

(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 2020/136340 A1**

(43) Date de la publication internationale  
02 juillet 2020 (02.07.2020)

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

(72) Inventeur : YANG, Yang ; 201 Cours Emile Zola, 69100  
VILLEURBANNE (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2019/053271

(74) Mandataire : PUTET, Gilles et al. ; Cabinet Beau de Lo-  
ménie, 51 Avenue Jean Jaurès, BP 7073, 69301 LYON CE-  
DEX 07 (FR).

(22) Date de dépôt international :  
20 décembre 2019 (20.12.2019)

(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,

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

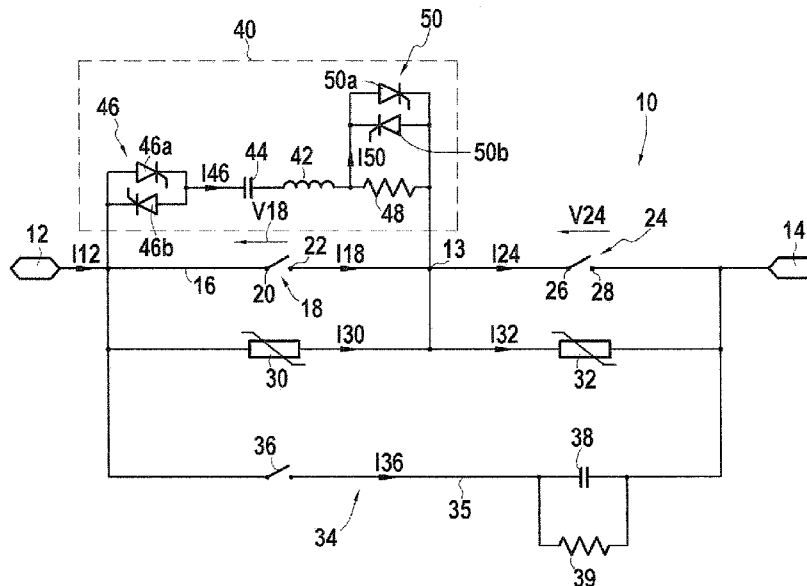
(30) Données relatives à la priorité :  
1874216 27 décembre 2018 (27.12.2018) FR

(71) Déposant : SUPERGRID INSTITUTE [FR/FR] ; 23 rue  
Cyprian, 69100 VILLEURBANNE (FR).

(54) Title: CURRENT BREAKER DEVICE FOR HIGH-VOLTAGE DIRECT CURRENT WITH CAPACITIVE BUFFER CIRCUIT, AND CONTROL METHOD

(54) Titre : DISPOSITIF DE COUPURE DE COURANT POUR COURANT CONTINU HAUTE TENSION AVEC CIRCUIT CAPACITIF TAMPON ET PROCÉDÉ DE PILOTAGE

[Fig. 1]



(57) Abstract: The invention relates to a high-voltage direct current breaker device, comprising: - a primary mechanical switch (18) and a secondary mechanical switch (24) placed successively between a primary point and a secondary point but either side of an intermediate point (13), - a primary surge arrester (30) arranged parallel with the primary switch, - a secondary surge arrester (32) arranged electrically parallel with the secondary switch, characterised in that the secondary surge arrester is arranged electrically between the intermediate point and the secondary point, and in that the device (10) comprises a capacitive buffer circuit (34) electrically parallel with the assembly formed by the primary switch and the secondary switch, and electrically parallel with the assembly formed by the primary surge arrester



WO 2020/136340 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))

---

and the secondary surge arrester, wherein the capacitive buffer circuit comprises an activation switch (36) and a buffer capacitor (38).

**(57) Abrégé :** L'invention concerne un dispositif de coupure de courant continu haute tension, comportant : - un interrupteur primaire (18), mécanique, et un interrupteur secondaire (24), mécanique, interposés successivement entre un point primaire et un point secondaire mais de part et d'autre d'un point intermédiaire (13), - un parasurtenseur primaire (30) agencé en parallèle de l'interrupteur primaire, - un parasurtenseur secondaire (32) agencé électriquement en parallèle de l'interrupteur secondaire, caractérisé en ce que le parasurtenseur secondaire est agencé électriquement entre le point intermédiaire et le point secondaire, et en ce que le dispositif (10) comporte, un circuit capacitif tampon (34), électriquement en parallèle de l'ensemble formé par l'interrupteur primaire et l'interrupteur secondaire, et électriquement en parallèle de l'ensemble formé par le parasurtenseur primaire et le parasurtenseur secondaire, le circuit capacitif tampon comportant un interrupteur d'activation (36) et une capacité tampon (38).

## **DISPOSITIF DE COUPURE DE COURANT POUR COURANT CONTINU HAUTE TENSION AVEC CIRCUIT CAPACITIF TAMPON ET PROCÉDÉ DE PILOTAGE**

### **Domaine Technique**

[0001] L'invention concerne le domaine des réseaux de transmission et / ou de distribution de courant électrique continu sous haute tension, 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.

[0002] Les réseaux HVDC sont notamment envisagés comme une solution à l'interconnexion de sites de production d'électricité disparates ou non synchrones. 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 typiquement des niveaux de tension de l'ordre de 100 kV et plus.

[0003] Dans le présent texte, on considère comme haute tension, pour un courant continu, un dispositif dans lequel la tension de service nominale est supérieure à 1500 V en courant continu. Une telle haute tension est, de manière complémentaire, qualifiée également de très haute tension lorsqu'elle est supérieure à 75 000 V (75kV) en courant continu. Bien entendu, le domaine de la haute tension inclue le domaine de la très haute tension.

[0004] La coupure du courant continu dans de tels réseaux est un enjeu crucial conditionnant directement la faisabilité et le développement de tels réseaux.

[0005] On connaît des appareils de coupure de type disjoncteur mécanique pour réaliser la coupure de courant alternatif, 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 et électrique lorsque l'élément interrupteur est fermé et qui se séparent mécaniquement lorsque l'élément interrupteur est ouvert. Ces disjoncteurs mécaniques présentent plusieurs inconvénients lorsqu'ils sont traversés par des courants importants.

[0006] En présence d'un courant et / ou d'une tension importante, la séparation mécanique peut se traduire par l'établissement d'un arc électrique entre les deux pièces conductrices, du fait des énergies importantes accumulées dans le réseau que l'appareil protège. Tant que l'arc électrique reste établi au travers de la séparation mécanique, l'appareil de coupure ne réalise pas la coupure électrique puisqu'un courant continue de circuler au travers de l'appareil par la présence de l'arc. La coupure électrique, au sens de l'interruption effective de la circulation du courant électrique, est parfois particulièrement difficile à réaliser dans un contexte de courant continu et de tension élevée, ces conditions tendant à entretenir l'arc électrique. Par ailleurs, 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. Cela nécessite des opérations de maintenance de l'appareil de coupure qui sont contraignantes et coûteuses.

[0007] Les courants de défauts en réseau HVDC sont particulièrement violents et destructeurs. Lorsqu'un défaut générant un fort courant apparaît, il est nécessaire de le couper rapidement ou éventuellement de le limiter en attendant que la coupure soit possible. De plus, la coupure des courants HVDC est plus complexe à réaliser que celle des courants alternatifs (AC). En effet, lors de la coupure d'un courant alternatif, on profite d'un passage par zéro du courant pour réaliser la coupure, ce qui n'est pas le cas avec un courant continu, notamment HVDC.

### **Technique antérieure**

[0008] Diverses solutions ont été proposées pour faciliter la coupure de courant dans une ligne HVDC. On peut par exemple citer les documents DE-10.2011.083514, WO-2015/078525, WO-2015/166600, US-2017/0178844, ou DE-2136865.

[0009] Certaines solutions font appel à de nombreux composants actifs de commutation à semi-conducteurs, principalement des thyristors et des IGBT. Or, ces composants ont un rapport prix / puissance élevé. Une utilisation excessive de tels commutateurs à semi-conducteurs augmente le coût de la solution.

[0010] Le document WO-2015/185096 décrit un dispositif de coupure de courant pour courant continu haute tension. Ce dispositif comprend un interrupteur primaire, mécanique, et un interrupteur secondaire, mécanique, interposés successivement dans la ligne principale entre le point primaire et le point secondaire mais de part et d'autre d'un point intermédiaire de la ligne principale, les deux interrupteurs mécaniques étant commandés chacun entre un état ouvert et un état fermé. Le dispositif comprend un parasurtenseur primaire agencé en parallèle de l'interrupteur primaire entre le point primaire et le point intermédiaire. Il comprend de plus un parasurtenseur secondaire agencé électriquement en parallèle de l'ensemble formé par l'interrupteur primaire et l'interrupteur secondaire. Ce dispositif comporte par ailleurs un condensateur primaire en parallèle de l'interrupteur primaire, un condensateur secondaire en parallèle de l'interrupteur secondaire, et un condensateur tertiaire agencé électriquement en parallèle de l'ensemble formé par l'interrupteur primaire et l'interrupteur secondaire. Ces condensateurs ont pour rôle d'équilibrer les tensions aux bornes des parasurtenseurs et, par conséquent, aux bornes des deux interrupteurs. Ce dispositif comporte par ailleurs un circuit d'oscillation de type LC agencé électriquement en parallèle de l'ensemble formé par l'interrupteur primaire et l'interrupteur secondaire. Ce circuit d'oscillation est susceptible de générer un contre-courant dans la ligne principale de manière à créer un passage par zéro du courant dans la ligne principale, donc au travers de deux interrupteurs. On note cependant que le calibrage du courant d'oscillation est complexe car il doit assurer un passage par zéro dans des conditions qui doivent simultanément permettre l'extinction de l'arc dans les deux interrupteurs. Si cela est possible pour des valeurs d'intensité de courant de défaut prédéterminées, cela devient très complexe pour des obtenir le résultat voulu pour des valeurs disparates d'intensité de courant de défaut.

[0011] Le dispositif illustré à la Figure 9 du document US4442469 comporte trois interrupteurs en série dans la ligne principale. En ouvrant les trois (41a, 41b et 42), on crée un arc entre les contacts de chaque interrupteur. L'interrupteur 42 interrompt d'abord le courant à l'aide du condensateur 5 et de l'impédance négative caractéristique de l'arc. En déclenchant ensuite l'intervalle de décharge 8, on crée un contre-courant et un passage par zéro dans le ou les interrupteurs

41a et 41b pour terminer l'interruption de courant dans ces interrupteurs 41a et 41b. Une résistance 14 et un condensateur 15 sont utilisés pour équilibrer la tension entre deux interrupteurs 41a et 41b. Cette solution étant basée sur la tension de l'arc d'interrupteur pour créer un passage par zéro du courant dans le premier interrupteur 42, il est très difficile d'interrompre un courant de défaut élevé. L'interruption de courant avec cette technique est limitée aux courants inférieurs à 8 kA.

[0012] Dans le dispositif du document US3758790, il est prévu d'ouvrir un interrupteur S1 pour créer un arc entre ses contacts, puis de fermer un interrupteur HS pour commuter le courant sur un circuit d'oscillation LC1 afin de générer un passage par zéro du courant dans S1 pour terminer l'ouverture de S1. Le courant commute sur la résistance R1 et diminue. On ouvre alors S2 et on active l'éclateur FS pour commuter le courant résiduel sur la branche C2R2. Cela crée alors un passage à zéro de courant dans S2 et le commutateur S2 termine l'interruption de courant. Avec cette solution, il est difficile d'interrompre un courant de forte intensité. De plus, cette solution nécessite que les commutateurs principaux S1 et S2 présentent tous les deux une tension de maintien supérieure à la tension du réseau. De plus, aucune limitation de surtension n'est prévue dans cette conception.

