

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle  
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2019/229062 A1**

(43) Date de la publication internationale  
05 décembre 2019 (05.12.2019)

(51) Classification internationale des brevets :  
H03K 17/082 (2006.01) H03K 17/16 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/EP2019/063819

(22) Date de dépôt international :  
28 mai 2019 (28.05.2019)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
1854719 31 mai 2018 (31.05.2018) FR

(71) Déposant : VALEO SYSTEMES DE CONTROLE MOTEUR [FR/FR] ; Immeuble Le Delta, 14, avenue des Béguines, 95892 CERGY PONTOISE (FR).

(72) Inventeur : PLAIDEAU, Michel ; C/o VALEO SYSTEMES DE CONTROLE MOTEUR, Immeuble Le Delta, 14, avenue des Béguines, 95892 CERGY PONTOISE (FR).

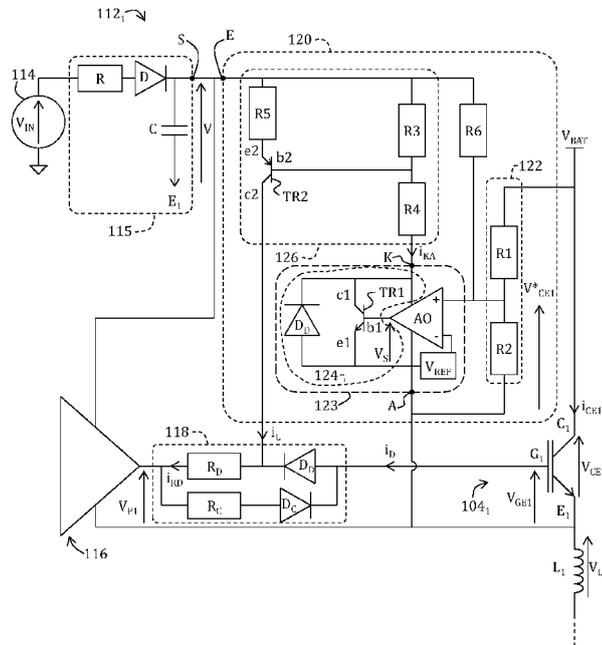
(74) Mandataire : MOZELLE, Gérard ; VALEO SYSTEMES DE CONTROLE MOTEUR, Service Propriété Intellectuelle, Immeuble Le Delta, 14, avenue des Béguines, BP 68532 Cedex 95892 CERGY PONTOISE (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC,

(54) Title: SWITCH SYSTEM COMPRISING A VOLTAGE LIMITING CIRCUIT, SWITCHING ARM AND ELECTRICAL CONVERTER

(54) Titre : SYSTÈME D'INTERRUPTEUR AVEC UN CIRCUIT DE LIMITATION DE TENSION, BRAS DE COMMUTATION ET CONVERTISSEUR ÉLECTRIQUE

Figure 2



(57) Abstract: The invention relates to a switch system comprising: a switch (104<sub>1</sub>); a discharge branch of a control terminal (G<sub>1</sub>) of the switch (104<sub>1</sub>); and a voltage limiting circuit (120) designed to inject a current (i<sub>L</sub>) into the discharge branch, between a discharge resistor (R<sub>D</sub>) and the control terminal (G<sub>1</sub>) of the switch (104<sub>1</sub>), in order to limit a switch voltage (V<sub>CE1</sub>). The voltage limiting circuit (120<sub>1</sub>) comprises: an operational amplifier (AO) arranged to compare a voltage (V\*<sub>CE1</sub>) representative of the switch voltage (V<sub>CE1</sub>) with a reference voltage (V<sub>REF</sub>), in order to supply an output voltage (V<sub>S</sub>) according to the comparison; and a current generating



WO 2019/229062 A1

SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasienn (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée:**

- avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues (règle 48.2(h))

---

circuit (124, 126) designed to generate the injected current ( $i_L$ ) according to the output voltage ( $V_s$ ) of the operational amplifier (AO).

(57) **Abstré** : Ce système d'interrupteur comporte : - un interrupteur (104<sub>1</sub>); - une branche de décharge d'une borne de commande ( $G_1$ ) de l'interrupteur (104<sub>1</sub>); et - un circuit de limitation de tension (120) conçu pour injecter un courant ( $\hat{I}_L$ ) dans la branche de décharge, entre une résistance de décharge ( $R_D$ ) et la borne de commande ( $G_1$ ) de l'interrupteur (104<sub>1</sub>), afin de limiter une tension d'interrupteur ( $V_{CE1}$ ). Le circuit de limitation de tension (120<sub>1</sub>) comporte : - un amplificateur opérationnel (AO) agencé pour comparer une tension ( $V^*_{CE1}$ ) représentative de la tension d'interrupteur ( $V_{CE1}$ ) à une tension de référence ( $V_{REF}$ ), afin de fournir une tension de sortie ( $V_s$ ) en fonction de la comparaison; - un circuit de génération de courant (124, 126) conçu pour générer le courant injecté ( $\hat{I}_L$ ) en fonction de la tension de sortie ( $V_s$ ) de l'amplificateur opérationnel (AO).

## TITRE

SYSTÈME D'INTERRUPTEUR AVEC UN CIRCUIT DE LIMITATION DE TENSION,  
BRAS DE COMMUTATION ET CONVERTISSEUR ÉLECTRIQUE

## DOMAINE TECHNIQUE

5 La présente invention concerne un système d'interrupteur avec un circuit de limitation de tension, un bras de commutation et un convertisseur électrique.

## ARRIÈRE-PLAN TECHNOLOGIQUE

Il est connu d'utiliser un système d'interrupteur du type comportant :

– un interrupteur comportant :

- 10
- une borne d'entrée de courant,
  - une borne de sortie de courant, et
  - une borne de commande,

la borne d'entrée de courant et la borne de sortie de courant étant destinées à présenter entre elles une tension d'interrupteur, et la borne  
15 de commande et la borne de sortie de courant étant destinées à présenter entre elles une tension de commande contrôlant la tension d'interrupteur,

– une branche de décharge de la borne de commande de l'interrupteur,  
20 la branche de décharge étant connectée à la borne de commande de l'interrupteur et comportant une résistance de décharge, et la branche de décharge étant destinée à être parcourue par au moins une partie d'un courant de décharge de la borne de commande afin que la tension de commande diminue,

25 – un circuit de limitation de tension conçu pour injecter un courant dans la branche de décharge, entre la résistance de décharge et la borne de commande de l'interrupteur, afin de limiter la tension d'interrupteur.

Le circuit de limitation de tension comporte généralement un composant de suppression de tension transitoire (de l'anglais « transient-voltage-suppressor » ou TVS), tel qu'une diode Zener agencée pour passer en mode inverse (mode d'avalanche) lorsque la tension d'interrupteur devient trop élevée, afin de fournir le courant injecté.

Or, les composants TVS présentent comme problème de dériver beaucoup en température et que leur résistance dynamique n'est pas correctement défini pour les courants de 100 à 300 mA, généralement utilisés dans les convertisseurs de tension pour le domaine automobile. De plus, lorsque la tension que l'on veut limiter est élevée, le choix des TVS est très réduit et la puissance induite dans ces TVS est forte.

L'invention a pour but de pallier au moins en partie les problèmes précités.

## RÉSUMÉ DE L'INVENTION

À cet effet, il est proposé un système d'interrupteur du type précité, caractérisé en ce que le circuit de limitation de tension comporte :

- un amplificateur opérationnel agencé pour comparer une tension représentative de la tension d'interrupteur à une tension de référence, afin de fournir une tension de sortie en fonction de la comparaison, et
- un circuit de génération de courant conçu pour générer le courant injecté en fonction de la tension de sortie de l'amplificateur opérationnel.

Ainsi, il n'est plus nécessaire d'utiliser un TVS.

De façon optionnelle, le circuit de génération de courant comporte : - un premier sous-circuit de génération de courant conçu pour générer un courant intermédiaire en fonction de la tension de sortie de l'amplificateur opérationnel ; et - un deuxième sous-circuit de génération de courant conçu pour générer le courant injecté en fonction du courant intermédiaire.

De façon optionnelle également, le premier sous-circuit comporte un premier transistor présentant une borne d'arrivée de courant, la borne d'arrivée

de courant du premier transistor et une borne d'alimentation de l'amplificateur opérationnel sont connectées à une borne commune, et le premier transistor est commandé par la tension de sortie de l'amplificateur opérationnel de manière à générer le courant intermédiaire au travers de la borne commune.

5 De façon optionnelle également, le deuxième sous-circuit comporte un deuxième transistor qui présente une borne d'entrée de courant (e2), une borne de sortie de courant (c2) et une borne de commande (b2) et qui est destiné à fournir le courant injecté ( $i_L$ ) par sa borne de sortie de courant (c2).

