



(11) **EP 3 391 401 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
23.10.2019 Bulletin 2019/43

(51) Int Cl.:
H01H 33/44 ^(2006.01) **H01H 33/59** ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **16809125.4**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2016/052840

(22) Date de dépôt: **03.11.2016**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2017/103355 (22.06.2017 Gazette 2017/25)

(54) **PROCÉDÉ DE CONTRÔLE D'UN APPAREIL DE COUPURE ÉLECTRIQUE ET INSTALLATION ÉLECTRIQUE COMPRENANT UN APPAREIL DE COUPURE ÉLECTRIQUE**

VERFAHREN ZUR ÜBERWACHUNG EINER ELEKTRISCHEN SCHALTVORRICHTUNG UND
ELEKTRISCHE INSTALLATION MIT EINER ELEKTRISCHEN SCHALTVORRICHTUNG

METHOD FOR MONITORING AN ELECTRICAL SWITCHING DEVICE AND ELECTRICAL
INSTALLATION COMPRISING AN ELECTRICAL SWITCHING DEVICE

(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**

(72) Inventeurs:
• **BERTELOOT, Thomas**
69001 Lyon (FR)
• **VINSON, Paul**
38230 Charvieux Chavagneux (FR)

(30) Priorité: **14.12.2015 FR 1562321**

(74) Mandataire: **Cabinet Beau de Loménie**
51 avenue Jean Jaurès
BP 7073
69301 Lyon Cedex 07 (FR)

(43) Date de publication de la demande:
24.10.2018 Bulletin 2018/43

(73) Titulaire: **Supergrid Institute**
69100 Villeurbanne (FR)

(56) Documents cités:
FR-A1- 2 953 983 GB-A- 2 318 913
US-A- 3 172 010

EP 3 391 401 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] L'invention concerne le domaine technologique des appareils de coupure de circuits électriques à haute tension, plus particulièrement de leurs procédés de contrôle, dans des installations électriques à haute tension alternative.

[0002] De manière traditionnelle, les réseaux électriques sont des infrastructures à l'échelle d'une région, d'un pays ou d'un continent, dans lesquels l'énergie électrique est transportée sous haute tension alternative sur plusieurs dizaines, centaines ou milliers de kilomètres.

[0003] Dans ces réseaux on trouve des installations électriques, comportant notamment des postes électriques ou sous-stations électriques, dans lesquelles on trouve au moins un appareil de coupure de circuit électrique.

[0004] Dans un circuit électrique, on trouve généralement au moins une source de tension, et au moins un utilisateur de tension, qui peut comprendre tout appareil ou ensemble d'appareils ou tout réseau ayant de tels appareils qui utilisent l'énergie électrique pour la transformer en une autre forme d'énergie, par exemple en énergie mécanique, et/ou calorifique, et/ou électromagnétique, etc...

[0005] Dans un circuit électrique, on trouve généralement des appareils de coupure de circuits électriques permettant d'interrompre la circulation du courant électrique dans le circuit, généralement entre la source de tension et l'utilisateur de tension, ou entre la source de tension et la terre. On connaît différents types d'appareils de coupure de circuits électriques. Par exemple, on connaît les disjoncteurs, qui sont des appareils de coupure mécanique du circuit électrique et qui sont conçus et dimensionnés pour autoriser notamment une ouverture en charge ou en régime de défaut du circuit électrique dans lequel ils sont interposés. Cependant, les disjoncteurs sont des appareils complexes, chers et volumineux et sont destinés aux fonctions de protection du réseau. On connaît par ailleurs des appareils de coupure de circuits électriques, de conception plus simple, tels que des sectionneurs qui ne sont généralement pas conçus pour réaliser des coupures de circuits en charge, mais plutôt, pour assurer, dans un circuit où la circulation de courant est déjà interrompue par un autre appareil de coupure, la sécurité des biens et des personnes lors des interventions, en assurant une isolation électrique d'un niveau élevé prédéterminé entre une portion amont du circuit, reliée à la source de tension, et une portion aval du circuit.

[0006] Par ailleurs il est connu d'utiliser, notamment, pour les circuits à haute tension, des appareils dits « sous enveloppe métallique » où les organes actifs de coupure sont enfermés dans un enceinte étanche, parfois appelée cuve ou enveloppe métallique, emplies d'un fluide isolant. Un tel fluide peut être un gaz, couramment de l'hexafluorure de soufre (SF_6), mais des liquides ou des huiles sont aussi utilisés. 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. Les appareils sous enveloppe métallique peuvent notamment être conçus de manière plus compacte que les appareils où la coupure et l'isolation sont réalisées dans l'air.

[0007] Un sectionneur classique « sous enveloppe métallique » comporte notamment deux électrodes qui sont maintenues, par des supports isolants, dans des positions fixes éloignées de la paroi périphérique d'une enceinte, par exemple l'enveloppe métallique, 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 des électrodes, à laquelle il est relié électriquement, et la séparation du tube de l'électrode opposée est susceptible de créer un arc électrique. Un sectionneur se situe généralement dans une sous-station électrique. Il est connecté aux autres éléments de la sous-station, par exemple par des barres de connexion. De chaque côté du sectionneur, on peut retrouver d'autres éléments d'une sous-station comme un disjoncteur, un transformateur de puissance, une traversée aérienne, etc...

[0008] Dans certaines configurations de circuit électrique, on peut ainsi prévoir qu'un sectionneur soit agencé entre une source de tension alternative, notamment de haute tension, et un autre appareil de coupure tel qu'un disjoncteur, le disjoncteur étant ainsi dans une portion aval du circuit par rapport à la source de tension et au sectionneur. Ainsi, pour ouvrir un tel circuit électrique et l'isoler de la source de tension, on procède généralement à une ouverture d'un premier appareil de coupure, par exemple de type disjoncteur, pour arrêter la circulation de courant dans le circuit. Ensuite, pour isoler la portion aval du circuit, on ouvre le sectionneur. Dans un tel cas, une première électrode du sectionneur est reliée électriquement, directement ou indirectement, à la source de tension alternative tandis que la seconde électrode, après ouverture du circuit, se trouve isolée électriquement de toute source de tension et de toute masse électrique, donc à un potentiel électrique flottant. On considérera qu'une électrode est isolée électriquement de toute source de tension et de toute masse électrique, donc à un potentiel électrique flottant, si elle forme une capacité non nulle avec les éléments conducteurs l'entourant qui seraient reliés à un potentiel déterminé exemple par une source de tension ou une masse électrique, à savoir par exemple l'électrode reliée à la source de tension (circuit amont), l'enveloppe métallique reliée à la terre, et/ou toute partie d'un autre appareil de coupure faisant partie du circuit aval. Ainsi, lors d'une manœuvre d'ouverture d'un sectionneur dans une telle installation, la première électrode présente un potentiel électrique qui varie au cours du temps en fonction de la tension alternative délivrée par la source de tension à laquelle elle est reliée. Au contraire, la seconde électrode étant isolée, son po-

tentiel électrique n'est pas déterminé. Il peut être le potentiel électrique de l'électrode au moment du dernier contact dans la position relative de fermeture électrique des deux électrodes. Après l'ouverture, il peut subsister un couplage capacitif entre les deux électrodes par lequel le potentiel de la seconde électrode peut être amené à varier. Cependant, ce phénomène sera ici négligé car son amplitude est généralement nettement inférieure au potentiel électrique existant au moment du dernier contact ou via l'intermédiaire d'un arc électrique entre les deux électrodes.

[0009] En revanche, pendant le mouvement relatif d'ouverture des électrodes, notamment au début de ce mouvement relatif, juste après la position de dernier contact électrique entre les deux électrodes dans le sens de l'ouverture, il est connu que des arcs électriques sont susceptibles d'apparaître entre les deux électrodes.

[0010] On illustrera le problème à la base de l'invention en faisant référence à la **Fig. 4** dans laquelle on a illustré les variations au cours du temps du potentiel électrique U_1 , U_2 de chacune des deux électrodes par rapport à un potentiel de terre lors d'un mouvement relatif d'ouverture des électrodes. On considérera que ce mouvement d'ouverture relatif se fait avec une vitesse constante du mouvement relatif des deux électrodes correspondant à un écartement entre les deux électrodes qui s'accroît de manière constante au cours du temps. Du fait de cet accroissement de l'écartement, on constate un accroissement constant correspondant de la tenue diélectrique entre les deux électrodes, c'est-à-dire de la différence de potentiel nécessaire entre les deux électrodes pour permettre le déclenchement d'un arc électrique. Autrement dit, la tenue diélectrique entre les deux électrodes, qui est nulle pour la position relative de fermeture électrique, s'accroît progressivement depuis une valeur initiale dès que le contact physique entre les deux électrodes est perdu, jusqu'à une valeur de tenue diélectrique finale correspondant à la position relative d'ouverture électrique des deux électrodes, laquelle garantit l'isolation entre la partie amont et la partie aval du circuit électrique dans lequel le sectionneur est interposé.

[0011] Dans la position relative de fermeture électrique des deux électrodes, les deux électrodes du sectionneur sont à chaque instant au même potentiel électrique, ce qui est visible sur la partie gauche de la **Fig. 4**, ce potentiel électrique étant dans ce cas directement dicté par la tension alternative délivrée par une source de tension. On a illustré sur la **Fig. 4** un instant t_0 , qui est l'instant de la perte de contact physique entre les deux électrodes. Au-delà de cet instant, on considère que les deux électrodes ne sont plus physiquement en contact l'une avec l'autre. Toutefois, dans les instants qui suivent immédiatement la perte de contact, et notamment dans le cadre d'une installation fonctionnant à haute tension, un arc électrique se crée, et maintient, au moins dans un premier temps, le potentiel électrique de la seconde électrode sensiblement au même niveau, à chaque instant, que celui de la première électrode. Toutefois, après un instant

t_1 , les deux électrodes sont séparées l'une de l'autre d'une distance telle que l'arc électrique s'interrompt une première fois, permettant l'apparition d'une différence de potentiel entre les deux électrodes. Toutefois, dès que cette différence de potentiel excède la tenue diélectrique définie par la distance d'écartement, un nouvel arc se forme, ramenant instantanément le potentiel de la seconde électrode au niveau de celui de la première. Au fur et à mesure que le temps s'écoule, donc que la distance entre les deux électrodes augmente, la durée d'interruption des arcs devient de plus en plus longue du fait de l'accroissement progressif de la tenue diélectrique entre les deux électrodes, ce qui résulte directement de l'accroissement de l'écartement entre les deux électrodes. Dans l'exemple de la **Fig. 4**, il existe un instant t_2 à partir duquel il n'apparaît plus qu'un seul arc électrique par demi-période d'alternance du potentiel électrique de la première électrode. Lorsqu'un tel arc apparaît, le potentiel de la seconde électrode est amené approximativement au niveau du potentiel électrique de la première électrode au moment de l'arc. Cet arc est fugitif dans la mesure où il disparaît lorsque les deux électrodes sont sensiblement au même potentiel du fait de l'arc électrique. On rappelle ici que la seconde électrode est à un potentiel flottant et non pas à un potentiel déterminé comme ce serait le cas si elle était reliée à la masse électrique ou à une autre source de tension. Toutefois, dès que cet arc électrique s'est éteint, puisque la première électrode est reliée à une source de tension alternative, le potentiel de la première électrode continue de varier alors que le potentiel électrique de la seconde électrode reste au niveau qu'il a atteint suite à l'arc précédent. Il en résulte ainsi un accroissement de la différence de potentiel électrique entre les deux électrodes, et lorsque cette différence de potentiel dépasse la capacité d'isolation électrique entre les deux électrodes pour la position relative instantanée des deux électrodes, un nouvel arc fugitif se forme.

[0012] Ces arcs électriques continuent de se produire jusqu'à un instant t_3 , qui correspond à l'instant du dernier arc électrique de la manoeuvre d'ouverture. Au-delà de ce dernier arc électrique, la tenue diélectrique entre les deux électrodes est trop importante pour qu'un nouvel arc se forme. Ainsi, lorsque les deux électrodes atteignent leur position relative d'ouverture électrique, la seconde électrode se trouve à un potentiel électrique final U_f qui résulte du dernier arc électrique, et qui résulte donc de l'instant auquel ce dernier arc électrique s'est déclenché et du potentiel électrique de la première électrode à l'instant de ce dernier arc électrique.

[0013] Des simulations ont montré que, dans une installation donnée, avec une source de tension alternative donnée, et avec un procédé d'ouverture du sectionneur donné du type de celui décrit plus haut, cette valeur terminale du potentiel électrique de la seconde électrode était fortement aléatoire. Ces simulations ont été exposées lors d'une communication orale à la conférence CIGRE New Delhi 2013 (« Development of a Gas Insu-

lated Disconnecter for UHV Networks » - Thomas BERTELOOT, Alain GIRODET, Paul VINSON, Mathieu BERNARD, voir aussi brochure « CIGRE 570 - Working Group A3.28 February 2014 - Switching Phenomena for EHV and UHV Equipment »). Cette communication exposait notamment que des vitesses d'ouverture de 0.05 ou 0.1 m/s permettait d'obtenir, avec une plus grande probabilité, une valeur terminale du potentiel électrique de la seconde électrode inférieure à celle obtenue pour une vitesse d'ouverture de 0.5 m/s. Un enseignement similaire peut être tiré du document « Influence of the Switching Speed of the Disconnecter on Very Fast Transient Overvoltage » (Shu Yinbiao, Han Bin, Lin Ji-Ming, Chen Weijiang, Ban Liangeng, Xiang Zutao, and Chen Guoqiang - IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 28, NO. 4, OCTOBER 2013).

[0014] Or, il apparaît que cette valeur terminale du potentiel électrique de la seconde électrode, parfois appelée charge piégée, n'est pas sans incidence.

[0015] On remarque tout d'abord que, entre les instants t_2 et t_3 , la différence de potentiel entre les deux électrodes au moment du déclenchement d'un arc électrique, ou tension d'amorçage ΔU , croît à chaque alternance. Or pour chaque arc électrique, une surtension à hautes fréquences apparaît sur les premières microsecondes. On nomme cette surtension VFTO (Very Fast Transient Overvoltage). Plus la tension d'amorçage ΔU entre les deux électrodes du sectionneur est importante, plus la VFTO correspondante est importante. La VFTO se propage en chaque point connecté électriquement au sectionneur : elle se propage donc dans les autres éléments de la sous-station situés de part et d'autre du sectionneur. La VFTO est donc susceptible de se propager au niveau des transformateurs de puissance, des traversées, des disjoncteurs... La surtension créée par la VFTO vient ainsi stresser l'isolation phase-terre de tous les éléments connectés au sectionneur.

[0016] Des solutions à ce problème ont déjà été proposées, qui ne donnent pas entière satisfaction.

[0017] Une première solution connue consiste en l'utilisation d'un sectionneur à résistance. Dans un tel dispositif, une résistance électrique est insérée dans le passage du courant pendant la manoeuvre d'ouverture uniquement. Dans un tel sectionneur, la résistance est située entre une des électrodes du sectionneur et une électrode de résistance. Les arcs électriques se produisent alors entre le tube de sectionneur et l'électrode de résistance. Sa valeur peut aller jusqu'à 1k Ω . Cette première solution présente des limites constituées par l'encombrement sensiblement plus important du sectionneur, son coût plus important à cause des pièces supplémentaires et à cause d'un besoin accru de maintenance, et une fiabilité moindre à cause de la présence de la résistance électrique.

[0018] Une seconde solution, décrites par exemple dans le document JP-2000.067705 consiste en l'utilisation d'un sectionneur pour lequel on contrôle la valeur des tensions d'amorçage entre les deux électrodes en

provoquant un amorçage des arcs électriques avec un faisceau laser. La source laser est positionnée à l'extérieur du sectionneur et un dispositif optique constitué de miroirs et ou lentilles permet d'amener l'énergie du laser entre le tube et l'électrode opposée. On conçoit qu'une telle solution est chère et complexe.

