(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** ***3 147 681***

(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) **N° d'enregistrement national :** **23 03419**

(51) Int Cl[8] : ***H 05 G 1/08*** *(2023.01)*

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 06.04.23.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 11.10.24 Bulletin 24/41.

(56) **Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire :** *Se reporter à la fin du présent fascicule*

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

( ) **Demande(s) d'extension :**

(71) **Demandeur(s) :** *COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES Etablissement public* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** RIBIERE Maxime.

(73) **Titulaire(s) :** COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES Etablissement public.

(74) **Mandataire(s) :** BREVALEX.

(54) GENERATEUR DE HAUTE PUISSANCE PULSE DECLENCHE PAR UNE IMPULSION DE RAYONNEMENT IONISANT.

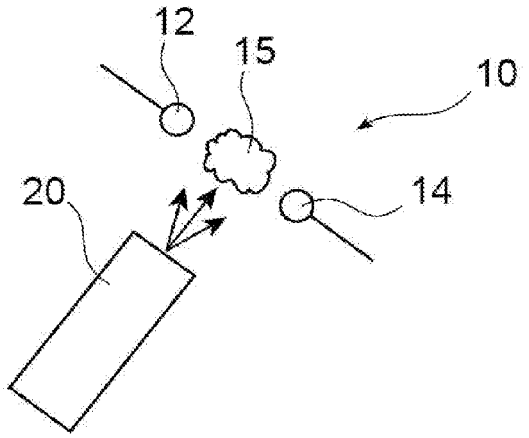
(57) L'invention concerne un dispositif pour la caractérisation d'un capteur de force (12), comportant :

-des moyens (8) magnétiques pour générer un champ magnétique selon au moins un axe (XX');

- des moyens (2, 4, 6) pour ajuster puis maintenir une position relative, selon l'axe (XX'), entre un capteur de force (12) à tester et les moyens (8) magnétiques ;

-des moyens (22-24) pour mesurer un signal représentatif d'une force, en traction ou en compression, appliquée à un capteur de force directement à l'aide desdits moyens magnétiques.

Figure pour l'abrégé : Figure 1A



FR 3 147 681 - A1

Description

Titre de l'invention : GENERATEUR DE HAUTE PUISSANCE PULSE DECLENCHE PAR UNE IMPULSION DE RAYONNEMENT IONISANT.

DOMAINE TECHNIQUE ET ART ANTERIEUR

[0001] L'invention concerne le domaine des générateurs de hautes puissances électriques.

[0002] Les générateurs actuels de hautes puissances électriques pulsées, de classe mega-Volt (MV) et mega-Ampère (MA), maintiennent des hautes tensions pour ensuite libérer l'énergie électrique rapidement (c'est-à-dire en quelques dizaines de nanosecondes) dans une charge. Cette commutation est assurée par des éclateurs, fonctionnant comme des diodes à seuil.

[0003] Un 1er problème est lié aux phénomènes d'auto-amorçages qui correspondent à une transition en mode passant d'un de ces éclateurs de façon non désirée et intempestive. Ceci a pour conséquence la perte de l'énergie électrique de la machine et donc l'échec de l'expérience.

[0004] On connait les éclateurs déclenchés par laser, qui résolvent les problèmes d'auto-amorçage ; mais le déclenchement par laser impulsionnel pose plusieurs problèmes.

[0005] Tout d'abord, les performances d'un laser (jitter, intensité, durée d'impulsion) peuvent être significativement dégradées par les rayonnements électromagnétiques parasites produits lors de la décharge d'un générateur ainsi que par les rayonnements ionisants produits si le générateur en question est utilisé pour la génération de rayonnements ionisants intenses.

[0006] De plus, le déclenchement d'éclateurs par laser nécessite des courtes longueurs d'ondes (dans le domaine des UV) afin de maximiser la génération d'électrons libres par ionisation multi-photonique. Ce point rend difficile les procédures d'alignement et de transport du faisceau jusqu'à l'éclateur.

[0007] Un autre problème réside dans le caractère non linéaire de l'ionisation multi-photonique. Par conséquent, une faible modification des performances du laser peut induire une modification significative des performances de l'éclateur déclenché par ce laser, notamment une modification de l'instant de déclenchement et la durée d'établissement du régime d'arc. Ceci impacte fortement les performances d'un générateur déclenché par laser.

[0008] Enfin, les éclateurs déclenchés par laser sont complexes à mettre en œuvre : ils nécessitent des compétences supplémentaires spécifiques, augmentant les coûts. Par ailleurs, les lasers sont, eux-mêmes, des dispositifs fonctionnant dans un régime non-

linéaire et par conséquent sont très sensibles aux perturbations électromagnétiques rencontrés dans des installations générant des hautes puissances électriques pulsées. La faradisation de l'installation induit des couts supplémentaires, et est aussi limitée par des contraintes d'encombrement et de sécurité liées au transport du faisceau laser.

