

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 79 19713

(54) Appareil à hyperfréquences du type magnétron.

(51) Classification internationale (Int. Cl. ³). H 01 J 25/50; H 05 H 1/18.

(22) Date de dépôt..... 31 juillet 1979.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 7 du 13-2-1981.

(71) Déposant : DODONOV Jury Ignatievich et KOSTYATNIKOVA Saida Ibragimovna, résidant en URSS.

(72) Invention de : Jury Ignatievich Dodonov et Saida Ibragimovna Kostyatnikova.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Cabinet Plasseraud,
84, rue d'Amsterdam, 75009 Paris.

La présente invention concerne le domaine des appareils à vide à hyperfréquences, et plus particulièrement un appareil à hyperfréquences du type magnétron.

La présente invention peut être utilisée avantageusement en électronique hyperfréquence industrielle à puissance élevée, et notamment dans les grandes installations mettant en oeuvre l'énergie hyperfréquence pour le chauffage de plasma et pour l'obtention de la réaction de fusion thermonucléaire, dans les grands accélérateurs d'électrons linéaires à haute énergie, dans les grandes installations industrielles en hyperfréquences, en chimie des plasmas pour obtenir des nouveaux matériaux, ainsi que dans d'autres machines industrielles et agricoles.

A l'heure actuelle, l'électronique hyperfréquence de puissance se développe en augmentant la puissance de sortie impulsionnelle et continue (ou moyenne) et la quantité d'énergie par impulsion lors de la génération de micro-ondes par les appareils électroniques. Ces appareils convertissent l'énergie de sources de courant continu en énergie hyperfréquence par interaction de faisceaux électroniques émis par une cathode et accélérés sous l'action du potentiel de l'anode et d'un champ électromagnétique hyperfréquence produit par le système de ralentissement de l'anode.

La puissance de sortie des appareils à hyperfréquence et, en particulier, des appareils à hyperfréquences du type magnétron, est limitée par les propriétés des matériaux constitutifs de la cathode, de l'anode et de la fenêtre de sortie, par leur capacité de supporter et de dissiper les charges électriques et thermiques durant le travail de l'appareil et par le rendement électronique de conversion d'énergie.

A l'heure actuelle, ces limitations sont partiellement contournées par un ensemble de mesures : élévation du rendement de conversion de l'énergie, utilisation de matériaux spéciaux à caractéristiques d'émission élevées pour les cathodes, à hautes conductivités électrique et thermique et à bonne capacité calorifique pour les anodes et les cathodes, et supportant de hautes charges limites pour les anodes, faibles pertes diélectriques et à capacité de trans-

mission élevée des fenêtres de sortie d'énergie hyperfréquence.

Parmi ces mesures, on peut aussi citer : le refroidissement efficace des surfaces chaudes des électrodes par
 5 mise en mouvement turbulent des fluides caloporteurs, l'utilisation du refroidissement des électrodes par évaporation et du refroidissement à l'aide de tubes d'échange de chaleur, etc.

Pourtant, comme les propriétés des matériaux ont
 10 des limitations physiques correspondant à des valeurs limites déterminées, une augmentation supplémentaire de génération d'énergie hyperfréquences doit se faire par augmentation du rendement et de la densité de conversion de l'énergie, ainsi que par accroissement des dimensions
 15 du système de ralentissement et, par conséquent, des surfaces utiles des électrodes, anode et cathode, dans l'espace où les électrons entrent en interaction avec le champ électromagnétique du système de ralentissement. Ceci est bien montré par la formule donnant la puissance de sortie
 20 moyenne (continue) limite du magnétron :

$$P = qS \left(\frac{\eta_e}{1 - \eta_e} \right) \quad (1)$$

où P est la puissance moyenne limite de génération,

25 q est la valeur limite admissible de la charge spécifique sur l'anode,

S est la surface utile de l'anode,

η_e est le rendement électronique de conversion d'énergie.

Comme le rendement électronique de conversion d'énergie (rendement électronique) dans les appareils à hyperfréquences du type magnétron peut être très élevé (90 % et plus)
 30 au rendement électronique maximal possible η_e , les deux seuls paramètres sur lesquels on peut agir pour obtenir une augmentation supplémentaire de la puissance hyperfréquence de sortie sont la surface de l'anode (et de la cathode) et leur
 35 densité de dissipation d'énergie. Lorsque les densités maximales de dissipation sont atteintes, il ne reste qu'un seul paramètre variable, la surface de l'anode. Le coefficient

fréquentiel énergétique Pf^2 , qui reflète le niveau obtenu dans le développement de l'électronique hyperfréquence de grande puissance, est déterminé, conformément à la formule (1), par l'augmentation du rapport de la surface utile de l'anode au carré de la longueur d'onde S/λ^2 , c'est-à-dire :

$$Pf^2 = \frac{S}{\lambda^2} Cq \left(\frac{\eta_e}{1 - \eta_e} \right) \quad (2)$$

où C est la vitesse de la lumière,

10 λ est la longueur d'onde.

Ainsi, la surface de l'anode est le paramètre le plus important pour créer des appareils à hyperfréquences puissants du type magnétron.

Dans les appareils à hyperfréquences du type magnétron, on augmente les surfaces utiles des électrodes et, en particulier, de la cathode et de l'anode, par accroissement de leurs cotes en azimut (augmentation du diamètre de la cathode, de l'orifice de l'anode et du nombre N de cavités du système de ralentisseur dans le sens azimutal) et de leurs cotes axiales.

Mais une telle augmentation de la surface utile de l'anode et du système de ralentissement du magnétron a des limitations physiques certaines, ce qui se traduit surtout par le fait que les propriétés électrodynamiques du système de ralentissement à plusieurs cavités sont telles qu'en cas d'augmentation du nombre N de cavités et de la hauteur H de l'anode, sa caractéristique de dispersion s'altère et se trouve plus saturée par les oscillations de résonance. Au cas où la séparation en fréquence et en tension d'excitation entre le mode d'oscillation essentiel (en général, mode π) et les modes d'oscillation non essentiels devient inférieure à une certaine valeur critique, le fonctionnement stable de l'appareil du type magnétron n'est plus assuré par suite de leur concurrence.

35 C'est pourquoi, à l'heure actuelle, on étudie, pour augmenter la puissance en hyperfréquences générée des appareils du type magnétron, les possibilités d'addition des puissances de plusieurs magnétrons montés en parallèle élec-

triquement soit par des liaisons externes, soit à l'aide de barrettes d'interconnexion des systèmes de ralentissement à l'intérieur d'une seule enceinte à vide. A ce jour, ce problème n'est résolu que partiellement parce qu'on n'arrive pas à établir un couplage entre les magnétrons et leurs systèmes de ralentissement assez fort pour obtenir un haut rendement d'addition des puissances, c'est-à-dire pour obtenir un bon rendement de conversion de l'énergie et une puissance élevée de génération des oscillations en hyperfréquences.

