

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 25.10.06.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 02.05.08 Bulletin 08/18.

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

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71 Demandeur(s) : *SIDEL PARTICIPATIONS Société par actions simplifiée — FR.*

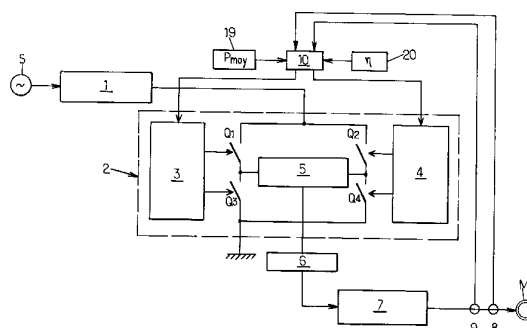
72 Inventeur(s) : CETINEL ERTAN et CHOMEL NICOLAS.

73 Titulaire(s) :

74 Mandataire(s) : CABINET PLASSERAUD.

54 PROCÉDE ET DISPOSITIF DE REGULATION D'ALIMENTATION ELECTRIQUE D'UN MAGNETRON, ET INSTALLATION DE TRAITEMENT DE RECIPIENTS 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 ( $\eta$ ) du rendement électrique du magnétron; mesurer (8, 9) l'intensité instantanée du courant anodique et la haute tension instantanée appliquées au magnétron; calculer (10) la différence entre la puissance micro-ondes instantanée de consigne et le produit intensité x haute tension; et modifier la valeur de la puissance micro-ondes instantanée délivrée au magnétron en fonction de la consigne, de la différence calculée et d'une loi de régulation prédéterminée.



**PROCEDE ET DISPOSITIF DE REGULATION D'ALIMENTATION  
ELECTRIQUE D'UN MAGNETRON, ET INSTALLATION DE TRAITEMENT  
DE RECIPIENTS THERMOPLASTIQUES QUI EN FAIT APPLICATION**

5           La présente invention concerne des perfection-  
nements 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  
10 électromagnétiques UHF.

          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  
15 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 électroma-  
20 gnétiques 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.

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

          Le document FR 2 776 540 expose un tel processus  
30 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.

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.

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 œuvre 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  
5 de mise en œuvre et de fonctionnement des moyens techniques est un souci constant.

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  
10 industriel à vitesse élevée, de trouver une solution spécifique et économique pour contrôler avec précision le fonctionnement du magnétron.

On rappellera que le magnétron, qui est le cœur de tout système utilisant des micro-ondes, transforme une  
15 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  
20 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  
25 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  
30 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.

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, 5 la variation du rendement électrique est de l'ordre de 2,8 % pour une puissance micro-ondes émise variant de 350 à 900 W).

Toutefois, toutes ces caractéristiques du magnétron ne sont valides que lorsque le magnétron est 10 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.

Or, dans le cas des dispositifs plus 15 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 excitation d'un gaz précurseur par des ondes électromagnétiques UHF dans une cavité sous vide de forme 20 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 25 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 30 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.

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.

Pour tenter de maintenir à la valeur de consigne la puissance micro-ondes effectivement émise par le magnétron, il est connu de mettre en œuvre 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.

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.

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).

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 réfléchié 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 réfléchié qui est moindre.

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  $360 \times 3$ , soit 1080 W ;

- impulsion PB : le courant anodique a une valeur de 305 mA ; la puissance micro-ondes instantanée délivrée par le magnétron est  $305 \times 3$ , soit 915 W.

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.

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.

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.

A ces fins, selon un premier de ses aspects l'invention propose un procédé de régulation pour réguler, 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

5 étapes consistant à :

- déterminer au préalable et tenir en mémoire au moins une valeur du rendement électrique du magnétron,
- mesurer l'intensité instantanée du courant anodique appliqué à l'anode du magnétron,
- 10 - mesurer la haute tension instantanée appliquée au magnétron,
- calculer la différence entre la puissance micro-ondes instantanée de consigne et le produit de la valeur mesurée de l'intensité instantanée du courant anodique par la valeur mesurée de la haute tension instantanée appliquée au magnétron et par la valeur  
15 préalablement déterminée du rendement électrique du magnétron, et
- modifier la valeur de la puissance micro-ondes instantanée délivrée au magnétron en fonction  
20
  - de la consigne de puissance micro-ondes instantanée,
  - de ladite différence calculée, et
  - d'une loi de régulation prédéterminée.

