

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

①1 N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

3 059 498

②1 N° d'enregistrement national : 17 50867

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : H 03 K 3/037 (2017.01), H 03 K 17/06

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 02.02.17.

③0 Priorité : 25.11.16 FR 1661533.

④3 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 01.06.18 Bulletin 18/22.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du  
présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : EXAGAN — FR.

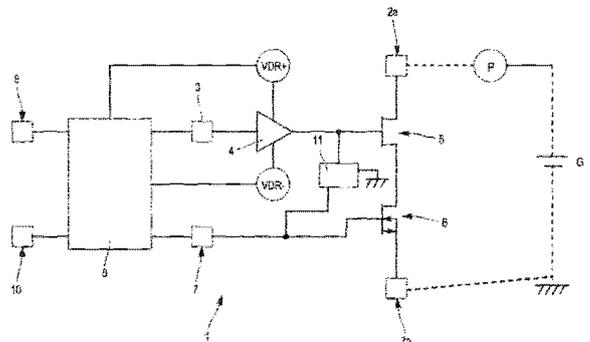
⑦2 Inventeur(s) : GUILLOT LAURENT, SUTTO  
THIERRY et MOREAU ERIC.

⑦3 Titulaire(s) : EXAGAN.

⑦4 Mandataire(s) : IP TRUST.

⑤4 PROCÉDE ET CIRCUIT DE COMMANDE D'UN DISPOSITIF DE COMMUTATION D'UN CIRCUIT DE  
PUISSANCE.

⑤7 L'invention porte sur un procédé de commande d'un  
dispositif de commutation (1), le dispositif de commutation  
comprenant deux bornes de commutation (2a, 2b), un tran-  
sistor haute tension en mode déplétion (5) et un transistor  
basse tension en mode enrichissement (6) disposés en sé-  
rie entre les deux bornes de commutation (2a, 2b), un circuit  
de commande (8) présentant une première entrée pour rece-  
voir un signal de commutation et une seconde entrée  
pour recevoir un signal d'activation du dispositif. Le procédé  
place de manière contrôlée le dispositif de commutation (1)  
dans un état inactif, lorsque le signal d'activation présente  
un premier niveau, dans lequel le transistor basse tension  
(6) et le transistor haute tension (5) sont chacun commandé  
bloqué; et dans un état actif, lorsque le signal d'activation  
présente un second niveau différent du premier, dans lequel  
le transistor basse tension (6) est commandé passant et le  
signal de commutation appliqué à la grille du transistor  
haute tension (5). L'invention porte également sur dispositif  
de commande mettant en oeuvre ce procédé.



FR 3 059 498 - A1



PROCEDE ET CIRCUIT DE COMMANDE D'UN DISPOSITIF DE COMMUTATION  
D'UN CIRCUIT DE PUISSANCE

5 **DOMAINE DE L'INVENTION**

La présente invention concerne un dispositif de  
commutation d'un circuit de puissance à double commande,  
comprenant un transistor haute tension en série avec un  
10 transistor basse tension.

**ARRIERE PLAN TECHNOLOGIQUE DE L'INVENTION**

15 Le document « A dual-mode Driver IC with Monolithic  
Negative Drive-Voltage Capability and Digital Current-Mode  
Controller for Depletion-Mode GaN HEMT » (Yue Wen et Al, IEEE  
Transaction on Power Electronic, 2016) décrit notamment un  
dispositif de commutation comprenant un transistor haute  
20 tension en mode déplétion en série avec un transistor basse  
tension en mode enrichissement, chaque transistor étant  
commandé séparément.

Le dispositif comprend une première borne, pour  
recevoir un signal de commutation, électriquement reliée, par  
25 l'intermédiaire d'un circuit d'attaque, à la grille du  
transistor haute tension en mode déplétion. L'état bloquant du  
transistor haute tension en mode déplétion est obtenu en  
appliquant une tension négative, inférieure à sa tension  
seuil, entre la grille et la source de ce transistor. Cette  
30 tension négative pouvant ne pas être disponible, par exemple  
au démarrage du dispositif de commutation ou lorsqu'il  
fonctionne en mode dégradé, le dispositif est muni d'un  
transistor basse tension en mode enrichissement, monté en  
série avec le transistor haute tension.

35 Le dispositif de commutation de l'état de la technique  
comprend également une deuxième borne pour recevoir un signal  
de commande, la deuxième borne étant électriquement reliée à  
la grille du transistor basse tension. Le signal de commande

permet de rendre bloquant le transistor basse tension et de contrôler l'état ouvert du dispositif de commutation, même en l'absence d'une tension négative appliquée à la grille du transistor haute tension.

5           En contrôlant séparément, en « double commande » chacun des transistors haute et basse tension mis en série, il est donc possible de définir l'état ouvert ou fermé du circuit de commutation.

10

Rappelons qu'un dispositif de commutation peut présenter un mode de fonctionnement « actif » qui correspond au mode de fonctionnement « normal » dans lequel l'état ouvert ou fermé du dispositif est contrôlé par le signal de commutation. Il peut également présenter un mode de  
15 fonctionnement « inactif » qui correspond au mode « basse consommation » (dispositif en sommeil) ou de mise en service du dispositif (démarrage du mode de fonctionnement « actif »).

20

Dans ce mode de fonctionnement « inactif », le dispositif de commutation est à l'état ouvert et les différents éléments actifs du dispositif ne sont pas alimentés électriquement. C'est le cas notamment du circuit d'attaque connecté à la grille du transistor haute tension. En l'absence  
25 d'alimentation électrique, ce circuit présente une sortie en haute impédance, la tension qui s'applique sur la grille du transistor haute tension est alors flottante et non contrôlée. Une éventuelle surtension s'appliquant sur le drain du transistor haute tension peut alors, par effet de couplage  
30 entre le drain et la grille, maintenir ou rendre le transistor haute tension passant malgré la désactivation du dispositif de commutation. Dans ce cas, toute la tension commutée s'applique aux bornes du transistor basse tension. Cette tension peut être importante, par exemple supérieure à 600 V, et excéder la  
35 tension d'avalanche que peut supporter ce transistor, menant ainsi à l'endommagement du dispositif.

Par ailleurs, le passage d'un mode de fonctionnement à un autre peut entraîner l'apparition de tensions transitoires ou de chemins de courants transitoires entre les bornes de commutation du dispositif. Ces tensions ou ces courants sont susceptibles d'endommager le transistor haute tension ou le transistor basse tension, si le passage d'un mode de fonctionnement à un autre n'est pas parfaitement contrôlé.

D'une manière plus générale, il est souhaitable de disposer d'un circuit d'attaque qui puisse être configuré pour être parfaitement ajusté aux autres éléments du circuit et à son environnement afin de limiter les conséquences des phénomènes transitoires pouvant apparaître lors du passage d'un mode de fonctionnement à un autre, ou lors du fonctionnement du dispositif.

#### OBJET DE L'INVENTION

La présente invention vise à remédier, au moins en partie, à l'un au moins des problèmes évoqués. Elle vise notamment à fournir un dispositif de commutation qui puisse sélectivement passer d'un mode inactif à un mode actif (et inversement) sans endommager les transistors qui le composent. Elle vise en général à fournir un dispositif de commutation dont le fonctionnement limite les risques d'endommagement des transistors qui le composent, en mode actif, inactif ou lors des phases transitoires de passage d'un mode à l'autre.