[0013] Les documents WO-2015/103857, EP-3.091.626, CN-103.296.636 et WO-2012/100831 décrivent tous des circuits d'oscillation qui associent, en série, une capacité et un composant inductif dédié, le circuit étant destiné à créer un courant oscillatoire pour imposer un passage par zéro du courant dans l'interrupteur. Comme indiqué plus haut, ces circuits nécessitent impérativement que, à l'état initial, c'est-à-dire avant leur activation, la capacité soit pré-chargée. En effet, c'est la charge de cette capacité qui est utilisée pour créer le courant oscillant susceptible de s'opposer au courant circulant dans l'interrupteur. De même, dans ces circuits, la présence d'un composant inductif dédié est nécessaire pour créer l'oscillation du courant et pour limiter la vitesse de variation du courant dans le circuit d'oscillation.

[0014] En résumé, selon l'art antérieur, on ne trouve pas de solution ayant une capacité d'interruption de courant supérieure à 10 kiloampères (kA) avec une taille et un coût raisonnables. L'invention vise à proposer des solutions qui ont

une capacité d'interruption de courant pouvant couper des courants de l'ordre de plusieurs dizaines de kiloampères, par exemple de 20 kiloampères, avec une taille et un coût raisonnables.

### **Exposé de l'invention**

[0015] L'invention propose donc un dispositif de coupure de courant pour courant électrique continu haute tension, du type comportant :

- une ligne principale entre un point primaire et un point secondaire,
- un interrupteur primaire, mécanique, et un interrupteur secondaire, mécanique, interposés successivement dans la ligne principale entre le point primaire et le point secondaire mais de part et d'autre d'un point intermédiaire de la ligne principale, les deux interrupteurs mécaniques étant commandés chacun entre un état ouvert et un état fermé,
- un parasurtenseur primaire agencé en parallèle de l'interrupteur primaire entre le point primaire et le point intermédiaire,
- un parasurtenseur secondaire agencé électriquement en parallèle de l'interrupteur secondaire.

[0016] Le dispositif est caractérisé en ce que le parasurtenseur secondaire est agencé électriquement entre le point intermédiaire et le point secondaire, et en ce que le dispositif comporte, entre le point primaire et le point secondaire, un circuit capacitif tampon, électriquement en parallèle de l'ensemble formé par l'interrupteur primaire et l'interrupteur secondaire, et électriquement en parallèle de l'ensemble formé par le parasurtenseur primaire et le parasurtenseur secondaire, le circuit capacitif tampon comportant un interrupteur d'activation et une capacité tampon.

[0017] Un dispositif selon l'invention peut comprendre d'autres caractéristiques optionnelles de l'invention, prises seules ou en combinaison.

[0018] Le circuit capacitif tampon ne comporte de préférence pas de composant inductif dédié.

- [0019] L'interrupteur d'activation et la capacité tampon peuvent être agencés électriquement en série dans une ligne du circuit capacitif tampon allant du point primaire au point secondaire.
- [0020] Le circuit capacitif tampon peut comporter un circuit de décharge de la capacité tampon.
- [0021] Le circuit capacitif tampon peut comporter un parasurtenseur tertiaire agencé en parallèle de l'interrupteur d'activation, par exemple directement aux bornes de l'interrupteur d'activation.
- [0022] Le dispositif peut comporter un circuit d'oscillation agencé électriquement en parallèle de l'interrupteur primaire entre le point primaire et le point intermédiaire, le circuit d'oscillation étant apte à générer un passage par zéro du courant au travers de l'interrupteur primaire.
- [0023] Le circuit d'oscillation peut comporter au moins une inductance, une capacité et un enclencheur d'oscillation électriquement en série dans le circuit d'oscillation.
- [0024] Le dispositif peut comporter, dans le circuit d'oscillation, au moins une résistance d'amortissement électriquement en série avec l'inductance, la capacité et l'enclencheur d'oscillation du circuit d'oscillation, et un dispositif pilotable permettant de varier la valeur de résistance insérée en série dans le circuit d'oscillation.
- [0025] Le dispositif peut comporter au moins un interrupteur de by-pass de la résistance d'amortissement, l'interrupteur de by-pass étant susceptible de basculer entre un état ouvert et un état fermé, et la résistance d'amortissement et l'interrupteur de by-pass étant agencés de telle sorte que, dans un état de l'interrupteur de by-pass, la résistance d'amortissement est insérée électriquement en série dans le circuit d'oscillation avec l'inductance, la capacité et l'enclencheur d'oscillation du circuit d'oscillation, tandis que, dans l'autre état de l'interrupteur de by-pass, la résistance d'amortissement est court-circuitée par rapport au circuit d'oscillation.
- [0026] Le circuit d'oscillation peut comporter au moins une résistance permanente, insérée de manière permanente dans le circuit d'oscillation, électriquement en

série avec l'inductance, la capacité et l'enclencheur d'oscillation du circuit d'oscillation.

[0027] Le circuit d'oscillation peut comporter plusieurs résistances d'amortissement associées chacune à un interrupteur distinct de by-pass de la résistance d'amortissement, chaque interrupteur de by-pass étant susceptible de basculer entre un état ouvert et un état fermé, une résistance d'amortissement et l'interrupteur de by-pass associé étant agencés de telle sorte que, dans un état de l'interrupteur de by-pass, la résistance d'amortissement associée à l'interrupteur est insérée électriquement en série dans le circuit d'oscillation avec l'inductance, la capacité et l'enclencheur d'oscillation du circuit d'oscillation, tandis que, dans l'autre état de l'interrupteur de by-pass, la résistance d'amortissement associée à l'interrupteur est court-circuitée par rapport au circuit d'oscillation.

[0028] L'interrupteur primaire peut être ou comporter au moins un interrupteur à vide.

[0029] L'interrupteur secondaire peut être ou comporter au moins un interrupteur à gaz isolant. En alternative, l'interrupteur secondaire peut être ou comporter au moins un interrupteur à vide.

[0030] Dans un mode de réalisation, le dispositif est caractérisé en ce que le parasurtenseur secondaire est agencé électriquement entre le point intermédiaire et le point secondaire, et en ce que le dispositif comporte, entre le point primaire et le point secondaire, un circuit capacitif tampon, électriquement en parallèle de l'ensemble formé par l'interrupteur primaire et l'interrupteur secondaire, et électriquement en parallèle de l'ensemble formé par le parasurtenseur primaire et le parasurtenseur secondaire, le circuit capacitif tampon comportant un interrupteur d'activation, une capacité tampon, et un circuit de décharge de la capacité tampon, et le circuit capacitif tampon ne comporte pas de composant inductif dédié.

[0031] L'invention concerne par ailleurs un procédé de pilotage d'un dispositif de coupure tel que décrit ci-dessus, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes :

- d'ouvrir mécaniquement l'interrupteur primaire et l'interrupteur secondaire ;
- de couper le courant dans l'interrupteur primaire ouvert pour provoquer l'apparition, aux bornes de l'interrupteur primaire, d'une tension supérieure à la

tension de transition du parasurtenseur primaire propre à le faire basculer dans un mode de conduction de courant ;

- de basculer l'interrupteur d'activation pour permettre, dans le circuit capacitif tampon, le passage d'un courant propre à charger la capacité tampon et à délester le courant dans l'interrupteur secondaire.

[0032] Ce procédé peut de plus comporter les étapes de :

- fermer mécaniquement l'interrupteur primaire;
- déterminer un ou plusieurs paramètres du courant au travers du dispositif ou la tension phase-terre, et, en fonction des paramètres du courant au travers du dispositif ou de la tension phase-terre, provoquer une réouverture immédiate du dispositif ;
- fermer mécaniquement l'interrupteur secondaire si il n'y a pas eu de réouverture immédiate du dispositif.

[0033] Un tel procédé peut de plus comporter la détermination d'une valeur d'intensité d'un courant à couper au travers du dispositif, et la détermination, en fonction de la valeur déterminée d'intensité de courant de défaut, de l'état dans lequel l'au moins un interrupteur de by-pass doit être basculé.

[0034] Dans certains procédés selon l'invention certains au moins des interrupteurs de by-pass du circuit d'oscillation peuvent être basculés avec un décalage de temps l'un par rapport à l'autre.

[0035] Dans certains procédés selon l'invention, à l'état initial au basculement de l'interrupteur d'activation pour permettre le passage, dans le circuit capacitif tampon, d'un courant propre à charger la capacité tampon, la capacité tampon est déchargée.

### **Brève description des dessins**

[0036] [Fig. 1] La **figure 1** est une vue schématique d'un premier mode de réalisation d'un dispositif de coupure selon l'invention.

[0037] [Fig. 2] La **figure 2** est une vue schématique d'un deuxième mode de réalisation d'un dispositif de coupure selon l'invention

[0038] [Fig. 3] La **figure 3** est un graphe illustrant de manière schématique les variations de certaines des grandeurs caractéristiques du fonctionnement d'un dispositif selon le premier mode de réalisation de l'invention, lors d'un processus d'ouverture.

[0039] [Fig. 4] La **figure 4** est une vue schématique d'une variante de réalisation d'un circuit d'oscillation susceptible d'être mis en œuvre dans un dispositif de coupure selon l'invention.

### **Description des modes de réalisation**

[0040] La **Figure 1** est une représentation schématique d'un premier mode de réalisation d'un dispositif de coupure **10** selon l'invention, pour un courant continu à haute tension, voire à très haute tension.

[0041] Comme on peut le voir sur la **Figure 1**, le dispositif de coupure de courant **10** comporte un point primaire, qui peut être une première borne **12**, et un point secondaire, qui peut être une deuxième borne **14**. Ce point primaire **12** et ce point secondaire **14**, ou bornes, forment des entrées / sorties pour le courant dans le dispositif **10**. Chacun de ces points peut correspondre à une borne physique du dispositif **10**, par exemple une borne de raccordement physique, ou une borne virtuelle du dispositif **10** comme étant un point le long d'un conducteur.

[0042] Le dispositif **10** comporte une ligne principale **16** qui s'étend entre la première borne **12** et la deuxième borne **14** et dans laquelle sont interposés, successivement dans la ligne principale entre le point primaire **12** et le point secondaire **14**, un interrupteur primaire **18**, ayant une première borne **20** et une deuxième borne **22**, et un interrupteur secondaire **24**, ayant lui aussi une première borne **26** et une deuxième borne **28**. La première borne **20** de l'interrupteur primaire **18** est au même potentiel électrique que le point primaire **12**. La deuxième borne **28** de l'interrupteur secondaire **24** est au même potentiel électrique que le point secondaire **14**. La deuxième borne **22** de l'interrupteur primaire **18** et la première borne **26** de l'interrupteur secondaire **24** sont au même potentiel électrique, et au même potentiel électrique qu'un point intermédiaire **13** de la ligne principale **16** qui est agencé entre les deux interrupteurs **18**, **24**. Lorsque l'interrupteur primaire **18** et l'interrupteur secondaire **24** sont dans un

état fermé, laissant passer le courant électrique, ce dernier circule, au travers du dispositif **10**, dans la ligne principale **16**, qui est alors la ligne de plus faible impédance du dispositif **10** entre le point primaire **12** et le point secondaire **14**. L'un ou l'autre de l'interrupteur primaire **18** et l'interrupteur secondaire **24**, ou les deux, peuvent être basculés dans un état ouvert ou dans un état fermé.

[0043] Le dispositif **10** est destiné à être intégré dans une installation électrique. Par exemple, la première borne **12** du dispositif **10** peut être reliée à une portion de d'installation qui peut comprendre une source de haute tension, par exemple supérieure à 100 kilovolts. La deuxième borne **14** peut par exemple être reliée à un circuit consommateur de courant, par exemple une charge électrique ou un réseau électrique. De la sorte, on peut considérer que, dans l'exemple illustré, la première borne **12** est une borne amont, ou d'entrée du courant, tandis que la deuxième borne **14** est une borne aval, ou de sortie du courant, dans le sens de circulation du courant. Ainsi, dans cet exemple, la ligne principale **16** du dispositif serait destinée à être traversée par le courant nominal fourni par la source de tension continue. Cependant, le dispositif **10** selon l'invention est réversible, de sorte que l'on pourrait prévoir une circulation du courant au travers du dispositif selon le sens inverse.