[0019] Il subsiste donc le besoin de limiter les surtensions hautes fréquence dues aux arcs électriques qui apparaissent à l'ouverture dans un appareil de coupure mécanique dont une électrode est soumise à un potentiel électrique alternatif, et dont l'autre électrode est à un potentiel électrique flottant, ceci en conservant des installations simples et peu chères. Le document FR 2 953 983 A1 décrit un procédé de contrôle d'ouverture d'un appareil de coupure mécanique, selon le préambule de la revendication 1.

[0020] Dans ce but l'invention propose un procédé de contrôle d'ouverture d'un appareil de coupure mécanique dans un circuit électrique haute tension alternative, du type comportant deux électrodes dont une première est soumise à un potentiel électrique alternatif ayant une période d'alternance, et dont une seconde est isolée électriquement de toute source de tension et de toute masse électrique, les deux électrodes de l'appareil mécanique étant mobiles l'une par rapport à l'autre selon un mouvement d'ouverture commandée, entre une position relative de fermeture électrique, dans laquelle elles établissent une connexion électrique nominale de l'appareil, et au moins une position relative finale d'ouverture électrique dans laquelle les deux électrodes sont écartées l'une de l'autre d'un écartement final, caractérisé en ce que le procédé comporte :

- une étape initiale d'ouverture comprenant au moins un intervalle de temps d'ouverture rapide dont la durée vaut au moins 1 fois la période d'alternance du potentiel alternatif de la première électrode et au cours duquel un mouvement relatif des deux électrodes s'effectue à une première vitesse moyenne d'écartement supérieure à 0.05 mètre par seconde, de préférence supérieure à 0.1 mètre par seconde ;
- au moins une étape de stabilisation, ultérieure à l'étape initiale d'ouverture et comprenant au moins un intervalle de temps de stabilisation dont la durée vaut au moins 5 fois la période d'alternance du potentiel alternatif de la première électrode et correspondant à des écartements des deux électrodes compris entre 10 % et 90 % de l'écartement final, au cours duquel un mouvement relatif des deux électrodes s'effectue à une vitesse moyenne d'écartement de stabilisation inférieure à 0.03 mètre par seconde.

[0021] Selon d'autres caractéristiques optionnelles d'un tel procédé, prises seules ou en combinaison :

- Le procédé comporte, après l'étape de stabilisation, au moins une étape de poursuite d'ouverture com-

- prenant au moins un intervalle de temps de poursuite d'ouverture dont la durée vaut au moins 5 fois la période d'alternance du potentiel alternatif de la première électrode et au cours duquel un mouvement relatif des deux électrodes s'effectue à une vitesse moyenne d'écartement supérieure à 0.03 mètre par seconde, de préférence supérieure à 0.05 mètre par seconde, plus préférentiellement supérieure à 0.1 mètre par seconde.
- Le procédé comporte, après une étape de poursuite d'ouverture, une étape de stabilisation secondaire comprenant au moins un intervalle de temps de stabilisation secondaire dont la durée vaut au moins 5 fois la période d'alternance du potentiel alternatif de la première électrode, au cours duquel un mouvement relatif des deux électrodes s'effectue à une vitesse moyenne d'écartement inférieure à 0.03 mètre par seconde.
 - Le procédé comporte une étape d'ouverture finale au cours de laquelle les électrodes atteignent leur position relative finale d'ouverture.
 - Une étape de stabilisation débute pour une position relative intermédiaire des deux électrodes entre la position relative de fermeture et la position relative finale d'ouverture, et distincte de la position relative de fermeture et de la position relative finale d'ouverture.
 - Une étape de stabilisation est déclenchée pour correspondre à une position relative prédéterminée des deux électrodes.
 - Une étape de stabilisation est déclenchée en fonction d'au moins un paramètre de fonctionnement de l'appareil.
 - Une étape de stabilisation est déclenchée au moins en fonction de la durée d'un intervalle de temps entre deux arcs électriques entre la première et la deuxième électrode au cours du mouvement d'ouverture.
 - Pendant l'étape initiale d'ouverture, on détecte un intervalle de temps entre deux arcs électriques entre la première et la deuxième électrode, et on compare la durée de l'intervalle de temps par rapport à une valeur de référence au-dessus de laquelle une étape de stabilisation est déclenchée.
 - Une étape de stabilisation est déclenchée au moins en fonction de la tension entre les deux électrodes au moment de l'amorçage d'un arc électrique entre les deux électrodes.
 - Une étape de poursuite d'ouverture est déclenchée après l'écoulement d'un laps de temps prédéterminé suivant un dernier arc électrique détecté entre les deux électrodes.
 - Le déclenchement d'une étape de stabilisation secondaire est déterminé au moins en fonction de la détection d'un arc électrique entre la première et la deuxième électrode au cours d'une étape de poursuite d'ouverture.
 - Pendant une étape de stabilisation, les électrodes occupent au moins une position relative de dernier

arc pour laquelle :

- il existe une valeur de potentiel électrique de la première électrode soumise à un potentiel électrique alternatif qui crée, pour cette position, et pour une valeur antérieure de potentiel de la deuxième électrode, un arc électrique entre les deux électrodes, et
- l'arc électrique amène la deuxième électrode à un potentiel final pour lequel la différence de potentiel électrique entre la première électrode et la deuxième électrode est inférieure à la tenue diélectrique minimale entre les électrodes pour ladite position.
- Pendant l'étape de stabilisation, les électrodes occupent au moins une position relative pour laquelle la valeur d'écartement des électrodes est comprise entre 10% et 50%, plus préférentiellement entre 10% et 30% de la valeur d'écartement des électrodes dans une position finale d'ouverture.
- Pendant l'étape de stabilisation, les électrodes occupent au moins une position relative pour laquelle la valeur d'écartement des électrodes est comprise entre 40% et 90%, plus préférentiellement entre 60% et 90% de la valeur d'écartement des électrodes dans une position finale d'ouverture.
- Une étape de stabilisation comporte au moins un arrêt du mouvement relatif des deux électrodes.
- Une étape de stabilisation consiste en un arrêt du mouvement relatif des deux électrodes.
- Une étape de stabilisation présente une durée égale à au moins 5 fois, alternativement au moins 10 fois, alternativement au moins 20 fois la période d'alternance du potentiel électrique auquel est soumise la première électrode.
- Une étape de stabilisation présente une durée inférieure à 75 fois la période d'alternance du potentiel électrique auquel est soumise la première électrode, de préférence inférieure à 50 fois la période d'alternance du potentiel électrique auquel est soumis la première électrode.
- La deuxième vitesse moyenne d'écartement est choisie de telle sorte que la vitesse d'accroissement de la tenue diélectrique minimale de l'appareil, engendrée par l'augmentation de la valeur d'écartement, croît à une vitesse inférieure à 1.0 pu/s, de préférence inférieure à 0.5 pu/s, où 1 pu est la valeur de crête du potentiel électrique auquel est soumise la première électrode par rapport à la terre.
- Le potentiel électrique de la seconde électrode lorsque les deux électrodes atteignent leur position relative finale d'ouverture est inférieure à 0.5 pu, où 1 pu est la valeur de crête de la tension électrique auquel est soumise la première électrode par rapport à la terre.

[0022] L'invention concerne aussi une installation électrique comprenant un appareil de coupure mécanique d'un circuit électrique haute tension alternative, du type comportant deux électrodes dont une première est soumise à un potentiel électrique alternatif et dont une

seconde est isolée électriquement de toute source de tension et de toute masse électrique, les deux électrodes de l'appareil mécanique étant mobiles l'une par rapport à l'autre selon un mouvement d'ouverture commandée par un dispositif de commande, entre une position relative de fermeture électrique, dans laquelle elles établissent une connexion électrique nominale de l'appareil, et au moins une position relative d'ouverture électrique dans laquelle les deux électrodes sont écartées l'une de l'autre, caractérisée en ce que le dispositif de commande est configuré pour mettre en oeuvre un procédé de commande ayant une ou plusieurs des caractéristiques ci-dessus.

[0023] Selon d'autres caractéristiques optionnelles d'une telle installation, prises seules ou en combinaison :

- Le dispositif de commande comporte un actionneur pour commander le mouvement relatif des électrodes, et un contrôleur qui commande l'actionneur, le contrôleur étant programmé pour mettre en oeuvre un procédé de commande ayant une ou plusieurs des caractéristiques ci-dessus.
- Le dispositif de commande comporte un actionneur pour commander le mouvement relatif des électrodes par l'intermédiaire d'un mécanisme de transmission reliant l'actionneur à au moins une des électrodes, le mécanisme de transmission étant configuré pour mettre en oeuvre un procédé de commande ayant une ou plusieurs des caractéristiques ci-dessus.

[0024] 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** illustre de manière schématique une installation électrique selon l'invention comprenant un appareil de coupure mécanique de circuit électrique, ici illustré en position relative de fermeture électrique de ses électrodes.

Les **Figures 2 et 3** sont des vues schématiques de l'appareil de coupure mécanique de circuit électrique de la **Fig. 1**, illustré respectivement dans une position intermédiaire et en position relative d'ouverture électrique de ses électrodes.

La **Figure 4** illustre les variations au cours du temps du potentiel électrique respectif des deux électrodes, mesuré par rapport à la terre, d'un appareil de coupure mécanique de circuit électrique, lors d'un mouvement relatif d'ouverture à vitesse constante des électrodes.

Les **Figures 5A à 5D** illustrent quatre exemples de procédé de contrôle de l'ouverture d'un appareil de coupure mécanique selon l'invention, en illustrant la variation au cours du temps de l'écartement **E** entre les deux électrodes de l'appareil.

La **Figure 6** est un diagramme illustrant le déroule-

ment d'un exemple d'un procédé de contrôle de l'ouverture d'un appareil de coupure mécanique selon l'invention.

Les **Figures 7A à 7D** illustrent un mode de réalisation d'un appareil de coupure mécanique de circuit électrique comportant un mécanisme de transmission reliant un actionneur à une des électrodes, le mécanisme de transmission étant configuré pour mettre en oeuvre un procédé conforme à l'invention.

[0025] On a illustré sur les **Fig. 1 à 3** les principaux éléments constitutifs d'un appareil de coupure mécanique d'un circuit électrique à haute tension, y compris à très haute tension alternative, en représentant trois positions relatives différentes entre les électrodes de l'appareil de coupure.

[0026] Un tel appareil est destiné à ouvrir ou fermer un circuit électrique dans lequel sont susceptibles de circuler des courants nominaux alternatifs, c'est-à-dire des courants établis pour lesquels l'appareil est prévu pour fonctionner de manière continue sans dommage, sous une tension supérieure à 1000 V en courant alternatif, voir même sous très haute tension, c'est-à-dire une tension supérieure à 50 000 V en courant alternatif.

[0027] L'appareil est un appareil à coupure mécanique dans la mesure où l'ouverture du circuit électrique est obtenue par la séparation et l'écartement de deux pièces de contact de manière à interrompre la circulation d'un courant au travers de l'appareil. Bien entendu, la fermeture du circuit électrique est obtenue par le déplacement jusqu'à la mise en contact des deux pièces de contact de manière à rétablir une circulation du courant au travers de l'appareil.

[0028] Dans l'exemple de réalisation, l'appareil mécanique de coupure est un sectionneur. Dans l'exemple, l'appareil de coupure est prévu pour couper un unique circuit électrique, par exemple une phase, mais l'invention pourrait être mise en oeuvre dans un appareil prévu pour couper plusieurs circuits électriques, comportant alors, par exemple au sein d'une même enceinte, plusieurs dispositifs de coupure en parallèle.

[0029] L'invention va plus particulièrement être décrite dans le cadre d'un appareil de coupure du type dit « sous enveloppe métallique ». L'appareil **10** comporte ainsi une enceinte **12** qui délimite un volume interne **16** de l'enceinte **12**. De préférence, en configuration de fonctionnement de l'appareil, l'enceinte **12** est étanche par rapport à l'extérieur de l'enceinte **12**. L'enceinte **12** peut comporter une ou plusieurs ouvertures (non représentées) permettant, au moins pour des opérations de maintenance ou de montage, l'accès au volume interne **16** depuis l'extérieur de l'enceinte, ou permettant au volume **16** d'être mis en communication avec un autre volume d'une autre enceinte accolée à l'enceinte **12** autour de l'ouverture. Les ouvertures sont donc destinées à être obturées, par exemple par des hublots ou des couvercles, ou sont destinées à mettre en communication le volume interne **16** de l'enceinte **12** avec une autre enceinte elle-même

étanche, par mise en correspondance étanche de l'ouverture avec une ouverture correspondante de l'autre enceinte. Grâce à cette étanchéité, le volume interne **16** de l'enceinte **12** peut être rempli d'un fluide isolant qui peut être séparé de l'air atmosphérique. Le fluide peut être un gaz ou un liquide. La pression du fluide peut être différente de la pression atmosphérique, par exemple une pression supérieure à 3 bars absolus, ou peut être une pression très faible, éventuellement proche du vide. Le vide serait, au sens de l'invention, assimilé à un fluide isolant. Le fluide isolant peut être de l'air, notamment de l'air sec, de préférence à une pression supérieure à la pression atmosphérique. Cependant, de préférence, le fluide est choisi pour ses hautes propriétés isolantes, en ayant par exemple une rigidité diélectrique supérieure à celle de l'air sec dans des conditions de température et de pression équivalentes.

[0030] De manière générale, l'appareil **10** comporte au moins deux électrodes qui sont destinées à être reliées électriquement respectivement à une portion amont et une portion aval du circuit électrique à couper. Les deux électrodes sont mobiles l'une par rapport à l'autre selon un mouvement d'ouverture, entre au moins une position relative de fermeture électrique, illustrée à la **Fig. 1**, dans laquelle elles établissent une connexion électrique nominale de l'appareil, et correspondant donc à un état fermé de l'appareil, et une position relative d'ouverture électrique, **Fig. 3** correspondant à un état ouvert de l'appareil. Dans l'exemple illustré, l'appareil **10** comporte notamment une première électrode fixe **20** et une deuxième électrode **22** qui comporte un corps principal fixe et un organe de connexion mobile **24**. On comprend que l'organe de connexion mobile pourrait faire partie de la première électrode **20**, ou que chacune des deux électrodes **20, 22** pourrait comprendre un organe de connexion mobile.

[0031] Dans l'exemple illustré, chaque électrode **20, 22** est fixée dans l'enceinte **12** par l'intermédiaire d'un support isolant **26**. A l'extérieur de l'enceinte **12**, l'appareil **10** comporte une borne de raccordement **28, 30** qui est reliée électriquement à l'électrode **20, 22** correspondante. L'une des bornes est destinée à être reliée à une portion amont du circuit électrique tandis que l'autre des bornes est destinée à être reliée à une portion aval du circuit électrique. De manière arbitraire, et sans que cela n'ait de signification particulière quant à la polarité ou au sens de circulation du courant, on qualifiera de portion amont du circuit électrique la portion qui est reliée à la première électrode **20**, par la borne de raccordement **28**. En conséquence, la portion aval du circuit électrique est la portion qui est reliée à la seconde électrode **22**, par la borne de raccordement **30**.

[0032] Dans l'exemple, chaque électrode **20, 22** est reliée électriquement de façon permanente à la borne de raccordement **28, 30** associée, quel que soit l'état ouvert ou fermé de l'appareil de coupure.

[0033] Les corps principaux des deux électrodes **20, 22** sont disposés dans le volume interne **16** de manière

fixe, écartés de la paroi périphérique de l'enceinte **12**, et écartés l'un de l'autre de telle sorte qu'un espace d'isolement électrique inter-électrodes est aménagé selon la direction d'un axe central **A1**, entre les portions en vis-à-vis de leur surfaces périphériques externes respectives.