De façon optionnelle également, le deuxième sous-circuit comporte :

- 10 – des première et deuxième résistances connectées l'une à l'autre en un point milieu auquel la borne de commande du deuxième transistor est connectée, et
- une troisième résistance connectée entre la borne d'entrée de courant du deuxième transistor et la première résistance.

15 De façon optionnelle également, le circuit de génération de courant comporte en outre une résistance connectée entre la branche de décharge et une borne de sortie de l'amplificateur opérationnel.

De façon optionnelle également, le circuit de génération de courant comporte en outre une diode connectée entre la branche de décharge et la borne  
20 de sortie de l'amplificateur opérationnel pour empêcher du courant d'entrer dans l'amplificateur opérationnel par sa borne de sortie.

De façon optionnelle également, le circuit de limitation de tension comporte en outre un circuit diviseur de tension conçu pour diviser la tension d'interrupteur afin de fournir la tension représentative de la tension  
25 d'interrupteur.

De façon optionnelle également, le système d'interrupteur comporte en outre une branche de charge de la borne de commande, différente de la branche de décharge, dans lequel la branche de charge est connectée à la borne de commande de l'interrupteur, dans lequel la branche de charge comporte une  
30 résistance de charge et une diode de charge passante en direction de la borne de commande de l'interrupteur, dans lequel la branche de charge est destinée à être

parcourue par un courant destiné à traverser la résistance de charge et la diode de charge, formant au moins une partie d'un courant de charge de la borne de commande afin que la tension de commande augmente, et dans lequel la branche de décharge comporte en outre une diode de décharge bloquante en direction de la borne de commande de l'interrupteur, la au moins une partie du courant de décharge étant destinée à traverser la résistance de décharge et la diode de décharge.

De façon optionnelle également, le système d'interrupteur comporte en outre une alimentation électrique du circuit de limitation de tension, l'alimentation électrique comportant une source de tension continue, une résistance connectée entre la source de tension continue et une borne d'entrée du circuit de limitation de tension et une capacité connectée entre la borne d'entrée du circuit de limitation de tension et la borne de sortie de courant de l'interrupteur.

De façon optionnelle également, le système d'interrupteur comporte en outre une diode connectée entre la résistance et la borne d'entrée du circuit de limitation de tension passante en direction de la borne d'entrée du circuit de limitation de tension.

De façon optionnelle également, le circuit de limitation de tension comporte en outre un dispositif conçu pour fixer, en l'absence de tension d'interrupteur, la tension représentative de la tension d'interrupteur à une tension par défaut inférieure à la tension de référence.

Il est également proposé un bras de commutation comportant deux systèmes d'interrupteurs comportant respectivement deux interrupteurs connectés l'un à l'autre en un point milieu, et dans lequel au moins un des systèmes d'interrupteurs, de préférence les deux, est conforme à l'invention.

Il est également proposé un convertisseur électrique comportant au moins deux bras de commutation selon l'invention.

DESCRIPTION DES FIGURES

La figure 1 est un schéma électrique d'un convertisseur électrique mettant en œuvre l'invention.

La figure 2 est un schéma électrique d'un circuit de commande d'interrupteur du convertisseur électrique de la figure 1, selon un premier mode  
5 de réalisation de l'invention.

La figure 3 est un schéma électrique d'un circuit de commande d'interrupteur du convertisseur électrique de la figure 1, selon un deuxième mode de réalisation de l'invention.

La figure 4 est un schéma électrique d'un circuit de commande  
10 d'interrupteur selon l'état de la technique.

#### DESCRIPTION DÉTAILLÉE

Dans la description qui va suivre, une grandeur électrique nulle est par exemple une grandeur électrique négligeable devant les autres grandeurs électriques de même nature. Une grandeur électrique très grande est par exemple  
15 une grandeur électrique au moins 100 fois, de préférence au moins 1 000 fois, plus grande que les autres grandeurs électriques de même nature.

En référence à la figure 1, un convertisseur électrique 100 mettant en œuvre l'invention va à présent être décrit. Le convertisseur électrique 100 est par exemple utilisé dans un véhicule automobile. Le convertisseur électrique 100 est  
20 par exemple un onduleur ou un redresseur, ou même un convertisseur continu/continu.

Le convertisseur électrique 100 comporte plusieurs bras de commutation. Dans l'exemple décrit, le convertisseur électrique 100 comporte deux bras de commutation, désignés respectivement par les références  $102_1$  et  $102_2$ . Dans la  
25 suite de la description, l'indice « 1 » sera utilisé pour les éléments se rapportant au premier bras de commutation  $102_1$ , tandis que l'indice « 2 » sera utilisé pour les éléments se rapportant au deuxième bras de commutation  $102_2$ .

Chaque bras de commutation  $102_1$ ,  $102_2$  comporte un interrupteur de côté haut  $104_1$ ,  $104_2$  et un interrupteur de côté bas  $104_1'$ ,  $104_2'$ . Dans la suite de la

description, le signe prime « ' » désignera les éléments se rapportant au côté bas et l'absence de signe prime « ' » désignera les éléments se rapportant au côté haut.

Chaque interrupteur  $104_1, 104_1', 104_2, 104_2'$  présente une borne d'entrée de courant  $C_1, C_1', C_2, C_2'$ , une borne de sortie de courant  $E_1, E_1', E_2, E_2'$  et une borne  
5 de commande  $G_1, G_1', G_2, G_2'$ .

Dans l'exemple décrit, les interrupteurs  $104_1, 104_1', 104_2, 104_2'$  sont des transistors bipolaires à grille isolée ou IGBT (de l'anglais « Insulated Gate Bipolar Transistor ») présentant un collecteur, un émetteur et une grille formant respectivement la borne d'entrée de courant, la borne de sortie de courant et la  
10 borne de commande. Par soucis de clarté, les termes « collecteur », « émetteur » et « grille » seront utilisés dans la suite de la description.

Alternativement, les interrupteurs  $104_1, 104_1', 104_2, 104_2'$  pourraient être des transistors à effet de champ à grille isolée ou MOSFET (de l'anglais « Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor ») présentant un drain, une source  
15 et une grille, formant respectivement la borne d'entrée de courant, la borne de sortie de courant et la borne de commande.

Pour chaque interrupteur  $104_1, 104_1', 104_2, 104_2'$ , le collecteur  $C_1, C_1', C_2, C_2'$  et l'émetteur  $E_1, E_1', E_2, E_2'$  présentent entre eux une tension collecteur-émetteur  $V_{CE1}, V_{CE1'}, V_{CE2}, V_{CE2}'$  (appelée par la suite tension d'interrupteur). En  
20 outre, un courant collecteur-émetteur  $i_{CE1}, i_{CE1'}, i_{CE2}, i_{CE2}'$  (appelé par la suite courant d'interrupteur) s'écoule entre eux. La grille  $G_1, G_1', G_2, G_2'$  et l'émetteur  $E_1, E_1', E_2, E_2'$  présentent entre eux une tension grille-émetteur  $V_{GE1}, V_{GE1'}, V_{GE2}, V_{GE2}'$  (appelée par la suite tension de commande) définissant l'état, ouvert ou fermé, de l'interrupteur  $104_1, 104_1', 104_2, 104_2'$  de manière à contrôler la tension  
25 d'interrupteur  $V_{CE1}, V_{CE1'}, V_{CE2}, V_{CE2}'$ .

Plus précisément, l'interrupteur  $104_1, 104_1', 104_2, 104_2'$  est conçu pour prendre l'état ouvert lorsque la tension de commande  $V_{GE1}, V_{GE1'}, V_{GE2}, V_{GE2}'$  est à une valeur d'ouverture de l'interrupteur  $104_1, 104_1', 104_2, 104_2'$ . Dans l'exemple décrit, la valeur d'ouverture est une valeur basse, par exemple nulle. Dans l'état  
30 ouvert, le courant d'interrupteur  $i_{CE1}, i_{CE1'}, i_{CE2}, i_{CE2}'$  est nul et la tension d'interrupteur  $V_{CE1}, V_{CE1'}, V_{CE2}, V_{CE2}'$  est non-nulle.

En outre, l'interrupteur 104<sub>1</sub>, 104<sub>1</sub>', 104<sub>2</sub>, 104<sub>2</sub>' est conçu pour prendre l'état fermé lorsque la tension de commande V<sub>GE1</sub>, V<sub>GE1</sub>', V<sub>GE2</sub>, V<sub>GE2</sub>' est à une valeur de fermeture de l'interrupteur 104<sub>1</sub>, 104<sub>1</sub>', 104<sub>2</sub>, 104<sub>2</sub>'. Dans l'exemple décrit, la valeur de fermeture est une valeur haute, par exemple 10V ou plus. Dans l'état  
5 fermé, le courant d'interrupteur i<sub>CE1</sub>, i<sub>CE1</sub>', i<sub>CE2</sub>, i<sub>CE2</sub>' est non-nul et la tension d'interrupteur V<sub>CE1</sub>, V<sub>CE1</sub>', V<sub>CE2</sub>, V<sub>CE2</sub>' est nulle.

