados completamente. Deste modo também o MOSFET 1 é bloqueado completamente, muito rapidamente.

Em função da realimentação adicional através do condensador 88, a derivação de realimentação mostrada na figura 6, através

do transistor 26 e da resistência 27 em série, pode ser suprimida.

Na segunda fase do ciclo de carga o MOSFET 87 é bloqueado completamente, através do salto de tensão negativa transmitido com o condensador 88 ao enrolamento 22 de realimentação, de modo que o condensador 3 de *gate* ou o condensador 8 podem ser carregados novamente.

A figura 8 mostra uma outra forma de realização especialmente vantajosa do circuito de protecção. Esta corresponde, no essencial, ao circuito de acordo com a figura 6, sendo que o transistor juntamente com a resistência 10 em série foram suprimidos e o circuito 80' de descarga passiva foi substituído através de um circuito 80''' de descarga activa.

O cerne do circuito 80''' de descarga activa é o transistor de activação automática J-FET 81'. Substitui, por um lado, o transistor 9 juntamente com a resistência 10 em série, na medida em que, no funcionamento normal do módulo solar, liga a *gate* do MOSFET 1 ao condutor 32 do potencial de referência, através da resistência 6 em série e dos enrolamentos 21' e 21 do transformador. Deste modo é impedida com segurança uma ligação involuntária do MOSFET 1, através de tensões de *gate* induzidas a partir do exterior, ou mesmo correntes de fuga dos díodos 13 e 14. Por outro lado, o J-FET 81' torna possível um comando ideal do MOSFET 1, de acordo com a figura 9, o que leva a uma outra redução da dissipação de potência no elemento interruptor de *bypass*.

De modo diferente dos circuitos descritos anteriormente, no circuito de acordo com a figura 8 a *gate* do MOSFET 1, após a

operação de carga, não é descarregada através de uma resistência, mas antes a tensão U_{GS} de *gate* conserva, de acordo com a figura 9, o seu valor pleno durante a totalidade do período 1. Deste modo, neste período o MOSFET é de muito baixa impedância e a dissipação de potência é reduzida correspondentemente. O ponto de interrupção do MOSFET 1 é determinado através de uma constante de tempo do elemento temporizador, formado pelo condensador 82' e pela resistência 84'. Na fase de carga dos condensadores 8 e 3, no fim do período 4, também o condensador 82' é carregado, através do diodo 83', com a soma das tensões nos três enrolamentos 21, 21' e 22, neste exemplo com 17,5 V. Se após a desmagnetização do transformador 20 a tensão dos enrolamentos 21 e 21' saltar novamente para zero, então o potencial na *gate* do J-FET 81' salta para um valor de -17,5 V. O J-FET, por conseguinte, é bloqueado completamente e, no caso ideal, pode não deixar passar qualquer carga dos condensadores 8 e 3. Através da resistência 84', o condensador 82' é descarregado lentamente, por exemplo, num período de 100 ms. Se a tensão de *gate* do J-FET 81' alcançar a sua tensão limiar (neste exemplo -2 V), então o J-FET torna-se de baixa impedância e descarrega os condensadores 8 e 3, através dos enrolamentos 21' e 21, facto pelo qual a tensão U_{GS} de *gate* do MOSFET 1 baixa muito rapidamente, o que está representado na figura 9, na secção 2. Se esta tensão ultrapassar por defeito a tensão limiar do MOSFET 1, então este começa a bloquear e a sua tensão U_{DS} de *drain-source* sobe rapidamente, de acordo com a figura 9, secção 3. Se for alcançado um valor de cerca de -0,4 V, então inicia-se, como no caso dos circuitos descritos até aqui, a operação de inversão do circuito 50 de carga, ligada a uma outra descarga muito rápida dos condensadores 8 e 3, através do transístor 26. Segue-se a secção 4, na qual o transístor 24 está completamente no estado de condução e é armazenada energia

no transformador 20. No final desta secção verifica-se a nova carga dos condensadores 8 e 3, bem como 82'.

Uma vez que o MOSFET 1 está completamente no estado de condução para a parte preponderante do tempo de ciclo e o período no estado de bloqueio perfaz menos de 1% do tempo de ciclo, a dissipação de potência no caso do circuito de acordo com a figura 8 é reduzida uma vez mais, em relação aos outros circuitos.

Os circuitos descritos podem, evidentemente, ser montados todos com tipos de semicondutores complementares.

A par da função como elemento de *bypass* com poucas perdas, o MOSFET 1 pode assumir, como função adicional, também a de um curto-circuito da tensão do gerador solar, aquando da instalação, no caso de uma inspecção ou em caso de incêndio. Para isso, as conexões de *gate* de todos os MOSFET no interior de um gerador solar são impelidas com uma tensão de controlo, por exemplo, através de um circuito de controlo, de modo que a tensão de cada um dos módulos individuais é curto-circuitada. Deste modo é possível um contacto sem perigo com os componentes e condutores do gerador solar que conduzem tensão.