On n'obtient une addition efficace des puissances que par fonctionnement en parallèle de deux appareils à hyperfréquences du type magnétron, avec un rendement d'addition allant jusqu'à 90 à 98 %. C'est pourquoi une deuxième variante dans laquelle les systèmes de ralentissement des anodes des appareils du type magnétron sont reliés électriquement pour former un seul bloc anodique à l'intérieur d'une seule enceinte à vide ouvre plus de perspectives pour l'augmentation de la puissance en hyperfréquences que l'augmentation du nombre d'appareils fonctionnant en parallèle.

On connaît un appareil à hyperfréquences du type magnétron qui comporte un bloc anodique servant de base pour le système de ralentissement et muni de deux barrettes d'interconnexion de deux bornes de ce système de ralentissement. Les barrettes d'interconnexion sont reliées électriquement à des lamelles respectives des cavités réalisées dans le bloc anodique et ayant la même polarité en mode π .

Dans cet appareil électronique à hyperfréquences du type magnétron, il est impossible d'augmenter la puissance de sortie générée par augmentation de la surface de l'anode (aux rapports $S/\lambda^2 > 0,1$ à $0,2$) par accroissement du nombre de lamelles de cavités. En ce cas, la séparation en fréquence du mode d'oscillations essentiel par rapport au mode $(\frac{N}{2} - 1)$ azimutal le plus proche se dégrade encore, ce qui rend l'appareil pratiquement inutilisable.

Lorsqu'on augmente la hauteur du bloc anodique dans l'appareil au point qu'elle dépasse la moitié de la longueur d'onde $\lambda/2$, la vitesse de groupe de l'onde électromagnétique $TE_0, N/2$ (mode π_0) le long de l'axe devient proche de zéro

et, par conséquent, l'amplitude du champ HF dans l'espace d'interaction avec oscillations de mode π_0 (onde TE_0 , $N/2$) diminue suivant la hauteur du bloc anodique et l'appareil cesse de fonctionner.

5 On connaît également un appareil à hyperfréquences du type magnétron qui comporte un bloc anodique dont la longueur est supérieure à $\lambda/4$, servant de base pour un système de ralentissement multiétage avec doubles barrettes d'interconnexion disposées l'une au-dessus de l'autre à une distance
10 ce inférieure à $\lambda/6$.

Dans cette organisation d'appareil à hyperfréquences du type magnétron, il est impossible d'augmenter la puissance de sortie générée par augmentation de la surface de l'anode (pour un rapport $\frac{S}{\lambda} > 1$ à 2) en augmentant la hauteur du
15 bloc anodique d'une valeur supérieure à 1 à 1,5 λ . En ce cas, la vitesse de groupe de l'onde électromagnétique TE_0 , $N/2$ (mode π_0) le long de l'axe est proche de zéro et la séparation en fréquence du mode π_0 essentiel par rapport aux modes TE_m , $N/2$, (où $m = 1, 2 \dots$ pour modes π) se dégrade et l'appareil ne fonctionne plus.
20

On connaît également un appareil à hyperfréquence du type magnétron qui comporte au moins deux blocs anodiques avec barrettes d'interconnexion reliées électriquement et couplées entre elles à l'aide de dispositifs de couplage
25 en quantité égale à celle des paires de blocs anodiques voisins formés des cavités de deux résonateurs des blocs anodiques voisins et d'une fente reliant ces cavités et pratiquée côté parties inductives des résonateurs, alors que les barrettes d'interconnexion de chaque bloc anodique
30 sont électriquement reliées aux lamelles respectives des résonateurs ayant la même polarité en modes π .

Dans cet appareil à hyperfréquences du type magnétron, les systèmes de ralentissement, mis en série dans une seule enceinte à vide avec une périodicité unidimensionnelle
35 azimutale et réalisée à partir de blocs anodiques, forment une certaine structure électrodynamique multianode cohérente avec des espaces séparés adjacents d'interaction limités par les orifices anodiques. Comme les volumes des systèmes de

ralentissement sont reliés par la fente, le champ électromagnétique des systèmes de ralentissement courts-circuités est excité en phase à l'aide de cette fente. Les champs à proximité des extrémités des fentes peuvent être trouvés en approximation statistique par méthode de transformations conformes avec précision jusqu'aux coefficients constants ou à l'aide de la formule de Green.

Comme la longueur l de la fente (c'est-à-dire la longueur de la paroi large d'un guide d'ondes plan) reliant les cavités des résonateurs respectifs est faible en comparaison de la longueur d'onde (car les systèmes de ralentissement dans ledit appareil à hyperfréquences du type magnétron ont une périodicité unidimensionnelle, ce qui définit leur hauteur efficace, ne dépassant pas la moitié de la longueur d'onde $h < \lambda/2$), le couplage des cavités des résonateurs en fonction de kd (où $k = 2\pi/\lambda$ est le nombre d'ondes, et où d est la profondeur de la fente) a un caractère de résonance très prononcé. Dans les conditions de l'antirésonance dans la fente, lorsque le couplage se dégrade et est déterminé par le paramètre kl , la séparation des fréquences de couplage des blocs anodiques n'est pas bonne, c'est pourquoi la structure électrodynamique multianode sous la forme d'un système de ralentissement unique et, par conséquent, l'appareil lui-même, ne fonctionnent pas : il n'y a pas addition des puissances d'oscillations électromagnétiques. De plus, dans cet appareil, le circuit de systèmes de ralentissement (blocs anodiques) mis en série ne supprime pas la dégénérescence des modes liés d'oscillations parce que les fentes de couplage se disposent en circuit fermé et l'onde électromagnétique chemine par la voie plus longue (circuit de systèmes de ralentissement) et par la voie plus courte (circuit de fentes de couplage) avec des vitesses de groupe différentes. Par conséquent, quatre modes d'oscillations liés non dégénérées et deux modes doublement dégénérés de ces oscillations sont possibles, ce qui rend défectueux le fonctionnement de l'appareil.

L'invention vise notamment à fournir un appareil à hyperfréquences du type magnétron à plusieurs blocs ano-

diques permettant de former un seul système ralentisseur qui améliore le couplage entre les blocs anodiques et, par conséquent, augmente la puissance des oscillations générées.