[0009] Encore un autre problème est celui du transport de l'impulsion laser, car le faisceau doit parvenir jusqu'à la région inter-électrode, ce qui implique des difficultés supplémentaires lors de la phase de conception du générateur. Le transport par fibres optiques peut être envisagé pour diminuer cette problématique. En revanche, le transport de courtes longueurs d'ondes par fibres optiques n'est pas efficace et par conséquent des longueurs d'ondes plus grandes sont mises en œuvre, diminuant ainsi l'efficacité du processus d'ionisation multi-photonique, ce qui affecte la maitrise du déclenchement de l'éclateur.

[0010] Par ailleurs, les mécanismes physiques induits par claquage laser sont non linéaires, mal connus et donc mal maitrisés. La mise au point d'un éclateur déclenché par laser nécessite donc des phases de tests et d'optimisations conséquentes, impactant ainsi les coûts et délais de livraison d'un générateur de hautes puissances électriques pulsées.

Exposé de l'invention

[0011] L'invention vise à résoudre tout ou partie des problèmes exposés ci-dessus ou dans la suite de la présente demande.

[0012] L'invention concerne d'abord un dispositif qui permet de contrôler le déclenchement d'un éclateur d'un générateur d'impulsions de hautes puissances électriques par un flux de rayonnement X impulsionnel issu d'un générateur secondaire, encore appelé générateur d'amorçage dans la suite.

[0013] L'invention concerne notamment un générateur de haute puissance, comportant :

[0014] - au moins un éclateur, comportant 2 électrodes ;

[0015] - des moyens, ou un générateur d'amorçage, pour générer un faisceau de rayons X en direction de l'espace inter-électrodes ou vers l'une des électrodes.

[0016] Les moyens pour générer un faisceau de rayons X (le générateur d'amorçage) sont de préférence de classe kilo-Volt et kilo-Ampère, générant un flux de rayons X, dont les performances sont connues et fixées par le courant et la tension de fonctionnement. Ces moyens ont par exemple une tension de fonctionnement de l'ordre de quelques centaines de kV (par exemple comprise entre 100 kV et 500 kV ou même 1 MV), et un courant d'électrons accélérés de l'ordre du kA (par exemple comprise entre 0,5 kA et 1 kA ou 5 kA).

[0017] L'impulsion de haute puissance électrique qui peut être générée par un générateur de haute puissance selon l'invention peut avoir une tension crête comprise entre 1 et 20 MV, auxquelles peuvent être associées des impulsions de courant entre 100 kA et 1

MA (selon la résistivité de la charge soumise à cette impulsion).

[0018] Le générateur d'amorçage permet d'amorcer le départ d'un arc électrique dans un éclateur, sous vide ou contenant un gaz, d'un générateur de haute puissance électrique.

[0019] L'invention permet :

[0020] - de contrôler le déclenchement de l'impulsion de haute tension électrique pulsée ;

[0021] - de contrôler la conductivité électrique de milieu inter-électrode de l'éclateur.

[0022] L'invention permet également :

[0023] - de s'affranchir des difficultés expérimentales liées à la synchronisation des impulsions de rayonnements laser et de hautes puissances pulsées. En effet l'impulsion électrique de haute puissance est déclenchée par le (ou les) générateur(s) d'amorçage et non par le mécanisme d'auto-amorçage ;

[0024] - de contrôler l'ionisation du milieu inter-électrodes et par conséquent la phase de déclenchement de l'éclateur ;

[0025] - de contrôler la conductivité radio-induite du milieu inter-électrodes de l'éclateur, et par conséquent la phase de fonctionnement de l'éclateur ;

[0026] - de mieux contrôler le retard à l'amorçage par rapport à un auto-déclenchement ou à un déclenchement par laser ;

[0027] - de limiter le champ de compétences requises pour le fonctionnement de l'installation (pas de nécessité d'une équipe de laséristes).

[0028] Enfin, la mise en œuvre expérimentale du ou des générateur(s) d'amorçage est moins compliquée que celle des lasers car les rayonnements ionisants, contrairement au laser, peuvent traverser les différentes parties mécaniques du générateur de haute puissance pulsée. Ainsi, la conception de la machine est plus simple est plus rapide, et donc les couts sont diminués.

[0029] Dans un générateur selon l'invention :

[0030] - chaque générateur de rayons X peut par exemple délivrer des impulsions de durée comprises entre 1 ns et 50 ns.

[0031] - et/ou les moyens pour générer un faisceau de rayons X comportent au moins une cible et des moyens pour générer un faisceau d'électrons et diriger ce faisceau vers ladite cible.

[0032] Un générateur selon l'invention peut comporter, ou un procédé selon l'invention peut mettre en œuvre :

[0033] - une pluralité d'éclateurs, et un générateur de rayons X pour chaque éclateur ;

[0034] - ou une pluralité d'éclateurs, et un générateur (20) de rayons X commun à plusieurs desdits éclateurs ;

[0035] - ou une pluralité d'éclateurs, et un générateur de rayons X arrangé de manière à envoyer un faisceau de rayons X en cascade à plusieurs desdits éclateurs.