30

#### BREVE DESCRIPTION DE L'INVENTION

En vue de la réalisation de l'un de ces buts, l'objet de l'invention propose, dans son acceptation la plus large, un procédé de commande d'un dispositif de commutation, le dispositif de commutation comprenant :

- deux bornes de commutation ;

- un transistor haute tension et un transistor basse tension en mode enrichissement disposés en série entre les deux bornes de commutation ;
- un circuit de commande présentant une première entrée pour recevoir un signal de commutation et une

5

- seconde entrée pour recevoir un signal d'activation du dispositif ;

Le procédé place de manière contrôlée le dispositif de commutation :

10

- dans un état inactif, lorsque le signal d'activation présente un premier niveau, dans lequel le transistor basse tension et le transistor haute tension sont chacun commandés bloqués ; et

15

- dans un état actif, lorsque le signal d'activation présente un second niveau différent du premier, dans lequel le transistor basse tension est commandé passant et le signal de commutation appliqué à la grille du transistor haute tension.

20

Selon d'autres caractéristiques avantageuses et non limitatives de l'invention, prises seules ou selon toute combinaison techniquement réalisable :

25

- le dispositif de commutation comprend des composants actifs électriquement alimentés par des sources de tension et dans lequel, dans l'état inactif, une partie au moins des sources de tension sont éteintes ;

30

- le passage de l'état inactif à l'état actif comprend l'établissement de première et deuxième sources de tension ;

35

- l'établissement des première et deuxième sources de tension comprend la programmation des niveaux de tensions appliquées à la grille du transistor haute tension, pour le commander passant ou bloquant ;
- l'établissement des première et deuxième sources de tension comprend la détermination de l'intensité des courants respectivement injectés ou tirés au niveau de la

grille du transistor haute tension, pour le commander passant ou bloquant ;

- le passage de l'état inactif à l'état actif est réalisé uniquement si les tensions des première et deuxième sources de tensions sont correctement établies ;
- le passage de l'état actif à l'état inactif comprend une première étape dans laquelle le transistor haute tension est commandé à l'état bloqué ;
- le passage de l'état actif à l'état inactif comprend une deuxième étape, postérieure à la première, dans laquelle le transistor basse tension est commandé à l'état bloqué ;
- le passage de l'état actif à l'état inactif comprend une troisième étape, postérieure à la deuxième, dans laquelle une partie au moins des sources de tension d'alimentation électrique des éléments actifs du dispositif de commutation est commandée pour s'éteindre.

L'invention propose également un dispositif de commutation d'un circuit de puissance comprenant :

- deux bornes de commutation ;
- un transistor haute tension et un transistor basse tension en mode enrichissement, disposés en série entre les deux bornes de commutation ;

Le dispositif comprend un circuit de commande présentant une première entrée pour recevoir un signal de commutation et une seconde entrée pour recevoir un signal d'activation du dispositif. Le circuit de commande est configuré pour placer le dispositif de commutation :

- dans un état inactif, lorsque le signal d'activation présente un premier niveau, dans lequel le transistor basse tension et le transistor haute tension sont chacun rendus bloquants ; et
- dans un état actif lorsque le signal d'activation présente un second niveau différent du premier, dans lequel le transistor basse tension est rendu passant et le signal de

commutation appliqué à la grille du transistor haute tension.

Selon d'autres caractéristiques avantageuses et non  
5 limitatives de l'invention, prises seules ou selon toute  
combinaison techniquement réalisable :

- 10 • le dispositif comprend un circuit d'attaque pour  
appliquer le signal de commutation à la grille du  
transistor haute tension, le circuit d'attaque étant  
alimenté avec une première tension issue d'une première  
source de tension et avec une deuxième tension issue  
d'une deuxième source de tension, la première et la  
15 deuxième tension étant respectivement supérieure et  
inférieure à la tension de seuil du transistor haute  
tension ;
- les première et deuxième sources de tension sont  
programmables ;
- 20 • le dispositif comprend au moins un module de  
programmation du courant entrant, destiné à être injecté  
à la grille du transistor haute tension, et du courant  
sortant, destiné à être tiré de ladite grille ;
- le circuit d'attaque est configuré pour permettre une  
programmation du courant entrant, destiné à être injecté  
25 à la grille du transistor haute tension, et du courant  
sortant, destiné à être tiré de ladite grille ;
- la programmation des courants entrant et sortant est  
faite au moyen de deux modules de programmation connectés  
au circuit d'attaque, chacun étant respectivement  
30 connectable à une première et une seconde résistance ;
- la programmation des courants entrant et sortant est  
faite au moyen d'un module de programmation connecté au  
circuit d'attaque et connectable à une première et une  
seconde résistance ;
- 35 • le dispositif comprend un module générateur de signaux  
transitoires connecté au circuit d'attaque, configuré  
pour contrôler l'évolution transitoire du courant de  
grille entrant et sortant au niveau de la grille du  
transistor haute tension.

**BREVE DESCRIPTION DES DESSINS**

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description détaillée de l'invention qui va suivre en référence aux figures annexées sur lesquels :

- La figure 1 représente un dispositif de commutation conforme à l'invention ;
- 10 - la figure 2 représente le schéma de transition entre un mode actif et un mode inactif d'un dispositif de commutation conforme à l'invention ;
- la figure 3 représente un exemple particulier de mise en œuvre de l'invention ;
- 15 - les figures 4a, 4b et 4c représentent des schémas fonctionnels d'une partie du dispositif de commutation selon des modes de réalisation particuliers de l'invention ;
- 20 - la figure 5 représente un schéma fonctionnel d'une partie du dispositif de commutation selon un autre mode de réalisation particulier de l'invention ;
- 25 - la figure 6 présente un exemple de diagramme d'évolution temporelle du courant de grille du transistor haute tension.

30

**DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION**

La figure 1 représente un dispositif de commutation 1 conforme à l'invention. On a représenté en pointillés sur cette figure une charge P et un générateur G composant un circuit de puissance connecté à deux bornes de commutation 2a, 2b du dispositif 1.

35

Le générateur G peut présenter une tension importante, par exemple de 600 V ou plus, et le courant circulant dans le circuit de puissance et dans le dispositif de commutation 1 peut être de forte intensité, par exemple supérieur à 1 A. Le  
5 dispositif de commutation 1, comme cela est bien connu en soi, permet de sélectivement appliquer la tension du générateur G à la charge P. Il agit donc comme un interrupteur de puissance, commandé par un signal de commutation de relativement faible amplitude.

10

Le dispositif de commutation 1 comprend une première borne 3 pour recevoir ce signal de commutation. Cette première borne 3 est électriquement reliée par l'intermédiaire d'un circuit d'attaque 4 à une grille d'un transistor haute tension  
15 5.

Pour lever toute ambiguïté, les termes « électriquement connecté » ou « électriquement relié » de la présente description sont utilisés pour indiquer que deux éléments sont directement ou indirectement connectés entre eux.

20

Par « transistor haute tension », on désigne un transistor comprenant un drain, une source et une grille, la tension de faible amplitude appliquée sur la grille (de l'ordre de quelques volts) permettant de rendre électriquement  
25 passant ou bloquant la liaison entre le drain et la source. À l'état bloqué, la tension se développant entre le drain et la source peut être de forte amplitude, par exemple de 600 V ou plus, sans endommager le transistor.

30

Un transistor haute tension en mode déplétion (D-mode) présente une tension seuil négative (typiquement comprise entre -6V et -2V). La tension entre la grille et la source doit donc être négative, inférieure à cette tension seuil, pour rendre bloquant ce transistor. Le dispositif de  
35 commutation selon l'invention est particulièrement avantageux dans le cas d'un transistor haute tension D-mode pour contrôler l'état ouvert du dispositif de commutation, même en l'absence d'une tension négative appliquée à la grille dudit

transistor haute tension, par exemple au démarrage du dispositif de commutation.

Un transistor haute tension en mode enrichissement (E-mode) présente une tension seuil positive, typiquement de l'ordre de 1V. La tension entre la grille et la source doit être inférieure à cette tension seuil (typiquement inférieure de quelques volts), pour rendre bloquant ce transistor. Le dispositif de commutation selon l'invention peut également présenter un intérêt dans le cas d'un transistor haute tension E-mode, en particulier pour contrôler l'état ouvert du dispositif de commutation quand la tension n'est pas établie ou pas suffisamment basse pour assurer le blocage du transistor haute tension E-mode, par exemple dans des phases transitoires de démarrage du dispositif.

