



(51) Classification internationale des brevets :
H01H 33/59 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2015/053299

(22) Date de dépôt international :
2 décembre 2015 (02.12.2015)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1462224 11 décembre 2014 (11.12.2014) FR

(71) Déposant : SUPERGRID INSTITUTE [FR/FR]; 130 rue
Léon Blum, 69100 Villeurbanne (FR).

(72) Inventeurs : LUSCAN, Bruno; Chez Innovation Compe-
tence Group, 310 bis avenue Berthelot, 69008 Lyon (FR).
BERTINATO, Alberto; Chez Innovation Competence
Group, 310 bis avenue Berthelot, 69008 Lyon (FR).
CREUSOT, Christophe; Chez Innovation Competence
Group, 310 bis avenue Berthelot, 69008 Lyon (FR).

(74) Mandataires : GUERIN, Jean-Philippe et al.; GIE Inno-
vation Competence Group, 310 bis avenue Berthelot,
69008 Lyon (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, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR,
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,
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), eurasien (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))

(54) Title : HIGH VOLTAGE DC CURRENT TRIPOUT DEVICE

(54) Titre : DISPOSITIF DE COUPURE DE COURANT CONTINU HAUTE TENSION

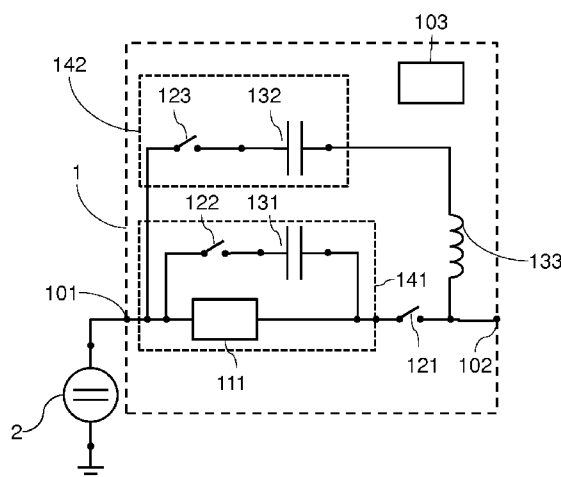


Fig. 2

(57) Abstract : The invention relates to a current tripout device (1) for high voltage DC current, comprising: -a main conduction line (141) and a secondary conduction line (142) which are connected in parallel between the terminals; -the main conduction line (141) comprising a first controlled switch (121) and connected in series with a circuit including a capacitor (131) and a current limiter (111); -the secondary conduction line (142) comprising a second controlled switch (123), the main and secondary conduction lines forming an oscillating circuit across the terminals of the first controlled switch when the first and second controlled switches are closed; -a control circuit (103) exhibiting a first mode of operation for keeping the first switch (121) closed and the second switch open (123), and a second mode of operation for keeping a command for opening the first switch (121) and a command for closing the second switch (123).

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]



L'invention concerne un dispositif de coupure de courant (1) pour courant continu haute tension, comprenant: -une ligne de conduction principale (141) et une ligne de conduction secondaire (142) connectées en parallèle entre les bornes; -la ligne de conduction principale (141) comprenant un premier interrupteur commandé (121) et connecté en série avec un circuit incluant un condensateur (131) et un limiteur de courant (111); -la ligne de conduction secondaire (142) comprenant un deuxième interrupteur commandé (123), les lignes de conduction principale et secondaire formant un circuit oscillant aux bornes du premier interrupteur commandé lorsque les premier et deuxième interrupteurs commandés sont fermés; -un circuit de commande (103) présentant un premier mode de fonctionnement pour maintenir le premier interrupteur (121) fermé et le deuxième interrupteur ouvert (123), et un deuxième mode de fonctionnement pour maintenir une commande d'ouverture du premier interrupteur (121) et une commande de fermeture du deuxième interrupteur (123).

DISPOSITIF DE COUPURE DE COURANT CONTINU HAUTE TENSION

L'invention concerne les réseaux de transmission et/ou de distribution de
5 courant continu sous tension élevée, généralement désignés sous l'acronyme HVDC. L'invention porte en particulier sur les dispositifs de coupure de courant de défaut destinés à de tels réseaux.

Les réseaux HVDC sont notamment envisagés comme une solution à l'interconnexion de sites de production d'électricité disparates ou non synchrones,
10 apparaissant avec le développement des énergies renouvelables. Les réseaux HVDC sont notamment envisagés pour la transmission et la distribution d'énergie produite par des fermes éoliennes offshore plutôt que des technologies de courant alternatif, du fait de pertes en ligne inférieures et d'absence d'incidence des capacités parasites du réseau sur de longues distances. De tels réseaux ont
15 typiquement des niveaux de tension de l'ordre de 50 kV et plus.

Pour de la transmission d'électricité point à point, un sectionnement peut être réalisé par l'intermédiaire d'un convertisseur en bout de ligne. Par contre, le sectionnement ne peut plus être réalisé par un tel convertisseur dans de la transmission multipoints. La coupure du courant continu dans de tels réseaux est
20 un enjeu crucial conditionnant directement la faisabilité et le développement de tels réseaux.

Le document EP0431510 décrit notamment un dispositif de coupure pour courant continu haute tension.

Pour de plus bas niveaux de tension, on utilise traditionnellement des
25 disjoncteurs mécaniques pour réaliser la coupure de courant, c'est à dire que la coupure du courant est obtenue uniquement par l'ouverture d'un élément interrupteur mécanique. Un tel élément interrupteur mécanique comporte deux pièces conductrices faisant contact qui sont en contact mécanique lorsque l'élément interrupteur est fermé et qui se séparent mécaniquement lorsque
30 l'élément interrupteur est ouvert. Ces disjoncteurs mécaniques présentent plusieurs inconvénients notamment lorsqu'ils sont traversés par des courants importants.

La coupure mécanique se traduit par l'établissement d'un arc électrique entre les deux pièces conductrices, du fait des énergies importantes accumulées
35 dans le réseau que le disjoncteur protège. Cet arc électrique dégrade d'une part par érosion les deux pièces conductrices faisant contact et d'autre part le milieu environnant par ionisation. De plus, le courant met un certain temps à s'interrompre du fait de cette ionisation. Cet arc électrique en dégradant les pièces conductrices faisant contact nécessite des opérations de maintenance

contraignantes et coûteuses. La coupure du courant est en outre particulièrement difficile à réaliser dans un contexte courant continu et tension élevée, ces conditions tendant à entretenir l'arc électrique. En outre, quand bien même on arrive à dimensionner un -disjoncteur mécanique pour une application haute
5 tension courant continu, celui-ci présente généralement un délai d'ouverture relativement important, incompatible avec la protection du réseau, par exemple lors de l'apparition d'un court-circuit.

L'invention vise à résoudre un ou plusieurs de ces inconvénients. L'invention vise notamment à fournir un dispositif de coupure HVDC permettant
10 de réaliser d'assurer une protection du réseau en un temps réduit, et limitant fortement les pertes de conduction sur la ligne de transmission. L'invention porte ainsi sur un dispositif de coupure de courant pour courant continu haute tension, tel que défini dans la revendication 1 annexée.

L'invention porte également sur les variantes des revendications
15 dépendantes. L'homme du métier comprendra que chacune des caractéristiques des variantes des revendications dépendantes peut être combinée indépendamment aux caractéristiques de la revendication 1 déposée, sans pour autant constituer une généralisation intermédiaire.