Lisboa, 18 de Julho de 2011

REIVINDICAÇÕES

1. Dispositivo interruptor de protecção para um módulo solar, no qual uma multiplicidade de células solares, que trabalham em parte em funcionamento normal e, ao mesmo tempo, em parte na situação de sombra, estão ligadas em série, com pelo menos um elemento (1) eléctrico de comutação controlável, que serve como elemento de *bypass*, cujo trajecto de comutação pode ser ligado em paralelo à multiplicidade de células solares, com um circuito (50) de alimentação, para colocar à disposição uma tensão de controlo, para o comando do eléctrodo de controlo do elemento (1) de *bypass*, caracterizado por um circuito (40) separador, para bloquear a tensão existente no trajecto de comutação do elemento de *bypass* para o circuito (50) de alimentação, no funcionamento normal e para permitir a passagem da tensão existente no trajecto de comutação, na situação de sombra de pelo menos uma célula solar, para o circuito (50) de alimentação.
2. Dispositivo interruptor de protecção de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o circuito de alimentação estar realizado como circuito (50) de carga para um acumulador (3, 8, 60) de energia, que procede a uma conversão da tensão que está à disposição na situação de sombra, numa tensão mais elevada para o comando do elemento de *bypass* controlável.
3. Dispositivo interruptor de protecção de acordo com a reivindicação 1 ou a reivindicação 2, caracterizado por o elemento (1) de *bypass* controlável estar realizado como transístor MOS de efeito de campo.

4. Dispositivo interruptor de protecção de acordo com a reivindicação 2 ou a reivindicação 3, caracterizado por o acumulador de energia estar realizado como condensador (8) e/ou como o condensador (3) inerente ao elemento (1) de *bypass* controlável.
5. Dispositivo interruptor de protecção de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado por o circuito (40) separador estar realizado como transístor de efeito de campo, de modo preferido como J-FET ou como MOSFET.
6. Dispositivo interruptor de protecção de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado por o circuito separador estar realizado como transístor bipolar accionado por inversão.
7. Dispositivo interruptor de protecção de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizado por estar previsto um circuito (80) gerador de impulsos, que estabelece previamente um ciclo de tempo, durante o qual o elemento (1) de *bypass* controlável passa completamente ao estado de condução, numa primeira escala de tempo e é bloqueado completamente, numa segunda escala de tempo, sendo que na segunda escala de tempo é carregado o acumulador (3, 8, 60) de energia.
8. Dispositivo interruptor de protecção de acordo com a reivindicação 7, caracterizado por o ciclo de tempo apresentar uma terceira escala de tempo, que se situa entre a primeira e a segunda escala de tempo, na qual o elemento (1) de *bypass* controlável é accionado, na condição linear.

9. Dispositivo interruptor de protecção de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizado por o circuito (50) de alimentação ou de carga apresentar um circuito (24) de regulação, com o qual o elemento de *bypass* controlável pode ser accionado permanentemente na condição linear.
10. Dispositivo interruptor de protecção de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, caracterizado por o circuito (50) de alimentação ou de carga apresentar um transformador ou pelo menos uma bobina, para a produção da tensão necessária para o controlo do elemento (1) de *bypass* controlável ou pelo menos um condensador para a acumulação temporária de energia, para a manutenção da tensão existente à disposição, no caso de interrupção.
11. Dispositivo interruptor de protecção de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 10, caracterizado por o circuito (50) de alimentação ou de carga apresentar uma bomba de carga para a produção da tensão necessária para o controlo do elemento (1) de *bypass* controlável, para a manutenção da tensão existente à disposição, no caso de interrupção.
12. Dispositivo interruptor de protecção de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 10, caracterizado por o circuito (50) de alimentação apresentar um transformador (20) com um enrolamento (22) de realimentação e um primeiro elemento (24) electrónico de comutação, sendo que o elemento de comutação e o transformador (20) desempenham uma operação de inversão semelhante à de um oscilador de bloqueio, na qual a energia armazenada no transformador (20) é transferida para o acumulador (3, 8, 60) de energia.

13. Dispositivo interruptor de protecção de acordo com a reivindicação 12, caracterizado por o primeiro elemento (24) electrónico de comutação ser accionado por inversão e, ao mesmo tempo, formar o circuito (40) separador.
14. Dispositivo interruptor de protecção de acordo com a reivindicação 12 ou a reivindicação 13, caracterizado por um enrolamento (21') de saída adicional, semelhante a um autotransformador, estar ligado em série ao enrolamento (21) primário.
15. Dispositivo interruptor de protecção de acordo com qualquer uma das reivindicações 12 a 14, caracterizado por o trajecto de comutação do primeiro elemento (24) de comutação estar ligado em série ao enrolamento (21) primário e o enrolamento (22) de realimentação estar ligado ao eléctrodo de controlo do primeiro elemento (24) de comutação.
16. Dispositivo interruptor de protecção de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 15, caracterizado por o eléctrodo de controlo do elemento (1) de *bypass* controlável estar ligado a um primeiro circuito (80', 80'', 80''') de descarga, sendo a constante de tempo do primeiro circuito de descarga escolhida de modo que a relação do tempo de condução do elemento (1) de *bypass* para o de não-condução é maior, de modo preferido > 5 .
17. Dispositivo interruptor de protecção de acordo com a reivindicação 16, caracterizado por o primeiro circuito de descarga apresentar uma resistência (81) ligada em paralelo ao condensador (3) inerente do elemento (1) de *bypass* e,

eventualmente, a um condensador (8) ligado em paralelo ao mesmo.

