



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(21) Numéro de dépôt : **92403563.7**

(51) Int. Cl.<sup>5</sup> : **H05H 1/40, H05H 1/36**

(22) Date de dépôt : **28.12.92**

(30) Priorité : **31.12.91 FR 9116414**

(43) Date de publication de la demande :  
**07.07.93 Bulletin 93/27**

(84) Etats contractants désignés :  
**GB SE**

(71) Demandeur : **ELECTRICITE DE FRANCE**  
**Service National**  
**2, rue Louis Murat**  
**F-75008 Paris (FR)**

(72) Inventeur : **Pasquini, Pierre**  
**10 rue Pasteur**  
**F-77300 Fontainebleau (FR)**  
Inventeur : **Nuns, Jacques**  
**6 rue du Château d'eau**  
**F-77250 Ecuelles (FR)**

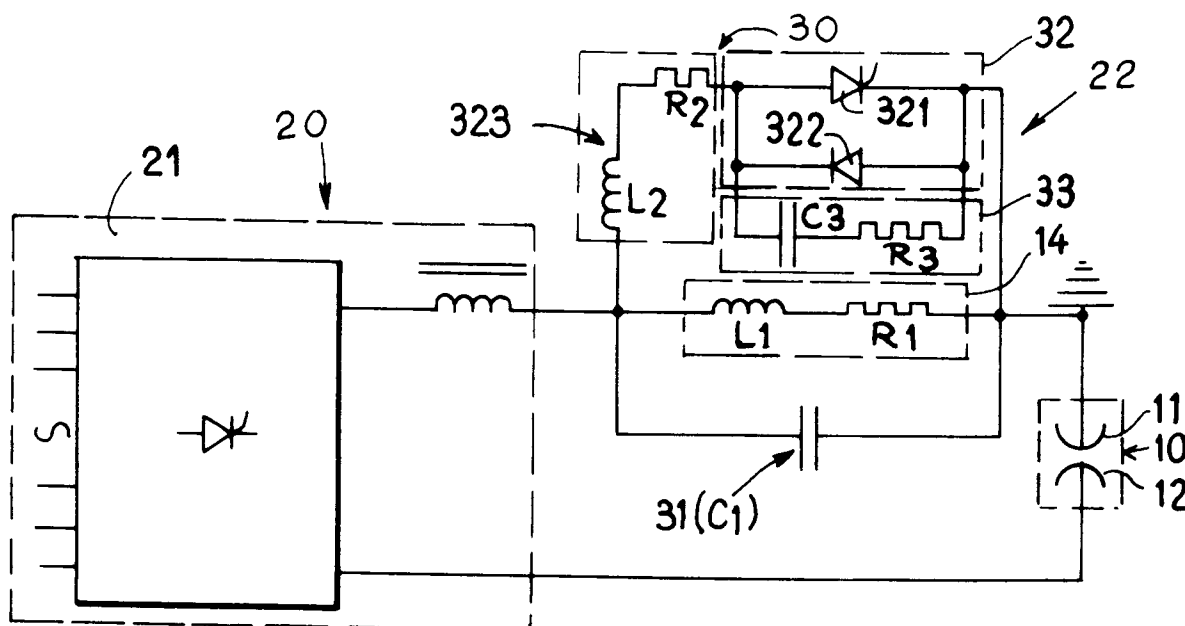
(74) Mandataire : **Mestre, Jean et al**  
**c/o CABINET LAVOIX 2, place d'Estienne**  
**d'Orves**  
**F-75441 Paris Cédex 09 (FR)**

(54) **Procédé et alimentation électrique pour torche à plasma.**

(57) La torche à plasma (10 ; 11, 12, 14) comprend une alimentation électrique (20) avec un circuit d'arc (21) et un circuit de bobine (22) qui sont montés en série et avec des moyens (30) pour la commande de l'intensité du courant circulant dans la bobine (22) constitués, entre autres, montés en dérivation sur cette bobine (14) d'un hacheur composé d'une batterie de condensateurs (31) et d'au moins un interrupteur électronique de puissance (32) qui peut être placé éloigné de la bobine. L'interrupteur électronique est de préférence du type thyristor-diode (321, 322) à circuit de désamorçage résonant (31, 323).

Une variante de ce hacheur utilise au moins un interrupteur électronique de type thyristor GTO commandable à l'endenchement et à l'ouverture, ou au moins un thyristor classique équipé d'un circuit auxiliaire d'extinction.

Application aux torches de grande puissance à usage industriel par exemple métallurgique.



**FIG. 2**

La présente invention concerne les torches à plasma et, plus particulièrement, les torches à plasma de grande puissance dont la longévité de l'une au moins des électrodes est augmentée.

Les torches à plasma ou chalumeaux à plasma d'arc sont connus dans la technique. Ce type de torche est constitué essentiellement de deux électrodes tubulaires et coaxiales, une amont et une aval repérées par rapport au sens d'écoulement du plasma qui sont séparées par une chambre. On établit un arc entre les électrodes et, simultanément, on injecte un gaz plasmagène dans la chambre qui sépare les électrodes. L'arc qui éclate entre les électrodes est entretenu et porte le gaz à très haute température et l'ionise. A la sortie de l'une des électrodes, l'électrode aval, ce gaz est animé d'une grande vitesse et le plasma qu'il constitue forme l'agent caloporteur.

Certains types de torche à plasma délivrent des puissances comprises entre 100 et 500 kW et celles auxquelles l'invention s'applique plus particulièrement peuvent produire plusieurs mégawatts comme cela est nécessaire pour certaines applications industrielles par exemple métallurgiques.

Dans ce type de torche à plasma, les électrodes sont des constituants consommables. La longévité des électrodes est fonction de nombreux paramètres. Par exemple interviennent la puissance de la torche et plus particulièrement la valeur du courant d'arc, la nature du gaz plasmagène injecté car du fait de sa décomposition des réactions peuvent avoir lieu avec les matériaux constitutifs des électrodes. La longévité des électrodes est, aussi, fonction du service de la torche suivant que celui-ci est continu ou discontinu.

La longévité des électrodes peut varier de quelques dizaines d'heures pour des torches de relativement petite puissance à plusieurs centaines d'heures pour celles de grande puissance que concerne plus particulièrement l'invention.

Cette longévité, relativement brève, des électrodes est un inconvénient notable en particulier en matière industrielle.

Pour tenter de remédier à cet inconvénient, on a proposé d'équiper ce type de torches d'au moins une bobine de champ magnétique qui entoure localement de préférence l'électrode amont, et d'alimenter celle-ci à l'aide de moyens qui permettent de maîtriser le déplacement du pied amont de l'arc sur l'électrode amont de manière à lui faire décrire une course longitudinale alternative à laquelle se superpose de préférence une oscillation ou une vibration du pied d'arc pendant le balayage proprement dit.