[0044] L'installation électrique est prévue pour fonctionner sous une tension nominale continue, dans le domaine de la haute tension, donc au moins supérieure à 1500 Volts, de préférence dans le domaine de la très haute tension, donc supérieure à 75.000 Volts. L'invention trouvera notamment une application avantageuse pour un dispositif de coupure ayant la capacité de couper un courant allant jusqu'à 3000 ampères, de préférence allant jusqu'à 10 000 ampères, voire jusqu'à 20 000 ampères, sous une tension supérieure d'au moins 100 000 volts (100kV).

[0045] L'interrupteur primaire **18** et l'interrupteur secondaire **24** peuvent être notamment de type disjoncteur, de type sectionneur, de type coupe-circuit, etc.... Dans les exemples plus particuliers décrits plus bas, l'interrupteur primaire **18** et l'interrupteur secondaire **24** sont par exemple chacun formé par un disjoncteur.

[0046] L'interrupteur primaire **18** et l'interrupteur secondaire **24** sont de préférence tous les deux des appareils mécaniques de coupure électrique, dans lesquels la

coupure électrique est obtenue par déplacement, notamment par écartement, de deux contacts électriques ou paires de contacts électriques. Dans les appareils mécaniques, le déplacement des contacts électriques est généralement réalisé par des organes de manœuvre ou actionneurs mécaniques, pneumatiques, hydrauliques ou électriques, éventuellement à travers une cinématique de transfert du mouvement. Ce déplacement peut être contrôlé électroniquement. Comme indiqué plus haut, en présence d'un courant et/ou d'une tension importante, la séparation mécanique des contacts électriques peut se traduire par l'établissement d'un arc électrique entre les deux contacts électriques de l'interrupteur, du fait des énergies importantes accumulées dans le réseau que l'appareil protège. Tant que l'arc électrique reste établi au travers de la séparation mécanique, l'interrupteur ne réalise pas la coupure électrique puisqu'un courant continue de circuler au travers de l'interrupteur par la présence de l'arc. Comme on le verra plus loin, l'invention prévoit des moyens pour assurer la coupure électrique, au sens de l'interruption effective de la circulation du courant électrique.

[0047] L'interrupteur primaire **18** et / ou l'interrupteur secondaire **24** peuvent être constitués chacun par un unique appareil mécanique de coupure électrique, ou peuvent être constitués chacun par plusieurs appareils mécaniques de coupure électrique agencés électriquement en série et / ou en parallèle. Il peut s'agir d'un appareil dit « sous enveloppe métallique » où les moyens d'amené de courant (aussi appelés 'jeu de barre') sont enfermés dans une enceinte étanche emplie d'un fluide isolant. Les appareils sous enveloppe métallique peuvent notamment être conçus de manière plus compacte que les appareils où l'isolation est réalisée dans l'air.

[0048] Un interrupteur mécanique de coupure électrique peut se présenter sous la forme classique comportant notamment deux électrodes qui sont maintenues, par des supports isolants, dans des positions fixes éloignées de la paroi périphérique d'une enceinte qui est au potentiel de la terre. Ces électrodes sont reliées électriquement ou séparées électriquement en fonction de la position d'un organe de connexion mobile faisant partie de l'une des électrodes, par exemple un tube coulissant actionné par une commande. Le tube est généralement porté par une électrode, à laquelle il est relié électriquement, et la séparation du tube

de l'électrode opposée est susceptible de créer un arc électrique qui peut s'allonger lors du mouvement d'ouverture de l'interrupteur au cours duquel le tube s'éloigne de l'électrode opposée. Un interrupteur mécanique de coupure électrique comporte traditionnellement deux couples de contact électriques portés par le tube et les deux électrodes. Le premier couple est celui par lequel passe le courant nominal en position complètement fermée de l'appareil. Ce couple de contact peut être secondé par un second couple de contacts, appelés contact d'arcs ou couple de contacts secondaires. Les deux contacts de ce couple ont vocation à rester en contact franc lors de la séparation du premier couple de façon à minimiser le phénomène d'arc sur le premier et ainsi garantir un bon état de conduction électrique en position complètement fermée. A l'inverse les contacts du couple secondaire se séparent en dernier lieu et voient s'établir l'arc électrique.

[0049] Dans certains modes de réalisation de l'invention, l'interrupteur secondaire **24** est un interrupteur à fluide isolant, ou comporte au moins un interrupteur à fluide isolant, notamment à gaz isolant. Ce type d'interrupteurs est particulièrement adapté à l'interruption de courants sous haute tension, encore plus sous très haute tension. Dans un tel appareil, les organes actifs de coupure, notamment les contacts électriques, sont enfermés dans une enceinte étanche dans laquelle on trouve un fluide isolant qui peut être un gaz, couramment de l'hexafluorure de soufre (SF<sub>6</sub>), mais des liquides ou des huiles peuvent aussi être utilisés. Le fluide isolant peut être un fluide sous pression, par exemple sous une pression supérieure ou égale à 3 bars absolus. Ce fluide est choisi pour son caractère isolant, notamment de manière à présenter une rigidité diélectrique supérieure à celle de l'air sec à pression équivalente.

[0050] Dans certains modes de réalisation, l'interrupteur primaire **18** est un interrupteur sous vide, ou comporte au moins un interrupteur sous vide, où les organes actifs de coupure, notamment les contacts électriques, sont enfermés dans une enceinte étanche dans laquelle la pression est inférieure à la pression atmosphérique, notamment inférieure à 100 millibars, notamment inférieure à 10 microbars. Un tel interrupteur présente l'avantage de pouvoir assurer une coupure électrique complète même dans le cas d'un courant qui présente une

forte vitesse de variation d'intensité, c'est pour lesquels la valeur de la dérivée de l'intensité par rapport au temps ( $di/dt$ ) est élevée.

[0051] Ainsi, dans certains modes de réalisation, dont le mode de réalisation qui va être décrit plus en détail plus loin, l'interrupteur primaire **18** est ou comporte un interrupteur sous vide et l'interrupteur secondaire **24** est ou comporte un interrupteur à fluide isolant, notamment à gaz isolant. Cependant, d'autres combinaisons, sont possible, par exemple une combinaison dans laquelle le dispositif comporte un interrupteur primaire et un interrupteur secondaire de même technologie, notamment tous les deux de type interrupteur sous vide.

[0052] Comme on peut le voir sur la **Figure 1**, le dispositif **10** comporte un parasurtenseur primaire **30** agencé en parallèle de l'interrupteur primaire **18** entre le point primaire **12** et le point intermédiaire **13**, donc électriquement en parallèle de l'interrupteur primaire **18**, et un parasurtenseur secondaire **32** agencé électriquement en parallèle de l'interrupteur secondaire **24**, le parasurtenseur secondaire **32** étant donc agencé électriquement entre le point intermédiaire **13** et le point secondaire **14**.

[0053] De tels parasurtenseurs permettent de limiter l'amplitude de la différence de potentiel aux bornes de l'interrupteur en parallèle duquel ils sont agencés. Un parasurtenseur **30**, **32**, ou « voltage surge arrester », est donc un dispositif qui limite les crêtes de tension à ses bornes. Le parasurtenseur **30**, **32** comprend généralement un composant électrique qui présente une résistance variable en fonction de la tension électrique à ses bornes. La variation de la valeur de résistance n'est généralement pas linéaire avec la tension électrique aux bornes du parasurtenseur **30**, **32**. Généralement, en-dessous d'une tension de transition aux bornes du parasurtenseur **30**, **32**, la résistance de celui-ci est importante, avec une décroissance nulle ou relativement faible de sa résistance en fonction de l'augmentation de la tension, et le parasurtenseur ne laisse passer qu'un courant de fuite, de préférence inférieur à 1 ampère (A), voire inférieur à 100 milliampères (mA). Au contraire, au-dessus de la tension de transition aux bornes du parasurtenseur, la résistance de celui-ci décroît rapidement en fonction de l'augmentation de la tension, laquelle atteint une valeur de tension d'écrêtage, ou tension de protection, pour laquelle la résistance du parasurtenseur devient faible, voire très faible. En d'autres termes, le parasurtenseur agit comme un

limiteur de tension à ses bornes sur l'intervalle de courant pour lequel il a été choisi. Il oppose la tension de protection lorsqu'on fait passer le courant le plus élevé pour lequel le parasurtenseur a été dimensionné. En deçà de la tension de transition, il tend à empêcher le passage du courant. Au-delà de la tension de transition, il autorise le passage du courant au travers du parasurtenseur pour une faible augmentation de la tension à ses bornes. De manière connue, la tension de transition n'est généralement pas une valeur précise mais correspond plutôt à une plage de tension de transition. Cependant, dans le présent texte, on prendra comme définition que la tension de transition d'un parasurtenseur est la tension pour laquelle le parasurtenseur laisse passer à son travers un courant de 1 ampère (A). La tension de protection est la tension aux bornes du parasurtenseur lorsqu'il est traversé par le courant le plus important pour lequel il a été dimensionné. Parmi les parasurtenseurs, on connaît notamment les parafoudres, lesquels peuvent notamment comprendre les varistances (ou varistors) et les diodes « TVS » (Transient Voltage Suppressor, telles que les diodes « Transil™ ». Notamment, dans le cadre de l'invention, le parasurtenseur primaire **30** et / ou le parasurtenseur secondaire **32** peuvent comprendre chacun un varistor à oxydes métalliques (ou MOV, signifiant « metal oxyde varistor »).

[0054] Avantageusement, comme dans l'exemple qui est illustré, on peut prévoir que le parasurtenseur primaire **30** soit un parasurtenseur dont la tension de transition est par exemple comprise dans la gamme allant de 10 000 volts (10kV) à 100 000 volts (100 kV). Le parasurtenseur secondaire **32** sera généralement un parasurtenseur dont la tension de transition est supérieure à celle du parasurtenseur primaire **30**. Plus précisément, le parasurtenseur présente de préférence une tension de transition de telle sorte que le rapport de tension de transition entre les parasurtenseurs secondaire **32** et primaire **30** se situe entre 1 et 10.

[0055] La tension de transition du parasurtenseur primaire **30** est de préférence strictement inférieure à la tension nominale de l'installation électrique dans laquelle est inséré le dispositif de coupure **10**. Dans des modes de réalisation particulièrement optimisés, on choisira le parasurtenseur primaire **30** et le parasurtenseur secondaire **32** de telle sorte que la somme de la tension de transition du parasurtenseur primaire **30** avec la tension de transition du

parasurtenseur secondaire **32** est supérieure ou égale à tension nominale de l'installation électrique.

[0056] Ainsi, en choisissant un parasurtenseur primaire **30** dont la tension de protection est une tension inférieure à 200kV, on s'assure que la tension aux bornes de l'interrupteur primaire **18** reste inférieure ou égale à cette tension de protection, ce qui permet d'utiliser un interrupteur dont le coût et l'encombrement sont très inférieurs aux systèmes équivalents en haute tension. On facilite aussi la coupure électrique au niveau de cet interrupteur primaire **18**.

[0057] Le parasurtenseur primaire **30** et / ou le parasurtenseur secondaire **32** peuvent être réalisés chacun sous la forme d'un ensemble de plusieurs composants discrets agencés électriquement en série et / ou en parallèle. Chaque composant discret est par exemple un parafoudre, notamment une varistance, tel qu'un varistor à oxydes métalliques, ou une diode « TVS ». De préférence, l'ensemble de plusieurs composants discrets agencés électriquement en série et / ou en parallèle présente, du point de vue du reste du dispositif le comportement d'une parasurtenseur unique ayant une tension de transition équivalente pour l'ensemble et une tension de protection pour l'ensemble.