[0034] Dans l'exemple illustré, l'organe de connexion mobile **24** de la seconde électrode de l'appareil peut comporter un tube coulissant, d'axe **A1**, qui est guidé en coulissement selon l'axe central **A1**, qui sera arbitrairement qualifié de longitudinal, dans la seconde électrode **22**.

[0035] L'organe de connexion **24** est mobile selon un mouvement d'ouverture par rapport à l'électrode opposée **20**, entre une position relative de fermeture électrique, visible sur la **Fig. 1**, et dans laquelle l'organe de connexion électrique **24** établit une connexion électrique nominale avec ladite électrode opposée **20**, et une position relative d'ouverture électrique, visible sur la **Fig. 3**, en passant par des positions relatives intermédiaires telles que celle illustrée à la **Fig. 2**. Dans l'exemple illustré, l'organe de connexion mobile **24** est réalisé de préférence en matériau conducteur, par exemple en métal, et il est relié électriquement au corps principal de la seconde électrode, donc relié électriquement avec la borne de raccordement associée **30** de façon permanente, quelle que soit la position de l'organe de connexion mobile **24**.

[0036] Dans sa position relative de fermeture, l'organe de connexion **24** est déplacé longitudinalement selon l'axe central **A1** en direction de la première électrode **20**, en travers de l'espace d'isolement électrique inter-électrodes. Dans la suite du texte, on considère que la position relative de fermeture est la position de dernier contact électrique entre les deux électrodes, dans le sens de l'ouverture de l'appareil de coupure, pour laquelle une circulation de courant électrique est possible par conduction au travers d'un contact mécanique des deux électrodes. Dans certains appareils, il peut exister une course morte entre une position extrême de fermeture électrique et la position de dernier contact électrique entre les deux électrodes, dans le sens de l'ouverture de l'appareil de coupure. Cependant, seule cette position de dernier contact électrique est considérée ici. De manière connue, l'organe de connexion **24** est déplacé depuis la position relative de fermeture vers la position relative d'ouverture par un dispositif de commande **42** qui, dans cet exemple de réalisation, comporte une bielle **44** mobile selon une direction sensiblement parallèle à l'axe **A1** et elle-même commandée par un levier **46** rotatif.

[0037] L'appareil de coupure mécanique **10** est destiné à être inclus dans une installation électrique **14** comprenant un circuit électrique haute tension alternative, dont un exemple est illustré sur la **Fig. 1**.

[0038] Dans une telle installation, la première électrode **20** est par exemple reliée électriquement respectivement à une portion amont du circuit électrique comprenant une source de tension alternative **32** qui peut être une source primaire, telle qu'un générateur de tension alternative, ou une source secondaire telle qu'un transformateur ou un convertisseur. Entre la source de tension

alternative **32** et l'appareil de coupure **10**, on peut trouver toutes sortes d'appareils électriques, y compris des appareils de coupure de circuit électrique. Cependant, on se place dans un état de cette portion amont du circuit dans laquelle la première électrode est soumise à un potentiel électrique alternatif. Dans le cas illustré, la première électrode est soumise à un potentiel électrique alternatif imposé directement ou indirectement par la source de tension **32**.

[0039] Au contraire, l'autre électrode, en l'occurrence la seconde électrode **22** est, au moins pour certaines configurations de l'installation, isolée électriquement de toute source de tension et de toute masse électrique. Comme expliqué plus haut, la seconde électrode **22** est reliée à la partie aval du circuit électrique qui peut notamment comprendre un appareil de coupure **34**, par exemple un disjoncteur, qui permet d'interrompre le courant entre l'appareil de coupure **10** et, par exemple, un réseau utilisateur de tension **36**. Dans la configuration dans laquelle l'appareil de coupure est en position relative d'ouverture et dans laquelle le disjoncteur **34** en aval est ouvert, la seconde électrode **22** est donc à un potentiel électrique flottant, car elle n'est pas reliée électriquement ni à une autre source de tension ni à la masse électrique.

[0040] Dans le but de limiter la valeur absolue de la charge piégée au niveau de la seconde électrode, l'invention propose un nouveau procédé pour piloter l'ouverture de l'appareil de coupure mécanique **10**.

[0041] Selon des exemples partiellement illustrés sur les Figs. **5A**, **5B** et **5C**, le procédé peut comporter :

a) une étape initiale d'ouverture au cours de laquelle un mouvement relatif des deux électrodes **20**, **22** s'effectue, depuis la position relative de fermeture, à une première vitesse moyenne maximale d'écartement mesurée pendant au moins un intervalle de temps d'ouverture rapide dont la durée **T1** vaut une fois la période d'alternance du potentiel alternatif de la première électrode;

b) au moins une étape de stabilisation, ultérieure à l'étape initiale, au cours de laquelle un mouvement relatif des deux électrodes **20**, **22** s'effectue à une vitesse moyenne d'écartement de stabilisation, déterminée sur un intervalle de temps de stabilisation dont la durée **T2** vaut au moins 5 fois la période d'alternance du potentiel alternatif de la première électrode et correspondant à des écartements des deux électrodes compris entre 10 % et 90 % de l'écartement final (E_f), et inférieure à la première vitesse moyenne maximale d'écartement. Avantagusement, la vitesse moyenne d'écartement de stabilisation peut être inférieure à 50 % de la première vitesse moyenne maximale d'écartement.

[0042] L'étape initiale d'ouverture rapide permet d'obtenir une séparation franche des deux électrodes et permet de diminuer la durée totale du mouvement d'ouver-

ture.

[0043] Comme on le verra d'après les exemples qui suivent, une étape de stabilisation peut comprendre une étape au cours de laquelle les deux électrodes **20**, **22** continuent de s'écarter l'une de l'autre selon leur mouvement relatif d'ouverture. Toutefois, de préférence, une étape de stabilisation comporte au moins un arrêt du mouvement relatif des deux électrodes. Comme il sera visible par exemple dans le cadre de l'exemple de la Fig. **5B**, une étape de stabilisation peut consister en un arrêt du mouvement relatif des deux électrodes **20**, **22**.

[0044] Un tel procédé peut être mis en oeuvre avec une commande manuelle du mouvement relatif d'ouverture des deux électrodes **20**, **22** d'un appareil de coupure mécanique pour un circuit électrique. Cependant, on prévoit avantagusement que ce procédé soit automatisé dans un appareil de coupure mécanique.

[0045] Ainsi, dans un appareil de coupure mécanique d'un circuit électrique, le dispositif de commande **42** du mouvement relatif des deux électrodes est par exemple configuré pour mettre en oeuvre un procédé de commande ayant les caractéristiques ci-dessus, et/ou éventuellement l'une ou l'autre des caractéristiques additionnelles des procédés qui vont être décrits ci-dessous.

[0046] Par exemple, le dispositif de commande **42** peut comporter un actionneur **48**, par exemple un moteur électrique, un moteur pneumatique ou un moteur à accumulation d'énergie, capable d'actionner le mouvement relatif des deux électrodes **20**, **22**, éventuellement par l'intermédiaire d'un mécanisme de transmission. Dans l'exemple illustré, le mécanisme de transmission comprend la bielle **44** et le levier **46**. Le mécanisme de transmission relie l'actionneur **48** à au moins une des électrodes pour commander le mouvement de l'électrode. En l'occurrence, le mécanisme de transmission **44**, **46** provoque le déplacement de l'organe de connexion mobile **24**, sans provoquer de mouvement des corps principaux de la première et de la deuxième électrode. Le dispositif de commande **42** comporte un contrôleur qui commande l'actionneur **48**, par exemple sous la forme d'une unité électronique de contrôle et de commande **52**. L'unité électronique de contrôle et de commande **52** peut être réalisée sous la forme de plusieurs composants séparés communiquant entre eux.

[0047] L'unité électronique de contrôle et de commande **52** peut par exemple être configurée pour pouvoir contrôler le dispositif de commande **42**, notamment l'actionneur **48**, pour piloter le mouvement relatif des deux électrodes notamment en fonction d'un intervalle de temps entre deux arcs électriques lors d'un mouvement d'ouverture des deux électrodes. Notamment, l'unité électronique de contrôle et de commande **52** peut par exemple être programmée pour commander l'actionneur de manière que la vitesse de l'actionneur **48** suive les étapes ci-dessus, et éventuellement l'une ou l'autre des étapes décrites ci-dessous.

[0048] En variante, ou en complément, on peut prévoir que le dispositif de commande comporte un actionneur

pour commander le mouvement de l'électrode par l'intermédiaire d'un mécanisme de transmission reliant l'actionneur à au moins une des électrodes, le mécanisme de transmission étant configuré pour que, par exemple pour une vitesse constante de l'actionneur, l'une au moins des électrodes soit commandée par le mécanisme de transmission et suive les étapes ci-dessus, et éventuellement l'une ou l'autre des étapes décrites ci-dessus. Un exemple d'un tel mode de réalisation sera décrit plus en détail ci-dessous.

[0049] En se reportant plus particulièrement aux Figs. 5A à 5D, sur lesquelles on a illustré plusieurs variantes du mouvement relatif des deux électrodes 20, 22 en fonction du temps au cours d'une manoeuvre d'ouverture de l'appareil de coupure 10, on comprend que les deux électrodes 20, 22 passent, au cours de ce mouvement d'ouverture, de la position relative de fermeture électrique dans laquelle un écartement E entre les deux électrodes est nul, à la position relative d'ouverture électrique dans laquelle l'écartement E_f est maximal. Cette manoeuvre se déroule entre les instants t_0 et t_f qui correspondent respectivement à l'instant où les deux électrodes 20, 22 perdent le contact physique permettant la circulation du courant par conduction, et à l'instant où les deux électrodes 20, 22 atteignent leur position relative finale d'ouverture.

[0050] L'écartement E à un instant donné peut être déterminé comme étant la plus courte distance séparant les deux électrodes 20, 22 dans le fluide isolant environnant les électrodes à l'intérieur de l'enceinte 12. Dans l'exemple illustré, l'écartement entre les deux électrodes 20, 22 correspond, tant que le tube 24 est en saillie, du côté de la première électrode par 20, par rapport au corps principal de la seconde électrode 22, à l'écartement entre la première électrode 20 et le tube 24. Bien entendu, lorsque le tube est reçu à l'intérieur du corps principal de la seconde électrode 22, l'écartement entre les deux électrodes 20, 22 correspond à l'écartement entre la première électrode 20 et le corps principal de la seconde électrode 22, et reste constant même si le mouvement d'écartement du tube 24 se poursuit.

[0051] L'écartement correspond donc à la distance minimale à parcourir pour un arc électrique entre les deux électrodes 20, 22.

[0052] Dans l'exemple illustré, le mouvement d'écartement des deux électrodes est un mouvement rectiligne selon un axe, et l'écartement correspond à la plus courte distance entre les deux électrodes mesuré selon cet axe.

[0053] On notera que la vitesse instantanée d'écartement des deux électrodes 20, 22 correspond à la dérivée par rapport au temps de l'écartement entre les deux électrodes. La vitesse instantanée d'écartement peut donc être différente de la vitesse du mouvement d'une des deux électrodes 20, 22, par exemple dans certains cas où le mouvement relatif d'écartement n'est pas rectiligne.

[0054] Dans les exemples de réalisation illustrés sur les Figs. 5A à 5D, le mouvement relatif d'ouverture des électrodes 20, 22 peut se décomposer en au moins deux

étapes.

[0055] Une étape initiale d'ouverture, rapide, commence à l'instant t_0 et dure jusqu'à un instant de fin, par exemple identifié par l'instant t_{a1} dans les exemples des Figs. 5A à 5C. Au cours de cette étape initiale, les deux électrodes 20, 22 s'écartent progressivement.

[0056] Au cours de l'étape initiale, le mouvement relatif des deux électrodes est de préférence continu, sans arrêt, pour limiter la durée de cette étape. La vitesse instantanée d'écartement des deux électrodes durant l'étape initiale peut être constante, comme illustré sur les Figs. 5A à 5C, ou peut être variable en cours de l'étape comme illustré sur la Fig. 5D.

[0057] Si, pendant cette étape initiale d'ouverture rapide, la vitesse d'écartement est constante, ou considérée comme telle, comme illustré sur les Figs. 5A à 5C, les deux électrodes 20, 22 s'écartent progressivement jusqu'à une valeur d'écartement E_{a1} , correspondant à une position relative intermédiaire des deux électrodes, à une première vitesse moyenne d'écartement $V1$. La première vitesse moyenne d'écartement peut, dans ce cas de vitesse constante, par exemple être calculée comme étant la valeur $V1 = E_{a1} / (t_{a1} - t_0)$.

[0058] L'étape initiale est suivie par au moins une étape de stabilisation, mais parfois plusieurs, ultérieure(s) à l'étape initiale, au cours de laquelle un mouvement relatif des deux électrodes s'effectue à une deuxième vitesse moyenne d'écartement inférieure à la première vitesse moyenne d'écartement.

[0059] Dans les exemples des Figs. 5A à 5C, l'étape de stabilisation est une étape durant laquelle la vitesse d'écartement est constante et dure depuis un instant de début t_{a1} , correspondant dans cet exemple à l'instant de fin de l'étape initiale d'ouverture, jusqu'à un instant de fin t_{b1} auquel les deux électrodes 20, 22 occupent une position relative dans laquelle leur écartement atteint une seconde valeur E_{b1} . Au cours de cette étape de stabilisation, le mouvement relatif des deux électrodes s'effectue à une vitesse moyenne d'écartement $V2$ inférieure à la première vitesse moyenne d'écartement $V1$. La deuxième vitesse moyenne d'écartement $V2$ peut par exemple être calculée comme étant la valeur $V2 = (E_{b1} - E_{a1}) / (t_{b1} - t_{a1})$.

[0060] Au cours de l'étape de stabilisation, la vitesse instantanée d'écartement des deux électrodes peut être constante, comme illustré sur les Figs. 5A à 5C, ou peut être variable au cours de l'étape, comme illustré sur la Fig. 5D. On notera que, pendant l'étape de stabilisation, les deux électrodes 20, 22 peuvent être immobiles l'une par rapport à l'autre, ce qui correspond à une vitesse moyenne d'écartement $V2$ nulle, ce qui est illustré à la Fig. 5B.

[0061] Dans certains cas, pour lesquels la vitesse moyenne d'écartement $V2$ du mouvement relatif pendant l'étape de stabilisation n'est pas nulle, on peut prévoir que l'étape de stabilisation se prolonge jusqu'à ce que les deux électrodes 20, 22 atteignent leur position relative d'ouverture, dans laquelle elles présentent l'écartement

maximal E_f .

[0062] Cependant, notamment dans les exemples illustrés à la **Fig. 5A** et à la **Fig. 5B**, le procédé comporte, après l'étape de stabilisation, au moins une étape de poursuite rapide d'ouverture, qui débute donc dans les exemples à l'instant t_{b1} de fin de l'étape de stabilisation, au cours de laquelle un mouvement relatif des deux électrodes **20, 22** s'effectue à une troisième vitesse moyenne d'écartement $V3$ supérieure à la deuxième vitesse moyenne d'écartement $V2$ pendant la phase de stabilisation. Cette étape de poursuite d'ouverture peut se prolonger jusqu'à ce que les deux électrodes atteignent leur position relative d'ouverture, dans laquelle elles présentent l'écartement maximal E_f . Dans ce cas, illustré notamment à la **Fig. 5A** et à la **Fig. 5B**, la troisième vitesse moyenne d'écartement $V3$ peut par exemple être calculée comme étant la valeur $V3 = (E_f - E_{b1}) / (t_f - t_{b1})$. On notera que la troisième vitesse moyenne d'écartement $V3$ peut être égale, supérieure ou inférieure à la première vitesse moyenne d'écartement $V1$ pendant l'étape initiale d'ouverture.