Dans ce but, l'invention propose un appareil à hyperfréquences du type magnétron qui comporte au moins deux blocs anodiques munis de barrettes d'interconnexion, reliés électriquement et couplés entre eux par des dispositifs de couplage en nombre égal à celui des paires de blocs anodiques voisins, formés par les cavités des deux résonateurs de blocs anodiques voisins et une fente reliant ces cavités et pratiquée côté inductif des résonateurs, les barrettes d'interconnexion de chaque bloc anodique étant électriquement reliées à des lamelles respectives des résonateurs ayant la même polarité en mode oscillatoire π , appareil caractérisé notamment en ce que les barrettes d'interconnexion de polarité opposée reliant électriquement des lamelles correspondantes de même polarité sont réunies dans chaque bloc anodique en paires, chaque paire de barrettes d'interconnexion d'un bloc anodique étant disposée approximativement au même niveau que les paires de barrettes d'interconnexion correspondantes des autres blocs anodiques, alors que les paires de barrettes d'interconnexion disposées à des niveaux respectifs sont placées l'une par rapport à l'autre, suivant la hauteur des blocs anodiques, avec un pas ne dépassant pas la moitié de la longueur d'onde des oscillations générées pour que les blocs anodiques forment un seul système de ralentissement multiétage tridimensionnel périodique, et en ce que deux paires de barrettes d'interconnexion appartenant à deux blocs anodiques voisins et reliées électriquement aux lamelles adjacentes des résonateurs près des parties inductives desquels passe la fente qui constitue, en combinaison avec les cavités de ces résonateurs, dispositif de couplage, sont de polarités opposées pour former dans le dispositif de couplage une ligne guide d'ondes diaphragmée à structure périodique, la longueur du dispositif de couplage suivant la hauteur du bloc anodique étant égale au moins au double du pas entre les paires de barrettes d'interconnexion disposées aux niveaux respectifs.

La fente de chaque dispositif de couplage est avantageusement formée par des lamelles adjacentes de résonateurs respectifs, en contact direct par leurs bases et branchées sur des barrettes d'interconnexion ayant les polarités opposées.

Les barrettes d'interconnexion des blocs anodiques sont utilement réalisées sous forme des anneaux ouverts disposés dans chaque bloc anodique de façon que les jeux entre extrémités, d'un anneau à l'autre de chaque paire de barrettes d'interconnexion, et entre paires de barrettes d'interconnexion soient disposés suivant une hélice.

Dans l'appareil à hyperfréquences du type magnétron proposé, le couplage électrique entre blocs anodiques est renforcé et il se forme un seul système de ralentissement multiétage tridimensionnel périodique permettant une bonne séparation en fréquences, assurant un fonctionnement stable de l'appareil. Dans ce cas, on arrive à augmenter la surface utile unitaire des blocs anodiques jusqu'à $S/\lambda^2 \approx 5$ à 10, ce qui permet d'élever notablement la puissance de sortie des appareils à hyperfréquences du type magnétron et d'obtenir un haut coefficient de conversion d'énergie. Par un branchement rationnel des blocs anodiques, on peut éviter la dégénérescence des modes liés et charger d'une façon efficace tous les modes d'oscillations par un seul dispositif de couplage en sortant la puissance en hyperfréquences à travers un des blocs anodiques. Le système de ralentissement multiétage tridimensionnel périodique permet d'utiliser au maximum l'espace occupé par l'appareil pour convertir l'énergie électrique en énergie hyperfréquence et pour augmenter la puissance par unité d'appareil tout en atteignant les possibilités limites de l'accroissement de la surface tridimensionnelle des structures électrodynamiques pour ces appareils à hyperfréquences de type magnétron.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit de modes d'exécution concrets de l'invention donnés à titre d'exemple et représentés sur les dessins ci-annexés, dans lesquels :

- la figure 1 est une vue d'ensemble d'un appareil

à hyperfréquence du type magnétron à un seul système de ralentissement multiétage tridimensionnel périodique avec branchement en parallèle sur les sources de courant continu et alternatif, en coupe transversale, avec arrachement partiel du corps des blocs anodiques ;

- la figure 2 est un schéma d'un seul système de ralentissement multiétage tridimensionnel périodique de l'appareil proposé, dans le plan de la section longitudinale passant par le centre des blocs anodiques ;

10 - la figure 3, similaire à la figure 1, montre un appareil à fente du dispositif de couplage formée par les lamelles adjacentes des résonateurs respectifs des blocs anodiques et avec branchement en étoile sur une source de courant alternatif triphasé ;

15 - la figure 4, similaire à la figure 2, montre les barrettes d'interconnexion réalisées sous forme d'anneaux ouverts dont les extrémités suivent un pas d'hélice.

L'appareil à hyperfréquences du type magnétron décrit à titre d'exemple est un générateur magnétron appelé plus
20 loin magnétron multianode. Le magnétron multianode comporte un seul système de ralentissement multiétage tridimensionnel périodique formé par au moins deux blocs anodiques ; dans la variante décrite, le système comporte trois blocs anodiques 1 (figure 1) reliés électriquement et couplés (un bloc
25 central et deux blocs latéraux) dont la hauteur est au moins égale à $\lambda/2$, placés sous une seule enceinte anodique à vide 2. Ce système de ralentissement est constitué par trois longues structures périodiques, fermées dans le sens circonférentiel, comportant chacune un circuit de résonateurs 3 mis en série,
30 du type secteur dans le mode d'exécution, pratiqués dans le corps même de l'enceinte anodique 2. Chaque paire de résonateurs 3 a une cloison formée par une lamelle 4. Les bouts des lamelles forment des orifices anodiques 5 dans lesquels sont disposés des cathodes 6 avec un réchauffeur 7 qui se
35 présente, dans le mode d'exécution décrit, sous la forme de deux tubes métalliques coaxiaux.

Les trois blocs anodiques 1 comportent tous des barrettes d'interconnexion 8, 9 qui relient électriquement,

dans chaque bloc anodique 1, les lamelles 4 respectives des résonateurs 3 ayant la même polarité en modes π . Ainsi, les barrettes d'interconnexion 8 qui relient électriquement dans chaque bloc anodique 1 les lamelles 4 paires (en saut-
5 tant la lamelle impaire) ont une polarité opposée à celle des barrettes d'interconnexion 9 qui relient les lamelles 4 impaires (en sautant la lamelle paire). Deux barrettes de couplage 8, 9 voisines de polarité opposée qui relient électriquement des lamelles 4 respectives de même polarité
10 sont réunies dans chaque bloc anodique 1 en paires 10 (figure 2) qui se disposent l'une au-dessus de l'autre suivant toute la hauteur des blocs anodiques 1. Chaque paire 10 de barrettes d'interconnexion 8, 9, d'un bloc anodique 1 est disposée approximativement au même niveau (qui détermine
15 l'étage du système de ralentissement unique) que les paires 10 correspondantes des autres blocs anodiques 1, et les paires 10 de barrettes d'interconnexion 8, 9 disposées à des niveaux respectifs se placent l'une par rapport à l'autre suivant la hauteur des blocs anodiques 1 avec un pas h
20 qui ne dépasse pas la moitié de la longueur d'onde des oscillations générées.