25 Grâce à la mise en œuvre 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.

30 Si l'on reprend l'exemple numérique cité plus haut relatif aux impulsions PA et PB, les résultats obtenus par mise en œuvre 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%,  
5 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  
10 instantanée émise du magnétron est de 910 W.

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  
15 œuvre d'une régulation conforme à l'invention permet, de façon simple et avec une mise en œuvre 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 œuvre  
20 jusqu'alors.

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

Dans un mode de mise en œuvre avantageux en raison de la vitesse élevée de sa réponse, le procédé selon  
25 l'invention peut faire appel à la suite des étapes suivantes :

- on saisit une valeur de puissance micro-ondes moyenne de consigne ;
- on convertit cette valeur de puissance micro-ondes  
30 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  
5 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  
10 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  
15 instant d'échantillonnage;
- on détermine une valeur de puissance micro-ondes instantanée à l'instant d'échantillonnage immédiatement consécutif corrigée en fonction de la loi de régulation prédéterminée valable audit instant d'échantillonnage  
20 immédiatement consécutif, de ladite valeur d'écart calculée à l'instant d'échantillonnage et de la valeur de la puissance instantanée de consigne échantillonnée à l'instant d'échantillonnage immédiatement consécutif; et
- 25 - 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.
- 30 Dans un mode de mise en œuvre particulier du procédé de l'invention, on effectue une conversion puissance-fréquence pour commander des moyens d'alimentation électrique à convertisseur à résonance.

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  
5 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  
10 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  
15 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  
20 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 correspondance avec le  
25 couple des valeurs instantanées mesurées du courant anodique et de la tension.

Le procédé qui vient d'être exposé peut trouver une application tout particulièrement intéressante lorsque le magnétron émet des ondes électromagnétiques UHF dans  
30 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.

Selon un second de ses aspects, l'invention propose un dispositif de régulation pour réguler, en  
5 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 œuvre du procédé exposé ci-dessus et étant agencé conformément à  
10 l'invention, se caractérise en ce que les moyens de régulation comprennent :

- des moyens de mémorisation pour tenir en mémoire au moins une valeur du rendement électrique du magnétron,
- des moyens de mesure d'intensité de courant propres à  
15 mesurer l'intensité instantanée du courant anodique appliqué à l'anode du magnétron,
- des moyens de mesure de tension propres à mesurer la haute tension instantanée appliquée au magnétron,
- des moyens agencés pour calculer la différence entre la  
20 puissance micro-ondes instantanée de consigne et le produit de la valeur mesurée de l'intensité instantanée du courant anodique par la valeur mesurée de la haute tension instantanée appliquée au magnétron et par la valeur préalablement déterminée du rendement électrique  
25 du magnétron, et
- des moyens de conversion pour modifier la valeur de la puissance micro-ondes instantanée délivrée au magnétron en fonction :
  - de la consigne de puissance micro-ondes  
30 instantanée,
  - de ladite différence calculée, et
  - d'une loi de régulation prédéterminée.

Un tel dispositif peut être agencé pour mettre en œuvre diverses variantes de régulation.

- De préférence, le dispositif selon l'invention peut faire appel à un microcontrôleur qui, dans un mode de réalisation avantageux, peut comprendre :
- 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 ;
  - 15 - 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 ;
  - 20 - d'un moyen comparateur agencé pour comparer cette valeur de puissance micro-ondes instantanée mesurée avec la valeur de puissance instantanée de consigne échantillonnée à un instant correspondant et délivrer une valeur d'écart à cet instant d'échantillonnage ;
  - 30 - des moyens de détermination d'une valeur de puissance micro-ondes instantanée à l'instant d'échantillonnage

immédiatement consécutif corrigée en fonction de la 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.

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.

Dans un exemple de réalisation simple pouvant être mis en œuvre 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.

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.

Dans un mode de réalisation préféré, les moyens d'alimentation électrique de l'anode du magnétron  
5 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  
10 convertisseurs puissance-fréquence ont deux sorties en opposition de phase qui sont connectées respectivement auxdites deux unités de commande.