[0063] Toutefois, le procédé peut comporter, comme illustré à la **Fig. 5C**, après une étape de poursuite d'ouverture telle que décrite ci-dessus, une étape de stabilisation secondaire au cours de laquelle un mouvement relatif des deux électrodes s'effectue à une quatrième vitesse moyenne d'écartement $V4$. Dans l'exemple illustré, l'étape de stabilisation secondaire dure depuis un instant de début t_{a2} , jusqu'à un instant de fin t_{b2} . Dans ce cas, la quatrième vitesse moyenne d'écartement $V4$ peut par exemple être calculée comme étant la valeur $V4 = (E_{b2} - E_{a2}) / (t_{b2} - t_{a2})$.

[0064] La quatrième vitesse moyenne d'écartement $V4$ est inférieure à la troisième vitesse moyenne d'écartement $V3$ durant l'étape de poursuite d'ouverture décrite plus haut, qui la précède immédiatement. Bien entendu, la troisième vitesse moyenne d'écartement $V3$ peut par exemple être calculée comme étant la valeur $V3 = (E_{a2} - E_{b1}) / (t_{a2} - t_{b1})$.

[0065] La quatrième vitesse moyenne d'écartement $V4$, peut être égale, inférieure ou supérieure à la deuxième vitesse moyenne $V2$ d'écartement durant la première phase de stabilisation décrite plus haut.

[0066] La quatrième vitesse moyenne d'écartement $V4$, est de préférence inférieure à la première vitesse moyenne d'écartement $V1$ durant l'étape initiale d'ouverture décrite plus haut.

[0067] La quatrième vitesse moyenne d'écartement $V4$, peut être constante, comme illustré, ou variable ou nulle pendant l'étape de stabilisation secondaire.

[0068] On notera que cette étape de stabilisation secondaire, si elle n'est pas constituée exclusivement d'un arrêt du mouvement relatif des deux électrodes **20, 22**, pourrait se poursuivre jusqu'à ce que les deux électrodes atteignent leur position relative d'ouverture électrique. Toutefois, dans l'exemple illustré à la **Fig. 5C**, le procédé comporte une étape d'ouverture finale au cours laquelle les électrodes **20, 22** atteignent leur position relative fi-

nale d'ouverture. Cette étape d'ouverture finale peut se faire à une vitesse moyenne d'écartement supérieure à celle de la première phase de stabilisation et/ou supérieure à celle de la phase de stabilisation secondaire.

[0069] Bien entendu, il est possible de multiplier les étapes de stabilisation secondaires, deux étapes de stabilisation secondaires étant séparées par une étape de poursuite d'ouverture au cours de laquelle la vitesse moyenne d'écartement des deux électrodes est supérieure à la vitesse moyenne d'écartement des deux électrodes au cours des étapes de stabilisation immédiatement antérieure et immédiatement postérieure.

[0070] Dans les exemples illustrés aux **Figs. 5A à 5C**, les vitesses d'écartement sont considérées comme constantes pendant les différentes étapes. Plus particulièrement, le passage d'une étape à l'autre est aisément identifiable par le fait que la variation de vitesse d'écartement relatif des deux électrodes est alors brusque lors de la transition d'une étape à l'autre, la courbe de variation de l'écartement des deux électrodes en fonction du temps présentant une cassure nette, indicative d'une discontinuité dans sa fonction dérivée représentative de la vitesse d'écartement.

[0071] Dans l'exemple illustré à la **Fig. 5D**, les vitesses d'écartement du mouvement relatif des deux électrodes au cours des différentes étapes ne sont pas constantes. Par ailleurs, le passage d'une étape à l'autre est effectué sans transition brusque, avec une accélération ou une décélération progressive. Dans un tel cas, on peut cependant déterminer une vitesse moyenne d'écartement au cours d'une étape de stabilisation selon la méthode suivante.

[0072] Une étape de stabilisation est une étape comprenant au moins un intervalle de temps de stabilisation dont la durée vaut au moins 5 fois la période d'alternance du potentiel alternatif de la première électrode et correspondant à des écartements des deux électrodes compris entre 10% et 90 % de l'écartement final E_f , au cours duquel un mouvement relatif des deux électrodes s'effectue à une vitesse moyenne d'écartement de stabilisation $V2$ inférieure à 0.03 mètre par seconde pendant ledit intervalle de temps de stabilisation. Au sens de l'invention, on comprend que le début et la fin exacte d'une étape de stabilisation ne sont pas nécessairement parfaitement déterminés, mais que l'existence d'une telle étape est déterminée par l'existence d'au moins un intervalle de temps de stabilisation tel que défini ci-dessus. A la limite, une étape de stabilisation consiste en un seul intervalle de temps de stabilisation tel que défini ci-dessus.

[0073] Dans l'exemple illustré sur la **Fig. 5D**, on a illustré deux intervalles de temps de stabilisation répondant à cette définition, et appartenant tous les deux à une même étape de stabilisation. On comprendra que, dans les cas où une étape de stabilisation présente une durée supérieure à 5 fois la période d'alternance du potentiel alternatif de la première électrode, il est en réalité possible de définir, pendant l'étape de stabilisation, une pluralité, voire une infinité de tels intervalles de temps de

stabilisation successifs ou se chevauchant partiellement.

[0074] Un premier de ces intervalles de temps de stabilisation est illustré qui commence à l'instant t_{2i} et s'achève à l'instant t_{2f} , correspondant respectivement à des écartements E_{2i} et E_{2f} des deux électrodes. Il possède une durée T_2 , par exemple égale à 5 fois la période d'alternance du potentiel alternatif de la première électrode. La vitesse moyenne d'écartement des deux électrodes au cours de ce premier intervalle de temps de stabilisation est donc $V_{21} = (E_{2f} - E_{2i}) / (t_{2f} - t_{2i}) = (E_{2f} - E_{2i}) / T_2$.

[0075] On définit par ailleurs une vitesse moyenne d'écartement de stabilisation minimale V_{2min} . Pour cela, un second de ces intervalles de temps de stabilisation est défini et illustré qui commence à l'instant t_{2imin} et s'achève à l'instant t_{2fmin} , correspondant respectivement à des écartements E_{2imin} et E_{2fmin} des deux électrodes. Il possède une durée T_2 , fixée à 5 fois la période d'alternance du potentiel alternatif de la première électrode. Les instants t_{2imin} et t_{2fmin} sont choisis à égalité de temps de part et d'autre d'un instant t_{2min} pour lequel la vitesse instantanée du mouvement d'écartement des deux électrodes atteint un minimum local. Le minimum local correspond à l'instant où l'accélération de l'écartement s'annule en passant d'une valeur négative à une valeur positive. La vitesse moyenne d'écartement des deux électrodes au cours de cet intervalle de temps de stabilisation est donc $V_{2min} = (E_{2fmin} - E_{2imin}) / (t_{2fmin} - t_{2imin}) = (E_{2fmin} - E_{2imin}) / T_2$. Ce second intervalle de temps est ici celui pour lequel la vitesse moyenne d'écartement de stabilisation V_{2min} est considérée minimale. La vitesse moyenne d'écartement de stabilisation minimale V_{2min} est inférieure à 0.03 m/s.

[0076] Dans l'exemple illustré sur la Fig. 5D, on peut définir une étape d'ouverture antérieure à la phase de stabilisation, et une étape de poursuite d'ouverture postérieure à la phase de stabilisation, comme étant des étapes au cours desquelles la vitesse du mouvement relatif d'écartement des deux électrodes passe par un maximum local, respectivement en des instants t_{1max} et t_{3max} . Le maximum local correspond à l'instant où l'accélération de l'écartement s'annule en passant d'une valeur positive à une valeur négative. L'instant t_{1max} est antérieur à l'instant du minimum local t_{2min} de l'étape de stabilisation. L'instant t_{3max} est postérieur à l'instant du minimum local t_{2min} de l'étape de stabilisation.

[0077] L'étape initiale d'ouverture comprend au moins un intervalle de temps d'ouverture rapide dont la durée T_1 vaut au moins 1 fois la période d'alternance du potentiel alternatif de la première électrode, par exemple 1 fois la période d'alternance du potentiel alternatif de la première électrode, et au cours duquel un mouvement relatif des deux électrodes s'effectue à une première vitesse moyenne d'écartement V_1 supérieure à 0.05 mètre par seconde, de préférence supérieure à 0.1 mètre par seconde

[0078] On définit par ailleurs une vitesse moyenne d'écartement de stabilisation minimale V_{1max} . Pour ce-

la, on peut déterminer un intervalle de temps d'ouverture rapide dont la durée T_1 vaut 1 fois la période d'alternance du potentiel alternatif de la première électrode, en choisissant des instants t_{1imax} et t_{1fmax} à égalité de temps de part et d'autre de l'instant t_{1max} pour lequel la vitesse instantanée du mouvement d'écartement des deux électrodes atteint un maximum local pendant l'étape d'ouverture initiale antérieure à l'étape de stabilisation. E_{1imax} et E_{1fmax} sont les valeurs correspondantes de l'écartement des deux électrodes. Une première vitesse moyenne d'écartement V_1 , dans ce cas la première vitesse moyenne d'écartement maximale V_{1max} , pendant cet intervalle de temps d'ouverture rapide, peut être calculée tout simplement selon la formule $V_{1max} = (E_{1fmax} - E_{1imax}) / (t_{1fmax} - t_{1imax}) = (E_{1fmax} - E_{1imax}) / T_1$.

[0079] De préférence, la première vitesse moyenne d'écartement maximale V_{1max} est supérieure à 0.05 m/s, plus préférentiellement supérieure à 0.1 m/s.

[0080] Une étape de poursuite d'ouverture comprend au moins un intervalle de temps de poursuite d'ouverture dont la durée vaut au moins 5 fois la période d'alternance du potentiel alternatif de la première électrode et au cours duquel un mouvement relatif des deux électrodes 20, 22, 24 s'effectue à une vitesse moyenne d'écartement V_3 supérieure à la vitesse moyenne d'écartement de stabilisation minimale V_{2min} , de préférence supérieure à 0.03 m/s, plus préférentiellement supérieure à 0.05 m/s.

[0081] On définit par ailleurs une vitesse moyenne d'écartement de stabilisation minimale V_{3max} . Pour cela, on peut déterminer un intervalle de temps de poursuite d'ouverture dont la durée T_3 vaut 5 fois la période d'alternance du potentiel alternatif de la première électrode en choisissant des instants t_{3imax} et t_{3fmax} à égalité de temps de part et d'autre de l'instant t_{3max} pour lequel la vitesse instantanée du mouvement d'écartement des deux électrodes atteint un maximum local pendant l'étape de poursuite d'ouverture postérieure à l'étape de stabilisation. E_{3imax} et E_{3fmax} sont les valeurs correspondantes de l'écartement des deux électrodes. La troisième vitesse moyenne d'écartement maximale V_{3max} , pendant cet intervalle de temps de poursuite d'ouverture, peut être calculée tout simplement selon la formule $V_{3max} = (E_{3fmax} - E_{3imax}) / (t_{3fmax} - t_{3imax}) = (E_{3fmax} - E_{3imax}) / T_3$.

[0082] De préférence, la vitesse moyenne d'écartement maximale V_{3max} pendant cet intervalle de temps de poursuite d'ouverture est supérieure à 0.03 mètre par seconde, de préférence supérieure à 0.05 mètre par seconde, plus préférentiellement supérieure à 0.1 mètre par seconde.

[0083] De préférence, la vitesse moyenne minimum d'écartement de stabilisation V_{2min} , pendant l'intervalle de temps de stabilisation dont la durée T_2 vaut 5 fois la période d'alternance du potentiel alternatif de la première électrode et qui est centré sur l'instant t_{2min} pour lequel la vitesse instantanée du mouvement d'écartement des deux électrodes atteint un minimum local, est inférieure à 0,5 fois la première vitesse moyenne d'écartement

maximale **V1max** pendant l'intervalle de temps d'ouverture rapide, dont la durée **T1** vaut 1 fois la période d'alternance du potentiel alternatif de la première électrode et qui est centré sur l'instant **t1max** pour lequel la vitesse instantanée du mouvement d'écartement des deux électrodes atteint un maximum local pendant l'étape d'ouverture initiale antérieure à l'étape de stabilisation.

[0084] De même, de préférence, la vitesse moyenne minimum d'écartement de stabilisation **V2min**, pendant l'intervalle de temps de stabilisation dont la durée **T2** vaut 5 fois la période d'alternance du potentiel alternatif de la première électrode et qui est centré sur l'instant **t2min** pour lequel la vitesse instantanée du mouvement d'écartement des deux électrodes atteint un minimum local, est inférieure à 0.5 fois la troisième vitesse moyenne d'écartement maximale **V3max** pendant l'intervalle de temps de poursuite d'ouverture, dont la durée **T3** vaut 1 fois la période d'alternance du potentiel alternatif de la première électrode et qui est centré sur l'instant **t3max** pour lequel la vitesse instantanée du mouvement d'écartement des deux électrodes atteint un maximum local pendant l'étape de poursuite d'ouverture postérieure à l'étape de stabilisation.

[0085] Dans les cas où le procédé ne présente pas d'étape de poursuite rapide d'ouverture, la courbe d'écartement ne présente pas de point de maximum local de la vitesse d'écartement postérieur au point de minimum local de la vitesse du mouvement d'écartement. Dans ce cas, il peut être considéré que l'étape de stabilisation s'achève pour la position relative d'ouverture correspondant à l'écartement maximal des deux électrodes.

[0086] Une méthode similaire peut être mise en oeuvre pour le calcul de la vitesse moyenne d'écartement pour la ou les phases de stabilisation secondaire, si nécessaire.

[0087] On remarque que la méthode développée ci-dessus pour déterminer les vitesses pertinentes dans le cas général illustré sur la **Fig. 5D** est valable pour les exemples des **Fig. 5A à 5C** dans lesquelles les vitesses sont constantes durant chacune des étapes.

[0088] De manière générale une étape de stabilisation peut être considérée comme une période continue enveloppant tous les intervalles de temps de stabilisation contigus ou se chevauchant, dont la durée (**T2**) vaut au moins 5 fois la période d'alternance du potentiel alternatif de la première électrode et correspondant à des écartements des deux électrodes compris entre 10 % et 90 % de l'écartement final (**E_f**), au cours duquel un mouvement relatif des deux électrodes s'effectue à une vitesse moyenne d'écartement de stabilisation **V2** inférieure à 0.03 mètre par seconde.

[0089] Comme on le comprend de ce qui précède, une étape de stabilisation débute pour une position relative des deux électrodes intermédiaire **E_{a1}** entre la position relative de fermeture des deux électrodes, qui est leur position de dernier contact physique, et la position relative finale d'ouverture, qui est leur position d'écartement maximal **E_f**. Comme vu précédemment, pour le cas d'une

étape de stabilisation à vitesse constante, le début de l'étape de stabilisation est aisément identifiable. Dans le cas plus général, le début de l'étape de stabilisation est le début de la période continue enveloppant tous les intervalles de temps de stabilisation contigus ou se chevauchant comme indiqué ci-dessus. Dans le cas plus général, la fin de l'étape de stabilisation est la fin de la période continue enveloppant tous les intervalles de temps de stabilisation contigus ou se chevauchant comme indiqué ci-dessus. Une étape de stabilisation présente, entre son début et sa fin ainsi définie, une durée égale à au moins 5 fois, alternativement au moins 10 fois, encore alternativement au moins 20 fois la période d'alternance du potentiel électrique auquel est soumise la première électrode **20**.

[0090] Dans les exemples illustrés, l'étape de stabilisation débute pour une position d'écartement **E_{a1}** des deux électrodes qui est distincte de la position relative de fermeture et de la position relative finale d'ouverture des deux électrodes.

[0091] Dans certaines variantes de réalisation, une étape de stabilisation peut être déclenchée pour correspondre à des positions relatives prédéterminées des deux électrodes **20, 22, 24**. Dans ce cas, la position relative intermédiaire **E_{a1}** des deux électrodes pour laquelle débute une étape de stabilisation est une position relative prédéterminée.

