



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
30.04.2008 Bulletin 2008/18

(51) Int Cl.:
H05B 6/68 (2006.01) C23C 16/511 (2006.01)
H05H 1/46 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **07118496.4**

(22) Date de dépôt: **15.10.2007**

(84) Etats contractants désignés:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL PL PT RO SE SI SK TR
Etats d'extension désignés:
AL BA HR MK RS

(72) Inventeurs:
• **Cetinel, Ertan**
76930 Octeville Sur Mer (FR)
• **Chomel, Nicolas**
76930 Octeville Sur Mer (FR)

(30) Priorité: **25.10.2006 FR 0609379**

(74) Mandataire: **Cabinet Plasseraud**
52 rue de la Victoire
75440 Paris Cedex 09 (FR)

(71) Demandeur: **Sidel Participations**
76930 Octeville Sur Mer (FR)

(54) **Procédé et dispositif de régulation d'alimentation électrique d'un magnétron et installation de traitement de récipients thermoplastiques qui en fait application**

(57) Une régulation de l'alimentation électrique d'un magnétron (M) en fonction d'une consigne de puissance micro-ondes instantanée consiste à : prédéterminer et mémoriser (20) la valeur (η) du rendement électrique du magnétron ; saisir (19) une valeur de puissance micro-ondes moyenne de consigne et la convertir en un signal de puissance instantanée de consigne à basse fréquence qui est échantillonné à fréquence élevée ; mesurer (8, 9) et échantillonner les valeurs instantanées du cou-

rant anodique et de haute tension d'alimentation du magnétron ; calculer (10) l'écart, à un instant d'échantillonnage (n), entre la puissance micro-ondes instantanée de consigne et le produit intensité x haute tension x rendement ; déterminer une valeur de la puissance micro-ondes instantanée à l'instant d'échantillonnage (n+1) consécutif corrigée en fonction d'une loi de régulation prédéterminée valable audit instant (n+1) ; et la convertir en un signal analogique de puissance micro-ondes instantanée corrigée pour alimenter le magnétron.

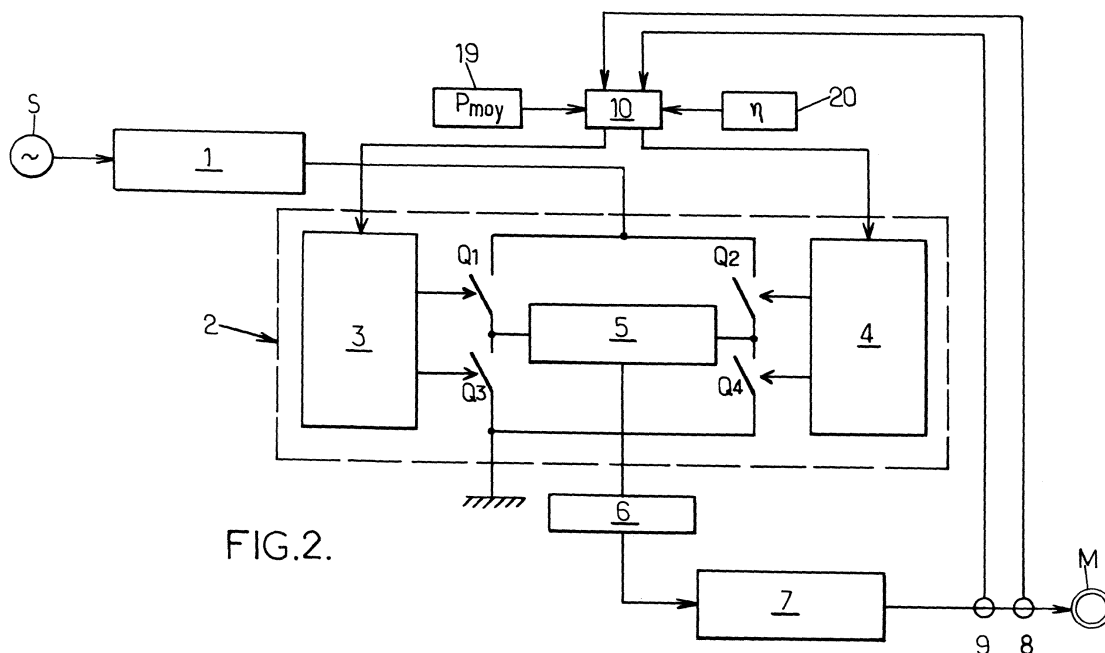


FIG.2.

Description

[0001] La présente invention concerne des perfectionnements apportés dans le domaine de la régulation en fonction d'une consigne de puissance micro-ondes instantanée, de l'alimentation électrique d'un magnétron appartenant à des moyens générateurs d'ondes électromagnétiques UHF.

[0002] Les perfectionnements proposés par l'invention doivent trouver une application préférée, bien que non exclusive, dans le domaine du dépôt d'un revêtement, tel qu'un revêtement à effet barrière, sur une face d'au moins un récipient en matériau thermoplastique à l'aide d'un plasma à basse pression par excitation d'un gaz précurseur par des ondes électromagnétiques comprises dans la bande UHF dans une cavité sous vide de forme cylindrique propre à recevoir ledit récipient, lesdites ondes électromagnétiques UHF étant émises par un générateur d'ondes UHF comprenant un magnétron possédant une anode et des moyens d'alimentation électrique connectés à ladite anode pour alimenter celle-ci en courant sous une haute tension.

[0003] C'est dans ce contexte que l'invention va être plus particulièrement décrite, étant entendu que la régulation de l'alimentation électrique de magnétron proposée par l'invention peut être mise en oeuvre dans d'autres domaines.

[0004] Le document FR 2 776 540 expose un tel processus de formation d'une couche barrière et notamment les documents FR 2 783 667, FR 2 792 854, FR 2 847 912 présentent divers exemples de dispositifs permettant d'effectuer un tel dépôt.

[0005] Il est connu de l'homme du métier que, dans les procédés à plasmas froids comme notamment celui connu dans la technique sous la désignation PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition), la précision du niveau de l'énergie micro-ondes instantanée émise et la forme d'onde de la puissance émise au cours du cycle de traitement font partie des principaux facteurs permettant d'obtenir une qualité sensiblement constante du dépôt du revêtement, autrement dit permettant au cours du temps d'obtenir des récipients de qualité sensiblement identique. A fortiori, dans le cas d'installations industrielles de grande capacité de production regroupant une multiplicité de dispositifs de dépôt, il est important de contrôler la précision du niveau de l'énergie micro-ondes instantanée fournie dans toutes les cavités de tous les dispositifs de l'installation de manière à réduire au minimum la disparité des performances entre les dispositifs d'une même machine, voire même entre diverses machines, et donc les disparités de qualité entre les récipients ayant été traités respectivement dans une pluralité de dispositifs.

[0006] On connaît certes divers équipements qui sont disponibles pour ajuster de façon précise ce niveau d'énergie micro-ondes (circulateurs, dispositifs de mesure réelle de la puissance micro-onde émise, clés ou "stubs" d'accord, ...). Toutefois, ces équipements sont

coûteux et donc difficiles à envisager dans une installation industrielle pour laquelle la recherche d'un prix de revient minimum est un souci permanent ; de plus ils sont encombrants et donc difficiles à implanter dans une machine industrielle, notamment de type rotatif, qui est par ailleurs fort encombrée et dans laquelle il y a peu de place disponible ; enfin la mise en oeuvre effective et efficace de ces matériels nécessite des réglages et étalonnages précis qui ne peuvent être assurés que par des personnels qualifiés, lesquels ne sont pas toujours présents dans les installations industrielles de production en grandes séries pour lesquelles la simplicité de mise en oeuvre et de fonctionnement des moyens techniques est un souci constant.

[0007] Il est donc nécessaire, pour répondre à l'exigence de réduction de la dispersion des caractéristiques du revêtement déposé sur des récipients dans un processus industriel à vitesse élevée, de trouver une solution spécifique et économique pour contrôler avec précision le fonctionnement du magnétron.

[0008] On rappellera que le magnétron, qui est le coeur de tout système utilisant des micro-ondes, transforme une haute tension d'entrée (plusieurs kilovolts) en une onde électromagnétique à ultra haute fréquence donnée (micro-onde). La haute tension est délivrée par un générateur de haute tension qui est approprié pour transformer une basse tension d'alimentation (notamment la tension d'un réseau d'alimentation électrique classique, par exemple 400 volts triphasé) en une haute tension modulée en fonction de l'énergie micro-onde souhaitée en sortie du magnétron. Les fabricants de magnétrons fournissent, pour chaque référence de magnétron, les courbes de base permettant de définir les caractéristiques du générateur haute tension. C'est ainsi que l'on peut disposer, pour chaque référence de magnétron, notamment de la courbe de variation du courant anodique en fonction de la puissance micro-ondes émise, de la courbe de variation du rendement électrique en fonction de la puissance micro-ondes émise, et de la courbe de variation de la haute tension à appliquer au magnétron en fonction de la puissance micro-ondes émise.