Le dispositif de régulation qui vient d'être exposé peut être mis en œuvre de façon particulièrement  
15 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  
20 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  
25 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  
30 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.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description détaillée de certains modes de réalisation  
5 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  
10 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  
15 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  
20 œuvre les moyens conformes à l'invention ;

- la figure 3 est un schéma synoptique d'un exemple de réalisation d'un microcontrôleur mis en œuvre dans le dispositif de la figure 2 ; et

- la figure 4 est un graphique résumant le mode de  
25 fonctionnement du dispositif des figures 2 et 3.

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  
30 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.

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  
5 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.

En pratique, on pourra de préférence avoir recours  
10 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  
15 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.

Ce filtre 5 à résonance, situé dans la branche de  
20 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.

25 Le fonctionnement de cette alimentation est connu de l'homme du métier et on le rappellera brièvement ci-après.

Le filtre à résonance module l'amplitude du signal d'entrée. La valeur de cette variation d'amplitude est  
30 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.

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.

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  $I_b$  du courant anodique et la valeur instantanée  $E_{bm}$  de la haute tension qui sont délivrés sur l'anode du magnétron M.

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.

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 œuvre une technique de modulation en largeur d'impulsions.

10           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  
15           souhaitée pour le fonctionnement du dispositif.

          Enfin des moyens 20 de mémorisation, raccordés au microcontrôleur 10, tiennent en mémoire au moins une valeur du rendement électrique  $\eta$  du magnétron M qui a été prédéterminée.

20           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  
25           électrique du magnétron  
          puis calcule la différence entre la puissance instantanée micro-ondes de consigne et la puissance instantanée mesurée.

          Puis, à partir  
30           • 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,

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

Si l'on reprend l'exemple numérique cité plus haut relatif aux impulsions PA et PB, les résultats obtenus par  
10 mise en œuvre 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%,  
15 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  
20 du magnétron de 73,7%, la puissance micro-ondes instantanée du magnétron est de 910 W.

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  
25 fonctionne ainsi dans des conditions de régularité bien meilleures que dans les dispositifs actuels.

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

La puissance moyenne de consigne  $P_{moy}$  qui est  
30 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 5 20 kHz, ce qui conduit à environ 200 points de mesure sur une période T du signal de puissance instantanée de consigne.

L'unité 12 d'échantillonnage est pourvue de deux sorties délivrant les valeurs d'échantillonnage en deux 10 points consécutifs d'échantillonnage n et n+1 respectivement.

La sortie recevant la valeur  $P_{inst\_c}$  au point d'échantillonnage n est raccordée à une entrée (par exemple l'entrée +) d'un comparateur 13, tel qu'un 15 comparateur algébrique. L'autre entrée (entrée -) du comparateur 13 algébrique reçoit le signal d'une boucle de régulation qui est constituée comme suit.

Les signaux de haute tension instantanée mesurée  $E_{bm\_m}$  et de courant anodique instantané mesuré  $I_{b\_m}$  sont 20 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  $E_{bm}$  et  $I_b$  sont appliquées à des premiers 25 moyens 17 multiplicateurs fournissant la puissance électrique instantanée mesurée  $P_{elect\_m} = E_{bm} \times I_b$ , autrement dit la puissance électrique effectivement délivrée au magnétron.

Cette grandeur est à son tour appliquée à une 30 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  $P_{inst\_m}$ , autrement dit la puissance effectivement transformée en puissance micro-ondes par le magnétron. A partir de la puissance micro-ondes instantanée mesurée  $P_{inst\_m}$ , on calcule, à l'aide de  
5    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.

10            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.

La sortie du comparateur 13, sur laquelle apparaît la valeur de l'écart  $\varepsilon$  entre les puissances micro-ondes  
15    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 prédéterminée, qui possède une entrée principale raccordée à l'autre sortie de l'unité 12 d'échantillonnage qui  
20    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  $\varepsilon$  calculée à l'instant d'échantillonnage au point  $n$ , en fonction de la valeur de la puissance instantanée de consigne échantillonnée audit  
25    instant d'échantillonnage immédiatement consécutif, au point  $n+1$ , et de la loi de régulation prédéterminée valable audit instant d'échantillonnage au point  $n+1$ .

La sortie de l'unité 14 de correction est raccordée à une unité 15 de conversion puissance/grandeur  
30    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  $F_{\max}$ .

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.

