

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

⑫

N° 81 23429

⑤4 Réacteur nucléaire à eau sous pression et dérive spectrale, comprenant des barres de commande mobiles et des éléments de déplacement de l'eau d'absorption des neutrons lents par rapport au cœur du réacteur; et procédé pour régler la puissance du réacteur.

⑤1 Classification internationale (Int. Cl.³). G 21 C 7/26.

⑫2 Date de dépôt..... 15 décembre 1981.

③③ ③② ③① Priorité revendiquée : *EUA, 16 décembre 1980, n° 217.060; 9 novembre 1981, n° 318.761.*

④1 Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 24 du 18-6-1982.

⑦1 Déposant : Société dite : WESTINGHOUSE ELECTRIC CORP., résidant aux EUA.

⑦2 Invention de : Walter John Dollard, Pratap Kilachand Doshi et Raymond Anthony George.

⑦3 Titulaire : *Idem* ⑦1

⑦4 Mandataire : Bureau D. A. Casalonga, office Josse et Petit,
8, av. Percier, 75008 Paris.

Réacteur à dérive spectrale mécanique.

La présente invention se rapporte à une commande de réacteur par dérive spectrale et elle concerne plus précisément
5 ment des moyens mécaniques pour commander un réacteur par dérive spectrale.

Dans les réacteurs nucléaires caractéristiques, on ajuste la réactivité en modifiant la quantité de substances (poisons) d'absorption des neutrons dans le coeur du réacteur.
10 D'une manière générale, on utilise des barres de commande qui absorbent les neutrons et on réalise cette fonction d'ajustement de la réactivité en modifiant le nombre et la position de ces barres de commande par rapport au coeur du réacteur. Outre des barres de commande, on peut utiliser des poisons
15 consommables et des poisons dissous dans le fluide de refroidissement du réacteur afin d'ajuster la réactivité.

Dans les constructions classiques de réacteurs à eau sous pression, on prévoit au démarrage un excédent de réactivité dans le coeur du réacteur de sorte que, la réactivité
20 diminuant au cours de la vie du coeur, cette réactivité en excès pourra être utilisée pour prolonger la durée de vie du coeur. Du fait qu'un excédent de réactivité est prévu dans le coeur du réacteur au début de la vie du coeur, une substance d'absorption des neutrons, telle que le bore soluble, doit
25 être placée dans le coeur à ce moment-là afin de permettre un ajustement correct de cet excédent de réactivité. Au cours de la vie du coeur, au fur et à mesure que diminue la réactivité, la substance d'absorption des neutrons est retirée progressivement du coeur du réacteur. La substance d'absorption des neu-
30 trons supprime dans le coeur du réacteur un excédent de réactivité qui pourrait être utilisé, d'autre part, avec plus de profit comme, par exemple, dans la production de plutonium combustible. Ce procédé de réduction de la réactivité sans
35 formation d'un produit utile a pour conséquence un appauvrissement en uranium avec un rendement plus faible et des coûts de combustible plus élevés que ceux que l'on pourrait obtenir par ailleurs. Par conséquent, il serait avantageux de pouvoir prolonger la durée de vie du coeur du réacteur sans supprimer

l'excédent de réactivité au moyen d'une substance d'absorption des neutrons et, de ce fait, obtenir une durée de vie prolongée du coeur avec des coûts de combustible notablement inférieurs.

5 Un procédé permettant d'obtenir une durée de vie prolongée du coeur tout en réduisant la quantité de substance d'absorption des neutrons dans le coeur d'un réacteur à eau lourde, consiste à utiliser la "commande par dérive spectrale". Dans ce cas, on réduit l'excédent de réactivité (et donc la
10 substance d'absorption des neutrons) en remplaçant par de l'eau ordinaire une partie importante du fluide de refroidissement du réacteur à eau lourde, ce qui retarde la réaction en chaîne en dérivant le spectre des neutrons vers des énergies plus hautes et permet au réacteur de fonctionner à sa puissance maximum avec une substance réduite d'absorption des neutrons.
15 Cette dérive du spectre des neutrons vers un spectre durci provoque également la conversion d'une plus grande quantité d'uranium 238 en plutonium qui est utilisé ensuite pour produire de la chaleur. La dérive d'un spectre "mou" vers un spectre
20 "dur" a donc pour conséquence qu'un plus grand nombre de neutrons sont consommés de manière utile par l'uranium 238 plutôt que par des poisons. Au fur et à mesure que diminue la réactivité, l'eau ordinaire est remplacée progressivement par de l'eau lourde de manière à maintenir un niveau correct d'activité du coeur du réacteur. A la fin de la vie du coeur, toute
25 l'eau ordinaire a sensiblement été remplacée par de l'eau lourde tandis que la réactivité du coeur a été maintenue. On peut donc commander le réacteur sans utiliser de substance d'absorption des neutrons et sans excédent de réactivité au démarrage, ce qui a pour conséquence des économies significatives du coût
30 de l'uranium combustible. La production supplémentaire de plutonium réduit également les besoins d'enrichissement en uranium 235.

35 La présente invention a pour objet principal de fournir un réacteur à dérive spectrale mécanique qui n'utilise que de l'eau ordinaire pour réaliser à l'origine un spectre des neutrons plus dur qu'à la fin de la vie du noyau, tout en réduisant les coûts d'uranium combustible et en prolongeant la

durée de vie du coeur du réacteur.

Afin de réaliser cet objet, la présente invention consiste en un réacteur nucléaire à eau sous pression et à dérive spectrale, ce réacteur comprenant une cuve avec une entrée et une sortie pour la circulation de l'eau de refroidissement utilisée en relation avec le coeur que contient la cuve en vue de l'échange de chaleur, plusieurs assemblages combustibles disposés dans le coeur pour y produire de la chaleur par fission nucléaire, et plusieurs barres de commande mobiles selon une progression régulière et placées dans le réacteur pour régler le niveau et la répartition de la puissance du réacteur. Ce dernier est caractérisé en ce que plusieurs éléments de déplacement de l'eau d'absorption des neutrons lents, sont disposés dans la cuve de manière à pouvoir être introduits complètement dans le coeur ou en être retirés complètement afin d'expulser l'eau du coeur lorsque ces éléments de déplacement sont introduits dans le coeur, et donc réduire la modulation du coeur.

La présente invention sera bien comprise à la lecture de la description suivante faite en relation avec les dessins ci-joints, dans lesquels :

- la figure 1 est une vue en coupe verticale de la cuve du réacteur ;
- la figure 2 est une vue en coupe verticale de la partie supérieure de l'assemblage combustible ;
- la figure 3 est une vue en coupe verticale de la partie inférieure de l'assemblage combustible ;
- la figure 4 est une vue en perspective des barres de déplacement et de leur assemblage combustible respectif ;
- la figure 5 est une vue en coupe verticale de la structure de guidage des barres de déplacement ;
- la figure 6 est une vue en coupe suivant le plan de coupe VI-VI de la figure 5 ;
- la figure 7 est une vue schématique représentant un quart de coeur du réacteur ;
- la figure 8 est une vue à plus grande échelle d'une partie du quart de coeur de la figure 7 ;
- la figure 9 est une vue à plus grande échelle

d'une autre partie du quart de coeur de la figure 7 ;

- la figure 10 est une vue schématique en coupe d'un assemblage combustible caractéristique ; et

- la figure 11 est une vue schématique représentant
5 une coupe du coeur.

On se reportera à la figure 1. Un réacteur nucléaire de référence générale 20 comprend une cuve 22 à la partie supérieure de laquelle est fixé une tête amovible 24 de fermeture. Une tubulure 26 d'entrée et une tubulure 28 de sortie
10 sont reliées à la cuve 22 du réacteur pour permettre la circulation d'un fluide de refroidissement, tel que de l'eau, dans la cuve 22 du réacteur. Une plaque 30 faisant partie du coeur, disposée à la partie inférieure de la cuve 22 du réacteur, sert à supporter les assemblages combustibles 32. Ces
15 derniers sont placés dans la cuve 22 du réacteur et ils constituent le coeur 34 du réacteur. Plusieurs mécanismes 36 de translation des barres de commande sont montés sur la tête 24 de fermeture, permettant de plonger ces barres de commande dans les assemblages combustibles 32 ou les en retirer. En
20 outre, plusieurs mécanismes 38 de translation des barres de déplacement sont montés également sur la tête 24 de fermeture pour permettre de plonger ces barres 40 de déplacement dans les assemblages combustibles 32 ou les en retirer. Ces mécanismes 38 de translation des barres de déplacement peuvent être
25 analogues à celui qui est décrit dans la demande de brevet américain n° 217 055. Pour la clarté de l'illustration, seules quelques barres 40 de déplacement sélectionnées sont représentées à la figure 1. Plusieurs structures 42 de guidage des barres de déplacement sont situées dans la partie supérieure
30 de la cuve 22 du réacteur, chacune de ces structures se trouvant dans l'alignement d'un mécanisme 38 de translation des barres de déplacement, afin de guider le mouvement de ces barres 40 de déplacement dans la partie supérieure de la cuve 22 du réacteur. Une calandre 44 peut être prévue entre les assem-
35 blages combustibles 32 et les structures 42 de guidage des barres de déplacement ; cette calandre comprend plusieurs tubes creux en acier inoxydable disposés dans le prolongement linéaire de chaque barre de déplacement et de chaque barre de

commande afin d'assurer le guidage de chacune de ces différentes barres dans la région de la calandre et réduire au minimum les vibrations provoquées dans ces barres par l'écoulement du fluide de refroidissement.