18. Dispositivo interruptor de protecção de acordo com qualquer uma das reivindicações 12 a 17, caracterizado por o circuito (50) de alimentação apresentar um circuito (26) de descarga rápida, que, em caso de utilização da operação de inversão, descarrega rapidamente o condensador (3) inerente e, eventualmente, o condensador (8) adicional ligado em paralelo.
19. Dispositivo interruptor de protecção de acordo com a reivindicação 18, caracterizado por o circuito de descarga rápida apresentar um segundo elemento (26) electrónico de comutação, cujo eléctrodo de controlo está ligado ao enrolamento de realimentação e cujo trajecto de comutação, partindo da conexão do eléctrodo de controlo do elemento (1) comutador de *bypass*, está situado em paralelo com o trajecto de comutação do primeiro elemento (24) electrónico de comutação ou em série com o mesmo.
20. Dispositivo interruptor de protecção de acordo com a reivindicação 16, caracterizado por o primeiro circuito (80'') de descarga estar realizado como circuito de descarga activa de actuação não-linear, o qual, acima de uma tensão limiar é de alta impedância e abaixo da tensão limiar, de baixa impedância, sendo a tensão limiar determinada no seu eléctrodo de controlo, através da tensão necessária para a passagem completa ao estado de condução do elemento (1) comutador de *bypass*.

21. Dispositivo interruptor de protecção de acordo com a reivindicação 20, caracterizado por o primeiro circuito (80'') de descarga estar realizado como circuito disparador de Schmitt.
22. Dispositivo interruptor de protecção de acordo com a reivindicação 16, caracterizado por o primeiro circuito (80''') de descarga apresentar um transistor J-FET de activação automática e uma rede formada por diódo (83'), condensador (82') e resistência (83') de descarga, que formam um elemento temporizador para desligar periodicamente o elemento comutador de *bypass*, após um tempo definido.
23. Dispositivo interruptor de protecção de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 22, caracterizado por estar associado ao elemento comutador de *bypass* controlável um circuito (30) de protecção contra sobretensão, bem como em relação à ligação involuntária.
24. Dispositivo interruptor de protecção de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 23, caracterizado por os eléctrodos de controlo dos elementos de *bypass* estarem ajustados para uma tal tensão, de modo que os elementos de *bypass* são ligados electricamente, para curto-circuitar o módulo solar, para fins de inspecção ou no caso de incêndio.