Comme on l'a déjà indiqué, les blocs anodiques 1 sont électriquement reliés et couplés par des dispositifs de couplage à fente en nombre égal à celui des paires de
25 blocs anodiques voisins, dans le mode d'exécution décrit, par deux dispositifs de couplage 11 (figure 1) formés par les cavités de deux résonateurs 3 des blocs anodiques 1 voisins et une fente 12 reliant ces cavités et pratiquée dans les blocs anodiques 1, côté partie inductive de ces
30 résonateurs 3. Les blocs anodiques 1, reliés électriquement par les dispositifs de couplage 11, comportent une structure périodique circonférentielle constituée par les résonateurs 3, des structures axiale (suivant la hauteur des blocs anodiques 1) et transversale (d'un bloc anodique 1 à l'autre)
35 constituées par les paires 10 (figure 2) de barrettes d'interconnexion 8, 9 alternées, formant ainsi un seul système de ralentissement multiétage tridimensionnel périodique.

En ce cas, une paire 10 sur deux de barrettes d'in-

terconnexion 8, 9 appartenant aux blocs anodiques 1 voisins et reliées électriquement aux lamelles 4 adjacentes des résonateurs 3 (figure 1) - dont le côté inductif est muni d'une fente 12 servant, avec les cavités de ces résonateurs 3, de dispositif de couplage 11 - a une polarité opposée à celle des autres paires, en mode π_0 à ondes les plus longues. Ainsi, est formée dans ces dispositifs de couplage 11 une ligne 13 guide d'ondes diaphragmée, à structure périodique, constituée par deux rangées parallèles de paires 10 de barrettes d'interconnexion 8, 9 sous forme de "broches" (ou diaphragmes) en opposition disposés aux parties d'entrée opposées, sur la profondeur d des dispositifs de couplage 11 (figure 1).

La longueur l (figure 2) des dispositifs de couplage 11 (figure 1) suivant la hauteur des blocs anodiques 1 est égale à au moins le double du pas $2h$ (figure 2) entre les paires 10 des barrettes d'interconnexion 8, 9 disposées aux niveaux respectifs ; à la limite, elle est égale à la hauteur totale des blocs anodiques 1.

Les dispositifs de couplage peuvent être formés également par des éléments qui se rapportent directement tant au système de ralentissement qu'au dispositif de couplage. Dans une variante du dispositif de couplage 14 (figure 3), une fente 15 est délimitée par les lamelles 4 adjacentes des résonateurs 3 respectifs, lamelles dont les bases sont en contact direct et qui sont branchées à des barrettes d'interconnexion 8, 9 (figure 4) de polarité opposée. Ainsi, la fente 15 du dispositif de couplage 14 (figure 3) fait partie des cavités des résonateurs 3 respectifs.

Les blocs anodiques 1 voisins dans les modes d'exécution décrits de l'appareil sont reliés mécaniquement et électriquement de façon que les centres des orifices anodiques 3 (figures 1, 3) soient disposés sur un seul axe et dans le même plan de section longitudinale passant par le centre des fentes 12 (figure 1) ou 15 (figure 3) des blocs anodiques 1.

De façon plus générale, plusieurs blocs anodiques

peuvent entourer un bloc anodique central, y être électriquement reliés et être couplés par les dispositifs de couplage de façon que les centres de trois orifices anodiques se trouvent en un même plan ou en des plans différents de section longitudinale.

Les barrettes d'interconnexion 8, 9 (figures 2, 4) des blocs anodiques 1 peuvent être réalisés sous la forme d'anneaux fendus (tels que représentés schématiquement sur les dessins). Dans ce cas, les anneaux sont utilement disposés dans chaque bloc anodique 1 de façon que les jeux 16 (figure 4) entre extrémités soient disposés sur une ligne hélicoïdale, lorsqu'on passe d'un anneau à l'autre de chaque paire 10 de barrettes d'interconnexion 8, 9 et d'une paire 10 aux autres.

Le dispositif de couplage 17 (figure 1, 3) servant de sortie d'énergie est réalisé dans les modes de réalisation décrits de l'appareil sous forme d'une double boucle inductive 18 et d'une ligne coaxiale guide d'ondes 19 installées sur un des blocs anodiques 1 (central ou latéral); sur les figures 1 et 3, ce dispositif 17 est sur le bloc anodique central.

Pour utiliser l'appareil en amplificateur de puissance, ou pour répartir de la puissance dans différentes charges, on peut augmenter le nombre de dispositifs de sortie d'énergie.

Les cathodes 6 et les réchauffeurs 7 sont fixés à chaque bloc anodique 1, coaxialement aux orifices anodiques 5, à l'aide d'isolateurs 20 ou pieds de cathode étanches au vide, en cermet, qui comportent des bornes 21, 22 de branchement sur des sources électriques U_n et U_a d'alimentation des circuits de chauffage des réchauffeurs 7 des cathodes 6 et de tension anodique. L'enceinte 2 des blocs anodiques 1 qui se trouvent au potentiel positif de U_a , est mise à la terre.

Sur le schéma représenté sur la figure 1, trois cathodes 6 de l'appareil et les réchauffeurs 7 sont mis en parallèle sur une ligne provenant des sources U_n , U_a d'alimentation avec le montage à enceinte anodique mise à la terre.

Mais le branchement de l'appareil sur la source d'alimentation peut être réalisé suivant un autre montage, représenté sur la figure 3. Ici, la tension anodique est fournie par le secteur alternatif triphasé monté en étoile à trois branches. La tension de chaque phase est appliquée à une cathode 6 correspondante, l'enceinte 2 est reliée au neutre de l'étoile, et le courant de chauffage des réchauffeurs 7 des cathodes 6 est fourni par des sources séparées U_{n1} , U_{n2} , U_{n3} .