Une solution de ce type est, par exemple, divulguée par le document FR 2 609 358. Selon la solution proposée par ce document, on alimente la bobine de champ qui entoure localement l'électrode amont à l'aide d'un circuit électrique particulier, qui lui est propre et qui est alimenté en courant continu variable dont l'intensité change par palier ou progressivement et dont l'intensité bénéficie en outre de préférence d'une ondulation pulsatoire dont la fréquence est notablement plus grande que celle de la variation du courant continu auquel elle se superpose. On conçoit que l'utilisation d'un circuit électrique d'alimentation spécial, autonome pour la bobine de champ qui s'ajoute au circuit d'alimentation principal nécessaire pour l'amorçage et l'entretien de l'arc proprement dit, complique techniquement et accroît financièrement le coût, de l'installation.

Le but de l'invention est de résoudre ce type de difficultés en faisant en sorte que la maîtrise du déplacement d'au moins un pied d'arc, notamment du pied d'arc amont, sur une électrode, notamment l'électrode amont, afin d'en régulariser l'usure et d'en augmenter la longévité puisse être obtenue sans pour autant faire appel à un circuit autonome, spécialisé pour l'alimentation d'au moins une bobine de champ qui entoure localement l'une des électrodes, et de préférence l'électrode amont.

L'invention a pour objet un procédé pour régulariser l'usure afin d'en augmenter la longévité, d'une électrode d'une torche à plasma constituée, entre autres, de deux électrodes tubulaires coaxiales entre lesquelles s'établit un arc et qui sont séparées par une chambre où est injecté un gaz plasmagène, d'au moins une bobine de champ magnétique qui entoure localement une électrode de préférence l'électrode amont repérée par rapport au sens d'écoulement du plasma, d'une alimentation électrique pour fournir de l'énergie à l'arc et à la bobine, et de moyens pour maîtriser le déplacement du pied de l'arc sur l'électrode de préférence le pied amont sur l'électrode amont de manière à lui faire décrire une course longitudinale alternative au besoin vibratoire. Ce procédé est caractérisé en ce qu'on utilise une alimentation électrique avec un circuit d'arc et un circuit de bobine, on monte en série ce circuit d'arc et ce circuit de bobine, on monte en dérivation sur cette bobine un hacheur composé d'au moins un condensateur branché aux bornes de la bobine et d'au moins un interrupteur électronique qui peut être placé éloigné de la bobine.

L'invention a aussi pour objet une torche à plasma, notamment pour la mise en oeuvre du procédé indiqué auparavant, constituée entre autres, de deux électrodes tubulaires coaxiales entre lesquelles s'établit un arc, d'une chambre qui sépare ces électrodes et dans laquelle est injecté un gaz plasmagène, d'au moins une bobine de champ magnétique qui entoure localement une électrode de préférence l'électrode amont repérée par rapport au sens d'écoulement du plasma, d'une alimentation électrique pour fournir de l'énergie à l'arc et à la bobine et des moyens pour maîtriser le déplacement du pied de l'arc sur l'électrode de préférence le pied amont sur l'électrode amont de manière à lui faire décrire une course longitudinale alternative, au besoin vibratoire,

afin d'en régulariser l'usure et d'en augmenter la longévité. Cette torche à plasma est remarquable en ce que l'alimentation électrique comprend un circuit d'arc et un circuit de bobine, en ce que ce circuit d'arc et ce circuit de bobine sont montés en série, et en ce que ces moyens comprennent montés en dérivation sur la bobine au moins un hacheur composé d'au moins un condensateur aux bornes de la bobine et d'au moins un interrupteur électronique qui peut être placé éloigné de la bobine.

D'autres caractéristiques de l'invention ressortiront de la lecture de la description et des revendications qui suivent, ainsi que de l'examen du dessin annexé, donné seulement à titre d'exemple, où :

- la Figure 1 est une vue générale schématique simplifiée de l'installation électrique d'une torche à plasma selon la technique antérieure du document cité;
- la Figure 2 est une vue partielle schématique d'un mode de réalisation d'une installation selon l'invention;
- les Figures 3, 4, 5 et 6 sont des vues similaires à celle de la Figure 2 illustrant le comportement et l'état de l'installation dans différentes phases de son fonctionnement pour en faciliter la compréhension;
- la Figure 7 illustre la variation de l'intensité et de la tension dans certains composants au cours du fonctionnement;
- la Figure 8 illustre la variation de l'intensité du courant dans la bobine en fonction de la fréquence de fonctionnement du hacheur et
- la Figure 9 illustre une variante de réalisation d'une installation selon l'invention.

Les torches à plasma et les installations électriques destinées à leur alimentation étant bien connues dans la technique, on ne décrira dans ce qui suit que ce qui concerne directement ou indirectement l'invention. Pour le surplus, l'homme du métier puisera dans les solutions classiques courantes à sa disposition pour faire face aux problèmes particuliers auxquels il est confronté.

Dans ce qui suit, un même numéro de référence identifie toujours un élément homologue, quel que soit le mode de réalisation ou sa variante d'exécution.

Pour la commodité de l'exposé, on décrira successivement chacun des constituants de l'invention avant d'en exposer le fonctionnement et la construction, s'il y a lieu.

Comme cela est représenté schématiquement sur la Figure 1, une torche à plasma du type auquel s'applique l'invention, désignée dans son ensemble par la référence 10, comprend deux électrodes 11 et 12 tubulaires coaxiales entre lesquelles est établi et entretenu un arc A. Une chambre 13 sépare les électrodes 11 et 12 et c'est dans celle-ci qu'est injecté un gaz plasmagène. Au moins une bobine 14 de champ magnétique entoure localement au moins l'une des électrodes, de préférence l'électrode amont 11 repérée par rapport au sens d'écoulement du plasma, comme illustré par une flèche.

Une alimentation électrique 20 fournit de l'énergie électrique à l'arc et à la bobine.

Selon la technique antérieure, par exemple celle exposée dans le document précité, cette installation électrique 20 comprend deux circuits distincts autonomes : un circuit 21 plus particulièrement destiné à alimenter l'arc et que l'on peut qualifier de circuit principal de puissance, et un circuit 22 plus particulièrement destiné à alimenter la bobine et que l'on peut qualifier par exemple de circuit auxiliaire.

Comme on le voit, le circuit d'arc 21 comprend, entre autres, un transformateur 210 par exemple de 2,5 MVA à quatre secondaires qui sont munis chacun d'un redresseur 211 particulier triphasé par exemple du type pont de Graetz à thyristors. Deux de ces secondaires sont par exemple couplés en étoile et deux autres couplés en triangle. Ce circuit comprend toujours une inductance de lissage 212. Ce circuit comprend aussi comme il est habituel des protections, des sectionneurs et disjoncteurs dont le rôle est classique et sur lequel on ne s'étendra pas.

Le circuit de bobine 22 comprend, entre autres, un transformateur 220 particulier par exemple de 100 kVA installés et son propre redresseur 221 par exemple un pont de Graetz tri ou hexaphasé à thyristors et diodes et au besoin une inductance de lissage.

Selon la technique antérieure, c'est ce circuit 22 spécifique qui délivre l'intensité, à la valeur de consigne, du courant qui alimente la bobine 14 afin de maîtriser le déplacement du pied d'arc amont.

Comme on le voit sur la Figure 2, selon l'invention, l'alimentation électrique 20 comprend maintenant un circuit d'arc 21 et un circuit de bobine 22 qui sont montés en série, c'est-à-dire qui ne sont plus ni distincts ni autonomes.