5 On se reportera maintenant aux figures 2 à 4. Les assemblages combustibles 32 comprennent des éléments combustibles 48, des sommiers 50, une tubulure inférieure 52, une tubulure supérieure 54 et des tubes 56 de guidage. Les éléments combustibles 48 peuvent être constitués de tubes métalliques
10 cylindriques allongés qui contiennent des pastilles de combustible nucléaire et dont les deux extrémités sont scellées par des bouchons d'extrémité. Les éléments combustibles 48 peuvent être disposés en un réseau sensiblement carré de 20 x 20 éléments et ils sont maintenus en place par des sommiers 50. Les
15 tubes 56 de guidage, qui peuvent être au nombre de 25, sont disposés en réseau de 5 x 5 dans chaque assemblage combustible 32. Chaque tube 56 de guidage occupe l'espace d'environ quatre éléments combustibles 48 et se prolonge depuis la tubulure inférieure 52 jusqu'à la tubulure supérieure 54 de manière à
20 constituer un moyen de support des sommiers, de la tubulure supérieure 54 et de la tubulure inférieure 52. Les tubes 56 de guidage peuvent être constitués de tubes métalliques cylindriques creux fabriqués en Zircaloy et pouvant contenir des barres telles que des barres 40 de déplacement ou des barres
25 de commande. Les barres 40 de déplacement et les barres de commande sont fabriquées approximativement aux mêmes dimensions, de sorte que chaque tube 56 de guidage peut contenir aussi bien une barre de déplacement qu'une barre de commande. Lorsqu'ils ne contiennent pas de barre, les tubes 56 de guidage sont remplis de fluide de refroidissement du réacteur ; cependant,
30 lorsqu'elles sont introduites dans les tubes 56 de guidage, les barres 40 de déplacement expulsent le fluide de refroidissement contenu dans les tubes.

Les sommiers 50 sont placés en divers points le long
35 de l'assemblage combustible 32 et ils servent à maintenir les éléments combustibles 48 et les tubes 56 de guidage écartés les uns des autres d'une distance appropriée, et à permettre la circulation du fluide de refroidissement du réacteur en vue

de l'échange de chaleur avec les éléments combustibles 48.

Comme on peut le voir à la figure 4, les barres 40 de déplacement sont des barres cylindriques allongées sensiblement creuses du type décrit dans la demande de brevet américain n° 217 052. Les barres 40 de déplacement peuvent également contenir des pastilles de ZrO_2 ou d' Al_2O_3 afin de lester la barre et augmenter sa capacité d'abaissement. Les barres 40 de déplacement sont disposées dans le prolongement linéaire des tubes 56 de guidage, de sorte qu'elles peuvent être introduites dans les tubes lorsqu'on le désire. Les barres 40 de déplacement sont supportées par un dispositif commun appelé croisillon 58. Le croisillon 58 consiste en un moyeu 60 muni de bras 62 partant radialement de ce moyeu 60. Les barres 40 de déplacement sont fixées individuellement à chaque bras 62 de manière à former une disposition qui correspond à la disposition des tubes 56 de guidage dans lesquels peuvent être introduites les barres de déplacement. Le croisillon 58 est monté sur un arbre 64 de translation qui est relié au mécanisme 38 de translation des barres de déplacement. La mise en mouvement de ce mécanisme 38 de translation des barres de déplacement provoque l'abaissement ou le relèvement de l'arbre 64 de translation et, de ce fait, l'introduction des barres 40 de déplacement dans les assemblages combustibles 32 du coeur 34 ou le retrait de ces barres des assemblages combustibles.

Il est important de noter que chaque croisillon 58 est disposé de manière à pouvoir introduire les barres 40 de déplacement dans plus d'un assemblage combustible 32. Par exemple, comme le représente la figure 4, le croisillon 58 permet d'introduire vingt-cinq barres de déplacement dans l'assemblage combustible central 32 et quatre barres de déplacement dans chacun des quatre assemblages combustibles contigus. De cette manière, les barres 40 de déplacement peuvent être introduites dans les assemblages combustibles 32 et en être retirées sans qu'il soit nécessaire d'augmenter le nombre de croisillons et de mécanismes de translation.

On se reportera maintenant aux figures 5 et 6. Des structures 42 de guidage des barres de déplacement comprennent plusieurs guides tubulaires fendus 70 qui sont conçus pour

permettre le passage de barres telles que des barres de déplacement ou des barres de commande. Ces structures 42 de guidage des barres de déplacement sont situées entre la calandre 44 et la tête 24 de fermeture comme le représente la figure 1, et
5 elles sont disposées de manière à correspondre à chaque mécanisme 38 de translation des barres de déplacement. Plusieurs plaques 72 d'écartement sont situées en divers points le long des guides tubulaires fendus 70 et, avec ces derniers, elles servent à guider les barres 40 de déplacement dans la partie
10 supérieure de la cuve 22 du réacteur. Comme on peut le voir à la figure 6, huit guides tubulaires fendus 70 peuvent être prévus pour guider les barres 40 de déplacement. Les "fentes" des guides tubulaires fendus 70, ainsi que les rainures 74 formées dans les plaques 72 d'écartement, autorisent le passage
15 du croisillon 58 tout en maintenant l'alignement des barres avec les tubes 56 de guidage dans les assemblages combustibles 32. Une ouverture centrale 76 est prévue également dans les plaques 72 d'écartement pour le logement de l'arbre 64 de translation, de manière à permettre le passage du croisillon
20 58.

On se reportera de nouveau à la figure 1. La calandre 44, qui comprend un grand nombre de tubes, assure le guidage des barres telles que les barres 40 de déplacement dans la région de la calandre. En général, les tubes de la calandre 44
25 ne sont pas des tubes fendus, comme c'est le cas pour les guides tubulaires fendus 70, de sorte que l'abaissement du croisillon 58 est arrêté au voisinage de l'extrémité supérieure des tubes de la calandre. Lorsque leur mouvement d'abaissement est arrêté à la partie supérieure de la calandre 44, toutes
30 les barres traversent les tubes de la calandre et sont plongées complètement dans l'assemblage combustible 32. En étant introduites dans les tubes de la calandre, les barres sont protégées contre l'écoulement du fluide de refroidissement du réacteur, ce qui réduit donc au minimum les vibrations qui,
35 sinon, pourraient être provoquées par la vitesse du fluide de refroidissement du réacteur dans cette région.

Il existe différents types de barres qui peuvent être introduites dans les tubes 56 de guidage. Par exemple,

des barres de déplacement, des barres de commande et des barres grises peuvent être disposées de manière à être introduites dans les tubes 56 de guidage. Toutes ces barres ont approximativement les mêmes dimensions et la même forme mais, à cause
5 des substances dont elles sont constituées, elles remplissent des rôles différents. Les barres 40 de déplacement, qui peuvent être des tubes creux à parois épaisses et qui peuvent contenir une substance d'absorption des neutrons lents telle que des pastilles de ZrO_2 ou d' Al_2O_3 , sont utilisées pour déplacer
10 le fluide de refroidissement du réacteur et, par conséquent, pour commander la modération du réacteur. Les barres de commande contiennent une substance d'absorption des neutrons, comme il est bien connu de l'homme de l'art, et elles servent à commander la réactivité du coeur d'une manière généralement
15 bien connue. Les barres grises sont analogues aux barres 40 de déplacement mais elles sont constituées d'une substance d'absorption des neutrons intermédiaires telle que l'acier inoxydable, de sorte que leur valeur de réactivité par barre, est supérieure à celle des barres 40 de déplacement.
20

On se reportera maintenant aux figures 7 à 11 qui représentent, dans un quart de coeur, la disposition des éléments combustibles 48, des barres 40 de déplacement, des barres 80 de commande, des barres grises 82 et des emplacements 84 dépourvus de barres. Il est bien entendu que la forme complète du coeur du réacteur peut être reconstituée par extrapolation du quart de coeur représenté à la figure 7. En fait, le quart de coeur représenté à la figure 7 est une image symétrique du huitième de coeur, l'axe de symétrie étant la droite A-A de
30 la figure 7. On a cependant représenté le quart de coeur de la figure 7 pour la clarté de l'illustration.