Le transistor à haute tension peut être un transistor HEMT par exemple à base de GaN ou de SiC. Ce type de transistor présente une tension d'avalanche (c'est-à-dire la tension maximale applicable entre le drain et la source du transistor sans qu'il soit endommagé) de forte amplitude, choisie pour être supérieure à la tension du générateur du circuit de puissance, par exemple de plus de 600V.

En mode de fonctionnement normal ou actif du dispositif de commutation, la source du transistor haute tension est à 0 V. Pour permettre la commande du transistor haute tension à l'état bloquant ou à l'état passant selon la nature du signal de commutation, le circuit d'attaque 4 est relié à une première source de tension VDR+ et à une deuxième source de tension VDR-. Le circuit d'attaque est alimenté avec une première tension, issue de la première source VDR+, dont la grandeur est supérieure à la tension de seuil du transistor haute tension. Il peut par exemple s'agir d'une tension de 2 V, dans le cas d'un transistor haute tension D-mode. Le circuit d'attaque est également alimenté avec une deuxième tension, issue de la deuxième source VDR-, dont la grandeur est inférieure à la tension de seuil du transistor haute tension. Il peut s'agir par exemple d'une tension de -8 V,

dans le cas d'un transistor haute tension D-mode. Selon la valeur du signal de commutation appliquée à la première borne d'entrée 3, la première tension ou la deuxième tension est appliquée à la grille du transistor haute tension permettant  
5 sélectivement de le rendre passant ou bloquant.

Poursuivant la description du dispositif de commutation 1 de la figure 1, le transistor haute tension 5 est disposé en  
10 série avec un transistor basse tension 6 entre les deux bornes de commutations 2a, 2b. En d'autres termes, le drain du transistor haute tension 5 est électriquement relié à une des deux bornes de commutation 2a, la source du transistor haute tension 5 est reliée au drain du transistor basse tension 6,  
15 et la source du transistor basse tension 6 est reliée à l'autre des deux bornes de commutations 2b.

Le transistor basse tension est avantageusement un transistor en mode enrichissement, présentant une tension  
20 seuil positive. La tension entre la grille et la source doit donc être positive et supérieure à cette tension seuil, pour rendre passant ce transistor.

Le transistor basse tension peut-être un transistor  
25 MOSFET à base de silicium. La tension d'avalanche du transistor basse tension est inférieure à celle du transistor haute tension. Elle peut être par exemple de l'ordre de 30 V.

Une seconde borne 7 du dispositif de commutation 1 est  
30 reliée à la grille du transistor basse tension 6. Cette seconde borne 7 est prévue pour recevoir un signal de commande.

Comme cela ressort du schéma de principe de la figure  
35 1, un signal de commande, correspondant à une tension positive et supérieure à la tension seuil du transistor basse tension 6, appliqué sur la seconde borne 7, rend le transistor basse tension 6 passant, la source du transistor basse tension 6

étant reliée à la masse du circuit. Dans ce premier mode de fonctionnement (qui correspond à l'état de fonctionnement actif normal du dispositif 1), l'état ouvert ou fermé du dispositif de commutation 1 est dicté par le signal de commutation appliqué sur la première borne 3 ; en effet ; le signal de commutation, via le circuit d'attaque 4, peut faire sélectivement passer, le transistor haute tension 5 en mode passant ou bloqué.

10 Au contraire, lorsque le signal de commande présentant une tension inférieure à la tension seuil du transistor basse tension 6 est appliqué sur la seconde borne 7, le transistor basse tension 6 est placé dans un mode bloqué. Dans ce mode de fonctionnement inactif, le dispositif de commutation 1 est à l'état ouvert quelle que soit la valeur du signal de commutation appliquée sur la première borne d'entrée 3.

Le dispositif de commutation 1 comprend également un circuit de commande 8 pour élaborer le signal de commande et/ou transmettre le signal de commutation, selon le mode de fonctionnement actif ou inactif du dispositif de commutation 1. Le circuit de commande 8 comprend deux sorties, respectivement connectées électriquement à la première borne 3 et à la seconde borne 7. Le circuit de commande 8 comprend également une première entrée 9 pour recevoir le signal de commutation et une seconde entrée 10 pour recevoir un signal d'activation du dispositif 1.

Selon un aspect de l'invention, le circuit de commande 8 forme une machine d'état permettant de placer le dispositif dans l'un des modes de fonctionnement « actif » ou « inactif » et de contrôler la transition entre ces modes en toute sécurité. Le circuit de commande peut être réalisé sous forme intégrée, par exemple sous la forme d'un système de portes logiques programmable, ou sous la forme de composants discrets, voire même sous la forme d'un microcontrôleur convenablement programmé pour reproduire le comportement détaillé ci-dessous.

Le circuit de commande 8 est électriquement relié aux grilles des transistors haute tension 5 et basse tension 6 pour commander l'état bloqué ou passant de ces transistors, notamment lors du passage d'un mode de fonctionnement à un autre du dispositif 1. En contrôlant individuellement et directement les grilles des transistors, on peut se prémunir des effets transitoires qui pourraient se développer et endommager l'un des transistors. On peut également de la sorte se prémunir d'un fonctionnement non sécurisé du dispositif.

10

Comme cela est schématiquement représenté par le modèle de transition de la figure 2, le mode de fonctionnement du dispositif 1 est déterminé par le niveau d'un signal d'activation appliqué à la seconde entrée 10 du circuit de commande 8. Lorsqu'il présente un premier niveau (par exemple de 5 V), le dispositif de commutation 1 est en fonctionnement normal, c'est-à-dire actif.

15

Dans ce mode de fonctionnement, le circuit de commande 8 applique sur la deuxième borne 7 un signal de commande présentant une tension supérieure à la tension seuil du transistor basse tension 6 de manière à le rendre passant. Dans le même temps, le signal de commutation qui est appliqué à la première entrée 9 du circuit de commande 8 est transmis à la première borne 3, de manière à piloter en commutation le transistor haute tension 5, via le circuit d'attaque 4. Les sources de tension d'alimentation électrique des éléments actifs du dispositif sont en fonctionnement.

20

25

Lorsque le signal d'activation présente un second niveau, différent du premier (par exemple 0 V), le dispositif 1 est en mode de fonctionnement inactif (« stand-by »). Dans ce mode de fonctionnement, le circuit de commande 8 applique sur la deuxième borne 7 un signal de commande présentant une tension inférieure à la tension seuil du transistor basse tension 6 de manière à le rendre bloquant. Dans le même temps, le circuit de commande 8 applique une tension de blocage nulle ou suffisamment faible à la première borne 3 de manière à rendre bloquant, via le circuit d'attaque 4, le transistor

30

35

haute tension 5. Dans ce mode de fonctionnement inactif, les sources de tension assurant l'alimentation électrique des éléments actifs du circuit, et notamment l'alimentation du circuit d'attaque 4, sont éteintes. A cet effet, le circuit de commande 8 est avantageusement relié aux première et deuxième sources d'alimentation électrique VDR+ et VDR- (figure 1), pour commander leurs mises en fonctionnement et leurs extinctions. Cette liaison peut prendre la forme d'un bus de communication reliant certaines sources de tension d'alimentation du dispositif 1, telles que les première et deuxième sources VDR+ ou VDR- du circuit d'attaque 4. Ce bus de communication peut également être employé pour activer d'autres fonctionnalités du circuit d'attaque 4 comme cela sera exposé dans le détail dans la suite de cet exposé.