Selon l'invention, les moyens 30 pour maîtriser le déplacement du pied de l'arc sur l'électrode de manière à lui faire décrire une course longitudinale alternative au besoin vibratoire afin d'en régulariser l'usure et en augmenter la longévité, comprennent, montés en dérivation sur la bobine 14 au moins un hacheur composé d'au moins un condensateur 31 et d'au moins un interrupteur électronique 32 dont il y a lieu de noter qu'il est placé éloigné physiquement de la bobine pour les raisons qui apparaîtront par la suite. Comme on le voit sur la Figure 2, selon l'invention, un tel hacheur 32 comprend au moins un interrupteur fait d'un thyristor principal 321 et d'une diode de récupération 322;

Ce hacheur 32 comprend au moins un interrupteur fait d'un thyristor principal 321, d'une diode de récu-

pération 322 et d'un circuit de désamorçage du thyristor principal avec un montage résonant. Ce montage résonant a une fréquence limite de fonctionnement déterminée par la capacité du condensateur 31 et l'impédance en particulier l'inductance des câbles de liaison 323 connectant la bobine 14 aux interrupteurs électroniques lorsque le hacheur fonctionne.

5 S'il y a lieu, un circuit 33 d'aide à la commutation est monté en parallèle sur l'interrupteur fait du thyristor principal 321 et de la diode de récupération 322. Ce circuit 33 comprend de préférence une résistance  $R_3$  et un condensateur  $C_3$  en série.

Selon une variante de réalisation illustrée en Figure 9, le hacheur peut être composé d'une batterie de condensateurs 31, d'au moins un thyristor GTO (Gate Turn Off) 321 commandable à l'enclenchement et à l'ouverture et d'au moins une diode 322. L'ensemble du hacheur peut dans ce cas être éloigné de la bobine. Dans cette variante, le thyristor GTO peut être remplacé par un thyristor classique équipé d'un circuit auxiliaire d'extinction.

L'alimentation de l'arc à quatre secondaires, deux en série et deux en parallèle, permet selon les couplages adoptés de délivrer 500, 1000 ou 2000 A sous 4 000, 2 000 ou 1 000 V. On relèvera toutefois qu'en condition normale de fonctionnement, en particulier pour des installations industrielles, l'arc est alimenté avec un courant d'intensité d'environ 1000 A et que grâce à l'invention il est possible de dévier une partie réglable de ce courant dans la bobine de manière à pouvoir maîtriser les déplacements du pied d'arc notamment du pied d'arc amont.

Pour les raisons que l'on comprendra par la suite, le choix du transformateur, des redresseurs et de l'inductance de lissage permet d'obtenir un courant continu avec une ondulation résiduelle à une fréquence multiple de celle du réseau. Dans certains cas, on tire parti de cette ondulation résiduelle pour faire vibrer sur lui-même le pied d'arc pendant son balayage longitudinal alternatif de l'électrode.

Grâce à l'invention, la solution retenue permet de maintenir le hacheur 32 physiquement loin de la bobine 14 ce qui permet de s'affranchir des difficultés qui naîtraient autrement de l'impédance et en particulier de l'inductance répartie des câbles de liaison 323 qui engendre à la commutation des surtensions importantes gênantes. Selon la solution de l'invention, on met à profit cette inductance et c'est cette inductance répartie des câbles de liaison qui est utilisée pour constituer un montage à résonance servant pour la commande de l'interrupteur.

On décrira maintenant le fonctionnement de l'installation selon l'invention dans ses diverses phases.

Dans la suite on désigne par :

30  $L_1$  et  $R_1$  l'inductance et la résistance, respectivement de la bobine 14  
 $C_1$  la capacité du condensateur 31  
 $L_2$  et  $R_2$  l'inductance et la résistance, respectivement des câbles de liaison 323.

Initialement, on supposera que l'alimentation délivre un courant  $I$  d'intensité constante et que la présence du circuit d'aide à la commutation 33 sur lequel on reviendra par la suite, peut être négligée. L'état initial de l'installation correspond alors à celui qui est schématisé sur la Figure 3. Le courant  $I$  étant établi dans la bobine 14, la tension à ses bornes est celle  $U_{c1}$  du condensateur 31 et la tension aux bornes du thyristor 321 est positive. On a la relation :  $U_{c1} = R_1 I$ . A l'instant  $t = t_0$ , le thyristor est enclenché et celui-ci demeure conducteur pendant la durée  $t_0$  à  $t_1$ . L'état de l'installation est alors celui qui est schématisé sur la Figure 4.

Le condensateur 31 entre en oscillation de par l'impédance répartie des câbles de liaison 323 essentiellement inductive  $L_2$  et résistive  $R_2$ . Le condensateur et les câbles utilisés sont donc équivalents à un circuit RLC série dans lequel la tension et l'intensité du courant  $u_{c1}$  et  $i_{L1}$  ont des variations sinusoïdales amorties. Le courant dans la bobine diminue lentement car l'impédance répartie des câbles de liaison est plus petite que celle de la bobine. Le thyristor 321 est donc traversé par un courant sinusoïdal auquel se superpose la valeur du courant dévié de la bobine. Cette phase s'achève lorsque le courant dans le thyristor s'annule à l'instant  $t = t_1$ , instant où la tension aux bornes du condensateur est négative et maximale. Le thyristor se bloque "naturellement". L'état de l'installation devient alors celui qui est schématisé sur la Figure 5.

Pendant la phase qui s'écoule de l'instant  $t_1$  à l'instant  $t_2$  la diode 322 est conductrice. Le circuit oscillant  $R_2 C_1 L_2$  constitué par le condensateur et les câbles de liaison effectue une deuxième demi-oscillation pour tenter de revenir dans les conditions initiales de tension  $u_{c1}$  et d'intensité  $i_{L1}$  avec des variations quasi-sinusoïdales. La différence entre l'intensité  $I$  du courant délivré par l'installation et celle  $i_{L1}$  de celui qui circule dans la bobine, s'ajoute à l'intensité  $i_{L2}$  du courant dans les câbles de liaison. Quant ce courant  $i_{L2}$  repasse par 0 à l'instant  $t = t_2$ , la tension  $u_{c1}$  aux bornes du condensateur retrouve une valeur positive et maximale, mais un peu inférieure à sa valeur initiale  $R_1 I$  du fait des amortissements résultants de la résistance  $R_2$  des câbles de liaison. La diode 322 se bloque. L'état de l'installation devient alors celui qui est schématisé sur la Figure 6.

55 Pendant la durée qui s'écoule de l'instant  $t_2$  à l'instant  $t_3$ , le condensateur se charge et l'on se trouve dans une situation similaire à celle de la situation initiale illustrée sur la Figure 3, en observant toutefois que l'intensité  $i_{L1}$  du courant qui circule dans la bobine n'est plus l'intensité  $I$  du courant délivré par l'installation. En principe, la charge du condensateur  $C_1$  est une charge sinusoïdale amortie qui devrait permettre de retrouver la situation

$i_{L1} = I$  et  $u_{C1} = R_1 I$ . Toutefois, selon l'invention on commande à ce moment le thyristor 321 hacheur 32 suffisamment tôt pour qu'on puisse admettre que le courant  $i_{L1}$  est pratiquement resté inchangé; le condensateur  $C_1$  se charge donc avec un courant d'intensité  $I - i_{L1}$  que l'on peut considérer comme constant.