Comme on peut le voir à la figure 10, chaque assemblage combustible 32 comprend un réseau d'éléments combustibles 48 et un réseau de tubes 56 de guidage. D'une manière générale, des barres 80 de commande et des barres grises 82 sont
35 utilisées uniquement dans les tubes 56 de guidage placés en diagonale, tandis que des barres 40 de déplacement sont utilisées généralement dans tous les tubes 56 de guidage d'un assem-

blage combustible donné. En outre, un tube 88 pour appareils est prévu au voisinage du centre de chaque assemblage combustible 32 pour recevoir des appareils de transfert de données tels que des chambres mobiles de fission. Bien qu'étant essentiellement identique à celui qui est représenté à la figure 10, chaque assemblage combustible 32 peut remplir une fonction différente, selon que les tubes 56 de guidage sont occupés par le fluide de refroidissement du réacteur, les barres 40 de déplacement, les barres 80 de commande ou les barres grises 82. Les barres 40 de déplacement et les barres grises 82 sont choisies généralement de manière à avoir approximativement les mêmes dimensions afin de déplacer sensiblement le même volume d'eau. Cependant, les barres grises 82 peuvent être des barres cylindriques à parois épaisses en acier inoxydable et qui présentent une valeur de réactivité supérieure à celle des barres 40 de déplacement, de sorte qu'elles peuvent être utilisées pour compenser les effets xénon transitoires pendant les opérations qui suivent l'enfournement, en plus du déplacement du modérateur.

On se reportera maintenant à la figure 11. Un assemblage combustible 32 dans lequel ne sont utilisées aucune barre 80 de commande ni aucune barre grise 82 mais dans lequel des barres 40 de déplacement uniquement sont utilisées dans les tubes 56 de guidage, est appelé généralement assemblage 90 de déplacement. Un assemblage combustible 32 dans lequel sont utilisées à la fois des barres 40 de déplacement et des barres 80 de commande, mais aucune barre grise, est appelé assemblage 92 de commande. De même, un assemblage combustible 32 dans lequel sont utilisées à la fois des barres 40 de déplacement et des barres grises 82, est appelé assemblage gris 94. On doit bien noter qu'à la figure 11, des éléments combustibles 48 ont été omis pour des raisons de clarté et que les assemblages combustibles sont analogues à ceux qui sont représentés à la figure 10.

On continuera à se reporter à la figure 11. Chacune des barres 80 de commande et des barres grises 82 est fixée à un croisillon (non représenté) analogue au croisillon 58, excepté que le croisillon de support des barres 80 de comman-

de ou des barres grises 82 ne concerne généralement qu'un assemblage combustible. De cette manière, toutes les barres 80 de commande ou les barres grises 82 d'un assemblage combustible donné peuvent être relevées ou abaissées à l'aide d'un seul mécanisme de translation. En outre, du fait que chaque croisillon 58 de support des barres de déplacement peut se prolonger dans les assemblages contigus (comme on l'a représenté dans la partie centrale de la figure 11 et à la figure 4), le mouvement du croisillon 58 de support des barres de déplacement affecte la commande de cinq assemblages combustibles et réduit le nombre nécessaire de mécanismes de translation des barres de déplacement. Bien entendu, à la périphérie du quart de coeur (comme le représente la figure 7), des croisillons particuliers peuvent déplacer des barres en nombre inférieur au nombre habituel de barres, du fait qu'il n'y a pas d'assemblages combustibles contigus ou parce qu'il existe des emplacements 84 dépourvus de barres.

On se reportera de nouveau aux figures 8 et 9 qui constituent la figure 7. Elles représentent la disposition d'un quart de coeur, chaque rangée ou rangée partielle étant numérotée de 100 à 114 et chaque colonne ou colonne partielle étant numérotée de 116 à 130 et comprenant :

Assemblage combustible

	100, 116	quart d'assemblage de déplacement
25	100, 118	demi-assemblage de commande
	100, 120	demi-assemblage de déplacement
	100, 122	demi-assemblage de commande
	100, 124	demi-assemblage de déplacement
	100, 126	demi-assemblage de commande
30	100, 128	demi-assemblage de déplacement
	100, 130	demi-assemblage gris.
	102, 116	demi-assemblage de commande
	102, 118	assemblage complet de déplacement
35	102, 120	assemblage gris complet
	102, 122	assemblage complet de déplacement
	102, 124	assemblage gris complet
	102, 126	assemblage complet de déplacement

	102, 128	assemblage complet de commande
	102, 130	assemblage complet de déplacement
	104, 116	demi-assemblage de déplacement
5	104, 118	assemblage gris complet
	104, 120	assemblage complet de déplacement
	104, 122	assemblage complet de commande
	104, 124	assemblage complet de déplacement
	104, 126	assemblage complet de commande
10	104, 128	assemblage complet de déplacement
	104, 130	assemblage partiel de commande dépourvu de barres.
	106, 116	demi-assemblage de commande
15	106, 118	assemblage complet de déplacement
	106, 120	assemblage complet de commande
	106, 122	assemblage complet de déplacement
	106, 124	assemblage complet de commande
	106, 126	assemblage complet de déplacement
20	106, 128	assemblage complet de commande
	106, 130	assemblage complet de déplacement
	108, 116	demi-assemblage de déplacement
	108, 118	assemblage gris complet
25	108, 120	assemblage complet de déplacement
	108, 122	assemblage complet de commande
	108, 124	assemblage complet de déplacement
	108, 126	assemblage complet de commande
	108, 128	assemblage complet de déplacement
30	110, 116	demi-assemblage de commande
	110, 118	assemblage complet de déplacement
	110, 120	assemblage complet de commande
	110, 122	assemblage complet de déplacement
35	110, 124	assemblage complet de commande
	110, 126	assemblage complet de déplacement
	110, 128	assemblage partiel de déplacement dépourvu de barres.

	112, 116	demi-assemblage de déplacement
	112, 118	assemblage complet de commande
	112, 120	assemblage complet de déplacement
	112, 122	assemblage complet de commande
5	112, 124	assemblage complet de déplacement
	112, 126	assemblage partiel de déplacement dépourvu de barres.
	114, 116	demi-assemblage gris
10	114, 118	assemblage complet de déplacement
	114, 120	assemblage partiel de commande dépourvu de barres
	114, 122	assemblage complet de déplacement.

Comme on peut le voir d'après la description ci-dessus

15 du quart de coeur, la configuration du coeur basée sur ce concept peut être illustrée d'une manière générale comme le représente la figure 11. Fondamentalement on choisit, comme assemblage combustible au centre du noyau complet et représenté par l'assemblage combustible 100, 116 de la figure 7, soit un

20 assemblage 92 de commande ou, de préférence, un assemblage 90 de déplacement. Une fois qu'on a choisi cet assemblage, les quatre assemblages combustibles immédiatement contigus aux faces planes de l'assemblage combustible central, sont choisis

25 dans un autre type tandis que les assemblages combustibles situés sur la diagonale sont choisis dans le même type que l'assemblage central. Cette disposition est répétée ensuite de manière alternée. Par exemple^a/on choisi, comme assemblage combustible central 100, 116 à la figure 7, un assemblage 90 de déplacement de sorte que les assemblages combustibles con-

30 tigus à ses faces planes sont soit des assemblages 92 de commande ou des assemblages gris 94, tandis que ceux qui sont situés sur la diagonale sont des assemblages 90 de déplacement. Cette disposition est répétée de manière alternée jusqu'à ce qu'on ait atteint la périphérie du coeur où on peut choisir,

35 comme derniers assemblages combustibles, des assemblages hybrides basés sur la physique nucléaire du coeur en particulier. Pour déterminer si le choix d'un assemblage en particulier doit se porter sur un assemblage 92 de commande ou sur un

assemblage gris 94, on choisit d'abord le nombre et l'emplacement des assemblages de commande nécessaires en se basant sur une conception classique du coeur. Les autres assemblages qui ne sont pas des assemblages 92 de commande, sont utilisés
5 alors comme assemblages gris 94. On peut ainsi disposer sensiblement la totalité du coeur en faisant alterner les assemblages de déplacement et les assemblages de commande ou les assemblages gris, tous les assemblages combustibles étant desservis par au moins un croisillon 58 de support des barres de déplacement et chacun de ces croisillons 58 desservant généralement cinq assemblages combustibles. En outre, chaque assemblage combustible est desservi par au moins un mécanisme de translation des barres de déplacement, des barres de commande ou des barres grises.

15 La disposition illustrée du coeur fournit un moyen d'ajuster le spectre des neutrons par "dérive spectrale" en réglant le volume du modérateur dans le coeur. On peut effectuer cette opération en déplaçant l'eau de refroidissement du coeur et en la remplaçant à certains moments appropriés afin
20 de modifier la modération du coeur. Des barres 40 de déplacement et des barres grises 82 peuvent être utilisées pour effectuer cette modification de modération.