[0036] Dans un générateur selon l'invention, ou dans un procédé selon l'invention, les

électrodes de chaque éclateur peuvent être dans un gaz qui comporte du SF_6 ou de l'air ou d'autre gaz ayant des performances similaires en termes de tenue en tension, comme par exemple le NOVEC ($C_6F_{12}O$) ou le HFO ($C_3H_2F_4$). En variante, chaque éclateur est sous ou à vide. Un générateur comportant plusieurs éclateurs peut avoir certains éclateurs dans une atmosphère gazeuse, et certains autres sous vide.

[0037] Un générateur selon l'invention peut être par exemple de type générateur de Marx.

[0038] L'invention concerne également un procédé de génération d'impulsions de haute puissance, mettant par exemple en œuvre un dispositif selon l'invention, tel que décrit ci-dessus ou dans la suite de la présente demande.

[0039] L'invention concerne également un procédé de génération d'impulsions de haute puissance, par exemple mis en œuvre avec un dispositif selon l'invention (tel que décrit ci-dessus ou dans la suite de la présente demande), ce procédé comportant le déclenchement d'au moins un éclateur, comportant 2 électrodes, à l'aide d'au moins un faisceau de rayons X dirigé vers l'espace inter-électrodes ou vers l'une desdites électrodes.

[0040] L'impulsion de haute puissance électrique est par exemple produite dès que le ou les éclateurs sont irradiés par le ou les faisceaux de rayonnements ionisants (X ou électrons).

BRÈVE DESCRIPTION DES FIGURES

[0041] La [Fig.1A] représente un exemple d'éclateur à gaz, muni d'un générateur d'amorçage selon l'invention ;

[0042] La [Fig.1B] représente un autre exemple d'éclateur, sous vide, muni d'un générateur d'amorçage selon l'invention ;

[0043] La [Fig.2] représente une structure d'éclateur auquel l'invention est appliquée, l'aide d'un générateur d'amorçage ;

[0044] La [Fig.3] représente un générateur muni de plusieurs sources de rayonnements ionisants ;

[0045] La [Fig.4] représente un générateur muni d'une source de rayonnements ionisants qui irradie une pluralité de générateurs en cascade ;

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE L'INVENTION

[0046] La [Fig.1A] représente schématiquement les 2 électrodes 12, 14 d'un éclateur 10 sous atmosphère gazeuse et un générateur d'amorçage 20. Ce dernier génère un flux de rayonnement X impulsionnel, dirigé vers l'espace inter-électrodes. Le gaz constitutif des éclateurs peut être du SF6, ou de l'air sec (qui a les meilleures performances dans cette application et est le moins polluant) ou un autre gaz, comme le NOVEC (C6F12O) ou le HFO (C3H2F4).

[0047] Ainsi le générateur 20 d'amorçage produit, entre les électrodes 12, 14, un plasma 15

hors-équilibre thermodynamique dont le degré d'ionisation dépend du débit de dose produit par le générateur 20. Cette dépendance est proche de la linéarité, en particulier pour des doses de rayons X comprises entre 1 Gy et 7000 Gy (et même en dehors de ces limites), qui induisent un degré d'ionisation du plasma très inférieur à l'unité.

[0048] Les articles de M. Ribière et al. cités plus loin présentent des mesures de paramètres plasmas (densité électronique et conductivité électrique) pour différents débits dose dans l'air. Ces résultats montrent le contrôle de ces paramètres plasmas lorsque ce dernier est produit avec une source de rayonnements ionisants.

[0049] La [Fig.1B] représente schématiquement les mêmes 2 électrodes 12, 14 d'un éclateur 10', mais qui fonctionne sous vide, et le générateur d'amorçage 20. Ce dernier génère encore un flux de rayonnement X impulsionnel, mais dirigé vers la cathode 14.

[0050] Des générateurs 20 (ou 20_1, 20_2, ...20_n) qui peuvent être utilisés dans tout mode de réalisation de l'invention sont par exemple commercialisés par la société Europulse.

[0051] Dans les 2 cas (éclateur en milieu gazeux et éclateur sous vide), le générateur est de préférence de classe kilo-Volt et kilo-Ampère. Il a par exemple une tension de fonctionnement de l'ordre de quelques centaines de kV (par exemple comprise entre 100 kV et 500 kV ou 1 MV), et un courant d'électrons accélérés de l'ordre du kA (par exemple comprise entre 0,5 kA et 1 kA ou 5 kA).

[0052] Les durées des impulsions de ce générateur d'amorçage sont de l'ordre de la dizaine de nano-secondes (par exemple comprise entre 10 ns et 100 ns).