[0009] Le rendement électrique du magnétron est sensiblement stable pour une puissance micro-ondes émise donnée et il varie faiblement en fonction de la puissance micro-ondes émise (dans un exemple typique de magnétron, la variation du rendement électrique est de l'ordre de 2,8 % pour une puissance micro-ondes émise variant de 350 à 900 W).

[0010] Toutefois, toutes ces caractéristiques du magnétron ne sont valides que lorsque le magnétron est couplé sur une charge dite adaptée, c'est-à-dire sur une charge telle qu'elle ne réfléchisse pas en direction du magnétron une fraction de l'énergie micro-ondes qu'elle reçoit de celui-ci.

[0011] Or, dans le cas des dispositifs plus spécifiquement visés par l'invention, qui sont destinés au dépôt d'un revêtement sur un récipient en matériau thermoplastique à l'aide d'un plasma à basse pression par ex-

citation d'un gaz précurseur par des ondes électromagnétiques UHF dans une cavité sous vide de forme cylindrique recevant ledit récipient, non seulement la charge couplée au magnétron n'est pas adaptée, mais en outre elle n'est pas constante dans le temps et ses variations sont très rapides (de l'ordre de grandeur de quelques millisecondes). Ces variations de charge sont inhérentes aux conditions de formation du plasma dans la cavité pour une puissance micro-ondes moyenne émise donnée (condition de fonctionnement du dispositif affichée par l'opérateur comme consigne de fonctionnement) :

- au démarrage du processus, le plasma n'est pas encore établi ; la charge couplée au magnétron est mal adaptée et l'énergie qu'elle réfléchit est importante ;
- puis, le plasma s'établit au sein de la cavité ; la charge couplée au magnétron est mieux adaptée et l'énergie qu'elle réfléchit est moindre.

[0012] On soulignera ici que la consigne de puissance moyenne ne varie pas entre ces deux phases de fonctionnement. Les variations de la tension et du courant appliqués au magnétron sont uniquement liées au comportement du magnétron face à une énergie réfléchie qui varie.

[0013] Pour tenter de maintenir à la valeur de consigne la puissance micro-ondes effectivement émise par le magnétron, il est connu de mettre en oeuvre une régulation en courant anodique : on prédétermine un coefficient de proportionnalité courant anodique/ puissance micro-ondes émise (cette caractéristique pouvant faire partie des données fournies par le fabricant du magnétron) ; en fonctionnement, la valeur du courant anodique est mesurée de façon continue et une correction proportionnelle est appliquée au courant anodique en fonction des variations de charge du générateur de haute tension de manière à maintenir la puissance micro-ondes émise par le magnétron aussi constante que possible par rapport à la puissance de consigne.

[0014] La vitesse de régulation du générateur est choisie relativement lente (temps de réponse supérieur à 100 millisecondes), alors que le passage de la condition de charge fortement inadaptée à la condition de charge mieux adaptée est très bref et peut correspondre approximativement à une période de la haute tension (par exemple de l'ordre de 10 à 20 ms). Il en résulte que, principalement dans la phase de démarrage, le déséquilibre mentionné ci-dessus peut s'étendre sur plusieurs impulsions de la haute tension, avec un déséquilibre important de la puissance délivrée par le générateur de haute tension pour une puissance micro-ondes émise sensiblement analogue.

[0015] Pour mieux fixer les idées, on a représenté, à la figure 1 des dessins annexés, un graphique caractérisant le fonctionnement d'un exemple typique de magnétron et montrant, en fonction du temps (en abscisses, exprimé en secondes), l'évolution (courbe en trait plein)

de la haute tension aux bornes du magnétron (en ordonnées sur l'échelle de droite, exprimée en volts) et l'évolution (courbe en tirets) concomitante du courant anodique régulé dans les conditions précitées (en ordonnées sur l'échelle de gauche, exprimé en milliampères).

[0016] On constate que, pour le groupe des deux premiers cycles (à gauche sur le graphique), la haute tension présente une valeur minimale de -3,6 kV ; le pourcentage d'énergie réfléchie par la charge mal adaptée (le plasma n'est pas encore établi) est élevé. Pour le groupe des cycles suivants, la haute tension prend une valeur de -4 kV ; le plasma est établi et la charge est mieux adaptée avec un pourcentage d'énergie réfléchie qui est moindre.

[0017] La régulation de courant anodique appliquée au générateur est peu rapide, avec un temps de réponse de l'ordre de 40 ms. La puissance instantanée de crête des impulsions PA (appartenant au groupe des premiers cycles) et PB (appartenant au groupe des cycles suivants) est la suivante :

- impulsion PA : le courant anodique a une valeur de 360 mA ; le fabricant du magnétron donnant un coefficient de proportionnalité de 3 W micro-ondes/ mA, la puissance micro-ondes instantanée délivrée par le magnétron est 360×3 , soit 1080 W ;
- impulsion PB : le courant anodique a une valeur de 305 mA ; la puissance micro-ondes instantanée délivrée par le magnétron est 305×3 , soit 915 W.

[0018] Pour les deux impulsions PA et PB désignées sur la figure 1 comme étant les plus rapprochées lors du changement de régime de fonctionnement, on peut considérer que, eu égard à la relative lenteur de régulation du générateur, les paramètres internes de fonctionnement du générateur n'ont pas été modifiés. L'écart de la puissance micro-ondes délivrée par le magnétron, imputable à la variation d'adaptation de la charge couplée au magnétron dont la puissance micro-ondes émise moyenne demeure sensiblement analogue dans les deux cas, est d'environ 15% et est donc très important.

[0019] Il en résulte que les conditions de fonctionnement des dispositifs actuels, équipés de générateurs de haute tension avec régulation du courant anodique en vue du maintien de la puissance micro-ondes émise par le magnétron à une valeur de consigne, ne sont pas optimales du fait que le générateur de haute tension subit des variations importantes et rapides de puissance.

[0020] L'invention a pour objet de proposer des moyens perfectionnés (procédé et dispositif) qui répondent mieux aux exigences de la pratique, et qui notamment permettent d'améliorer et d'optimiser à moindre coût la précision de la puissance micro-ondes instantanée émise par le magnétron par rapport à la puissance de consigne instantanée dans le contexte où un niveau rapidement variable d'énergie micro-ondes est réfléchi en direction du magnétron.

[0021] A ces fins, selon un premier de ses aspects l'invention propose un procédé de régulation pour régu-

ler, en fonction d'une consigne de puissance micro-ondes instantanée, l'alimentation électrique d'un magnétron appartenant à des moyens générateurs d'ondes électromagnétiques UHF, lequel procédé, étant conforme à l'invention, se caractérise en ce qu'il comprend les étapes consistant à :

- déterminer au préalable et tenir en mémoire au moins une valeur du rendement électrique du magnétron ;
- on saisit une valeur de puissance micro-ondes moyenne de consigne ;
- on convertit cette valeur de puissance micro-ondes moyenne de consigne, pour constituer un signal de puissance instantanée de consigne à basse fréquence ;
- on échantillonne ce signal de puissance instantanée de consigne avec une fréquence élevée d'échantillonnage ;
- on mesure et on échantillonne les valeurs instantanées de courant anodique et de haute tension d'alimentation du magnétron ;
- on calcule le produit de la valeur instantanée du courant anodique à un instant d'échantillonnage par la valeur instantanée de la haute tension à cet instant d'échantillonnage et par la valeur préalablement déterminée du rendement électrique du magnétron pour obtenir la valeur de la puissance micro-ondes instantanée mesurée à cet instant d'échantillonnage ;
- on compare cette valeur de puissance micro-ondes instantanée mesurée avec la valeur de puissance instantanée de consigne échantillonnée à un instant correspondant et on en déduit une valeur d'écart à cet instant d'échantillonnage ;
- on détermine une valeur de puissance micro-ondes instantanée à l'instant d'échantillonnage immédiatement consécutif corrigée en fonction d'une loi de régulation prédéterminée valable audit instant d'échantillonnage immédiatement consécutif, de la dite valeur d'écart calculée à l'instant d'échantillonnage et de la valeur de la puissance instantanée de consigne échantillonnée audit instant d'échantillonnage immédiatement consécutif ; et
- on effectue une conversion puissance-grandeur électrique de commande pour obtenir un signal analogique de puissance micro-ondes instantanée corrigée propre à commander l'alimentation du magnétron.

[0022] Grâce à la mise en oeuvre des dispositions conformes à l'invention, on est en mesure de réduire de façon considérable l'écart de la puissance instantanée du générateur de haute tension pour une puissance micro-ondes émise demeurant sensiblement analogue.

[0023] Si l'on reprend l'exemple numérique cité plus haut relatif aux impulsions PA et PB, les résultats obtenus par mise en oeuvre du procédé conforme à l'invention

sont les suivants :

- impulsion PA : pour un courant anodique de 360 mA, une haute tension de -3550 V et un rendement électrique moyen du magnétron (caractéristique prédéterminée fournie par le fabricant du magnétron ou relevée au préalable) de 73,7%, la puissance micro-ondes instantanée émise du magnétron est de 942 W;
- impulsion PB : pour un courant anodique de 305 mA, une haute tension de -4050 V et un rendement électrique moyen du magnétron de 73,7 %, la puissance micro-ondes instantanée émise du magnétron est de 910 W.

