

(19)



(11)

EP 3 523 817 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:

22.07.2020 Bulletin 2020/30

(51) Int Cl.:

H01H 33/59 (2006.01) H01H 33/22 (2006.01)

(86) Numéro de dépôt international:

PCT/FR2017/052772

(21) Numéro de dépôt: **17787514.3**

(22) Date de dépôt: **10.10.2017**

(87) Numéro de publication internationale:

WO 2018/069627 (19.04.2018 Gazette 2018/16)

(54) **COMMUTATEUR AU CO2 POUR UN RÉSEAU À COURANT CONTINU HAUTE TENSION**

CO2: SCHALTER FÜR EIN HOCHSPANNUNGSGLEICHSTROMNETZ

CO2 SWITCH FOR A HIGH VOLTAGE DC GRID

(84) Etats contractants désignés:

**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(56) Documents cités:

**EP-A1- 2 652 752 EP-A1- 2 779 195
EP-A2- 0 740 320 WO-A1-2016/128571
FR-A1- 2 975 819 FR-A1- 2 995 462
US-A- 4 071 461 US-A1- 2011 175 460
US-A1- 2015 021 297**

(30) Priorité: **10.10.2016 FR 1659762**

(43) Date de publication de la demande:

14.08.2019 Bulletin 2019/33

(73) Titulaire: **Supergrid Institute**

69100 Villeurbanne (FR)

- **J L HERNÁNDEZ-ÁVILA ET AL: "Electron transport and swarm parameters in CO 2 and its mixtures with SF 6", JOURNAL OF PHYSICS D: APPLIED PHYSICS, vol. 35, no. 18, 1 septembre 2002 (2002-09-01), pages 2264-2269, XP055393997, GB ISSN: 0022-3727, DOI: 10.1088/0022-3727/35/18/306**

(72) Inventeur: **CREUSOT, Christophe**

01120 Pizay (FR)

(74) Mandataire: **Cabinet Beau de Loménie**

51 avenue Jean Jaurès

BP 7073

69301 Lyon Cedex 07 (FR)

EP 3 523 817 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

[0001] La présente invention concerne le domaine technique général des réseaux de transmission à courant continu haute tension (HVDC, acronyme pour en anglais, High Voltage Direct Current) ou à courant continu moyenne tension (MVDC, acronyme pour en anglais, Medium Voltage Direct Current).

[0002] L'invention vise plus particulièrement, les commutateurs à gaz HVDC ou MVDC interrompant un courant continu dans une ligne d'un réseau de transmission à courant continu haute ou moyenne tension.

[0003] L'objet de l'invention trouve une application particulièrement avantageuse dans le domaine technique des réseaux à courant continu haute ou moyenne tension afin de pouvoir aiguiller la puissance d'un chemin vers un autre du réseau en cas par exemple de défaillance sur un pôle ou d'opérations de maintenance prolongées sur un pôle du réseau.

[0004] Dans les réseaux à courant continu, il est connu d'utiliser des commutateurs comportant une branche avec un disjoncteur de courant continu comportant des organes actifs de coupure enfermés dans une enceinte étanche contenant un fluide gazeux. L'état de la technique a proposé de nombreuses solutions techniques pour réaliser un disjoncteur de courant continu à gaz.

[0005] Par exemple, un disjoncteur connu a été décrit, dans "Journal of Power-Energy Division Conference 1994 of Institute of Electrical Engineers", n 621, pp. 824-825. Le disjoncteur à courant continu à gaz est placé dans une branche d'une ligne du réseau continu. En parallèle de cette branche contenant ce disjoncteur sont montés d'une part, une branche avec un élément d'absorption d'énergie pour absorber toute surtension, et d'autre part, un circuit résonnant présentant une capacité donnée et une inductance donnée.

[0006] Le disjoncteur à courant continu est du type à soufflage et comporte des organes actifs de coupure enfermés dans une enceinte étanche contenant un fluide gazeux. Le disjoncteur comporte un contact fixe pour permettre l'écoulement du courant continu et un contact mobile dans un cylindre de soufflage avec une buse diélectrique fixée sur celui-ci. Dans l'état ouvert, un arc électrique est généré entre les contacts lorsqu'une tige de piston intégrée au contact mobile est déplacée par rapport au piston de soufflage fixée sur le contact fixe. Lorsque la tige de piston se déplace, un gaz d'extinction d'arc, typiquement du SF₆, contenu à l'intérieur de l'enceinte est comprimé pour être pulvérisé sur l'arc.

[0007] Dans le cas du courant continu, la pulvérisation simplement de l'arc à courant continu avec le gaz SF₆ peut ne pas être suffisante pour interrompre et l'éteindre avec succès en raison du fait que, contrairement au courant alternatif, le courant continu ne traverse pas périodiquement le point zéro de courant.

[0008] Pour éteindre l'arc, le circuit résonnant qui comporte une inductance et un condensateur est ainsi couplé en parallèle au disjoncteur pour superposer un courant

oscillant au courant continu, pour fournir un passage par zéro au disjoncteur. Ceci permet au gaz SF₆ comprimé par le piston de soufflage d'être soufflé et pulvérisé contre l'arc forçant son extinction.

[0009] Compte tenu que les réseaux à courant continu nécessitent des tensions de plus en plus hautes, les commutateurs associés doivent augmenter la performance de commutation en valeur de courant pouvant atteindre jusqu'à 6 000 A. Cette performance de commutation en valeur de courant doit intervenir également pour une grande plage de température de fonctionnement des commutateurs. Typiquement, de tels commutateurs doivent conserver leur performance de commutation en valeur de courant alors que la température de fonctionnement peut atteindre -50°C.

[0010] Le brevet US 5 737 162 propose de conserver des disjoncteurs à courant continu avec une enceinte étanche standard mais à mettre en série ces disjoncteurs. Cette solution présente l'inconvénient d'une emprise au sol importante et d'un coût élevé.

[0011] Le brevet EP 0 740 320 propose d'optimiser les valeurs de l'impédance et de la capacité du circuit résonnant en fonction de la valeur d'interruption du courant continu.