A l'instant  $t = t_3$  on réenclenche le thyristor 321 pour décrire un nouveau cycle de fonctionnement.

5 On voit donc qu'il est ainsi possible de diminuer progressivement l'intensité du courant de la bobine 14 en modifiant la fréquence de commande du thyristor 321 du hacheur 32.

Pour une fréquence donnée, l'intensité instantanée  $i_{L1}$  de la bobine se stabilise autour d'une valeur en oscillant à la fréquence de commande du thyristor. On observera que l'amplitude de cette oscillation est petite devant la valeur de l'intensité du courant total circulant dans la bobine. En régime permanent, on peut donc  
10 reprendre les mêmes séquences du processus de fonctionnement en considérant l'intensité  $I_{L1}$  du courant dans la bobine constante. Dans cette situation, on a une variation sinusoïdale de l'intensité du courant thyristor (321)-diode (322) pendant la durée  $t_0$  à  $t_2$  avec une composante continue superposée égale à  $I - I_{L1}$ , et on a une croissance linéaire de la tension  $u_{C1}$  aux bornes du condensateur pendant la durée qui va de l'instant  $t_2$  à l'instant  $t_3$  du fait de la charge de ce condensateur par le courant d'intensité  $I - I_{L1}$ .

15 On observera qu'en cas d'extinction de l'arc, le courant dans la bobine peut se dissiper dans la diode 322 de l'interrupteur du hacheur jusqu'à extinction.

On observera aussi que la fréquence  $f_0$  de résonance qui est déterminée par la capacité  $C_1$  du condensateur 31 et l'inductance  $L_2$  des câbles de liaison 323 fixe une valeur que ne doit pas dépasser la fréquence  $f$  de commande du thyristor 321. En effet, si la commande de l'interrupteur a lieu à une fréquence  $f$  supérieure  
20 à la fréquence  $f_0$  limite indiquée précédemment, ce thyristor resterait en permanence conducteur et pour pouvoir bloquer ce thyristor et revenir à un fonctionnement normal du hacheur il faudrait alors arrêter la source de courant. En pratique, cette fréquence  $f$  n'est pas la valeur limite réelle à ne pas dépasser. En effet, pour ne pas avoir de réenclenchement inopiné du thyristor, il faut respecter certaines conditions, entre autres la nécessité d'appliquer à ses bornes une tension négative pendant une durée suffisante, au moins égale à la durée  
25  $t_q$  de désamorçage de l'interrupteur, or cette durée est fonction de l'intensité du courant dévié, puisque ce courant vient se superposer à l'alternance sinusoïdale et aussi à l'amortissement du circuit. Il existe donc une fréquence limite qui physiquement est inférieure à la valeur de la fréquence limite théorique  $f_0$ .

L'exposé qui précède montre que l'installation électrique selon l'invention fonctionne selon deux régimes différents successifs, l'un se déroulant au cours du fonctionnement du hacheur et l'autre se déroulant comme  
30 si ce dernier n'existait pas.

Pour le premier régime pour lequel le hacheur est en fonctionnement, des développements mathématiques classiques des équations régissant les circuits montrent que les seuls paramètres importants significatifs sont la capacité  $C_1$  du condensateur 31, la résistance  $R_1$  et l'inductance  $L_1$  de la bobine 14 de même que la résistance  
35  $R_2$  et l'inductance  $L_2$  des câbles de liaison 323 et montrent aussi que seules importent les conditions initiales du régime. On peut ainsi déduire l'intensité  $i_{L2}$  du courant dans l'interrupteur et la tension  $u_{C1}$  aux bornes du condensateur. Ce régime est celui qui prévaut de l'instant  $t_0$  à l'instant  $t_2$  auquel l'interrupteur se bloque. Cet arrêt à l'instant  $t_2$  se produit lorsque l'intensité  $i_{L2}$  dans les câbles de liaison s'annule avec une pente positive. On connaît alors à cet instant  $t_2$  la tension  $u_{C1}(t_2)$  aux bornes du condensateur et l'intensité  $i_{L1}(t_2)$  du courant dans la bobine.

40 Pour le second régime, des développements mathématiques classiques montrent alors que le hacheur étant arrêté, on se trouve en présence d'un circuit oscillant LRC série dont les paramètres sont la capacité  $C_1$  du condensateur 31 et la résistance  $R_1$  et l'inductance  $L_1$  de la bobine 14. Ce régime se termine à l'instant  $t_3$  égal à l'inverse de la fréquence de commande du thyristor. A la remise en marche de l'installation, correspondant au premier régime indiqué auparavant les conditions initiales sont celles de l'intensité  $i_{L3}(t_3)$  du courant  
45 circulant dans la bobine 14 et la tension  $u_{C1}(t_3)$  aux bornes du condensateur 31.

Il suffit alors de procéder par itération jusqu'à la stabilisation du courant dans la bobine pour une fréquence de commande donnée.

On a utilisé ce qui précède avec une torche à plasma de 2 MW dont l'alimentation était assurée à l'aide de câbles de liaison dont l'inductance était de l'ordre de 20  $\mu$ H et en utilisant un condensateur de capacité 400  
50  $\mu$ F. Pour une telle réalisation, la fréquence propre de fonctionnement du hacheur était de 1780 Hz. La résistance et l'inductance de la bobine étaient de l'ordre de 70 m  $\Omega$  et 4 mH respectivement. Le hacheur fait de diode et de thyristor devant supporter des pointes de courant dont l'intensité peut atteindre 3000 A environ sous des tensions de l'ordre de 500 V, on a utilisé plusieurs interrupteurs selon l'invention montés en parallèle afin de tenir compte des aptitudes des composants du commerce. Pour la construction pratique, on a utilisé des thyristors-diodes portant la référence CSR 447 sur le catalogue de la société BROWN-BOVERI.  
55

Lorsqu'on monte plusieurs interrupteurs du type thyristor-diode en parallèle, comme indiqué précédemment, il faut faire en sorte que l'un d'eux ne s'amorce pas plus vite qu'un autre sans quoi celui amorcé le premier serait traversé par la totalité du courant et serait donc détruit. Pour éviter cet inconvénient, on place en série

avec chaque thyristor un circuit régulateur d'amorçage fait d'une petite inductance ou self chargée de ralentir et de répartir indépendamment des autres interrupteurs, la montée en courant dans celui-ci. De la sorte, on maîtrise les fronts de montée de l'intensité du courant à l'amorçage et on peut éviter les inconvénients résultant des dissymétries. Pour la réalisation pratique précédente, on a utilisé des selfs dont l'inductance était comprise

entre 5 et 15  $\mu\text{H}$  environ.