En fonctionnement, toutes les barres 40 de déplacement et toutes les barres grises 82 sont introduites dans le
25 coeur 34 au début de la vie du coeur. Cependant, aucune des barres 80 de commande ne doit être nécessairement introduite à ce moment-là. L'introduction des barres 40 de déplacement et des barres grises 82 s'effectue par la mise en mouvement du mécanisme approprié de translation tel que le mécanisme 38
30 de translation des barres de déplacement. Lorsque ce mécanisme de translation est mis en mouvement, les barres 40 de déplacement et les barres grises 82 plongent dans les tubes appropriés 56 de guidage disposés dans les assemblages combustibles 32. Les barres de déplacement et les barres grises déplaceront
35 leur volume de fluide de refroidissement (eau), diminuant ainsi le volume du modérateur dans le coeur 34. La diminution du modérateur durcit le spectre des neutrons du coeur et augmente la production de plutonium. Ce durcissement du spectre des neu-

trons est appelé d'une manière générale "dérive spectrale". Ce spectre plus dur des neutrons diminue les besoins d'une compensation chimique par le bore, il a pour conséquence un coefficient de température du modérateur plus négatif et il diminue ou élimine les besoins en poisons consommables. Au fur et à mesure que l'uranium combustible présent dans le coeur s'appauvrit au cours de la vie du coeur, un certain nombre de barres 40 de déplacement et (ou) de barres grises 82 peuvent être retirées du coeur par la mise en mouvement de leurs mécanismes appropriés respectifs de translation. Le retrait de ces barres permet l'entrée d'une quantité plus importante d'eau de modération dans la région du coeur et augmente donc la modération du coeur. En fait, cette opération a pour effet d'introduire une valeur de réactivité à un moment où l'appauvrissement du combustible provoque une diminution de la valeur de réactivité. La réactivité du coeur peut donc être maintenue à des niveaux appropriés pendant un temps plus long. Le retrait des barres peut se poursuivre à un régime choisi (en fonction de l'état du coeur) jusqu'à ce que, vers la fin de la vie du coeur, toutes les barres 40 de déplacement et toutes les barres grises 82 aient été retirées du coeur. La sélection et la manipulation des barres de déplacement peuvent s'opérer de la manière décrite dans la demande de brevet américain n° 217 054.

Les barres de déplacement peuvent être utilisées au démarrage pour déplacer environ 20 % du volume d'eau du coeur et elles peuvent rester plongées dans le coeur jusqu'à ce que la concentration de la compensation en bore soit voisine de zéro p.p.m., ce qui se produit à environ 60 % du cycle du combustible. Une telle utilisation des barres de déplacement peut avoir comme effet une diminution de 10 % environ des besoins en uranium combustible pour une durée de vie donnée du coeur et, en conséquence, 10 % d'économie des coûts de combustible. En outre, l'utilisation de barres de poisons consommables peut être effectivement éliminée, ce qui représente une réduction supplémentaire des coûts.

Dans la commande du fonctionnement d'un réacteur nucléaire, il est bien connu de l'homme de l'art que des batte-

ries de barres 80 de commande sont introduites ou retirées successivement selon la puissance requise à la sortie du réacteur nucléaire. Cette puissance de sortie du réacteur augmente si les barres 80 de commande sont retirées du réacteur, et elle est réduite si les barres 80 de commande sont introduites dans le réacteur.

De manière caractéristique, les barres 80 de commande sont disposées en plusieurs batteries constituées de plusieurs groupes de barres de commande. Lorsqu'on veut augmenter la puissance de sortie du réacteur, une batterie de barres sera commandée séquentiellement, c'est-à-dire qu'une première batterie de barres sera retirée progressivement du réacteur et d'autres batteries seront retirées ensuite si on désire une puissance plus élevée. D'une manière générale, il est souhaitable de commencer à retirer d'autres batteries avant que la première batterie ait été retirée sur sa hauteur maximum.

Du fait que chaque batterie est constituée d'un ou plusieurs groupes de barres, lorsqu'une batterie est introduite ou retirée, ces groupes effectueront un déplacement progressif dans le sens désiré. Si un changement du sens de déplacement des barres intervient, le dernier groupe de barres qui a été déplacé avant le changement de sens, sera généralement le premier à être déplacé en sens contraire lorsque le changement de sens sera nécessaire, ceci afin de maintenir un alignement correct des barres à l'intérieur du réacteur et pour permettre la commande souhaitée du fonctionnement du réacteur.

Puisque ce déplacement des barres 80 de commande aura pour effet de modifier la réactivité du coeur (elle sera soit augmentée soit diminuée) et puisque le déplacement des barres 40 de déplacement et des barres grises 82 augmentera ou diminuera également la réactivité du coeur, il est souhaitable de coordonner le déplacement des barres 40 de déplacement, des barres 80 de commande et des barres grises 82 afin d'obtenir dans tout le coeur le niveau et la répartition de la réactivité et de la puissance recherchés. On peut réaliser le niveau et la répartition appropriés de la puissance en

contrôlant l'état de réactivité du coeur ainsi que les besoins en réactivité, et en choisissant ensuite le type et l'emplacement corrects de la barre 40 de déplacement, de la barre 80 de commande ou de la barre grise 82 à déplacer. Du fait que
5 les barres 40 de déplacement, les barres 80 de commande et les barres grises 82 présentent des valeurs différentes de réactivité, et du fait que des barres de chaque type sont dispersées en divers point du coeur, le choix et la manipulation corrects des barres permettront d'obtenir le niveau et
10 la répartition de la puissance recherchés avec une souplesse plus grande que celle qui était réalisable avec les barres de commande seules. Ainsi, l'utilisation de barres 40 de déplacement, de barres 80 de commande et de barres grises 82 combinées de différentes manières, fournit des avantages importants dans la commande d'un réacteur nucléaire.
15

En conséquence, on peut voir que la réactivité d'un réacteur nucléaire peut être ajustée effectivement par le réglage du volume du modérateur au moyen de barres de déplacement.

20 La présente invention n'est pas limitée aux exemples de réalisation qui viennent d'être décrits, elle est au contraire susceptible de variantes et de modifications qui apparaîtront à l'homme de l'art.

REVENDEICATIONS

1. Réacteur nucléaire à eau sous pression et dérive spectrale comprenant une cuve (22) de réacteur avec une entrée (26) et une sortie (28) pour la circulation de l'eau de refroidissement en vue d'un échange de chaleur avec un coeur (34) placé dans la cuve, plusieurs assemblages combustibles (32) disposés dans ce coeur (34) pour produire de la chaleur par fission nucléaire, et plusieurs barres de commande mobiles selon une progression régulière et placées dans ce réacteur pour régler le niveau et la répartition de la puissance du réacteur, caractérisé en ce que plusieurs éléments (40) de déplacement de l'eau d'absorption des neutrons lents sont disposés dans la cuve (22) de manière à pouvoir être introduits complètement dans le coeur (34) ou en être retirés complètement afin d'expulser l'eau du coeur lorsque ces éléments de déplacement sont introduits dans le coeur (34), réduisant de ce fait la modulation du coeur.

2. Réacteur nucléaire suivant la revendication 2, caractérisé en ce qu'un mécanisme électromécanique (36) de translation des barres de commande est monté sur la cuve (22) du réacteur et est relié aux barres de commande afin de déplacer progressivement ces barres de commande par rapport au coeur ; et en ce qu'un mécanisme hydraulique (38) de translation des barres de déplacement est monté sur la cuve (22) du réacteur et est relié aux éléments (40) de déplacement de l'eau d'absorption des neutrons lents afin d'introduire complètement ces éléments (40) de déplacement dans le coeur (34) ou les en retirer complètement.

3. Réacteur nucléaire suivant la revendication 2, caractérisé en ce que ce mécanisme hydraulique (38) de translation des barres de déplacement comprend un croisillon (58) auquel sont fixés les éléments (40) de déplacement, et un arbre (64) de translation sur lequel est fixé le croisillon (58) et qui se prolonge à travers la cuve (22) du réacteur jusqu'au mécanisme hydraulique (38) de translation monté sur la tête (24) de fermeture de la cuve (22) du réacteur afin que l'arbre (64) de translation et le croisillon (58) puissent se déplacer verticalement et sélectivement par rapport aux assemblages

combustibles (34).

4. Procédé de fonctionnement d'un réacteur à eau sous pression suivant les revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'au moins certaines des barres de commande sont sélectivement et progressivement déplacées par rapport au coeur du réac-
5 teur, tandis que les éléments de déplacement de l'eau d'absorption des neutrons lents sont sélectivement et complètement retirés du coeur ou introduits dans le coeur, afin de régler le niveau et la répartition de la puissance du réacteur.

10 5. Procédé suivant la revendication 4, caractérisé en ce qu'au moins une des barres de commande est complètement retirée du coeur ou complètement introduite dans le coeur.

6. Procédé suivant l'une des revendications 4 ou 5, caractérisé en ce que les barres de commande sont déplacées
15 par le mécanisme électromécanique (36) de translation des barres de commande tandis que les éléments (40) de déplacement de l'eau d'absorption des neutrons lents sont déplacés par le mécanisme hydraulique (38) de translation des barres de déplacement.