[0024] Ainsi l'écart de la puissance micro-ondes instantanée émise par le magnétron entre les deux impulsions PA et PB est seulement de 3,4 % pour une puissance micro-ondes émise moyenne proche. La mise en oeuvre d'une régulation conforme à l'invention permet, de façon simple et avec une mise en oeuvre peu onéreuse, de diviser par quatre la disparité en puissance de fonctionnement du générateur de haute tension par rapport à la simple régulation du courant anodique mise en oeuvre jusqu'alors.

[0025] En outre et de façon très intéressante, les dispositions conformes à l'invention se révèlent très avantageuses en raison de la vitesse élevée de réponse ainsi obtenue.

[0026] Les dispositions conformes à l'invention peuvent donner lieu à diverses variantes de régulation.

[0027] Dans un mode de mise en oeuvre particulier du procédé de l'invention, on effectue une conversion puissance-fréquence pour commander des moyens d'alimentation électrique à convertisseur à résonance.

[0028] Du fait que le rendement électrique du magnétron varie notablement en fonction du taux d'onde stationnaire, on pourra, pour la détermination de la puissance instantanée délivrée au magnétron, avoir recours à l'une ou à l'autre des solutions suivantes suivant les conditions de fonctionnement :

- le taux d'onde stationnaire étant relativement faible et inférieur à une valeur de seuil donnée, le rendement électrique du magnétron est supposé constant et la valeur mesurée par une détermination préalable et tenue en mémoire est la valeur du rendement électrique moyen du magnétron ;
- le taux d'onde stationnaire étant relativement élevé et supérieur à un seuil prédéterminé, on établit au préalable et on mémorise une correspondance entre les couples de valeurs mesurées du courant anodique instantané et de la tension instantanée appliqués au magnétron et les valeurs correspondantes du rendement électrique du magnétron, et, en fonctionnement, la puissance instantanée est déterminée à partir des valeurs mesurées du courant anodique instantané et de la tension instantanée appli-

quée au magnétron et à partir de la valeur du rendement électrique du magnétron tenue en mémoire en correspondance avec le couple des valeurs instantanées mesurées du courant anodique et de la tension.

[0029] Le procédé qui vient d'être exposé peut trouver une application tout particulièrement intéressante lorsque le magnétron émet des ondes électromagnétiques UHF dans une cavité sous vide de forme sensiblement cylindrique propre à recevoir au moins un récipient en matériau thermoplastique sur une face duquel un revêtement d'un matériau barrière est déposé à l'aide d'un plasma à basse pression par excitation d'un gaz précurseur par lesdites ondes électromagnétiques UHF.

[0030] Selon un second de ses aspects, l'invention propose un dispositif de régulation pour réguler, en fonction d'une consigne de puissance micro-ondes instantanée, l'alimentation électrique d'un magnétron d'un générateur d'ondes électromagnétiques UHF, lequel dispositif, étant propre à la mise en oeuvre du procédé exposé ci-dessus et étant agencé conformément à l'invention, se caractérise en ce que les moyens de régulation comprennent :

des moyens de mémorisation pour tenir en mémoire au moins une valeur préalablement déterminée du rendement électrique du magnétron, et un microcontrôleur comportant :

- des moyens de saisie d'une valeur de puissance micro-ondes moyenne de consigne ;
- une unité de conversion propre à convertir cette valeur de puissance micro-ondes moyenne de consigne en un signal de puissance instantanée de consigne à basse fréquence ;
- une unité d'échantillonnage propre à échantillonner ce signal de puissance instantanée de consigne avec une fréquence élevée d'échantillonnage ;
- des moyens de mesure et une unité d'échantillonnage propres à capter et à échantillonner les valeurs instantanées de courant anodique et de haute tension d'alimentation du magnétron ;
- des moyens agencés pour calculer le produit de la valeur instantanée du courant anodique à un instant d'échantillonnage par la valeur instantanée de la haute tension à cet instant d'échantillonnage et par la valeur préalablement déterminée du rendement électrique du magnétron pour déterminer la valeur de la puissance micro-ondes instantanée mesurée à cet instant d'échantillonnage ;
- d'un comparateur agencé pour comparer cette valeur de puissance micro-ondes instantanée mesurée avec la valeur de puissance instantanée de consigne échantillonnée à un instant cor-

respondant et délivrer une valeur d'écart à cet instant d'échantillonnage ;

- des moyens de détermination d'une valeur de puissance micro-ondes instantanée à l'instant d'échantillonnage immédiatement consécutif corrigée en fonction d'une loi de régulation prédéterminée valable audit instant d'échantillonnage immédiatement consécutif, de ladite valeur d'écart calculée à l'instant d'échantillonnage et de la valeur de puissance instantanée de consigne échantillonnée à l'instant d'échantillonnage immédiatement consécutif ; et
- des moyens convertisseurs puissance-grandeur électrique de commande propres à effectuer une conversion entre la puissance et la grandeur électrique de commande de la valeur de puissance micro-ondes instantanée corrigée pour obtenir un signal analogique de puissance micro-ondes instantanée corrigée propre à la commande de l'alimentation du magnétron.

[0031] Un tel dispositif peut être agencé pour mettre en oeuvre diverses variantes de régulation.

[0032] Dans un mode de réalisation pratique, les moyens d'alimentation électrique sont du type à convertisseur à résonance dont la fréquence de résonance est la grandeur électrique de commande et les moyens convertisseurs puissance-grandeur électrique de commande sont des moyens convertisseurs puissance-fréquence.

[0033] Dans un exemple de réalisation simple pouvant être mis en oeuvre lorsque le taux d'onde stationnaire est relativement faible et inférieur à un seuil prédéterminé (par exemple typiquement inférieur à environ 2), le rendement électrique du magnétron est une valeur constante prédéterminée tenue en mémoire.

[0034] Par contre, lorsque le taux d'onde stationnaire est relativement élevé et supérieur à un seuil prédéterminé (par exemple typiquement supérieur à environ 2), le dispositif comporte des moyens de mémorisation propres à tenir en mémoire une correspondance entre une pluralité de couples de valeurs d'intensité du courant anodique du magnétron et de tension aux bornes du magnétron et une même pluralité de valeurs respectives du rendement électrique du magnétron.

[0035] Dans un mode de réalisation préféré, les moyens d'alimentation électrique de l'anode du magnétron comprennent une alimentation électrique à découpage à résonance incorporant un pont d'interrupteurs de puissance commandés par paires respectivement par deux unités de commande et un filtre à résonance monté dans un diagonale dudit pont d'interrupteurs et les susdits moyens convertisseurs puissance-fréquence ont deux sorties en opposition de phase qui sont connectées respectivement auxdites deux unités de commande.

[0036] Le dispositif de régulation qui vient d'être exposé peut être mis en oeuvre de façon particulièrement intéressante dans une installation pour déposer un revê-

tement sur une face d'au moins un récipient en matériau thermoplastique à l'aide d'un plasma à basse pression par excitation d'un gaz précurseur par des ondes électromagnétiques UHF dans une cavité sous vide de forme cylindrique recevant ledit récipient, cette installation comprenant un générateur d'ondes UHF et un guide d'ondes UHF pour raccorder ledit générateur à une fenêtre de la paroi latérale de la cavité, ledit générateur d'ondes UHF comprenant un magnétron possédant une anode, des moyens d'alimentation électrique connectés à ladite anode pour alimenter celle-ci en courant sous une haute tension d'alimentation et un dispositif de régulation pour réguler, en fonction d'une consigne de puissance micro-ondes instantanée, l'alimentation électrique du magnétron ; en particulier, il peut s'agir d'une installation tournante du type carrousel équipée d'une multiplicité de postes de traitement pourvus chacun d'un magnétron avec son alimentation électrique régulée conformément à l'invention.

[0037] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description détaillée de certains modes de réalisation préférés donnés à titre d'exemples purement illustratifs. Dans cette description, on se réfère aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 est un graphique caractérisant le fonctionnement d'un exemple typique de magnétron et montrant, en fonction du temps (en abscisses, exprimé en secondes), l'évolution (courbe en trait plein) de la haute tension aux bornes du magnétron (en ordonnées sur l'échelle de droite, exprimée en volts) et l'évolution (courbe en tirets) concomitante du courant anodique régulé dans les conditions précitées (en ordonnées sur l'échelle de gauche, exprimé en milliampères) ;
- la figure 2 est un schéma synoptique simplifié d'un mode de réalisation préféré d'un dispositif d'alimentation en haute tension d'un magnétron mettant en oeuvre les moyens conformes à l'invention ;
- la figure 3 est un schéma synoptique d'un exemple de réalisation d'un microcontrôleur mis en oeuvre dans le dispositif de la figure 2 ; et
- la figure 4 est un graphique résumant le mode de fonctionnement du dispositif des figures 2 et 3.