10 L'appareil à hyperfréquences du type magnétron qui vient d'être décrit fonctionne de la façon suivante :

Les cathodes 6 (figure 1) placées au centre des orifices anodiques 5 de l'enceinte étanche 2 sont chauffées à la température voulue à l'aide des réchauffeurs électriques 7 branchés sur la source U_n d'alimentation des circuits de chauffage. Les électrons émis par les cathodes 6 dans l'espace d'interaction entre les extrémités des lamelles 4, qui forment les anodes, et les cathodes 6 sont accélérés par un champ électrique créé par la source U_a de tension anodique insérée entre les cathodes 6 et les anodes de l'appareil, alimentées en parallèle. En présence du champ magnétique dirigé le long de l'axe des blocs anodiques 1, les électrons, à une certaine valeur de la tension anodique, produisent des oscillations HF dans le système de ralentissement de l'appareil à travers les jeux entre les lamelles 4. Le champ HF apparaissant dans ces jeux groupe les électrons en faisceaux qui, sous l'action de la tension anodique appliquée et du champ magnétique, se déplacent le long de la surface des anodes en synchronisme avec l'onde excitée ralentie d'oscillations HF dans sa phase de freinage et transmettent l'énergie acquise de la source U_a d'alimentation au champ électromagnétique hyperfréquence. Ainsi, l'énergie des sources d'alimentation en courant continu est convertie en énergie d'oscillations hyperfréquence. Cette dernière est accumulée dans les résonateurs 3 du système de ralentissement de l'appareil à hyperfréquences du type magnétron dans chaque bloc anodique 1. Un seul système de ralentissement multiétage tridimensionnel périodique de l'appareil est en

état de résonance en oscillations dont la fréquence correspond à la condition de synchronisme du transit du faisceau d'électrons en interaction avec l'onde électromagnétique de ce mode exclusivement.

- 5 L'appareil à hyperfréquences du type magnétron tel qu'il est représenté sur la figure 1 fonctionne en générateur (régime d'auto-excitation) et produit en règle générale des oscillations en mode π_0 de longueur d'onde maximum (onde TE_0 , $N/2$). L'appareil peut fonctionner également en ampli-
- 10 ficateur en réponse à un signal de commande externe, ce qui est un avantage important. L'onde électromagnétique TE_0 , $N/2$ à variation circonférentielle correspondant à un déphasage égal à π et à variations axiales du champ nulle entre les extrémités des blocs anodiques 1 est produite dans tous les
- 15 trois blocs anodiques 1. Conformément à la théorie des perturbations des résonateurs reliés par des fentes des blocs anodiques, la présence du mode π_0 à la plus grande longueur d'onde à la fréquence de liaison f_1 fait apparaître des oscillations hyperfréquences d'amplitude égale et en phase.
- 20 L'énergie électromagnétique peut s'accumuler dans les blocs anodiques également à d'autres fréquences de liaison f_2 et f_3 correspondant au mode π_0 . Pour la fréquence f_2 , l'amplitude dans le bloc anodique 1 central est égale à zéro, alors que dans les blocs anodiques 1 latéraux les amplitudes sont
- 25 égales mais en opposition de phase. Dans le troisième cas, à la fréquence f_3 , les amplitudes des oscillations dans les blocs anodiques 1 latéraux sont égales et en phase, tandis que les oscillations dans le bloc anodique 1 central sont en opposition de phase.
- 30 La stabilité du fonctionnement de l'appareil aux blocs anodiques 1 couplés en mode π_0 s'améliore en cas d'augmentation de la séparation entre les fréquences de couplage. Cette séparation entre fréquences de couplage dépend essentiellement du coefficient de couplage entre
- 35 les blocs anodiques 1 ; pratiquement, le bon fonctionnement de l'appareil avec des blocs anodiques couplés n'est défini que par la valeur de couplage.

La valeur de couplage définit également quels seront

le rendement d'addition des puissances hyperfréquences des oscillations générées dans chaque bloc anodique 1 et la sortie de puissance totale hyperfréquences par un des blocs anodiques 1 vers la charge utile.

5 Un avantage de l'appareil électronique en hyperfréquences proposé réside dans le fait qu'à la formation d'un système de ralentissement multiétage tridimensionnel périodique, le coefficient de couplage des blocs anodiques 1 croît notablement et s'approche de 1. Cet avantage est réalisé grâce à la disposition multiétage et périodique des paires 10 (figure 2) réunies par des barrettes d'interconnexion 8, 9 et à leur disposition aux mêmes niveaux dans tous les blocs anodiques 1 couplés, alors que les paires 10 de barrettes d'interconnexion 8, 9 aux niveaux correspondants sont disposées avec un pas h ne dépassant pas la moitié de la longueur d'onde ($h \leq \lambda/2$).

L'onde électromagnétique du système de ralentissement tridimensionnel périodique est caractérisée par trois déphasages φ_i pour une période p_i qui détermine le vecteur d'onde $\vec{\beta}$. Le flux d'énergie hyperfréquence dans un tel système de ralentissement augmente et, simultanément, la vitesse V_e de transport de l'énergie, définie par le rapport du flux d'énergie P à l'énergie moyenne accumulée W par unité de longueur du système de ralentissement dans le sens de propagation du flux d'énergie, c'est-à-dire

25 $V_e = P/W$, augmente. Comme dans le système tridimensionnel périodique, la vitesse V_e de transport d'énergie est égale à la vitesse de groupe V_g , cette dernière croît également et la séparation des fréquences de liaison s'améliore.

30 L'augmentation du couplage dans une large gamme de fréquences est due également au fait que la longueur l (figure 2) des fentes 12 des dispositifs de couplage 11 (figure 1) le long des blocs anodiques 1 est augmentée jusqu'aux dimensions du guide d'ondes, c'est-à-dire qu'elle est augmentée au moins jusqu'à la moitié de la longueur d'onde critique du mode π_0 . En ce cas, les barrettes d'interconnexion 8, 9 (figure 2) branchées sur les lamelles 4 adjacentes des résonateurs 3 (figure 1) dont les cavités forment

les dispositifs de couplage 11 créent sur toute la longueur des fentes 12 de ces dispositifs de couplage 11 la ligne 13 guide d'ondes périodique diaphragmée sur les parties d'entrée de ces fentes 12 (figure 2). La ligne guide d'ondes 13 assure une transformation à large gamme de l'énergie hyperfréquences pour les modes π d'un bloc anodique 1 à l'autre, car les amplitudes des champs des oscillations de modes π en hyperfréquences aux parties d'entrée opposées sur la profondeur d des dispositifs de couplage 11 sont toujours en opposition de phase et de valeurs égales. De plus, l'amplitude des oscillations en hyperfréquences sur la longueur l des dispositifs de couplage 11 et, par conséquent, dans les fentes 12, correspondra toujours à l'amplitude des oscillations du mode π correspondant dans l'espace d'interaction des blocs anodiques 1 suivant toute leur hauteur.