[0053] Pendant la phase de charge de l'éclateur 10, le(s) générateur(s) d'amorçage ne fonctionne(nt) pas. La phase de décharge de l'éclateur 10 est assurée par l'irradiation de l'éclateur (ou des éclateurs dans les exemples qui suivent) au moyen d'un ou plusieurs générateur(s) d'amorçage 20 (ou 20_1, 20_2, ...20_n : voir [Fig.4] décrite ci-dessous)

[0054] Chaque éclateur peut être déclenché soit directement par le flux de rayons X produit par le générateur d'amorçage, soit indirectement en convertissant des électrons en rayonnement X, par exemple à large spectre (entre 0 et quelques dizaines de keV) par freinage des électrons sur une cible, de préférence constituée d'un matériau de numéro atomique élevé.

[0055] Le contrôle des paramètres (courant et tension), de l'impulsion électrique du générateur 20 d'amorçage, qui découle de ce que les composants électriques constitutifs de ce type de générateur sont simples et robustes, permet de gérer et/ou contrôler le débit de dose produite et d'énergie déposée dans l'éclateur, et donc l'ionisation et la conductivité électrique du milieu inter-électrode.

[0056] L'invention permet de contrôler le déclenchement d'une impulsion de haute tension électrique pulsée. Le contrôle de la cinétique chimique du gaz irradié dans le gap 15 de l'éclateur, ou le contrôle du flux des photo-électrons émis par l'irradiation des

électrodes 14 de l'éclateur, permet de contrôler l'éclateur dans sa phase de déclenchement ainsi que dans sa phase de fonctionnement. Au contraire, la technique connue de déclenchement par impulsion laser est basée sur la génération d'électrons par processus multi-photoniques, qui sont des mécanismes fortement non linéaires et par conséquent difficilement contrôlables.

[0057] L'invention permet également de contrôler la conductivité électrique du milieu inter-électrode 15 de l'éclateur. En effet, en contrôlant les paramètres (la tension et le courant) du générateur d'amorçage, on contrôle le débit d'énergie déposée dans l'éclateur, la conductivité du plasma dans celui-ci, ainsi que le déclenchement et le fonctionnement de l'éclateur.

[0058] Comme expliqué ci-dessus, pendant la phase de charge de l'éclateur 10, le(s) générateur(s) 20 (20_1, 20_2, ...20_n) d'amorçage ne fonctionne(nt) pas. La phase de décharge du générateur de Marx est assurée par l'irradiation des éclateurs au moyen d'un ou de plusieurs desdits générateurs d'amorçage.

[0059] Dans un premier temps, dans le cas d'un éclateur 10 sous atmosphère gazeuse, l'impulsion de rayonnement ionisant issue du générateur d'amorçage 20 produit un pré-plasma 15 hors équilibre thermodynamique dans le gaz constitutif de l'éclateur, puis, sous l'effet de la haute tension de charge V, l'avalanche électronique se produit (phase de déclenchement de l'éclateur 10) pour ensuite atteindre un régime d'arc établi (phase de fonctionnement de l'éclateur 10).

[0060] Dans le cas d'un éclateur sous vide, le déclenchement est produit par l'impulsion de rayonnements ionisants qui produit un flux de photo-électrons émis par les surfaces des électrodes irradiées. Le flux de photo électrons émis par la cathode 14 est accéléré vers l'anode 12 en facilitant la génération d'une micro protrusion 17 sur la cathode 14 ([Fig.1B]), générant ainsi un précurseur d'arc électrique.

[0061] Dans cette configuration sous vide, le générateur 20 d'amorçage est orienté vers la cathode et permet d'irradier cette dernière de façon à amplifier l'émission électronique depuis une micro protrusion 17 de la cathode 14.

[0062] La [Fig.2] représente un exemple de réalisation d'un autre dispositif 30 auquel l'invention peut être appliquée. Il s'agit d'un générateur de Marx, représenté ici en phase de charge. Un générateur de Marx comporte des capacités 32 (C), des éclateurs 34 et des résistances 36 (R_1, R_2). Un tel générateur est par exemple décrit dans le document DE 455933, ou encore dans l'ouvrage High Voltage Engineering – Fundamentals, E.Kuffel et al., Newnes, Second edition 2000, published by Butterworth-Heinemann, ISBN 0 7506 3634 3, p. 61-64. Dans ce type de générateur des capacités 32 (C) initialement en parallèle sont mises en série à travers les éclateurs 34. Notons que, en variante d'un générateur de Marx, le dispositif peut mettre en œuvre tout dispositif contenant des éclateurs dont le déclenchement est maitrisé selon la présente

invention.

[0063] Là encore, selon la présente invention, la phase de décharge du générateur de Marx est assurée par l'irradiation des éclateurs 34 au moyen d'un (c'est le cas en [Fig.2]) ou de plusieurs (voir [Fig.4]) générateur(s) d'amorçage 20 (ou 20_1, 20_2, ...20_n), du type mentionné ci-dessus.