[0038] On se réfère maintenant tout d'abord à la figure 2 sur laquelle est montré un schéma synoptique simplifié d'un mode de réalisation préféré conforme à l'invention d'un dispositif d'alimentation en haute tension d'un magnétron désigné par M à partir d'une source d'alimentation électrique qui, en pratique, peut être un réseau général d'alimentation électrique en alternatif, typiquement un réseau triphasé sous 400 V, désigné par S.

[0039] Le dispositif est, d'une façon générale, une alimentation du type alternatif-alternatif. A cet effet, le dispositif comprend, à l'entrée, un étage 1 de redressement et de filtrage de la tension alternative, qui délivre une tension redressée et lissée qui est appliquée à des

moyens 2 d'alimentation électrique de type statique, qui peuvent avoir toute constitution appropriée, afin de générer une tension alternative.

[0040] En pratique, on pourra de préférence avoir recours à des moyens 2 d'alimentation électrique à générateur du type convertisseur à résonance qui comporte, comme illustré, un ensemble de quatre interrupteurs Q1 à Q4 (typiquement des transistors à commutation rapide) montés en pont et deux unités 3 et 4 de commande pour commander chacune une paire d'interrupteurs respectivement Q1, Q3 et Q2, Q4. Un filtre 5 à résonance est monté dans la diagonale du pont entre Q1, Q3, d'un côté, et Q2, Q4, de l'autre côté.

[0041] Ce filtre 5 à résonance, situé dans la branche de courant du convertisseur, est constitué par une association d'inductances et de condensateurs dont les valeurs sont choisies de manière à obtenir une fréquence de résonance optimale avec un coefficient de surtension (ou qualité) approprié. Le fonctionnement de cette alimentation est connu de l'homme du métier et on le rappellera brièvement ci-après.

[0042] Le filtre à résonance module l'amplitude du signal d'entrée. La valeur de cette variation d'amplitude est fonction des caractéristiques des éléments composant le filtre et de la fréquence du signal. Il modifie également le déphasage existant entre la tension et le courant. L'amplitude est maximale lorsque la fréquence du signal correspond à la fréquence de résonance du filtre. Elle est atténuée en fonction de l'écart entre la fréquence de résonance et la fréquence réelle du signal.

[0043] A la sortie du filtre à résonance, on recueille, dans une unité 6 amplificatrice, la tension alternative à très haute fréquence qui est ensuite amplifiée en amplitude dans ladite unité 6 amplificatrice. Après redressement et lissage dans une unité 7 de sortie, située en aval de l'unité 6 amplificatrice, le signal de puissance UHF est appliqué à l'anode du magnétron M.

[0044] La boucle de régulation peut comporter, à la sortie de l'unité 7 de sortie, des moyens 8 de mesure d'intensité et des moyens 9 de mesure de tension, constitués par des capteurs, connus en soi, qui détectent respectivement l'intensité instantanée Ib du courant anodique et la valeur instantanée Ebm de la haute tension qui sont délivrés sur l'anode du magnétron M.

[0045] Pour ce qui est des mesures du courant anodique et de la tension délivrés au magnétron, on soulignera que ces mesures peuvent être faites au plus près du magnétron, comme il vient d'être exposé, de manière à mesurer les valeurs exactes d'alimentation électrique du magnétron. Mais il est également possible que ces mesures soient faites en d'autres points du circuit, éloignés du magnétron ; on établit alors, par des mesures préalables, une relation de proportionnalité entre la valeur mesurée au point éloigné et la valeur réelle mesurée sur le magnétron, et, en fonctionnement, on exploite la valeur mesurée en un point éloigné corrigée par la relation de proportionnalité prédéterminée.

[0046] Les moyens 8, 9 de mesure de l'intensité et de

la haute tension sont raccordés à deux entrées respectives d'un microcontrôleur 10, par exemple du type DSP (Digital Signal Processor), dont deux sorties en opposition de phase sont connectées respectivement aux entrées de contrôle des unités 3 et 4 de commande des interrupteurs Q1 à Q4. Le microcontrôleur 10 traite les valeurs de courant anodique Ib et de haute tension Ebm et gère la régulation en puissance en agissant sur les unités 3, 4 de commande qui pilotent les interrupteurs de puissance Q1 à Q4 en haute fréquence, notamment en mettant en oeuvre une technique de modulation en largeur d'impulsions.

[0047] Au microcontrôleur 10 est également appliquée, par un dispositif 19 d'interface homme-machine, une information Pmoy de puissance de consigne (puissance micro-ondes moyenne) donnée par l'opérateur et à partir de laquelle est établie la puissance instantanée micro-ondes souhaitée pour le fonctionnement du dispositif.

[0048] Enfin des moyens 20 de mémorisation, raccordés au microcontrôleur 10, tiennent en mémoire au moins une valeur du rendement électrique n du magnétron M qui a été prédéterminée.

[0049] Le microcontrôleur 10 calcule la puissance instantanée mesurée à partir des mesures des valeurs instantanées du courant anodique Ib et de haute tension Ebm :

Puissance instantanée mesurée = Ib x Ebm x rendement électrique du magnétron
puis calcule la différence entre la puissance instantanée micro-ondes de consigne et la puissance instantanée mesurée.

[0050] Puis, à partir

- de la consigne de puissance micro-ondes instantanée,
- de la différence calculée (et éventuellement en tenant compte de la différence déterminée lors d'au moins une mesure précédente), et
- d'une loi de régulation prédéterminée préalablement établie et/ou sélectionnée pour l'obtention de la régulation souhaitée (cette loi de régulation pouvant être de tout type approprié, par exemple du type PID) et entrée dans le microcontrôleur,

le microcontrôleur 10 émet un signal de contrôle des unités 3, 4 de commande des interrupteurs Q1 à Q4.

[0051] Si l'on reprend l'exemple numérique cité plus haut relatif aux impulsions PA et PB, les résultats obtenus par mise en oeuvre des dispositions de l'invention sont les suivants :

- impulsion PA : pour un courant anodique de 360 mA, une haute tension de -3550 V et un rendement électrique moyen du magnétron (caractéristique prédéterminée fournie par le fabricant du magnétron ou

relevée au préalable) de 73,7%, la puissance micro-ondes instantanée du magnétron est de 942 W ;

- impulsion PB : pour un courant anodique de 305 mA, une haute tension de -4050 V et un rendement électrique moyen du magnétron de 73,7%, la puissance micro-ondes instantanée du magnétron est de 910 W.

[0052] L'écart de la puissance du magnétron entre les deux impulsions PA et PB est seulement de 3,4% pour une puissance micro-ondes émise moyenne proche. Le magnétron fonctionne ainsi dans des conditions de régularité bien meilleures que dans les dispositifs actuels.

[0053] A la figure 3 est illustré un exemple concret avantageux de réalisation du microcontrôleur 10.

[0054] La puissance moyenne de consigne Pmoy qui est saisie par l'opérateur au moyen du dispositif 19 d'interface homme-machine est traitée par une unité 11 de conversion qui le convertit en un signal de puissance instantanée de consigne ayant une fréquence basse qui peut être typiquement de l'ordre de 100 Hz. Le signal de puissance instantanée de consigne est ensuite numérisé dans une unité 12 d'échantillonnage. La fréquence d'échantillonnage peut être typiquement de l'ordre de 20 kHz, ce qui conduit à environ 200 points de mesure sur une période T du signal de puissance instantanée de consigne.

[0055] L'unité 12 d'échantillonnage est pourvue de deux sorties délivrant les valeurs d'échantillonnage en deux points consécutifs d'échantillonnage n et n+1 respectivement.

[0056] La sortie recevant la valeur Pinst_c au point d'échantillonnage n est raccordée à une entrée (par exemple l'entrée +) d'un comparateur 13, tel qu'un comparateur algébrique. L'autre entrée (entrée -) du comparateur 13 algébrique reçoit le signal d'une boucle de régulation qui est constituée comme suit.

[0057] Les signaux de haute tension instantanée mesurée Ebm_m et de courant anodique instantané mesuré Ib_m sont détectés respectivement par les deux moyens 9 et 8 de mesure précités aux bornes du magnétron M, puis sont envoyés à une unité 16 d'échantillonnage de ces deux signaux. Les données échantillonnées correspondantes respectivement Ebm et Ib sont appliquées à des premiers moyens 17 multiplicateurs fournissant la puissance électrique instantanée mesurée Pélect_m = Ebm x Ib, autrement dit la puissance électrique effectivement délivrée au magnétron.

[0058] Cette grandeur est à son tour appliquée à une entrée de seconds moyens 18 multiplicateurs dont une autre entrée reçoit l'information Rend de rendement du magnétron M. Le signal de sortie des seconds moyens 18 multiplicateurs représente la puissance micro-ondes instantanée mesurée Pinst_m, autrement dit la puissance effectivement transformée en puissance micro-ondes par le magnétron. A partir de la puissance micro-ondes instantanée mesurée Pinst_m, on calcule, à l'aide de moyens 21 intégrateurs, la puissance micro-ondes

moyenne mesurée qui est présentée à l'opérateur (dispositif 19 d'interface homme-machine) pour permettre une comparaison visuelle avec la puissance micro-ondes moyenne de consigne.