[0058] Comme on peut le voir sur les **Figs. 1 et 2**, le dispositif de coupure selon l'invention **10** comporte, entre le point primaire **12** et le point secondaire **14**, un circuit capacitif tampon **34**, sans composant inductif dédié, électriquement en parallèle de l'ensemble formé par l'interrupteur primaire **18** et l'interrupteur secondaire **24**, et électriquement en parallèle de l'ensemble formé par le parasurtenseur primaire **30** et le parasurtenseur secondaire **32**. Ce circuit capacitif tampon **34** comporte un interrupteur d'activation **36** et une capacité tampon **38**. Dans l'exemple illustré, ce circuit comprend donc une ligne électrique **35** dont une extrémité est raccordée électriquement à la ligne principale **16** en un point qui est au même potentiel électrique que le point primaire **12** et que la première borne **20** de l'interrupteur primaire **18**, et dont l'autre extrémité est raccordée électriquement à la ligne principale **16** en un point qui est au même potentiel électrique que le point secondaire **14** et que la deuxième borne **28** de l'interrupteur secondaire **24**. C'est dans cette ligne **35** que sont interposés, électriquement en série, l'interrupteur d'activation **36** et la capacité tampon **38**. La

capacité tampon **38** peut par exemple comprendre ou être formée d'un ou plusieurs condensateurs ayant une capacité électrique totale C38.

[0059] Le circuit capacitif tampon **34** peut présenter, comme tout circuit, une inductance parasite, résultant notamment de la nature même de composants électriques qu'il comprend, et résultant de la géométrie du circuit. Cependant, au sens de l'invention, ce circuit capacitif tampon **34** ne comporte aucun composant inductif dédié, c'est-à-dire aucun composant discret ayant une fonction inductive recherchée, donc aucun composant ayant une inductance supérieure à une inductance parasite, notamment aucune bobine ou aucun noyau ferromagnétique inductif. Le circuit capacitif tampon présente ainsi une inductance très faible, par exemple inférieure à 50 microhenrys ou inférieure à 1 microhenry par tranche de 10 kilovolts de tension nominale du réseau.

[0060] Dans certains modes de réalisation, tels que ceux illustrés aux **Figs. 1 et 2**, le circuit capacitif tampon **34** comporte un circuit de décharge de la capacité tampon **38**. Dans les exemples des **Figs. 1 et 2**, le circuit de décharge est un circuit de décharge passif, ne comportant pas de composant actif. Dans cet exemple, le circuit de décharge comporte une résistance **39** qui est agencée en parallèle de la capacité tampon **38**. De préférence, la résistance **39** présente une valeur de résistance électrique R39 élevée de telle sorte que le dipôle qui est constitué de la capacité tampon **38** et de la résistance **39** agencés en parallèle, et qui est inséré dans la ligne électrique **35**, présente une constante de temps importante par rapport à un délai de coupure électrique dans l'interrupteur secondaire **24**, par exemple une constante de temps supérieure à 50 millisecondes, de préférence supérieure à 100 millisecondes. Dans cet exemple la constante de temps est égale au produit R39 x C38. Un autre type de circuit de décharge, non illustré dans les dessins, peut comporter au moins un composant actif, tel qu'un interrupteur commandé. Ainsi, un circuit de décharge pourrait comprendre un interrupteur commandé qui serait agencé directement en série électriquement avec la résistance **39**, l'ensemble de ces deux composants étant en parallèle de la capacité tampon **38**. Lorsque l'interrupteur commandé serait basculé dans un état fermé laissant passer le courant, il se formerait un circuit de décharge entre les deux armatures du condensateur tampon **38**.

[0061] Les modes de réalisation illustrés aux **Figs. 1** et **2** diffèrent l'un de l'autre uniquement par la présence, dans le circuit capacitif tampon **34** du dispositif de coupure **10** de la **Figure 2**, d'un parasurtenseur tertiaire **37** agencé en parallèle de l'interrupteur d'activation **36**. Ce parasurtenseur tertiaire **37** peut avantageusement être, comme illustré, agencé directement et uniquement aux bornes de l'interrupteur d'activation **36**, au sens qu'il est au contraire agencé, dans la ligne **35** du circuit capacitif tampon **34**, électriquement en série avec la capacité tampon **38**. Le parasurtenseur tertiaire **37** peut être avantageusement dimensionné pour limiter la tension aux bornes de l'interrupteur d'activation **36**. Par exemple, on peut choisir un parasurtenseur dont la tension de protection est dans la gamme allant de 10 000 volts (10kV) à 200 000 volts (200 kV). Ainsi, en choisissant un parasurtenseur tertiaire **37** dont la tension de protection est dans cette gamme de tensions, on s'assure que la tension aux bornes de l'interrupteur d'activation **36** reste dans cette gamme de tensions, ce qui permet d'utiliser un interrupteur dont le coût et l'encombrement sont très inférieurs aux systèmes équivalents à plus haute tension.

[0062] Toutefois, en cas de présence d'un tel parasurtenseur tertiaire **37** dans le circuit capacitif tampon **40**, on veillera de préférence à choisir un parasurtenseur tertiaire dont la tension de transition est supérieure à la tension de protection du parasurtenseur primaire **30**. Cela permettra notamment d'éviter que du courant passe par le parasurtenseur tertiaire **37** avant la fermeture de l'interrupteur d'activation **36**, et donc évitera de charger la capacité tampon **38** avant la fermeture de l'interrupteur d'activation **36**.

[0063] Le rôle et l'avantage de la présence d'un tel circuit tampon **34** apparaîtra notamment de la description du fonctionnement d'un dispositif qui en est muni. On se reportera pour cela à la **Figure 3**, qui illustre les variations de certains paramètres dans le dispositif lors d'une opération de coupure mise en œuvre à l'aide d'un tel dispositif de coupure **10**. Cependant, avant décrire le rôle et l'avantage de la présence d'un tel circuit tampon **34**, on décrit ci-après des éléments complémentaires pour différentes variantes d'un dispositif de coupure **10** dans son ensemble. Ces éléments complémentaires sont optionnels.

[0064] Dans les exemples illustrés, le dispositif de coupure **10** comporte avantageusement un circuit d'oscillation **40** qui est agencé électriquement en

parallèle de l'interrupteur primaire **18** entre le point primaire **12** et le point intermédiaire **13**. Le circuit d'oscillation **40** est conçu pour, et apte à générer un passage par zéro du courant au travers de l'interrupteur primaire **18**, et ici uniquement au travers de l'interrupteur primaire **18** et pas au travers de l'interrupteur secondaire **24**.

[0065] Un tel circuit d'oscillation **40** a pour but de favoriser la coupure électrique au travers de l'interrupteur primaire **18** lorsque celui-ci est mécaniquement ouvert. En effet, on a vu que même après ouverture d'un tel interrupteur, un arc électrique peut s'être établi entre les contacts séparés de l'interrupteur, empêchant la réalisation d'une coupure électrique effective. Le passage par zéro du courant au travers de l'interrupteur primaire, généré par le circuit d'oscillation **40**, permet de favoriser la coupure électrique au travers de l'interrupteur primaire **18**.

[0066] Différents modes de réalisation sont possibles pour un tel circuit d'oscillation **40**. Notamment, il est possible d'utiliser un circuit d'oscillation tel que décrit dans l'art antérieur mentionné en préambule de la présente demande, ou dérivé de cet art antérieur.

[0067] Dans certains modes de réalisation, tels que ceux illustrés schématiquement aux **Figures 1, 2 et 5**, le circuit d'oscillation **40** comporte au moins une inductance **42**, une capacité **44** et un enclencheur d'oscillation **46**, agencés électriquement en série dans le circuit d'oscillation **40** en parallèle de l'interrupteur primaire **18** entre le point primaire **12** et le point intermédiaire **13**. La **Figure 4** illustre un mode de réalisation d'un circuit d'oscillation **40** comportant uniquement une inductance **42**, une capacité **44** et un enclencheur d'oscillation **46**, agencés électriquement en série dans le circuit d'oscillation **40** en parallèle de l'interrupteur primaire **18** entre le point primaire **12** et le point intermédiaire **13**. Pour le fonctionnement d'un tel circuit d'oscillation **40**, il peut être avantageux que la capacité soit pré-chargée avant l'enclenchement du circuit d'oscillation **40**. Dans ce cas, le circuit **40** peut comporter, en plus, un circuit de pré-charge de la capacité **44** (non illustré sur les figures). Par ailleurs, comme dans les exemples des **Figures 1 et 2**, on peut avantageusement prévoir, dans un tel circuit d'oscillation, au moins une résistance d'amortissement **48** et au moins un interrupteur de by-pass **50** de la résistance d'amortissement. L'interrupteur de by-

pass **50** est susceptible de basculer entre un état ouvert et un état fermé. La résistance d'amortissement **48** et l'interrupteur de by-pass **50** sont agencés de telle sorte que, dans un état de l'interrupteur de by-pass **50**, la résistance d'amortissement **48** est électriquement en série dans le circuit d'oscillation **40** avec l'inductance **42**, la capacité **44** et l'enclencheur d'oscillation **46**, tandis que, dans l'autre état de l'interrupteur de by-pass **50**, la résistance d'amortissement **48** est court-circuitée par rapport au circuit d'oscillation **40**.

[0068] On note que la résistance d'amortissement **48** peut être réalisée sous la forme d'un ensemble de plusieurs composants discrets agencés électriquement en série et / ou en parallèle. L'interrupteur de bypass associé **50** est alors généralement agencé électriquement en parallèle de l'ensemble.

[0069] Dans les exemples des **Figs. 1** et **2**, la résistance d'amortissement **48** est électriquement en série avec l'inductance **42**, la capacité **44** et l'enclencheur d'oscillation **46**, dans une ligne électrique du circuit d'oscillation **40** qui s'étend du point primaire **12** au point intermédiaire **13**, ici directement et uniquement en parallèle de l'interrupteur primaire **18**. L'interrupteur de by-pass **50**, est agencé directement et uniquement en parallèle de la résistance d'amortissement **48**. Ainsi, lorsque l'interrupteur de by-pass **50** est dans un état ouvert, la résistance d'amortissement **48** est électriquement en série dans le circuit d'oscillation **40** avec l'inductance **42**, la capacité **44** et l'enclencheur d'oscillation **46**, tandis que, lorsque l'interrupteur de by-pass **50** est dans un état fermé, la résistance d'amortissement **48** est court-circuitée par rapport au circuit d'oscillation **40**.

[0070] L'enclencheur d'oscillation **46** est un interrupteur, avantageusement un interrupteur à semi-conducteurs, bien qu'un interrupteur mécanique soit aussi envisageable. Il est de préférence bidirectionnel. Il peut ainsi être, comme dans les exemples des **Figs. 1** et **2**, réalisé sous la forme d'un assemblage en parallèle de deux thyristors **46a**, **46b** montés tête-bêche. Un tel assemblage est analogue à un TRIAC. Cependant, d'autres composants à semi-conducteurs pourraient être utilisés, comme par exemple des IGBTs ou d'autres types d'éclateurs commandés. Pour des raisons de tenue en tension ou en courant, l'enclencheur d'oscillation **46** peut être réalisé sous la forme d'un ensemble d'interrupteurs agencés électriquement en série et / ou en parallèle mais pouvant

de préférence être commandés de manière à se comporter comme un interrupteur unique vis-à-vis du reste du dispositif.

[0071] L'interrupteur de by-pass **50** est avantageusement un interrupteur à semi-conducteurs, bien qu'un interrupteur mécanique soit aussi envisageable. Il est de préférence bidirectionnel. Il peut ainsi être, comme dans les exemples des **Figs. 1** et **2**, réalisé sous la forme d'un assemblage en parallèle de deux thyristors **50a**, **50b** montés tête-bêche. Un tel assemblage est analogue à un TRIAC. Cependant, d'autres composants à semi-conducteurs pourraient être utilisés, comme par exemple des IGBTs ou d'autres types d'éclateurs commandés. Pour des raisons de tenue en tension ou en courant, l'interrupteur de by-pass **50** peut être réalisé sous la forme d'un ensemble d'interrupteurs agencés électriquement en série et / ou en parallèle mais pouvant de préférence être commandés de manière à se comporter comme un interrupteur unique vis-à-vis du reste du dispositif.

[0072] Selon des variantes non illustrées, le circuit d'oscillation **40** pourrait comporter au moins une résistance permanente, insérée de manière permanente dans le circuit d'oscillation **40**, électriquement en série avec l'inductance **42**, la capacité **44** et l'enclencheur d'oscillation **46**, avec pour résultat de déterminer une valeur minimum de résistance du circuit oscillant, lorsque la résistance d'amortissement **48** est court-circuitée par rapport au circuit d'oscillation **40**. La résistance permanente pourrait être réalisée sous la forme d'un ensemble de plusieurs composants discrets agencés électriquement en série et / ou en parallèle.