15

L'activation du dispositif de commutation 1, c'est-à-dire le passage du mode inactif au mode actif, se produit sur un front montant du signal d'activation. Ce front montant entraîne l'établissement des sources de tension assurant l'alimentation des éléments actifs du dispositif.

20

Lorsque celles-ci sont bien établies, le circuit de commande place le dispositif 1 en mode de fonctionnement actif tel que cela a été décrit précédemment. Si ces tensions ne peuvent s'établir correctement, le circuit de commande 8 maintient le dispositif 1 en mode inactif, c'est-à-dire que le transistor haute tension 5 et le transistor basse tension 6 sont tous deux commandés pour présenter un état bloqué. Le circuit de commande 8 signale éventuellement ce dysfonctionnement par l'intermédiaire d'un signal additionnel (non représenté sur la figure 1).

30

La désactivation du dispositif de commutation 1, c'est-à-dire le passage du mode actif au mode inactif, se produit sur un front descendant du signal d'activation. Le front descendant entraîne, dans une première étape, l'application d'une tension de blocage nulle ou suffisamment faible sur la première borne 3 pour rendre bloquant le transistor haute tension 5, via le circuit d'attaque 4. Puis, dans une seconde

35

étape, le circuit de commande 8 applique sur la deuxième borne 7 une tension conduisant à rendre le transistor basse tension 6 bloquant. Les sources de tension assurant l'alimentation des éléments actifs du dispositif 1 peuvent alors être éteintes et donc les tensions délivrées par les première et deuxième sources VDR+, VDR- ne peuvent plus être garanties.

L'activation et la désactivation du dispositif 1 selon l'invention permet de limiter voire d'éliminer l'apparition de tensions transitoires ou de chemins de courants transitoires entre les bornes de commutation du dispositif 1, du fait de la prise en compte de l'établissement correct des tensions issues des première et deuxième sources de tension VDR+ et VDR-, lors de l'activation, et du fait de la mise en mode bloquant du transistor haute tension préalablement à l'extinction des sources de tensions, lors de la désactivation.

En alternative à ce qui a été présenté, on peut prévoir que l'activation du dispositif de commutation 1 se réalise sur un front descendant du signal de commande, et que sa désactivation se réalise sur un front montant de ce signal.

Comme on l'a vu en préambule de cette demande, dans le mode inactif du dispositif de commutation 1, la grille du transistor haute tension 5 présente une tension flottante, qui peut être affectée, par effet de couplage, par la tension se développant sur le drain du transistor haute tension 5. Ce transistor peut de manière non contrôlée passer alors d'un état bloqué à un état passant, ce qui peut endommager le dispositif de commutation 1, et notamment le transistor basse tension 6.

Afin de prévenir ce phénomène, le dispositif de commutation 1 comprend, selon un autre aspect de l'invention, un circuit passif de protection 11 électriquement relié entre la seconde borne 7 et la grille du transistor haute tension 5.

Le circuit de protection 11 est passif, il ne nécessite pas d'être électriquement alimenté, et il peut fonctionner même en l'absence des tensions d'alimentation du dispositif 1, lorsque celui-ci est désactivé. Le circuit de protection 11 a pour fonction de rendre et maintenir bloquant le transistor haute tension 5 lorsque le circuit d'attaque 4 n'est pas électriquement alimenté.

Lorsque le dispositif de commutation 1 est inactif, la sortie du circuit d'attaque 4 présente une haute impédance. La tension de grille du transistor haute tension 5 est donc flottante et non contrôlée. Le circuit passif de protection 11 vise donc à placer cette tension à une valeur déterminée, assurant le blocage du transistor haute tension 5. On évite de la sorte d'appliquer toute la tension du générateur G aux bornes du transistor basse tension 6, ce qui pourrait l'endommager.

La figure 3 présente un exemple particulier de mise en œuvre de cet aspect de l'invention. On reconnaît sur cette figure les deux bornes de commutation 2a, 2b, le transistor haute tension 5, le transistor basse tension 6, le circuit d'attaque 4, le circuit de commande 8 et les deux bornes 3, 7 déjà décrits en relation avec la description générale de l'invention.

Le circuit de protection 11 est formé d'un transistor bipolaire NPN 12 et d'une résistance 13 placée dans l'émetteur du transistor bipolaire 12. La base du transistor est électriquement reliée à la seconde borne 7. Le collecteur est placé à la masse du dispositif 1 et la résistance électrique 13 connectée à la grille du transistor haute tension 5.

Le circuit de protection comprend en outre, entre la seconde borne d'entrée 7 et la masse du dispositif 1, une seconde résistance 14.

Lorsque le signal de commande du dispositif 1 est supérieur à la tension seuil du transistor basse tension 6, et

donc lorsque le dispositif de commutation 1 est en mode de fonctionnement actif, le transistor bipolaire 12 est ouvert et le circuit de protection 11 n'a aucune influence sur le fonctionnement du transistor haute tension 5 et donc du  
5 dispositif de commutation 1 dans son ensemble.

Lorsqu'au contraire, le signal de commande du dispositif de commutation 1 est inférieur à la tension seuil du transistor basse tension 6, et donc lorsque le dispositif  
10 de commutation est en mode de fonctionnement inactif, le transistor bipolaire est fermé sur la première résistance 13 placée à la masse. Le circuit qui se forme alors conduit à placer la tension de grille du transistor haute tension 5 à une tension proche de 0V, et donc d'appliquer une tension  
15 entre la grille et la source du transistor haute tension 5 inférieure à sa tension seuil, assurant son état bloquant avec certitude.

Bien que l'on ait présenté un dispositif de commutation  
20 1 combinant un circuit passif de protection 11 et un dispositif de commande 8, chacun de ces éléments peut être exploité séparément dans des dispositifs de commutation présentant une architecture différente que celle qui vient  
25 d'être décrite.

Dans un mode de réalisation particulier d'un dispositif de commutation 1 conforme à l'invention, le circuit d'attaque  
30 4 présente une configuration adaptable, c'est-à-dire qu'il peut être configuré pour piloter différents types de transistors haute tension, présentant des tensions seuil différentes.

Comme évoqué précédemment, le dispositif de commutation  
35 1 selon l'invention peut comprendre un transistor haute tension soit D-mode soit E-mode. Rappelons que les transistors haute tension E-mode ont une tension seuil typique de 1,2V,

alors que les transistors haute tension D-mode présentent une tension seuil typique autour de -6V. Par ailleurs, au sein d'un même type, E-mode ou D-mode, les transistors peuvent présenter des tensions seuil différentes, ces différences pouvant trouver leurs origines dans la spécification même du produit ou dans la variabilité inévitable de leur procédé de fabrication.

Un circuit d'attaque 4 à configuration adaptable présente l'avantage d'être utilisable quel que soit le type de transistor haute tension choisi pour être incorporé dans le dispositif de commutation 1. Les première et deuxième sources de tension VDR+, VDR- peuvent être programmées pour fournir des valeurs de première et deuxième tensions adaptées au type de transistor haute tension 5 choisi. La grille des transistors haute tension étant réputée fragile, le circuit d'attaque 4 à configuration adaptable présente l'avantage de pouvoir être appairer avec le transistor haute tension 5 choisi, limitant ainsi les risques d'endommagement dudit transistor liés à des tensions transitoires. On peut ainsi configurer les première et deuxième sources de tension VDR+, VDR- du circuit d'attaque 4 pour que les tensions qu'elles génèrent présente une marge suffisante avec la tension seuil particulière du transistor choisi.

La programmation des niveaux de tensions de la première source VDR+ et de la deuxième source VDR- est avantageusement réalisée par des mots binaires, stockées dans des cellules mémoires de chaque source de tension VDR+, VDR-.