[0059] C'est ce signal de puissance micro-ondes instantanée mesurée P_{inst_m} qui est appliqué à l'autre entrée (ici l'entrée négative) du comparateur 13 précité.

[0060] La sortie du comparateur 13, sur laquelle apparaît la valeur de l'écart ε entre les puissances micro-ondes instantanées de consigne et mesurée, est connectée à une entrée d'une unité 14 de correction de puissance instantanée, avec limitation à des valeurs limites prédéterminées, qui possède une entrée principale raccordée à l'autre sortie de l'unité 12 d'échantillonnage qui délivre la valeur P_{inst_c} au point n+1. L'unité 14 de correction corrige algébriquement la valeur P_{inst_c} au point n+1 avec la valeur de l'écart ε calculée à l'instant d'échantillonnage au point n, en fonction de la valeur de la puissance instantanée de consigne échantillonnée audit instant d'échantillonnage immédiatement consécutif, au point n+1, et de la loi de régulation prédéterminée valable audit instant d'échantillonnage au point n+1.

[0061] La sortie de l'unité 14 de correction est raccordée à une unité 15 de conversion puissance/grandeur électrique de commande (la grandeur électrique de commande est la fréquence dans l'exemple considéré d'un générateur à convertisseur à résonance) qui est propre à traiter une portion de variation approximativement linéaire, définie entre des valeurs limites de fréquence F_{max} et F_{min} , de la courbe de puissance en fonction de la fréquence centrée sur une valeur F_r : $P_o = f(F_r, F_{min}, F_{max})$. Finalement, l'unité 15 de conversion puissance/grandeur électrique de commande délivre dans la branche de courant un signal de fréquence en fonction du temps, limité aux valeurs F_{min} et F_{max} .

[0062] Finalement, c'est ce signal de sortie de l'unité 15 de conversion puissance/grandeur électrique de commande qui est envoyé à l'ensemble [moyens 2 d'alimentation électrique, unité 6 amplificatrice, unité 7 de sortie] d'alimentation, précédemment décrit, qui est raccordé au magnétron M.

[0063] En résumé, le procédé de régulation pour réguler, en fonction d'une consigne de puissance micro-ondes instantanée, l'alimentation électrique du magnétron M comprend les étapes suivantes :

- on détermine au préalable et on tient en mémoire dans les moyens 20 de mémorisation au moins une valeur η du rendement électrique du magnétron M,
- on saisit en 19 une valeur de puissance micro-ondes moyenne de consigne P_{moy} ;
- on convertit en 11 cette valeur de puissance micro-ondes moyenne de consigne, pour constituer un signal de puissance instantanée de consigne à basse fréquence;
- on échantillonne dans l'unité 12 d'échantillonnage ce signal de puissance instantanée de consigne avec une fréquence élevée d'échantillonnage ;

- on mesure grâce aux moyens 8, 9 de mesure et on échantillonne grâce aux moyens 16 d'échantillonnage les valeurs instantanées de courant anodique et de haute tension d'alimentation du magnétron,
- on calcule grâce aux moyens 17, 18 le produit de la valeur instantanée du courant anodique à un instant d'échantillonnage n par la valeur instantanée de la haute tension à cet instant d'échantillonnage n et par la valeur préalablement déterminée du rendement électrique du magnétron pour obtenir la valeur de la puissance micro-ondes instantanée mesurée à cet instant d'échantillonnage n;
- on compare dans le comparateur 13 cette valeur de puissance micro-ondes instantanée mesurée avec la valeur de puissance instantanée de consigne échantillonnée à un instant n correspondant et on en déduit une valeur d'écart ε à cet instant d'échantillonnage n ;
- on détermine une valeur de puissance micro-ondes instantanée à l'instant d'échantillonnage immédiatement consécutif n+1 corrigée en fonction de la loi de régulation prédéterminée valable audit instant d'échantillonnage immédiatement consécutif n+1, de ladite valeur d'écart calculée à l'instant d'échantillonnage n et de la valeur de la puissance instantanée de consigne échantillonnée audit instant d'échantillonnage immédiatement consécutif n+1 ; et
- on effectue par les moyens 15 une conversion puissance-grandeur électrique de commande pour obtenir un signal analogique de puissance micro-ondes instantanée corrigée propre à commander l'alimentation du magnétron.

[0064] Le procédé ci-dessus peut être mis en oeuvre grâce au dispositif de régulation pour réguler, en fonction d'une consigne de puissance micro-ondes instantanée, l'alimentation électrique du magnétron M, dispositif dans lequel les moyens de régulation comprennent :

des moyens 20 de mémorisation pour tenir en mémoire au moins une valeur préalablement déterminée du rendement électrique η du magnétron M, et un microcontrôleur 10 comportant :

- des moyens 19 de saisie d'une valeur de puissance micro-ondes moyenne de consigne P_{moy} ;
- une unité 11 de conversion propre à convertir cette valeur de puissance micro-ondes moyenne de consigne en un signal de puissance instantanée de consigne à basse fréquence ;
- une unité 12 d'échantillonnage propre à échantillonner ce signal de puissance instantanée de consigne avec une fréquence élevée d'échantillonnage ;
- des moyens 8, 9 de mesure et une unité 16 d'échantillonnage propres à capter et à échan-

tillonner les valeurs instantanées de courant anodique et de haute tension d'alimentation du magnétron ;

- des moyens 17, 18 agencés pour calculer le produit de la valeur instantanée du courant anodique à un instant d'échantillonnage n par la valeur instantanée de la haute tension à cet instant d'échantillonnage n et par la valeur préalablement déterminée du rendement électrique du magnétron pour déterminer la valeur de la puissance micro-ondes instantanée mesurée à cet instant d'échantillonnage n ;
- d'un comparateur 13 agencé pour comparer cette valeur de puissance micro-ondes instantanée mesurée avec la valeur de puissance instantanée de consigne échantillonnée à un instant n correspondant et délivrer une valeur d'écart ε à cet instant d'échantillonnage n ;
- des moyens de détermination d'une valeur de puissance micro-ondes instantanée à l'instant d'échantillonnage immédiatement consécutif $n+1$ corrigée en fonction de la loi de régulation prédéterminée valable audit instant d'échantillonnage immédiatement consécutif $n+1$, de la dite valeur d'écart calculée à l'instant d'échantillonnage n et de la valeur de puissance instantanée de consigne échantillonnée à l'instant d'échantillonnage immédiatement consécutif $n+1$; et
- des moyens 15 convertisseurs puissance-grandeur électrique de commande propres à effectuer une conversion entre la puissance et la grandeur électrique de commande de la valeur de puissance micro-ondes instantanée corrigée pour obtenir un signal analogique de puissance micro-ondes instantanée corrigée propre à la commande de l'alimentation du magnétron.

[0065] Ainsi, le magnétron M est alimenté avec une puissance régulée en fonction de la consigne de puissance donnée par l'utilisateur.

[0066] Dans le cas où l'on fait appel à un générateur d'un autre type qu'un générateur à convertisseur à résonance et dans lequel c'est une autre grandeur électrique que la fréquence qui est contrôlée (par exemple l'intensité ou la phase) pour assurer la commande, on effectue une conversion puissance-grandeur électrique de commande. La puissance délivrée au magnétron est ainsi régulée en fonction d'une consigne de puissance donnée par l'utilisateur.

[0067] A la figure 4, et avec référence à la figure 3, sont représentés deux graphiques qui résument le fonctionnement du dispositif agencé selon l'invention : sur le graphique A (puissance instantanée en abscisses en fonction du temps en ordonnées) apparaissent la puissance instantanée de consigne montrée en (b) (signal de sortie de l'unité 11 de conversion à la figure 3) et la puissance micro-ondes instantanée régulée mesurée en

(f); sur la graphique B (puissance moyenne en abscisses en fonction du temps en ordonnées) apparaissent la puissance micro-ondes moyenne de consigne montrée en (a) (signal d'entrée de l'unité 11 de conversion à la figure 3) et la puissance micro-ondes moyenne mesurée montrée en (g). Mathématiquement, la puissance micro-ondes moyenne de consigne en

(a) P_{moya} (en pratique il s'agit de la valeur de consigne affichée pour la conduite du processus) s'exprime en fonction de la puissance instantanée de consigne en (b), $P_b(t)$, de la façon suivante :

$$P_{moya} = \frac{1}{T} \int_0^T P_b(t) \cdot dt$$

tandis que la puissance micro-ondes moyenne mesurée en (g), P_{moyg} s'exprime en fonction de la puissance micro-ondes instantanée régulée en (f), $P_f(t)$, de la façon suivante :

$$P_{moyg} = \frac{1}{T} \int_0^T P_f(t) \cdot dt$$

[0068] Il est parfaitement visible que l'écart entre les deux courbes de puissance de consigne et de puissance effective est très faible.

[0069] Pour que la mise en oeuvre du procédé conforme à l'invention puisse conduire à une régulation aussi précise que possible, il est nécessaire que la valeur utilisée du rendement électrique du magnétron soit aussi exacte que possible. Or cette valeur peut varier considérablement selon les conditions de fonctionnement du magnétron.