20 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront clairement de la description qui en est faite ci-après, à titre indicatif et nullement limitatif, en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1 illustre un premier mode de réalisation d'un dispositif de coupure selon l'invention ;
- 25 -la figure 2 illustre un deuxième mode de réalisation d'un dispositif de coupure selon l'invention ;
- la figure 3 illustre un troisième mode de réalisation d'un dispositif de coupure selon l'invention ;
- la figure 4 est un diagramme illustrant le courant traversant un interrupteur
30 d'une ligne de conduction principale en l'absence d'ouverture de cet interrupteur;
- la figure 5 est un diagramme illustrant le courant traversant un interrupteur d'une ligne de conduction secondaire en l'absence d'ouverture de l'interrupteur de la ligne de conduction principale ;
- la figure 6 illustre l'état d'un interrupteur de la ligne principale et d'un
35 interrupteur de la ligne secondaire lors d'une détection d'une surintensité ;
- la figure 7 illustre les différences de potentiel respectives aux bornes de deux condensateurs lors de la détection d'une surintensité ;
- la figure 8 illustre une simulation du courant au niveau de la sortie du dispositif de coupure;

-la figure 9 illustre les courants traversant respectivement l'interrupteur de la ligne de conduction principale et un limiteur de courant lors de la détection d'une surintensité ;

5 -la figure 10 illustre les différences de potentiel aux bornes respectivement de deux condensateurs lors d'une détection de la surintensité;

-la figure 11 illustre la différence de potentiel aux bornes du condensateur de la ligne secondaire en fonction de la présence d'un parafoudre ;

-la figure 12 illustre le courant de ligne en fonction de la présence d'un parafoudre ;

10 -la figure 13 illustre le courant traversant le condensateur de la ligne secondaire en fonction de la présence d'un parafoudre ;

-la figure 14 illustre un quatrième mode de réalisation d'un dispositif de coupure selon l'invention ;

15 -la figure 15 illustre un cinquième mode de réalisation d'un dispositif de coupure selon l'invention.

L'invention propose un dispositif de coupure de courant pour courant continu haute tension. Le dispositif de coupure de courant comporte une ligne de conduction principale et une ligne de conduction secondaire, connectées en
20 parallèle entre une borne d'entrée et une borne de sortie. Dans la ligne de conduction principale, un circuit inclut un limiteur de courant et un condensateur connectés en parallèle. Un interrupteur commandé est connecté en série avec ce circuit. Lorsque les interrupteurs commandés sont fermés, les lignes de conduction principale et secondaire forment un circuit oscillant aux bornes de
25 l'interrupteur de la ligne de conduction principale, avec une amplitude d'oscillation de courant au moins égale au courant de limitation maintenu par le limiteur de courant. Le dispositif de coupure comprend en outre un circuit de commande présentant un mode de fonctionnement de coupure dans lequel il est configuré pour maintenir une commande d'ouverture de l'interrupteur commandé de la ligne
30 de conduction principale et une commande de fermeture de l'interrupteur commandé de la ligne de conduction secondaire.

Ainsi, lors d'une surintensité, le limiteur de courant maintient le courant le traversant à un courant de limitation et la différence de potentiel aux bornes du limiteur de courant augmente jusqu'à ce que le courant de limitation soit atteint.
35 Le condensateur connecté en parallèle du limiteur de courant est alors chargé. À la fermeture de l'interrupteur commandé de la ligne de conduction secondaire, le circuit oscillant formé force le courant traversant l'interrupteur de la ligne de conduction principale à passer par une valeur nulle lors de la décharge du condensateur s'étant préalablement chargé. Avec un maintien d'une commande

d'ouverture sur l'interrupteur de la ligne de conduction principale, l'ouverture effective initiée pour cet interrupteur est aisément obtenue lorsque le courant le traversant atteint la valeur nulle, un éventuel arc électrique étant coupé ne s'opposant alors plus à son ouverture. Si à la coupure de l'arc électrique la distance entre contacts est suffisante il est possible de couper définitivement le passage du courant. Le dimensionnement de cet interrupteur en termes de pouvoir de coupure peut ainsi être réduit. Un tel interrupteur peut ainsi être un interrupteur conçu pour du courant alternatif, pour un coût réduit.

Un tel dispositif de coupure de courant pourra par exemple être dimensionné pour des tensions continues au moins égales à 10 kV, voire au moins égales à 50 kV, typiquement au moins égales à 100 kV, et potentiellement au moins égales à 300kV. Un tel dispositif de coupure de courant pourra également être dimensionné pour un courant continu de service au moins égal à 1 kA, voire au moins égal à 2 kA.

La figure 1 est une représentation schématique d'un premier mode de réalisation d'un exemple de dispositif de coupure 1 selon l'invention. Le dispositif 1 comporte une borne d'entrée 101, destinée à être connectée à une source de tension continue 2 connues en soi. Le dispositif 1 comporte par ailleurs une borne de sortie 102, destinée à alimenter par exemple une charge électrique ou un réseau électrique.

Le dispositif de coupure 1 comporte d'une part une ligne de conduction principale 141 et une ligne de conduction secondaire 142, connectées en parallèle entre les bornes 101 et 102. La ligne de conduction principale 141 est destinée à être traversée par le courant nominal fourni par la source de tension continue 2.

La ligne de conduction principale 141 comporte un circuit, incluant un limiteur de courant 111 et un condensateur 131 connectés en parallèle. Un interrupteur commandé 121 est connecté en série avec ce circuit, entre les bornes 101 et 102. Le limiteur de courant 111 est configuré pour maintenir le courant le traversant à un niveau inférieur ou égal à un courant de limitation. Le courant de limitation du limiteur 111 est par exemple au moins égal à deux fois le courant nominal du dispositif de coupure 1.

Lors d'une surintensité, par exemple due à un court-circuit entre la borne 102 et la terre, le profil du courant traversant un limiteur de courant comprend typiquement et transitoirement une rampe croissante jusqu'à un pic et franchit notamment une valeur d'activation du limiteur 111. Le limiteur 111 est mis en œuvre de sorte que l'amplitude du pic soit au plus égale à 6 fois le courant nominal. Le courant redescend ensuite très rapidement jusqu'au courant de limitation auquel le limiteur 111 est maintenu. Afin d'éviter un échauffement

excessif du limiteur 111, le dispositif 1 est configuré pour couper le courant traversant ce limiteur 111 en un temps réduit.

La ligne de conduction secondaire 142 comporte un interrupteur commandé 123 connecté en série avec un condensateur 132. Les interrupteurs
5 121 et 123 sont bien entendus dimensionnés pour pouvoir résister aux courants et différences de potentiels auxquels ils sont destinés à être soumis.

Le dispositif de coupure 1 comprend en outre un circuit de commande 103. Le circuit de commande 103 est configuré pour appliquer des signaux de commande aux interrupteurs commandés 121 et 123, en vue d'obtenir
10 sélectivement leur ouverture/fermeture respective. Le circuit de commande 103 est en outre configuré pour détecter une surintensité. Le circuit 103 peut à cet effet recevoir une mesure du courant traversant le limiteur de courant 111 (par exemple envoyée par une sonde de courant) ou recevoir une mesure de la
15 différence de potentiel aux bornes du limiteur de courant 111 ou du condensateur 131 (par exemple envoyée par un voltmètre). La détection de la surintensité peut être réalisée par le limiteur de courant 111 lui-même. Ainsi, si le franchissement d'un seuil de courant ou de différence de potentiel est détecté par le circuit 103, celui-ci peut basculer d'un premier mode de fonctionnement dans lequel le
20 dispositif 1 doit conduire un courant nominal entre les bornes 101 et 102, vers un deuxième mode de fonctionnement dans lequel le dispositif 1 doit couper le courant entre les bornes 101 et 102.