Pour chaque bras de commutation 102<sub>1</sub>, 102<sub>2</sub>, l'émetteur E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> de l'interrupteur de côté haut 104<sub>1</sub>, 104<sub>2</sub> et le collecteur C<sub>1</sub>', C<sub>2</sub>' de l'interrupteur de côté bas 104<sub>1</sub>', 104<sub>2</sub>' sont connectés l'un à l'autre en un point milieu P1, P2 destiné  
10 à être connecté à une bobine (symbolisée par des traits pointillés) d'une machine électrique telle qu'un moteur électrique.

Les bras de commutation 102<sub>1</sub>, 102<sub>2</sub> sont connectés à une première source de tension continue 108, telle qu'une batterie ou un condensateur chargé, fournissant une tension V<sub>BAT</sub>. Plus précisément, pour chaque bras de  
15 commutation 102<sub>1</sub>, 102<sub>2</sub>, le collecteur C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> de l'interrupteur de côté haut 104<sub>1</sub>, 104<sub>2</sub> est connecté à une borne positive de la source de tension 108, tandis que l'émetteur E<sub>1</sub>', E<sub>2</sub>' de l'interrupteur de côté bas 104<sub>1</sub>', 104<sub>2</sub>' est connecté à une borne négative de la source de tension 108 (la borne négative étant généralement connectée à un châssis du véhicule).

Le convertisseur électrique 100 comporte en outre, pour chaque  
20 interrupteur 104<sub>1</sub>, 104<sub>1</sub>', 104<sub>2</sub>, 104<sub>2</sub>', un circuit de commande 112<sub>1</sub>, 112<sub>1</sub>', 112<sub>2</sub>, 112<sub>2</sub>' respectif de cet interrupteur 104<sub>1</sub>, 104<sub>1</sub>', 104<sub>2</sub>, 104<sub>2</sub>', les deux formant ensemble un système d'interrupteur.

Le convertisseur électrique 100 comporte en outre une deuxième source  
25 de tension continue 114 conçue pour fournir une tension continue V<sub>IN</sub> entre une borne positive et une borne négative, afin d'alimenter électriquement les circuits de commande 112<sub>1</sub>, 112<sub>1</sub>', 112<sub>2</sub>, 112<sub>2</sub>'. La borne négative de la source de tension 114 sera prise par la suite comme masse électrique, de sorte que, sauf indication contraire, lorsqu'une tension sera mentionnée, elle sera considérée par rapport à  
30 la borne négative de la source de tension 114. La tension continue V<sub>IN</sub> est généralement inférieure à la tension V<sub>BAT</sub>.

En référence à la figure 2, le circuit de commande 112<sub>1</sub> selon un premier mode de réalisation de l'invention va à présent être décrit plus en détail, sachant que les autres circuits de commande 112<sub>1</sub>', 112<sub>2</sub>, 112<sub>2</sub>' sont identiques.

Le circuit de commande 112<sub>1</sub> comporte tout d'abord un étage  
5 d'alimentation 115 connecté à la source de tension 114 pour fournir une tension d'alimentation V (prise par rapport à l'émetteur E<sub>1</sub> de l'interrupteur 104<sub>1</sub>) à partir de la tension continue V<sub>IN</sub>.

L'étage d'alimentation 115 comporte une résistance R connectée entre la source de tension continue 114 et une borne de sortie S de l'étage d'alimentation  
10 115 et une capacité C connectée entre la borne de sortie S et l'émetteur E<sub>1</sub> de l'interrupteur 104<sub>1</sub>. La tension d'alimentation V est donc la tension aux bornes de la capacité C.

L'étage d'alimentation 115 comporte en outre une diode D connectée entre la résistance R et la borne de sortie S de l'étage d'alimentation 115, et  
15 agencée de manière passante en direction de la borne de sortie S.

Cette diode D n'est présente que dans les étages d'alimentation 115 des circuits de commande de côté haut 112<sub>1</sub>, 112<sub>2</sub>. Ainsi, les étages d'alimentation 115 des circuits de commande de côté bas 112<sub>1</sub>', 112<sub>2</sub>' ne comportent que la résistance R et la capacité C.

Le circuit de commande 112<sub>1</sub> comporte en outre un pilote 116 conçu pour  
20 fournir, sur une borne de sortie du pilote 116, une tension de pilotage V<sub>P1</sub> par rapport à l'émetteur E<sub>1</sub>, cette tension de pilotage V<sub>P1</sub> prenant sélectivement la valeur d'ouverture et la valeur de fermeture de l'interrupteur 104<sub>1</sub>. Le pilote 116 est connecté aux bornes de la source de tension 114 pour son alimentation  
25 électrique, par exemple par l'intermédiaire de l'étage d'alimentation 115.

Le circuit de commande 112<sub>1</sub> comporte en outre une interface 118 connectée, d'un côté, au pilote 116 pour recevoir la tension de pilotage V<sub>P1</sub> et, d'un autre côté, à la grille G<sub>1</sub> de l'interrupteur 104<sub>1</sub> (l'émetteur E<sub>1</sub> de l'interrupteur 104<sub>1</sub> est par ailleurs connecté au pilote 116). L'interface 118 est destinée à définir  
30 la vitesse à laquelle la tension de commande V<sub>GE1</sub> rejoint la tension de pilotage V<sub>P1</sub>, et donc la vitesse de commutation de l'interrupteur 104<sub>1</sub>.

Dans l'exemple décrit, l'interface 118 comporte deux branches connectées chacune entre la borne de sortie du pilote 116 et la grille  $G_1$  de l'interrupteur 104<sub>1</sub>. La première branche, dite de décharge, comporte une résistance  $R_D$  et une diode  $D_D$  passante en direction de la borne de sortie du pilote 116. La deuxième  
5 branche, dite de charge, comporte une résistance  $R_C$  et une diode  $D_C$  passante en direction de la grille  $G_1$  de l'interrupteur 104<sub>1</sub>.

Lorsque la tension de pilotage  $V_{P1}$  est à la valeur d'ouverture (0 V), la grille  $G_1$  est destinée à se décharger par rapport à l'émetteur  $E_1$ . Un courant de décharge  $i_D$  sort alors de la grille  $G_1$  pour que la tension de commande  $V_{GE1}$  rejoigne la  
10 valeur d'ouverture. Au moins une partie de ce courant de décharge  $i_D$  passe au travers de la branche de décharge de l'interface 118<sub>1</sub>, de sorte que la vitesse de décharge est au moins en partie définie par la résistance  $R_D$ . Dans l'exemple décrit où la grille  $G_1$  n'est connectée qu'à l'interface 118<sub>1</sub>, c'est tout le courant de  
15 décharge  $i_D$  qui traverse la branche de décharge. Néanmoins, dans d'autres modes de réalisation où la grille  $G_1$  est en outre connectée à un ou plusieurs dispositifs auxiliaires, par exemple un dispositif de protection, seulement une partie du courant de décharge  $i_D$  passerait par la branche de décharge, le reste passant dans  
le ou les dispositifs auxiliaires.

Lorsque la tension de pilotage  $V_{P1}$  est à la valeur de fermeture, la grille  $G_1$   
20 est destinée à se charger pour que la tension de commande  $V_{GE1}$  rejoigne la valeur de fermeture. Elle reçoit alors un courant de charge (de sens inverse au courant de décharge  $i_D$  représenté sur la figure 2) dont au moins une partie provient de la branche de charge de l'interface 118. Ainsi, la vitesse de charge est au moins en  
partie définie par la résistance  $R_C$ . Dans l'exemple décrit où la grille  $G_1$  n'est  
25 connectée qu'à l'interface 118<sub>1</sub>, tout le courant de charge provient de la branche de charge.

Il existe des inductances parasites au niveau du collecteur  $C_1$  et de l'émetteur  $E_1$  de l'interrupteur 104<sub>1</sub> provenant des connexions de ces bornes. L'inductance parasite de l'émetteur  $E_1$  est représentée sur la figure 2 et notée  $L_1$ .  
30 L'inductance parasite  $L_1$  est destinée à être traversée par le courant d'interrupteur  $i_{CE1}$ . Lors de l'ouverture de l'interrupteur 104<sub>1</sub>, le courant

d'interrupteur  $i_{CE1}$  diminue et provoque l'apparition d'une tension d'inductance  $V_{L1}$  négative, ce qui provoque l'apparition d'une surtension de la tension d'interrupteur  $V_{CE1}$ . Or, cette surtension peut détériorer l'interrupteur 104<sub>1</sub>.

Pour limiter cette surtension, le circuit de commande 112<sub>1</sub> comporte en  
5 outre un circuit de limitation de tension 120 conçu pour injecter un courant  $i_L$  dans la branche de décharge, entre la résistance de décharge  $R_D$  et la borne de commande  $G_1$  de l'interrupteur 104<sub>1</sub>, afin de limiter la tension d'interrupteur  $V_{CE1}$ .