[0064] Chaque générateur d'amorçage est disposé de manière à pouvoir irradier un éclateur 34, ou plusieurs éclateurs 34 simultanément, permettant d'amorcer le départ d'un arc électrique dans un éclateur sous vide ou contenant un gaz.

[0065] La [Fig.3] représente un générateur de Marx dont le déclenchement est assuré par l'irradiation en cascade de tous les éclateurs . Il peut y avoir un retard entre le déclenchement des éclateurs qui sont situés en amont, et qui voient en 1er le faisceau de rayons X, et le déclenchement de ceux qui sont situés en aval ; mais, en pratique il est faible devant la durée de l'impulsion de haute tension. Une éventuelle atténuation du flux semble peu influer le fonctionnement global du générateur car dès que les premiers éclateurs sont déclenchés, les éclateurs en aval seront déclenchés facilement par l'impulsion de tension.

[0066] La [Fig.4] représente un autre mode de réalisation et de fonctionnement dans lequel chaque éclateur est déclenché par un générateur d'amorçage 20_1, 20_2, ...20_n. Une synchronisation spécifique de ces derniers entre eux est mise en œuvre au moyen d'un générateur pouvant produire des impulsions de tension ayant des délais entre elles contrôlés. Ces derniers sont donc actionnés en parallèle. Un exemple d'un tel générateur se trouve à l'adresse suivante :

[0067] https://fc-equipments.com/produits/dg535-generateur-numerique-de-retard-impulsion-stanfordresearch-systems/"

[0068] De façon à produire des impulsions de tensions élevées, on cherche à maintenir la haute tension aux bornes de chaque éclateur pendant toute la durée de la charge du générateur de Marx. Pour cela, on chercher à éviter les phénomènes d'auto-amorçage, par exemple en augmentant le seuil de déclenchement de l'éclateur, ceci qui peut se faire :

[0069] - soit en augmentant la distance entre les électrodes ; la distance inter-électrodes est par exemple comprise entre 1 cm et 10 cm ;

[0070] - soit est en augmentant la pression du gaz ; la pression est par exemple comprise entre 1 et 5 bars. ;

[0071] De cette façon, les phénomènes d'auto-amorçages sont évités, car l'impulsion de haute puissance électrique est produite dès que le ou les éclateurs sont irradiés par le ou les générateurs d'amorçage impulsionnels de rayonnements X.

[0072] D'une manière générale, le seuil de déclenchement de l'éclateur augmente lorsque la pression et la distance entre les électrodes augmente. L'irradiation de l'éclateur fait diminuer le seuil de déclenchement.

[0073] L'invention, qui met en œuvre un déclenchement par impulsion radiative, permet un meilleur contrôle des mécanismes physiques conduisant à la pré-ionisation de l'espace inter-électrodes (ou « gap ») de l'éclateur, le « gap » pouvant contenir un gaz ou être sous vide.

[0074] Dans le cas d'un éclateur à gaz, le générateur d'amorçage produit un plasma hors-équilibre thermodynamique dont le degré d'ionisation dépend du débit de dose produit par le générateur. Cette dépendance est proche de la linéarité, comme expliqué dans les articles « Reduced kinetics model for X-ray-generated atmospheric air plasmas fitted by microwave transmission measurements », de M.Ribière et al., paru dans J. Appl. Phys. 125, 083303 (2019) et dans « Microwave absorption and optical emission spectrometry analyses of ambient air plasmas induced by pulsed electron beams », de M.Ribière et al., paru dans J. Appl. Phys. 128, 093304 (2020), ce qui permet d'améliorer le contrôle du fonctionnement de l'éclateur, en comparaison avec un éclateur déclenché par laser.

[0075] Dans le cas d'un éclateur à vide, le déclenchement est produit par l'impulsion de rayonnements ionisants qui produit un flux de photo-électrons émis par les surfaces des électrodes 14 irradiées. Dans cette réalisation, il existe aussi une plage de fonctionnement où la linéarité (en particulier entre 1 Gy et 7000 Gy) entre le débit de dose et le flux de photo-électrons émis par les électrodes irradiées est respectée. Notons toutefois que si le débit de dose augmente significativement, des phénomènes de charge d'espace induisent des non-linéarités qui n'empêchent pas le fonctionnement du générateur mais peuvent induire un délai entre l'impulsion du générateur de rayons X et le déclanchement de l'éclateur. Ce délai dépend de la pression du gaz dans l'éclateur et du débit de dose du générateur de rayons X. Ces délais sont stables lorsque les deux paramètres précédemment cités sont stables et peuvent aisément être pris en compte pour le fonctionnement global de la machine. L'invention permet également de s'affranchir des problématiques liées à la sécurité laser, en englobant les phénomènes ionisants produits par le générateur d'amorçage dans l'étude de sécurité radiologique de l'installation complète.