Dans le premier mode de fonctionnement, le circuit 103 maintient l'interrupteur 123 ouvert pour éviter la conduction dans la ligne de conduction
25 secondaire 142, et maintient l'interrupteur 121 fermé pour garantir la conduction dans la ligne de conduction principale 141 à travers le limiteur de courant 111.

Dans le deuxième mode de fonctionnement, le circuit 103 génère une commande d'ouverture de l'interrupteur 121 et une commande de fermeture de l'interrupteur 123. Avantagusement, le circuit 103 détecte au préalable
30 l'apparition d'une surintensité lors du franchissement du courant d'activation, et génère la commande d'ouverture de l'interrupteur 121 seulement après un délai d'attente. Le courant d'activation pourra par exemple être au moins égal à 4 fois le courant nominal, afin de limiter des ouvertures intempestives de l'interrupteur 121.

Le délai d'attente permet de garantir que le limiteur de courant 111 a atteint
35 une phase de maintien du courant de limitation. Dans cette phase de maintien, la différence de potentiel aux bornes du limiteur de courant 111 a permis de charger le condensateur 131. Le délai d'attente entre la détection de la surintensité et la génération de la commande d'ouverture de l'interrupteur 121 est par exemple au moins égal à 5 ms, voire au moins égal à 10 ms. Afin de ne pas maintenir le

limiteur de courant 111 pendant un temps excessif à son courant de limitation, le délai d'attente entre la détection de la surintensité et la génération de la commande d'ouverture de l'interrupteur 121 est par exemple au plus égal à 50 ms, voire au plus égal à 30 ms.

- 5 Dans le deuxième mode de fonctionnement, le circuit 103 génère avantageusement la commande de fermeture de l'interrupteur 123 après la génération de la commande d'ouverture de l'interrupteur 121. Ce décalage de génération de la commande de fermeture de l'interrupteur 123 permet de garantir que la formation du circuit oscillant induisant un passage à zéro du courant à
10 travers l'interrupteur 121 est bien obtenue alors que la commande d'ouverture de l'interrupteur 121 est appliquée et que l'ouverture par écartement des contacts de l'interrupteur 121 est bien initiée. Le circuit oscillant est ici formé par l'intermédiaire des condensateurs 131 et 132 et des inductances de câblage des lignes de conduction primaire et secondaire. Ce délai d'attente permet également
15 de tenir compte du décalage entre l'application de la commande d'ouverture sur l'interrupteur 121 et l'effet de cette commande, pour un interrupteur 121 du type mécanique. Ce décalage entre la commande d'ouverture de l'interrupteur 121 et la commande de fermeture de l'interrupteur 123 est par exemple au moins égal à 500 μ s. Afin de limiter au maximum le temps de fonctionnement du limiteur de
20 courant 111 à son courant de limitation, et afin de limiter le temps de présence d'un arc dans l'interrupteur 121 après l'application d'une commande d'ouverture, ce décalage entre les commandes est avantageusement au plus égal à 5 ms, et de préférence au plus égal à 3ms.

- La réduction du temps de fonctionnement du limiteur de courant 111 à son
25 courant de limitation durant le deuxième mode de fonctionnement pourra en outre faciliter une phase ultérieure de basculement vers le premier mode de fonctionnement, par une nouvelle fermeture de l'interrupteur 121. Un limiteur de courant de type à supraconducteur nécessitera un temps avant d'être à nouveau mis en service, d'autant plus important qu'il aura été échauffé longtemps en mode
30 de limitation de courant.

Par ailleurs, le condensateur 132 permet de couper le courant continu dans la ligne de conduction secondaire lorsqu'on a obtenu l'ouverture de l'interrupteur 121 et la suppression d'un éventuel arc.

- 35 Le limiteur de courant 111 est avantageusement du type SCFCL. Ainsi, dans le premier mode de fonctionnement, le limiteur de courant 111 a une différence de potentiel nulle entre ses bornes et permet donc de limiter les pertes induites par le dispositif de coupure de courant 1. Le limiteur de courant 111 peut en particulier être du type résistance supraconductrice. Un tel limiteur de courant

111 de type résistance supraconductrice est typiquement prévu pour faire apparaître une résistance entre ses bornes si sa température augmente du fait de l'apparition d'une surintensité, afin de limiter l'amplitude de la surintensité de court-circuit. Un tel limiteur de courant 111 comprend par exemple un barreau de

5 matériau supraconducteur traversé par le courant nominal entre les bornes 101 et 102. Le barreau de matériau supraconducteur est baigné dans un bain d'azote liquide afin de le maintenir en dessous de sa température critique durant le premier mode de fonctionnement. Le limiteur de courant 111 peut comporter une

10 Un autre type de limiteur de courant 111 peut bien entendu être envisagé, en particulier un limiteur de courant incluant des IGBT et dont la structure est connue en soi.

L'interrupteur 121 est avantageusement un interrupteur électromécanique, notamment du fait des faibles pertes en ligne qu'il est capable de générer.

15

La figure 2 illustre un deuxième mode de réalisation d'un exemple de dispositif de coupure 1 selon l'invention. Dans ce mode de réalisation, la ligne de conduction secondaire inclut une inductance 133 connectée en série avec l'interrupteur 123. Indépendamment de l'inductance 133, le dispositif de coupure

20 1 comporte ici un interrupteur 122 connecté en série avec le condensateur 131. L'interrupteur 122 est maintenu fermé dans les premier et deuxième modes de fonctionnement. La structure des autres composants du dispositif de coupure 1 de la figure 2 est par ailleurs identique à celle du dispositif de coupure de la figure 1. Une telle inductance 133 permet de définir avec précision la fréquence de

25 résonance du circuit oscillant formé lors de la fermeture de l'interrupteur 123. En effet, la valeur d'inductance de cette inductance 133 sera alors prépondérante par rapport aux inductances parasites dans le circuit oscillant pour la détermination de la fréquence de résonance du circuit oscillant.

La détermination des caractéristiques du condensateur 131, du

30 condensateur 132, et dans ce cas particulier de l'inductance 133, pourra être réalisée de la façon suivante.

On fixe tout d'abord la valeur f_r de la fréquence de résonance que l'on souhaite pour le circuit oscillant, ainsi que la valeur I_0 de l'amplitude minimale d'une oscillation lors de la fermeture de l'interrupteur 123. I_0 doit respecter la

35 condition $I_0 > I_{nl}$, avec I_{nl} le courant de limitation du limiteur de courant 111. I_{nl} est par exemple égal à deux fois le courant nominal du dispositif de coupure 1.

Pour l'exemple de la figure 2, on obtient les équations suivantes :

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L * C_{eq}}}$$

$$I_o = V_{nl} * \sqrt{C_{eq} / L}$$

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_{131}} + \frac{1}{C_{132}}$$

Avec :

V_{nl} la différence de potentiel entre les bornes du limiteur de courant 111 lorsqu'il maintient son courant de limitation I_{nl}, C_{eq} la capacité équivalente des condensateurs 131 et 132 en série dans le circuit oscillant formé, C₁₃₁ la capacité du condensateur 131, C₁₃₂ la capacité du condensateur 132, et L la valeur d'inductance de l'inductance 133.