Lisboa, 18 de Julho de 2011

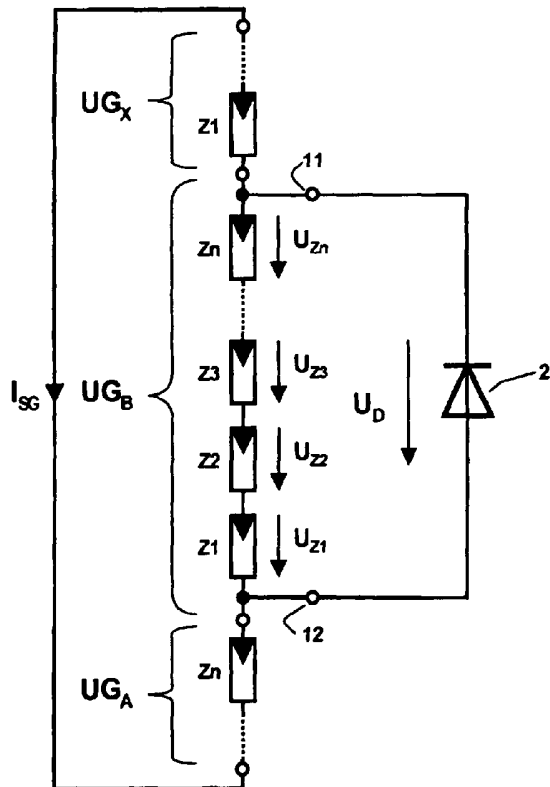


Figura 1a

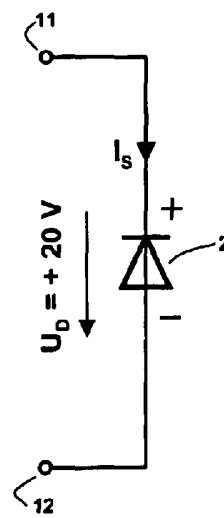


Figura 1b

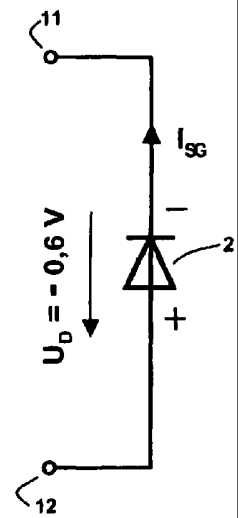


Figura 1c

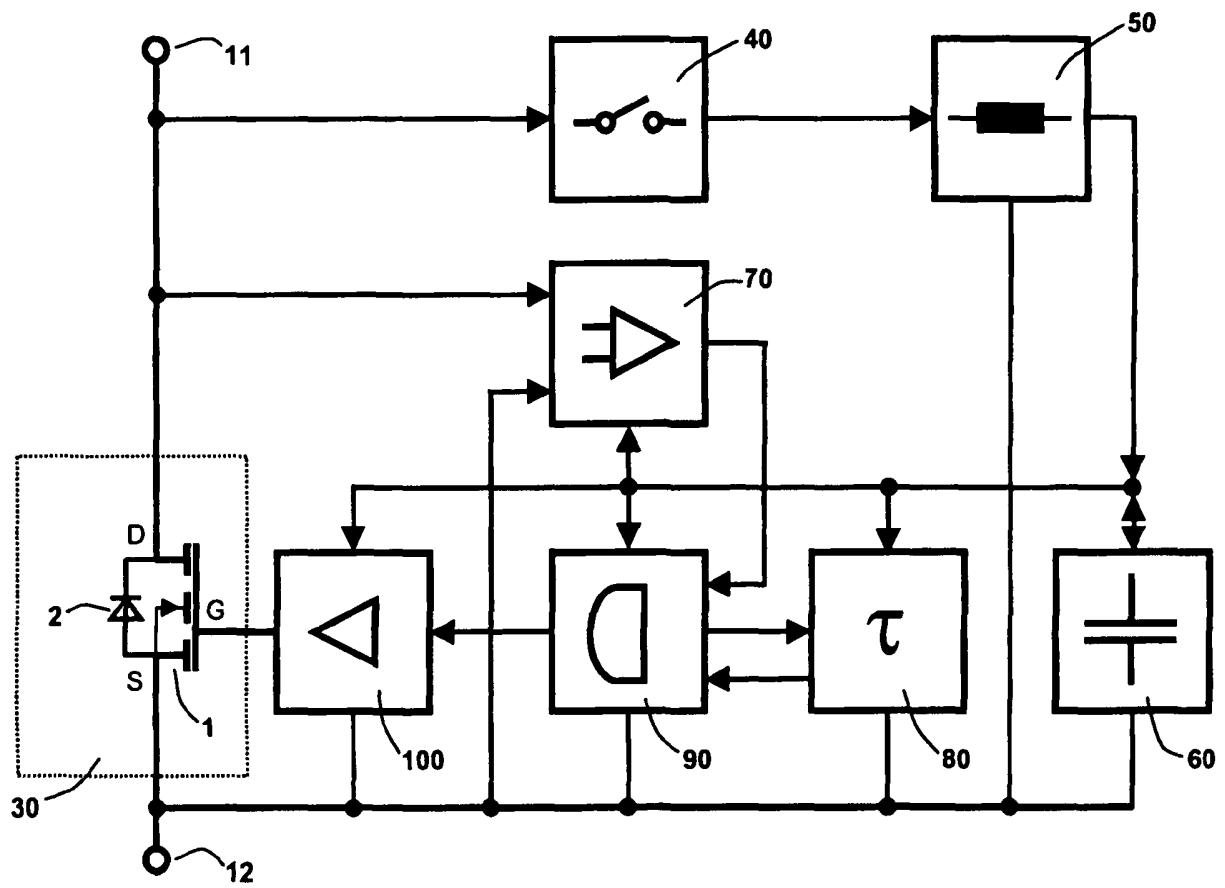


Figura 2

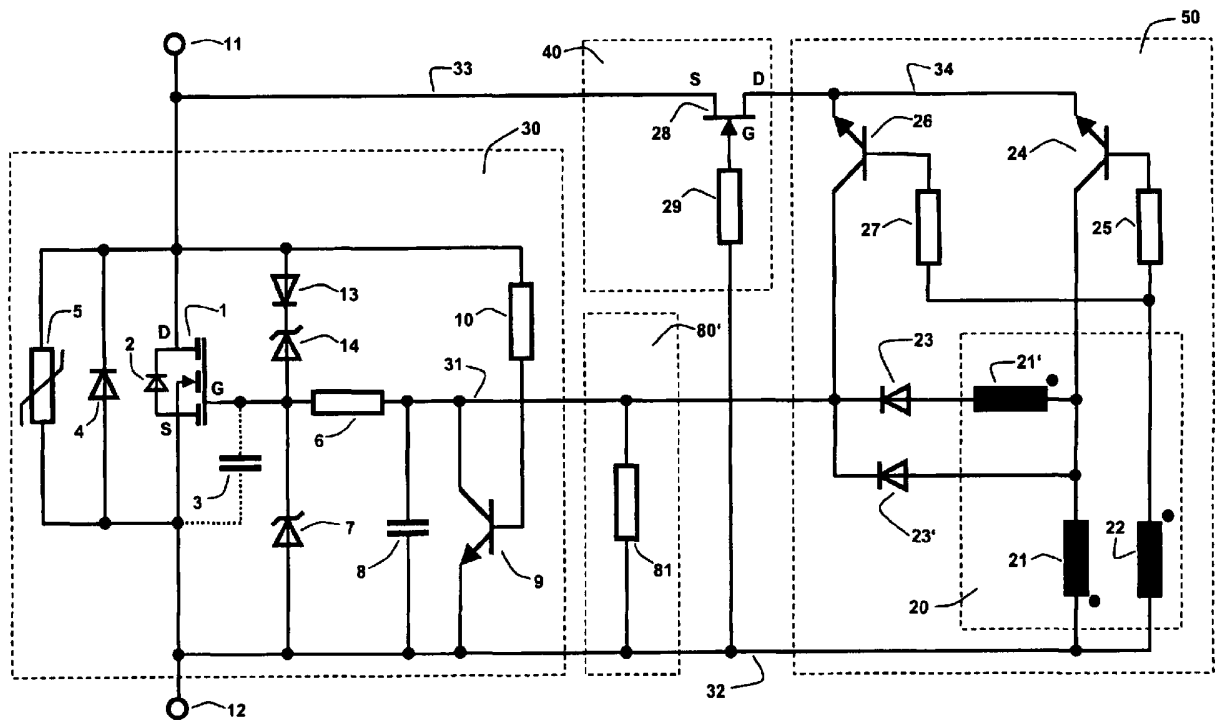


Figura 3