[0092] Au contraire, dans d'autres variantes de réalisation, une étape de stabilisation peut être déclenchée en fonction d'au moins un paramètre de fonctionnement de l'appareil. Un tel paramètre de fonctionnement peut comprendre par exemple des paramètres géométriques constitutifs de l'appareil, et/ou des paramètres liés à la nature et/ou à la pression du gaz environnant dans l'enveloppe **12**, et/ou des paramètres caractéristiques du ou des potentiels électriques auxquels l'appareil est soumis, et/ou des profils de vitesse d'écartement des deux électrodes. Dans ce cas, la position relative intermédiaire **E_{a1}** des deux électrodes pour laquelle débute une étape de stabilisation est une position relative qui est déterminée en fonction d'au moins ce paramètre de fonctionnement de l'appareil. L'étape de stabilisation peut ainsi être déclenchée, par exemple, en fonction de la tension d'amorçage, c'est-à-dire la tension entre les deux électrodes au moment de l'amorçage d'un arc électrique entre les deux électrodes **20, 22, 24**. Alternativement, l'étape de stabilisation peut être déclenchée, par exemple, au moins en fonction de la durée d'un intervalle de temps entre deux arcs électriques entre la première et la deuxième électrode au cours du mouvement d'ouverture.

[0093] En effet, dans certains modes de réalisation de l'invention, pendant l'étape initiale d'ouverture et/ou pendant une étape de poursuite de l'ouverture, on peut détecter un intervalle de temps entre deux arcs électriques successifs entre la première et la deuxième électrode, et on peut alors comparer la durée de l'intervalle de temps détecté par rapport à une valeur de référence au-dessus

de laquelle une étape de stabilisation est déclenchée.

[0094] Pour cela, on peut prévoir que l'appareil de coupure soit muni d'un capteur **50** capable de détecter la présence d'un arc électrique entre les deux électrodes, plus particulièrement entre l'organe mobile **24** et l'électrode opposée **20**. Ce capteur **50** peut par exemple comporter un capteur optique observant l'espace entre les deux électrodes, un capteur électrique dans le circuit électrique, de préférence à proximité de l'appareil de coupure **10**, ou un capteur électromagnétique sensible aux champs électromagnétiques dans l'enceinte **12** générés par les surtensions intervenant lors des amorçages d'arcs électriques. Le capteur **50** peut aussi comporter une association de capteurs. Ce capteur **50** est par exemple relié à une unité électronique de contrôle qui est capable de déterminer un intervalle de temps entre deux arcs électriques en fonction des signaux envoyés par le capteur **50**.

[0095] Dans l'exemple illustré, l'unité électronique de contrôle et de commande **52** du dispositif de commande **42** est capable, en plus du contrôle et de la commande de l'actionneur **48**, de recevoir les signaux du capteur **50** et de déterminer un intervalle de temps entre deux arcs électriques successifs entre les deux électrodes.

[0096] Avec un tel arrangement, l'unité électronique de contrôle et de commande **52** peut être programmée pour mettre en oeuvre un procédé de contrôle d'ouverture de l'appareil de coupure mécanique **10**, dont les principales étapes sont illustrées sur la Fig. 6.

[0097] Dans le cours d'une première étape **100**, le procédé peut comporter une étape initiale « **START OPEN V1** » au cours de laquelle l'unité électronique de contrôle et de commande **52** initie l'ouverture de l'appareil en contrôlant le moteur **48** de manière à ce qu'il provoque, par l'intermédiaire du mécanisme de transmission **44, 46**, un mouvement relatif rapide des deux électrodes, depuis la position relative de fermeture. Le profil de vitesse de ce mouvement peut être, entre autres, l'un ou l'autre de ceux illustrés sur les Fig. **5A** à **5D**, par exemple un profil de vitesse constant à la première vitesse moyenne d'écartement **V1**, comme sur les Figs. **5A** à **5C**, ou un profil de vitesse variable comme sur la Fig. **5D**.

[0098] Pendant que cette étape initiale **100** continue de se dérouler, l'unité de contrôle et de commande **52** peut déclencher une étape **200** de détection d'un intervalle de temps Δt_{50} entre deux arcs électriques entre la première et la deuxième électrode. Cette étape peut comporter la réception de signaux relatifs à la présence d'un arc électrique entre l'organe mobile **24** et l'électrode opposée **20**, dû à l'ouverture de l'appareil, délivrés par le capteur **50**. L'unité de contrôle et de commande **52** peut alors en déduire un intervalle de temps Δt_{50} entre deux arcs successifs détectés par le capteur **50**. Cette détermination de l'intervalle de temps Δt_{50} peut être initiée dès le début de l'étape initiale **100**, ou quelques temps après, par exemple après l'expiration d'un délai de temporisation, ou au-delà d'une valeur de seuil de l'écartement des deux électrodes.

[0099] Dès que l'étape de détection **200** permet de déterminer des intervalles de temps successifs entre deux arcs à successifs, l'unité de contrôle et de commande **52** peut, dans une étape de comparaison **300**, comparer ces intervalles de temps Δt_{50} , mesurés grâce au capteur **50**, à un intervalle de temps de référence Δt_{ref} . Cet intervalle de temps de référence Δt_{ref} peut être une valeur stockée dans l'unité de contrôle et de commande **52**. Elle peut être une valeur choisie dans un tableau en fonction de paramètres de fonctionnement de l'appareil de coupure **10**. Alternativement, la valeur de référence Δt_{ref} peut être une valeur calculée en fonction d'un ou plusieurs paramètres de fonctionnement de l'appareil de coupure **10** ou de l'installation.

[0100] Si l'étape de comparaison **300** détermine que la durée de l'intervalle de temps mesuré Δt_{50} devient supérieure à la valeur de référence Δt_{ref} , l'unité de contrôle et de commande **52** peut déclencher une étape de stabilisation **400**, « **START STAB V2** », ultérieure à l'étape initiale, au cours de laquelle un mouvement relatif des deux électrodes s'effectue selon un profil de vitesse dans lequel la vitesse est réduite. Le profil de vitesse de ce mouvement peut être, entre autre, l'un ou l'autre de ceux illustrés sur les Fig. **5A** à **5D**, par exemple un profil de vitesse constant à une vitesse moyenne d'écartement de stabilisation **V2** inférieure à une première vitesse constante d'écartement **V1**, comme sur les Figs. **5A** à **5C**, ou un profil de vitesse variable comme sur la Fig. **5D**. L'unité de contrôle et de commande **52** modifie alors les commandes envoyées au moteur **48** pour ralentir la vitesse du mouvement d'écartement des deux électrodes.

[0101] La durée de l'étape de stabilisation peut être prédéterminée, par exemple par une durée prédéterminée en temps ou par une valeur de seuil de l'écartement des deux électrodes. Cette durée peut alternativement être déterminée en fonction d'un ou plusieurs paramètres de fonctionnement de l'appareil de coupure, par exemple des paramètres géométriques constitutifs de l'appareil ou des paramètres caractéristiques du ou des potentiels électriques auxquels l'appareil est soumis, notamment sous la forme de sélection de valeurs dans un tableau ou sous la forme de calcul en fonction de ces paramètres.

[0102] Dans cet exemple de réalisation, il est par ailleurs prévu, après l'étape de stabilisation, au moins une étape de poursuite d'ouverture **500**, « **START OPEN V3** » au cours de laquelle un mouvement relatif des deux électrodes s'effectue à une vitesse moyenne d'écartement supérieure à la deuxième vitesse moyenne d'écartement.

[0103] L'étape de poursuite d'ouverture **500** pourrait se poursuivre inconditionnellement jusqu'à ce que les deux électrodes aient atteint leur position relative d'ouverture électrique dans laquelle elles atteignent leur écartement final, déclenchant alors une étape d'arrêt **700** « **STOP** » du dispositif de commande **42**.

[0104] Toutefois, dans le mode de réalisation illustré, il est prévu, au cours de l'étape de poursuite d'ouverture

500 d'effectuer une étape de contrôle **600**, « **TEST** », pendant laquelle les signaux délivrés par le capteur **50** sont utilisés pour détecter l'éventuelle apparition d'un arc électrique entre les deux électrodes.

[0105] Si un tel arc est détecté, le procédé peut avantageusement prévoir soit de déclencher directement une étape de stabilisation secondaire en renvoyant le procédé directement à l'étape de stabilisation **400** décrite plus haut, soit de renvoyer le procédé à l'étape de comparaison **300** décrite plus haut. Ainsi, le déclenchement d'une étape de stabilisation secondaire est déterminé au moins en fonction de la détection d'un arc électrique entre la première et la deuxième électrode au cours d'une étape de poursuite d'ouverture.

[0106] Dans tous les cas, lorsque les deux électrodes atteignent leur écartement final, le procédé déclenche une étape d'arrêt **700** du dispositif de commande **42**.

[0107] Bien entendu d'autres variantes du procédé peuvent être envisagées, suivant notamment les procédés décrits en relation avec les **Fig. 5A à 5D**.

[0108] La fin de l'étape de stabilisation peut être déterminée aussi, par exemple, en fonction de la détection de la présence d'un arc électrique entre les deux électrodes, cette détection pouvant être effectuée au moyen du capteur **50**. Par exemple, on peut prévoir que l'étape de stabilisation soit terminée après l'écoulement d'un laps de temps prédéterminé suivant un dernier arc électrique détecté entre les deux électrodes **20, 22, 24**. On peut donc, après l'écoulement de ce laps de temps, déclencher une étape de poursuite d'ouverture.

[0109] De préférence, le positionnement d'une étape de stabilisation dans le processus, par exemple défini par les instants de début t_{a1} , t_{a2} et de fin t_{b1} , t_{b2} d'une étape de stabilisation, notamment de la première étape de stabilisation, sont prédéterminés, choisis ou calculés de telle sorte que, au cours de l'étape de stabilisation, les électrodes **20, 22** occupent au moins une position relative de dernier arc pour laquelle :

- il existe une valeur de potentiel électrique de la première électrode qui crée, pour cette position, et pour une valeur antérieure de potentiel de la deuxième électrode, un arc électrique entre les deux électrodes, et
- l'arc électrique amène la deuxième électrode à un potentiel final pour lequel la différence de potentiel électrique entre la première électrode et la deuxième électrode est inférieure à la tenue diélectrique minimale entre les électrodes pour ladite position.

[0110] La tenue diélectrique minimale entre les électrodes pour ladite position correspond à la tension entre les deux électrodes qui provoquerait, pour ladite position, l'amorçage d'un arc électrique entre les deux électrodes **20, 22, 24**. Elle peut être déterminée, pour une installation, par une campagne d'essais.

[0111] Si une telle position n'est pas trouvée, il est possible qu'au moins une étape de stabilisation secondaire

soit nécessaire, jusqu'à obtenir cet effet.

[0112] En d'autres termes, cette position est une position pour laquelle, compte tenu des paramètres de fonctionnement de l'appareil de coupure dans l'installation, la différence de potentiel entre la première et la deuxième électrode va, après éventuellement plusieurs changements de valeurs dus à des arcs électriques successifs provoqués par les variations alternatives du potentiel de la première électrode, atteindre une valeur finale au-delà de laquelle le potentiel de la seconde électrode ne variera plus durant la suite du mouvement relatif d'ouverture des deux électrodes jusqu'à ce qu'elles atteignent leur position relative d'ouverture électrique. Grâce à l'invention, on obtient la stabilisation du potentiel de l'électrode au potentiel flottant pour le potentiel le plus proche possible du potentiel minimum pouvant exister, lequel dépendant des paramètres constitutif du sectionneur.

[0113] De manière générale, les instants de début et de fin de l'étape de stabilisation, et l'écartement des deux électrodes auxquelles correspondent ces deux instants, sont choisis pour que, pendant une étape de stabilisation, les électrodes occupent au moins une position relative pour laquelle la valeur d'écartement des électrodes est comprise entre 10% et 90% de la valeur d'écartement des électrodes dans la position finale d'ouverture.

[0114] Des simulations et des essais ont montré que, pour certaines configurations, des résultats satisfaisants sont obtenus si, pendant l'étape de stabilisation, les électrodes occupent au moins une position relative pour laquelle la valeur d'écartement des électrodes est comprise entre 10% et 50%, plus préférentiellement entre 10% et 30% de la valeur d'écartement des électrodes dans une position finale d'ouverture. Pour d'autres configurations, des résultats satisfaisants sont obtenus si, pendant l'étape de stabilisation, les électrodes occupent au moins une position relative pour laquelle la valeur d'écartement des électrodes est comprise entre 40% et 90%, plus préférentiellement entre 60% et 90 % de la valeur d'écartement

[0115] De préférence, une étape de stabilisation présente une durée égale à au moins 5 fois la période d'alternance du potentiel électrique alternatif auquel est soumise la première électrode, en l'occurrence la période d'alternance de la tension de la source de tension, de préférence au moins 15 fois la période d'alternance du potentiel électrique alternatif auquel est soumise la première électrode, de manière à augmenter la probabilité que surviennent le dernier arc électrique pendant l'étape de stabilisation.

[0116] Des simulations et des essais ont montré qu'une étape de stabilisation peut présenter une durée inférieure à 75 fois la période d'alternance du potentiel électrique alternatif auquel est soumise la première électrode, de préférence inférieure à 50 fois la période d'alternance du potentiel électrique alternatif auquel est soumise la première électrode. En limitant ainsi la durée d'une phase de stabilisation, on diminue le temps total du mouvement d'ouverture de l'appareil de coupure entre

la position relative de fermeture électrique et la position relative d'ouverture électrique des deux électrodes. Cependant, même en observant cette limite de durée, on constate généralement que le dernier arc électrique est atteint au cours de l'étape de stabilisation.

[0117] Des simulations et des essais ont montré que la deuxième vitesse moyenne d'écartement peut être choisie de telle sorte que la vitesse d'accroissement de la tenue diélectrique maximale de l'appareil, engendrée par l'augmentation de la valeur d'écartement, croît à une vitesse inférieure à 1.0 pu/s, de préférence inférieure à 0.5 pu/s, où 1 pu est la valeur de crête du potentiel électrique alternatif auquel est soumise la première électrode, en l'occurrence la valeur de crête de la tension de la source de tension.

[0118] En adoptant les recommandations ci-dessus pour la position de l'étape de stabilisation, pour sa durée, et pour la vitesse d'accroissement maximal de la tenue diélectrique maximale de l'appareil, des simulations ont montré que le potentiel électrique de la seconde électrode lorsque les deux électrodes atteignent leur position relative finale d'ouverture est inférieur à 0.5 pu.

[0119] Les **Fig. 7A à 7D** illustrent un mode de réalisation d'un appareil de coupure mécanique de circuit électrique qui est identique à celui décrit plus haut en référence aux **Fig. 1 à 3**, mais dans lequel le mécanisme de transmission **44, 46** reliant l'actionneur **48** à au moins une des électrodes, en l'occurrence au tube **24** de la seconde électrode **22**, est configuré pour mettre en oeuvre un exemple de réalisation d'un procédé selon l'invention, de manière entièrement mécanique.

[0120] Ce mécanisme comporte de manière similaire un levier **46** qui est entraîné en rotation par l'actionneur **48** autour d'un axe **A2** perpendiculaire à l'axe **A1** du mouvement des électrodes. A l'extrémité du levier **46** qui est opposée à l'axe de rotation **A2**, la bielle **44** est articulée sur le levier **46** autour d'un axe **A3** parallèle à l'axe **A2** par le biais d'une tige d'articulation **54** d'axe **A3** qui est reçue dans une gorge en L **56** aménagée dans le levier **46**, dans un plan perpendiculaire aux axes **A2** et **A3**. La gorge en L **56** présente une branche longue **56b** de course morte et une branche courte **56a** d'entraînement initial, les deux branches formant entre elles un angle d'environ 90 degrés. Les deux branches **56a, 56b** s'étendent chacune depuis une intersection commune vers une extrémité de fond de branche.