Pour éviter les effets parasites qui se produisent à l'amorçage des thyristors des interrupteurs, il faut contrôler le front de la montée en intensité du courant afin d'avoir une conduction répartie équitablement; il faut de même contrôler le blocage des diodes qui résultent de la montée de la tension aux bornes du condensateur. Pour cela, on utilise un circuit de protection ou d'aide à la commutation 33 placé en parallèle sur l'interrupteur du hacheur 32 comme cela ressort du schéma de la Figure 2. Ce circuit 33 est de préférence du type RC avec une résistance  $R_3$  et un condensateur  $C_3$  en série. On a utilisé par exemple des résistances  $R_3$  dont la valeur est comprise entre 5 et 10  $\Omega$  environ et des condensateurs  $C_3$  dont la capacité est comprise entre 0,2  $\mu\text{F}$  et 1,7  $\mu\text{F}$ .

Afin d'obtenir un bon enclenchement des thyristors 321, il est nécessaire de bien contrôler le courant de gâchette de ceux-ci. Il faut, dans un premier temps, que la gâchette soit soumise à une pointe d'intensité de courant à montée rapide puis, ensuite, que l'intensité de ce courant soit maintenue à une valeur inférieure. Les montages qui permettent d'obtenir une telle commande sont connus dans la technique, c'est pourquoi on ne s'appesantira pas sur ce point. Avec la réalisation pratique adoptée, l'intensité du courant de gâchette a atteint une valeur de 3,5 A avec une croissance au démarrage de 2,5 A/ $\mu\text{s}$  environ et a été ensuite stabilisée à 0,6 A environ jusqu'à la fin de la commande.

La valeur de l'intensité dans la bobine est comparée à une valeur de consigne à l'aide d'un circuit de régulation classique connu par exemple en boucle fermée avec contre réaction. Un type de solution est par exemple proposé dans le document précité.

De ce qui précède, on comprend tous les avantages qui résultent de l'invention puisque l'alimentation de la bobine qui permet de maîtriser le déplacement du pied de l'arc sur l'électrode ne nécessite plus l'utilisation d'un circuit autonome avec son alimentation propre.

## Revendications

**1 -** Procédé pour régulariser l'usure afin d'en augmenter la longévité, d'une électrode d'une torche à plasma constituée, entre autres, de deux électrodes tubulaires coaxiales entre lesquelles s'établit un arc et qui sont séparées par une chambre où est injecté un gaz plasmagène, d'au moins une bobine de champ magnétique qui entoure localement une électrode de préférence l'électrode amont repérée par rapport au sens d'écoulement du plasma, d'une alimentation électrique pour fournir de l'énergie à l'arc et à la bobine, et de moyens pour maîtriser le déplacement du pied de l'arc sur l'électrode de manière à lui faire décrire une course longitudinale alternative au besoin vibratoire, caractérisé en ce qu'on utilise une alimentation électrique avec un circuit d'arc et un circuit de bobine, on monte en série ce circuit d'arc et ce circuit de bobine, on monte en dérivation sur cette bobine un condensateur et au moins un hacheur composé d'au moins un condensateur et d'au moins un interrupteur électronique de puissance, qui peut être placé éloigné de la bobine.

**2 -** Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on utilise dans des interrupteurs à thyristors et diodes avec un montage résonant.

**3 -** Torche à plasma (10), notamment pour la mise en oeuvre d'un procédé conforme à l'une quelconque des revendications 1 et 2, constituée, entre autres, de deux électrodes (11, 12) tubulaires coaxiales entre lesquelles s'établit un arc, d'une chambre (13) qui sépare ces électrodes (11, 12) et dans laquelle est injecté un gaz plasmagène, d'au moins une bobine (14) de champ magnétique qui entoure localement une électrode de préférence l'électrode amont (11) repérée par rapport au sens d'écoulement du plasma, d'une alimentation électrique (20) pour fournir de l'énergie à l'arc et à la bobine, et des moyens (30) pour maîtriser le déplacement du pied de l'arc sur l'électrode de manière à lui faire décrire une course longitudinale alternative, au besoin vibratoire, afin d'en régulariser l'usure et d'en augmenter la longévité, caractérisée en ce que l'alimentation électrique (20) comprend un circuit d'arc (21) et un circuit de bobine (22), en ce que ce circuit d'arc (21) et ce circuit de bobine (22) sont montés en série, en ce que ces moyens (30) comprennent montés en dérivation sur la bobine (14) au moins un hacheur composé d'au moins un condensateur (31) et d'au moins un interrupteur électronique de puissance (32) placé éloigné de la bobine.

**4 -** Torche selon la revendication 3, caractérisée en ce que le hacheur (32) comprend au moins un interrupteur fait d'un thyristor principal (321), d'une diode de récupération (322) et d'un circuit de désamorçage du thyristor principal (321).

**5 -** Torche selon la revendication 3, caractérisée en ce que le hacheur (32) comprend au moins un interrup-

teur fait d'un thyristor principal (321), d'une diode de récupération (322) et d'un circuit de désamorçage du thyristor principal (321) avec un montage résonant.

5 **6** - Torche selon l'une quelconque des revendications 3 à 5, caractérisée en ce qu'elle comprend un hacheur composé d'une batterie de condensateurs (31) et de plusieurs ensembles thyristors-diodes (32) montés en parallèle.

**7** - Torche selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, caractérisée en ce qu'elle comprend un circuit (33) d'aide à la commutation monté en parallèle sur l'interrupteur fait du thyristor principal (321) et de la diode de récupération (322).

10 **8** - Torche selon l'une quelconque des revendications 4 à 7, caractérisée en ce que le montage résonant a une fréquence limite de fonctionnement déterminée par la capacité ( $C_1$ ) du condensateur (31) et l'impédance ( $R_2$ ,  $L_2$ ) des câbles de liaison (323) connectant la bobine (14) à l'alimentation électrique (20), lorsque la hacheur fonctionne.

**9** - Torche selon l'une quelconque des revendications 7 ou 8, caractérisée en ce que le circuit d'aide à la commutation (33) comprend une résistance ( $R_3$ ) au besoin connectée en série à un condensateur ( $C_3$ ).

15 **10** - Torche selon l'une quelconque des revendications 6 à 9, caractérisée en ce qu'elle comprend un circuit régulateur d'amorçage.

**11** - Torche selon la revendication 10, caractérisée en ce que le circuit régulateur d'amorçage comprend une petite inductance montée en série avec chaque thyristor (321) d'un hacheur (32).

20 **12** - Torche selon la revendication 3, caractérisée en ce que le hacheur (32) comprend au moins un thyristor GTO (Gate Turn Off) commandable à l'enclenchement et à l'ouverture.