[0073] Selon encore une autre variante de réalisation d'un circuit d'oscillation **40**, le circuit d'oscillation **40** pourrait comporter au moins une seconde résistance d'amortissement et au moins un second interrupteur de by-pass associé à la seconde résistance d'amortissement, agencés, par exemple en parallèle l'un de l'autre, de telle sorte que, dans un état du second interrupteur de by-pass, la seconde résistance d'amortissement serait électriquement en série dans le circuit d'oscillation **40** avec l'inductance **42**, la capacité **44** et l'enclencheur d'oscillation **46**, et avec la première résistance d'amortissement **48** si celle-ci est insérée dans le circuit d'amortissement **40**. Dans l'autre état du second interrupteur de by-pass, la seconde résistance d'amortissement serait court-circuitée par rapport au circuit d'oscillation **40**. Bien entendu, on pourrait généraliser cette variante à plus

de deux résistances d'amortissement, et par conséquent plus de deux interrupteurs de by-pass. En ayant plusieurs résistance d'amortissement associées chacune à un interrupteur de by-pass, on peut prévoir que les interrupteurs de by-pass soient commandés simultanément. On peut au contraire prévoir que certains au moins des interrupteurs de by-pass du circuit d'oscillation soient basculés avec un décalage de temps l'un par rapport à l'autre. Ainsi, on peut adapter la valeur totale de résistance du circuit oscillant à plus de deux paliers de valeur de résistance.

[0074] On note que les deux variantes évoquées ci-dessus peuvent être combinées dans un circuit d'oscillation comportant à la fois au moins une résistance permanente et plusieurs résistances d'amortissement, toutes étant insérées en série ou susceptibles d'être insérées en série les unes avec les autres dans le circuit d'oscillation.

[0075] D'autres modes de réalisation pour un circuit d'oscillation **40** peuvent être prévus, mettant par exemple en œuvre des interrupteurs commandés, par exemple des interrupteurs à semi-conducteurs configurés selon un pont en H, selon un demi-point, etc.... Ces interrupteurs peuvent être réalisés chacun sous la forme d'un IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), de thyristors, ou autre type de transistor.

[0076] Sur la **Figure 3**, on a illustré, pour un dispositif de coupure selon l'invention passant d'un état fermé permettant le passage du courant au travers du dispositif, à un état ouvert isolant électriquement le point primaire **12** du point secondaire **14**, la variation en fonction du temps, des paramètres suivants :

- la tension **V24** aux bornes de l'interrupteur secondaire **24** ;
- l'intensité **I24** du courant au travers de l'interrupteur secondaire **24** ;
- l'intensité **I46** du courant au travers de l'enclencheur d'oscillation **46** ;
- l'intensité **I50** du courant au travers de l'interrupteur de by-pass **50** ;
- la tension **V18** aux bornes de l'interrupteur primaire **18** ;
- l'intensité **I18** du courant au travers de l'interrupteur primaire **18** ;
- l'intensité **I30** du courant au travers du parasurtenseur primaire **30** ;
- l'intensité **I32** du courant au travers du parasurtenseur secondaire **32** ;
- l'intensité **I12** du courant au travers du dispositif **10** ; et
- la tension **V1214** aux bornes du dispositif **10**.

[0077] Dans un procédé de pilotage d'un dispositif de coupure **10** selon l'invention, en vue d'amener le dispositif de son état fermé à son état ouvert, on prévoit une étape comprenant l'ouverture mécanique de l'interrupteur primaire **18** et l'interrupteur secondaire **24**. Les deux interrupteurs peuvent être ouverts mécaniquement simultanément, ou successivement dans un ordre quelconque. Dans l'exemple de la **Figure 3**, on prend l'hypothèse que cette ouverture est effective à un instant **t0**. L'étape d'ouverture des deux interrupteurs peut être déclenchée sous charge normale, par exemple avec un courant nominal prévu au travers du dispositif **10**, par une simple volonté d'ouverture du dispositif de coupure en vue par exemple d'isoler électriquement une partie d'installation électrique reliée électriquement au point primaire **12** du dispositif **10** par rapport à une autre partie d'installation électrique reliée électriquement au point secondaire **14** du dispositif **10**. L'étape d'ouverture des deux interrupteurs peut être déclenchée en présence d'un défaut électrique dans l'installation électrique, par exemple avec un courant de défaut au travers du dispositif de coupure **10**. Ce courant de défaut peut être supérieur au courant nominal maximal prévu au travers du dispositif **10**. Une telle ouverture en présence d'un défaut peut résulter de la détection de ce défaut, notamment de la détection d'un ou plusieurs paramètres du courant au travers du dispositif **10**, par exemple l'intensité du courant au travers du dispositif **10**. On note que, comme décrit précédemment, il se peut que l'ouverture mécanique des deux interrupteurs **18**, **24** ne permette pas, à elle seule l'ouverture électrique au sens de l'interruption du passage du courant au travers du dispositif de coupure **10**, par la faute de l'établissement d'un arc électrique au travers de chacun de deux interrupteurs. Pour la description du procédé qui va suivre, on se place justement dans cette hypothèse.

[0078] Dans cette hypothèse, le procédé prévoit de couper le courant dans l'interrupteur primaire **18** ouvert pour provoquer l'apparition, aux bornes de l'interrupteur primaire, d'une tension supérieure à la tension de transition du parasurtenseur primaire **30** propre à le faire basculer dans un mode de conduction de courant. Pour couper le courant dans l'interrupteur primaire **18** ouvert, il peut être fait usage de l'un ou l'autre des circuits d'oscillation **40** tels que décrits plus haut, selon ce qui sera décrit plus bas. Cependant, la coupure

de courant dans l'interrupteur primaire **18** ouvert peut être obtenue par d'autres moyens, notamment par un dimensionnement adapté de l'interrupteur primaire **18**, quitte à ce que ce dimensionnement conduise à un interrupteur primaire plus encombrant et / ou plus cher que celui pouvant être utilisé en cas de présence d'un circuit d'oscillation. Dans l'exemple de la **Figure 3**, la mise en œuvre du circuit d'oscillation **40** commence à un instant **t1** correspondant à la fermeture de l'enclencheur d'oscillation **46**, et on prend l'hypothèse que cette ouverture électrique de l'interrupteur primaire **18** est effective à l'instant **t3**.

[0079] Dans tous les cas, cette coupure du courant au travers de l'interrupteur primaire **18** force le courant au travers du dispositif **10** à charger le condensateur **44**, provoquant une montée de tension à ses bornes, ce qui se traduit par l'apparition de cette même tension aux bornes du parasurtenseur primaire **30**, et donc de la même tension aux bornes de l'interrupteur primaire **18**. Dans l'hypothèse d'un courant de défaut important, cette tension atteint, à un instant **t4** sur la **Figure 3**, la tension de transition du parasurtenseur primaire **30**, lequel voit alors sa résistance varier pour limiter l'augmentation de la tension, laquelle atteint un palier. A ce stade, on considère que le parasurtenseur **30** devient passant pour le courant. Ainsi, on peut considérer que, à partir de l'instant **t4**, le courant au travers du dispositif **10** passe au travers du parasurtenseur primaire **30** mais continue de circuler au travers de l'interrupteur secondaire **24** du fait de la présence d'un arc électrique entre les contacts de ce dernier.

[0080] Pour provoquer la coupure de l'arc électrique dans l'interrupteur secondaire **24**, on doit attendre que le courant d'enclencheur d'oscillation **46** s'annule, qu'il récupère son isolation, puis on active le circuit capacitif tampon **34** en fermant l'interrupteur d'activation **36**, ce qui correspond à l'instant **t5** sur la **Figure 3**. Autrement dit, on bascule l'interrupteur d'activation **36** pour permettre, dans le circuit capacitif tampon **34**, le passage d'un courant propre à charger la capacité tampon **38** et à délester le courant dans l'interrupteur secondaire **24**. A l'état initial, la capacité tampon **38** est déchargée, par exemple par la présence du circuit de décharge qui est ici réalisé par la résistance de décharge **39**. Autrement dit, le dispositif de coupure **10** est configuré pour que, à l'état initial, c'est-à-dire au basculement de l'interrupteur d'activation **36** pour permettre le passage, dans le circuit capacitif tampon **34**, d'un courant propre à charger la

capacité tampon **38**, la capacité tampon **38** est déchargée. De ce fait, et du fait de la présence d'une différence de potentiel aux bornes du parasurtenseur primaire **30**, le courant au travers du dispositif **10** bascule vers le circuit tampon **34** pour charger la capacité tampon **38**. Dans un premier temps, on considère que, dans l'exemple illustré, la valeur de résistance R39 de la résistance **39** est suffisamment importante pour négliger le courant de décharge au travers de la résistance. A contrario, la valeur de l'impédance électrique du circuit capacitif tampon **34** est très inférieure à celle que le courant emprunte avant **t5**. Ce temps de chargement de la capacité tampon **38**, dont on peut considérer qu'il dure jusqu'à l'instant **t6** sur la **Figure 3**, est particulièrement important car, pendant ce temps, le courant à travers le dispositif **10** est pour l'essentiel conduit par le circuit tampon **34**, sous la forme du courant **I36** au travers de l'interrupteur d'activation **36**, ce qui a pour conséquence de faire baisser, voire d'annuler le courant qui circulait au travers de l'interrupteur secondaire **24**, dont il faut rappeler qu'il est en état de coupure mécanique, avec ses contacts séparés l'un de l'autre. Cette baisse, voire annulation, du courant **I24** au travers de l'interrupteur secondaire **24** va avantageusement provoquer l'extinction de l'arc électrique dans l'interrupteur secondaire **24**. On note que l'intervalle de temps à partir de l'instant **t5**, jusqu'à l'instant **t6**, pendant lequel le courant doit être dévié de l'interrupteur secondaire **24** vers le circuit tampon **34**, que l'on peut appeler durée de diversion **d2t**, n'a pas besoin d'être très long, il suffit que ce temps **d2t**, pendant lequel le circuit capacitif tampon **34** conduit le courant, soit supérieur au temps nécessaire à la dé-ionisation du gaz présent entre les contacts séparés de l'interrupteur secondaire **24**. En effet, une fois que le gaz est dé-ionisé, l'écartement des contacts de l'interrupteur secondaire **24** suffit à empêcher le rallumage de l'arc. Cette durée **d2t** est de l'ordre de quelques microsecondes, de préférence inférieure à 20 microsecondes.

[0081] Cette durée de diversion **d2t** pendant laquelle on constate une baisse, voire une annulation, du courant **I24** au travers de l'interrupteur secondaire **24**, peut être ajustée à la durée nécessaire par un bon dimensionnement des composants du circuit. De manière générale, une augmentation de la capacité électrique totale C38 de la capacité tampon **38** aura tendance à augmenter cette durée de diversion **d2t**.

[0082] En première approximation, on peut considérer que la durée de diversion **d2t** est régie par la loi suivante :

$$d2t = Vt30 \times C38 / Idef$$

avec :

**d2t** la durée de diversion souhaitée ;

Vt30 la tension de transition du parasurtenseur primaire **30** ;

C38 la capacité électrique totale de la capacité tampon **38** ;

Idef la valeur du courant de défaut au travers du dispositif.

[0083] Ainsi, à titre indicatif, il a été déterminé qu'une valeur avantageuse de la capacité électrique totale C38 de la capacité tampon **38** pouvait être déterminée en veillant à ce que cette valeur soit égale ou supérieure à la durée de diversion **d2t** souhaitée multipliée par Idefmax la valeur maximale de courant de défaut attendue au travers du dispositif, divisée par Vt30 la tension de transition du parasurtenseur primaire **30**, soit :

$$C38 = d2t \times Idefmax / Vt30$$

[0084] Au-delà de l'instant **t6**, on considère que l'interrupteur secondaire **24** est ouvert électriquement et qu'une tension peut apparaître à ses bornes sans risque de rallumage de l'arc électrique. Cette tension se répercute aux bornes du parasurtenseur secondaire **32**, qui peut alors jouer son rôle de limitation de la tension aux bornes de l'interrupteur secondaire. La somme des tensions aux bornes des parasurtenseurs **30** et **32** est la tension V1214. Cette somme de tension peut être supérieure à la tension nominale du réseau tant qu'il y a du courant qui traverse les parasurtenseurs, c'est-à-dire tant que le courant **I32** est différent de zéro. Ceci va de pair avec l'absorption d'énergie dans le réseau.