[0121] Dans la position de la **FIG. 7A**, qui correspond à la position relative de fermeture électrique, on comprend que le levier **46** est orienté de telle sorte que la branche courte **56a** est orientée vers l'avant, en direction de la première électrode **20**, par rapport à son intersection avec la branche longue **56b**. La tige d'articulation **54** est reçue à l'extrémité de fond de cette branche courte **56b**.

[0122] Lors du mouvement d'ouverture, le levier **46** est entraîné par l'actionneur **48**, en l'occurrence dans le sens des aiguilles d'une montre en considérant les figures. La tige d'articulation **54** étant reçue à l'extrémité de fond de

la branche courte **56a** de la gorge, elle est entraînée par cette extrémité de fond, vers l'arrière, de manière à provoquer l'écartement de la seconde électrode **22, 24** à laquelle elle est reliée par la bielle **44**.

[0123] La **Fig. 7B** illustre une position du mécanisme de transmission pour laquelle l'orientation de la branche courte de la gorge **56** est sensiblement perpendiculaire à la bielle **44**. À partir de cette position, sous l'effet des efforts et sous l'effet de la pesanteur, la tige d'articulation **54** s'échappe de l'extrémité de fond de la branche courte **56a** de la gorge en direction de l'intersection avec la branche longue **56b** de cette gorge. On remarque que la branche longue **56b** de la gorge est alors sensiblement parallèle à l'axe **A1** du mouvement d'ouverture.

[0124] Entre les positions des **Fig. 7B** et **7C**, le levier **46** poursuit son mouvement de rotation autour de l'axe **A2** mais ce mouvement de rotation ne provoque pas de déplacement de la bielle **44**, et encore moins de la seconde électrode **22, 24**. En effet, entre ces deux positions, la tige d'articulation **54** entre la bielle **44** et levier **46** peut se déplacer librement dans la branche longue **56b** de la gorge **56**, depuis l'intersection vers son extrémité de fond, qu'elle atteint pour la position de la figure **7C**. On voit donc qu'entre les positions des **Figs. 7B** et **7C**, le levier **46** a poursuivi son mouvement de rotation tandis que le tube **24** de la seconde électrode **22** n'a lui pas été déplacé et conserve donc un écartement constant par rapport à la première électrode.

[0125] Lorsque le levier **46** poursuit son mouvement de rotation autour de l'axe **A2** par rapport à la position de la figure **7C**, la tige d'articulation **54** étant reçue à l'extrémité de fond de la branche longue **56b** de la gorge en L **56**, on voit que la bielle **44**, et donc la seconde électrode **22, 24**, reprend son mouvement d'ouverture jusqu'à atteindre la position relative d'ouverture électrique illustrée à la **Fig. 7D**.

[0126] Grâce à un dispositif de commande tel qu'illustré, on comprend donc qu'un mouvement de rotation à vitesse constante du levier **46** autour de l'axe **A2**, par exemple causé par un moteur **48** entraîné à vitesse constante, se traduit par un mouvement de la seconde électrode **22, 24** qui comporte une phase d'arrêt entre les positions des **Figs. 7B** et **7C**. De la sorte, l'appareil illustré sur les **Figs. 7a à 7D** permet, par des moyens mécaniques, de provoquer un mouvement des électrodes dont le profil de déplacement est analogue à celui illustré à la **Fig. 5B**, en ce sens qu'il permet d'assurer une étape de stabilisation avec un arrêt du mouvement relatif des deux électrodes, entre une étape d'ouverture initiale, entre les positions des **Figs. 7A** et **7B**, et une étape de poursuite d'ouverture entre les positions des **Figs. 7C** et **7D**.

[0127] L'invention n'est pas limitée aux exemples décrits et représentés car diverses modifications peuvent y être apportées sans sortir de son cadre.

Revendications

1. Procédé de contrôle d'ouverture d'un appareil de coupure mécanique (10) dans un circuit électrique haute tension alternative, du type comportant deux électrodes dont une première (20) est soumise à un potentiel électrique alternatif ayant une période d'alternance, et dont une seconde (22, 24) est isolée électriquement de toute source de tension et de toute masse électrique, les deux électrodes de l'appareil mécanique étant mobiles l'une par rapport à l'autre selon un mouvement d'ouverture commandée, entre une position relative de fermeture électrique, dans laquelle elles établissent une connexion électrique nominale de l'appareil, et au moins une position relative finale d'ouverture électrique dans laquelle les deux électrodes sont écartées l'une de l'autre d'un écartement final (E_f), **caractérisé en ce que** le procédé comporte :
 - une étape initiale d'ouverture comprenant au moins un intervalle de temps d'ouverture rapide dont la durée (T_1) vaut au moins 1 fois la période d'alternance du potentiel alternatif de la première électrode et au cours duquel un mouvement relatif des deux électrodes s'effectue à une première vitesse moyenne d'écartement (V_1) supérieure à 0.05 mètre par seconde, de préférence supérieure à 0.1 mètre par seconde ;
 - au moins une étape de stabilisation, ultérieure à l'étape initiale d'ouverture et comprenant au moins un intervalle de temps de stabilisation dont la durée (T_2) vaut au moins 5 fois la période d'alternance du potentiel alternatif de la première électrode et correspondant à des écartements des deux électrodes (20, 22, 24) compris entre 10% et 90% de l'écartement final (E_f), au cours duquel un mouvement relatif des deux électrodes (20, 22, 24) s'effectue à une vitesse moyenne d'écartement de stabilisation (V_2) inférieure à 0.03 mètre par seconde.
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le procédé comporte, après l'étape de stabilisation, au moins une étape de poursuite d'ouverture comprenant au moins un intervalle de temps de poursuite d'ouverture dont la durée vaut au moins 5 fois la période d'alternance du potentiel alternatif de la première électrode et au cours duquel un mouvement relatif des deux électrodes (20, 22, 24) s'effectue à une vitesse moyenne d'écartement (V_3) supérieure à 0.03 mètre par seconde, de préférence supérieure à 0.05 mètre par seconde, plus préférentiellement supérieure à 0.1 mètre par seconde.
3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** le procédé comporte, après une étape de poursuite d'ouverture, une étape de stabilisation secondaire comprenant au moins un intervalle de temps de stabilisation secondaire dont la durée vaut au moins 5 fois la période d'alternance du potentiel alternatif de la première électrode, au cours duquel un mouvement relatif des deux électrodes (20, 22, 24) s'effectue à une vitesse moyenne d'écartement (V_4) inférieure à 0.03 mètre par seconde.
4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**une étape de stabilisation est déclenchée pour correspondre à une position relative prédéterminée des deux électrodes (20, 22, 24).
5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**une étape de stabilisation est déclenchée au moins en fonction de la durée d'un intervalle de temps entre deux arcs électriques entre la première (20) et la deuxième (22, 24) électrode au cours du mouvement d'ouverture.
6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**, pendant l'étape initiale d'ouverture, on détecte un intervalle de temps (Δt_{50}) entre deux arcs électriques entre la première (20) et la deuxième (22, 24) électrode, et **en ce qu'**on compare la durée de l'intervalle de temps (Δt_{50}) par rapport à une valeur de référence (Δt_{ref}) au-dessus de laquelle une étape de stabilisation est déclenchée.
7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**une étape de stabilisation est déclenchée au moins en fonction de la tension entre les deux électrodes au moment de l'amorçage d'un arc électrique entre les deux électrodes (20, 22, 24).
8. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce qu'**une étape de poursuite d'ouverture est déclenchée après l'écoulement d'un laps de temps prédéterminé suivant un dernier arc électrique détecté entre les deux électrodes (20, 22, 24).
9. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** le déclenchement d'une étape de stabilisation secondaire est déterminé au moins en fonction de la détection d'un arc électrique entre la première et la deuxième électrode au cours d'une étape de poursuite d'ouverture.
10. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**, pendant une étape de stabilisation, les électrodes (20, 22, 24) occupent au moins une position relative de dernier arc pour laquelle :
 - il existe une valeur de potentiel électrique de la première électrode (20) soumise à un poten-

tiel électrique alternatif qui crée, pour cette position, et pour une valeur antérieure de potentiel de la deuxième électrode (22, 24), un arc électrique entre les deux électrodes, et

- l'arc électrique amène la deuxième électrode (22, 24) à un potentiel final pour lequel la différence de potentiel électrique entre la première électrode (20) et la deuxième électrode (22, 24) est inférieure à la tenue diélectrique minimale entre les électrodes pour ladite position.

11. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**une étape de stabilisation comporte au moins un arrêt du mouvement relatif des deux électrodes (20, 22, 24), voire consiste en un arrêt du mouvement relatif des deux électrodes (20, 22, 24).

12. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**une étape de stabilisation présente une durée égale à au moins 5 fois, alternativement au moins 10 fois, alternativement au moins 20 fois la période d'alternance du potentiel électrique auquel est soumise la première électrode (20).

13. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la deuxième vitesse moyenne d'écartement (V2) est choisie de telle sorte que la vitesse d'accroissement de la tenue diélectrique minimale de l'appareil, engendrée par l'augmentation de la valeur d'écartement, croît à une vitesse inférieure à 1.0 pu/s, de préférence inférieure à 0.5 pu/s, où 1 pu est la valeur de crête du potentiel électrique auquel est soumise la première électrode (20) par rapport à la terre.

14. Installation électrique comprenant un appareil de coupure mécanique (10) d'un circuit électrique haute tension alternative, du type comportant deux électrodes dont une première (20) est soumise à un potentiel électrique alternatif et dont une seconde (22, 24) est isolée électriquement de toute source de tension et de toute masse électrique, les deux électrodes (20, 22, 24) de l'appareil mécanique étant mobiles l'une par rapport à l'autre selon un mouvement d'ouverture commandée par un dispositif de commande (42), entre une position relative de fermeture électrique, dans laquelle elles établissent une connexion électrique nominale de l'appareil, et au moins une position relative d'ouverture électrique dans laquelle les deux électrodes sont écartées l'une de l'autre, **caractérisée en ce que** le dispositif de commande (42) est configuré pour mettre en oeuvre un procédé de commande selon l'une quelconque des revendications précédentes.

15. Installation électrique selon la revendication 14, ca-

ractérisée en ce que le dispositif de commande comporte un actionneur (48) pour commander le mouvement relatif des électrodes (20, 22, 24) par l'intermédiaire d'un mécanisme de transmission (44, 46) reliant l'actionneur (48) à au moins une des électrodes, le mécanisme de transmission (44, 46) étant configuré pour mettre en oeuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 13.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Steuern des Öffnens einer mechanischen Abschaltvorrichtung (10) in einem Hochspannungs-Wechselstromkreis vom Typ, der zwei Elektroden aufweist, wovon eine erste (20) einem elektrischen Wechsellpotential ausgesetzt wird, das eine Wechselperiode aufweist, und wovon eine zweite (22, 24) von jeder Spannungsquelle und von jeder elektrischen Masse elektrisch isoliert wird, wobei die zwei Elektroden der mechanischen Vorrichtung in einer Bewegung der gesteuerten Öffnung zwischen einer relativen elektrischen Schließposition, in der sie einen nominellen elektrischen Anschluss der Vorrichtung erstellen, und mindestens einer endgültigen relativen elektrischen Öffnungsposition zueinander beweglich sind, in der die zwei Elektroden um einen endgültigen Abstand (E_f) voneinander beabstandet sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verfahren aufweist:

- einen anfänglichen Schritt des Öffnens, der mindestens ein schnelles Öffnungszeitintervall aufweist, dessen Dauer (T_1) mindestens das 1-fache der Wechselperiode des Wechsellpotentials der ersten Elektrode beträgt und bei dem eine Relativbewegung der zwei Elektroden mit einer ersten Durchschnittsgeschwindigkeit des Beabstandens (V_1) von mehr als 0,05 Metern pro Sekunde, vorzugsweise mehr als 0,1 Metern pro Sekunde, durchgeführt wird,

- mindestens einen Schritt des Stabilisierens nachträglich nach dem anfänglichen Schritt des Öffnens und der mindestens ein Stabilisierungszeitintervall aufweist, dessen Dauer (T_2) mindestens das 5-fache der Wechselperiode des Wechsellpotentials der ersten Elektrode beträgt und Abständen der zwei Elektroden (20, 22, 24) zwischen 10 % und 90 % des endgültigen Abstands (E_f) beträgt, bei dem eine Relativbewegung der zwei Elektroden (20, 22, 24) bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit des Beabstandens des Stabilisierens (V_2) von weniger als 0,03 Metern pro Sekunde durchgeführt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verfahren nach dem Schritt des Stabilisierens mindestens einen Schritt des Fortset-

- zens des Öffnens aufweist, der mindestens ein Zeitintervall des Fortsetzens des Öffnens aufweist, dessen Dauer mindestens das 5-fache der Wechselperiode des Wechsellpotentials der ersten Elektrode beträgt und bei dem eine Relativbewegung der zwei Elektroden (20, 22, 24) mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit des Beabstandens (V_3) von mehr als 0,03 Metern pro Sekunde, vorzugsweise mehr als 0,05 Metern pro Sekunde, insbesondere mehr als 0,1 Metern pro Sekunde, durchgeführt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verfahren nach dem Schritt des Fortsetzens des Öffnens einen zweiten Schritt des Stabilisierens aufweist, der mindestens ein Zeitintervall des zweiten Stabilisierens aufweist, dessen Dauer mindestens das 5-fache der Wechselperiode des Wechsellpotentials der ersten Elektrode beträgt, bei dem eine Relativbewegung der zwei Elektroden (20, 22, 24) mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit des Beabstandens (V_4) von weniger als 0,03 Metern pro Sekunde durchgeführt wird.
 4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Schritt des Stabilisierens ausgelöst wird, um einer vorbestimmten Relativposition der zwei Elektroden (20, 22, 24) zu entsprechen.
 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Schritt des Stabilisierens mindestens in Abhängigkeit von der Dauer eines Zeitintervalls zwischen zwei elektrischen Lichtbögen zwischen der ersten (20) und der zweiten (22, 24) Elektrode während der Öffnungsbewegung ausgelöst wird.
 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** während des anfänglichen Schritts des Öffnens ein Zeitintervall (Δt_{50}) zwischen zwei elektrischen Lichtbögen zwischen der ersten (20) und der zweiten (22, 24) Elektrode erfasst wird und dadurch, dass die Dauer des Zeitintervalls (Δt_{50}) mit einem Referenzwert (Δt_{ref}) verglichen wird, über dem ein Schritt des Stabilisierens ausgelöst wird.
 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Schritt des Stabilisierens mindestens in Abhängigkeit von der Spannung zwischen den zwei Elektroden zum Zeitpunkt des Zündens eines elektrischen Lichtbogens zwischen den zwei Elektroden (20, 22, 24) ausgelöst wird.
 8. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Schritt des Fortsetzens des Öffnens nach Ablauf einer vorbestimmten Zeitspanne nach einem letzten erfassten elektrischen Lichtbogen zwischen den zwei Elektroden (20, 22, 24) ausgelöst wird.
 9. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Auslösen eines zweiten Schritts des Stabilisierens mindestens in Abhängigkeit von dem Erfassen eines elektrischen Lichtbogens zwischen der ersten und der zweiten Elektrode während eines Schritts des Fortsetzens des Öffnens bestimmt wird.
 10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Elektroden (20, 22, 24) bei einem Schritt des Stabilisierens mindestens eine Relativposition des letzten Bogens einnehmen, für die:
 - es einen Wert eines elektrischen Potentials der ersten Elektrode (20) gibt, der einem elektrischen Wechsellpotential ausgesetzt wird, das für diese Position und für einen früheren Potentialwert der zweiten Elektrode (22, 24) einen elektrischen Lichtbogen zwischen den zwei Elektroden erzeugt, und
 - der elektrische Lichtbogen die zweite Elektrode (22, 24) auf ein Endpotential bringt, für das der Unterschied des elektrischen Potentials zwischen der ersten Elektrode (20) und der zweiten Elektrode (22, 24) kleiner als die minimale dielektrische Festigkeit zwischen den Elektroden für diese Position ist.
 11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Schritt des Stabilisierens mindestens ein Anhalten der Relativbewegung der zwei Elektroden (20, 22, 24) aufweist, ja sogar aus einem Anhalten der Relativbewegung der zwei Elektroden (20, 22, 24) besteht.
 12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Schritt des Stabilisierens eine Dauer aufweist, die mindestens das 5-fache, alternativ mindestens das 10-fache, alternativ mindestens das 20-fache der Wechselperiode des elektrischen Potentials beträgt, dem die erste Elektrode (20) ausgesetzt wird.
 13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweite Durchschnittsgeschwindigkeit des Beabstandens (V_2) derart gewählt wird, dass die Geschwindigkeit der Erhöhung der minimalen dielektrischen Festigkeit der Vorrichtung, die durch die Erhöhung des Abstandswertes erzeugt wird, mit einer Geschwindigkeit von weniger als 1,0 pu/s, vorzugsweise weniger als 0,5 pu/s, zunimmt, wobei 1 pu der Spitzenwert des elektrischen Potentials ist, dem die erste Elek-

trode (20) gegen Erde ausgesetzt wird.