Un avantage de l'appareil à hyperfréquences du type magnétron proposé consiste dans le fait que, en même temps qu'on renforce le couplage électrique entre les blocs 1, on améliore la séparation non seulement entre les fréquences de couplage des modes π , mais également pour les oscillations avec déphasage $\psi \neq 0, \pi$ et, en particulier, pour le mode $(N/2 - 1)$. En d'autres termes, la connexion concrète des blocs anodiques 1 et leur couplage à l'aide du dispositif de couplage 11 communique à l'appareil une nouvelle propriété : le couplage en différents types modes d'oscillations acquiert un caractère sélectif. De plus, on supprime la double dégénérescence des modes à déphasage $\psi \neq 0, \pi$ caractéristique pour la symétrie d'un bloc anodique 1. Par conséquent, le fonctionnement de l'appareil lors de l'utilisation en mode π_0 utile d'oscillations devient plus stable et la zone utile de la caractéristique tension-intensité devient plus large.

Ainsi, le mode π se propage d'un bloc anodique 1 à l'autre avec une vitesse de groupe presque égale à celle dans chaque bloc anodique 1 et les flux d'énergie électromagnétique de tous les blocs anodiques 1 s'additionnent sans pertes dans les dispositifs de couplage 11 et peuvent être extraits à partir d'un bloc anodique 1 quelconque.

La puissance hyperfréquence d'origine générée dans la construction concrète de l'appareil est extraite à l'aide du bloc anodique 1 central à travers le dispositif inductif de couplage servant de sortie d'énergie 17, constitué par la
5 double boucle inductive 18 reliée à deux résonateurs 3 du bloc anodique 1 ; elle est ensuite canalisée par la ligne coaxiale guide d'ondes 19 dans la charge utile par l'intermédiaire de la sortie d'énergie en cermet munie d'une fenêtre diélectrique étanche au vide. La fenêtre et la charge
10 en hyperfréquences ne sont pas représentées sur les figures 1 à 4.

Pour renforcer davantage la liaison électrique entre les blocs anodiques 1, améliorer la synchronisation réciproque des oscillations en hyperfréquences dans les blocs
15 anodiques 1, ce qui améliore la séparation entre modes essentiels et non essentiels, et augmenter la stabilité de fonctionnement de l'appareil, ainsi que le rendement d'addition des puissances d'oscillations de tous les blocs anodiques 1, le dispositif de couplage 14 de l'un des dispositifs
20 de sortie d'énergie 17 est situé entre les blocs anodiques 1 et réalisé comme le montre la figure 3. Dans ce mode d'exécution, la fente 15 du dispositif de couplage 14 est formée directement par les lamelles 4 adjacentes des résonateurs 3 des blocs anodiques 1 voisins et branchées sur les barrettes
25 d'interconnexion de polarités opposées. Ainsi, la condition de liaison proche, c'est-à-dire $d \ll \lambda$ (figure 4) est remplie et les pertes injustifiées de liaison par la fente 15 profonde sont supprimées, surtout si la profondeur d de la fente 15 est comparable à la longueur d'onde, autrement dit,
30 si $d > \lambda/2$.

La présence de discontinuités dans toutes les barrettes d'interconnexion 8, 9 des blocs anodiques 1, c'est-à-dire leur réalisation sous forme d'anneaux ouverts, dégrade la symétrie circonférentielle du système de ralentissement des blocs anodiques 1 en supprimant la dégénérescence
35 du type doublets d'oscillations avec déphasage $\gamma \neq 0, \pi$ et renforce le couplage électrique de ces modes d'oscillations entre les blocs anodiques 1. Ce renforcement du couplage

permet de mieux charger les modes non essentiels avec un déphasage $\psi \neq 0, \pi$ et, en particulier, le mode $(N/2 - 1)$, à travers un dispositif de sortie d'énergie 17 (figure 3) et d'améliorer la stabilité du fonctionnement de l'appareil sur le mode π_0 de travail. Comme les discontinuités dans les barrettes d'interconnexion 8, 9 (figure 4) ont un effet légèrement défavorable sur la séparation des fréquences, surtout des modes π_0 et $(N/2 - 1)$ circonférentiel voisin, une solution de compromis optimal entre la nécessité de charger le mode $(N/2 - 1)$ (par renforcement du couplage entre les blocs anodiques 1 en utilisant les barrettes d'interconnexion 8, 9 sous forme des anneaux ouverts) et la nécessité d'avoir une bonne séparation des fréquences des modes π_0 et $(N/2 - 1)$ se trouve obtenue lorsque les jeux 16 entre leurs extrémités dans chaque bloc anodique 1 sont disposés suivant une hélice. Dans ce cas, à chaque étage du système de ralentissement formé par les paires 10 respectives de barrettes d'interconnexion 8, 9, le mode $(N/2 - 1)$ varie l'angle de l'orientation azimutale de l'amplitude du champ en hyperfréquences et sa séparation en fréquence d'avec le mode π_0 s'améliore, alors que la dégénérescence des modes doublets se trouve supprimée, ce qui renforce le couplage entre les blocs anodiques 1 à la fréquence du mode $(N/2 - 1)$, en particulier, à tous les modes avec déphasage $\psi \neq 0, \pi$ de façon générale. Le chargement de ces modes ($\psi \neq 0, \pi$) à travers le dispositif de sortie d'énergie 17 (figure 3) se trouve alors amélioré, ce qui réduit leur concurrence et rend plus avantageux l'appareil à hyperfréquences du type magnétron avec système ralentisseur multi-étage tridimensionnel périodique dont les barrettes d'interconnexion 8, 9 (figure 4) sont réalisées sous la forme d'anneaux ouverts dont les extrémités sont disposées suivant une hélice sur toute la hauteur des blocs anodiques 1.

Une variante possible de branchement de l'appareil à hyperfréquences du type magnétron multi-anode, en particulier celui à trois anodes, sur la source U_a de la tension anodique permet d'utiliser le secteur alternatif sans redresseurs spéciaux (figure 3) comme c'est le cas lors du

montage suivant la figure 1. Dans ce cas, au cours de chaque période positive d'une phase quelconque, les blocs anodiques 1 fonctionnent à tour de rôle avec déphasage de 120° .

Dans les modes d'exécution des dispositifs de couplage 11 et 14 représentés sur les figures 1 et 3, les huit modes d'oscillations liés possibles sont tous non dégénérés et orthogonaux (conformément à la théorie de représentation des groupes). Ils ne se trouvent pas en interaction, ce qui est très important pour un fonctionnement efficace de l'appareil.

Les particularités constructives et les perfectionnements de l'appareil à hyperfréquences du type magnétron multianode décrit permettent d'obtenir un nouveau type de système de ralentissement multiétage tridimensionnel périodique à base de plusieurs blocs anodiques reliés électriquement et couplés, ainsi que d'augmenter la puissance hyperfréquence de sortie des appareils du type magnétron, au prix de l'accroissement de la surface utile totale du système de ralentissement, de l'anode et de la cathode.