[0070] Lorsque le taux d'onde stationnaire (TOS) est relativement peu élevé (typiquement inférieur à environ 2), il n'y a quasiment pas d'énergie réfléchie par la charge et la quasi-totalité de l'énergie micro-ondes est absorbée par la charge. Dans ce cas, le rendement électrique du magnétron peut être considéré comme pratiquement constant, et sa valeur est déterminée par des mesures préalables. C'est cette valeur qui est exploitée et entrée dans les seconds moyens 18 multiplicateurs précités.

[0071] Par contre, si le TOS est relativement élevé (typiquement supérieur à environ 2), l'énergie micro-ondes réfléchie par la charge en direction des moyens 2 d'alimentation électrique est relativement élevée et le rendement électrique du magnétron décroît de façon notable. De façon plus précise, le rendement électrique du magnétron est lié à deux grandeurs caractéristiques des conditions de fonctionnement, à savoir le niveau d'énergie micro-ondes demandé et le TOS. La recherche d'une régulation aussi précise que possible nécessite alors

d'utiliser, pour la mise en oeuvre optimale du procédé de l'invention, une valeur du rendement électrique du magnétron qui soit, non plus constante, mais adaptée aux conditions instantanées de fonctionnement. Dans ces conditions, par des essais préalables, on détermine une valeur approximative du rendement électrique moyen du magnétron pour des couples de valeurs de tension instantanée d'alimentation du magnétron et d'intensité du courant anodique consommé par le magnétron (ou de puissance instantanée consommée par le magnétron). On peut alors établir une table des valeurs de rendement ou une équation de modélisation qui est entrée en mémoire dans le microcontrôleur 10. En fonctionnement, lors de la régulation, le microcontrôleur calcule en deux temps la puissance instantanée émise :

- d'abord mesure du courant anodique instantané et de la tension instantanée appliquée au magnétron, et détermination (par exemple recherche dans la table ou mise en oeuvre de l'équation de modélisation) par le microcontrôleur de la valeur du rendement électrique du magnétron qui correspond au couple des valeurs mesurées,
- puis détermination de la puissance instantanée à partir du couple des valeurs mesurées et de la valeur correspondante déterminée pour le rendement électrique du magnétron.

[0072] L'intérêt de la solution proposée réside dans sa très grande simplicité et à sa très grande économie de mise en oeuvre qui ne fait appel à aucun capteur ou moyen de calcul supplémentaire ; le microcontrôleur étant déjà requis pour le fonctionnement de l'installation dans lequel est inclus le magnétron avec son alimentation électrique régulée et les mesures du courant anodique instantané et de la tension instantanée appliquée au magnétron étant nécessaires par ailleurs, la seule exigence spécifique réside dans la prédétermination d'une table ou d'une équation de modélisation donnant les diverses valeurs du rendement électrique du magnétron en fonction des couples de valeurs courant-tensions instantanés, ce qui, compte tenu des performances des matériels électroniques actuels, ne constitue pas une contrainte pénalisante.

[0073] Les dispositions conformes à l'invention peuvent trouver une application très intéressante dans une installation pour déposer un revêtement sur une face d'au moins un récipient en matériau thermoplastique à l'aide d'un plasma à basse pression par excitation d'un gaz précurseur par des ondes électromagnétiques UHF dans une cavité sous vide de forme cylindrique recevant ledit récipient, cette installation comprenant un générateur d'ondes UHF et un guide d'ondes UHF pour raccorder ledit générateur à une fenêtre de la paroi latérale de la cavité, ledit générateur d'ondes UHF comprenant un magnétron M possédant une anode, des moyens 2 d'alimentation électrique connectés à ladite anode pour alimenter celle-ci en courant sous une haute tension d'alimentation et un dispositif de régulation pour réguler, en fonction d'une consigne de puissance micro-ondes instantanée, l'alimentation électrique du magnétron M. En pratique, il peut s'agir avantageusement d'une installation tournante du type carrousel équipée d'une multiplicité de postes de traitement de récipients dont chacun inclut un magnétron avec son alimentation régulée.

mentation et un dispositif de régulation pour réguler, en fonction d'une consigne de puissance micro-ondes instantanée, l'alimentation électrique du magnétron M. En pratique, il peut s'agir avantageusement d'une installation tournante du type carrousel équipée d'une multiplicité de postes de traitement de récipients dont chacun inclut un magnétron avec son alimentation régulée.

10 Revendications

1. Procédé de régulation pour réguler, en fonction d'une consigne de puissance micro-ondes instantanée, l'alimentation électrique d'un magnétron (M) appartenant à des moyens générateurs d'ondes électromagnétiques UHF, **caractérisé en ce qu'il** comprend les étapes consistant à :

- déterminer au préalable et tenir en mémoire (en 20) au moins une valeur (η) du rendement électrique du magnétron (M) ;
- on saisit (en 19) une valeur de puissance micro-ondes moyenne de consigne (P_{moy}) ;
- on convertit (en 11) cette valeur de puissance micro-ondes moyenne de consigne, pour constituer un signal de puissance instantanée de consigne à basse fréquence ;
- on échantillonne (en 12) ce signal de puissance instantanée de consigne avec une fréquence élevée d'échantillonnage ;
- on mesure (en 8, 9) et on échantillonne (en 16) les valeurs instantanées de courant anodique et de haute tension d'alimentation du magnétron ;
- on calcule (en 17, 18) le produit de la valeur instantanée du courant anodique à un instant d'échantillonnage (n) par la valeur instantanée de la haute tension à cet instant d'échantillonnage (n) et par la valeur préalablement déterminée du rendement électrique (η) du magnétron pour obtenir la valeur de la puissance micro-ondes instantanée mesurée à cet instant d'échantillonnage (n) ;
- on compare (en 13) cette valeur de puissance micro-ondes instantanée mesurée avec la valeur de puissance instantanée de consigne échantillonnée à un instant (n) correspondant et on en déduit une valeur d'écart (ϵ) à cet instant d'échantillonnage (n) ;
- on détermine une valeur de puissance micro-ondes instantanée à l'instant d'échantillonnage immédiatement consécutif (n+1) corrigée en fonction d'une loi de régulation prédéterminée valable audit instant d'échantillonnage immédiatement consécutif (n+1), de ladite valeur d'écart calculée à l'instant d'échantillonnage (n) et de la valeur de la puissance instantanée de

- consigne échantillonnée audit instant d'échantillonnage immédiatement consécutif (n+1) ; et
- on effectue (en 15) une conversion puissance-grandeur électrique de commande pour obtenir un signal analogique de puissance micro-ondes instantanée corrigée propre à commander l'alimentation du magnétron. 5
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'on effectue une conversion puissance-fréquence pour commander des moyens (2) d'alimentation électrique à convertisseur à résonance.** 10
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que**, le taux d'onde stationnaire étant relativement faible et inférieur à une valeur de seuil donnée, le rendement électrique du magnétron est supposé constant et la valeur mesurée par une détermination préalable et tenue en mémoire (en 20) est la valeur du rendement électrique moyen du magnétron. 20
4. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que**, le taux d'onde stationnaire étant relativement élevé et supérieur à un seuil prédéterminé, on établit au préalable et on mémorise une correspondance entre les couples de valeurs mesurées du courant anodique instantané et de la tension instantanée appliqués au magnétron et les valeurs correspondantes du rendement électrique du magnétron **et en ce qu'en fonctionnement la puissance instantanée est déterminée à partir des valeurs mesurées du courant anodique instantané et de la tension instantanée appliquée au magnétron et à partir de la valeur du rendement électrique du magnétron tenue en mémoire (en 20) en correspondance avec le couple de valeurs instantanées mesurées du courant anodique et de la tension.** 25
30
35
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** le magnétron (M) émet des ondes électromagnétiques UHF dans une cavité sous vide de forme sensiblement cylindrique propre à recevoir au moins un récipient en matériau thermoplastique sur une face duquel un revêtement d'un matériau barrière est déposé à l'aide d'un plasma à basse pression par excitation d'un gaz précurseur par lesdites ondes électromagnétiques UHF. 40
45
6. Dispositif de régulation pour réguler, en fonction d'une consigne de puissance micro-ondes instantanée, l'alimentation électrique d'un magnétron (M) d'un générateur d'ondes électromagnétiques UHF, pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les moyens de régulation comprennent : 50
55

des moyens (20) de mémorisation pour tenir en mémoire au moins une valeur préalablement déterminée du rendement électrique (η) du magnétron (M), et
un microcontrôleur (10) comportant :