D'autres critères de dimensionnement peuvent bien entendu être pris en compte, par exemple pour limiter la quantité d'énergie stockée dans le condensateur 131 lors de l'apparition d'une surintensité.

Les figures 4 et 5 sont des diagrammes de simulation d'un exemple de dispositif de coupure 1 selon la figure 2. Ces diagrammes permettent d'illustrer le fonctionnement du dispositif de coupure 1, lors de l'apparition d'une surintensité. La figure 4 illustre le courant traversant l'interrupteur 121. La figure 5 illustre le courant traversant le condensateur 132.

On suppose qu'une surintensité apparaît à l'instant t=0 et que le limiteur de courant 111 se stabilise rapidement à son courant de limitation. Le condensateur 131 est alors chargé. Le circuit de commande 103 génère une commande de fermeture et l'interrupteur 123 ferme à l'instant t=25ms. Dès lors, la ligne de conduction principale 141 et la ligne de conduction secondaire 142 forment le circuit oscillant. Pour mieux illustrer le fonctionnement du circuit oscillant formé lors de la fermeture de l'interrupteur 123, la simulation est illustrée sans ouverture de l'interrupteur 121.

Comme illustré à la figure 5, à partir de t=25ms, le condensateur 131 se décharge dans le circuit oscillant, ce qui induit des oscillations de courant dans le circuit oscillant. Le circuit oscillant est dimensionné pour qu'au moins une oscillation présente une amplitude au moins égale au courant de limitation de courant du limiteur de courant 111. Ainsi, comme illustré à la figure 4, le courant traversant l'interrupteur 121 passe par une valeur nulle à au moins une oscillation. Ainsi, si le circuit 103 applique une commande d'ouverture de l'interrupteur 121, lorsque ce courant prend une valeur nulle, l'arc électrique éventuellement présent durant la séparation initiale des contacts de cet interrupteur est coupé. Ainsi,

l'interrupteur 121 peut être un interrupteur standard pour la coupure du courant alternatif, avec un pouvoir de coupure relativement réduit

La fréquence de résonance du circuit oscillant formé est avantageusement inférieure ou égale à 5 kHz. Ainsi, avec le courant traversant l'interrupteur 121, la valeur di/dt (par exemple inférieure à $500A/\mu s$) est suffisamment réduite pour faciliter l'ouverture effective de l'interrupteur 121 lors du maintien de sa commande d'ouverture. Avantageusement, la fréquence de résonance du circuit oscillant formé est avantageusement supérieure ou égale à 500 Hz pour obtenir une ouverture effective rapide de l'interrupteur 121 ou pour générer plusieurs passages à zéro du courant à travers l'interrupteur 121, si celui-ci n'est pas ouvert immédiatement. Un exemple de dimensionnement du circuit oscillant est détaillé par la suite en référence aux modes de réalisation de la figure 2.

15

La figure 6 illustre un exemple de chronogramme des états d'ouverture/fermeture des interrupteurs 121 et 123 lors de l'apparition d'une surintensité. L'instant $t=0$ correspond à l'apparition de la surintensité. Le circuit 103 commande l'ouverture de l'interrupteur 121 à l'instant $t=23ms$ et commande la fermeture de l'interrupteur 123 à l'instant $t=25ms$.

Bien que non illustré, le circuit de commande 103 peut ensuite appliquer une commande d'ouverture sur l'interrupteur 123. Cette commande d'ouverture est par exemple réalisée après un temps suffisant pour que l'interrupteur 121 ait pu s'ouvrir et que le courant traversant la borne de sortie 102 soit nul. Cette commande d'ouverture pourra par exemple être décalée d'une durée au moins égale à 5ms par rapport à la commande de fermeture de ce même interrupteur 123, ce décalage étant par exemple de 25 ms. L'ouverture de l'interrupteur 123 permettra de former à nouveau le circuit oscillant après une remise en conduction du dispositif de coupure 1.

30

La figure 7 est un diagramme d'une simulation de différences de potentiel respectives aux bornes du condensateur 131 (courbe en trait plein) et aux bornes du condensateur 132 (courbe en pointillés). La figure 8 est un diagramme d'une simulation du courant au niveau de la borne 102. La figure 9 illustre respectivement le courant à travers l'interrupteur 121 (trait plein) et le courant à travers le limiteur de courant 111 (pointillés).

Lors de l'apparition de la surintensité, la différence de potentiel aux bornes du condensateur 131 suit une rampe avant d'atteindre la valeur V_{nl} . Lors de la fermeture de l'interrupteur 123, les oscillations induites dans le circuit oscillant

permettent l'ouverture de l'interrupteur 121 à courant nul. Dès lors, la différence de potentiel aux bornes du limiteur de courant 111 chute, et le courant au niveau de la borne 102 devient également rapidement nul, le condensateur 132 bloquant le courant continu dans la ligne de conduction secondaire.

5

La figure 3 illustre un troisième mode de réalisation d'un exemple de dispositif de coupure 1 selon l'invention. Dans ce mode de réalisation, la ligne de conduction secondaire inclut un parasurtenseur 112 connecté en parallèle du condensateur 132. Indépendamment du parasurtenseur 112, le dispositif de coupure 1 comporte ici un interrupteur 122 connecté en série avec le condensateur 131. La structure des autres composants du dispositif de coupure 1 de la figure 3 est par ailleurs identique à celle du dispositif de coupure de la figure 1.

Le parasurtenseur 112 permet de limiter l'amplitude de la différence de potentiel aux bornes du condensateur 132 et permet d'absorber l'énergie inductive stockée dans la ligne électrique connectée à la borne 102.

La figure 10 illustre les différences de potentiel respectives aux bornes des condensateurs 131 (trait plein) et 132 (pointillés) en l'absence de parasurtenseur 112.

La figure 11 illustre comparativement les différences de potentiel respectives aux bornes du condensateur 132 en présence d'un parasurtenseur 112 (trait plein) et en l'absence de ce parasurtenseur (pointillés).

La figure 12 illustre comparativement le courant au niveau de la borne 102 en présence d'un parasurtenseur (trait plein) et en l'absence de ce parasurtenseur (pointillés).

La figure 13 illustre comparativement le courant traversant le condensateur 132 en présence d'un parasurtenseur 112 (trait plein) et en l'absence de ce parasurtenseur (pointillés).

La figure 14 illustre un quatrième mode de réalisation d'un exemple de dispositif de coupure 1 selon l'invention. Ce mode de réalisation diffère structurellement du deuxième mode de réalisation par la suppression de l'interrupteur 122 en série avec le condensateur 131 et par l'inclusion d'un interrupteur commandé 126 connecté entre d'une part la borne 101, et d'autre part un nœud de connexion entre la ligne de conduction secondaire et le condensateur 131. Le circuit oscillant inclut ici les condensateurs 131 et 132 et l'inductance 133.

La logique de commande des interrupteurs commandés est identique à celle du deuxième mode de réalisation. L'interrupteur 126 est maintenu fermé dans les premier et deuxième modes de fonctionnement.

