



CONFÉDÉRATION SUISSE

OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

⑤① Int. Cl.³: C 25 C

3/16

Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein

Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

⑫ **FASCICULE DU BREVET** A5

⑪

641 210

⑫① Numéro de la demande: 4185/79

⑫② Date de dépôt: 04.05.1979

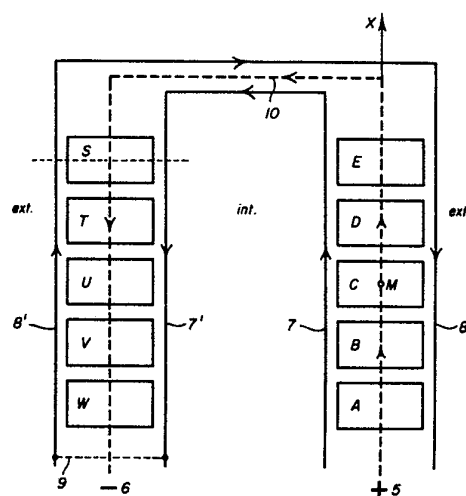
⑫③ Priorité(s): 11.05.1978 FR 78 14676

⑫④ Brevet délivré le: 15.02.1984

⑫⑤ Fascicule du brevet
publié le: 15.02.1984⑫⑦ Titulaire(s):
Aluminium Pechiney, Lyon (FR)⑫⑦ Inventeur(s):
Paul Morel, Le Vesinet (FR)
Jean-Pierre Dugois, St-Jean-de-Maurienne (FR)⑫⑧ Mandataire:
William Blanc & Cie conseils en propriété
industrielle S.A., Genève**⑤④ Installation de production industrielle d'aluminium comprenant une pluralité de séries de cuves d'électrolyse à haute intensité et procédé de mise en action de cette installation.**

⑤⑦ On dispose, le long de chaque file (A, B, C, D, E; S, T, U, V, W), du côté intérieur et/ou du côté extérieur, un conducteur de compensation (7, 7', 8, 8') parcouru par un courant continu, qui induit un champ antagoniste neutralisant le champ parasite de la file voisine. En réglant l'intensité dans chaque conducteur et la distance entre le conducteur et la file, on obtient une excellente compensation.

Ce procédé est appliqué aux séries de cuves d'électrolyse ignée, à très haute intensité, pour la production d'aluminium, et il permet d'améliorer le déroulement de l'électrolyse.



REVENDECATIONS

1. Installation de production industrielle d'aluminium, comprenant une pluralité de séries de cuve d'électrolyse à haute intensité, disposées en files parallèles entre elles, chaque cuve étant placée en travers par rapport à l'axe de la série, caractérisée en ce qu'un conducteur de compensation du champ magnétique induit par la file voisine est disposé le long de chaque file, du côté intérieur et/ou du côté extérieur, ce conducteur étant situé sensiblement dans le plan de la nappe d'aluminium liquide et à proximité immédiate du caisson métallique desdites cuves.

2. Installation selon la revendication 1, caractérisée en ce que le conducteur de compensation intérieur est alimenté par un courant continu circulant dans le même sens que le courant d'électrolyse de la file adjacente, et en sens inverse du courant d'électrolyse de la file voisine.

3. Installation selon la revendication 1, caractérisée en ce que le conducteur de compensation extérieur est alimenté par un courant continu circulant en sens inverse du courant d'électrolyse de la file adjacente et dans le même sens que le courant d'électrolyse de la file voisine.

4. Installation selon la revendication 1, caractérisée en ce que le conducteur de compensation intérieur et le conducteur de compensation extérieur sont connectés en série et alimentés par un courant continu circulant, dans le conducteur intérieur, dans le même sens que le courant d'électrolyse de la file adjacente et, dans le conducteur extérieur, dans le sens inverse du courant d'électrolyse de la file adjacente.

5. Procédé de mise en action de l'installation selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on fait passer un courant continu dans le ou les conducteur(s) de compensation, de façon à compenser le champ magnétique induit par la file voisine.

6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que l'intensité i du courant, circulant dans le conducteur de compensation est déterminée, à partir de la relation $B = \frac{2i}{d}$ d étant la distance du conducteur au grand axe de façon que la moyenne du champ magnétique total B_T soit nulle sur le grand axe de la cuve.

7. Procédé selon la revendication 5, pour la mise en action de l'installation selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'on alimente uniquement le conducteur intérieur lorsque la valeur moyenne B'_i du champ vertical en l'absence de file voisine dans la demi-cuve côté intérieur est du même signe que le champ B_F créé par la file voisine.

8. Procédé selon la revendication 5 pour la mise en action de l'installation selon la revendication 3, caractérisé en ce que l'on alimente uniquement le conducteur extérieur lorsque la valeur moyenne B'_e du champ vertical en l'absence de file voisine dans la demi-cuve côté intérieur est du signe opposé au champ B_F créé par la file voisine.