- des moyens (19) de saisie d'une valeur de puissance micro-ondes moyenne de consigne (Pmoy) ;
- une unité (11) de conversion propre à convertir cette valeur de puissance micro-ondes moyenne de consigne en un signal de puissance instantanée de consigne à basse fréquence ;
- une unité (12) d'échantillonnage propre à échantillonner ce signal de puissance instantanée de consigne avec une fréquence élevée d'échantillonnage ;
- des moyens (8, 9) de mesure et une unité (16) d'échantillonnage propres à capter et à échantillonner les valeurs instantanées de courant anodique et de haute tension d'alimentation du magnétron ;
- des moyens (17, 18) agencés pour calculer le produit de la valeur instantanée du courant anodique à un instant d'échantillonnage (n) par la valeur instantanée de la haute tension à cet instant d'échantillonnage (n) et par la valeur préalablement déterminée du rendement électrique (η) du magnétron pour déterminer la valeur de la puissance micro-ondes instantanée mesurée à cet instant d'échantillonnage (n) ;
- d'un comparateur (13) agencé pour comparer cette valeur de puissance micro-ondes instantanée mesurée avec la valeur de puissance instantanée de consigne échantillonnée à un instant (n) correspondant et délivrer une valeur d'écart (ϵ) à cet instant d'échantillonnage (n) ;
- des moyens de détermination d'une valeur de puissance micro-ondes instantanée à l'instant d'échantillonnage immédiatement consécutif (n+1) corrigée en fonction d'une loi de régulation prédéterminée valable audit instant d'échantillonnage immédiatement consécutif (n+1), de ladite valeur d'écart calculée à l'instant d'échantillonnage (n) et de la valeur de puissance instantanée de consigne échantillonnée à l'instant d'échantillonnage immédiatement consécutif (n+1) ; et
- des moyens (15) convertisseurs puissance-grandeur électrique de commande propres à effectuer une conversion entre la puissance et la grandeur électrique de commande de la valeur de puissance micro-ondes instantanée corrigée pour obtenir un si-

gnal analogique de puissance micro-ondes instantanée corrigée propre à la commande de l'alimentation du magnétron.

7. Dispositif selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** les moyens (2) d'alimentation électrique sont du type à convertisseur à résonance dont la fréquence de résonance est la grandeur électrique de commande et les moyens convertisseurs puissance-grandeur électrique de commande sont des moyens convertisseurs puissance-fréquence. 5
8. Dispositif selon la revendication 6 ou 7, **caractérisé en ce que**, le taux d'onde stationnaire étant relativement faible et inférieur à une valeur de seuil donnée et le rendement électrique du magnétron étant supposé constant, les moyens (20) de mémorisation sont propres à tenir en mémoire une valeur préalablement déterminée du rendement électrique moyen du magnétron. 10
9. Dispositif selon la revendication 6 ou 7, **caractérisé en ce que**, le taux d'onde stationnaire étant relativement élevé et supérieur à un seuil prédéterminé et une pluralité de valeurs du rendement électrique du magnétron étant déterminées en correspondance avec une pluralité identique de couples de valeurs respectives mesurées du courant anodique instantané et de la tension instantanée appliqués au magnétron, les moyens (20) de mémorisation sont propres à tenir en mémoire ladite pluralité de valeurs du rendement électrique du magnétron en correspondance avec ladite pluralité identique de couples de valeurs respectives mesurées du courant anodique instantané et de la tension instantanée appliqués au magnétron. 15
10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 9, **caractérisé en ce que** les moyens (2) d'alimentation électrique de l'anode du magnétron (M) comprennent une alimentation électrique à découpage à résonance incorporant un pont d'interrupteurs (Q1-Q4) de puissance commandés par paires respectivement par deux unités (3, 4) de commande et un filtre (5) à résonance monté dans une diagonale dudit pont d'interrupteurs et **en ce que** les susdits moyens (15) convertisseurs puissance-fréquence ont deux sorties en opposition de phase qui sont connectées respectivement auxdites deux unités (3, 4) de commande. 20
11. Installation pour déposer un revêtement sur une face d'au moins un récipient en matériau thermoplastique à l'aide d'un plasma à basse pression par excitation d'un gaz précurseur par des ondes électromagnétiques UHF dans une cavité sous vide de forme cylindrique recevant ledit récipient, cette installation comprenant un générateur d'ondes UHF et un guide 25

d'ondes UHF pour raccorder ledit générateur à une fenêtre de la paroi latérale de la cavité, ledit générateur d'ondes UHF comprenant un magnétron (M) possédant une anode, des moyens (2) d'alimentation électrique connectés à ladite anode pour alimenter celle-ci en courant sous une haute tension d'alimentation et un dispositif de régulation pour réguler, en fonction d'une consigne de puissance micro-ondes instantanée, l'alimentation électrique du magnétron (M), **caractérisée en ce que** le dispositif de régulation est agencé selon l'une quelconque des revendications 6 à 10. 30

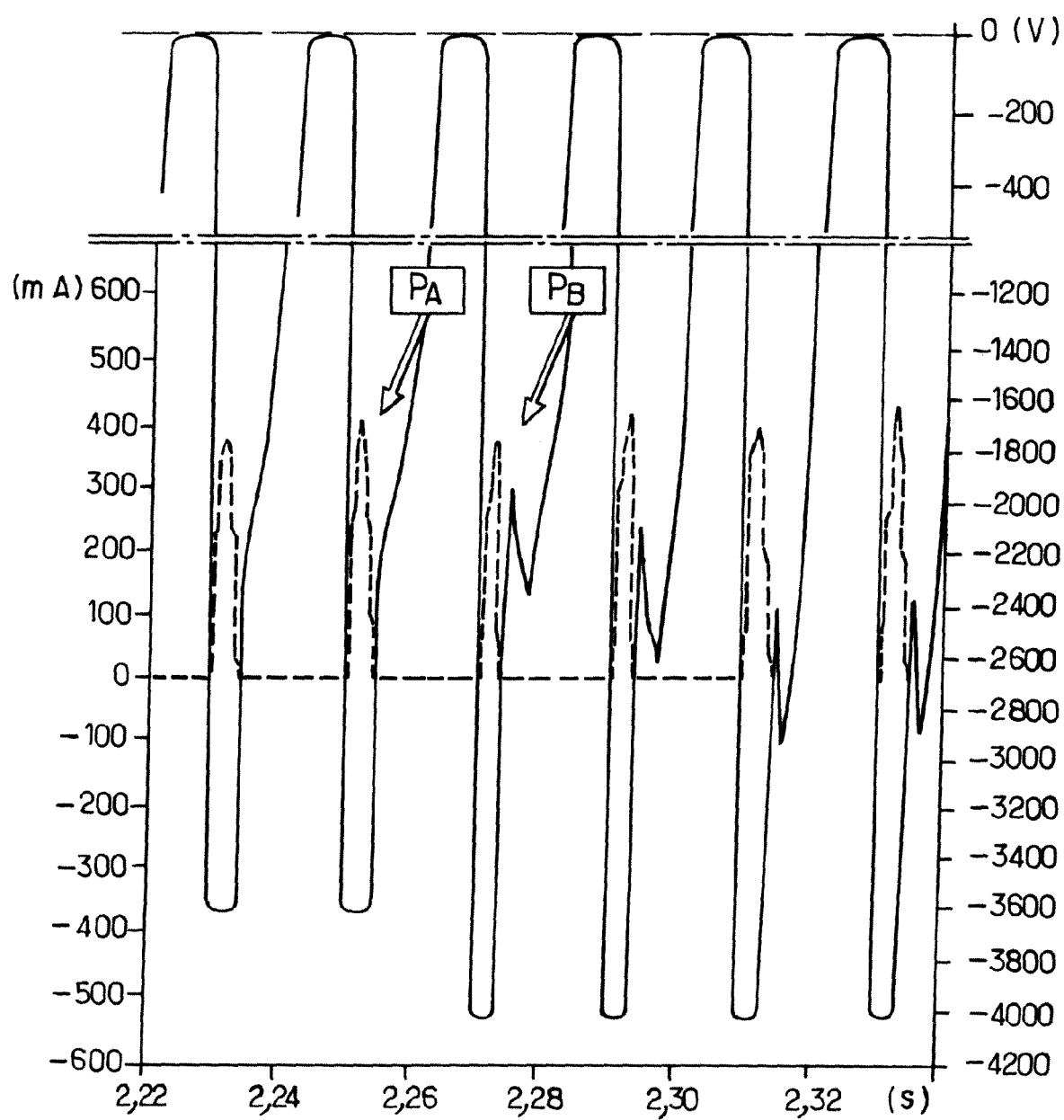


FIG.1.