[0085] A partir de l'instant **t7**, on considère que le dispositif de coupure **10** est ouvert, car seul un courant de fuite peut circuler au travers du dispositif **10** en passant par le parasurtenseur primaire **30** et par le parasurtenseur secondaire **32**. Pour cela, on note que la tension aux bornes du dispositif de coupure **10** est la somme des tensions aux bornes du parasurtenseur primaire **30** et aux bornes du parasurtenseur secondaire **32**. Cette tension, en régime établi lorsque le dispositif de coupure **10** est ouvert, sera généralement égale à la tension nominale de l'installation. Il est donc judicieux de choisir le parasurtenseur primaire **30** et par le parasurtenseur secondaire **32** de telle sorte que la somme

de leur tension de transition soit supérieure ou égale à la tension nominale de l'installation.

[0086] On notera que le dispositif de coupure **10** selon l'invention peut être associé, dans l'installation électrique, électriquement en série avec un autre dispositif de coupure, par exemple de type sectionneur, apte à interrompre complètement et de manière fiable le courant dans la ligne. Cet autre dispositif de coupure pourra être dimensionné pour optimiser son pouvoir d'isolation, sans devoir optimiser sa capacité d'interruption du courant puisque cette fonction sera prioritairement assurée par le dispositif de coupure selon l'invention.

[0087] On note par ailleurs que le dispositif de coupure selon l'invention est un dispositif bidirectionnel, apte à interrompre un courant circulant au travers du dispositif quel que soit son sens de circulation, donc dans les deux sens au travers du dispositif. De ce fait, un tel dispositif de coupure pourra être mis en œuvre dans une installation comportant un réseau maillé, dans une ligne dans laquelle le courant continu peut circuler, suivant la configuration du réseau à un moment donné, dans un sens ou dans un autre.

[0088] Un dispositif selon l'invention permet donc d'assurer une ouverture électrique rapide et certaine, pour arrêter la circulation d'un courant de défaut de haute intensité (notamment plus de 10 kA), sous une haute tension, notamment supérieure à 100 kV. Cependant, une fois le dispositif ouvert, il est nécessaire de pouvoir refermer électriquement le dispositif de coupure **10** pour permettre le rétablissement du courant si on pense avoir résolu l'origine du défaut. Dans ce cas, on pilote le dispositif **10** de manière à fermer mécaniquement l'interrupteur primaire **18** et l'interrupteur secondaire **24**, de préférence successivement et dans cet ordre, donc en fermant mécaniquement l'interrupteur primaire **18** avant l'interrupteur secondaire **24**. En effet, on note que, en respectant cet ordre, le parasurtenseur secondaire **32** permet de limiter le courant d'appel lorsque l'interrupteur primaire **18** est refermé mécaniquement.

[0089] Dès la fermeture de l'interrupteur primaire **18**, on peut déterminer un ou plusieurs paramètres du courant au travers du dispositif de coupure **10** et / ou de la tension phase-terre, ou dans l'installation, notamment pour vérifier que le défaut a bien été éliminé. Cependant, il se peut que le défaut n'ait pas été

éliminé. Ainsi, en fonction des paramètres détectés pour le courant au travers du dispositif et / ou la tension phase-terre, on peut provoquer une réouverture immédiate du dispositif sans attendre la refermeture de l'interrupteur secondaire **24** qui constituerait une refermeture complète du dispositif **10**.

[0090] On a vu plus haut que, pour assurer la coupure électrique effective dans l'interrupteur primaire, on pouvait utiliser différents circuits d'oscillation **40**. Celui qui est illustré à la **Figure 5** est relativement simple à mettre en œuvre. Cependant, il faut alors configurer ce circuit pour qu'il puisse interrompre tous les courants de défaut susceptibles de survenir, dont notamment ceux ayant l'intensité maximale qui puisse être anticipée. Or, en utilisation, il existe parfois des courants de défaut qui n'atteignent pas cette valeur maximale. Dans ce cas, un circuit d'oscillation tel que celui illustré à la **Figure 5** peut s'avérer surdimensionné, au sens que le contre-courant qu'il génère sera très important par rapport au courant de défaut. Il s'ensuit que dans ce cas, le circuit d'oscillation **40** va bien générer un ou plusieurs passages par zéro du courant au travers de l'interrupteur principal **18**, mais un tel passage par zéro peut alors se faire avec une trop forte vitesse variation de l'intensité  $d(I_{18})/dt$  au travers de l'interrupteur primaire **18**. En présence d'une trop forte vitesse de variation de l'intensité  $d(I_{18})/dt$  au travers de l'interrupteur primaire **18**, il se peut que la coupure électrique ne se fasse pas, malgré le passage par zéro.

[0091] Pour ce faire, il est proposé de mettre en œuvre un circuit d'oscillation **40** tel qu'illustré aux **Figures 1** et **2**, et tel que décrit plus haut. En effet, grâce à un tel dispositif, il est possible d'insérer, au choix, de manière pilotable, et éventuellement temporairement, la résistance d'amortissement **48** dans la boucle d'oscillation formée par le circuit d'oscillation **40** et la partie de ligne principale **16** qui inclue l'interrupteur primaire **18**. Ainsi, sans changer la capacité d'oscillation **44**, ni son niveau de chargement initial, et sans changer l'inductance **42**, il devient possible, à moindre frais, de modifier le courant d'oscillation qui est injecté dans la boucle d'oscillation par le circuit d'oscillation **40**. La présence de l'interrupteur de by-pass **50** permet, instantanément, de transformer le circuit d'oscillation **40** d'un circuit RLC en série en un circuit LC en série, ou inversement. Dans d'autres modes de réalisation, la présence de l'interrupteur de by-pass **50** associé à une résistance d'amortissement **48** permet,

instantanément, de transformer le circuit d'oscillation **40** d'un circuit RLC en série en un autre circuit RLC en série avec une valeur totale de résistance électrique différente.

[0092] Ainsi, en fonction du courant de défaut qui circule dans la ligne principale **16**, il est possible, en vue assurer la coupure électrique effective dans l'interrupteur primaire **18**, d'injecter dans la boucle d'oscillation, un courant d'oscillation résultant soit de la décharge d'un circuit RLC en série, soit de la décharge d'un circuit LC en série, soit de la décharge d'un autre circuit RLC en série avec une valeur totale de résistance électrique différente.

[0093] De la sorte, on peut prévoir un procédé de pilotage d'un dispositif de coupure **10** comportant un circuit d'oscillation **40** tel qu'illustré aux **Figs. 1** et **2**, comportant, à un instant donné, la détermination d'au moins un paramètre d'un courant à couper au travers du dispositif, par exemple la détermination d'une valeur d'intensité de ce courant. Cette détermination peut être directe, par exemple par la présence d'un capteur d'intensité de courant dans la partie de ligne principale **16** qui inclut l'interrupteur primaire **18**. Cette détermination peut être indirecte, par exemple par analyse d'autres paramètres du dispositif de coupure ou de l'installation. Cette détermination peut combiner à la fois une détermination directe et une détermination indirecte. Cette détermination peut être faite avant le début du processus d'ouverture du dispositif de coupure, notamment avant toute ouverture mécanique de l'interrupteur primaire **18**. Cette détermination peut être faite après le début du processus d'ouverture du dispositif de coupure, notamment après l'ouverture mécanique de l'interrupteur primaire **18**. Bien entendu, il est aussi possible de prendre en compte, pour cette détermination, des paramètres déterminés avant et après le début du processus d'ouverture du dispositif de coupure **10**.

[0094] Sur la base de cette détermination, par exemple en fonction de la valeur déterminée d'intensité de courant de défaut, le procédé de pilotage peut déterminer l'état dans lequel l'interrupteur de by-pass **50** doit être basculé.

[0095] Dans l'exemple illustré à la **Figure 3**, se rapportant plus particulièrement au fonctionnement d'un dispositif tel qu'illustré à la **Figure 1**, on a illustré le cas où le circuit d'oscillation **40** est activé par la fermeture de l'enclencheur d'oscillation **46**

à un instant **t1**. A cet instant, et dans les instants qui suivent immédiatement, on note que le courant **I50** au travers de l'interrupteur de by-pass **50** reste à zéro, ce qui témoigne de l'état ouvert de l'interrupteur de by-pass **50**, jusqu'à un instant **t2**. Ainsi, entre les instants **t1** et **t2**, la résistance d'amortissement **48** se trouve effectivement insérée dans le circuit d'oscillation **40**, lequel est alors un circuit RLC série. Ainsi, le début de la décharge de la capacité d'oscillation **44** correspond à la décharge d'un circuit RLC en série. A partir de l'instant **t2**, l'interrupteur de by-pass **50** est basculé dans son état fermé, de manière à court-circuiter la résistance d'amortissement **48**. Ainsi, la suite de la décharge de la capacité d'oscillation **44** correspond à la décharge d'un circuit LC en série.

[0096] Bien entendu, il est possible de déterminer la durée de l'intervalle **d1t** de temps entre les instants **t1** et **t2**, intervalle de temps pendant lequel la résistance d'amortissement **48** est effectivement insérée dans le circuit d'oscillation **40**. Cette durée peut être prédéterminée, ou elle peut être déterminée en fonction de certains paramètres du courant électrique dans le dispositif, notamment en fonction de paramètres du courant de défaut au travers de l'interrupteur primaire **18**.

[0097] Ainsi, le dispositif de coupure **10** comportant un circuit d'oscillation **40** tel qu'illustré aux **Figures 1** et **2**, peut être piloté de telle sorte que, au moment de la fermeture de l'interrupteur enclencheur **46**, la résistance d'amortissement **48** soit insérée dans le circuit d'oscillation **40**, ou qu'elle soit au contraire court-circuitée par rapport à ce circuit. Lorsque la résistance d'amortissement **48** est insérée dans le circuit d'oscillation **40**, elle permet notamment de limiter la vitesse de variation de l'intensité  $d(I_{18})/dt$  du courant généré par le circuit d'oscillation **40** dans l'interrupteur primaire **18** au début de la décharge de la capacité d'oscillation **44**. Dans les cas où la résistance d'amortissement **48** est insérée effectivement dans le circuit d'oscillation au moment de la fermeture de l'interrupteur enclencheur **46**, on peut choisir qu'elle soit court-circuitée après un certain intervalle de temps, comme illustré à la **Figure 3**, y compris avant que la coupure électrique ne soit effective dans l'interrupteur primaire **18**, ou au contraire choisir de la maintenir insérée dans le circuit d'oscillation pendant toute la durée d'activation du circuit d'oscillation **40**.

[0098] Pour un dispositif tel qu'illustré sur la **Figure 1**, on a déterminé une relation optimale entre les paramètres caractéristiques du circuit d'oscillation

[Math. 1] 
$$d1t = \ln \left( \frac{V44i^2 * C44}{Idef^2 * L42 + \left(\frac{dI18}{dt}\right)_{max}^2 * L42^2 * C44} \right) * \frac{L42}{R48}$$

avec

- **d1t**: Intervalle du temps pendant lequel la résistance d'amortissement **48** est effectivement insérée dans le circuit d'oscillation **40** ;

-  $(dI18/dt)_{max}$  : valeur maximum de  $dI18/dt$  au passage à zéro du courant dans l'interrupteur primaire **18** pour laquelle l'interrupteur primaire **18** peut, à lui seul assurer une coupure électrique ;

- **V44i** : Tension initiale aux bornes de la capacité **44** du circuit d'oscillation ;

- **Idef** : Amplitude de courant à couper au travers du dispositif **10** ;

- **R48** : valeur de résistance électrique de la résistance d'amortissement **48** ;

- **C44** : valeur de capacité de la capacité **44** du circuit d'oscillation **40** ;

- **L72** : Valeur d'inductance de l'inductance **42** du circuit d'oscillation **40**.