[0076] Les applications de l'invention concernent par exemple la génération de hautes puissances électriques pulsées pour diverses applications, par exemple, selon la charge terminale, pour générer des impulsons de rayonnements ionisants, des impulsions électromagnétiques, des impulsions de hautes pressions…

[0077] D'autres applications concernent la fusion nucléaire inertielle par schéma « Z-pinch » ou « dense plasma focus ». En effet, ces dispositifs utilisent aussi des générateurs de Marx et sont donc soumis aux problématiques de synchronisation et d'auto amorçage citées plus haut.

Revendications

[Revendication 1] Générateur de haute puissance, comportant :
- au moins un éclateur (10, 32), comportant 2 électrodes (12, 14);
- des moyens (20) pour générer un faisceau de rayons X en direction de l'espace inter-électrodes (15) ou vers l'une (14) des électrodes.

[Revendication 2] Générateur selon la revendication 1, comportant une pluralité d'éclateurs (32), et un générateur (20, 201, 202, …20n) de rayons X pour chaque éclateur.

[Revendication 3] Générateur selon la revendication 1, comportant une pluralité d'éclateurs (32), et un générateur (20) de rayons X commun à plusieurs desdits éclateurs.

[Revendication 4] Générateur selon la revendication 1, comportant une pluralité d'éclateurs (32), et un générateur (20) de rayons X arrangé de manière à envoyer un faisceau de rayons X en cascade à plusieurs desdits éclateurs.

[Revendication 5] Générateur selon l'une des revendications précédentes, les électrodes (12, 14) de chaque éclateur étant dans un gaz qui comporte du SF_6 ou de l'air ou du $C_3H_2F_4$ ou du $C_6F_{12}O$.

[Revendication 6] Générateur selon l'une des revendications 1 à 4, chaque éclateur étant à vide.

[Revendication 7] Générateur selon l'une des revendications précédentes, chacun des moyens (20, 201, 202, …20n) pour générer un faisceau de rayons X délivrant des impulsions de durée comprises entre 1 ns et 50 ns.

[Revendication 8] Générateur selon l'une des revendications précédentes, chaque générateur (20, 201, 202, …20n) de rayons X ayant une tension de fonctionnement comprise entre 100 kV et 500 kV ou 1 MV), et un courant d'électrons accélérés compris entre 0,5 kA et 1 kA ou 5 kA.

[Revendication 9] Générateur selon l'une des revendications précédentes, apte à produire des impulsions de haute puissance électrique ayant une tension comprise entre 1 et 20 MV.

[Revendication 10] Générateur selon l'une des revendications précédentes, de type Marx.

[Revendication 11] Générateur selon l'une des revendications précédentes, les moyens (20) pour générer un faisceau de rayons X comportant au moins une cible et des moyens pour générer un faisceau d'électrons et diriger ce faisceau vers ladite cible.

[Revendication 12] Procédé de génération d'impulsions de haute puissance, comportant le déclenchement d'au moins un éclateur (10), comportant 2 électrodes

(12, 14), à l'aide d'au moins un faisceau de rayons X dirigé vers l'espace inter-électrodes (15) ou vers l'une (14) des électrodes.

[Revendication 13] Procédé selon la revendication 12, dans lequel l'impulsion de haute puissance électrique est produite dès que le ou les éclateurs (34) sont irradiés par le ou les faisceaux de rayonnements ionisants (X ou électrons).

[Fig. 1A]

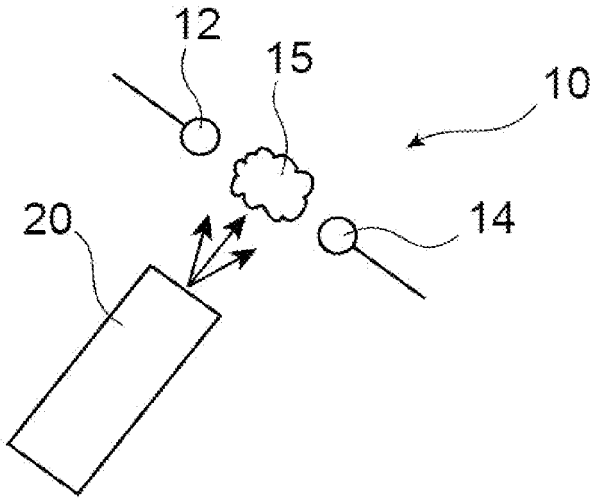


FIG. 1A

[Fig. 1B]