Le circuit de limitation de tension 120 comporte tout d'abord un circuit  
10 diviseur de tension 122 conçu pour multiplier la tension d'interrupteur  $V_{CE1}$  d'un facteur  $F$  inférieur à un, afin de fournir une tension  $V^*_{CE1}$ . La tension  $V^*_{CE1}$  est ainsi représentative de la tension d'interrupteur  $V_{CE1}$ . Dans l'exemple décrit, le circuit diviseur de tension 122 comporte des première et deuxième résistances  $R_1$ ,  $R_2$  connectées l'une à l'autre en un point milieu. La première résistance  $R_1$  est en  
15 outre connectée au collecteur  $C_1$  et la deuxième résistance est en outre connectée à l'émetteur  $E_1$ . La tension du point milieu forme la tension  $V^*_{CE1}$ .

Le circuit de limitation de tension 120 comporte en outre un composant TL43xx formant un amplificateur opérationnel AO, un générateur de tension de référence  $V_{REF}$  et un premier sous-circuit de génération de courant 124.

20 Le composant TL43xx est préférentiellement un composant TL431 123.

Le composant TL431 123 présente une cathode K et une anode A connectée à l'émetteur  $E_1$  de l'interrupteur 104<sub>1</sub>.

L'amplificateur opérationnel AO est agencé pour comparer la tension  $V^*_{CE1}$  à la tension de référence  $V_{REF}$ , afin de fournir une tension de sortie  $V_S$  en fonction  
25 de la comparaison. Pour cela, une borne positive « + » de l'amplificateur opérationnel AO est connectée entre les résistances  $R_1$  et  $R_2$ . En outre, une borne négative « - » de l'amplificateur opérationnel AO est connectée au générateur de tension de référence  $V_{REF}$ , ce dernier étant ainsi connecté entre la borne négative « - » de l'amplificateur opérationnel AO et l'anode A. La tension de sortie  $V_S$  est  
30 négative lorsque la tension  $V^*_{CE1}$  est inférieure à la tension de référence  $V_{REF}$ , nulle lorsque la tension  $V^*_{CE1}$  est égale à la tension de référence  $V_{REF}$  et positive

lorsque la tension  $V_{CE1}^*$  est supérieure à la tension de référence  $V_{REF}$ . Plus précisément, la tension de sortie  $V_S$  est d'autant plus élevée que la tension  $V_{CE1}^*$  est supérieure à la tension de référence  $V_{REF}$ , jusqu'à un plafond (saturation de l'amplificateur opérationnel AO).

5 Le sous-circuit 124 est conçu pour générer un courant intermédiaire  $i_{KA}$  à partir de la tension de sortie  $V_S$  de l'amplificateur opérationnel AO, lorsque la tension  $V_{CE1}^*$  est supérieure à la tension de référence  $V_{REF}$ . Plus précisément, le courant intermédiaire  $i_{KA}$  est nul lorsque la tension de sortie  $V_S$  est négative ou nulle et positif lorsque la tension de sortie  $V_S$  est positive. En outre, le courant  
10 intermédiaire  $i_{KA}$  est d'autant plus grand que la tension de sortie  $V_S$  est grande.

Plus précisément, le sous-circuit 124 comporte un premier transistor TR1 présentant une borne d'entrée de courant  $c1$ , une borne de sortie de courant  $e1$  et une borne de commande  $b1$ . Dans l'exemple décrit, le transistor TR1 est un transistor bipolaire. La borne d'entrée de courant  $c1$  et une borne d'alimentation  
15 de l'amplificateur opérationnel AO sont connectées à la cathode K du composant TL431. Le sous-circuit 124 comporte en outre une diode  $D_D$  connectée entre la cathode K et l'anode A. Elle est passante en direction de la cathode K.

Ainsi, le transistor TR1 est commandé par la tension de sortie  $V_S$  de l'amplificateur opérationnel AO, de manière à générer le courant intermédiaire  
20  $i_{KA}$  au travers de la cathode K.

Le circuit de limitation de tension 120 comporte en outre un deuxième sous-circuit de génération de courant 126 conçu pour générer le courant injecté  $i_L$  à partir du courant intermédiaire  $i_{KA}$ .

Dans l'exemple décrit, le sous-circuit 126 comporte un deuxième  
25 transistor TR2 en montage de générateur de courant.

Plus précisément, le transistor TR2 présente une borne d'entrée de courant  $e2$ , une borne de sortie de courant  $c2$  connectée à la branche de décharge de l'interface 118 et une borne de commande  $b2$ . Dans l'exemple décrit, le transistor TR2 est un transistor bipolaire. En outre, le sous-circuit 126 comporte  
30 des première et deuxième résistances R3, R4 connectées l'une à l'autre en un point milieu auquel la borne de commande  $b2$  du transistor TR2 est connectée.

La résistance R3 est en outre connectée à une borne d'entrée E du circuit de limitation de tension 120 et la résistance R4 est connectée à la cathode K du composant TL431. Le sous-circuit 126 comporte en outre une troisième résistance R5 connectée entre la borne d'entrée de courant e2 du transistor TR2 et la borne d'entrée E. Ainsi, les résistances R3, R5 sont connectées l'une à l'autre. Le transistor TR2 est ainsi destiné à fournir le courant  $i_L$  par sa borne de sortie de courant c2. Le courant injecté  $i_L$  est d'autant plus grand que le courant intermédiaire  $i_{KA}$  est grand.

Les deux sous-circuits 124, 126 forment ainsi un circuit de génération de courant conçu pour générer le courant injecté  $i_L$  à partir de la tension de sortie  $V_S$  de l'amplificateur opérationnel AO.

Par ailleurs, la borne d'entrée E est connectée à la borne de sortie S de l'étage d'alimentation 115 de manière à permettre l'alimentation électrique du circuit de limitation de tension 120.

De préférence, le circuit de limitation de tension 120 comporte en outre un dispositif conçu pour appliquer à la borne positive de l'amplificateur opérationnel AO, en l'absence de tension  $V_{CE1}$ , une tension par défaut légèrement inférieure à la tension de référence  $V_{REF}$  (par exemple, au moins 90% de la tension  $V_{REF}$ ). Ainsi, l'amplificateur opérationnel AO est par défaut proche de son point de basculement (tension de sa borne positive égale à la tension  $V_{REF}$ ) ce qui lui permet de commuter plus vite. Dans l'exemple décrit, ce dispositif comporte une résistance R6 connectée entre le point d'entrée E du circuit de limitation de tension 120 et la borne positive de l'amplificateur opérationnel AO. Ainsi, la tension  $V^*_{CE1}$  est donnée par l'équation :

$$V^*_{CE1} = \frac{\frac{V_{CE1}}{R1} + \frac{V}{R6}}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R6}}$$

de sorte que lorsque la tension  $V_{CE1}$  est nulle, ce dispositif fixe la tension  $V^*_{CE1}$  (reçue par la borne positive de l'amplificateur opérationnel AO) à :

$$\frac{V}{\frac{R6}{R1} + \frac{R6}{R2} + 1}$$

Le fonctionnement du dispositif de commande 112<sub>1</sub> va à présent être décrit.

Initialement, l'interrupteur 104<sub>1</sub> est à l'état fermé. La tension de pilotage  $V_{P1}$  et la tension de commande  $V_{GE1}$  sont à la valeur de fermeture de l'interrupteur 104<sub>1</sub> (10 V). La tension d'interrupteur  $V_{CE1}$  est nulle et le courant d'interrupteur  $i_{CE1}$  est constant (non-nul) et se dirige vers le point milieu P<sub>1</sub>. Ainsi, la tension d'inductance  $V_{L1}$  est nulle.

À un instant ultérieur, la tension de pilotage  $V_{P1}$  passe à la valeur d'ouverture (0 V) et un courant de décharge  $i_D$  non nul s'écoule depuis la grille G<sub>1</sub> jusqu'au pilote 116, au travers de la résistance de décharge R<sub>D</sub>.

À un instant ultérieur, la tension d'interrupteur  $V_{CE1}$  commence à augmenter, puis le courant d'interrupteur  $i_{CE1}$  commence à diminuer. À cet instant, la tension d'inductance  $V_{L1}$  devient de plus en plus négative, entraînant une surtension de la tension collecteur-émetteur  $V_{CE1}$ .

La tension aux bornes de la résistance R<sub>2</sub> atteint alors la tension de référence  $V_{REF}$  du composant TL431 123, de sorte que ce dernier tire un courant  $I_{KA}$  qui va activer le transistor TR<sub>2</sub> en montage de générateur de courant de façon à créer le courant  $i_L$ .