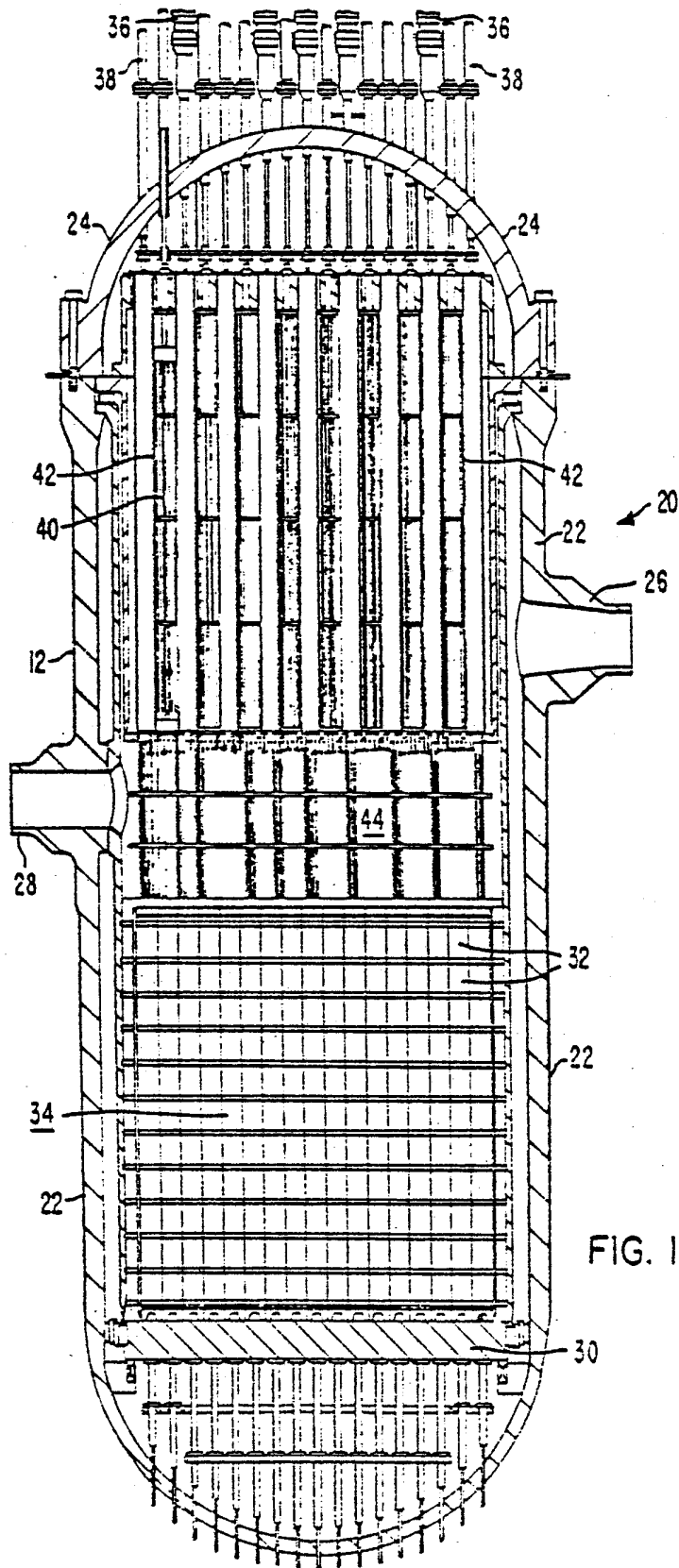


FIG. 1

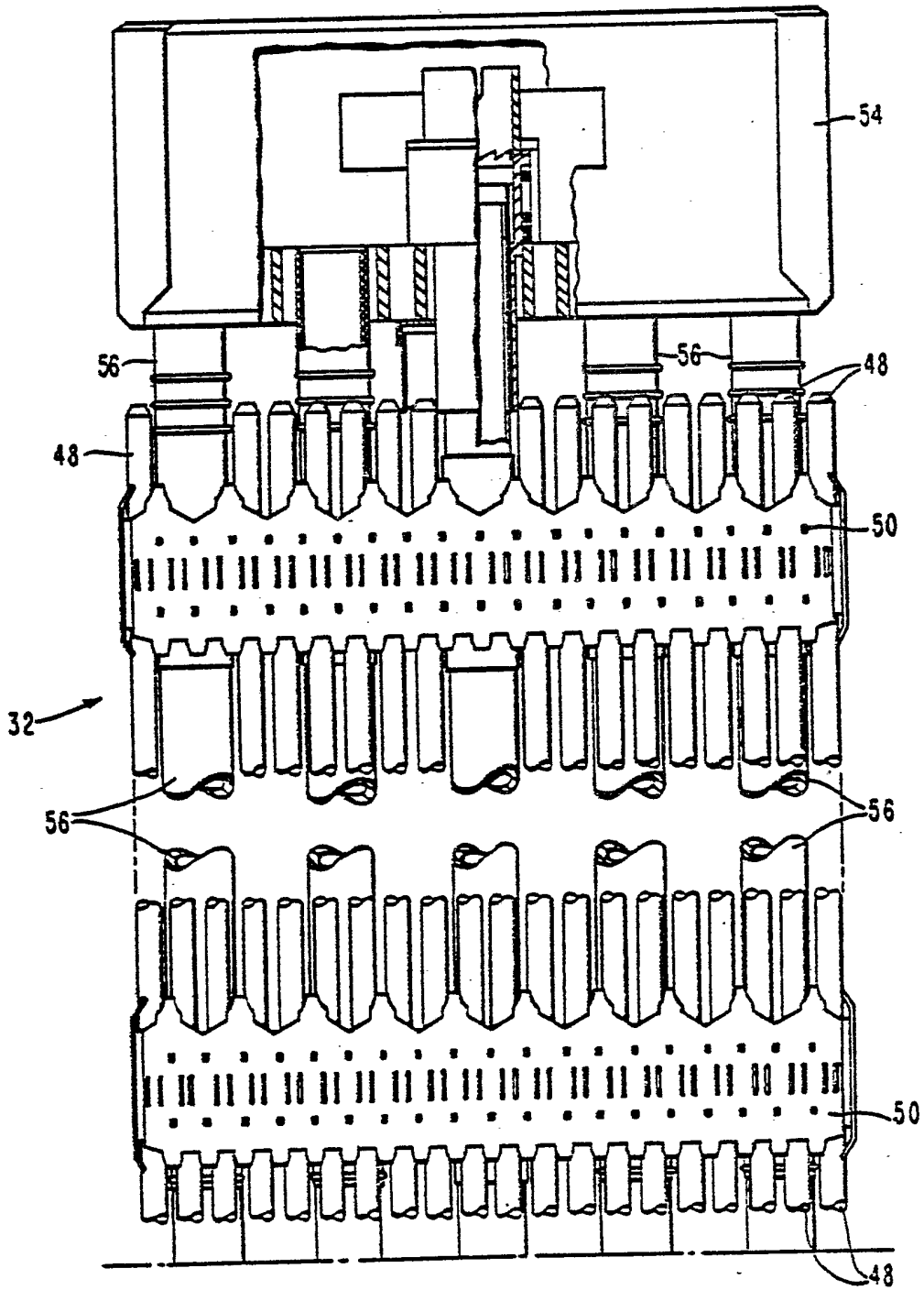


FIG. 2