[0099] Dans tous les cas, on s'aperçoit que la valeur de résistance électrique de la résistance d'amortissement **48** n'a pas besoin d'être importante. Donc le ou les composants formant la ou les résistances d'amortissement peuvent être compacts et peu onéreux. De plus, grâce à cette faible valeur de résistance, la valeur de tension imposée à l'interrupteur de by-pass **50** associé à la résistance est elle aussi relativement faible, Donc le ou les composants formant le ou les interrupteur de by-pass **50** peuvent être compacts et peu onéreux.

## Revendications

[Revendication 1] Dispositif de coupure de courant pour courant électrique continu haute tension, du type comportant :

- une ligne principale (**16**) entre un point primaire (**12**) et un point secondaire (**14**) ;
- un interrupteur primaire (**18**), mécanique, et un interrupteur secondaire (**24**), mécanique, interposés successivement dans la ligne principale entre le point primaire et le point secondaire mais de part et d'autre d'un point intermédiaire (**13**) de la ligne principale, les deux interrupteurs mécaniques étant commandés chacun entre un état ouvert et un état fermé,
- un parasurtenseur primaire (**30**) agencé en parallèle de l'interrupteur primaire entre le point primaire et le point intermédiaire,
- un parasurtenseur secondaire (**32**) agencé électriquement en parallèle de l'interrupteur secondaire,

**caractérisé en ce que** le parasurtenseur secondaire est agencé électriquement entre le point intermédiaire et le point secondaire, et en ce que le dispositif (**10**) comporte, entre le point primaire et le point secondaire, un circuit capacitif tampon (**34**), électriquement en parallèle de l'ensemble formé par l'interrupteur primaire et l'interrupteur secondaire, et électriquement en parallèle de l'ensemble formé par le parasurtenseur primaire et le parasurtenseur secondaire, le circuit capacitif tampon comportant un interrupteur d'activation (**36**), et une capacité tampon (**38**).

[Revendication 2] Dispositif de coupure selon la revendication **1**, caractérisé en ce que le circuit capacitif tampon (**34**) ne comporte pas de composant inductif dédié.

[Revendication 3] Dispositif de coupure selon la revendication **1** ou **2**, caractérisé en ce que l'interrupteur d'activation (**36**) et la capacité tampon (**38**) sont agencés électriquement en série dans une ligne (**35**) du circuit capacitif tampon allant du point primaire (**12**) au point secondaire (**14**).

- [Revendication 4] Dispositif de coupure selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le circuit capacitif tampon (34) comporte un circuit de décharge (39) de la capacité tampon (38).
- [Revendication 5] Dispositif de coupure selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le circuit capacitif tampon (34) comporte un parasurtenseur tertiaire (37) agencé en parallèle de l'interrupteur d'activation (36).
- [Revendication 6] Dispositif de coupure selon la revendication 5, caractérisé en ce que le parasurtenseur tertiaire (37) est agencé directement aux bornes de l'interrupteur d'activation (36).
- [Revendication 7] Dispositif de coupure selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte un circuit d'oscillation (40) agencé électriquement en parallèle de l'interrupteur primaire (18) entre le point primaire (12) et le point intermédiaire (13), le circuit d'oscillation étant apte à générer un passage par zéro du courant au travers de l'interrupteur primaire.
- [Revendication 8] Dispositif de coupure selon la revendication 7, caractérisé en ce que le circuit d'oscillation (40) comporte au moins une inductance (42), une capacité (44) et un enclencheur d'oscillation (46) électriquement en série.
- [Revendication 9] Dispositif de coupure selon la revendication 8, caractérisé en ce qu'il comporte, dans le circuit d'oscillation (40), au moins une résistance d'amortissement (48) électriquement en série avec l'inductance, la capacité et l'enclencheur d'oscillation du circuit d'oscillation (40), et un dispositif pilotable permettant de varier la valeur de résistance insérée en série dans le circuit d'oscillation.
- [Revendication 10] Dispositif de coupure selon la revendication 8 ou 9, caractérisé en ce qu'il comporte au moins un interrupteur de by-pass (50) de la résistance d'amortissement (48), en ce que l'interrupteur de by-pass est susceptible de basculer entre un état ouvert et un état fermé, la résistance d'amortissement (48) et l'interrupteur de by-pass (50) étant agencés de telle sorte que, dans un état de l'interrupteur de by-pass, la résistance

d'amortissement est insérée électriquement en série dans le circuit d'oscillation (40) avec l'inductance (42), la capacité (44) et l'enclencheur d'oscillation (46) du circuit d'oscillation (40), tandis que, dans l'autre état de l'interrupteur de by-pass (50), la résistance d'amortissement (48) est court-circuitée par rapport au circuit d'oscillation (40).

[Revendication 11] Dispositif de coupure selon l'une des revendications 9 ou 10, caractérisé en ce que le circuit d'oscillation (40) comporte au moins une résistance permanente, insérée de manière permanente dans le circuit d'oscillation, électriquement en série avec l'inductance (42), la capacité (44) et l'enclencheur d'oscillation (46) du circuit d'oscillation (40).

[Revendication 12] Dispositif de coupure selon l'une des revendications 9 à 11, caractérisé en ce que le circuit d'oscillation (40) comporte plusieurs résistances d'amortissement associées chacune à un interrupteur distinct de by-pass de la résistance d'amortissement, en ce que chaque interrupteur de by-pass est susceptible de basculer entre un état ouvert et un état fermé, une résistance d'amortissement et l'interrupteur de by-pass associé étant agencés de telle sorte que, dans un état de l'interrupteur de by-pass, la résistance d'amortissement associée à l'interrupteur est insérée électriquement en série dans le circuit d'oscillation avec l'inductance, la capacité et l'enclencheur d'oscillation du circuit d'oscillation (40), tandis que, dans l'autre état de l'interrupteur de by-pass, la résistance d'amortissement associée à l'interrupteur est court-circuitée par rapport au circuit d'oscillation.

[Revendication 13] Dispositif de coupure selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'interrupteur primaire (18) comporte au moins un interrupteur à vide.

[Revendication 14] Dispositif de coupure selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'interrupteur secondaire (24) comporte au moins un interrupteur à gaz isolant.

[Revendication 15] Dispositif de coupure selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que l'interrupteur secondaire (24) comporte au moins un interrupteur à vide.

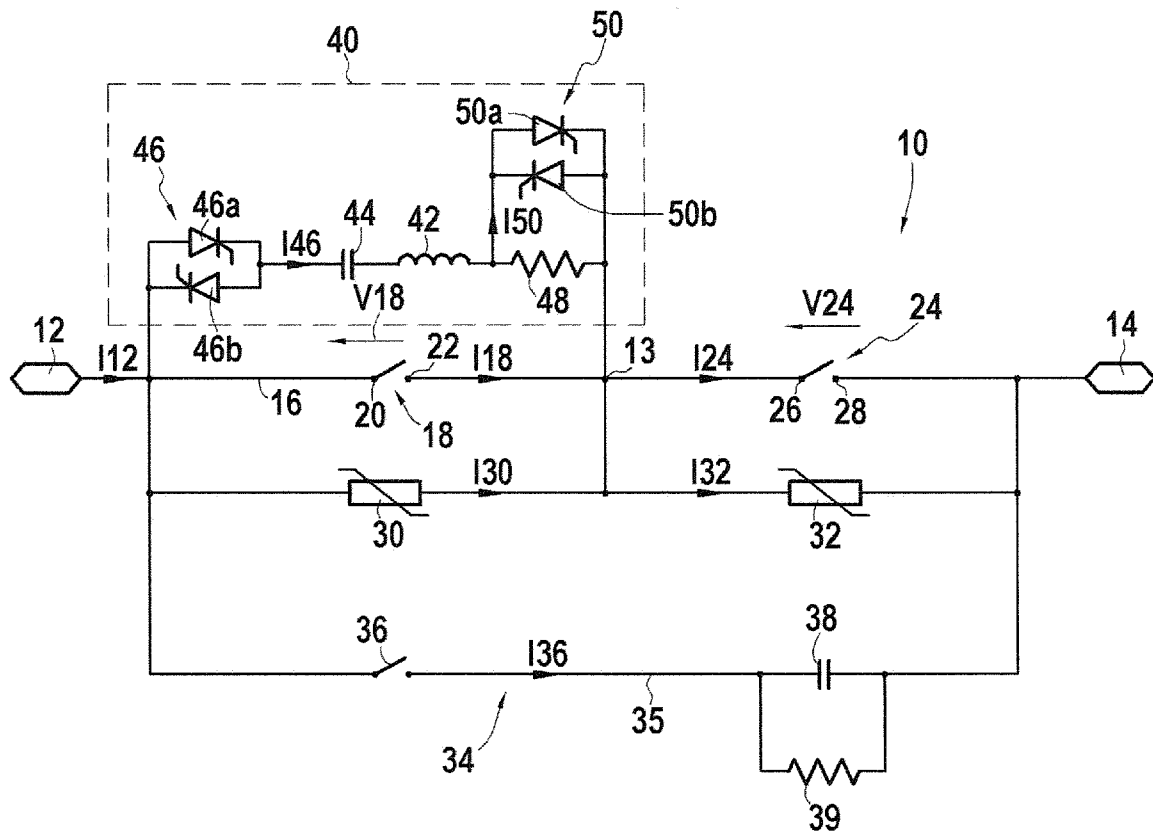
- [Revendication 16] Dispositif de coupure selon l'une quelconque des revendications précédentes, prise en combinaison avec la revendication **4**, caractérisé en ce que le circuit de décharge de la capacité tampon (**38**) comporte une résistance (**39**) qui est agencée en parallèle de la capacité tampon (**38**).
- [Revendication 17] Dispositif de coupure selon l'une quelconque des revendications précédentes, prise en combinaison avec la revendication **4**, caractérisé en ce que le circuit de décharge de la capacité tampon (**38**) est un circuit de décharge passif, ne comportant pas de composant actif.
- [Revendication 18] Procédé de pilotage d'un dispositif de coupure selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes :
- d'ouvrir mécaniquement l'interrupteur primaire (**18**) et l'interrupteur secondaire (**24**) ;
  - de couper le courant dans l'interrupteur primaire (**18**) ouvert pour provoquer l'apparition, aux bornes de l'interrupteur primaire (**18**), d'une tension supérieure à la tension de transition du parasurtenseur primaire (**30**) propre à le faire basculer dans un mode de conduction de courant ;
  - de basculer l'interrupteur d'activation (**36**) pour permettre, dans le circuit capacitif tampon, le passage d'un courant propre à charger la capacité tampon (**38**) et à délester le courant dans l'interrupteur secondaire (**24**).
- [Revendication 19] Procédé de pilotage selon la revendication **18**, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes de :
- fermer mécaniquement l'interrupteur primaire (**18**) ;
  - déterminer un ou plusieurs paramètres du courant au travers du dispositif (**10**) ou la tension phase-terre, et, en fonction des paramètres du courant au travers du dispositif ou de la tension phase-terre, provoquer une réouverture immédiate du dispositif ;
  - fermer mécaniquement l'interrupteur secondaire (**24**) si il n'y a pas eu de réouverture immédiate du dispositif.
- [Revendication 20] Procédé de pilotage d'un dispositif de coupure selon l'une des revendications **18** ou **19** en combinaison avec l'une des revendications

**10** ou **12**, caractérisé en ce qu'il comporte la détermination d'une valeur d'intensité d'un courant à couper au travers du dispositif (**10**), et la détermination, en fonction de la valeur déterminée d'intensité de courant de défaut, de l'état dans lequel l'au moins un interrupteur de by-pass (**50**) doit être basculé.