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 consistant à :

- déterminer au préalable et tenir en mémoire dans les moyens 20 de mémorisation au moins une valeur  $\eta$  du rendement électrique du magnétron M,
- mesurer, grâce aux moyens 8 de mesure, l'intensité instantanée du courant anodique appliqué à l'anode du magnétron M,
- mesurer, grâce aux moyens 9 de mesure, la haute tension instantanée appliquée au magnétron M,
- calculer, grâce à l'agencement des moyens 16-18, 13, la différence entre la puissance micro-ondes instantanée de consigne et le produit de la valeur mesurée de l'intensité instantanée du courant anodique par la valeur mesurée de la haute tension instantanée appliquée au magnétron et par la valeur préalablement déterminée du rendement électrique du magnétron M, et

- modifier, dans les unités 14, 15 de conversion, la valeur de la puissance micro-ondes instantanée délivrée au magnétron M en fonction:

- de la consigne de puissance micro-ondes instantanée,
- de ladite différence calculée, et
- d'une loi de régulation prédéterminée.

De préférence, on peut avoir recours à la suite des étapes suivantes :

- 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  $\varepsilon$  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.

Le procédé ci-dessus peut être mis en œuvre 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  $\eta$  du magnétron  $M$ ,
- des moyens 8 de mesure d'intensité de courant propres à mesurer l'intensité instantanée du courant anodique appliqué à l'anode du magnétron  $M$ ,
- des moyens 9 de mesure de tension propres à mesurer la haute tension instantanée appliquée au magnétron  $M$ ,
- des moyens 16-18, 13 agencés pour calculer la différence  $\varepsilon$  entre la puissance micro-ondes instantanée de consigne et le produit de la valeur mesurée de l'intensité instantanée du courant anodique par la

- valeur mesurée de la haute tension instantanée appliquée au magnétron et par la valeur préalablement déterminée du rendement électrique du magnétron M, et
- des unités 14, 15 de conversion pour modifier la valeur
- 5 de la puissance micro-ondes instantanée délivrée au magnétron M en fonction :
- de la consigne de puissance micro-ondes instantanée,
  - de ladite différence calculée, et
  - d'une loi de régulation prédéterminée.
- 10 De façon préférée, ce dispositif peut comprendre 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
- 15 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
- 20 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 ;
- 25 - 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
- 30 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  
5 une valeur d'écart  $\varepsilon$  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  
10 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
- 15 - 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  
20 de puissance micro-ondes instantanée corrigée propre à la commande de l'alimentation du magnétron.

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

- 25 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  
30 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.

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 :

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

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 :

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

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

Pour que la mise en œuvre 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  
5 selon les conditions de fonctionnement du magnétron.

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  
10 et entrée dans les seconds moyens 18 multiplicateurs précités.

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 œuvre optimale du procédé de l'invention, une valeur du rendement électrique du magnétron qui soit, non plus constante, mais adaptée aux  
25 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  
30

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  
5 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  
10 tension instantanée appliquée au magnétron, et détermination (par exemple recherche dans la table ou mise en œuvre de l'équation de modélisation) par le microcontrôleur de la valeur du rendement électrique du magnétron qui correspond au couple des valeurs  
15 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.

20 L'intérêt de la solution proposée réside dans sa très grande simplicité et à sa très grande économie de mise en œuvre qui ne fait appel à aucun capteur ou moyen de calcul supplémentaire ; le microcontrôleur étant déjà requis pour le fonctionnement de l'installation dans  
25 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  
30 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.

Les dispositions conformes à l'invention peuvent trouver une application très intéressante dans une  
5 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  
10 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  
15 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  
20 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.