9. Procédé selon la revendication 5 pour la mise en action de l'installation selon la revendication 4, caractérisé en ce que le conducteur intérieur et le conducteur extérieur sont mis en série et alimentés en courant continu lorsque la valeur moyenne B'_i du champ vertical en l'absence de file voisine dans la demi-cuve côté intérieur est approximativement égale ou inférieure au $1/10$ e du champ B_F créé par la file voisine.

La présente invention concerne une pluralité de séries de cuves d'électrolyse ignée à haute intensité, disposées en files parallèles entre elles, chaque cuve étant placée en travers par rapport à l'axe de la série. L'invention concerne également un procédé de mise en action de cette installation.

La production industrielle de l'aluminium s'opère par électrolyse ignée, dans des cuves branchées électriquement en série, d'une solution d'alumine dans de la cryolithe portée à une température de l'ordre de 950 à 1000 °C par l'effet Joule du courant traversant la cuve.

Chaque cuve comprend une cathode rectangulaire formant creuset, dont le fond est constitué par des blocs de carbone scellés sur des barres d'acier dites barres cathodiques, qui servent à évacuer le courant de la cathode vers les anodes de la cuve suivante. Le système anodique, également en carbone, est fixé sous une superstructure dite «croisillon» et relié aux barres cathodiques de la cuve précédente.

Entre le système anodique et la cathode se trouve le bain d'électrolyse, c'est-à-dire la solution d'alumine dans de la cryolithe. L'aluminium produit se dépose sur la cathode. Une couche d'aluminium liquide d'une vingtaine de centimètres d'épaisseur est maintenue en permanence au fond du creuset cathodique pour assurer un effet de volant thermique.

Le creuset étant rectangulaire, les barres anodiques supportant les anodes sont, en général, parallèles à ses grands côtés, alors que les barres cathodiques sont parallèles à ses petits côtés, dits têtes de cuve.

Les cuves sont rangées selon des files, en long ou en travers, suivant que leur grand côté ou leur petit côté est parallèle à l'axe de la file. Les cuves sont branchées électriquement en série, les extrémités de la série étant reliées aux sorties positive et négative d'une sous-station électrique de redressement et de régulation. Chaque série de cuves comprend un certain nombre de files branchées en série, le nombre des files étant, de préférence, pair afin d'éviter des longueurs inutiles de conducteurs.

Le courant électrique, qui parcourt les différents conducteurs: électrolyte, métal liquide, anodes, cathodes, conducteurs de liaison, crée des champs magnétiques importants. Ces champs induisent, dans le bain d'électrolyse et dans le métal fondu contenu dans le creuset, des forces dites de Laplace qui, par les mouvements qu'elles engendrent, sont nuisibles à la bonne marche de la cuve. Le dessin de la cuve et de ses conducteurs de liaison est étudié pour que les champs magnétiques créés par les différentes parties de la cuve et les conducteurs de liaison se compensent: on aboutit ainsi à une cuve ayant pour plan de symétrie le plan vertical parallèle à la file de cuves et passant par le centre du creuset.

Cependant, les cuves sont également soumises à des champs magnétiques perturbateurs provenant de la ou des files voisines. On entend par «file voisine» la file la plus proche de la file considérée et par «champ de la file voisine», la résultante des champs de toutes les files autres que la file considérée.

Dans tout ce qui suit, on désignera, selon les conventions habituelles,

– l'amont et l'aval par référence au sens du courant électrique, dans la série,

– par B_x , B_y et B_z les composants du champ magnétique selon les axes Ox , Oy et Oz dans un trièdre rectangle direct dont le centre O est le centre du plan cathodique de la cuve, Ox est l'axe longitudinal dans le sens de la cuve, Oy l'axe transversal et Oz l'axe vertical dirigé vers le haut,

– côté intérieur d'une cuve, celui qui est situé vers la file voisine et côté extérieur, celui opposé à la file voisine.

On a déjà décrit antérieurement des procédés pour compenser le champ magnétique induit par la file voisine:

– le brevet français 1 079 131, au nom de la requérante décrit un dispositif de boucle démagnétisante pour atténuer le champ de la file voisine, en faisant revenir, pour chaque file, le courant de retour soit sous la file de cuves, soit au centre de la rangée de deux files de cuves. Ce procédé, quoique efficace, allonge considérablement la longueur des conducteurs.

– le brevet des Etats-Unis No. 3 616 317 s'applique exclusivement à des séries dans lesquelles les cuves sont disposées en long. Il décrit un dispositif consistant à placer, sur le côté externe de séries aménagées en deux files parallèles, un conducteur de compensation parcouru par un courant continu de sens opposé à celui du courant d'électrolyse dans la série adjacente, et d'intensité égale à environ 25% du courant d'électrolyse.

– les brevets français 2 233 060 et 2 343 826, au nom de la requérante décrivent également des procédés de compensation du champ magnétique de la file voisine, mais ils opèrent cuve par cuve, et non sur l'ensemble de la file, et ne relèvent donc pas du même concept inventif.