[0012] Il a été proposé également d'utiliser différents types de gaz d'extinction comme indiqué par exemple dans la demande de brevet US 2016/261095 qui propose d'utiliser le dioxyde de carbone en remplacement du SF₆ pour l'extinction de l'arc électrique dans un appareil électrique pour la production, le transport, la distribution et / ou l'utilisation d'énergie électrique. Cependant, comme chaque type de gaz utilisé modifie les conditions d'extinction de l'arc électrique, ce document ne donne pas d'enseignement pour sa mise en œuvre dans un disjoncteur à courant continu comportant un circuit résonnant.

[0013] De même, la demande de brevet US 2011/0175460 décrit un commutateur pour un réseau à courant continu selon le préambule de la revendication 1 comportant un circuit résonnant et des organes actifs de coupure enfermés dans une enceinte contenant du SF₆. Pour un tel milieu gazeux SF₆, ce document propose de prendre une valeur de la capacité suffisamment grande pour commuter le courant continu, quel que soit le choix de la valeur de l'inductance. Cette solution ne permet pas d'optimiser le dimensionnement du circuit résonnant en tenant compte du critère de stabilité de l'arc électrique qui restreint en pratique la plage d'utilisation de l'inductance L du circuit LC.

[0014] Dans l'état de la technique, il est également connu par exemple par la demande de brevet FR 2 975 819 d'utiliser un milieu contenant du dioxyde de carbone, comme milieu d'isolation électrique et/ou d'extinction des arcs électriques dans un appareil électrique moyenne ou haute tension. Cette demande de brevet ne fournit pas d'informations sur sa mise en œuvre en relation d'un circuit résonnant.

[0015] La présente invention vise à remédier aux inconvénients énoncés ci-dessus en proposant un com-

mutateur pour un réseau à courant continu haute ou moyenne tension, mettant en œuvre un disjoncteur mécanique associé à un circuit d'injection d'un courant oscillant, un tel commutateur étant simple et peu encombrant tout en présentant des hautes performances de commutation en valeur de courant continu pour une grande plage de température de fonctionnement des commutateurs.

[0016] Pour atteindre un tel objectif, le commutateur pour un réseau à courant continu haute ou moyenne tension, comporte une branche avec un disjoncteur de courant continu comportant des organes actifs de coupure enfermés dans au moins une enceinte étanche contenant un fluide gazeux, cette branche étant insérée dans la ligne du réseau et en parallèle de laquelle sont montés d'une part, une branche avec un élément d'absorption d'énergie, et d'autre part, un circuit résonnant présentant une capacité donnée et une inductance donnée.

[0017] Selon l'invention, l'enceinte étanche du disjoncteur de courant continu contient un fluide gazeux comportant au moins 70% en volume de dioxyde de carbone à une pression de remplissage comprise entre 0,65 MPa et 1,1 MPa mesurée à une température de 20°C et pour une valeur de capacité C en μF , l'inductance L en μH est inférieure à $2700^\circ\text{C}^{-0.84}$.

[0018] De plus, le commutateur selon l'invention peut contenir en outre en combinaison au moins l'une et/ou l'autre des caractéristiques additionnelles suivantes :

- pour une valeur de capacité C en μF , l'inductance L en μH est comprise entre $400^\circ\text{C}^{-0.84}$ et $2700^\circ\text{C}^{-0.84}$;
- un fluide gazeux constitué exclusivement de dioxyde de carbone à une pression de remplissage comprise entre 0,65 et 1,1 MPa, mesurée à une température de 20°C ;
- un fluide gazeux constitué d'un mélange de dioxyde de carbone et d'hexafluorure de soufre ;
- entre 20% et 30% en volume d'hexafluorure de soufre ;
- un fluide gazeux constitué d'un mélange de dioxyde de carbone et de tétrafluorure de carbone ;
- entre 20% et 30% en volume de tétrafluorure de carbone ;
- un fluide gazeux constitué d'un mélange de dioxyde de carbone et de fluoronitrile ;
- entre 4% et 10 % en volume de fluoronitrile ;
- un fluide gazeux constitué d'un mélange de dioxyde de carbone et de dioxygène ;
- entre 5% et 15% en volume de dioxygène ;
- un fluide gazeux constitué d'un mélange ternaire de dioxyde de carbone, de dioxygène et de fluorocétone ;
- entre 5 % et 15% en volume de dioxygène et entre 4% et 10 % en volume de fluorocétone.

[0019] Un autre objet de l'invention est de proposer un réseau à courant continu haute ou moyenne tension comportant au moins un commutateur conforme à l'in-

vention.

[0020] Diverses autres caractéristiques ressortent de la description faite ci-dessous en référence aux dessins annexés qui montrent, à titre d'exemples non limitatifs, des formes de réalisation de l'objet de l'invention.

La **Figure 1** est un schéma d'un exemple de réalisation d'un réseau de transmission à courant continu haute ou moyenne tension mettant en œuvre au moins un commutateur à gaz HVDC conforme à l'invention.

La **Figure 2** est un schéma bloc fonctionnel illustrant un commutateur à gaz HVDC conforme à l'invention.

La **Figure 3** est un schéma donnant les valeurs de l'inductance L en μH en fonction des valeurs de la capacité C en μF , permettant d'illustrer le dimensionnement du circuit résonnant d'un disjoncteur d'un commutateur à gaz HVDC conforme à l'invention.

La **Figure 4** est un schéma donnant les valeurs de la capacité C en μF en fonction des valeurs de l'inductance L en μH pour diverses valeurs de courant à commuter permettant d'illustrer la limite de performance en courant dans le plan LC.

La **Figure 5** est un schéma illustrant à titre d'exemple la géométrie d'une enceinte étanche d'un disjoncteur à courant continu pour la mise en œuvre de l'invention.

La **Figure 6** est un schéma donnant le ratio de la capacité C (en μF) sur l'inductance L (en μH) pour un courant continu DC normalisé (par unité), en fonction de l'utilisation d'un milieu SF6 et d'un milieu CO₂.

[0021] La **Fig. 1** illustre à titre d'exemple un réseau de transmission à courant continu **1** haute ou moyenne tension (HVDC ou MVDC) mettant en œuvre au moins un, et d'une manière générale, plusieurs commutateurs **2i** à gaz HVDC ou MVDC conformes à l'invention, interrompant un courant continu dans une ligne du réseau. De manière classique, un tel réseau de transmission à courant continu **1** comporte au moins d'un côté, des convertisseurs **3** de courant alternatif/continu et d'un autre côté, des convertisseurs **4** de courant continu/alternatif. Les convertisseurs **3, 4** de courant ne sont pas décrits en détail car ils ne font pas partie spécifiquement de l'invention et sont bien connus de l'homme du métier.