Préférentiellement, au moins trois bits (soit 8 niveaux) sont utilisés pour programmer avec suffisamment de résolution les valeurs de la deuxième tension de la deuxième source VDR-. Ces valeurs seront par exemple comprises dans la plage [-2V ; -8V], qui correspond à une plage de deuxièmes tensions aptes à bloquer différents types de transistors haute tension, de tensions seuils par exemple comprises entre 1V (E-mode) et -6V (D-mode).

De même, au moins trois bits pourront être utilisés pour programmer avec suffisamment de résolution les valeurs de la première tension de la première source VDR+. Ces valeurs pourront par exemple être comprises dans la plage [+2V ; +6V], qui correspond à une plage de premières tensions aptes à rendre passants différents types de transistors haute tension, de tensions seuils comprises entre +1V (D-mode) et +5V (E-mode).

Alternativement, au moins deux bits (4 niveaux) pourront être utilisés pour programmer avec suffisamment de résolution des valeurs d'excursions en tension par rapport à une première ou à une deuxième tension de référence.

Par exemple, considérant la deuxième source VDR- programmable sur 3 bits (correspondant ici à la tension de référence), les valeurs des premières tensions de la première source VDR+ seront issues de la somme d'une valeur de deuxième tension et d'une valeur d'excursion en tension. Selon une variante la tension de référence pourra être la première tension, et la deuxième tension sera alors définie par la somme de la première tension et d'une valeur d'excursion négative.

En fonction de la valeur de tension et de la résolution en tension souhaitée, on pourra bien-sûr utiliser un nombre moindre de bits ou un plus grand nombre de bits pour la programmation des sources de tensions VDR+, VDR-.

Comme cela a été mentionné préalablement, le circuit de commande 8 est relié au circuit d'attaque 4 par un bus de communication, permettant de configurer chacune des première et deuxième sources de tension VDR+ et VDR- et de sélectionner les niveaux respectivement de la première tension et de la deuxième tension. Les niveaux les plus adaptés, et les mots binaires associés, peuvent être déterminés en fin de fabrication du dispositif 1, par exemple au cours d'une phase de test et de configuration. Les mots binaires correspondant aux niveaux des tensions choisis, peuvent être enregistrés

dans une mémoire non volatile du circuit de commande 8. La configuration des première et deuxième sources de tensions VDR+, VDR- du circuit d'attaque 4 peut être réalisée à l'aide du bus de communication, au cours de l'établissement des sources de tension, lors du basculement de l'état inactif à l'état actif du dispositif de commutation 1. Alternativement, les mots binaires correspondant aux niveaux de tensions choisis peuvent être enregistrés une fois pour toute dans des mémoires non volatiles des première et deuxième sources de tensions VDR+, VDR- du circuit d'attaque 4 en fin de fabrication du dispositif 1.

Ainsi quelque soit le type et les spécificités du transistor haute tension 5 inclus dans le dispositif de commutation 1, le circuit de commande 8 permet d'adapter au plus juste les première et deuxième tensions qui lui seront appliquées par le circuit d'attaque 4 pour le rendre passant ou bloquant. Cette caractéristique contribue à rendre le dispositif de commutation 1 particulièrement robuste et sécurisé.

Selon un autre mode de réalisation d'un dispositif de commutation 1 conforme à l'invention, le circuit d'attaque 4, relié à la grille du transistor haute tension 5, est configuré pour permettre de contrôler et optimiser le courant de grille injecté, c'est-à-dire « entrant » au niveau de la grille du transistor haute tension 5 pour le rendre passant ; il est également configuré pour permettre de contrôler et optimiser le courant de grille tiré, c'est-à-dire « sortant » de la grille du transistor haute tension 5 pour le rendre bloquant.

Le contrôle et l'optimisation du courant de grille du transistor haute tension 5 vise à limiter la création de parasites électromagnétiques (CEM) et à minimiser les pertes en commutation. En effet, plus l'intensité du courant de grille est élevée, plus le temps de commutation est court ; et plus le temps de commutation est court, moins il y a de pertes

de commutation, mais plus il y a de perturbations électromagnétiques.

Il est donc utile de pouvoir contrôler et optimiser les courants de grille entrant et sortant pour établir un fonctionnement optimal tant du point de vue des pertes de commutation, des perturbations électromagnétiques que du point de vue des tensions et courants parasites en phases transitoires. Ce point de fonctionnement optimal n'est pas défini en soi, il peut être lié à l'usage particulier qui sera fait du dispositif de commutation 1. Il est donc intéressant de fournir les moyens permettant à un utilisateur de sélectionner les conditions de fonctionnement optimales du dispositif dans son environnement.

15

Comme vu précédemment, le circuit d'attaque 4 est alimenté avec une première tension, issue d'une première source VDR+, et avec une deuxième tension, issue d'une deuxième source VDR-.

20

25

30

35

Pour déterminer l'intensité des courants de grille entrant et sortant, le circuit d'attaque 4 peut être muni ou connecté à un premier et un second module de programmation 15a, 15b. Chaque module de programmation 15a, 15b joue le rôle d'un convertisseur analogique / numérique destiné à convertir une tension analogique en une pluralité de signaux de sélection. Chaque module de programmation 15a, 15b comporte une borne d'entrée 16a, 16b apte à être connectée à une première et une seconde résistance externe  $R_{on}$ ,  $R_{off}$ . Ces première et seconde résistances peuvent être placées sur le circuit imprimé destiné à intégrer le dispositif de commutation 1. La première résistance  $R_{on}$  est connectée à la borne d'entrée 16a du premier module de programmation du courant entrant 15a et la seconde résistance  $R_{off}$  est connectée à la borne d'entrée 16b du second module de programmation du courant sortant 15b. Les résistances  $R_{on}$  et  $R_{off}$  étant accessibles à l'extérieur du boîtier formant le dispositif de commutation 1, par exemple au niveau du circuit imprimé, elles peuvent être choisies librement par l'utilisateur.

En fonction de la valeur de la résistance  $R_{on}$ , la borne d'entrée 16a du module de programmation 15a étant alimentée par une source de courant, une tension se développe aux bornes de ladite résistance. La valeur de cette tension (analogique) est interprétée par des comparateurs du premier module de programmation 15a et décodée pour établir des signaux de sélection  $S_n^+$  en sortie dudit module, qui transmis au circuit d'attaque 4, vont permettre la programmation du courant entrant.

Ce même principe de fonctionnement s'applique au second module de programmation 15b.

Selon une première option, le circuit d'attaque 4 est configuré pour permettre une programmation discrétisée du courant de grille entrant au niveau de la grille du transistor haute tension 5 et en sortant (figure 4a).

Le circuit d'attaque 4 comprend une pluralité de sources de courant  $E_n^+$ , montées en parallèle entre la première source VDR+ et la grille du transistor à haute tension 5 et destinées à gérer le courant de grille entrant  $I^+$  ; il comprend également une pluralité de sources de courant  $E_n^-$  montées en parallèle entre la deuxième source VDR- et la grille du transistor à haute tension 5 et destinées à gérer le courant de grille sortant  $I^-$ .

Chaque source de courant  $E_n^+$  (respectivement  $E_n^-$ ) pourra par exemple comprendre un interrupteur  $i_n^+$  (respectivement  $i_n^-$ ) monté en série avec une résistance  $R^+$  (respectivement  $R^-$ ) placée entre ledit interrupteur et la grille du transistor haute tension 5, comme illustré sur le schéma fonctionnel de la figure 4a. Chaque interrupteur  $i_n^+$  (respectivement  $i_n^-$ ) correspond à une porte logique (« ET ») apte à se fermer en fonction du signal délivré par la borne 3, appliqué à l'entrée du circuit d'attaque 4 et d'un (au moins) signal de sélection  $S_n^+$  (respectivement  $S_n^-$ ).