**REVENDECATIONS**

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 ( $\eta$ ) du rendement électrique du magnétron (M),
  - mesurer (en 8) l'intensité instantanée du courant anodique appliqué à l'anode du magnétron (M),
  - mesurer (en 9) la haute tension instantanée appliquée au magnétron (M),
  - calculer (en 16-18, 13) la différence entre la puissance micro-ondes instantanée de consigne et le produit de la valeur mesurée de l'intensité instantanée du courant anodique par la valeur mesurée de la haute tension instantanée appliquée au magnétron et par la valeur ( $\eta$ ) préalablement déterminée du rendement électrique du magnétron (M), et
  - modifier (en 14, 15) la valeur de la puissance micro-ondes instantanée délivrée au magnétron (M) en fonction:
    - de la consigne de puissance micro-ondes instantanée,
    - de ladite différence calculée, et
    - d'une loi de régulation prédéterminée.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé par la suite des étapes suivantes :
- 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  
5 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,
- 10 - 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  
15 électrique 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  
20 instantanée de consigne échantillonnée à un instant (n) correspondant et on en déduit une valeur d'écart ( $\varepsilon$ ) à cet instant d'échantillonnage (n);
- on détermine une valeur de puissance micro-ondes instantanée à l'instant d'échantillonnage immédiatement  
25 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  
30 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.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'on effectue une conversion puissance-fréquence pour commander des moyens (2) d'alimentation électrique à convertisseur à résonance.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, 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.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, 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.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, 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  
5 électromagnétiques UHF.

7. 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  
10 mise en œuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les moyens de régulation comprennent :
- des moyens (20) de mémorisation pour tenir en mémoire  
15 au moins une valeur préalablement déterminée du rendement électrique ( $\eta$ ) du magnétron (M),
  - des moyens (8) de mesure d'intensité de courant propres à mesurer l'intensité instantanée du courant anodique appliqué à l'anode du magnétron (M),
  - 20 - des moyens (9) de mesure de tension propres à mesurer la haute tension instantanée appliquée au magnétron (M),
  - des moyens (16-18, 13) agencés pour calculer la différence ( $\varepsilon$ ) entre la puissance micro-ondes  
25 instantanée de consigne et le produit de la valeur mesurée de l'intensité instantanée du courant anodique par la valeur mesurée de la haute tension instantanée appliquée au magnétron et par la valeur préalablement déterminée du rendement électrique du magnétron (M), et
  - 30 - des moyens (14, 15) de conversion pour modifier la valeur de la puissance micro-ondes instantanée délivrée au magnétron (M) en fonction :
    - de la consigne de puissance micro-ondes instantanée,

- de ladite différence calculée, et
- d'une loi de régulation prédéterminée.

8. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce qu'il comprend 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 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 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 ( $\varepsilon$ ) 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 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 signal analogique de puissance micro-ondes instantanée corrigée propre à la commande de l'alimentation du magnétron.

9. Dispositif selon la revendication 8, 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.

10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 7 à 9, 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.

11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 7 à 9, 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.

**12.** Dispositif selon l'une quelconque des revendications **7 à 11**, 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.

**13.** 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  
5 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 **7 à**  
**12.**