[0022] Les commutateurs conformes à l'invention sont désignés par la référence **2i** avec i variant de **a, b, ... à n**. Ces commutateurs **2i** conformes à l'invention sont montés entre les convertisseurs **3, 4** et des points du réseau **1** pour permettre d'aiguiller la puissance d'un point du réseau vers un autre. Ces commutateurs **2i** permettent par exemple de maintenir un flux de puissance réduit en cas de défaillance sur un pôle ou d'opérations de maintenance prolongées sur un pôle du réseau. Par exemple, un réseau **1** comporte des commutateurs adaptés **2a, 2b** conformes à l'invention et des commutateurs de court-circuit **10** pour transférer la puissance depuis le

conducteur de terre **Ct** vers le conducteur métallique aérien **Ca**. Il est à noter que les commutateurs de court-circuit **10** comportent uniquement une fonction pour court-circuiter un pôle indisponible du convertisseur à la différence des commutateurs **2i** conformes à l'invention qui possèdent une capacité de commutation à l'ouverture.

[0023] Pour transférer cette puissance, le commutateur **2a** disposé sur le conducteur de terre **Ct** qui est initialement fermé, ouvre et commute le courant du conducteur de terre **Ct** vers le conducteur métallique aérien **Ca** à travers les commutateurs **2b** conformes à l'invention et les commutateurs de court-circuit **10**, placés en série entre le conducteur de terre **Ct** et le conducteur métallique aérien **Ca** et qui auront été préalablement fermés.

[0024] Tel que cela ressort plus précisément de la Fig. 2, un commutateur **2i** est placé sur une ligne du réseau **1** parcouru par un courant continu **IDC**, par exemple entre les points **A-A'** comme illustré. Chaque commutateur **2i** comporte entre, les points **A-A'**, une branche avec un disjoncteur **5** de courant continu de tous types connus en soi constitué de une ou plusieurs enceintes étanches disposées en série, présentant un courant d'arc **Iarc** et une tension d'arc **Uarc**.

[0025] Par disjoncteur de courant continu **5**, il est compris un appareil mécanique comportant des organes actifs de coupure enfermés dans une enceinte étanche contenant un fluide gazeux et un système de soufflage de l'arc par le fluide gazeux. Comme cela sera décrit plus précisément dans la suite de la description, le fluide gazeux est choisi pour son caractère isolant, notamment de manière à présenter une rigidité diélectrique supérieure à celle de l'air sec à pression équivalente, pour sa capacité de coupure de courant et sa capacité à fournir une tension d'arc élevée.

[0026] Un disjoncteur de courant continu **5** est par exemple décrit par la Fig. 5. De manière classique, le disjoncteur de courant continu **5** comporte dans une enceinte étanche **5a**, une paire de contacts d'arc **5b** et **5c** et une paire de contacts dits « permanents » **5d** et **5e** qui assurent le passage du courant lorsque le disjoncteur est en position fermée. Les contacts d'arc **5b** et **5c** ainsi que les contacts permanents se séparent lors de la manœuvre d'ouverture. Lorsque les contacts d'arc **5b** et **5c** se séparent, l'arc électrique s'établit entre eux et est confiné à l'intérieur de la buse de soufflage **5f**. L'arc perdure jusqu'à ce qu'un passage par zéro du courant se présente auquel cas le gaz soufflé par la buse de soufflage **5f** permet de remplacer le plasma par un gaz plus frais. Cette action de soufflage au passage par zéro du courant permet d'éteindre l'arc et permet au milieu gazeux compris entre les contacts d'arc **5b** et **5c** de tenir la tension transitoire de rétablissement imposée par le réseau sans réamorcer et rétablir le courant.

[0027] En parallèle de cette branche **A-A'** est monté d'une part, un circuit résonnant **6** non pré chargé et d'autre part, une branche avec un élément d'absorption

d'énergie **7**. Le circuit résonnant **6** non pré chargé présente en série, une capacité donnée **C**, une résistance **R** et une inductance donnée **L**. Ce circuit résonnant **6** interagit avec la tension d'arc **Uarc** pour produire un courant oscillant exponentiellement croissant. Ce courant oscillant vient se superposer au courant continu **IDC** pour fournir un passage à zéro du courant pendant lequel le fluide gazeux est soufflé pour éteindre l'arc.

[0028] La branche avec l'élément d'absorption d'énergie **7** comporte un dispositif contre les surtensions de tous types connus en soi, tel qu'un parafoudre. Cet élément d'absorption d'énergie **7** est implanté pour permettre de fixer la surtension maximale aux bornes du condensateur **C** et du disjoncteur **5** et d'absorber l'énergie du réseau après la coupure par le disjoncteur **5**.

[0029] La performance de commutation de ce type de commutateur telle qu'illustrée par la Fig. 4 résulte de l'interaction intime entre l'arc électrique développé entre les contacts d'arc **5b** et **5c** d'un commutateur **2i** et du circuit résonnant **LC** qui lui est connecté en parallèle. Les caractéristiques de l'arc électrique dépendent essentiellement du milieu dans lequel celui-ci baigne. Ainsi, pour un même circuit résonnant **LC** parallèle à un commutateur **2i**, la limite de performance de commutation du courant continu **DC** de ce commutateur est fortement influencée par le milieu gazeux dans lequel baigne l'arc électrique. Exprimé d'une autre manière, pour un même courant continu **DC** commuté visé, si l'on change le milieu gazeux dans lequel baigne l'arc électrique, le circuit résonnant **LC** parallèle à un commutateur **2i** doit être modifié. Le fluide couramment utilisé pour cette application dans l'art antérieur est l'hexafluorure de soufre (SF6).