Ce signal de sélection  $S_n^+$ ,  $S_n^-$  est établi en sortie respectivement du module de programmation du courant entrant

15a et du module de programmation du courant sortant 15b. Lesdits modules de programmation 15a, 15b sont avantageusement compris dans le circuit de commande 8 (non représenté). Dans ce cas, les signaux de sélection peuvent être communiqué au circuit d'attaque 4 par l'intermédiaire du bus de communication. Alternativement, les modules de programmation 15a, 15b peuvent être intégrés au circuit d'attaque 4 lui-même.

10 On expose maintenant le fonctionnement du dispositif de commutation 1 dans cette première option du mode de réalisation. Considérons par exemple que le signal de sélection  $S_1^+$  est activé ; quand le signal de commutation arrive sur la borne 3, la source de courant  $E_1^+$  du circuit d'attaque 4 est activée et un courant de grille  $I_1^+$  entrant est fourni à la grille du transistor haute tension 5. Ce courant  $I_1^+$  entrant aura une valeur définie par la résistance  $R^+$  et par la première tension issue de la première source de tension VDR+. Si les signaux  $S_1^+$  et  $S_2^+$  avaient été activés, un courant de grille  $I_{1+2}^+$  de plus forte intensité aurait été fourni à la grille du transistor haute tension 5.

Ainsi, il est possible de contrôler et d'optimiser le courant de grille fourni  $I^+$  (entrant) à la grille du transistor haute tension 5, par le choix de la première résistance  $R_{on}$ , accessible à l'extérieur du boîtier du dispositif, au niveau du circuit imprimé.

De même, en fonction de la valeur de la seconde résistance  $R_{off}$ , un ou plusieurs parmi les différents signaux de sélection  $S_n^-$  est(sont) activé(s) en sortie du module de programmation du courant sortant 15b, ce qui permet de moduler également l'intensité du courant sortant de la grille du transistor haute tension 5, lorsque le signal de blocage est envoyé à l'entrée du circuit d'attaque 4 pour passer ledit transistor 5 en état bloqué.

Ainsi, il est possible de contrôler et d'optimiser le courant de grille absorbé  $I^-$  (sortant), par le choix de la

résistance  $R_{off}$ , accessible à l'extérieur du boîtier du dispositif de commutation 1, au niveau du circuit imprimé.

5            Selon une variante de cette première option, la programmation des courants entrant et sortant peut être réalisée à partir d'un seul module de programmation 15, comportant une seule borne d'entrée 16 apte à être connectée à la première et la seconde résistance externe  $R_{on}$ ,  $R_{off}$ .

10           Chaque résistance  $R_{on}$ ,  $R_{off}$  est connectée à la borne d'entrée 16 par une diode en série, les deux diodes étant montées en sens inverse (figure 4b).

             Dans cette variante, le module de programmation 15 comprend un séquenceur 15c qui va d'abord autoriser la mesure  
15 de la première résistance  $R_{on}$  par injection d'un premier courant  $i_{on}$ , au niveau de la borne d'entrée 16 ; le décodage de cette valeur de résistance par le module de programmation 15 permet alors d'établir les signaux de sélection  $S_n^+$  en sortie du module 15 pour le courant entrant. Le séquenceur va ensuite  
20 autoriser la mesure de la seconde résistance  $R_{off}$  par injection d'un second courant  $i_{off}$  de signe opposé au premier courant  $i_{on}$ , au niveau de la borne d'entrée 16 ; le décodage de cette valeur de résistance par le module de programmation 15 permet d'établir les signaux de sélection  $S_n^-$  en sortie du module 15  
25 pour le courant sortant.

             Le fonctionnement est par ailleurs identique à celui décrit pour la première option.

30            Selon une deuxième option de ce mode de réalisation, le circuit d'attaque 4 est configuré pour permettre une programmation continue du courant de grille.

             Comme dans l'option précédente, des modules de programmation 15'a, 15'b du courant entrant  $I^+$  et sortant  $I^-$   
35 sont avantageusement compris dans le circuit d'attaque 4. Alternativement, ils pourront être compris dans le circuit de commande 8 ; dans ce cas, les première et deuxième sources de

tension seront connectées au circuit d'attaque 4 par l'intermédiaire des modules de programmation.

Les modules de programmation du courant entrant 15'a et sortant 15'b sont alimentés par la source de tension VDR+ et comporte chacun une borne d'entrée 16'a, 16'b. Chaque borne 16'a, 16'b est apte à être connectée à une première et une seconde résistance externe au dispositif de commutation 1, référencées  $R_{on}$  pour la borne d'entrée 16'a du module de programmation du courant entrant 15'a et  $R_{off}$  pour la borne d'entrée 16'b du module de programmation du courant sortant 15'b. Comme vu précédemment, les premières et secondes résistances  $R_{on}$ ,  $R_{off}$  étant accessibles à l'extérieur du boîtier définissant le dispositif de commutation 1, elles peuvent être librement choisies par l'utilisateur.

Le circuit d'attaque 4 comprend au moins un interrupteur  $i^+$  entre la première source VDR+ et la grille du transistor à haute tension 5, destiné à gérer le courant de grille entrant  $I^+$ ; il comprend également au moins un interrupteur  $i^-$  entre la deuxième source VDR- et la grille du transistor à haute tension 5, destiné à gérer le courant de grille sortant  $I^-$ , comme illustré sur le schéma fonctionnel de la figure 5.

Au niveau du module de programmation du courant entrant 15'a, un courant d'intensité donnée va s'établir en fonction de la valeur de la première résistance  $R_{on}$ , et être interprété par un composant de type miroir de courant de gain  $G$  inclus dans le module de programmation 15'a. Le rapport (gain =  $G$ ) du miroir de courant va contribuer à ajuster la valeur du courant  $I^+$  en sortie du module de programmation du courant entrant 15'a.

Lorsque le signal de commutation est appliqué sur la borne 3, en entrée du circuit d'attaque 4, l'interrupteur  $i^+$  devient passant et injecte le courant  $I^+$  à la grille du transistor haute tension 5.

Ainsi, il est possible de contrôler et d'optimiser le courant de grille fourni  $I^+$  (entrant) à la grille, par le choix

de la résistance  $R_{on}$ , accessible à l'extérieur du boîtier du dispositif, au niveau du circuit imprimé.

Il en est de même pour le courant de grille tiré  $I^-$  (sortant), contrôlé, via le module de programmation du courant sortant 15'b, par le choix de la seconde résistance  $R_{off}$ , accessible à l'extérieur du boîtier du dispositif de commutation 1, par exemple au niveau du circuit imprimé. Le miroir de courant de gain  $G$  est lui référencé à VDR-.

10

Dans les deux options qui viennent d'être présentés, les champs électromagnétiques émis pendant le fonctionnement du dispositif de commutation 1 peuvent affecter le fonctionnement des modules de programmation 15a, 15'a, 15b, 15'b. Ils peuvent notamment conduire à perturber la mesure de la tension se développant aux bornes de la première et de la seconde résistance  $R_{on}$  et  $R_{off}$ , ce qui pourrait entraîner la génération d'un courant entrant et sortant non adapté. Pour éviter ce problème, les modules de programmation sont configurés pour établir et figer l'intensité de ces courants au cours de l'étape d'établissement des première et deuxième sources de tension, lors du passage de l'état actif à l'état inactif du dispositif de commutation 1.

25

Avantageusement, pour l'une et l'autre des options précédemment décrites dans ce mode de réalisation de l'invention, le dispositif de commutation 1 permet également de contrôler l'évolution temporelle du courant de grille entrant et sortant au niveau de la grille du transistor haute tension 5, suite à la détection d'un front montant ou descendant du signal de commutation.

Différents niveaux de courants de grille (entrant et/ou sortant) peuvent être établis temporellement, comme illustré par exemple sur la figure 6.