1/3

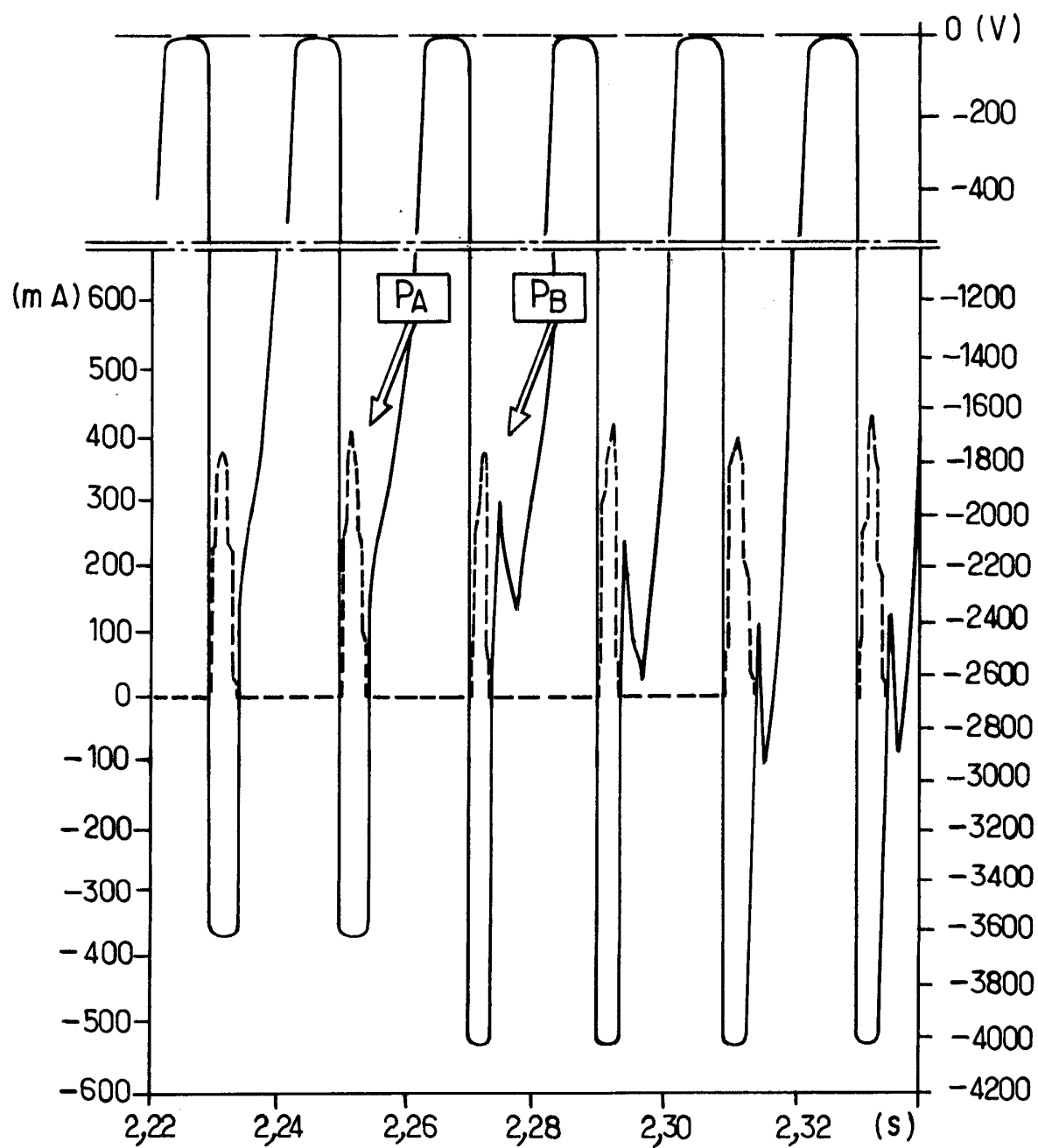


FIG.1.