[0030] Conformément à l'invention, l'enceinte étanche **5a** du disjoncteur de courant continu **5** contient un fluide gazeux comportant au moins 70% en volume de dioxyde de carbone et présentant une pression de remplissage comprise entre 0,65 MPa et 1,1 MPa mesurée à une température de 20°C. Ainsi, par rapport au volume total du fluide gazeux contenu dans l'enceinte étanche **5a** du disjoncteur de courant continu **5**, cette enceinte contient en volume au moins 70% en volume de CO2. Comme cela sera décrit dans les exemples de réalisation décrits ci-après, le fluide gazeux contient exclusivement du CO2 ou un mélange de CO2 avec d'autres composants, le choix de la composition du mélange gazeux dépendant notamment des températures de fonctionnement des commutateurs. La pression est mesurée à une température de 20°C lors du remplissage en fluide gazeux de l'enceinte étanche **5a**.

[0031] La Fig. 6 illustre avantageusement les écarts de performance entre l'utilisation comme milieu gazeux dans l'enceinte étanche du disjoncteur, d'un milieu SF6 classique et d'un milieu gazeux conforme à l'invention comportant du CO2. La Fig. 6 fournit ainsi des relevés d'essais comparatifs entre un milieu SF6 et un milieu conforme à l'invention contenant du CO2. Cette Fig. 6 permet d'illustrer l'impact du changement de milieu gazeux dans une même géométrie de commutateur **2i** sur

la performance de commutation en courant continu **DC** et met en avant l'avantage de l'utilisation d'un milieu majoritairement constitué de CO₂. Les relevés d'essais indiquent qu'une variation du circuit résonnant **LC** sur une plage de **C/L** allant de $\sim 0,0_5$ à $\sim 1,1 \mu\text{F}/\mu\text{H}$ n'a quasiment apporté aucun gain sur la performance de commutation dans le milieu SF₆, celle-ci étant fixée en référence à 1 pu. A contrario, l'utilisation du milieu gazeux conforme à l'invention contenant du CO₂ montre systématiquement un gain de performance par rapport au milieu SF₆. Cette performance est encore améliorée en modifiant le circuit résonnant **LC** alors que cela n'est pas le cas avec le milieu SF₆.

[0032] Selon une variante préférée de réalisation, l'enceinte étanche **5a** du disjoncteur de courant continu **5** contient un fluide gazeux constitué exclusivement de dioxyde de carbone à une pression de remplissage comprise entre 0,65 et 1,1 MPa, mesurée à une température de 20°C. Par exemple, pour des conditions de fonctionnement du commutateur à une température pouvant atteindre -40°C, le fluide gazeux peut être constitué exclusivement de dioxyde de carbone à une pression de remplissage de 1,1 MPa à 20°C. Pour des conditions de fonctionnement du commutateur à une température pouvant atteindre -50°C, le fluide gazeux peut être constitué exclusivement de dioxyde de carbone à une pression de remplissage de 0,8 MPa à 20°C.

[0033] Selon un autre exemple de réalisation, l'enceinte étanche **5a** du disjoncteur de courant continu **5** contient un fluide gazeux constitué d'un mélange de dioxyde de carbone et d'hexafluorure de soufre (SF₆). L'enceinte étanche **5a** du disjoncteur de courant continu **5** contient ainsi entre 20% et 30% en volume d'hexafluorure de soufre et en complément, du dioxyde de carbone. Cet exemple de réalisation permet des conditions de fonctionnement du commutateur à une température pouvant atteindre -50°C.

[0034] Selon un autre exemple de réalisation, l'enceinte étanche **5a** du disjoncteur de courant continu **5** contient un fluide gazeux constitué d'un mélange de dioxyde de carbone et de tétrafluorure de carbone (CF₄). L'enceinte étanche du disjoncteur de courant continu **5** contient entre 20% et 30% en volume de tétrafluorure de carbone et en complément, du dioxyde de carbone. Cet exemple de réalisation permet des conditions de fonctionnement du commutateur à une température pouvant atteindre -50°C.

[0035] Selon un autre exemple de réalisation, l'enceinte étanche **5a** du disjoncteur de courant continu **5** contient un fluide gazeux constitué d'un mélange de dioxyde de carbone et de fluoronitrile (2,3,3,3-tétrafluoro-2-(trifluorométhyl)-propanenitrile). Selon cet exemple, l'enceinte étanche du disjoncteur de courant continu contient entre 4% et 10 % en volume de fluoronitrile et en complément, du dioxyde de carbone.

[0036] Selon un autre exemple de réalisation, l'enceinte étanche **5a** du disjoncteur de courant continu contient un fluide gazeux constitué d'un mélange de dioxyde de

carbone et de dioxygène. Selon cet exemple, l'enceinte étanche du disjoncteur de courant continu contient entre 5% et 15% en volume de dioxygène et en complément, du dioxyde de carbone.

[0037] Selon un autre exemple de réalisation, l'enceinte étanche **5a** du disjoncteur de courant continu contient un fluide gazeux constitué d'un mélange ternaire de dioxyde de carbone, de dioxygène et de fluorocétone (C_nFK). Selon cet exemple, l'enceinte étanche du disjoncteur de courant continu contient entre 5 % et 15% en volume de dioxygène et entre 4% et 10 % en volume de fluorocétone et en complément, un mélange ternaire de dioxyde de carbone.

[0038] Une autre caractéristique de l'objet de l'invention est de déterminer les valeurs optimales de capacité **C** et d'inductance **L** pour le circuit résonnant **6** du disjoncteur à courant continu **5** en fonction de la valeur du courant de commutation et de la performance du disjoncteur **5** conforme à l'invention contenant au moins 70% en volume de CO₂. La **Fig. 4**, permet d'illustrer l'évolution de la capacité **C** requise pour le circuit résonnant **6** en fonction de la valeur du courant continu à commuter. Quand le courant à commuter **I** croît, il est nécessaire d'augmenter la valeur de la capacité **C** du condensateur afin de pouvoir générer l'instabilité de courant. Par contre, cette instabilité ne peut se maintenir et produire le courant oscillant exponentiellement croissant que si l'inductance du circuit résonnant **6** (y compris l'inductance parasite de la boucle) est inférieure à une valeur limite.

[0039] Conformément à l'invention, pour une valeur de capacité **C** en μF du circuit résonnant **6**, l'inductance **L** en μH du circuit résonnant **6** reste inférieure à $2700^\circ\text{C}^{-0.84}$. Selon une caractéristique avantageuse de réalisation, pour une valeur de capacité **C** en μF , l'inductance **L** μH est comprise entre $400^\circ\text{C}^{-0.84}$ et $2700^\circ\text{C}^{-0.84}$.