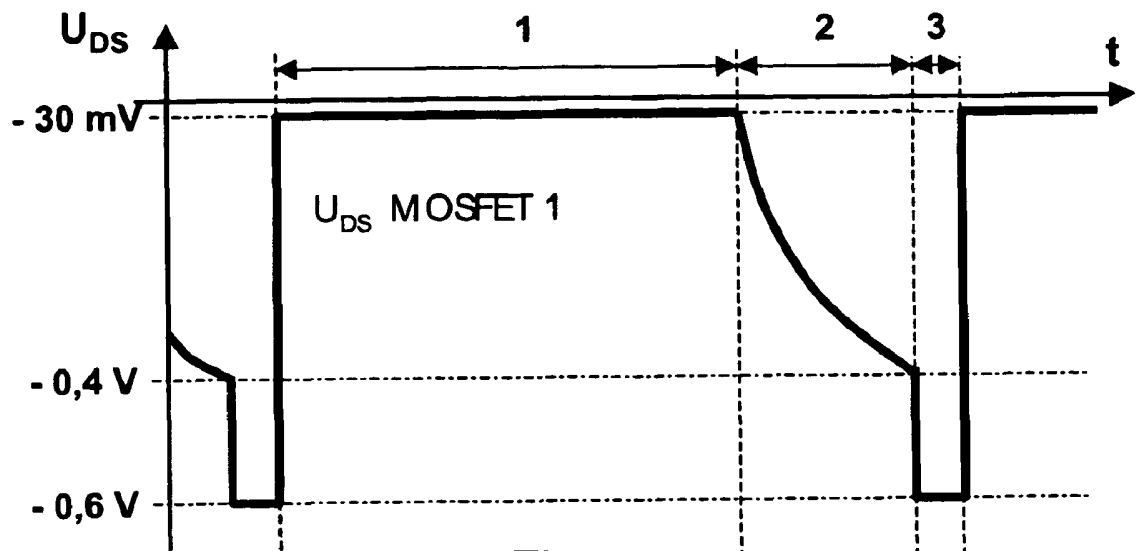


Figura 4

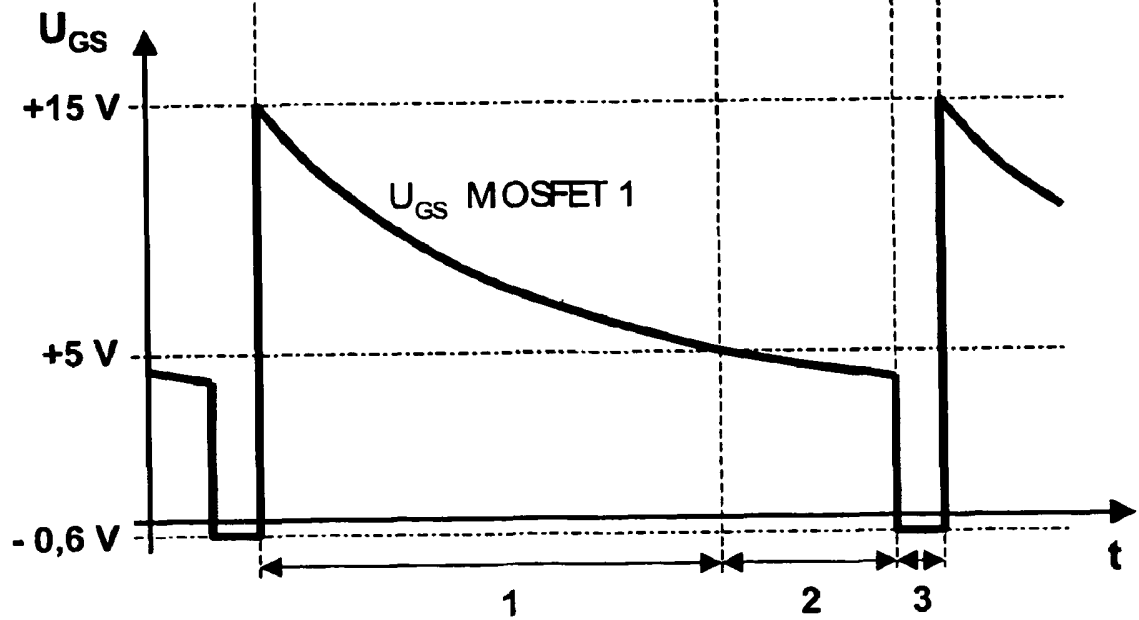


Figura 5

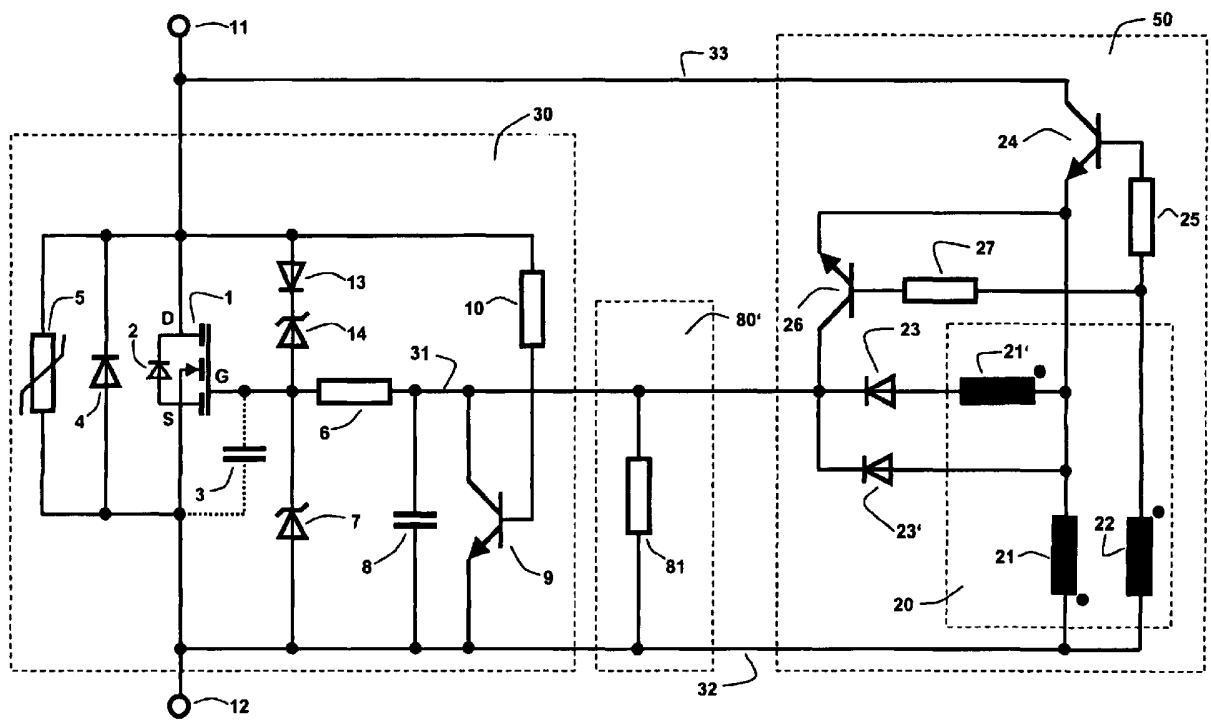


Figura 6

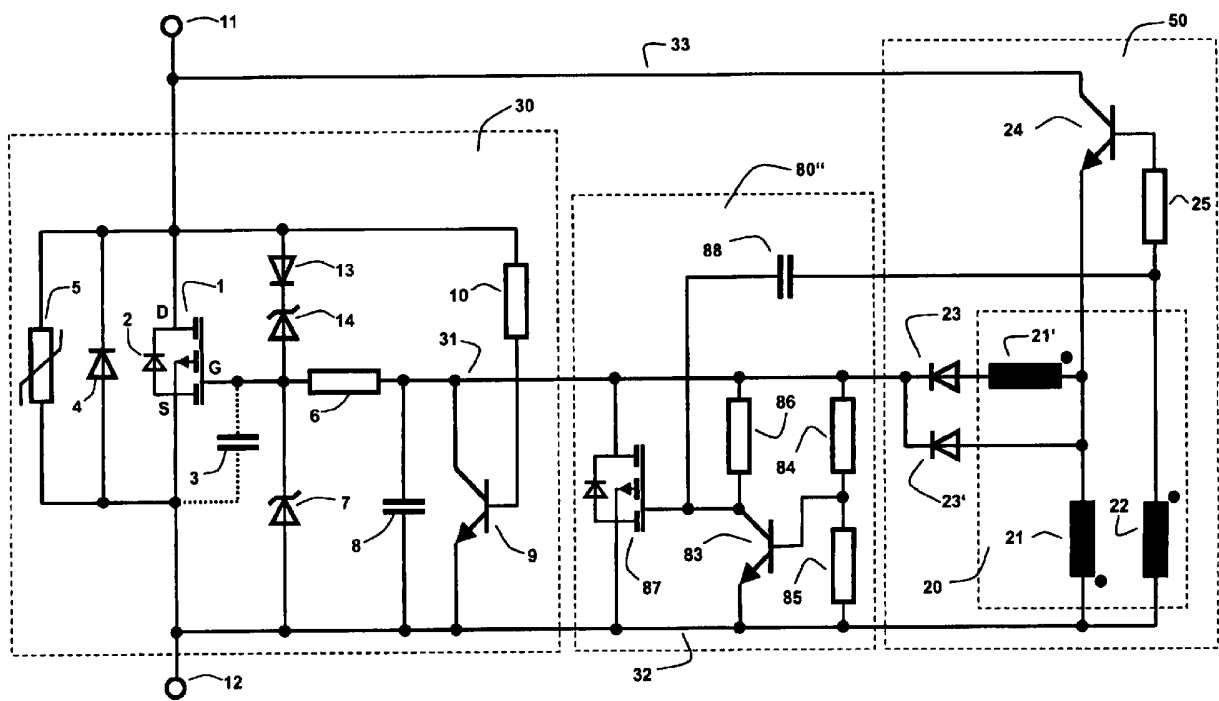


Figura 7

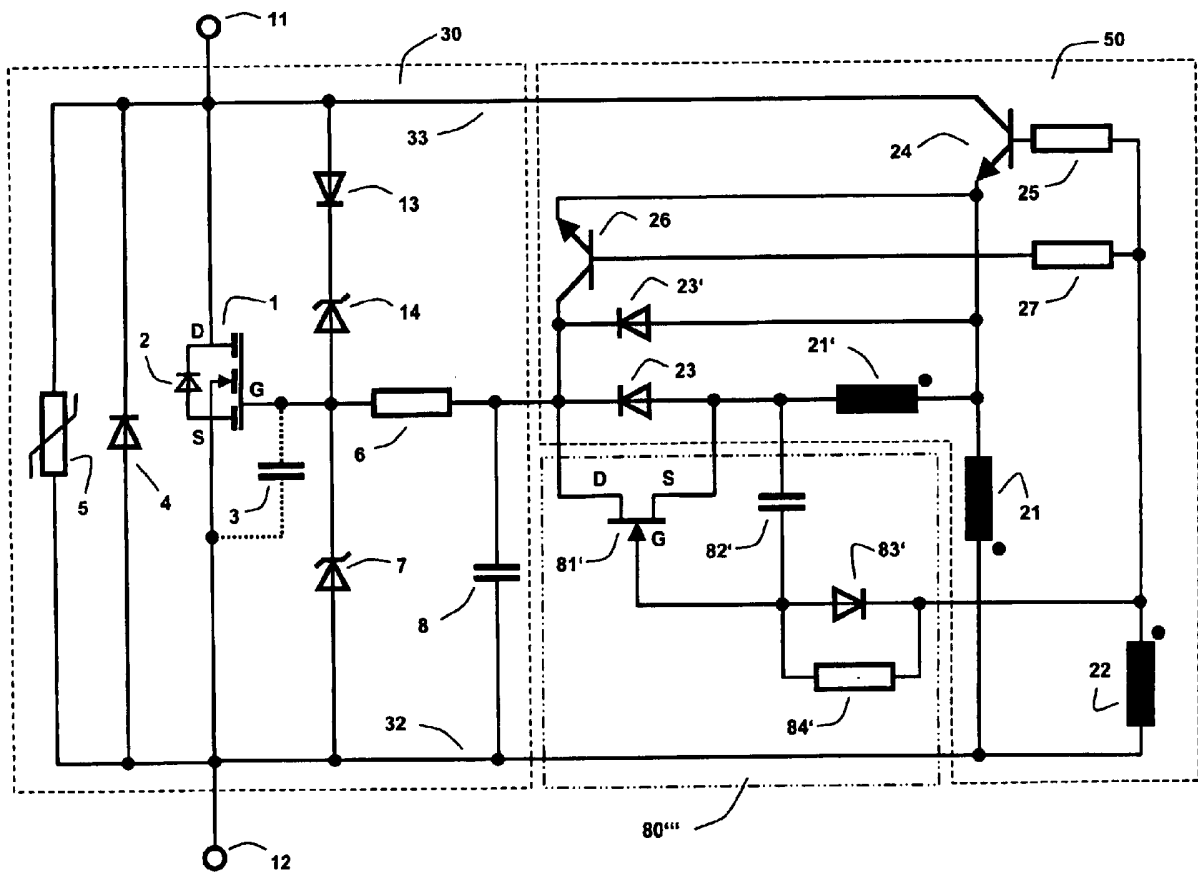


Figura 8

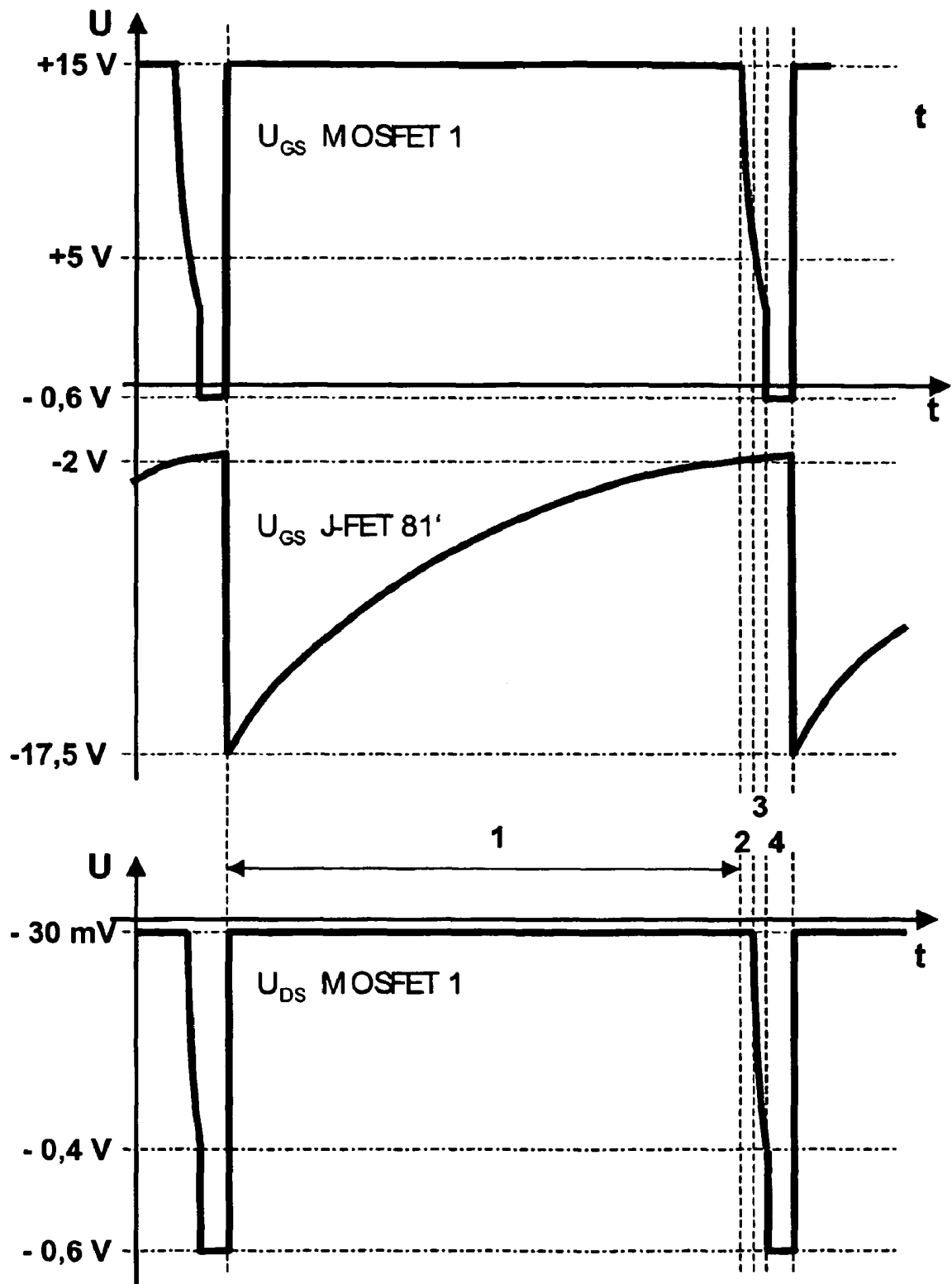


Figura 9

RESUMO

"DISPOSITIVO INTERRUPTOR DE PROTECÇÃO PARA UM MÓDULO SOLAR"

É proposto um dispositivo interruptor de protecção para um módulo solar, no qual uma multiplicidade de células solares, que trabalham em funcionamento normal e na situação de sombra, estão ligadas em série. Pelo menos um elemento eléctrico de comutação controlável, que serve como elemento de *bypass*, está, neste caso, com o seu trajecto de comutação ligado em paralelo à multiplicidade de células solares. Um circuito de alimentação coloca à disposição uma tensão de controlo, para o comando do eléctrodo de controlo do elemento de *bypass*, sendo que está previsto um circuito separador, para bloquear a tensão existente no trajecto de comutação do elemento de *bypass* para o circuito de alimentação, no funcionamento normal e para permitir a passagem da tensão existente no trajecto de comutação, na situação de sombra de pelo menos uma célula solar, para o circuito de alimentação.