Sur un front montant du signal de commutation, le courant de grille entrant  $I^+$  est injecté d'abord à un niveau

élevé A, pour atteindre rapidement une valeur proche de la tension de seuil et réduire ainsi le temps de commutation à l'état passant. Le courant de grille  $I^+$  est ensuite réduit à un niveau intermédiaire B, pour atteindre une tension de grille supérieure à la tension de seuil, sensiblement égale à la première tension issue de la première source VDR+, apte à maintenir le transistor 5 dans l'état passant. Enfin, le courant de grille est encore réduit à un niveau bas C, pour maintenir le transistor haute tension 5 dans l'état passant.

Le courant de grille sortant  $I^-$  suit un comportement similaire. Sur un front descendant du signal de commutation, le courant de grille est tiré (courant négatif) d'abord à un niveau élevé A' pour une décharge rapide (et un temps de commutation court), puis à un niveau intermédiaire B' pour amener la tension de grille à une valeur sensiblement égale à la deuxième tension issue de la deuxième source VDR- (apte à maintenir le transistor 5 dans l'état bloquant) ; enfin, le courant de grille  $I^-$  est tiré à un niveau bas C', pour maintenir le transistor haute tension 5 dans l'état bloquant.

Pour contrôler l'évolution transitoire du courant de grille entrant ou sortant, le dispositif de commutation 1 selon ce mode de mise en œuvre de l'invention comprend un module de génération de signaux transitoires 17 entre la première borne 3 et le circuit d'attaque 4, comme illustré sur la figure 4c. Ce module de génération de signaux transitoires 17 comprend une entrée reliée à la première borne 3 et une pluralité de sorties 18, 18', 18'' électriquement connectées au(x) interrupteur(s) du circuit d'attaque 4. Les signaux  $S_A$ ,  $S_B$  et  $S_C$  issus des sorties 18, 18', 18'' jouent le rôle de signaux de commutation ou de blocage pour le circuit d'attaque 4, en sortie duquel seront générés les différents niveaux A, B, C ou A', B', C', de courants de grille entrants  $I^+$  ou sortants  $I^-$ .

Le module de génération de signaux transitoires 17 pourra être compris dans le circuit de commande 8 ou dans le circuit d'attaque 4.

Le dispositif de commutation 1 selon les différents modes de réalisation et options précédemment décrits peut passer d'un mode inactif à un mode actif (et inversement) sans endommager les transistors qui le composent ; son  
5 fonctionnement limite également les risques d'endommagement des transistors qui le composent, en mode actif, inactif ou lors des phases transitoires de passage d'un mode à l'autre.

Bien entendu l'invention n'est pas limitée aux modes de mise en œuvre décrits et on peut y apporter des variantes de  
10 réalisation sans sortir du cadre de l'invention tel que défini par les revendications.

**REVENDEICATIONS**

1. Procédé de commande d'un dispositif de commutation (1),  
le dispositif de commutation comprenant :

- 5           - deux bornes de commutation (2a, 2b) ;
- un transistor haute tension (5) et un transistor  
basse tension en mode enrichissement (6) disposés en  
série entre les deux bornes de commutation (2a,  
2b) ;
- 10          - un circuit de commande (8) présentant une première  
entrée (9) pour recevoir un signal de commutation et  
une seconde entrée (10) pour recevoir un signal  
d'activation du dispositif ;

le procédé plaçant de manière contrôlée le dispositif de  
15 commutation (1) :

- dans un état inactif, lorsque le signal d'activation  
présente un premier niveau, dans lequel le  
transistor basse tension (6) et le transistor haute  
tension (5) sont chacun commandés bloqués ; et
- 20          - dans un état actif, lorsque le signal d'activation  
présente un second niveau différent du premier, dans  
lequel le transistor basse tension (6) est commandé  
passant et le signal de commutation appliqué à la  
grille du transistor haute tension (5).

25

2. Procédé de commande selon la revendication précédente dans  
lequel le dispositif de commutation (1) comprend des  
composants actifs électriquement alimentés par des sources  
de tension et dans lequel, dans l'état inactif, une partie  
30 au moins des sources de tension sont éteintes.

30

3. Procédé de commande selon la revendication précédente dans  
lequel le passage de l'état inactif à l'état actif comprend  
l'établissement de première et deuxième sources de tension  
35 (VRD+, VDR-).

35

4. Procédé de commande selon la revendication précédente, dans  
lequel l'établissement des première et deuxième sources de

tension (VDR+, VDR-) comprend la programmation des niveaux de tensions appliquées à la grille du transistor haute tension (5), pour le commander passant ou bloquant.

- 5 5. Procédé de commande selon l'une des deux revendications précédentes, dans lequel l'établissement des première et deuxième sources de tension (VDR+, VDR-) comprend la détermination de l'intensité des courants respectivement injectés ( $I^+$ ) ou tirés ( $I^-$ ) au niveau de la grille du transistor haute tension (5), pour le commander passant ou bloquant.
- 10
6. Procédé de commande selon l'une des trois revendications précédentes dans lequel le passage de l'état inactif à l'état actif est réalisé uniquement si les première et deuxième tensions des sources de tensions (VDR+, VDR-) sont correctement établies.
- 15
7. Procédé de commande selon l'une des revendications précédentes dans lequel le passage de l'état actif à l'état inactif comprend une première étape dans laquelle le transistor haute tension (5) est commandé à l'état bloqué.
- 20
8. Procédé de commande selon la revendication précédente dans lequel le passage de l'état actif à l'état inactif comprend une deuxième étape, postérieure à la première, dans laquelle le transistor basse tension (6) est commandé à l'état bloqué.
- 25
9. Procédé de commande selon la revendication précédente dans lequel le passage de l'état actif à l'état inactif comprend une troisième étape, postérieure à la deuxième, dans laquelle une partie au moins des sources de tension d'alimentation électrique des éléments actifs du dispositif de commutation est commandée pour s'éteindre.
- 30
- 35
10. Dispositif de commutation (1) d'un circuit de puissance comprenant :

- deux bornes de commutation (2a, 2b) ;
  - un transistor haute tension (5) et un transistor basse tension en mode enrichissement (6) disposés en série entre les deux bornes de commutation (2a, 2b);
- 5 le dispositif (1) étant caractérisé en ce qu'il comprend un circuit de commande (8) présentant une première entrée (9) pour recevoir un signal de commutation et une seconde entrée (10) pour recevoir un signal d'activation du dispositif (1), le circuit de commande (8) étant configuré pour placer le
- 10 dispositif de commutation (1) :
- dans un état inactif, lorsque le signal d'activation présente un premier niveau, dans lequel le transistor basse tension (6) et le transistor haute tension (5) sont chacun rendus bloquants ; et
  - 15 - dans un état actif lorsque le signal d'activation présente un second niveau différent du premier, dans lequel le transistor basse tension (6) est rendu passant et le signal de commutation appliqué à la grille du transistor haute tension (5).
- 20
11. Dispositif de commutation (1) d'un circuit de puissance selon la revendication précédente, comprenant un circuit d'attaque (4) pour appliquer le signal de commutation à la grille du transistor haute tension (5), le circuit d'attaque
- 25 (4) étant alimenté avec une première tension issue d'une première source de tension (VDR+) et avec une deuxième tension issue d'une deuxième source de tension (VDR-), la première et la deuxième tension étant respectivement supérieure et inférieure à la tension de seuil du transistor
- 30 haute tension (5).
12. Dispositif de commutation (1) d'un circuit de puissance selon la revendication précédente, dans lequel les première et deuxième sources de tension (VDR+, VDR-) sont
- 35 programmables.
13. Dispositif de commutation (1) d'un circuit de puissance selon l'une des deux revendications précédentes, dans lequel le circuit d'attaque (4) est configuré pour permettre une

programmation du courant entrant ( $I^+$ ), destiné à être injecté à la grille du transistor haute tension (5), et du courant sortant ( $I^-$ ), destiné à être tiré de ladite grille ; la programmation étant faite au moyen de deux modules de programmation (15a, 15'a, 15b, 15'b) connectés au circuit d'attaque (4), chacun étant respectivement connectable à une première et une seconde résistance ( $R_{on}$ ,  $R_{off}$ ).