[0040] Cette relation est illustrée par la **Fig. 3**. Par exemple pour une capacité requise de 30 μF , pour être efficace, l'inductance **L** du circuit résonnant **6** interagissant avec l'arc électrique du disjoncteur **5** conforme à l'invention doit être comprise entre 23 μH et 155 μH .

[0041] Il ressort de la description qui précède que les caractéristiques relatives au circuit résonnant et celles relatives au fluide gazeux interagissent pour produire un effet technique combiné.

[0042] En effet, le circuit résonnant **LC** du commutateur produit un courant oscillant si l'arc électrique est dans son domaine d'instabilité. La frontière entre le domaine de stabilité de l'arc électrique et son domaine d'instabilité résulte de l'interaction entre les grandeurs du circuit **LC** résonnant d'une part et les caractéristiques intrinsèques de l'arc électrique d'autre part. Or, comme les caractéristiques intrinsèques de l'arc électrique dépendent du milieu gazeux dans lequel se développe l'arc électrique, les caractéristiques relatives au circuit résonnant interagissent avec celles relatives au milieu gazeux.

[0043] Un avantage de l'invention est que les performances d'interruption sont atteintes du fait que le disjoncteur à courant continu comporte un circuit résonnant

dimensionné comme décrit ci-avant, permettant de profiter pleinement de la performance du disjoncteur à courant continu. Compte tenu que la capacité du circuit résonnant peut être maîtrisée, le coût d'un tel commutateur est réduit, la performance de commutation de courant est également augmentée.

[0044] L'invention n'est pas limitée aux exemples décrits et représentés car diverses modifications peuvent y être apportées sans sortir du cadre des revendications.

Revendications

1. Commutateur pour un réseau à courant continu haute ou moyenne tension (1), comportant une branche avec un disjoncteur de courant continu (5) comportant des organes actifs de coupure enfermés dans au moins une enceinte étanche (5a) contenant un fluide gazeux, cette branche étant insérée dans la ligne du réseau et en parallèle de laquelle sont montés d'une part, une branche avec un élément d'absorption d'énergie (7), et d'autre part, un circuit résonnant (6) présentant une capacité donnée (C) et une inductance donnée (L), tel que, pour une capacité (C) en μF , l'inductance (L) en μH est inférieure à $2700 \cdot C^{-0.84}$, **caractérisé en ce que** l'enceinte étanche du disjoncteur de courant continu (5) contient un fluide gazeux comportant au moins 70% en volume de dioxyde de carbone à une pression de remplissage comprise entre 0,65 MPa et 1,1 MPa mesurée à une température de 20°C.
2. Commutateur selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** pour une valeur de capacité (C) en μF , l'inductance (L) en μH est comprise entre $400 \cdot C^{-0.84}$ et $2700 \cdot C^{-0.84}$.
3. Commutateur selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'enceinte étanche du disjoncteur de courant continu (5) contient un fluide gazeux constitué exclusivement de dioxyde de carbone à une pression de remplissage comprise entre 0,65 et 1,1 MPa, mesurée à une température de 20°C.
4. Commutateur selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'enceinte étanche du disjoncteur de courant continu (5) contient un fluide gazeux constitué d'un mélange de dioxyde de carbone et d'hexafluorure de soufre.
5. Commutateur selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** l'enceinte étanche du disjoncteur de courant continu (5) contient entre 20% et 30% en volume d'hexafluorure de soufre.
6. Commutateur selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'enceinte étanche du disjoncteur de courant continu (5) contient un fluide gazeux constitué

d'un mélange de dioxyde de carbone et de tétrafluorure de carbone.

7. Commutateur selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** l'enceinte étanche du disjoncteur de courant continu (5) contient entre 20% et 30% en volume de tétrafluorure de carbone.
8. Commutateur selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'enceinte étanche du disjoncteur de courant continu (5) contient un fluide gazeux constitué d'un mélange de dioxyde de carbone et de fluoronitrile.
9. Commutateur selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** l'enceinte étanche du disjoncteur de courant continu (5) contient entre 4% et 10 % en volume de fluoronitrile.
10. Commutateur selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'enceinte étanche du disjoncteur de courant continu (5) contient un fluide gazeux constitué d'un mélange de dioxyde de carbone et de dioxygène.
11. Commutateur selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** l'enceinte étanche du disjoncteur de courant continu (5) contient entre 5% et 15% en volume de dioxygène.
12. Commutateur selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'enceinte étanche du disjoncteur de courant continu (5) contient un fluide gazeux constitué d'un mélange ternaire de dioxyde de carbone, de dioxygène et de fluorocétone.
13. Commutateur selon la revendication 12, **caractérisé en ce que** l'enceinte étanche du disjoncteur de courant continu (5) contient entre 5 % et 15% en volume de dioxygène et entre 4% et 10 % en volume de fluorocétone.
14. Réseau à courant continu haute ou moyenne tension, **caractérisé en ce qu'il** comporte au moins un commutateur (2i) conforme à l'une des revendications 1 à 13.

Patentansprüche

1. Schalter für ein Gleichstromnetz mit hoher oder mittlerer Spannung (1), das einen Zweig mit einem Gleichstrom-Trennschalter (5) beinhaltet, der aktive Unterbrechungsglieder beinhaltet, die in zumindest einer dichten Einhausung (5a) eingeschlossen sind, die ein gasförmiges Fluid enthält, wobei dieser Zweig in eine Leitung des Netzes eingefügt ist und parallel dazu einerseits ein Zweig mit einem Energieabsorp-