Le courant  $i_L$  s'ajoute au courant de décharge  $i_D$  pour former un courant  $i_{RD}$  traversant la résistance de décharge R<sub>D</sub>. Or, comme la tension de commande  $V_{GE1}$  se retrouve aux bornes de la résistance de décharge R<sub>D</sub>, le courant  $i_{RD}$  est fixé par cette tension de commande  $V_{GE1}$ . Ainsi, l'apparition du courant  $i_L$  diminue d'autant le courant de décharge  $i_D$ , jusqu'à ce que la diode D<sub>D</sub> devienne bloquée ce qui entraîne un courant de décharge  $i_D$  nul. La tension  $V_{GE1}$  devient constante, de même que le courant d'interrupteur  $i_{CE1}$ . L'interrupteur 104<sub>1</sub> est alors en mode linéaire. La surtension est ainsi limitée.

Lorsque l'interrupteur 104<sub>1</sub> doit être fermé, le pilote 116 place la tension de pilotage  $V_{P1}$  à la valeur de fermeture de l'interrupteur 104<sub>1</sub>. C'est la capacité C qui fournit l'énergie au pilote 116 pour charger la grille G<sub>1</sub> de l'interrupteur 104<sub>1</sub>.

En outre, lors de la fermeture de l'interrupteur 104<sub>1</sub>, la diode D empêche la capacité C de se décharger. Toujours lors de la fermeture de l'interrupteur

104<sub>1</sub>, la résistance R empêche au moins en partie l'apparition d'un pic de courant en sortie de la source de tension continue 114 (et donc dans la diode D du côté haut) résultant de l'application brutale d'une tension à la capacité C.

Le circuit de limitation de tension 120 présente comme avantage de  
5 présenter une dérive en température faible, en tout cas plus faible que celle d'un TVS.

En outre, lors de la limitation de surtension, la puissance dissipée par le circuit de limitation de tension 120 correspond principalement à la puissance dissipée dans la résistance R1, qui est égale au carré de la tension aux  
10 bornes de la résistance R1 divisé par la résistance R1. Ainsi, en prenant une résistance R1 élevée, par exemple de 100 kΩ, cette puissance peut être minimisée, jusqu'à par exemple quelques watts. Par exemple, si on souhaite limiter la tension  $V_{CE1}$  à 450 V et si  $V_{REF}$  vaut 2,5 V, lorsque le courant de décharge  $i_D$  est nul, la tension  $V^*_{CE1}$  est égale à la tension  $V_{REF}$  et la tension  $V_{CE1}$  est égale à  
15 la somme de la tension aux bornes de la résistance R1 et de la tension  $V^*_{CE1}$ . Ainsi, la tension aux bornes de la résistance R1 est égale à 450 V – 2,5 V soit 447,5 V et la puissance dissipée dans la résistance R1 vaut  $(447,5 \text{ V})^2/100 \text{ k}\Omega$  soit 2 watts.

En référence à la figure 3, un circuit de commande 112<sub>1</sub> selon un deuxième mode de réalisation de l'invention va à présent être décrit plus en détail, sachant  
20 que les autres circuits de commande 112<sub>1</sub>', 112<sub>2</sub>, 112<sub>2</sub>' sont identiques.

Les éléments identiques au mode de réalisation de la figure 2 gardent les mêmes références et ne sont pas décrits à nouveau.

Dans ce mode de réalisation, le circuit de limitation de tension 120 comporte, en plus de l'amplificateur opérationnel AO et du générateur de tension  
25 de référence  $V_{REF}$ , une résistance  $R_L$  et une diode  $D_L$  en série connectées entre la borne de sortie de l'amplificateur opérationnel AO et la branche de décharge de l'interface 118.

La diode  $D_L$  empêche l'entrée de courant dans l'amplificateur opérationnel AO par sa borne de sortie, lorsque la tension  $V^*_{CE1}$  est inférieure à la tension de  
30 référence  $V_{REF}$ .

En référence à la figure 4, un circuit de limitation de tension 120 selon l'état de la technique discuté en introduction est illustré. Il comporte en particulier un TVS sous la forme d'une diode Zener 402. Il sera apprécié que, lors de la limitation de surtension, la puissance dissipée par le TVS est égale au produit du courant injecté  $i_L$  par la tension aux bornes du TVS. Or, lorsqu'on souhaite limiter la tension à une tension haute (par exemple 450 volts), cette puissance dissipée peut atteindre plusieurs centaines de watts. Par exemple, si la tension  $V_{CE1}$  vaut 6 V et que la résistance de décharge  $R_D$  vaut 30  $\Omega$ , lorsque le courant de décharge  $i_D$  est nul, le courant injecté  $i_L$  vaut 6 V / 30  $\Omega$  soit 500 mA et la puissance dissipée dans le TVS vaut 500 mA x 450 V soit 225 W. La puissance dissipée dans le TVS est donc bien plus élevée que la puissance dissipée dans le circuit de limitation de tension 120 des figures 2 et 3 (qui vaut quelques watts comme expliqué plus haut).

La présente invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits précédemment. Il sera en effet apparent à l'homme du métier que des modifications peuvent y être apportées.

Par ailleurs, les termes utilisés ne doivent pas être compris comme limités aux éléments des modes de réalisation décrits précédemment, mais doivent au contraire être compris comme couvrant tous les éléments équivalents que l'homme du métier peut déduire à partir de ses connaissances générales.

## REVENDICATIONS

1. Système d'interrupteur comportant :
- un interrupteur (104<sub>1</sub>) comportant :
    - une borne d'entrée de courant (C<sub>1</sub>),
    - 5       • une borne de sortie de courant (E<sub>1</sub>), et
    - une borne de commande (G<sub>1</sub>),la borne d'entrée de courant (C<sub>1</sub>) et la borne de sortie de courant (E<sub>1</sub>) étant destinées à présenter entre elles une tension d'interrupteur (V<sub>CE1</sub>), et la borne de commande (G<sub>1</sub>) et la borne de sortie de courant (E<sub>1</sub>) étant destinées à présenter entre elles une tension de commande (V<sub>GE1</sub>) contrôlant la tension d'interrupteur (V<sub>CE1</sub>),
  - 10       – une branche de décharge de la borne de commande (G<sub>1</sub>) de l'interrupteur (104<sub>1</sub>), la branche de décharge étant connectée à la borne de commande (G<sub>1</sub>) de l'interrupteur (104<sub>1</sub>) et comportant une
  - 15       résistance de décharge (R<sub>D</sub>), et la branche de décharge étant destinée à être parcourue par au moins une partie d'un courant (i<sub>D</sub>) de décharge de la borne de commande (G<sub>1</sub>) afin que la tension de commande (V<sub>GE1</sub>) diminue,
  - un circuit de limitation de tension (120) conçu pour injecter un courant
  - 20       (i<sub>L</sub>) dans la branche de décharge, entre la résistance de décharge (R<sub>D</sub>) et la borne de commande (G<sub>1</sub>) de l'interrupteur (104<sub>1</sub>), afin de limiter la tension d'interrupteur (V<sub>CE1</sub>),
- caractérisé en ce que le circuit de limitation de tension (120) comporte :
- un amplificateur opérationnel (AO) agencé pour comparer une tension
  - 25       (V\*<sub>CE1</sub>) représentative de la tension d'interrupteur (V<sub>CE1</sub>) à une tension de référence (V<sub>REF</sub>), afin de fournir une tension de sortie (V<sub>S</sub>) en fonction de la comparaison, et

– un circuit de génération de courant (124, 126 ; 302) conçu pour générer le courant injecté ( $i_L$ ) en fonction de la tension de sortie ( $V_S$ ) de l'amplificateur opérationnel (AO), ledit circuit génération de courant comportant :

- 5
- un premier sous-circuit de génération de courant (124) conçu pour générer un courant intermédiaire ( $i_{KA}$ ) en fonction de la tension de sortie ( $V_S$ ) de l'amplificateur opérationnel (OA), et
  - un deuxième sous-circuit de génération de courant (126) conçu pour générer le courant injecté ( $i_L$ ) en fonction du courant intermédiaire ( $i_{KA}$ ).

10

2. Système d'interrupteur selon la revendication 1, dans lequel le premier sous-circuit (124) comporte un premier transistor (TR1) présentant une borne d'arrivée de courant (c1), dans lequel la borne d'arrivée de courant (c1) du premier transistor (TR1) et une borne d'alimentation de l'amplificateur opérationnel (AO) sont connectées à une borne commune (K), et dans lequel le premier transistor (TR1) est commandé par la tension de sortie ( $V_S$ ) de l'amplificateur opérationnel (AO) de manière à générer le courant intermédiaire ( $i_{KA}$ ) au travers de la borne commune (K).

3. Système d'interrupteur selon la revendication 1 ou 2, dans lequel le deuxième sous-circuit (126) comporte un deuxième transistor (TR2) qui présente une borne d'entrée de courant (e2), une borne de sortie de courant (c2) et une borne de commande (b2) et qui est destiné à fournir le courant injecté ( $i_L$ ) par sa borne de sortie de courant (c2).

4. Système d'interrupteur selon la revendication 3, dans lequel le deuxième sous-circuit (126) comporte :

- 25
- des première et deuxième résistances (R3, R4) connectées l'une à l'autre en un point milieu auquel la borne de commande (b2) du deuxième transistor (TR2) est connectée, et

- une troisième résistance (R5) connectée entre la borne d'entrée de courant (e2) du deuxième transistor (TR2) et la première résistance (R3).