- 5 La figure 15 illustre un cinquième mode de réalisation d'un exemple de dispositif de coupure selon l'invention. Ce mode de réalisation diffère structurellement du quatrième mode de réalisation par une connexion directe entre l'interrupteur 123 et l'inductance 133 en remplacement du condensateur 132. Le circuit oscillant inclut ici le condensateur 131 et l'inductance 133.
- 10 La logique de commande des interrupteurs commandés est identique à celle du deuxième mode de réalisation. L'interrupteur 126 est maintenu fermé dans le premier mode de fonctionnement. Une commande d'ouverture de l'interrupteur 126 est appliquée dans le deuxième mode de fonctionnement. L'interrupteur 126 ouvert permet de couper le courant continu dans la branche de
- 15 conduction secondaire. La commande d'ouverture de l'interrupteur 126 peut précéder la commande de fermeture de l'interrupteur 123.

- La plupart des surintensités sont transitoires et ne sont pas liées à un court-circuit permanent. Par conséquent, le dispositif de coupure 1 est
- 20 avantageusement configuré pour mettre en œuvre un cycle de type OFO, l'ouverture de l'interrupteur 121 dans le deuxième mode de fonctionnement étant suivie d'une décharge du condensateur 132 et d'une tentative de fermeture de cet interrupteur 121 pour déterminer si le défaut est persistant, puis d'une nouvelle ouverture de cet interrupteur 121 si on a déterminé que le défaut est effectivement
- 25 persistant.

- Dans les différents modes de réalisation illustrés, on peut envisager de connecter un autre limiteur de courant (non illustré) en série entre les bornes 101 et 102. Un tel limiteur de courant pourra être de type inductif et permettra de
- 30 modifier le dimensionnement des différents interrupteurs du dispositif de coupure de courant 1. Un tel limiteur de courant s'avère en particulier avantageux en combinaison avec le cinquième mode de réalisation.

- Dans les différents modes de réalisation, on peut envisager de disposer un
- 35 parasurtenseur en parallèle aux bornes de l'interrupteur 121.

REVENDICATIONS

1. Dispositif de coupure de courant (1) pour courant continu haute tension, caractérisé en ce qu'il comprend :
 - 5 -des première et deuxième bornes (101, 102) ;
 - une ligne de conduction principale (141) et une ligne de conduction secondaire (142) étant connectées en parallèle entre les première et deuxième bornes;
 - la ligne de conduction principale (141) comprenant un premier interrupteur commandé (121) et connecté en série avec un circuit incluant, connectés en parallèle, un premier condensateur (131) et un limiteur de courant (111) configuré pour maintenir le courant le traversant à un niveau inférieur ou égal à un courant de limitation;
 - 10 -la ligne de conduction secondaire (142) comprenant un deuxième interrupteur commandé (123), les lignes de conduction principale et secondaire formant un circuit oscillant aux bornes du premier interrupteur commandé lorsque les premier et deuxième interrupteurs commandés sont fermés, avec une amplitude d'oscillation au moins égale au courant de limitation du limiteur de courant lorsque ce circuit limiteur de courant est traversé par ledit courant de limitation ;
 - 15 -un circuit de commande (103) présentant un premier mode de fonctionnement dans lequel il est configuré pour maintenir le premier interrupteur (121) fermé et pour maintenir le deuxième interrupteur ouvert (123), et un deuxième mode de fonctionnement dans lequel il est configuré pour maintenir une commande d'ouverture du premier interrupteur (121) et maintenir une commande de fermeture du deuxième interrupteur (123).
 - 20
 - 25
 2. Dispositif de coupure de courant (1) selon la revendication 1, dans lequel ledit limiteur de courant (111) est du type résistance supraconductrice. - 30
3. Dispositif de coupure de courant (1) selon la revendication 1 ou 2, dans lequel ladite ligne de conduction secondaire comprend un deuxième condensateur connecté en série avec ledit deuxième interrupteur commandé.
 - 35
4. Dispositif de coupure de courant (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la fréquence de résonance dudit circuit oscillant formé est inférieure ou égale à 5 kHz et/ou la dérivée du courant dans le circuit oscillant par rapport au temps est au plus égale à 500A/μs.
 - 40
5. Dispositif de coupure de courant (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la fréquence de résonance dudit circuit oscillant formé est supérieure ou égale à 500 Hz.

- 5 6. Dispositif de coupure de courant (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la ligne de conduction secondaire comprend une inductance (133) connectée en série avec ledit deuxième interrupteur (123).
- 10 7. Dispositif de coupure de courant (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel ledit circuit de commande (103) est configuré pour détecter une surintensité dans le premier mode de fonctionnement et configuré pour générer un signal d'ouverture du premier interrupteur (121) au plus 50 ms après ladite détection de la surintensité.
- 15 8. Dispositif de coupure de courant (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel ledit circuit de commande (103) dans le deuxième mode de fonctionnement est configuré pour générer un signal d'ouverture du premier interrupteur (121) et configuré pour générer un signal de fermeture du deuxième interrupteur (123) au moins 500 μ s après la génération du signal d'ouverture du premier interrupteur (121).
- 20 9. Dispositif de coupure de courant (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel un parasurtenseur (112) est connecté en parallèle du deuxième condensateur (132).
- 25 10. Dispositif de coupure de courant (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dimensionné pour l'application d'une différence de potentiel au moins égale à 10 kV et d'un courant au moins égal à 1kA entre les première et deuxième bornes.