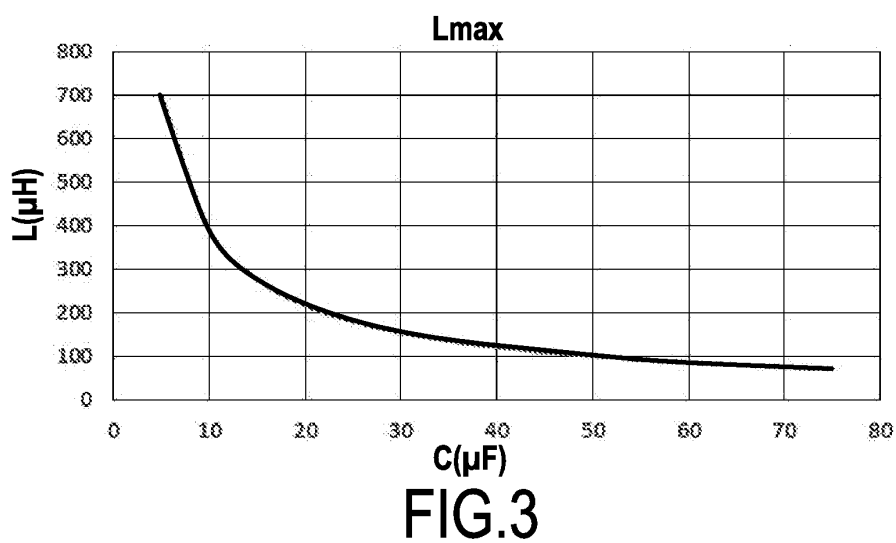
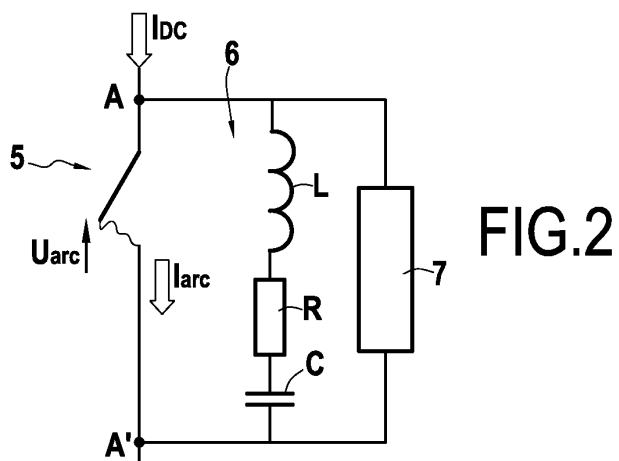
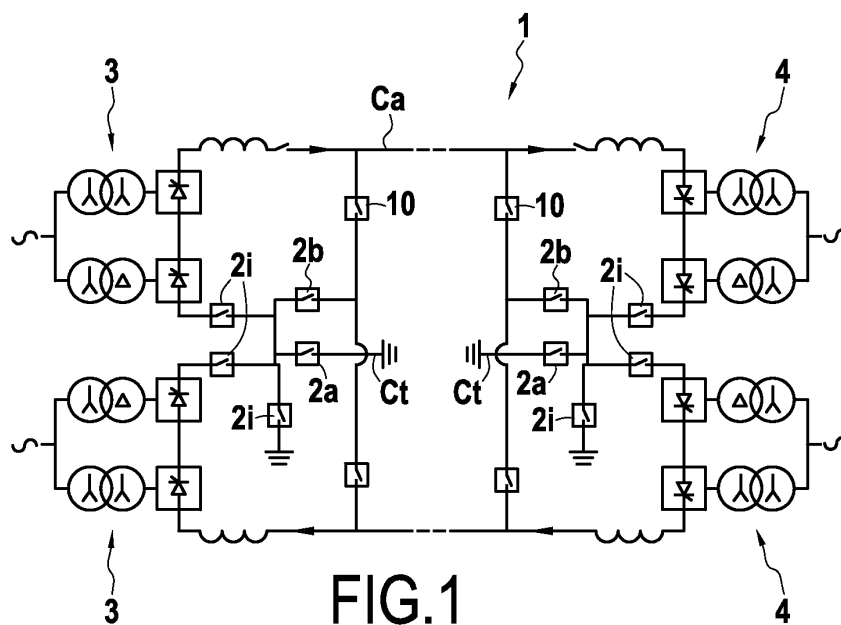
- tionselement (7) und andererseits ein Resonanzkreis (6), der eine gegebene Kapazität (C) und eine gegebene Induktanz (L) aufweist, so dass für eine Kapazität (C) in μF die Induktanz (L) in μH kleiner als $2700 \times C^{-0.84}$ ist, montiert sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** die dichte Einhausung des Gleichstrom-Trennschalters (5) ein gasförmiges Fluid enthält, das mindestens 70 Vol.-% Kohlendioxid bei einem Fülldruck zwischen 0,65 MPa und 1,1 MPa, gemessen bei einer Temperatur von 20 °C, beinhaltet.
2. Schalter nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** für einen Kapazitätswert (C) in μF die Induktanz (L) in μH zwischen $400 \times C^{-0.84}$ und $2700 \times C^{-0.84}$ beträgt.
3. Schalter nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die dichte Einhausung des Gleichstrom-Trennschalters (5) ein gasförmiges Fluid enthält, das ausschließlich aus Kohlendioxid bei einem Fülldruck zwischen 0,65 und 1,1 MPa, gemessen bei einer Temperatur von 20 °C, besteht.
4. Schalter nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die dichte Einhausung des Gleichstrom-Trennschalters (5) ein gasförmiges Fluid enthält, das aus einer Mischung von Kohlendioxid und Schwefelhexafluorid besteht.
5. Schalter nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die dichte Einhausung des Gleichstrom-Trennschalters (5) zwischen 20 Vol.-% und 30 Vol.-% Schwefelhexafluorid enthält.
6. Schalter nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die dichte Einhausung des Gleichstrom-Trennschalters (5) ein gasförmiges Fluid enthält, das aus einer Mischung von Kohlendioxid und Kohlenstofftetrafluorid besteht.
7. Schalter nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die dichte Einhausung des Gleichstrom-Trennschalters (5) zwischen 20 Vol.-% und 30 Vol.-% Kohlenstofftetrafluorid enthält.
8. Schalter nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die dichte Einhausung des Gleichstrom-Trennschalters (5) ein gasförmiges Fluid enthält, das aus einer Mischung von Kohlendioxid und Fluornitril besteht.
9. Schalter nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die dichte Einhausung des Gleichstrom-Trennschalters (5) zwischen 4 Vol.-% und 10 Vol.-% Fluornitril enthält.
10. Schalter nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die dichte Einhausung des Gleichstrom-Trennschalters (5) ein gasförmiges Fluid enthält, das aus einer Mischung von Kohlendioxid und molekularem Sauerstoff besteht.
11. Schalter nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die dichte Einhausung des Gleichstrom-Trennschalters (5) zwischen 5 Vol.-% und 15 Vol.-% molekularen Sauerstoff enthält.
12. Schalter nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die dichte Einhausung des Gleichstrom-Trennschalters (5) ein gasförmiges Fluid enthält, das aus einer Dreifachmischung von Kohlendioxid, molekularem Sauerstoff und Fluorketon besteht.
13. Schalter nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die dichte Einhausung des Gleichstrom-Trennschalters (5) zwischen 5 Vol.-% und 15 Vol.-% molekularen Sauerstoff und zwischen 4 Vol.-% und 10 Vol.-% Fluorketon enthält.
14. Gleichstromnetz mit hoher oder mittlerer Spannung, **dadurch gekennzeichnet, dass** es zumindest einen Schalter (2i) nach einem der Ansprüche 1 bis 13 beinhaltet.