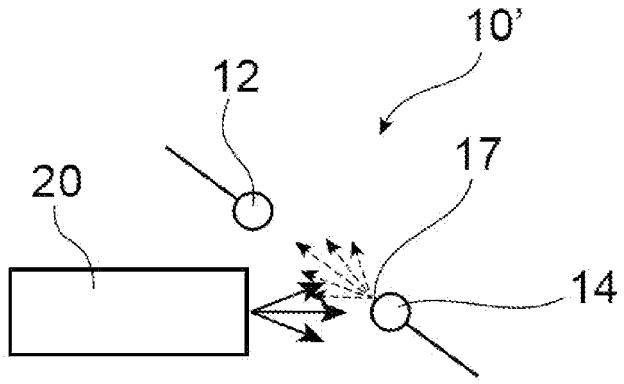


FIG. 1B

[Fig. 2]

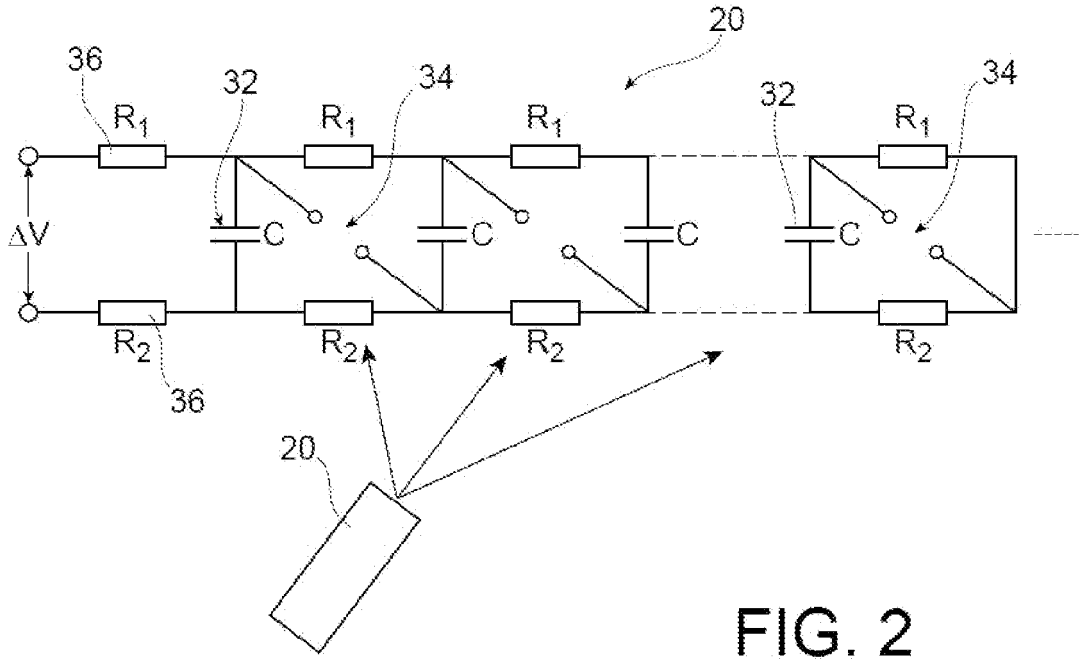


FIG. 2

[Fig. 3]

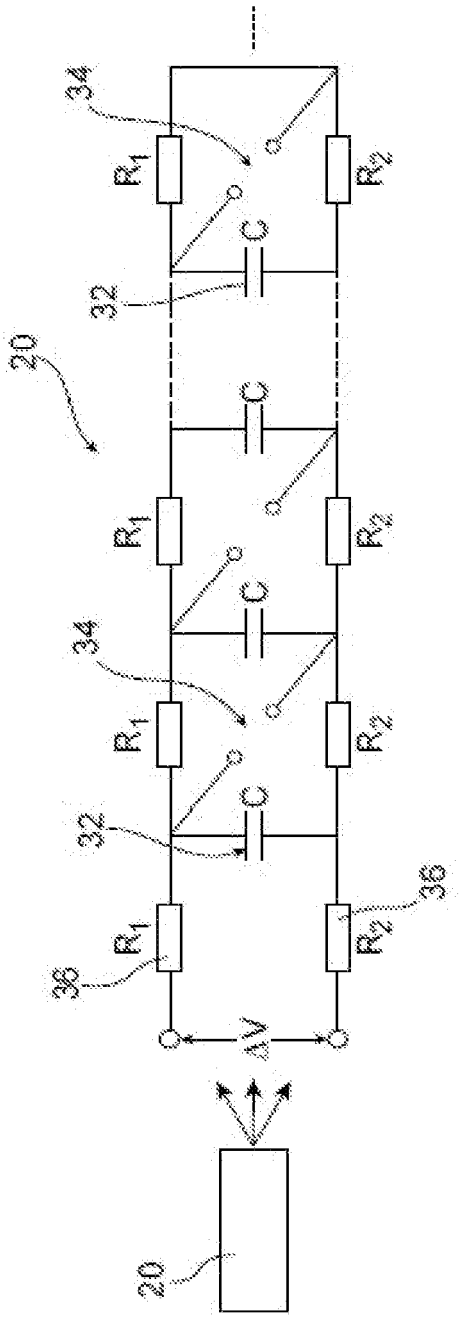


FIG. 3

[Fig. 4]