25

30

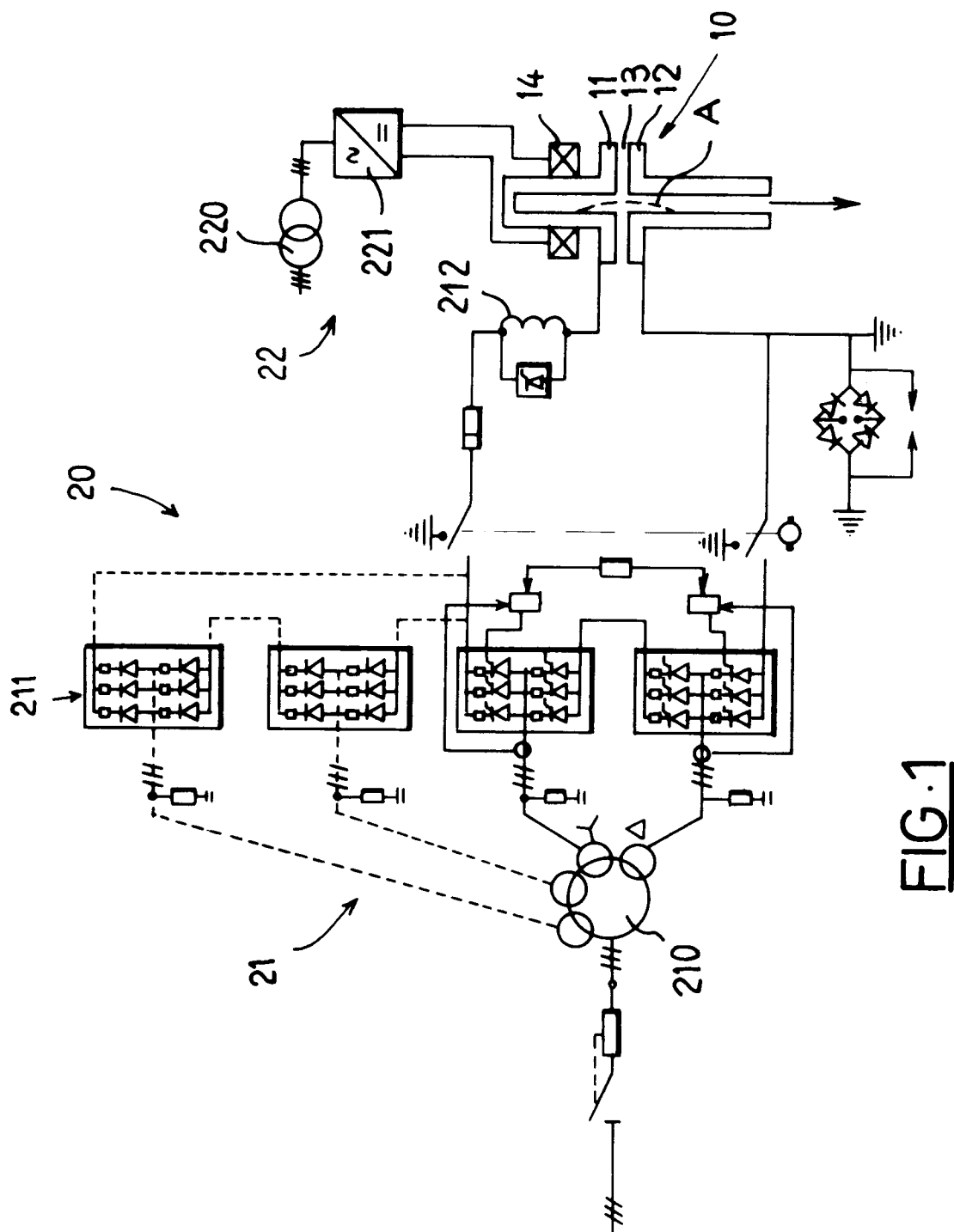
35

40

45

50

55



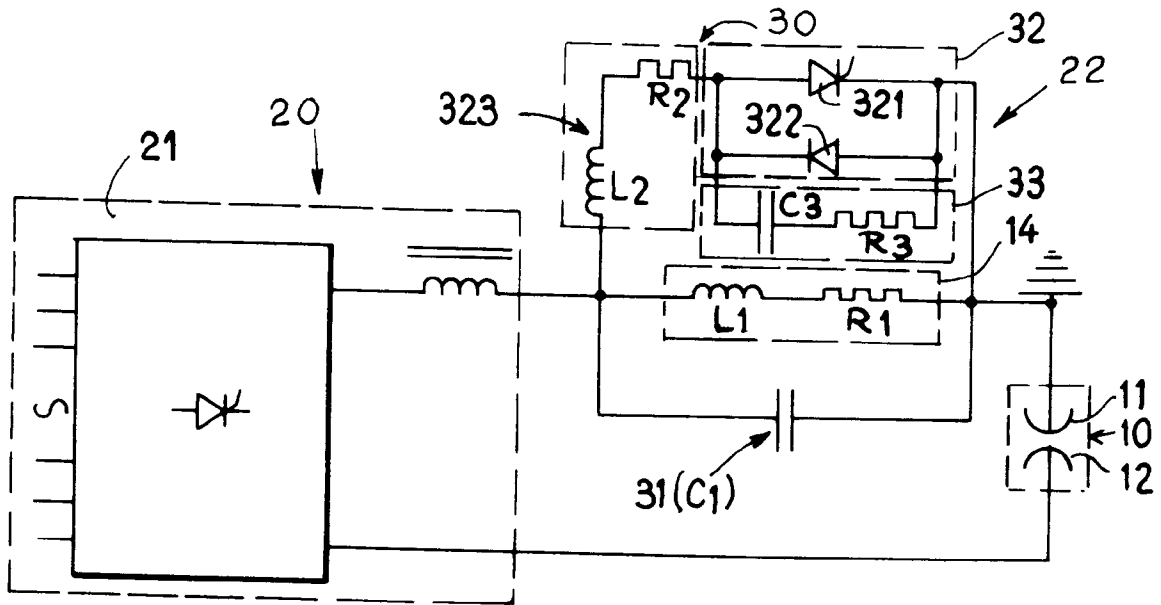


FIG. 2

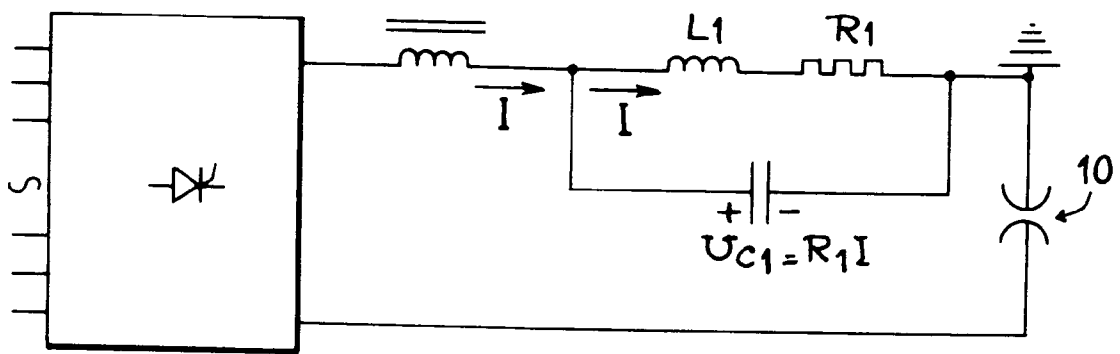


FIG. 3

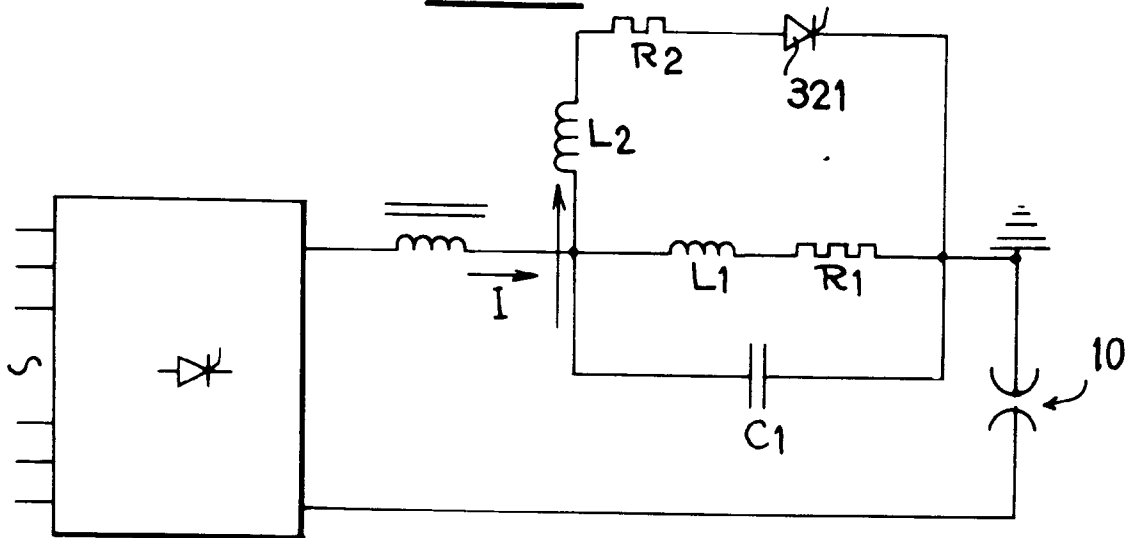


FIG. 4

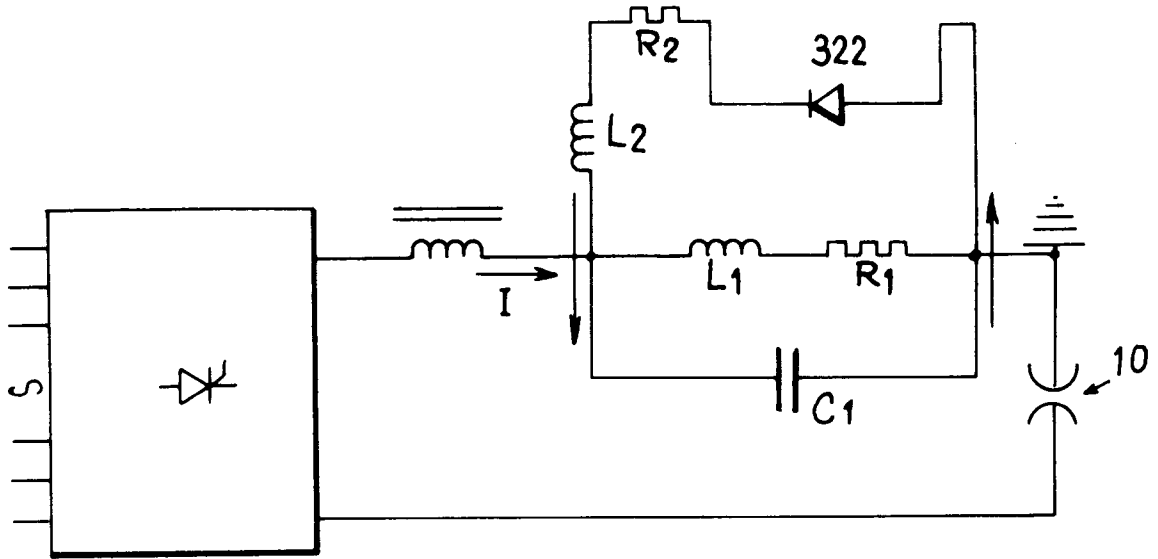


FIG. 5

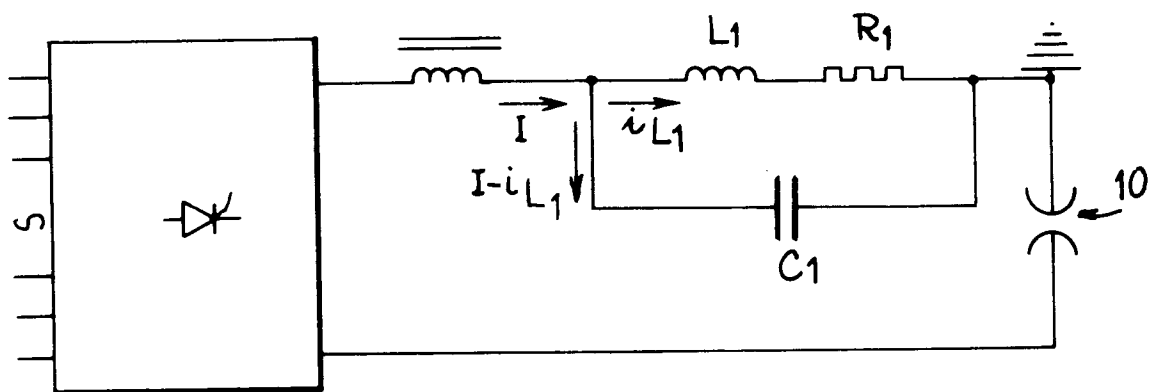
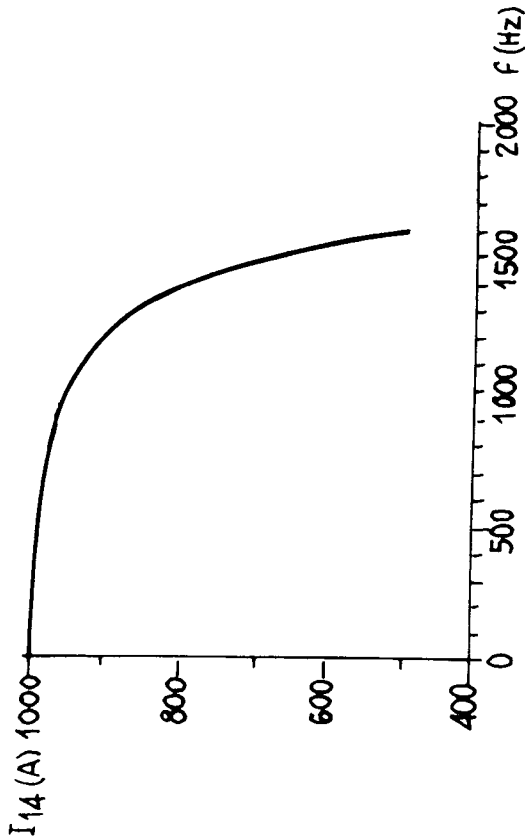
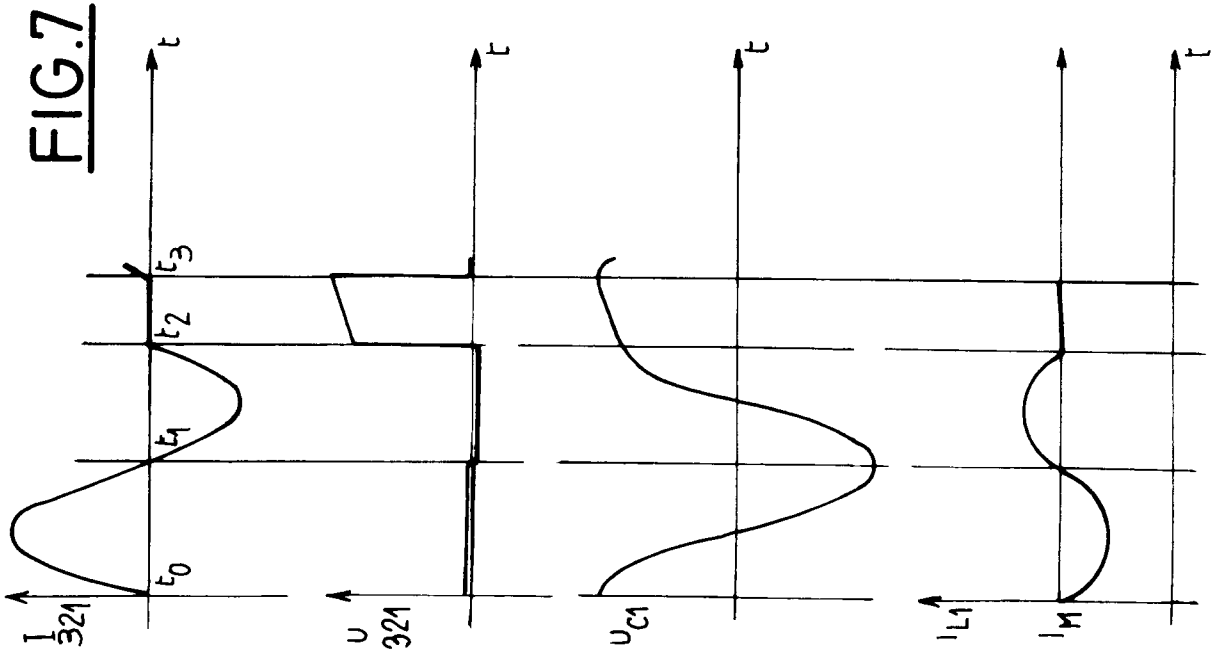
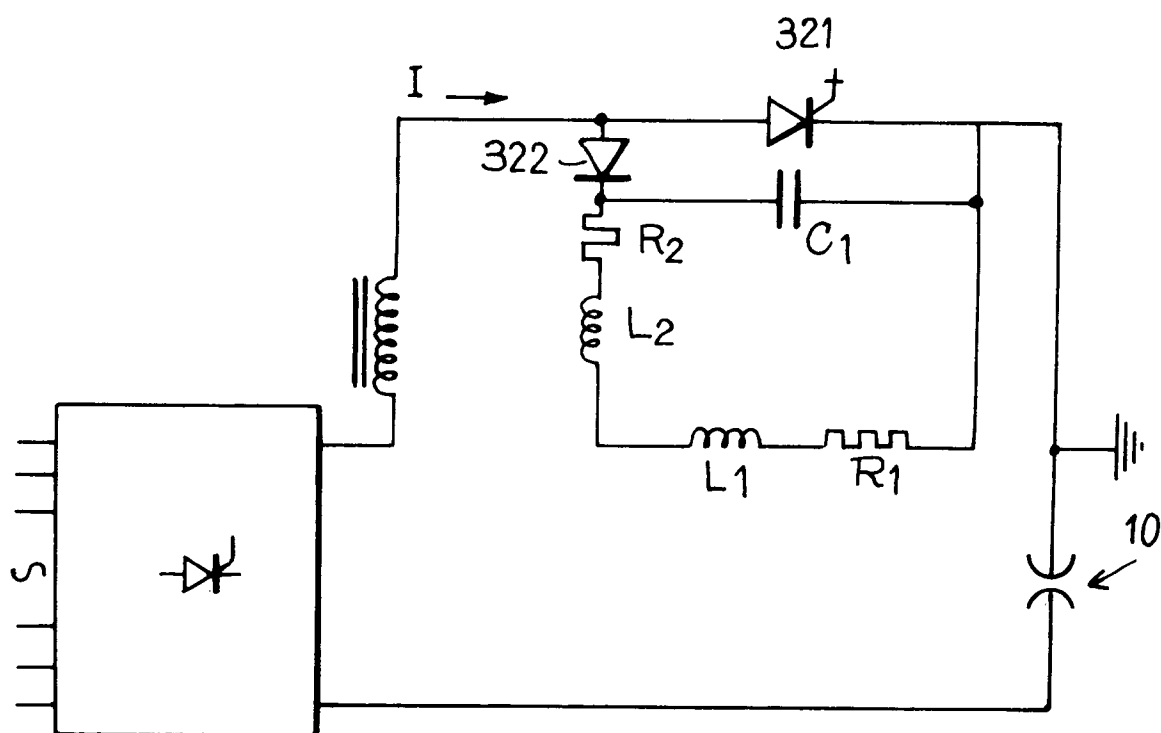


FIG. 6



**FIG.8**

FIG. 9



Office européen  
des brevets

## RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande

EP 92 40 3563

| DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                            |                                                   |                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Catégorie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes                                                                                                                                            | Revendication concernée                           | CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.5)       |