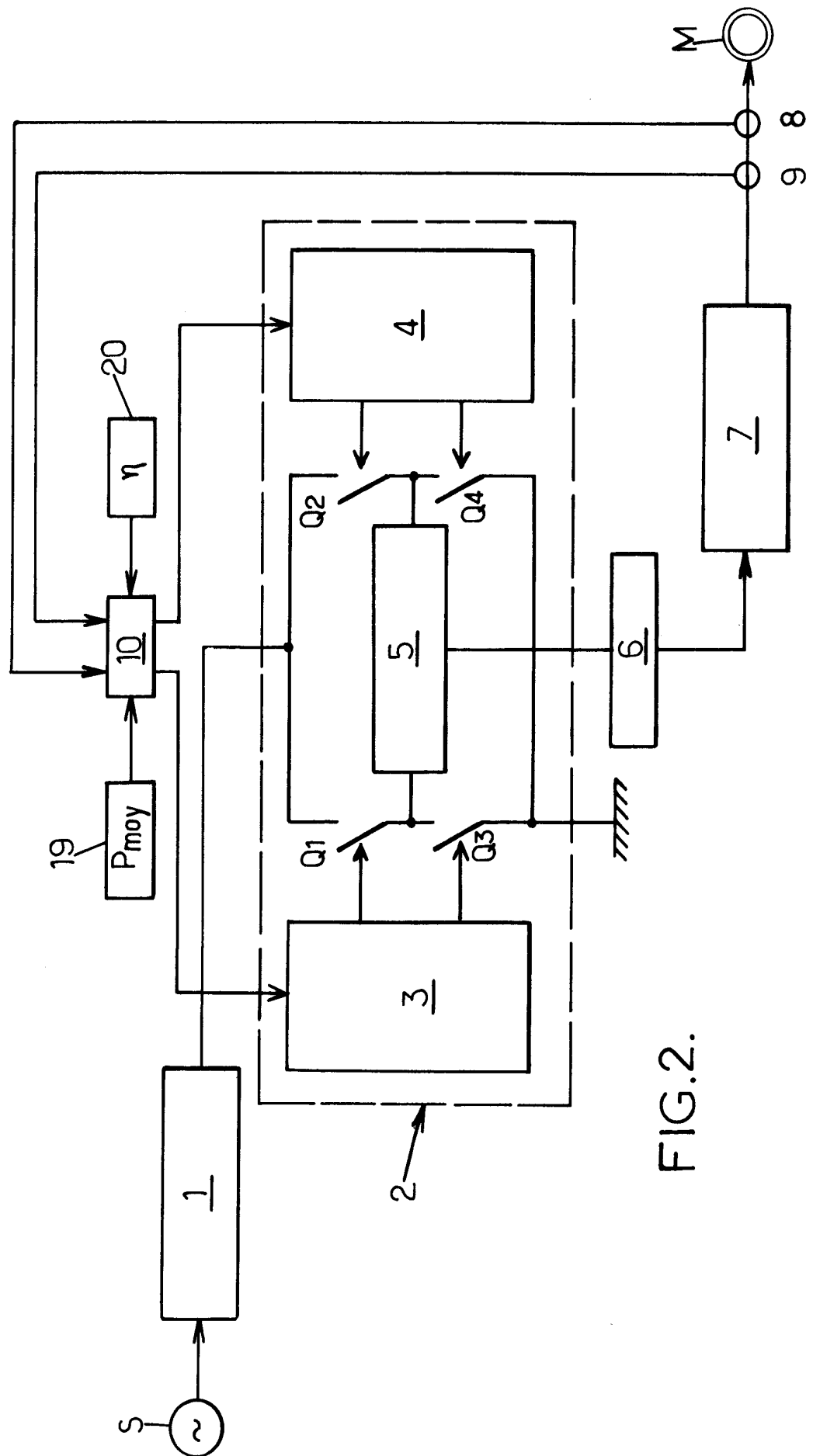
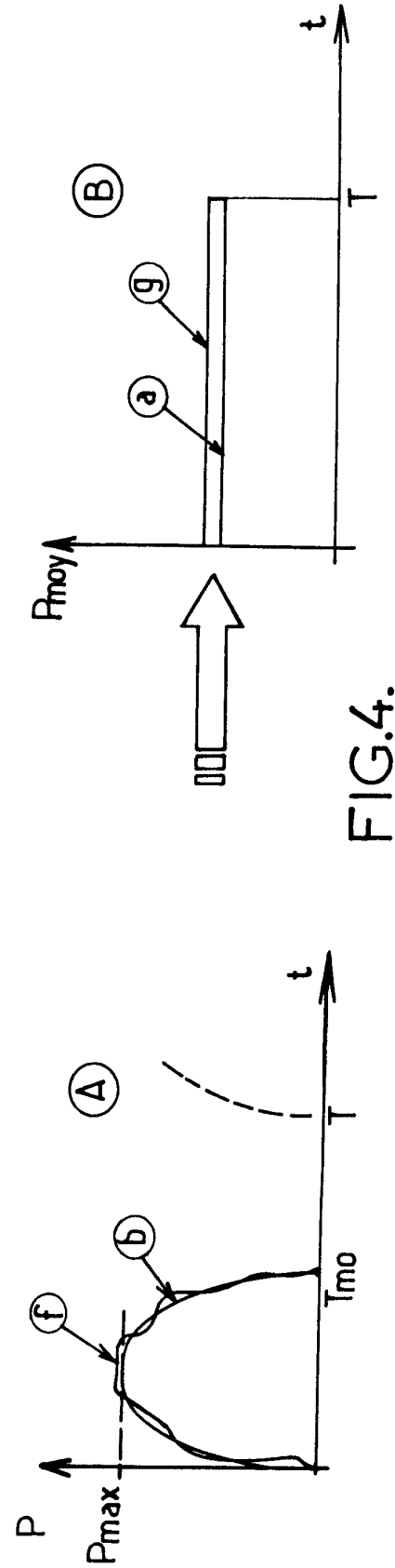
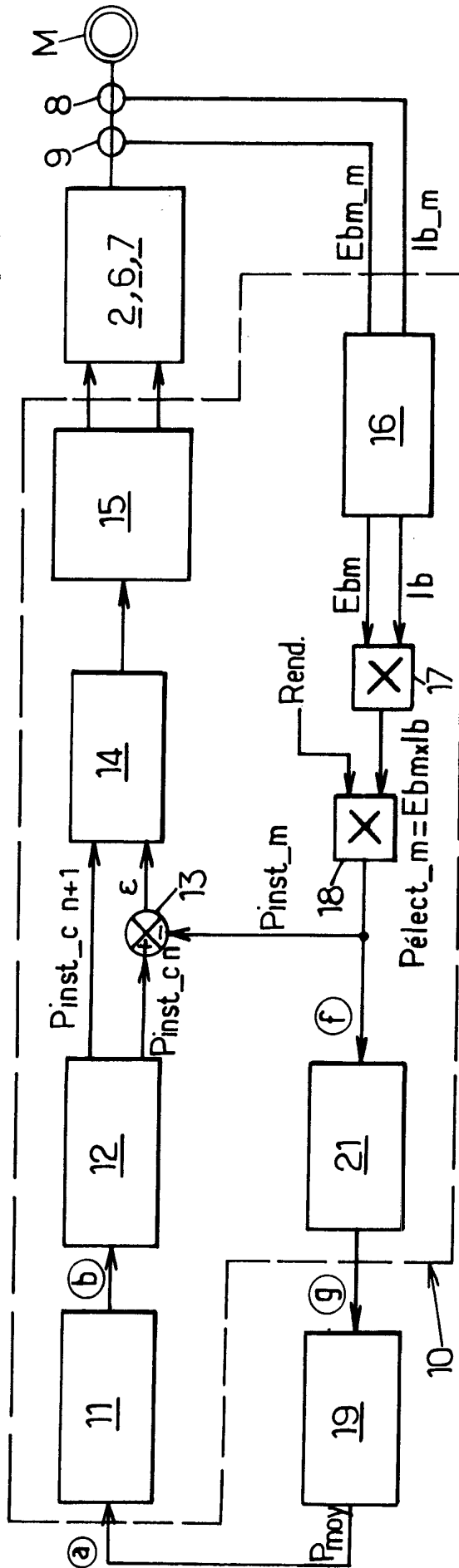