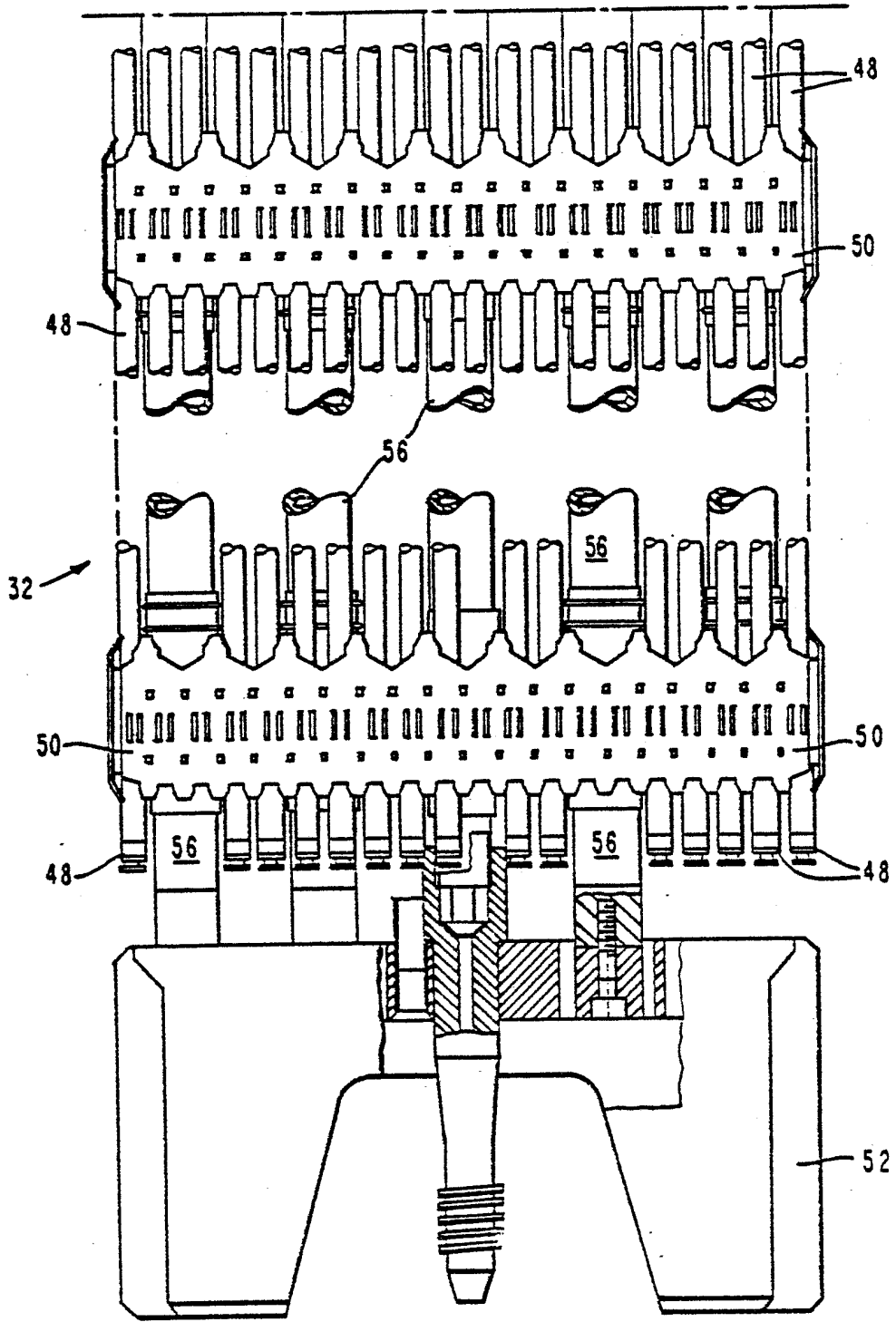


FIG. 3

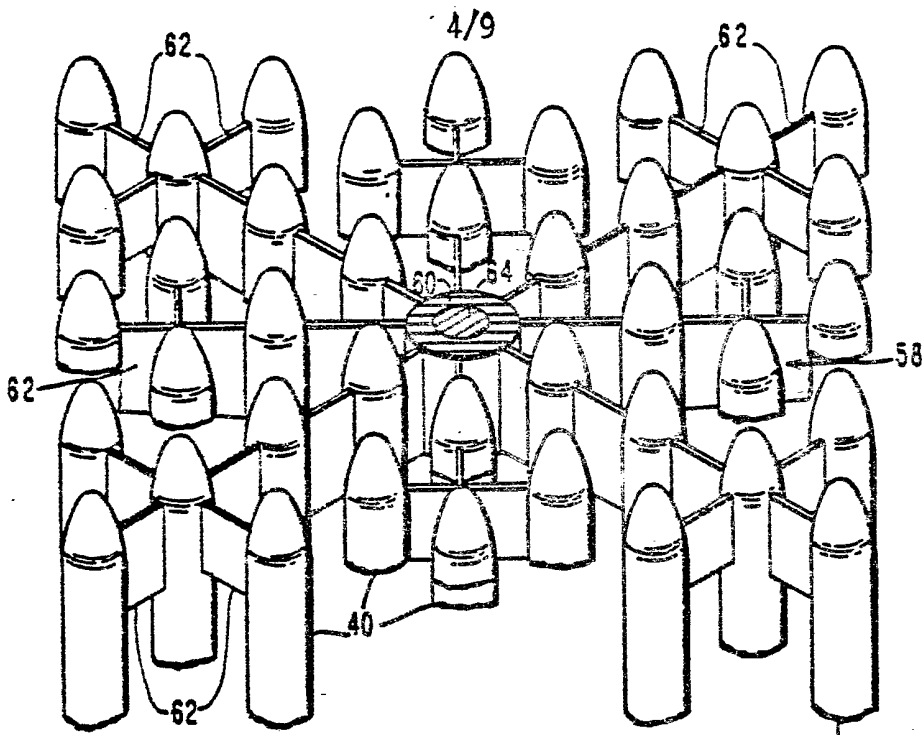
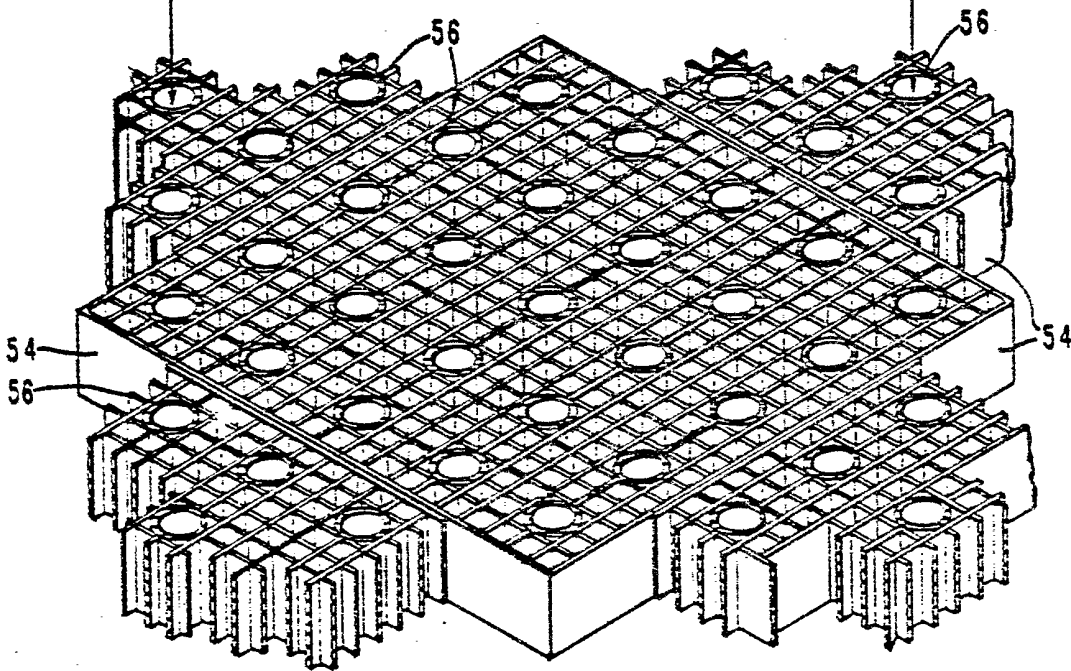