Claims

1. A switch for a high or medium voltage direct current network (1), the switch comprising a branch with a DC circuit breaker (5) containing active circuit-breaking members enclosed in at least one sealed enclosure (5a) containing a gaseous fluid, this branch being inserted in the network line, and having connected in parallel therewith firstly a branch with an energy absorber element (7), and secondly a resonant circuit (6) presenting a given capacitance (C) and a given inductance (L), as such, for a capacitance (C) in μF , the inductance (L) in μH is less than $2700 \times C^{-0.84}$ **characterized in that** the sealed enclosure of the DC circuit breaker (5) contains a gaseous fluid comprising at least 70% by volume carbon dioxide at a filling pressure lying in the range 0.65 MPa to 1.1 MPa as measured at a temperature of 20°C.
2. A switch according to claim 1, **characterized in that** for a value of capacitance (C) in μF , the inductance (L) in μH lies in the range $400 \times C^{-0.84}$ to $2700 \times C^{-0.84}$.
3. A switch according to claim 1, **characterized in that** the sealed enclosure of the DC circuit breaker (5) contains a gaseous fluid constituted solely by carbon dioxide with a filling pressure lying in the range 0.65 MPa to 1.1 MPa, as measured at a temperature of 20°C.

4. A switch according to claim 1, **characterized in that** the sealed enclosure of the DC circuit breaker (5) contains a gaseous fluid constituted by a mixture of carbon dioxide and of sulfur hexafluoride. 5
5. A switch according to claim 4, **characterized in that** the sealed enclosure of the DC circuit breaker (5) contains 20% to 30% by volume sulfur hexafluoride.
6. A switch according to claim 1, **characterized in that** the sealed enclosure of the DC circuit breaker (5) contains a gaseous fluid constituted by a mixture of carbon dioxide and of carbon tetrafluoride. 10
7. A switch according to claim 6, **characterized in that** the sealed enclosure of the DC circuit breaker (5) contains 20% to 30% by volume carbon tetrafluoride. 15
8. A switch according to claim 1, **characterized in that** the sealed enclosure of the DC circuit breaker (5) contains a gaseous fluid constituted by a mixture of carbon dioxide and of fluoronitrile. 20
9. A switch according to claim 8, **characterized in that** the sealed enclosure of the DC circuit breaker (5) contains 4% to 10% by volume fluoronitrile. 25
10. A switch according to claim 1, **characterized in that** the sealed enclosure of the DC circuit breaker (5) contains a gaseous fluid constituted by a mixture of carbon dioxide and of dioxygen. 30
11. A switch according to claim 10, **characterized in that** the sealed enclosure of the DC circuit breaker (5) contains 5% to 15% by volume of dioxygen. 35
12. A switch according to claim 1, **characterized in that** the sealed enclosure of the DC circuit breaker (5) contains a gaseous fluid constituted by a ternary mixture of carbon dioxide, of dioxygen, and of fluoroketone. 40
13. A switch according to claim 12, **characterized in that** the sealed enclosure of the DC circuit breaker (5) contains 5% to 15% by volume dioxygen and 4% to 10% by volume fluoroketone. 45
14. A high or medium voltage direct current network, **characterized in that** it includes at least one switch (2i) in accordance with any one of claims 1 to 13. 50