FIG. 2.

3/3

FIG.3.





## RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement  
national

FA 685385  
FR 0609379

| DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                   | Revendication(s)<br>concernée(s) | Classement attribué<br>à l'invention par l'INPI |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------|
| Catégorie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Citation du document avec indication, en cas de besoin,<br>des parties pertinentes                                |                                  |                                                 |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | US 4 447 693 A (BUCK RONALD G [US])<br>8 mai 1984 (1984-05-08)                                                    | 1,7                              |                                                 |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | * colonne 5, ligne 67 - colonne 10, ligne<br>10; figures 1-3,6,7 *                                                | 6,13                             |                                                 |
| -----                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                   |                                  |                                                 |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | EP 0 252 889 A2 (ALFASTAR AB [SE])<br>13 janvier 1988 (1988-01-13)<br>* le document en entier *                   | 1,7                              |                                                 |
| -----                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                   |                                  |                                                 |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | EP 1 561 840 A (TOYO SEIKAN KAISYA LTD<br>[JP]) 10 août 2005 (2005-08-10)<br>* alinéas [0113], [0114]; figure 9 * | 6,13                             |                                                 |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | -----                                                                                                             | 1,7                              |                                                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                   |                                  | DOMAINES TECHNIQUES<br>RECHERCHÉS (IPC)         |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                   |                                  | H05B<br>C23C<br>H05H                            |
| Date d'achèvement de la recherche                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                   | Examineur                        |                                                 |
| 14 février 2007                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                   | Tasiaux, Baudouin                |                                                 |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;">CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul<br/>Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un<br/>autre document de la même catégorie<br/>A : arrière-plan technologique<br/>O : divulgation non-écrite<br/>P : document intercalaire</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention<br/>E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure<br/>à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date<br/>de dépôt ou qu'à une date postérieure.<br/>D : cité dans la demande<br/>L : cité pour d'autres raisons<br/>.....<br/>&amp; : membre de la même famille, document correspondant</p> </div> </div> |                                                                                                                   |                                  |                                                 |

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE****RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0609379 FA 685385**

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

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **14-02-2007**

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

| Document brevet cité<br>au rapport de recherche |    | Date de<br>publication | Membre(s) de la<br>famille de brevet(s) | Date de<br>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          |
| -----                                           |    |                        |                                         |                        |