14. Dispositif de commutation (1) d'un circuit de puissance selon la revendication précédente, comprenant un module générateur de signaux transitoires (17) connecté au circuit d'attaque (4) configuré pour contrôler l'évolution transitoire du courant de grille entrant ( $I^+$ ) et sortant ( $I^-$ ) au niveau de la grille du transistor haute tension (5).

15





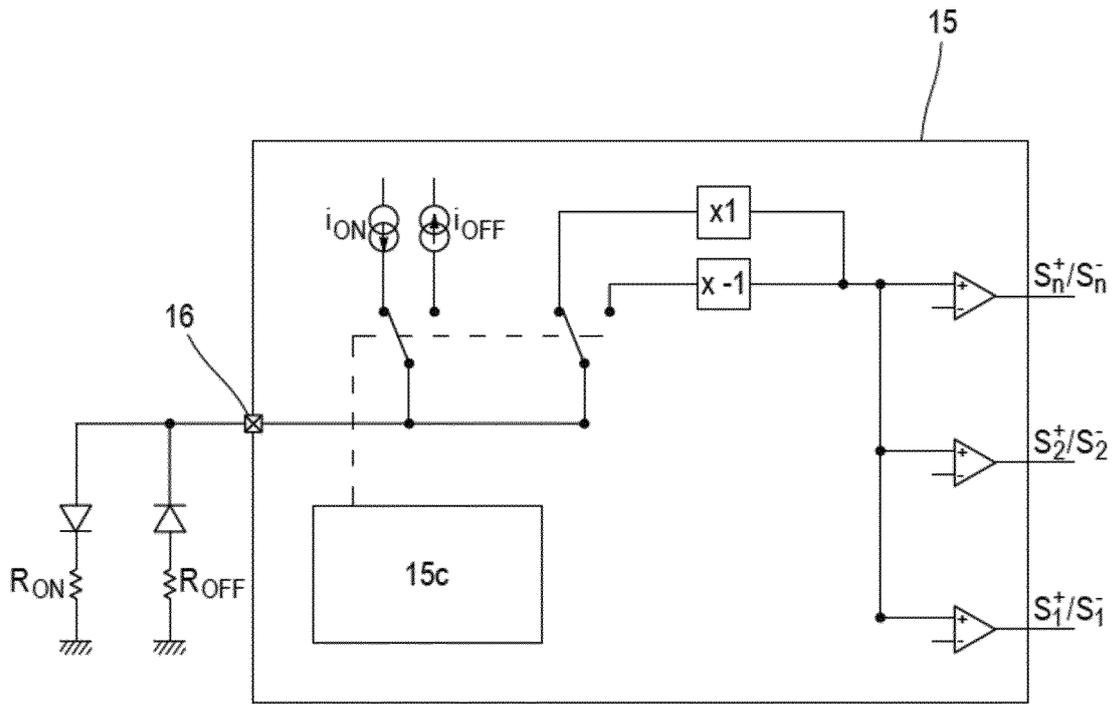


FIG.4b

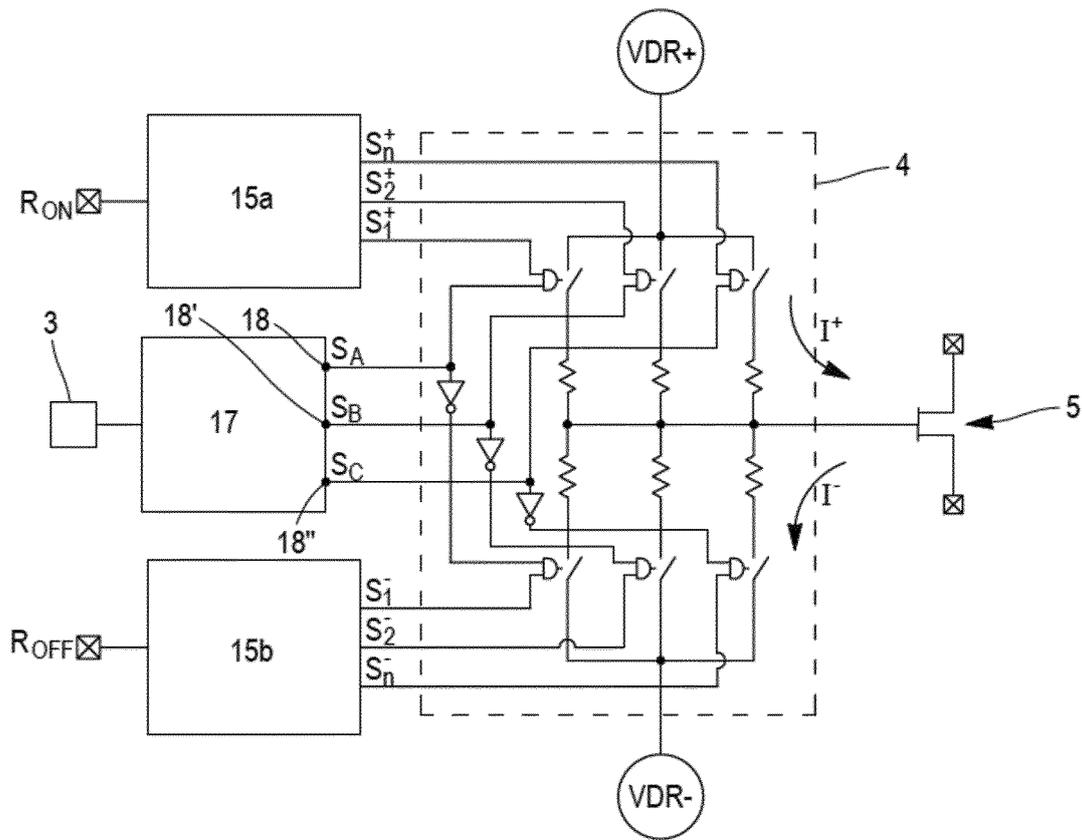


FIG.4c




**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**
N° d'enregistrement  
nationalétabli sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la rechercheFA 836841  
FR 1750867

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	DE 10 2010 027832 B3 (INFINEON TECHNOLOGIES AG [DE]) 28 juillet 2011 (2011-07-28)	1-12	H03K3/037 H03K17/06  DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)  H03K
A	* alinéa [0002] - alinéa [0043]; figures 1-4 *	13,14	
X	DE 10 2006 029928 B3 (SIEMENS AG [DE]) 6 septembre 2007 (2007-09-06)	1-12	
A	* alinéa [0002] - alinéa [0036]; figures 1,2 *	13,14	
X	US 2007/170897 A1 (WILLIAMS RICHARD K [US]) 26 juillet 2007 (2007-07-26)	1-12	
A	* alinéa [0002] - alinéa [0136]; figures 5b-11 *	13,14	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
6 octobre 2017		Kassner, Holger	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un		à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date	
autre document de la même catégorie		de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		.....	
		& : membre de la même famille, document correspondant	

1

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1750867 FA 836841**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **06-10-2017**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 102010027832 B3	28-07-2011	CN 102223144 A	19-10-2011
		DE 102010027832 B3	28-07-2011
		US 2011254018 A1	20-10-2011
-----			
DE 102006029928 B3	06-09-2007	AUCUN	
-----			
US 2007170897 A1	26-07-2007	US 2007170897 A1	26-07-2007
		US 2008191679 A1	14-08-2008
		US 2008197908 A1	21-08-2008
-----			