FIG. 4



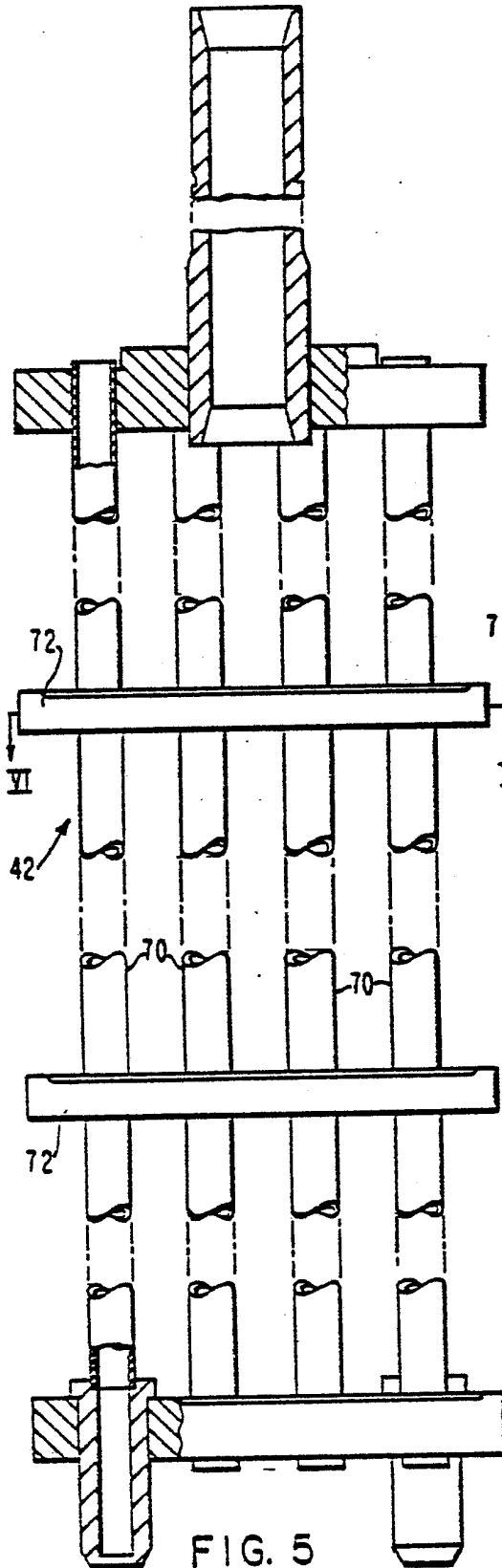


FIG. 5

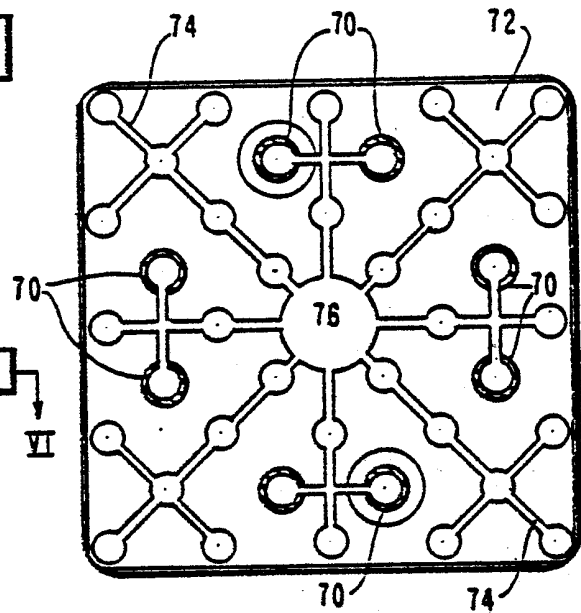


FIG. 6

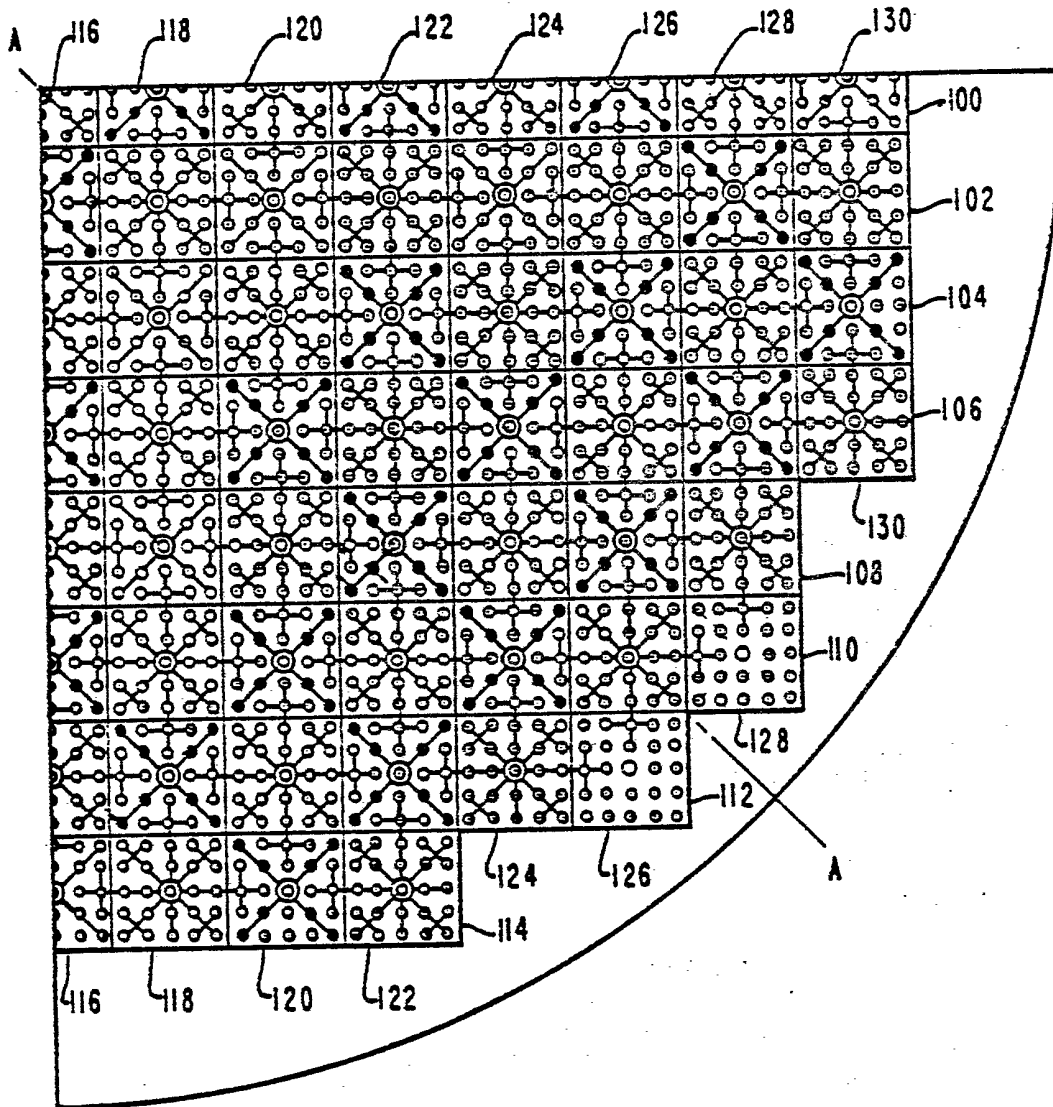


FIG. 7