5. Système d'interrupteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le circuit de limitation de tension (120) comporte en outre un circuit diviseur de tension (122) conçu pour diviser la tension d'interrupteur ( $V_{CE1}$ ) afin de fournir la tension ( $V^*_{CE1}$ ) représentative de la tension d'interrupteur ( $V_{CE1}$ ).

6. Système d'interrupteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, comportant en outre une branche de charge de la borne de commande ( $G_1$ ), différente de la branche de décharge, dans lequel la branche de charge est connectée à la borne de commande ( $G_1$ ) de l'interrupteur (104<sub>1</sub>), dans lequel la branche de charge comporte une résistance de charge ( $R_C$ ) et une diode de charge ( $D_C$ ) passante en direction de la borne de commande ( $G_1$ ) de l'interrupteur (104<sub>1</sub>), dans lequel la branche de charge est destinée à être parcourue par un courant destiné à traverser la résistance de charge ( $R_C$ ) et la diode de charge ( $D_C$ ), formant au moins une partie d'un courant de charge de la borne de commande ( $G_1$ ) afin que la tension de commande ( $V_{GE1}$ ) augmente, et dans lequel la branche de décharge comporte en outre une diode de décharge ( $D_D$ ) bloquante en direction de la borne de commande ( $G_1$ ) de l'interrupteur (104<sub>1</sub>), la au moins une partie du courant de décharge ( $i_D$ ) étant destinée à traverser la résistance de décharge ( $R_D$ ) et la diode de décharge ( $D_D$ ).

7. Système d'interrupteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, comportant en outre une alimentation électrique (114, 115) du circuit de limitation de tension (120), l'alimentation électrique (114, 115) comportant une source de tension continue (114), une résistance (R) connectée entre la source de tension continue (114) et une borne d'entrée (E) du circuit de limitation de tension (120) et une capacité (C) connectée entre la borne d'entrée

(E) du circuit de limitation de tension (120) et la borne de sortie de courant ( $E_1$ ) de l'interrupteur (104<sub>1</sub>).

8. Système d'interrupteur selon la revendication 7, comportant en outre une diode (D) connectée entre la résistance (R) et la borne d'entrée (E) du circuit de limitation de tension (120) passante en direction de la borne d'entrée (E) du circuit de limitation de tension (120).

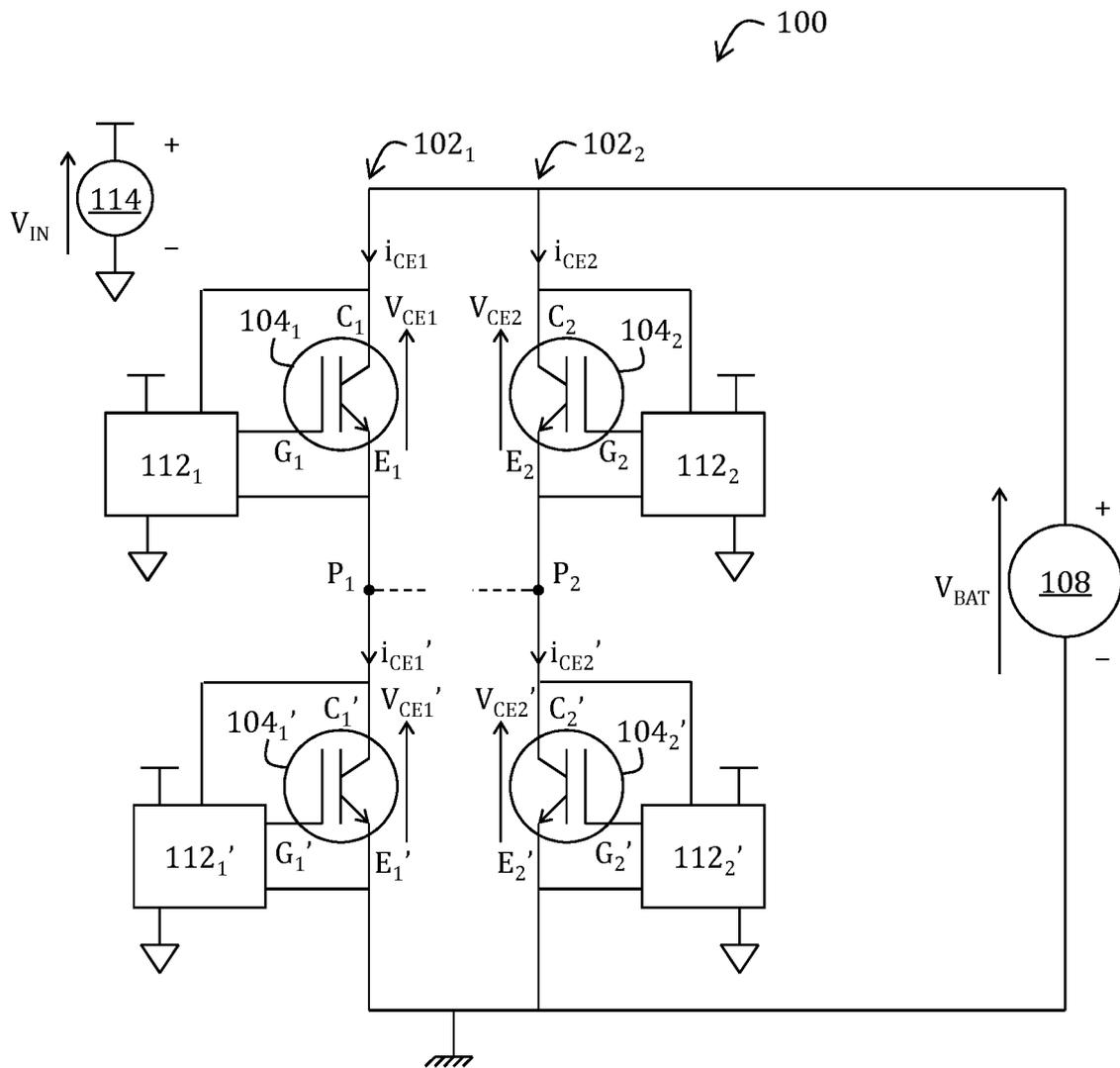
9. Système d'interrupteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le circuit de limitation de tension (120) comporte en outre un dispositif conçu pour fixer, en l'absence de tension d'interrupteur ( $V_{CE1}$ ), la tension ( $V^*_{CE1}$ ) représentative de la tension d'interrupteur ( $V_{CE1}$ ) à une tension par défaut inférieure à la tension de référence ( $V_{REF}$ ).

10. Bras de commutation (102<sub>1</sub>; 102<sub>2</sub>) comportant deux systèmes d'interrupteurs comportant respectivement deux interrupteurs (104<sub>1</sub>, 104<sub>1</sub>' ; 104<sub>2</sub>, 104<sub>2</sub>') connectés l'un à l'autre en un point milieu, et dans lequel au moins un des systèmes d'interrupteurs, de préférence les deux, est conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 9.

11. Convertisseur électrique (100) comportant au moins deux bras de commutation (102<sub>1</sub>, 102<sub>2</sub>) selon la revendication 10.