Ainsi, on renforce dans l'appareil à hyperfréquences électronique du type magnétron multianode la liaison entre les blocs anodiques reliés électriquement et couplés, ce qui permet d'atteindre les dimensions maximales possibles de la surface utile totale de l'anode correspondant à $S/\lambda^2 \approx 5$ à 10, de séparer convenablement les fréquences du mode π_0 essentiel des modes non essentiels concurrents et d'ajouter de façon efficace les puissances à la fréquence de travail générée (ou amplifiée) sur une seule sortie d'énergie ainsi que d'augmenter la puissance hyperfréquence de sortie de l'appareil.

Comme il va de soi, et comme il résulte d'ailleurs déjà de ce qui précède, l'invention ne se limite nullement à ceux de ses modes d'application et de réalisation qui ont été plus spécialement envisagés ; elle en embrasse, au contraire, toutes les variantes.

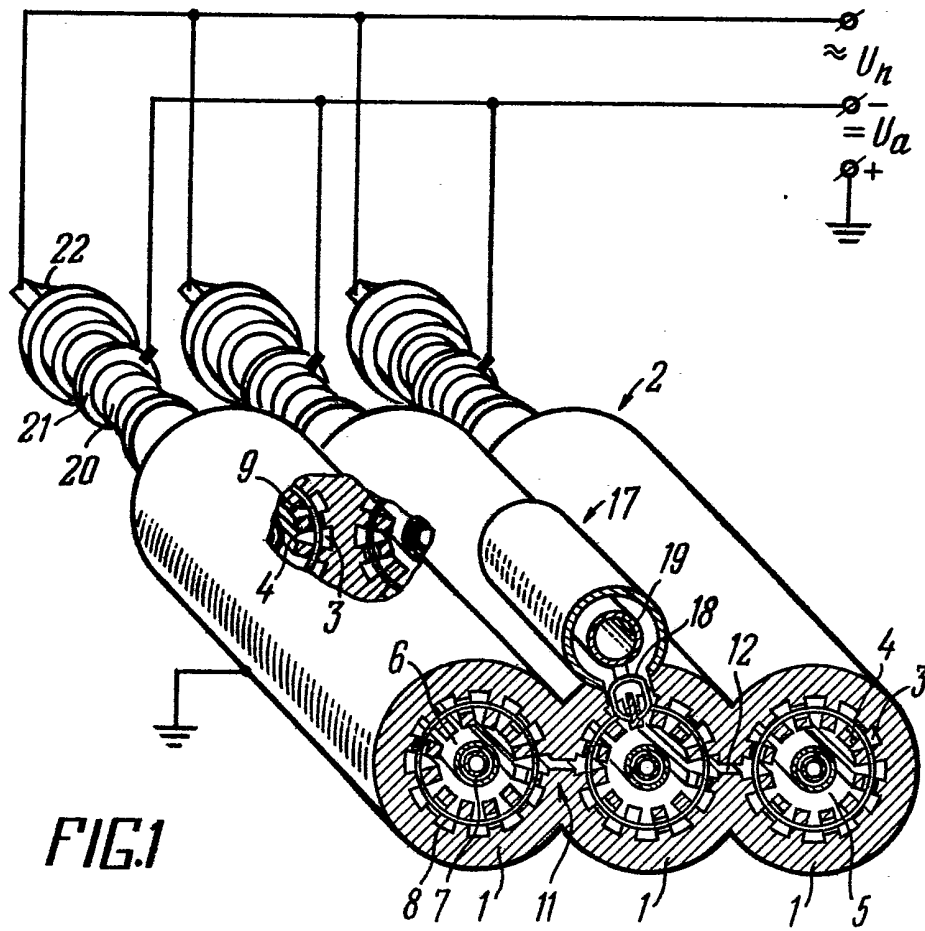
REVENDICATIONS

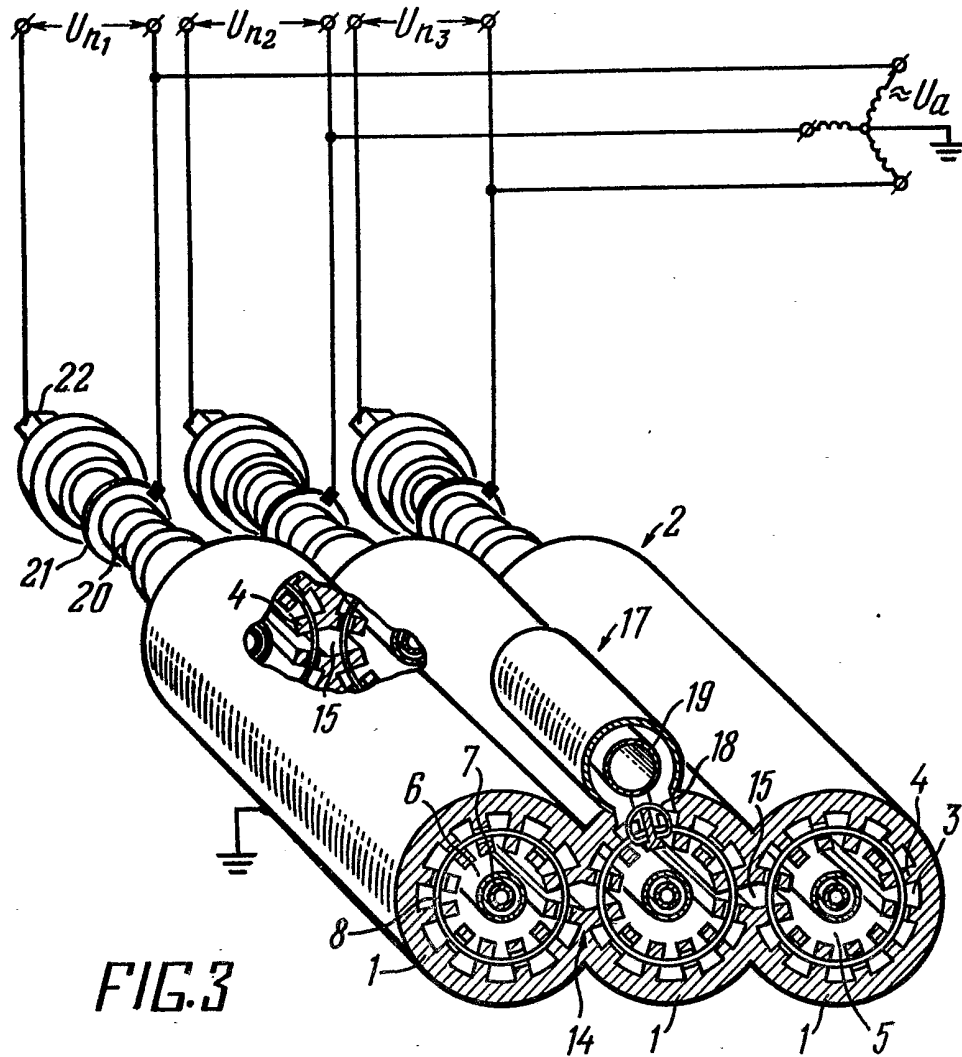
1. Appareil à hyperfréquences du type magnétron, comprenant au moins deux blocs anodiques munis de barrettes d'interconnexion, reliés électriquement et couplés entre eux
5 par des dispositifs de couplage en nombre égal à celui des paires de blocs anodiques voisins, formés par les cavités des deux résonateurs de blocs anodiques voisins et une fente reliant ces cavités et pratiquée côté inductif des résonateurs, les barrettes d'interconnexion de chaque bloc anodique
10 que étant électriquement reliées à des lamelles respectives des résonateurs ayant la même polarité en mode oscillatoire π , caractérisé en ce que les barrettes d'interconnexion de polarité opposée reliant électriquement des lamelles correspondantes de même polarité sont réunies dans chaque bloc
15 anodique par paires, chaque paire de barrettes d'interconnexion d'un bloc anodique étant disposée approximativement au même niveau que les paires de barrettes d'interconnexion correspondantes des autres blocs anodiques, et les paires de barrettes d'interconnexion disposées à des niveaux res-
20 pectifs étant placées l'une par rapport à l'autre, suivant la hauteur des blocs anodiques, avec un pas ne dépassant pas la moitié de la longueur d'onde des oscillations générées de façon que les blocs anodiques forment un seul système de ralentissement multiétage tridimensionnel périodique, les
25 paires de barrettes d'interconnexion appartenant aux blocs anodiques voisins et reliées électriquement aux lamelles adjacentes des résonateurs près des parties inductives desquels passe la fente qui sert, en combinaison avec les cavités de ces résonateurs, de dispositif de couplage, ayant
30 deux à deux des polarités opposées pour former dans le dispositif de couplage une ligne guide d'ondes diaphragmée à structure périodique, la longueur du dispositif de couplage suivant la hauteur du bloc anodique étant égale au moins au double du pas entre les paires de barrettes d'interconnexion
35 disposées à des niveaux respectifs.