14. Elektrische Anlage, umfassend eine mechanische Abschaltvorrichtung (10) eines Hochspannungs-Wechselstromkreises vom Typ, der zwei Elektroden aufweist, wovon eine erste (20) einem elektrischen Wechselepotential ausgesetzt ist, und wovon eine zweite (22, 24) von jeder Spannungsquelle und von jeder elektrischen Masse elektrisch isoliert ist, wobei die zwei Elektroden (20, 22, 24) der mechanischen Vorrichtung in einer Bewegung der gesteuerten Öffnung, die durch eine Steuervorrichtung (42) gesteuert ist, zwischen einer relativen elektrischen Schließposition, in der sie einen nominellen elektrischen Anschluss der Vorrichtung erstellen, und mindestens einer endgültigen relativen elektrischen Öffnungsposition zueinander beweglich sind, in der die zwei Elektroden voneinander beabstandet sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuervorrichtung (42) konfiguriert ist, um ein Verfahren zum Steuern nach einem der vorhergehenden Ansprüche umzusetzen.
15. Elektrische Anlage nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuervorrichtung ein Stellglied (48) aufweist, um die Relativbewegung der zwei Elektroden (20, 22, 24) durch einen Übertragungsmechanismus (44, 46) zu steuern, der das Stellglied (48) mit mindestens einer der Elektroden verbindet, wobei der Übertragungsmechanismus (44, 46) konfiguriert ist, um das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13 umzusetzen.

Claims

1. A method for controlling the opening of a mechanical cut-off apparatus (10) in an AC high-voltage electrical circuit, of the type including two electrodes of which a first one (20) is subjected to an AC electric potential having a period of alternation, and a second one (22, 24) is electrically insulated from any voltage source and any electrical mass, the two electrodes of the mechanical apparatus being movable relative to each other in a controlled opening movement, between a relative electrical closing position, in which they establish a nominal electrical connection of the apparatus, and at least one final relative electrical opening position in which the two electrodes are spaced apart from each other by a final spacing (E_f), **characterized in that** the method includes:
- an initial opening step comprising at least one quick opening time interval whose duration (T_1) equals at least 1 time the period of alternation of the AC potential of the first electrode and during which a relative movement of the two electrodes occurs at a first average spacing speed

(V_1) greater than 0.05 meters per second, preferably greater than 0.1 meters per second;

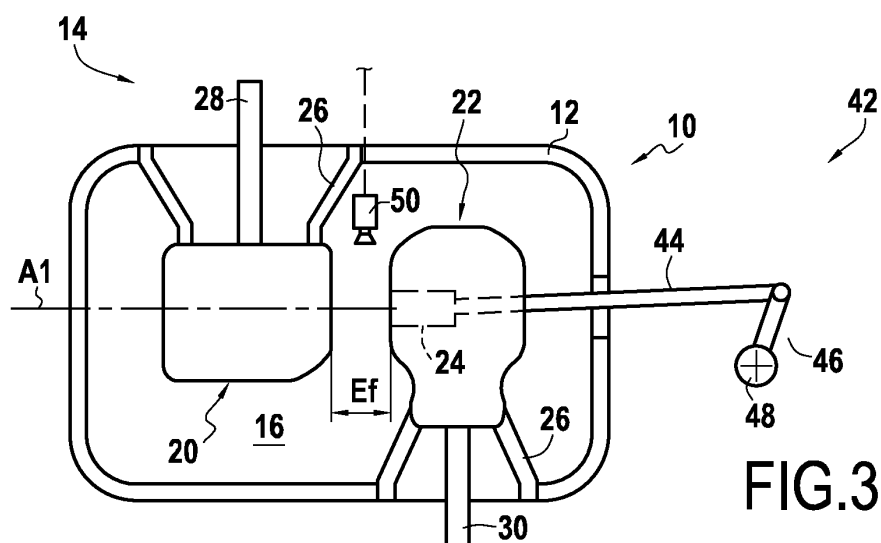
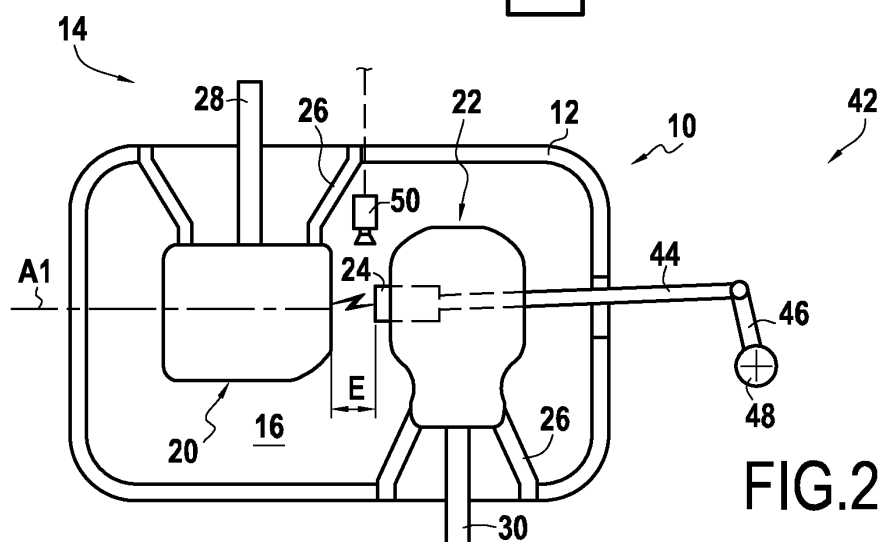
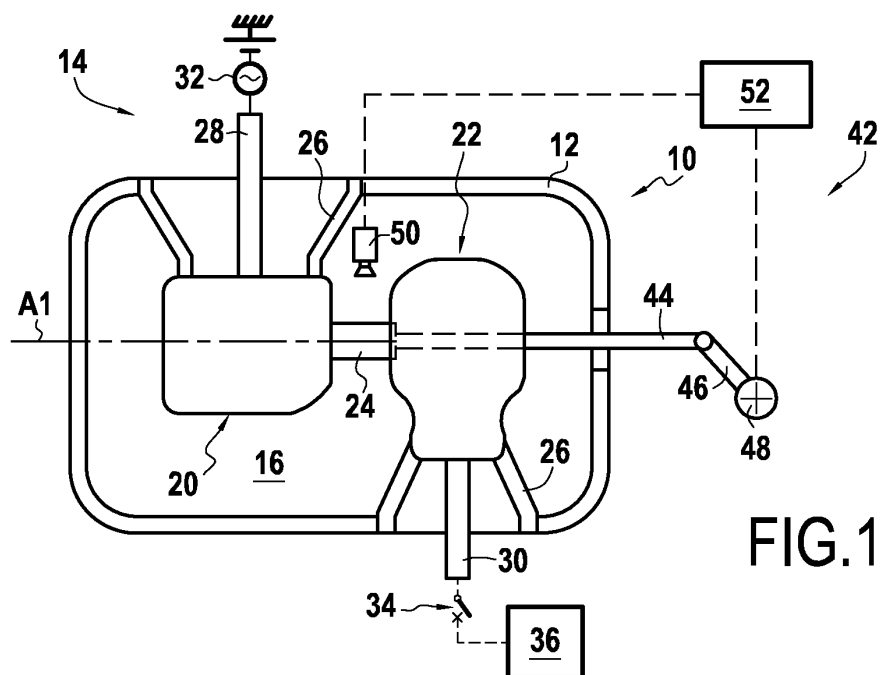
- at least one stabilization step, subsequent to the initial opening step and comprising at least one stabilization time interval whose duration (T_2) equals at least 5 times the period of alternation of the AC potential of the first electrode and corresponding to spacing of the two electrodes (20, 22, 24) comprised between 10% and 90% of the final spacing (E_f), during which a relative movement of the two electrodes (20, 22, 24) occurs at an average stabilization spacing speed (V_2) smaller than 0.03 meters per second.

2. The method according to claim 1, **characterized in that** the method includes, after the stabilization step, at least one opening continuation step comprising at least one opening continuation time interval whose duration equals at least 5 times the period of alternation of the AC potential of the first electrode and during which a relative movement of the two electrodes (20, 22, 24) occurs at an average spacing speed (V_3) greater than 0.03 meters per second, preferably greater than 0.05 meters per second, more preferably greater than 0.1 meters per second.
3. The method according to claim 2, **characterized in that** the method includes, after an opening continuation step, a secondary stabilization step comprising at least a secondary stabilization time interval whose duration equals at least 5 times the period of alternation of the AC potential of the first electrode, during which a relative movement of the two electrodes (20, 22, 24) occurs at an average spacing speed (V_4) less than 0.03 meters per second.
4. The method according to any of the preceding claims, **characterized in that** a stabilization step is triggered to correspond to a predetermined relative position of the two electrodes (20, 22, 24).
5. The method according to any of the preceding claims, **characterized in that** a stabilization step is triggered at least as a function of the duration of a time interval between two electric arcs between the first (20) and the second (22, 24) electrodes during the opening movement.
6. The method according to any of the preceding claims, **characterized in that**, during the initial opening step, a time interval (Δt_{50}) is detected between two electric arcs between the first (20) and the second (22, 24) electrodes, and **in that** the duration of the time interval (Δt_{50}) is compared a reference value (Δt_{ref}) above which a stabilization step is triggered.
7. The method according to any of the preceding

claims, **characterized in that** a stabilization step is triggered at least as a function of the voltage between the two electrodes at the time of ignition of an electric arc between the two electrodes (20, 22, 24).

8. The method according to claim 2, **characterized in that** an opening continuation step is triggered after a predetermined period of time following a last electric arc detected between the two electrodes (20, 22, 24) has elapsed.
9. The method according to claim 3, **characterized in that** the triggering of a secondary stabilization step is determined at least according to the detection of an electric arc between the first and the second electrodes during an opening continuation step.
10. The method according to any of the preceding claims, **characterized in that**, during a stabilization step, the electrodes (20, 22, 24) occupy at least one relative position of last arc for which:
 - there is an electric potential value of the first electrode (20) subjected to an AC electric potential which creates, for this position, and for a prior potential value of the second electrode (22, 24), an electric arc between the two electrodes, and
 - the electric arc leads the second electrode (22, 24) to a final potential for which the electric potential difference between the first electrode (20) and the second electrode (22, 24) is less than the minimum dielectric strength between the electrodes for said position.
11. The method according to any of the preceding claims, **characterized in that** a stabilization step includes at least one stopping of the relative movement of the two electrodes (20, 22, 24), or even consists of a stopping of the relative movement of the two electrodes (20, 22, 24).
12. The method according to any of the preceding claims, **characterized in that** a stabilization step has a duration equal to at least 5 times, alternatively at least 10 times, alternatively at least 20 times the period of alternation of the electric potential to which the first electrode (20) is subjected.
13. The method according to any of the preceding claims, **characterized in that** the second average spacing speed (V2) is chosen such that the rate of increase of the minimum dielectric strength of the apparatus, generated by the increase of the spacing value, increases at a rate below 1.0 pu/s, preferably below 0.5 pu/s, where 1 pu is the peak value of the electric potential to which the first electrode (20) is subjected compared to the ground.

14. An Electrical installation comprising a mechanical cut-off apparatus (10) of an AC high-voltage electrical circuit, of the type including two electrodes of which a first one (20) is subjected to an AC electric potential and of which a second one (22, 24) is electrically insulated from any source of voltage and any electrical mass, the two electrodes (20, 22, 24) of the mechanical apparatus being movable relative to each other in an opening movement controlled by a control device (42), between a relative electrical closing position, in which they establish a nominal electrical connection of the apparatus, and at least one relative electrical opening position in which the two electrodes are spaced apart from each other, **characterized in that** the control device (42) is configured to implement a control method according to any one of the preceding claims.
15. The electrical installation according to claim 14, **characterized in that** the control device includes an actuator (48) for controlling the relative movement of the electrodes (20, 22, 24) via a transmission mechanism (44, 46) connecting the actuator (48) to at least one of the electrodes, the transmission mechanism (44, 46) being configured to implement the method according to any one of claims 1 to 13.