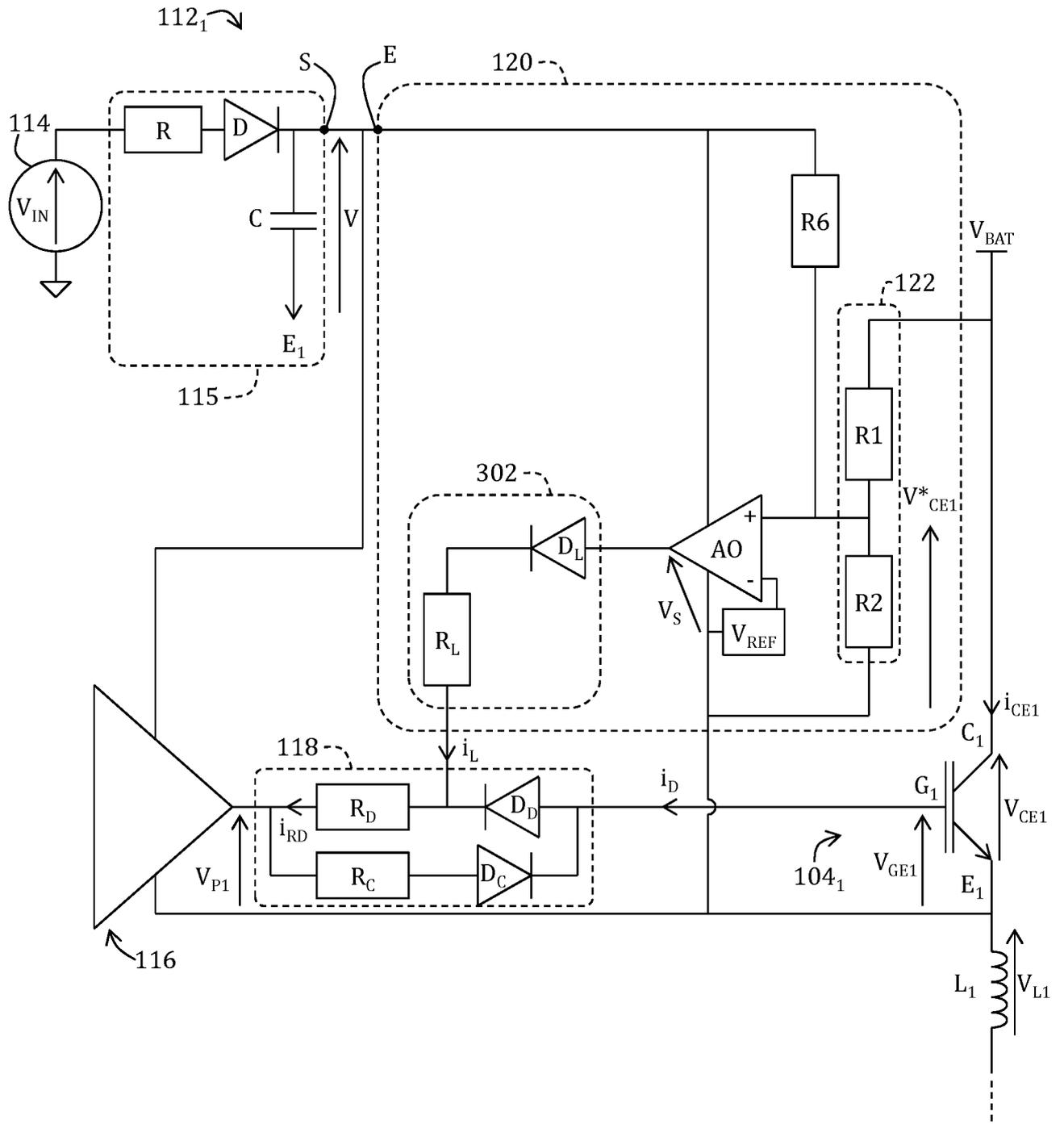
1/4

**Figure 1**

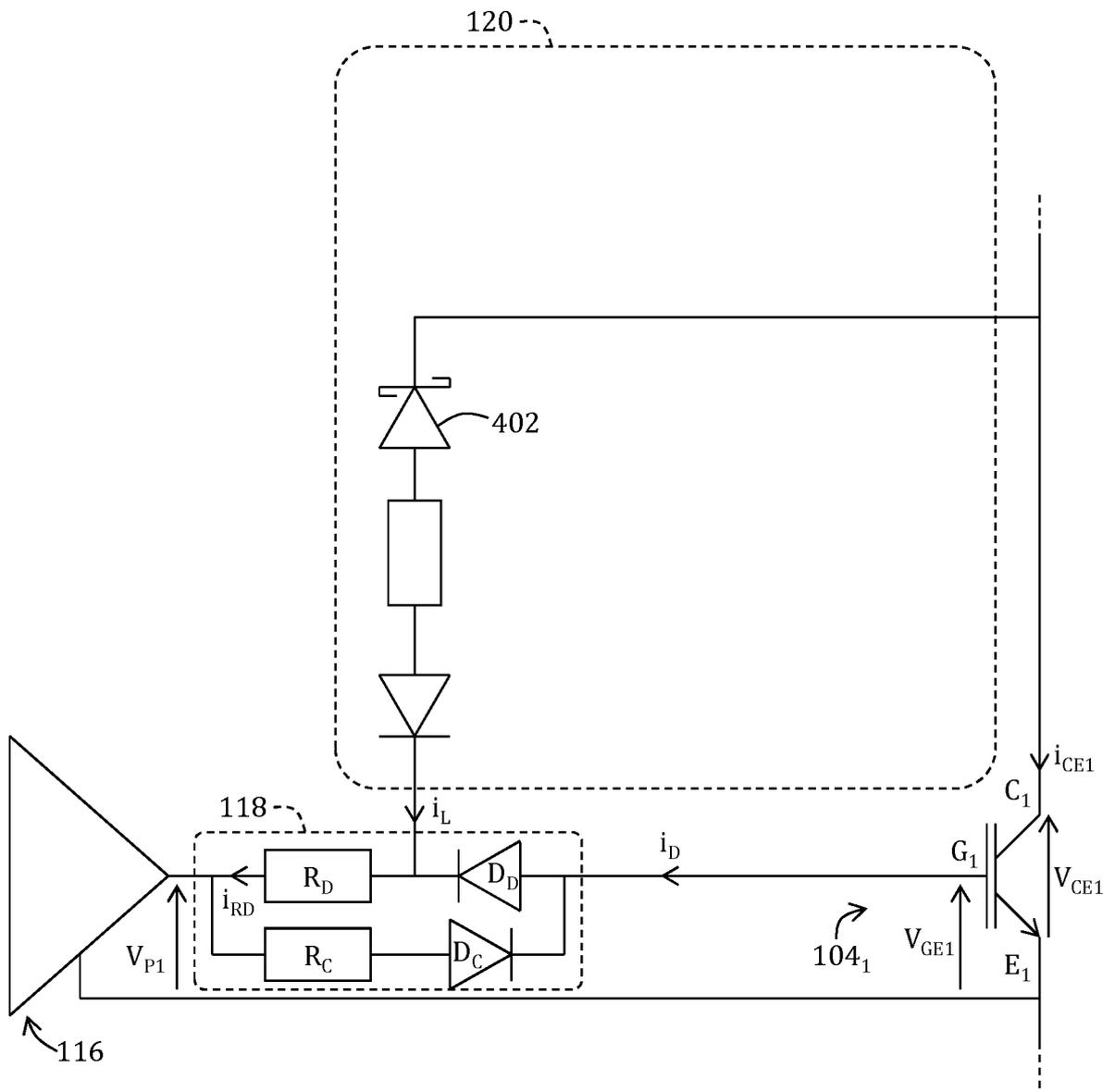




**Figure 3**



**Figure 4**



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/EP2019/063819**

| <b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b><br><i>H03K 17/082</i> (2006.01)i; <i>H03K 17/16</i> (2006.01)i   |   |  |
|---|---|--|
| According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC   |   |  |
| <b>B. FIELDS SEARCHED</b>   |   |  |
| Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)<br>H03K   |   |  |
| Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched   |   |  |
| Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)<br>EPO-Internal, WPI Data  |   |  |
| <b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>   |   |  |
| Category*   | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages  | Relevant to claim No.  |
| Y   | US 5926012 A (TAKIZAWA SATOKI [JP] ET AL) 20 July 1999 (1999-07-20)<br>column 5, line 39 - line 52; figure 5<br>column 7, line 21 - line 47; figure 10a | 1-4  |
| A   | DE 102016216508 A1 (SIEMENS AG [DE]) 01 March 2018 (2018-03-01)<br>figure 7   | 1-4  |
| Y   | US 2013021083 A1 (FURUYA MIKI [JP] ET AL) 24 January 2013 (2013-01-24)<br>figure 1  | 1-4  |
| <input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.  |   |  |
| <p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>“&amp;” document member of the same patent family</p> |   |  |
| Date of the actual completion of the international search<br><b>13 August 2019</b>  |   | Date of mailing of the international search report<br><b>23 October 2019</b> |
| Name and mailing address of the ISA/EP<br><b>European Patent Office<br/>p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk<br/>Netherlands</b><br>Telephone No. (+31-70)340-2040<br>Facsimile No. (+31-70)340-3016   |   | Authorized officer<br><b>Loiseau, Ludovic</b><br><br>Telephone No.           |

**Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)**

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

## 1. claims: 1-4

Switch system comprising a switch, a discharge branch, a voltage limiting circuit, wherein the voltage limiting circuit comprises an operational amplifier and a current generating circuit, the current generating circuit comprising a first and a second current generating sub-circuit.

## 2. claim: 5

Switch system comprising a switch, a discharge branch, a voltage limiting circuit, wherein the voltage limiting circuit comprises an operational amplifier and a current generating circuit, in which the voltage limiting circuit comprises a voltage divider circuit.

## 3. claim: 6

Switch system comprising a switch, a discharge branch, a voltage limiting circuit, wherein the voltage limiting circuit comprises an operational amplifier and a current generating circuit, the switch system further comprising a load branch having a load resistor and a charging diode, the discharge branch further comprising a discharge diode.

## 4. claims: 7, 8

Switch system comprising a switch, a discharge branch, a voltage limiting circuit, wherein the voltage limiting circuit comprises an operational amplifier and a current generating circuit, the switch system further comprising a power supply having a continuous voltage source, a resistor and a capacitor.

## 5. claim: 9

Switch system comprising a switch, a discharge branch, a voltage limiting circuit, wherein the voltage limiting circuit comprises an operational amplifier and a current generating circuit, the voltage limiting circuit further comprising a device for clamping a voltage representative of the switch voltage at a default voltage which is inferior to a reference voltage.