1/6

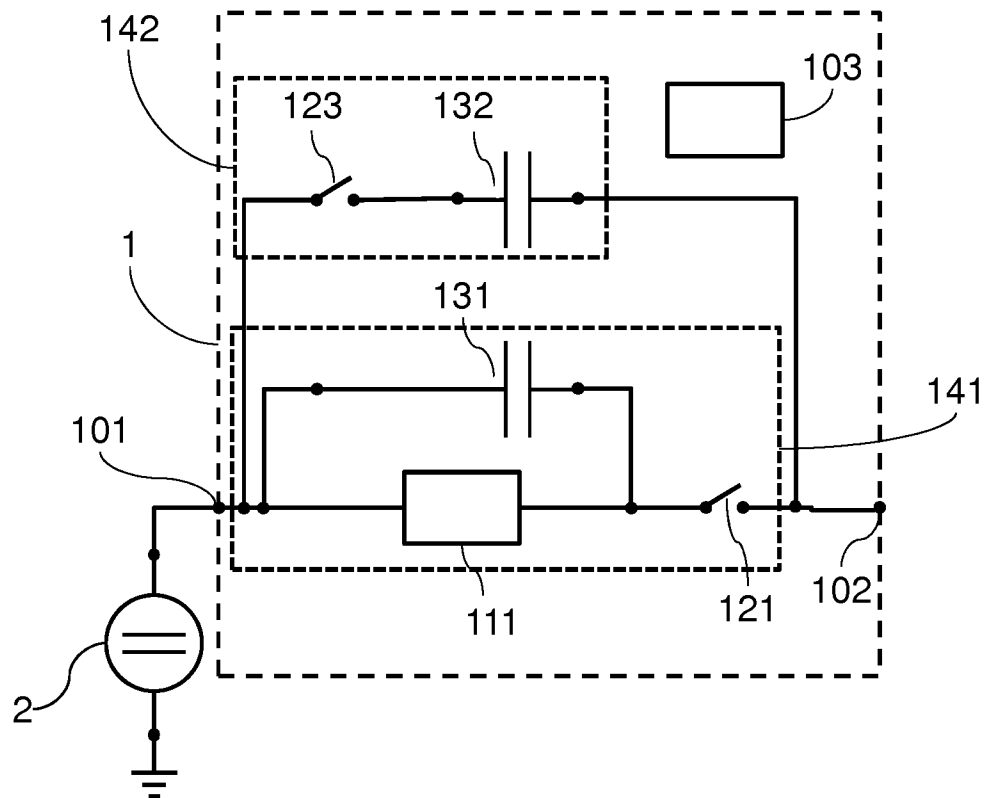


Fig. 1

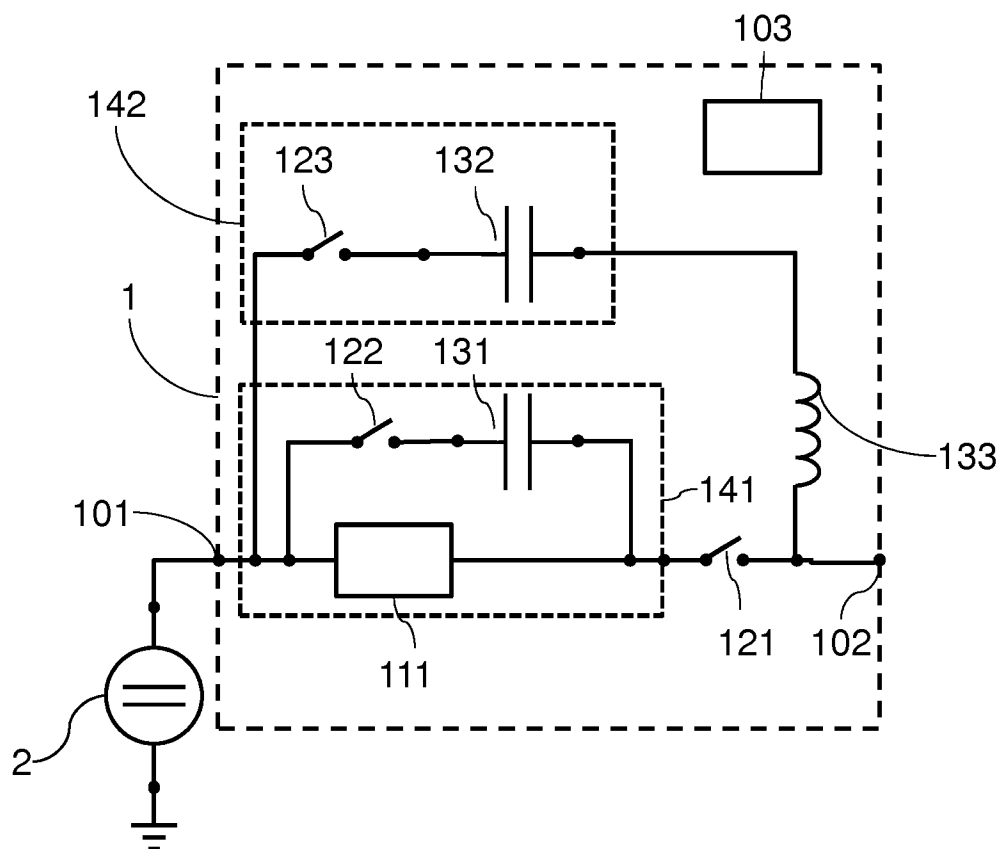


Fig. 2

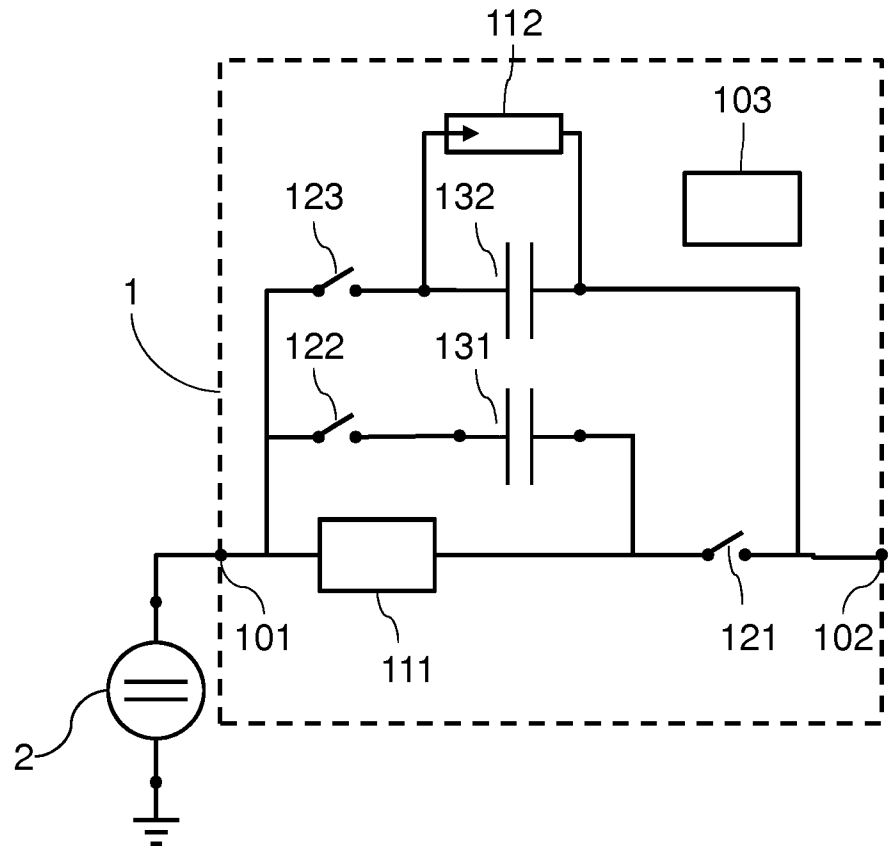


Fig. 3

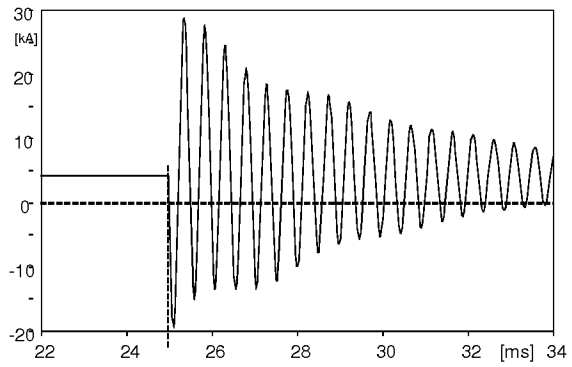


Fig. 4

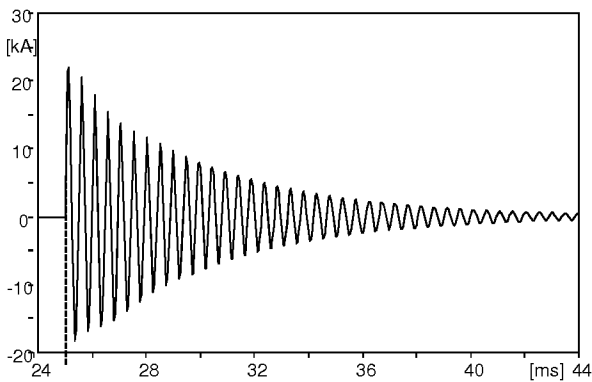


Fig. 5

3/6

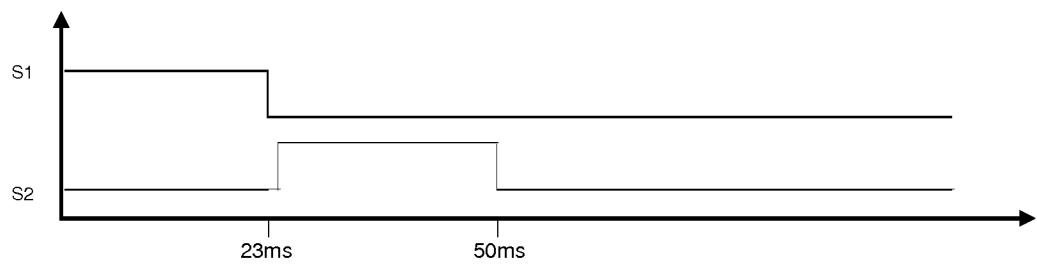


Fig. 6

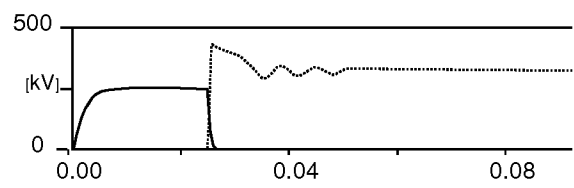


Fig. 7

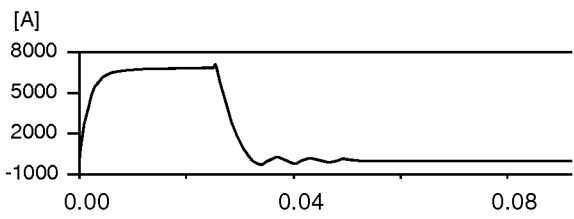


Fig. 8

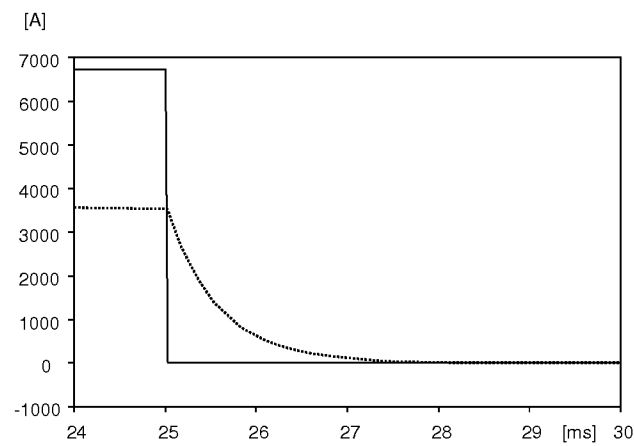


Fig. 9

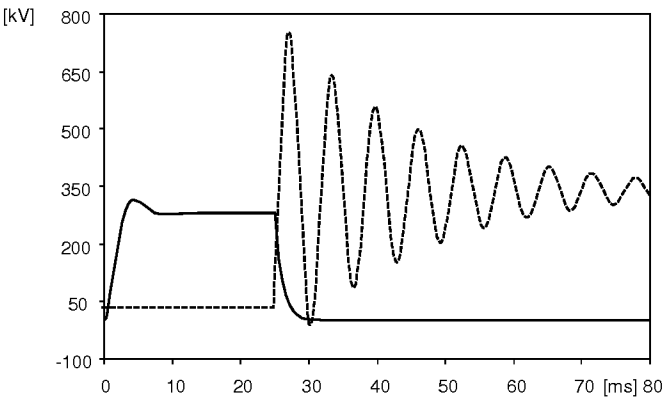


Fig. 10

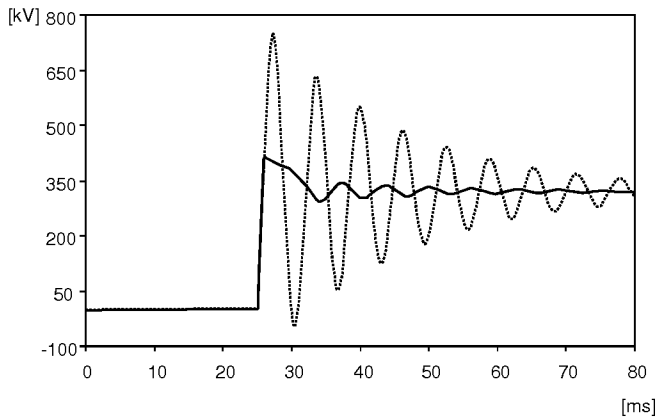


Fig. 11

5/6

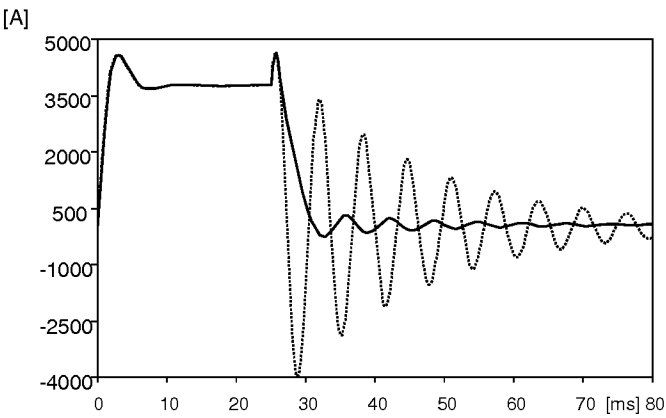


Fig. 12

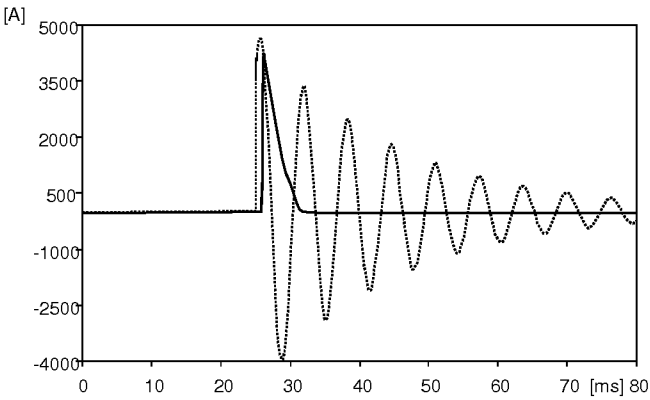


Fig. 13

6/6

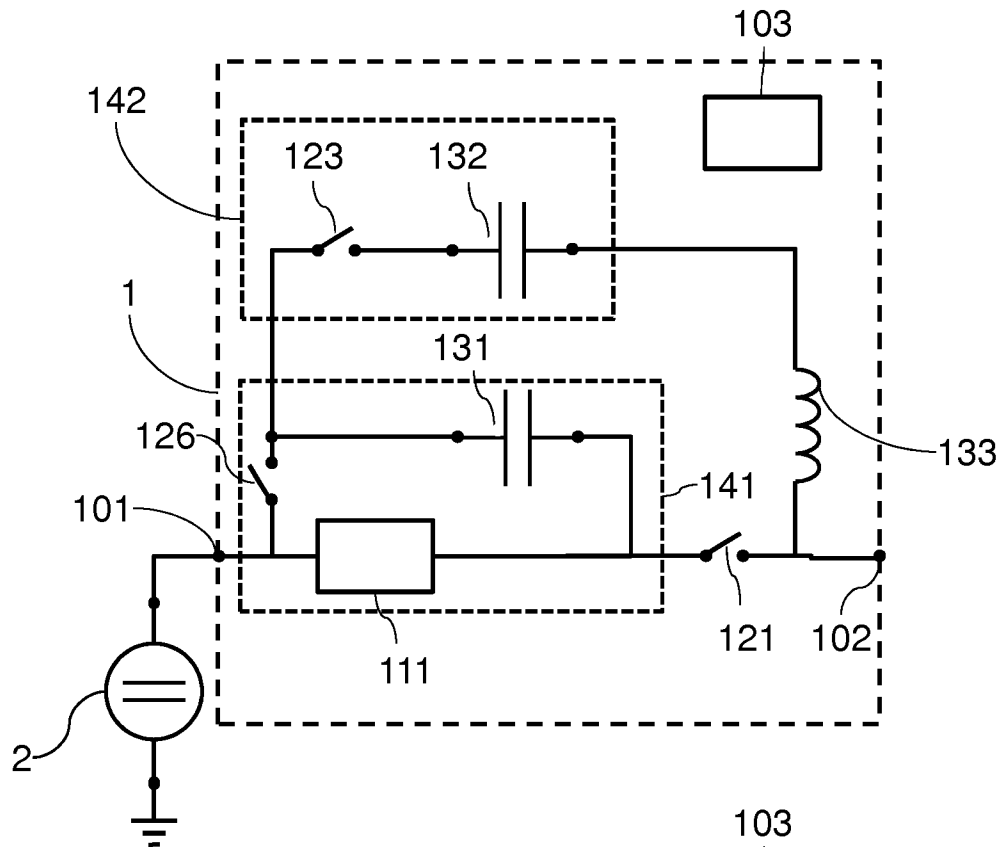


Fig. 14

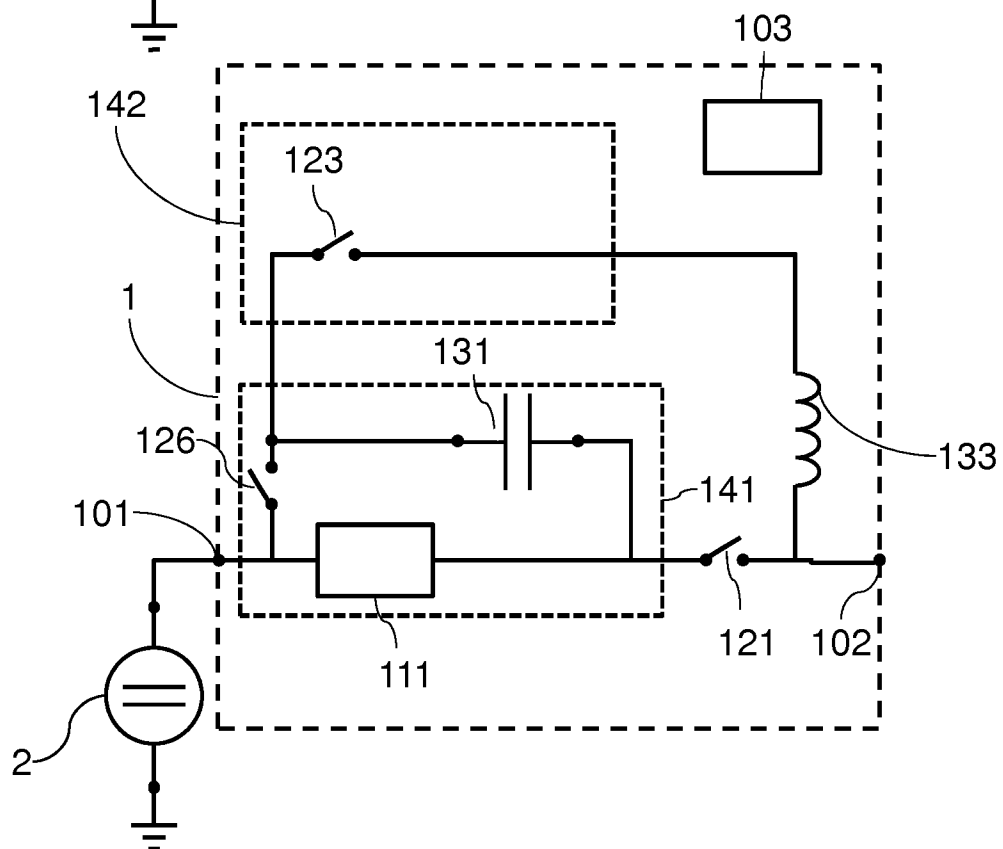


Fig. 15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/FR2015/053299

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. H01H33/59

ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01H

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)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 431 510 A1 (ALSTHOM GEC [FR]) 12 June 1991 (1991-06-12) column 2, line 44 - column 5, line 3; figure 1 -----	1
A	EP 0 384 346 A1 (ALSTHOM GEC [FR]) 29 August 1990 (1990-08-29) claims; figure 1 -----	1