55



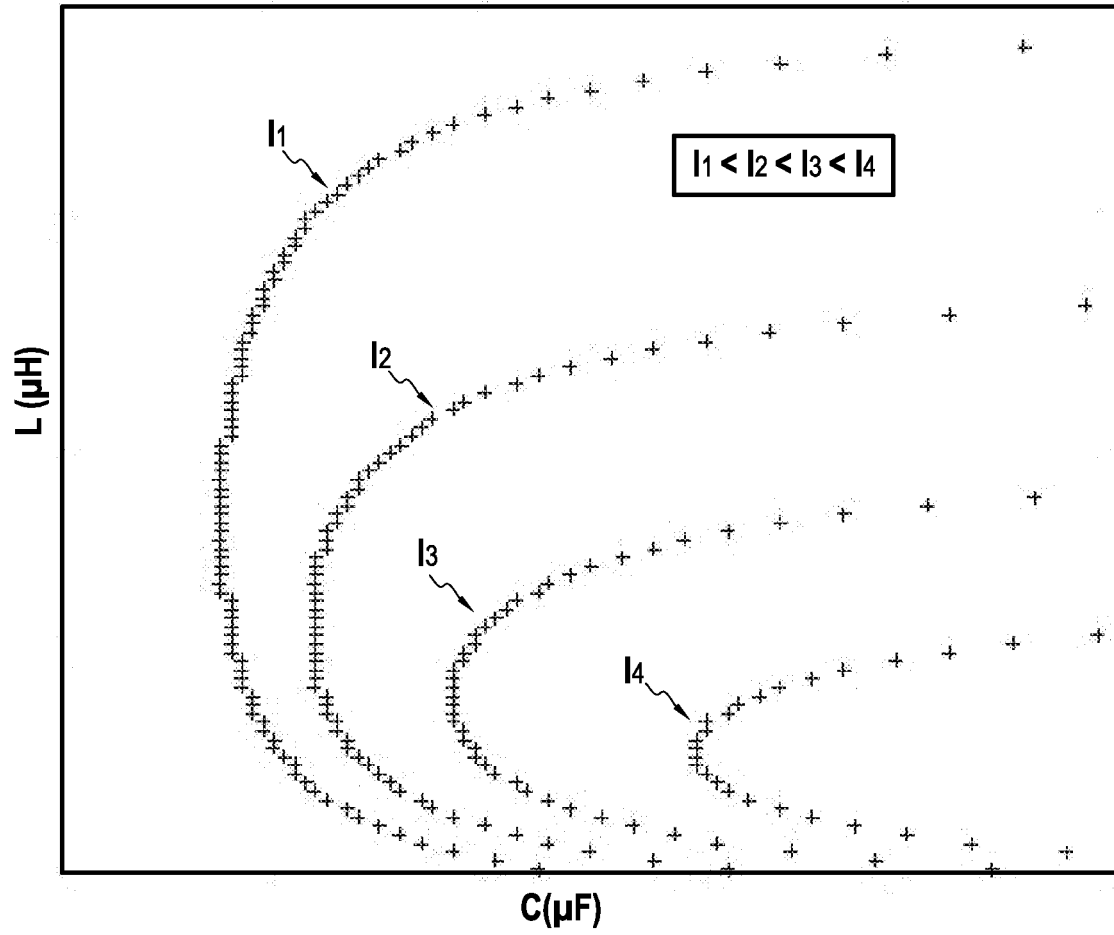


FIG. 4

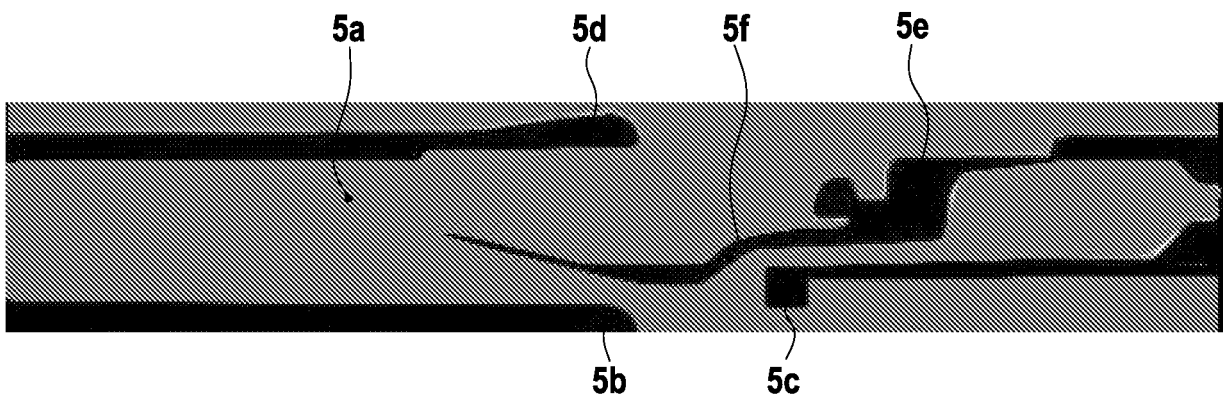


FIG. 5

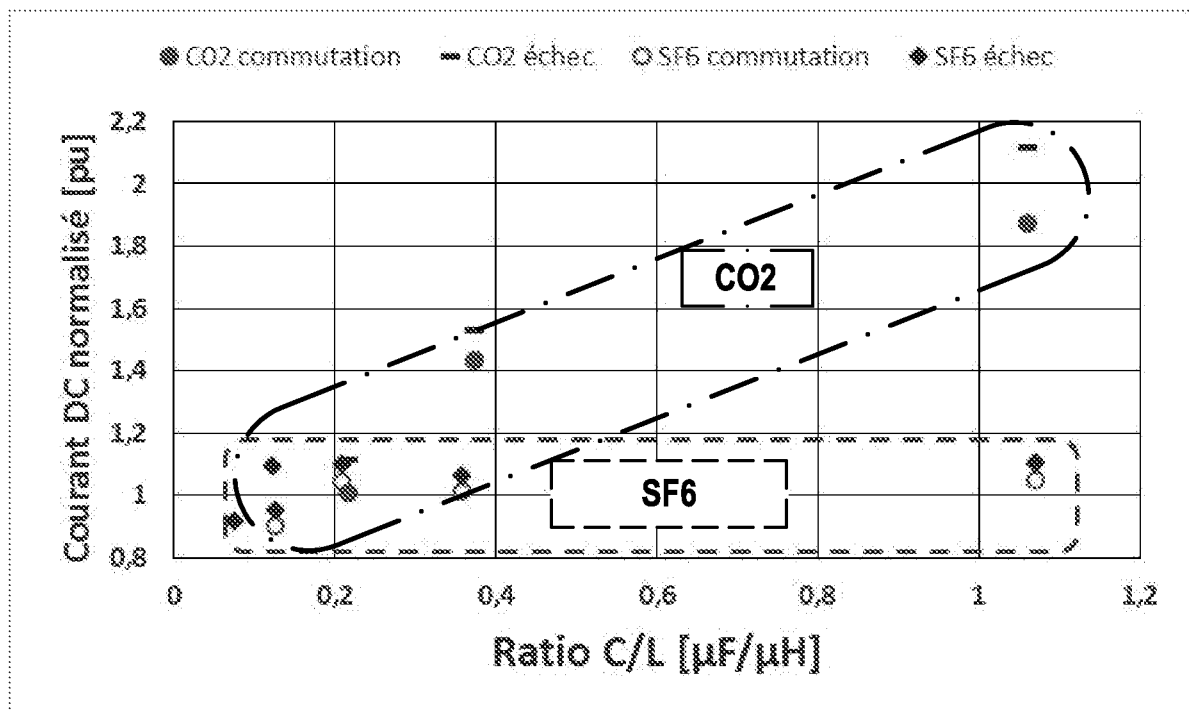


FIG.6

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- US 5737162 A [0010]
- EP 0740320 A [0011]
- US 2016261095 A [0012]
- US 20110175460 A [0013]
- FR 2975819 [0014]

Littérature non-brevet citée dans la description

- *Journal of Power-Energy Division Conference 1994 of Institute of Electrical Engineers*, vol. 621, 824-825 [0005]