## 6. claims: 10, 11

Switch arm comprising two switch systems, at least one of the switch systems comprising a switch, a discharge branch, a voltage limiting circuit, wherein the voltage limiting circuit comprises an operational amplifier and a current generating circuit.

1.  As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2.  As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3.  As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4.  No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.: **1-4**

**Remark on Protest**

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/EP2019/063819**

| Patent document cited in search report |              |    | Publication date (day/month/year) | Patent family member(s) |              |    | Publication date (day/month/year) |
|--|--------------|----|-----------------------------------|-------------------------|--------------|----|-----------------------------------|
| US                                     | 5926012      | A  | 20 July 1999                      | DE                      | 19741391     | A1 | 26 March 1998                     |
|  |              |    |                                   | JP                      | 3132648      | B2 | 05 February 2001                  |
|  |              |    |                                   | JP                      | H10150764    | A  | 02 June 1998                      |
|  |              |    |                                   | US                      | 5926012      | A  | 20 July 1999                      |
| <hr/>                                  |              |    |                                   |                         |              |    |                                   |
| DE                                     | 102016216508 | A1 | 01 March 2018                     | CN                      | 109792241    | A  | 21 May 2019                       |
|  |              |    |                                   | DE                      | 102016216508 | A1 | 01 March 2018                     |
|  |              |    |                                   | WO                      | 2018041971   | A1 | 08 March 2018                     |
| <hr/>                                  |              |    |                                   |                         |              |    |                                   |
| US                                     | 2013021083   | A1 | 24 January 2013                   | JP                      | 2013026838   | A  | 04 February 2013                  |
|  |              |    |                                   | US                      | 2013021083   | A1 | 24 January 2013                   |
| <hr/>                                  |              |    |                                   |                         |              |    |                                   |

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2019/063819

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE  
 INV. H03K17/082 H03K17/16  
 ADD.

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

**B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE**

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)  
 H03K

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, WPI Data

**C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS**

| Catégorie* | Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents  | no. des revendications visées |
|------------|---|-------------------------------|
| Y          | US 5 926 012 A (TAKIZAWA SATOKI [JP] ET AL) 20 juillet 1999 (1999-07-20)<br>colonne 5, ligne 39 - ligne 52; figure 5<br>colonne 7, ligne 21 - ligne 47; figure 10a<br>----- | 1-4                           |
| A          | DE 10 2016 216508 A1 (SIEMENS AG [DE])<br>1 mars 2018 (2018-03-01)<br>figure 7<br>-----   | 1-4                           |
| Y          | US 2013/021083 A1 (FURUYA MIKI [JP] ET AL)<br>24 janvier 2013 (2013-01-24)<br>figure 1<br>-----   | 1-4                           |

Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

13 août 2019

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

23/10/2019

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Loiseau, Ludovic

**Cadre n° II Observations - lorsqu'il a été estimé que certaines revendications ne pouvaient pas faire l'objet d'une recherche (suite du point 2 de la première feuille)**

Le rapport de recherche internationale n'a pas été établi en ce qui concerne certaines revendications conformément à l'article 17.2)a) pour les raisons suivantes :

1.  Les revendications n<sup>os</sup> se rapportent à un objet à l'égard duquel l'administration chargée de la recherche internationale n'est pas tenue de procéder à la recherche, à savoir :
  
2.  Les revendications n<sup>os</sup> parce qu'elles se rapportent à des parties de la demande internationale qui ne remplissent pas suffisamment les conditions prescrites pour qu'une recherche significative puisse être effectuée, en particulier :
  
3.  Les revendications n<sup>os</sup> parce qu'elles sont des revendications dépendantes et ne sont pas rédigées conformément aux dispositions de la deuxième et de la troisième phrases de la règle 6.4.a).

**Cadre n° III Observations - lorsqu'il y a absence d'unité de l'invention (suite du point 3 de la première feuille)**

L'administration chargée de la recherche internationale a trouvé plusieurs inventions dans la demande internationale, à savoir:

voir feuille supplémentaire

1.  Comme toutes les taxes additionnelles exigées ont été payées dans les délais par le déposant, le présent rapport de recherche internationale porte sur toutes les revendications pouvant faire l'objet d'une recherche.
  
2.  Comme toutes les revendications qui se prêtent à la recherche ont pu faire l'objet de cette recherche sans effort particulier justifiant des taxes additionnelles, l'administration chargée de la recherche internationale n'a sollicité le paiement d'aucunes taxes de cette nature.
  
3.  Comme une partie seulement des taxes additionnelles demandées a été payée dans les délais par le déposant, le présent rapport de recherche internationale ne porte que sur les revendications pour lesquelles les taxes ont été payées, à savoir les revendications n<sup>os</sup>:
  
4.  Aucune taxes additionnelles demandées n'ont été payées dans les délais par le déposant. En conséquence, le présent rapport de recherche internationale ne porte que sur l'invention mentionnée en premier lieu dans les revendications; elle est couverte par les revendications n<sup>os</sup>:  
1-4

- Remarque quant à la réserve**
- Les taxes additionnelles étaient accompagnées d'une réserve de la part du déposant et, le cas échéant, du paiement de la taxe de réserve.
  - Les taxes additionnelles étaient accompagnées d'une réserve de la part du déposant mais la taxe de réserve n'a pas été payée dans le délai prescrit dans l'invitation.
  - Le paiement des taxes additionnelles n'était assorti d'aucune réserve.

**SUITE DES RENSEIGNEMENTS INDIQUES SUR PCT/ISA/ 210**

L'administration chargée de la recherche internationale a trouvé plusieurs (groupes d') inventions dans la demande internationale, à savoir:

## 1. revendications: 1-4

Système d'interrupteur comprenant un interrupteur, une branche de décharge, un circuit de limitation de tension, dans lequel le circuit de limitation de tension comprend un amplificateur opérationnel et un circuit de génération de courant, le circuit de génération de courant comprenant un premier et un second sous-circuits de génération de courant.

---

## 2. revendication: 5

Système d'interrupteur comprenant un interrupteur, une branche de décharge, un circuit de limitation de tension, dans lequel le circuit de limitation de tension comprend un amplificateur opérationnel et un circuit de génération de courant, dans lequel le circuit de limitation de tension comprend un circuit diviseur de tension

---

## 3. revendication: 6

Système d'interrupteur comprenant un interrupteur, une branche de décharge, un circuit de limitation de tension, dans lequel le circuit de limitation de tension comprend un amplificateur opérationnel et un circuit de génération de courant, le système comprenant en outre une branche de charge comprenant une résistance de charge et une diode de charge, la branche de décharge comprenant en outre une diode de décharge

---

## 4. revendications: 7, 8

Système d'interrupteur comprenant un interrupteur, une branche de décharge, un circuit de limitation de tension, dans lequel le circuit de limitation de tension comprend un amplificateur opérationnel et un circuit de génération de courant, le système comprenant en outre une alimentation électrique comprenant une source de tension continue, une résistance et une capacité

---

## 5. revendication: 9

Système d'interrupteur comprenant un interrupteur, une branche de décharge, un circuit de limitation de tension, dans lequel le circuit de limitation de tension comprend un amplificateur opérationnel et un circuit de génération de courant, le circuit de limitation de tension comprenant en outre un dispositif pour fixer une tension représentative de

**SUITE DES RENSEIGNEMENTS INDIQUES SUR PCT/ISA/ 210**

la tension d'interrupteur à une tension par défaut inférieure à une tension de référence.

---

6. revendications: 10, 11

Bras de commutation comportant deux systèmes d'interrupteur, au moins un des systèmes d'interrupteur comprenant un interrupteur, une branche de décharge, un circuit de limitation de tension, dans lequel le circuit de limitation de tension comprend un amplificateur opérationnel et un circuit de génération de courant

---

**RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE**

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2019/063819

| Document brevet cité<br>au rapport de recherche | Date de<br>publication | Membre(s) de la<br>famille de brevet(s) | Date de<br>publication        |
|---|------------------------|---|-------------------------------|
| US 5926012                                      | A                      | 20-07-1999                              | DE 19741391 A1 26-03-1998     |
|   |                        |   | JP 3132648 B2 05-02-2001      |
|   |                        |   | JP H10150764 A 02-06-1998     |
|   |                        |   | US 5926012 A 20-07-1999       |
| -----   |                        |   |                               |
| DE 102016216508                                 | A1                     | 01-03-2018                              | CN 109792241 A 21-05-2019     |
|   |                        |   | DE 102016216508 A1 01-03-2018 |
|   |                        |   | WO 2018041971 A1 08-03-2018   |
| -----   |                        |   |                               |
| US 2013021083                                   | A1                     | 24-01-2013                              | JP 2013026838 A 04-02-2013    |
|   |                        |   | US 2013021083 A1 24-01-2013   |
| -----   |                        |   |                               |