2. Appareil à hyperfréquences selon la revendication 1, caractérisé en ce que la fente de chaque dispositif de couplage est formée par des lamelles adjacentes de résona-

teurs respectifs, en contact direct par leurs bases et branchées sur des barrettes d'interconnexion ayant les polarités opposées.

3. appareil à hyperfréquences, conformément aux revendications 1, 2, caractérisé en ce que les barrettes d'interconnexion des blocs anodiques sont réalisés sous forme d'anneaux ouverts disposés dans chaque bloc anodique de façon que les jeux entre extrémités d'un anneau à l'autre de chaque paire de barrettes d'interconnexion et entre les paires de barrettes d'interconnexion soient disposées suivant une hélice.





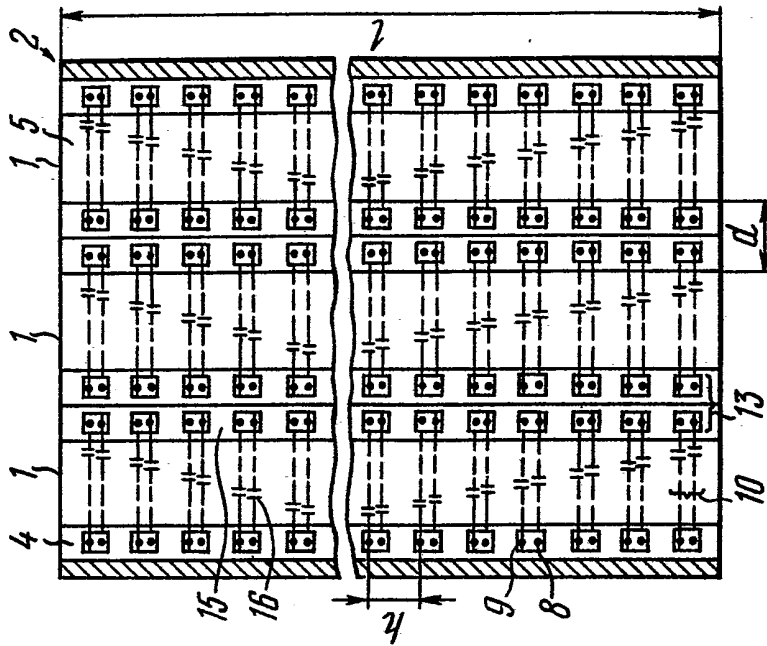


FIG. 4

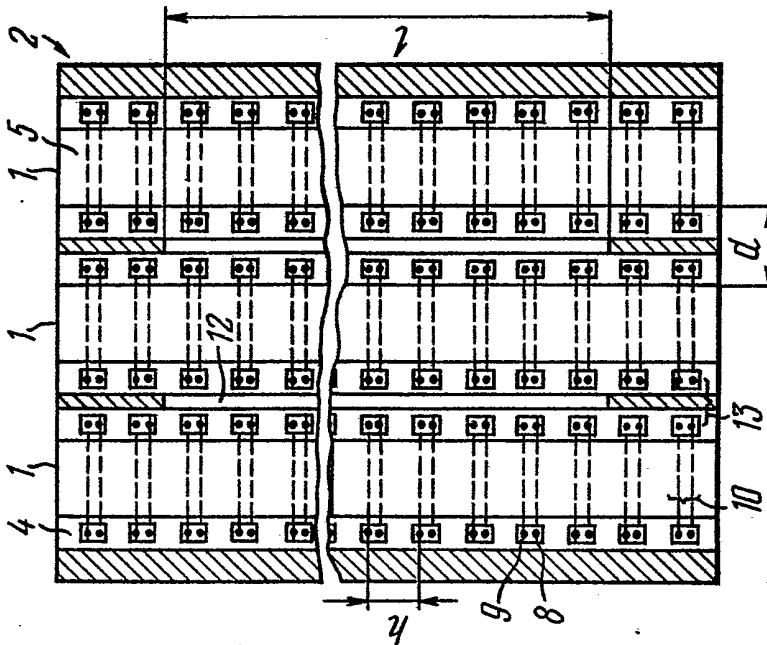


FIG. 2