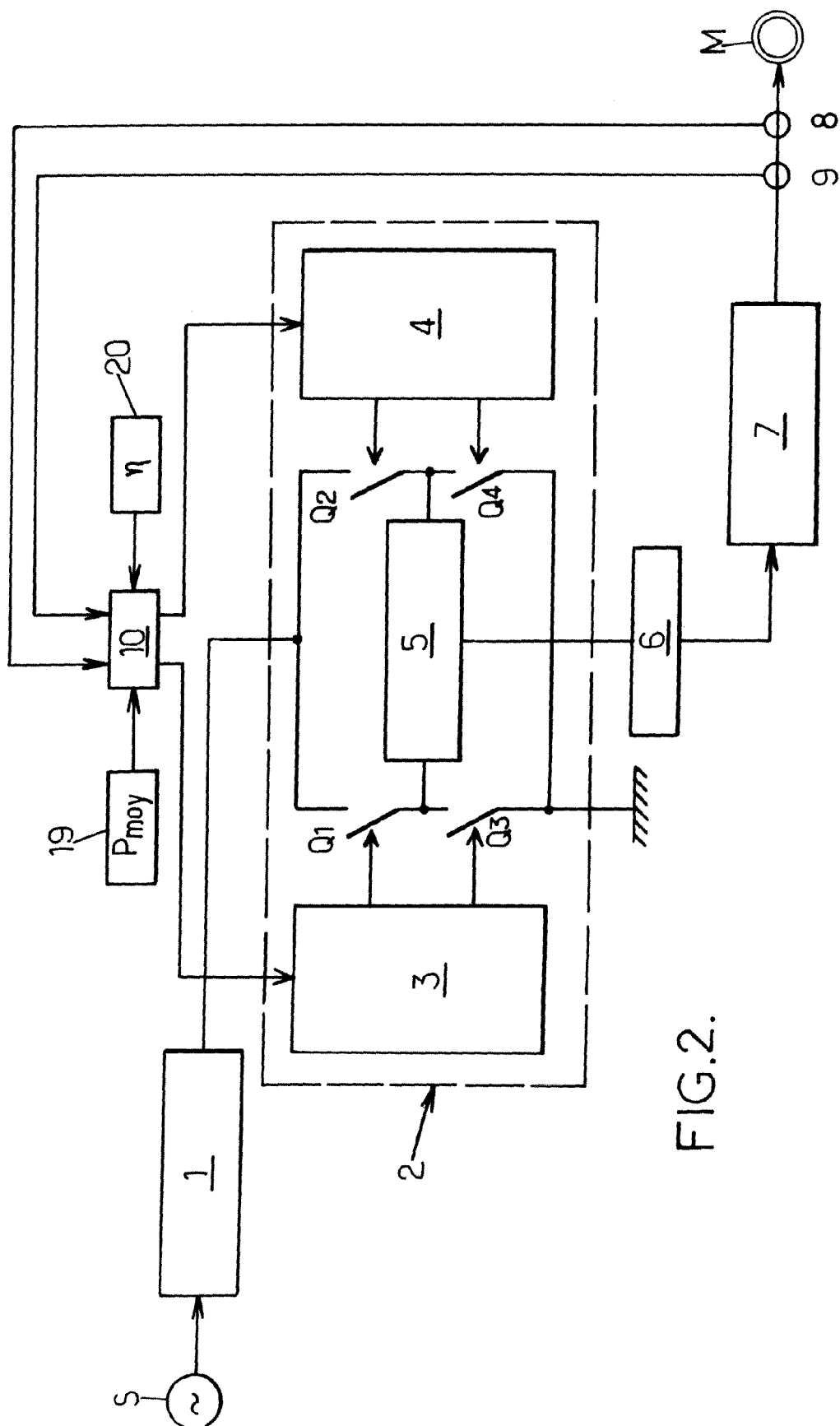


FIG. 2.

FIG.3.

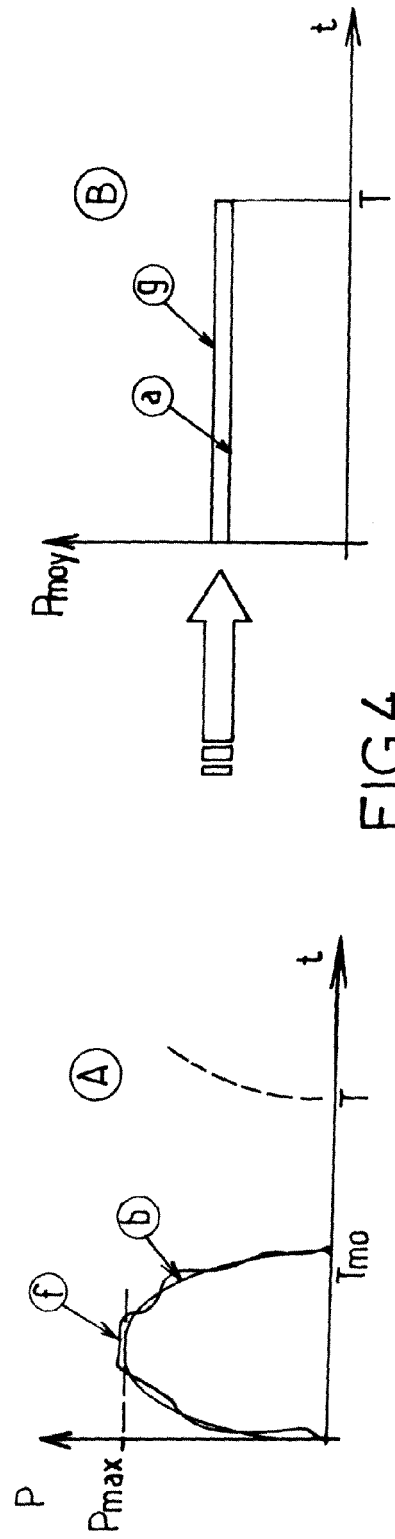
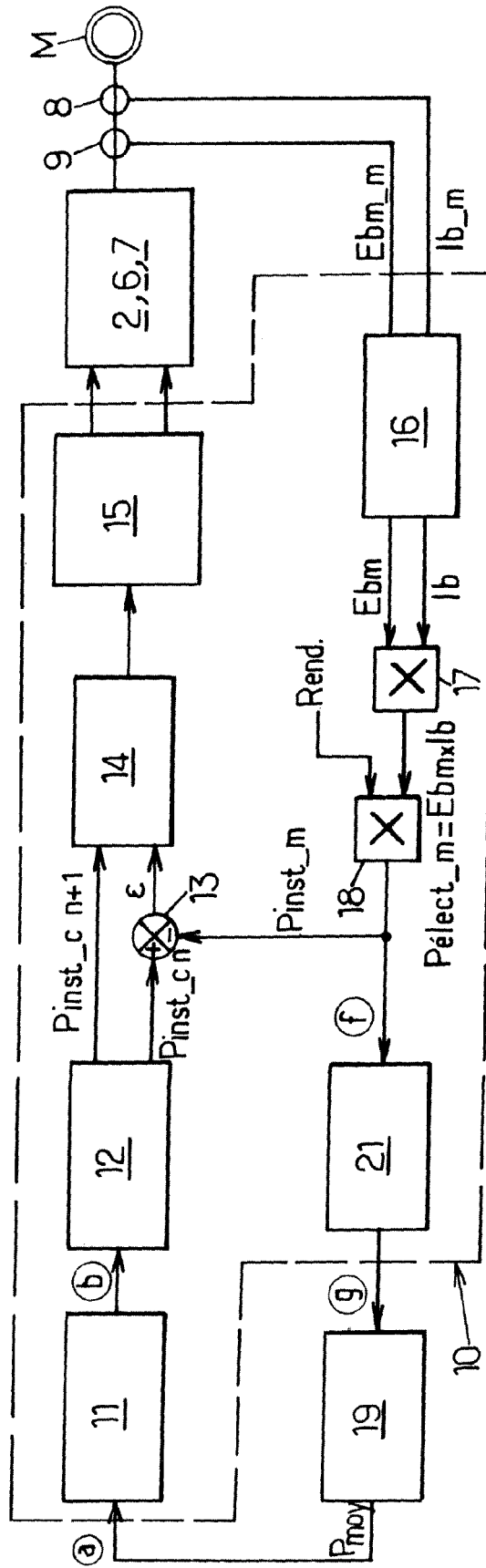


FIG.4.



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 07 11 8496

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	US 4 447 693 A (BUCK RONALD G [US]) 8 mai 1984 (1984-05-08)	1,6	INV. H05B6/68 C23C16/511 H05H1/46
A	* colonne 5, ligne 67 - colonne 10, ligne 10; figures 1-3,6,7 *	5,11	
A	----- EP 0 252 889 A2 (ALFASTAR AB [SE]) 13 janvier 1988 (1988-01-13) * le document en entier *	1,7	
A	----- EP 1 561 840 A (TOYO SEIKAN KAISYA LTD [JP]) 10 août 2005 (2005-08-10) * alinéas [0113], [0114]; figure 9 *	5,11	
A	-----	1,6	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			H05B C23C H05H
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
Munich		28 janvier 2008	Tasiaux, Baudouin
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES 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 antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

7

EPO FORM 1503 03 82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 07 11 8496

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

28-01-2008

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 4447693	A	08-05-1984	AUCUN	

EP 0252889	A2	13-01-1988	AU 7701487 A	29-01-1988
			BR 8707376 A	13-09-1988
			CN 87104609 A	03-02-1988
			DK 115788 A	03-03-1988
			FI 880997 A	03-03-1988
			IN 170963 A1	20-06-1992
			JP 1500233 T	26-01-1989
			SE 453043 B	04-01-1988
			WO 8800425 A1	14-01-1988
			US 4939330 A	03-07-1990

EP 1561840	A	10-08-2005	AU 2003271138 A1	04-05-2004
			CA 2501211 A1	22-04-2004
			WO 2004033753 A1	22-04-2004
			KR 20050084844 A	29-08-2005
			US 2006138099 A1	29-06-2006

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

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

- FR 2776540 [0004]
- FR 2783667 [0004]
- FR 2792854 [0004]
- FR 2847912 [0004]