A	BONIN V E ET AL: "A METHOD OF CURRENT INTERRUPTION IN HVDC NETWORKS BY MEANS OF AC CIRCUIT-BREAKERS WITH ADAPTED ARC CHARACTERISTICS AND ENERGY ABSORBERS", INTERNATIONAL CONFERENCE ON LARGE ELECTRIC SYSTEMS AT HIGHTENSION, XX, XX, vol. 1, 24 August 1970 (1970-08-24), pages 1-15, XP000764894, pages 10-12 -----	1



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"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)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"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

"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

"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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

5 February 2016

Date of mailing of the international search report

25/02/2016

Name and mailing address of the ISA/

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

Authorized officer

Findeli, Luc

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2015/053299

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0431510	A1	12-06-1991	BR 9006237 A 24-09-1991
		CA 2031832 A1 09-06-1991	
		CN 1052393 A 19-06-1991	
		EP 0431510 A1 12-06-1991	
		FR 2655767 A1 14-06-1991	
		JP H06181027 A 28-06-1994	
		US 5121281 A 09-06-1992	

EP 0384346	A1	29-08-1990	EP 0384346 A1 29-08-1990
		FR 2643743 A1 31-08-1990	
		JP H02260343 A 23-10-1990	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2015/053299

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. H01H33/59
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)
H01H

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

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	EP 0 431 510 A1 (ALSTHOM GEC [FR]) 12 juin 1991 (1991-06-12) colonne 2, ligne 44 - colonne 5, ligne 3; figure 1	1
A	EP 0 384 346 A1 (ALSTHOM GEC [FR]) 29 août 1990 (1990-08-29) revendications; figure 1	1
A	BONIN V E ET AL: "A METHOD OF CURRENT INTERRUPTION IN HVDC NETWORKS BY MEANS OF AC CIRCUIT-BREAKERS WITH ADAPTED ARC CHARACTERISTICS AND ENERGY ABSORBERS", INTERNATIONAL CONFERENCE ON LARGE ELECTRIC SYSTEMS AT HIGHTENSION, XX, XX, vol. 1, 24 août 1970 (1970-08-24), pages 1-15, XP000764894, pages 10-12	1



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

5 février 2016

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

25/02/2016

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

Findeli, Luc

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2015/053299

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0431510	A1	12-06-1991	BR 9006237 A	24-09-1991
			CA 2031832 A1	09-06-1991
			CN 1052393 A	19-06-1991
			EP 0431510 A1	12-06-1991
			FR 2655767 A1	14-06-1991
			JP H06181027 A	28-06-1994
			US 5121281 A	09-06-1992

EP 0384346	A1	29-08-1990	EP 0384346 A1	29-08-1990
			FR 2643743 A1	31-08-1990
			JP H02260343 A	23-10-1990