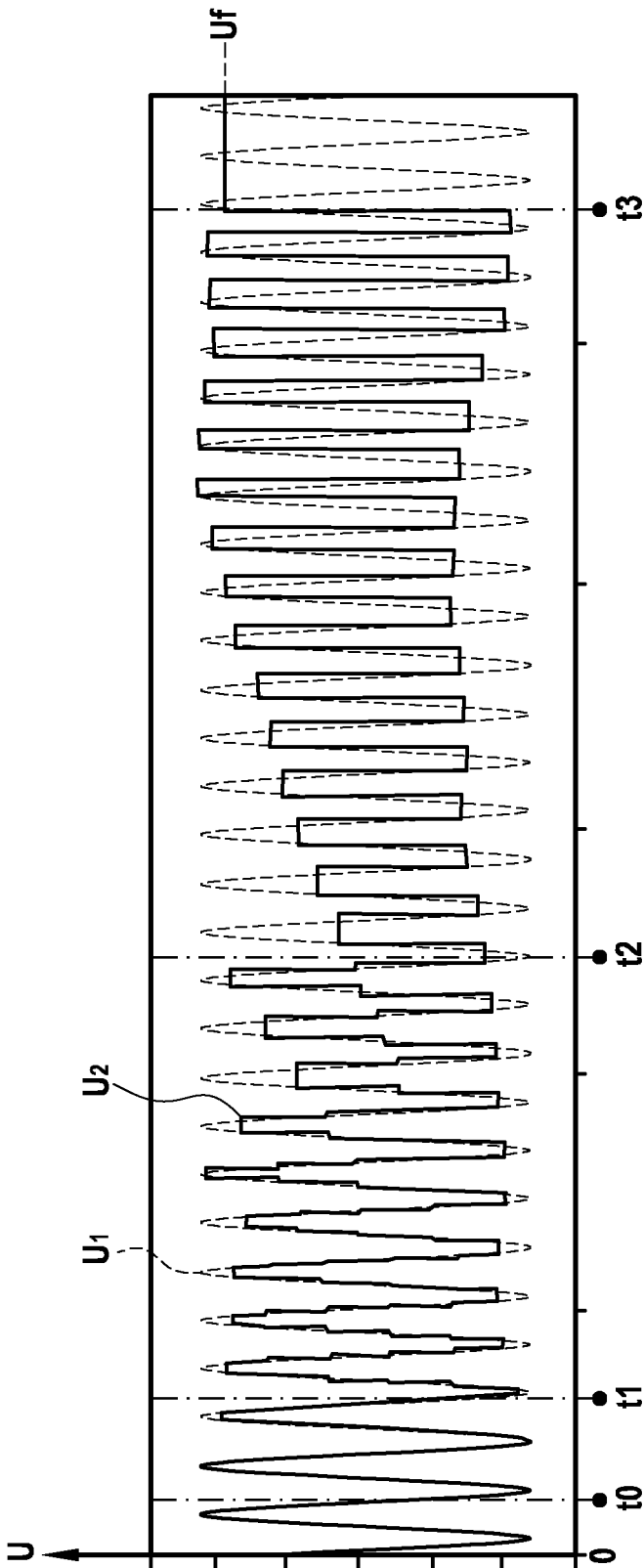


FIG.4

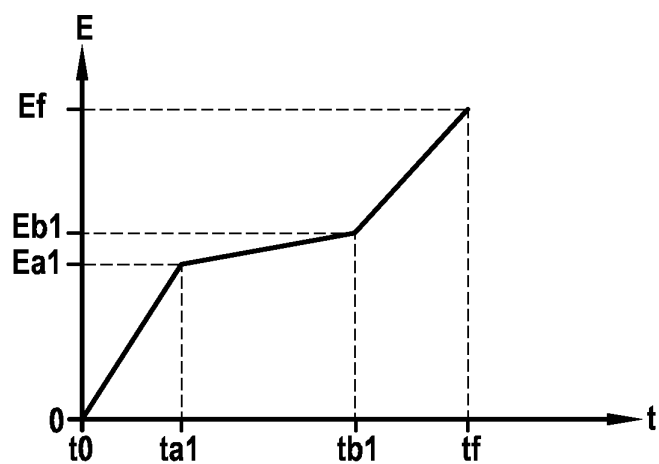


FIG. 5A

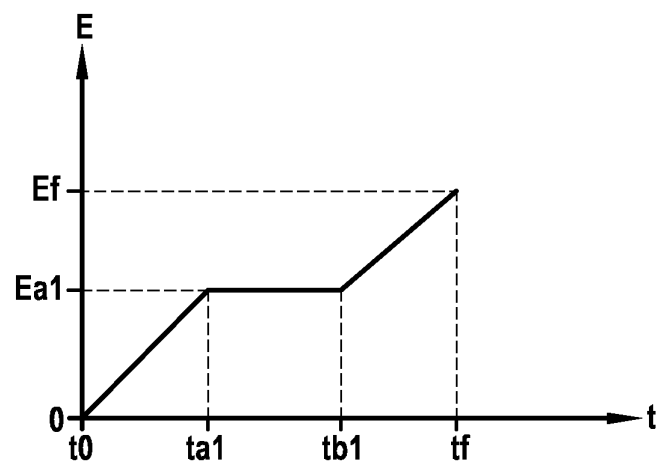


FIG. 5B

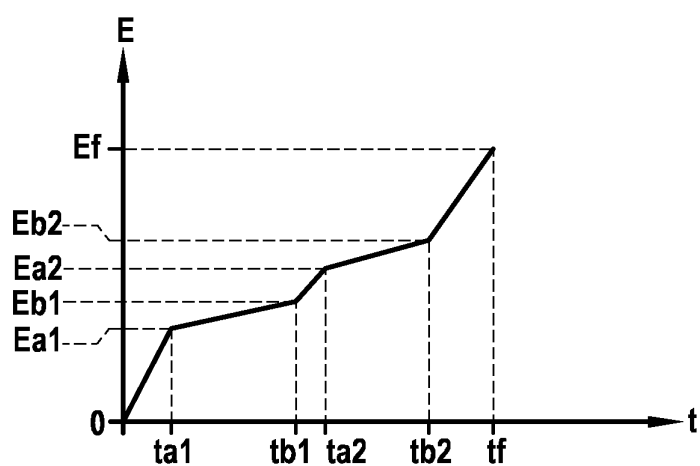
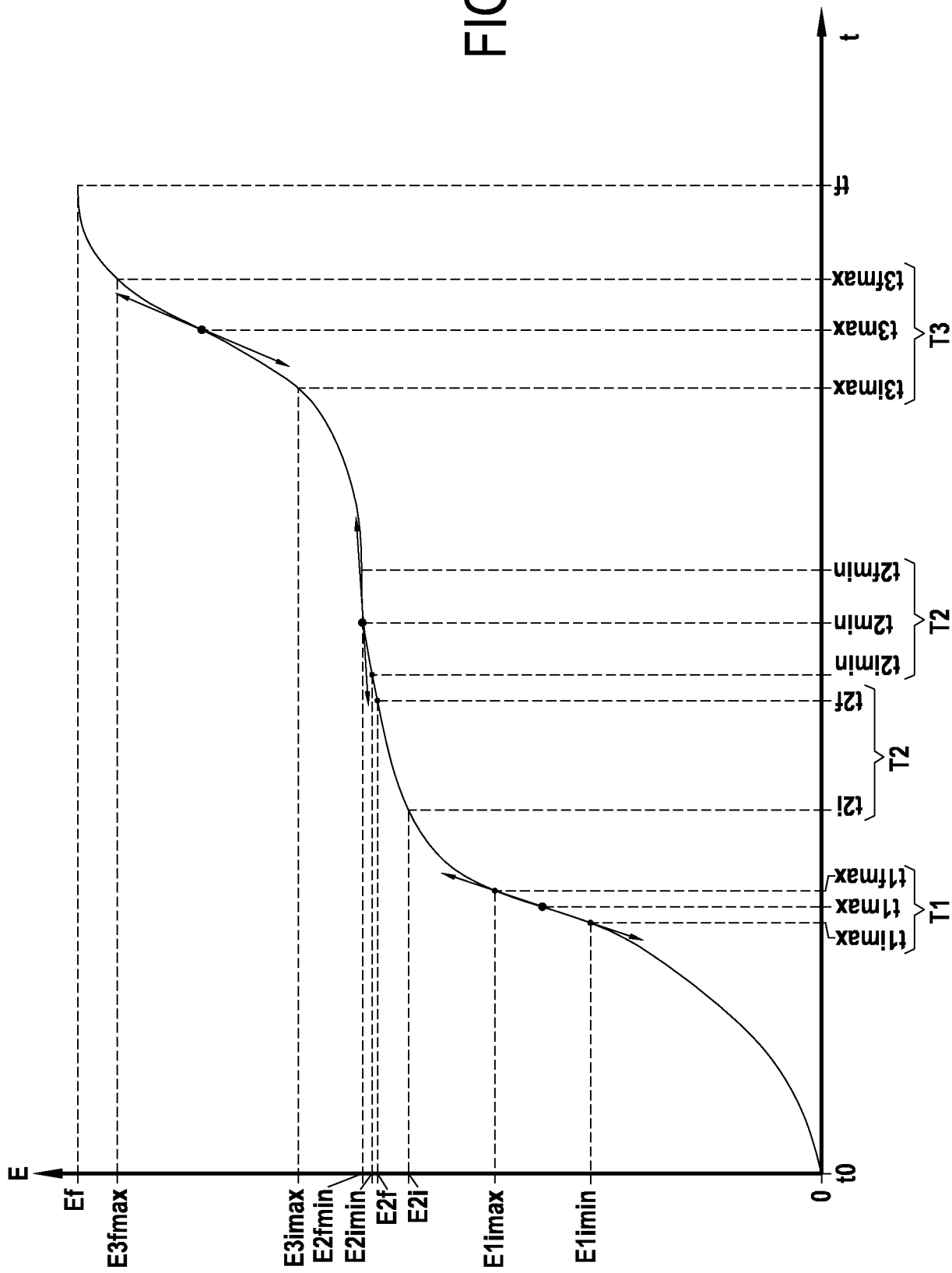


FIG. 5C

FIG.5D



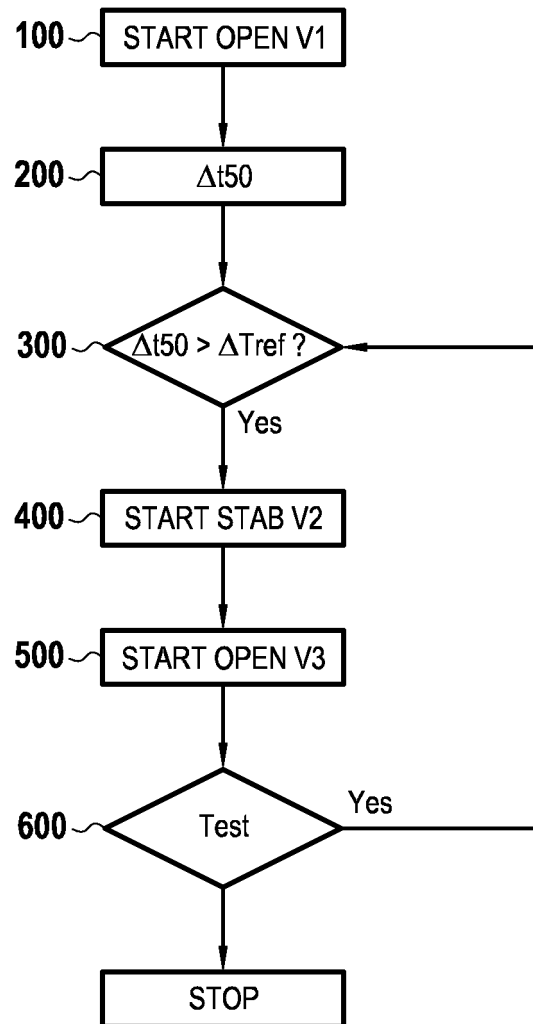
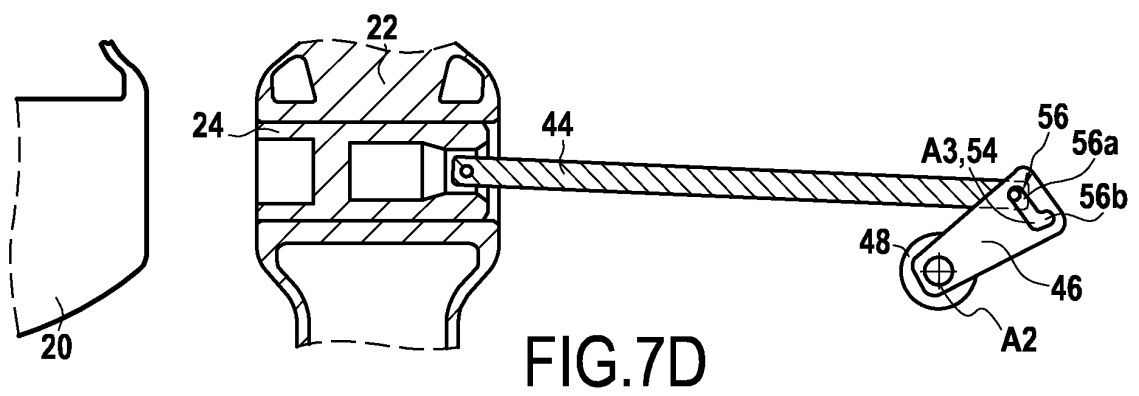
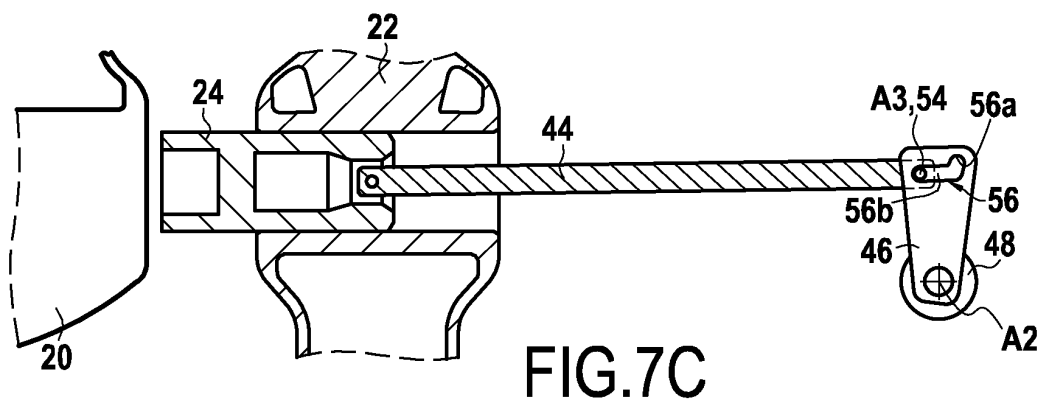
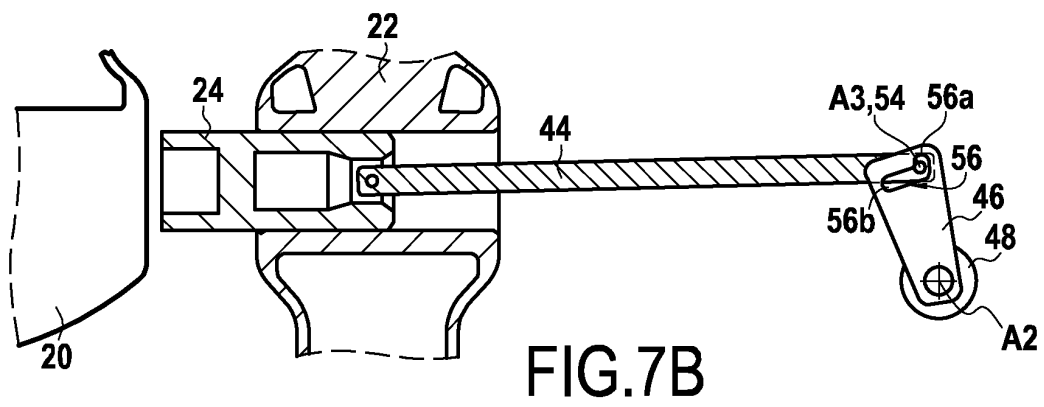
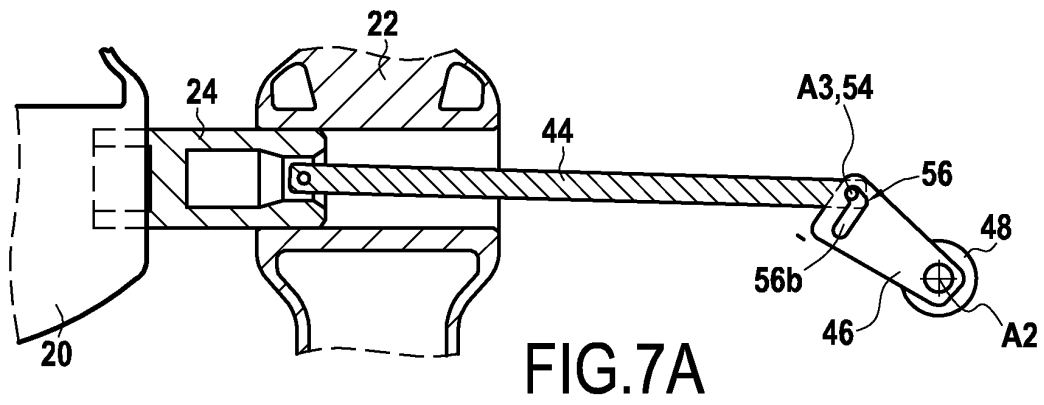


FIG.6



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

- JP 2000067705 A [0018]
- FR 2953983 A1 [0019]

Littérature non-brevet citée dans la description

- **THOMAS BERTELOOT ; ALAIN GIRODET ; PAUL VINSON ; MATHIEU BERNARD.** *Development of a Gas Insulated Disconnecter for UHV Networks*, 28 Février 2014 [0013]
- **SHU YINBIAO ; HAN BIN ; LIN JI-MING ; CHEN WEIJIANG ; BAN LIANGENG ; XIANG ZUTAO ; CHEN GUOQIANG.** Influence of the Switching Speed of the Disconnecter on Very Fast Transient Overvoltage. *IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY*, Octobre 2013, vol. 28 (4 [0013]