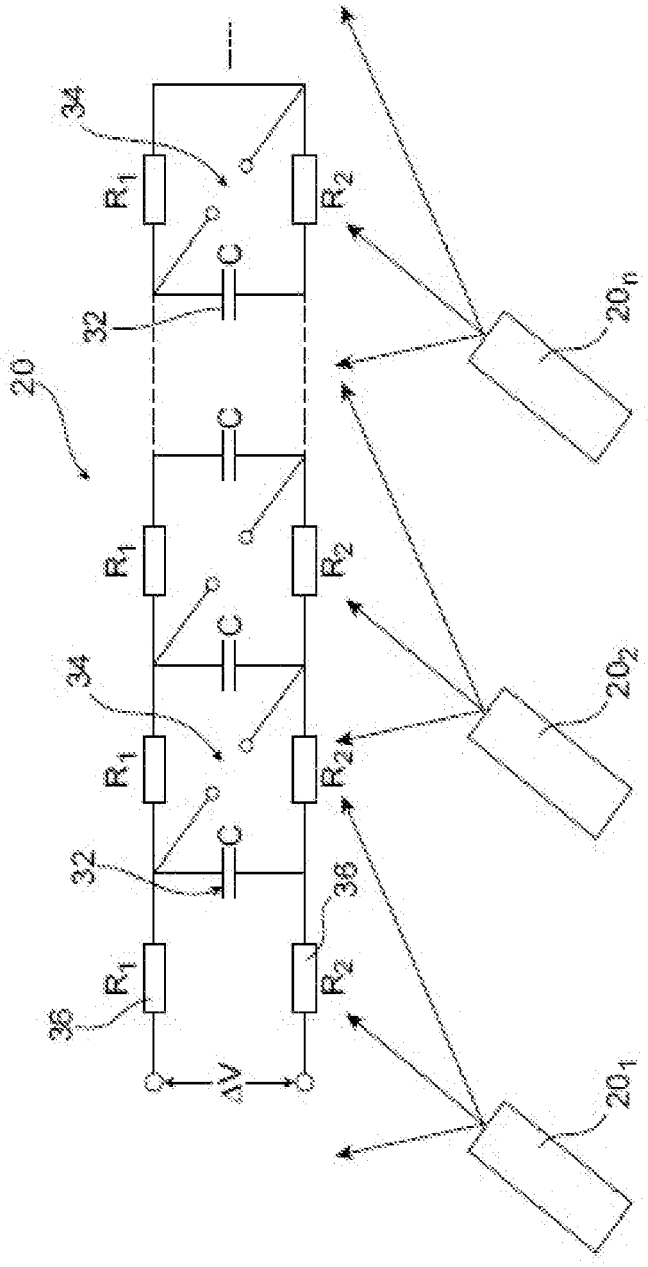


FIG. 4

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement national

FA 925316
FR 2303419

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 3 524 101 A (BARBINI SPARTACUS) 11 août 1970 (1970-08-11) * colonne 1, ligne 27 - colonne 10, ligne 2; figures 1-23 * -----	1-13	H05G 1/08
A	SEDAT ADILI ET AL: "Application of pulsed x-ray induced partial discharge measurements", IEEE TRANSACTIONS ON DIELECTRICS AND ELECTRICAL INSULATION, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 19, no. 5, 1 octobre 2012 (2012-10-01), pages 1833-1839, XP011466222, ISSN: 1070-9878, DOI: 10.1109/TDEI.2012.6311534 * alinéa [0001] - alinéa [0004]; figures 1-6 * -----	1-13	
A	FR 2 823 033 A1 (I S L INST FRANCO ALLEMAND DE [FR]) 4 octobre 2002 (2002-10-04) * page 1, ligne 1 - page 8, ligne 25; figures 1-5 * -----	1-13	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) H03K
A	US 4 645 941 A (NICOLAS ANDRE [FR]) 24 février 1987 (1987-02-24) * colonne 1, ligne 10 - colonne 5, ligne 3; figures 1,2 * -----	1-13	

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
6 mars 2024	Kassner, Holger

CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : arrière-plan technologique
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons
.....
& : membre de la même famille, document correspondant

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2303419 FA 925316

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **06-03-2024**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 3524101 A	11-08-1970	BE 654594 A	20-04-1965
		CH 426039 A	15-12-1966
		DE 1298175 B	26-06-1969
		DE 1789071 B1	09-07-1970
		GB 1059080 A	15-02-1967
		NL 6412518 A	29-04-1965
		US 3524101 A	11-08-1970
FR 2823033 A1	04-10-2002	DE 10213804 A1	30-01-2003
		FR 2823033 A1	04-10-2002
US 4645941 A	24-02-1987	DE 3529054 A1	27-02-1986
		FR 2569319 A1	21-02-1986
		US 4645941 A	24-02-1987

EPO FORM P0465