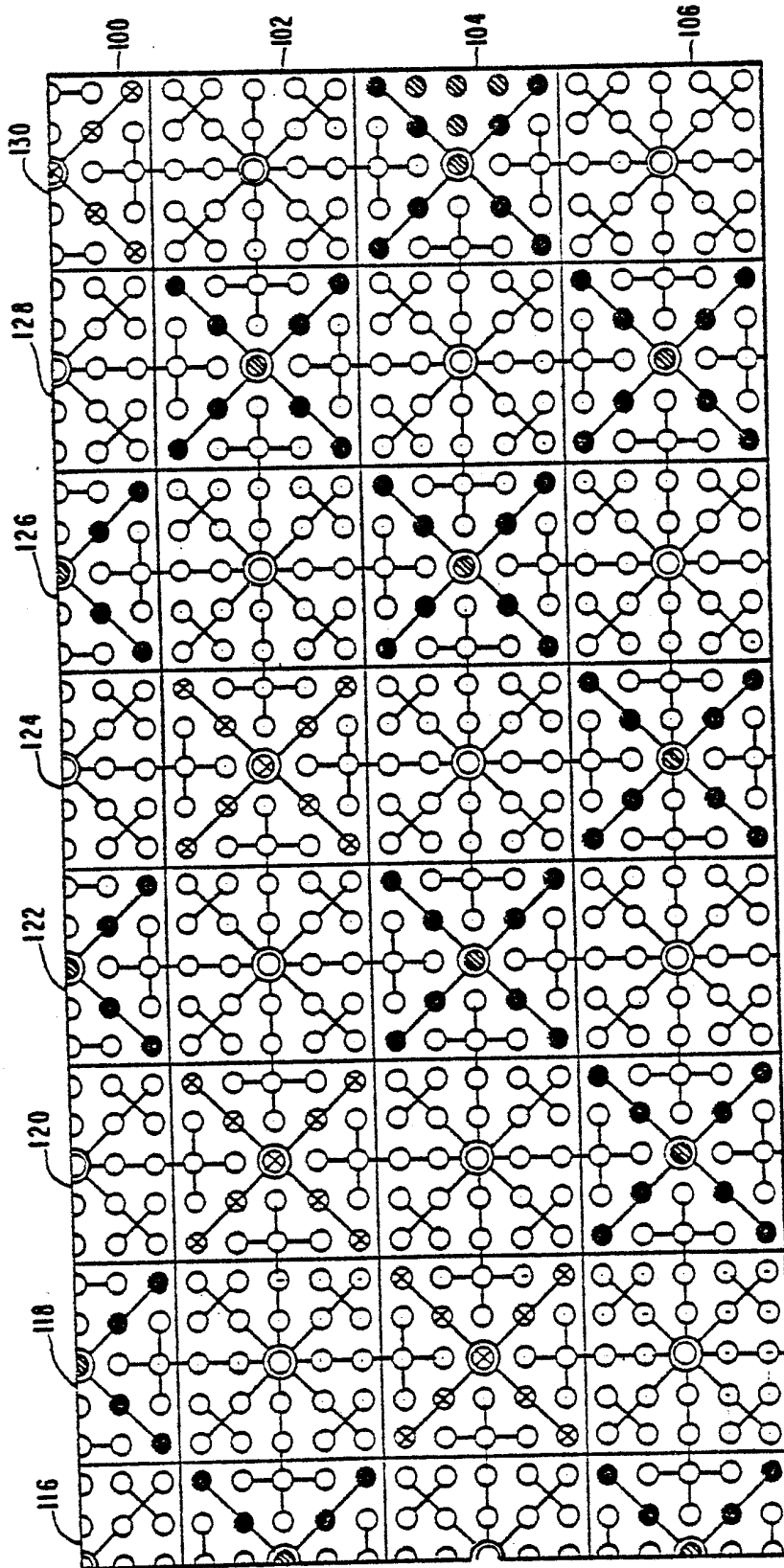


FIG. 8

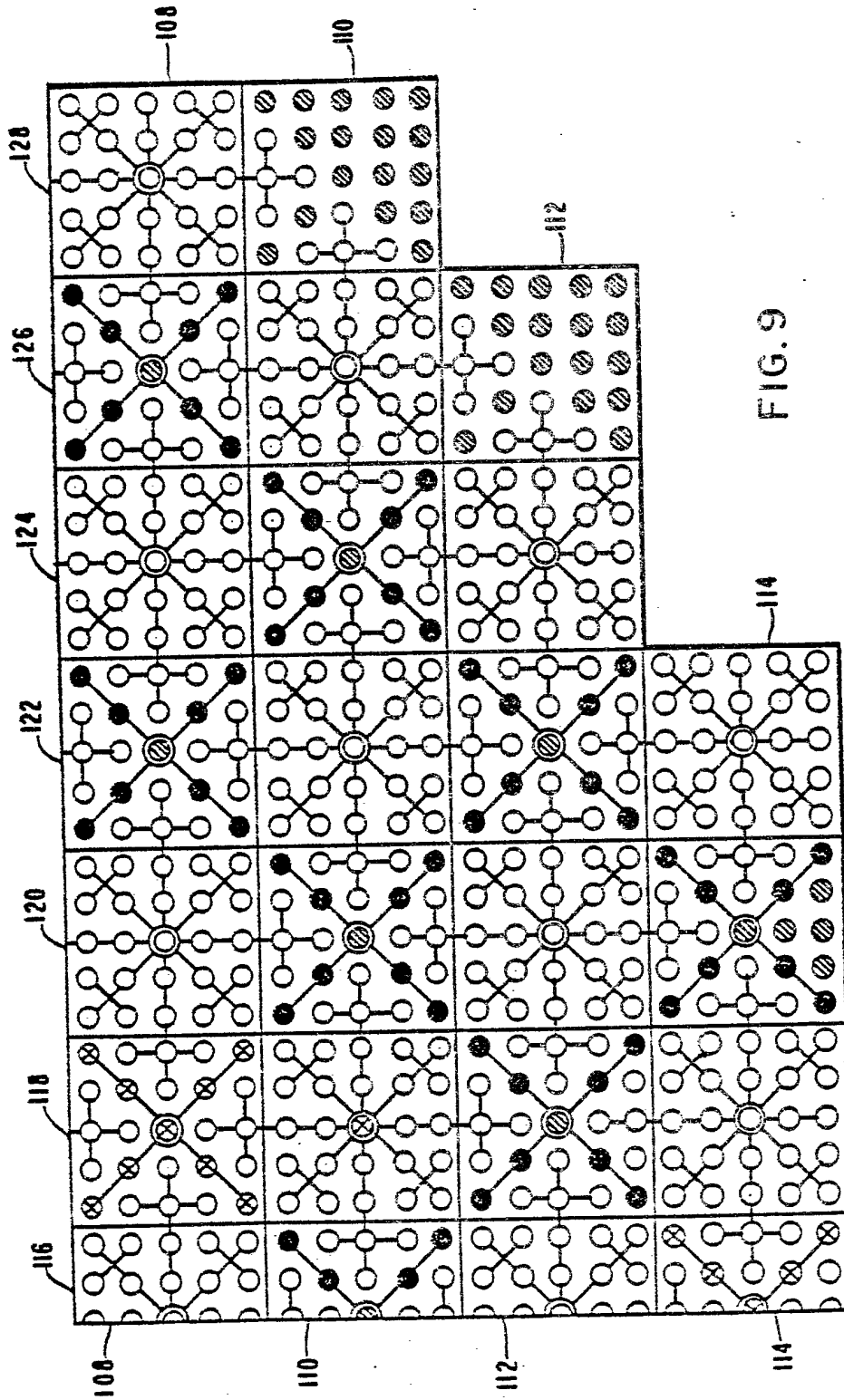


FIG. 9

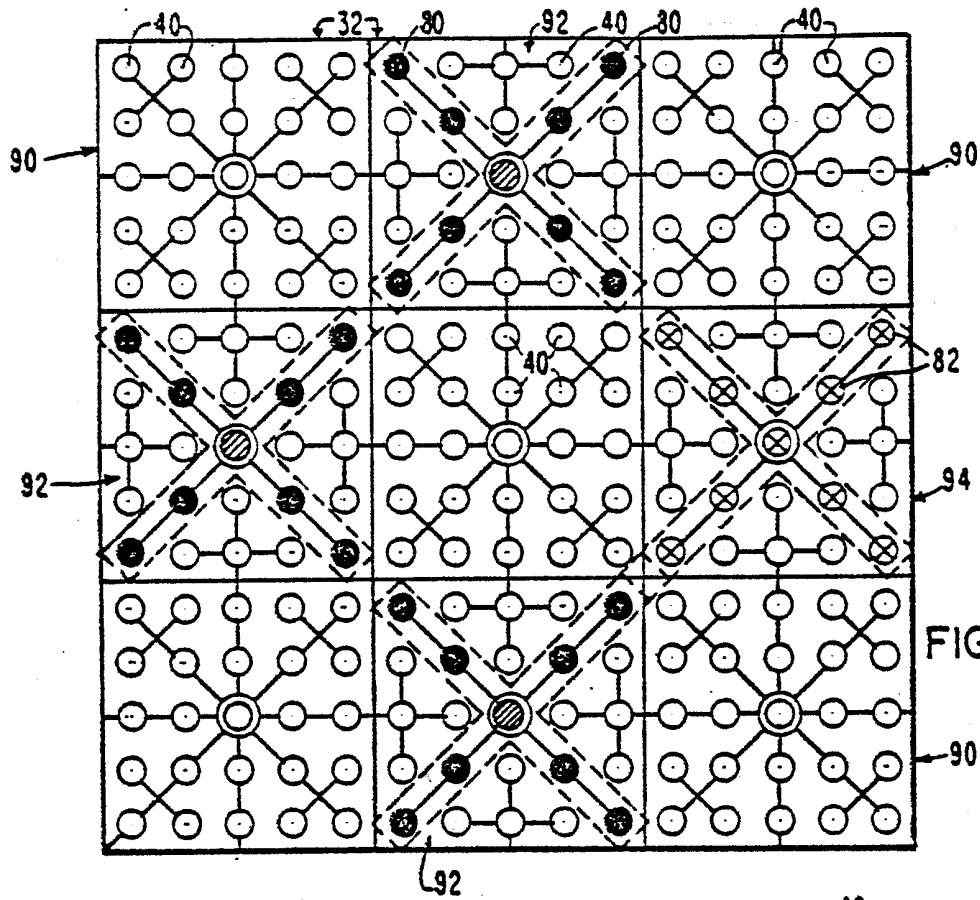


FIG. II

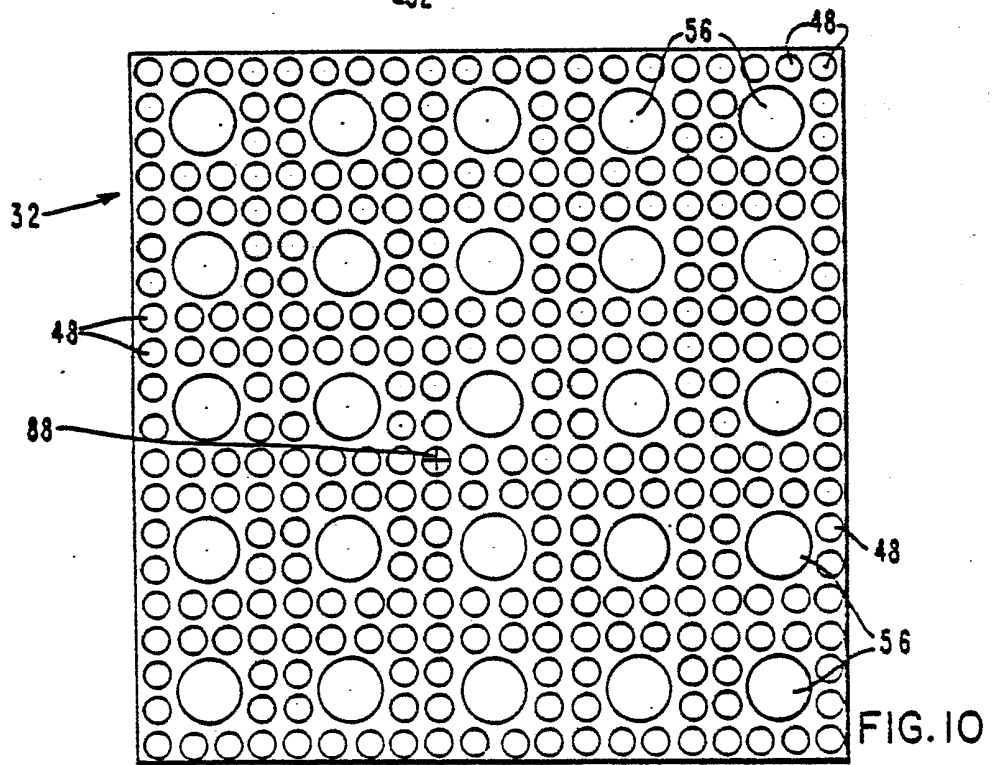


FIG. 10