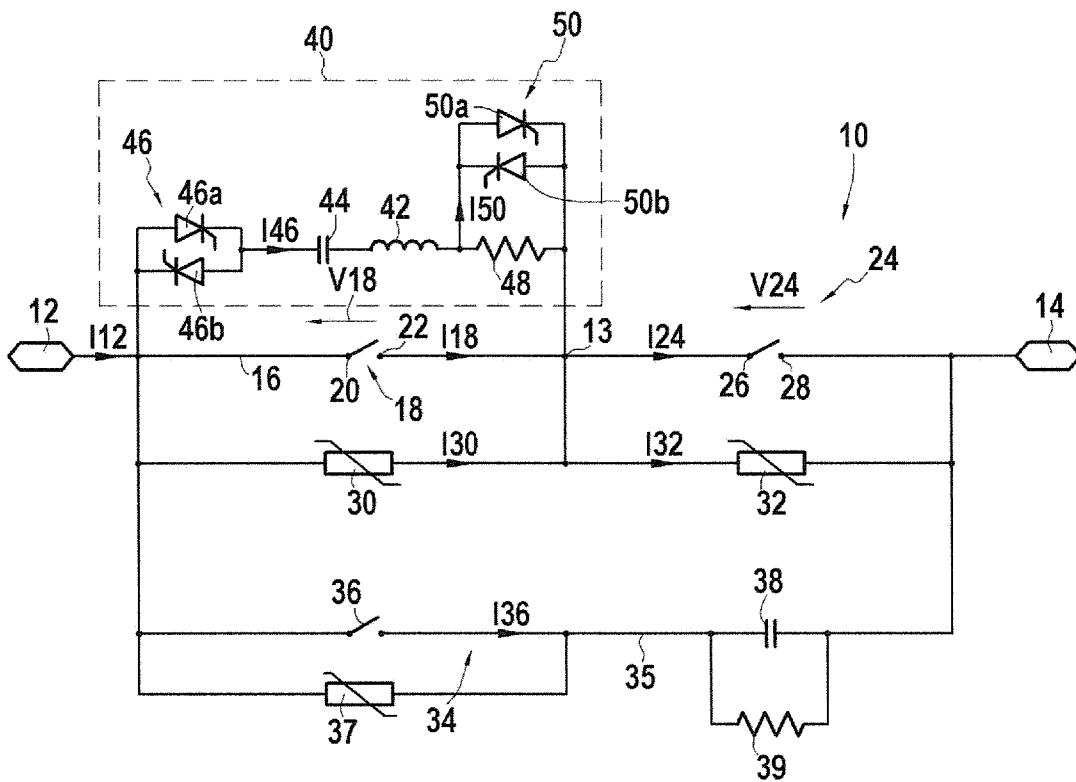
[Revendication 21] Procédé de pilotage d'un dispositif de coupure selon la revendication **18** prise en combinaison avec la revendication **12**, caractérisé en ce que certains au moins des interrupteurs de by-pass du circuit d'oscillation sont basculés avec un décalage de temps l'un par rapport à l'autre.

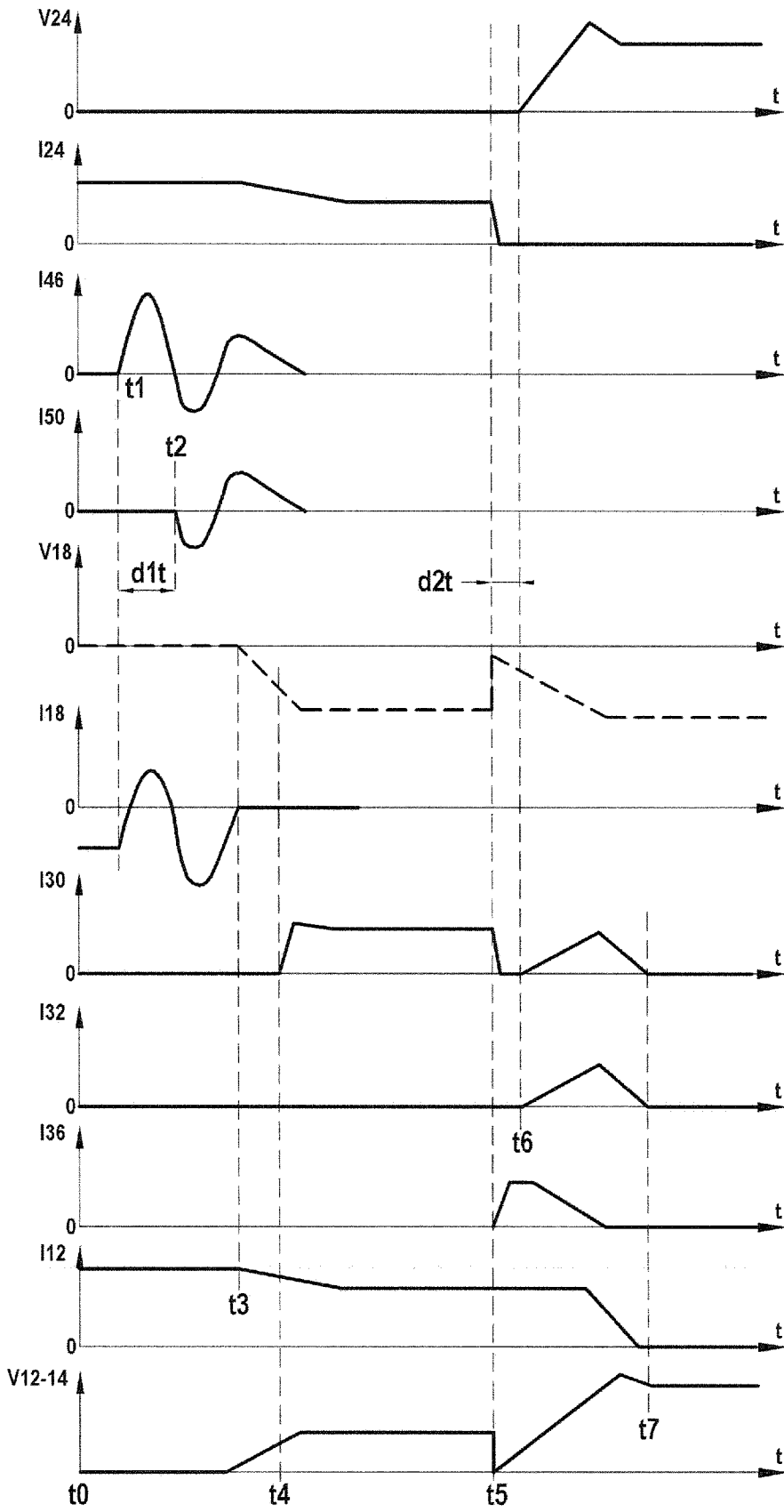
[Revendication 22] Procédé de pilotage d'un dispositif de coupure selon l'une quelconque des revendications **18** à **21**, caractérisé en ce que, à l'état initial, la capacité tampon (**38**) est déchargée.

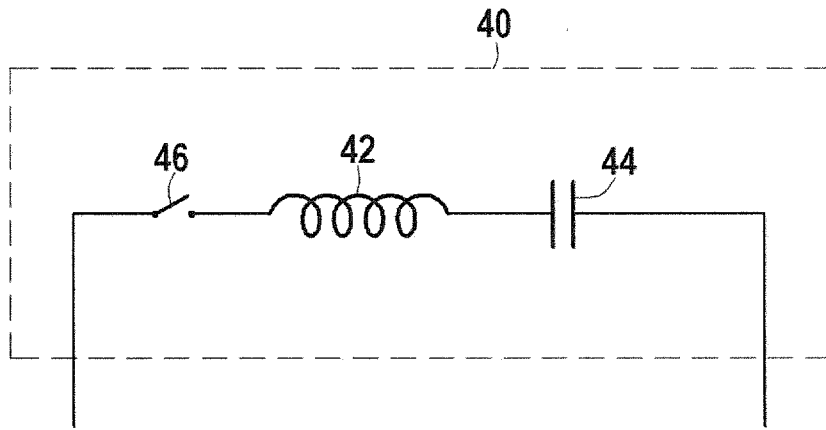
[Fig. 1]



[Fig. 2]







## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/FR2019/053271**

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> <i>H01H 33/59</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) 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		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2015103857 A1 (UNIV XI AN JIAOTONG [CN]; SHI ZONGQIAN [CN] ET AL.) 16 July 2015 (2015-07-16)	1-9,13,15,17-19,22
Y	abstract; figures	10-12,14,16,20,21
Y	EP 3091626 A1 (HYOSUNG CORP [KR]) 09 November 2016 (2016-11-09)	10-12,20,21
A	paragraphs [0024] - [0038]; figures	1,18
Y	CN 103296636 A (UNIV XI AN JIAOTONG) 11 September 2013 (2013-09-11)	14
A	figures	1,18
Y	WO 2012100831 A1 (ALSTOM TECHNOLOGY LTD [CH]; OATES COLIN DONALD MURRAY [GB] ET AL.) 02 August 2012 (2012-08-02)	16
A	page 9, line 28 - page 10, line 16; figure 1	1,18
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 <b>05 March 2020</b>		Date of mailing of the international search report <b>17 March 2020</b>
Name and mailing address of the ISA/EP <b>European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands</b> Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer <b>Findeli, Luc</b> Telephone No.

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

International application No.

**PCT/FR2019/053271**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
WO	2015103857	A1	16 July 2015	CN	103762547	A	30 April 2014
				WO	2015103857	A1	16 July 2015
EP	3091626	A1	09 November 2016	EP	3091626	A1	09 November 2016
				KR	20150078491	A	08 July 2015
				US	2016329179	A1	10 November 2016
				WO	2015102383	A1	09 July 2015
CN	103296636	A	11 September 2013	NONE			
WO	2012100831	A1	02 August 2012	NONE			

<p>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE                  INV. H01H33/59                  ADD.</p>		
<p>Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB</p>		
<p>B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE</p>		
<p>Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)                  H01H</p>		
<p>Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche</p>		
<p>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</p>		
<p>C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</p>		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	WO 2015/103857 A1 (UNIV XI AN JIAOTONG [CN]; SHI ZONGQIAN [CN] ET AL.) 16 juillet 2015 (2015-07-16)	1-9,13, 15, 17-19,22
Y	abrégé; figures	10-12, 14,16, 20,21
Y	----- EP 3 091 626 A1 (HYOSUNG CORP [KR]) 9 novembre 2016 (2016-11-09)	10-12, 20,21
A	alinéas [0024] - [0038]; figures	1,18
Y	----- CN 103 296 636 A (UNIV XI AN JIAOTONG) 11 septembre 2013 (2013-09-11)	14
A	figures	1,18
	----- -/--	
<p><input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents</p>		
<p><input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe</p>		
<p>* Catégories spéciales de documents cités:</p>		
<p>"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent</p>		<p>"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</p> <p>"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</p> <p>"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</p> <p>"&amp;" document qui fait partie de la même famille de brevets</p>
<p>"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date</p>		
<p>"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)</p>		
<p>"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens</p>		
<p>"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée</p>		
<p>Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée</p>		
<p>5 mars 2020</p>		<p>Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale</p> <p>17/03/2020</p>
<p>Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale</p> <p>Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2                  NL - 2280 HV Rijswijk                  Tel. (+31-70) 340-2040,                  Fax: (+31-70) 340-3016</p>		<p>Fonctionnaire autorisé</p> <p>Findeli, Luc</p>

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	WO 2012/100831 A1 (ALSTOM TECHNOLOGY LTD [CH]; OATES COLIN DONALD MURRAY [GB] ET AL.) 2 août 2012 (2012-08-02)	16
A	page 9, ligne 28 - page 10, ligne 16; figure 1 -----	1,18

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2019/053271

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2015103857 A1	16-07-2015	CN 103762547 A WO 2015103857 A1	30-04-2014 16-07-2015
EP 3091626 A1	09-11-2016	EP 3091626 A1 KR 20150078491 A US 2016329179 A1 WO 2015102383 A1	09-11-2016 08-07-2015 10-11-2016 09-07-2015
CN 103296636 A	11-09-2013	AUCUN	
WO 2012100831 A1	02-08-2012	AUCUN	