| D,A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | EP-A-0 277 845 (EDF ET AEROSPATIALE)<br>* colonne 2, ligne 30 - colonne 3, ligne 14 *<br>* colonne 3, ligne 50 - ligne 58 *<br>* colonne 4, ligne 27 - ligne 50 *<br>* colonne 5, ligne 53 - ligne 58 *<br>* figures 1-2 * | 1,3                                               | H05H1/40<br>H05H1/36                       |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | EP-A-0 204 052 (HYDRO-QUEBEC)<br>* abrégé *<br>* page 5, ligne 14 - page 6, ligne 21 *<br>* figure 1 *                                                                                                                     | 1,3                                               |                                            |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | GB-A-966 103 (SECR. OF STATE FOR THE WAR DEPT.)<br>* page 1, ligne 30 - ligne 45 *<br>* page 1, ligne 84 - page 2, ligne 8 *                                                                                               | 1                                                 |                                            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                            |                                                   | DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5) |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                            |                                                   | H05H                                       |
| Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                            |                                                   |                                            |
| Lieu de la recherche<br>LA HAYE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                            | Date d'achèvement de la recherche<br>25 MARS 1993 | Examineur<br>CAPOSTAGNO E.                 |
| <p><b>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</b></p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul<br/>Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie<br/>A : arrière-plan technologique<br/>O : divulgation non-écrite<br/>P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention<br/>E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date<br/>D : cité dans la demande<br/>L : cité pour d'autres raisons<br/>.....<br/>&amp; : membre de la même famille, document correspondant</p> |                                                                                                                                                                                                                            |                                                   |                                            |

EPO FORM 1503 03.82 (P0402)