Cependant, ces différents procédés sont, pour la plupart, inadaptés à la compensation du champ magnétique induit par la ou les files voisines dans les installations les plus récentes où l'intensité peut atteindre et même dépasser 200 000 ampères.

On serait donc conduit, pour conserver au champ de la file voisine une valeur acceptable, à augmenter sensiblement la distance entre files. Il en résulterait un accroissement inacceptable de certaines dépenses: terrain, infrastructure, longueur des conducteurs de liaison entre files de cuves qui diminueraient le gain sur l'investissement permis par l'utilisation de cuves d'ampérage élevé.

La présente invention a précisément pour but de permettre la compensation du champ magnétique de la file voisine dans les séries de cuves d'électrolyse à très haute intensité, disposées en files parallèles entre elles, chaque cuve étant placée en travers, sans entraîner les inconvénients qui viennent d'être mentionnés.

A cet effet, l'installation selon l'invention présente les caractéristiques spécifiées dans la revendication 1.

Ainsi, cette installation est munie d'au moins un conducteur auxiliaire, ce conducteur étant mis en place, sans modification des cuves existantes, parallèlement à l'axe Ox, dans le plan de l'interface bain-métal, et le plus près possible du caisson, c'est-à-dire de l'enveloppe métallique externe de la cuve, et l'on fait passer dans ce conducteur, dans un sens convenable, un courant continu d'intensité choisie de façon à assurer la compensation recherchée.

L'invention va être maintenant décrite en détail en se référant au dessin annexé, dans lequel:

La figure 1 représente schématiquement, en coupe transversale passant par le point O défini plus haut, une cuve d'électrolyse disposée en travers par rapport à l'axe de la série, l'axe Ox étant donc perpendiculaire au plan de la figure. Le caisson est en 1, la nappe d'aluminium liquide en 2, l'électrolyte en 3 et le système anodique est en 4.

La figure 2 représente, schématisée, une série de cuves d'électrolyse séparée en deux files parallèles. Pour simplifier le dessin, on n'a fait figurer que cinq cuves par file (A, B, C, D, E et S, T, U, V, W) mais, dans la pratique industrielle, il est fréquent que chaque file comporte une centaine de cuves en série.

Les figures 3, 4 et 5 représentent les diagrammes de compensation du champ de la file voisine selon trois variantes de l'invention.

Le champ magnétique créé par une file de cuves sur une cuve d'une autre file est vertical. Si M est un point quelconque d'une cuve, le champ créé en M par la file voisine est de signe constant et décroît de façon très légèrement hyperbolique quand le point M se déplace à partir du petit côté situé le plus près de la file voisine vers le petit côté le plus éloigné de la file voisine. Ce champ est représenté par la courbe F des figures 3, 4 et 5, et correspond à une file voisine située du côté des y positifs.

Sur la figure 2, on a représenté partiellement une série de cuves d'électrolyse disposée en deux files parallèles. Le pôle

positif de la source de courant continu d'électrolyse est branché du côté appelé «tête» en 5 et le pôle négatif au côté appelé «queue» en 6.

La tête de série 5 est connectée au pôle positif du générateur de courant continu d'électrolyse et la queue 6 est connectée au pôle négatif de ce même générateur. Les conducteurs auxiliaires destinés à compenser le champ de la file voisine sont en 7, 7', du côté intérieur, et 8, 8' du côté extérieur de la série. On peut les réunir au moyen du connecteur 9. La ligne pointillée 10 représente le parcours du courant d'électrolyse. On a disposé, le long du côté intérieur des cuves, le conducteur de compensation 7, 7', et le long du côté extérieur des cuves, le conducteur de compensation 8, 8', l'un et l'autre peuvent être alimentés en courant continu, séparément ou par mise en série au moyen du conducteur 9 figuré en pointillé, à partir d'un redresseur auxiliaire fournissant une intensité pouvant aller jusqu'à trente mille ampères, sous une tension relativement faible correspondant à la seule chute de tension dans les conducteurs qui peut être par exemple, de l'ordre de 10 millivolts par mètre. La puissance dissipée dans ces conducteurs de compensation est donc, au total, très faible par rapport à l'énergie d'électrolyse.

Sur la figure 3, on a tracé le diagramme des champs magnétiques dans le cas où le conducteur de compensation intérieur 7, 7', est le seul alimenté, sous une intensité de 30 KA, le courant circulant dans le sens opposé à celui du courant d'électrolyse dans la file voisine, donc, dans le même sens que celui de la file adjacente.

Ce conducteur de compensation 7 crée donc sur chaque cuve adjacente (A, B, C, D, E . . .) un champ vertical de sens constant et opposé à celui du champ créé par la file voisine (S, T, U, V, W . . .) d'intensité décroissant de façon quasi-hyperbolique car $B = \frac{2i}{d}$ (B étant le champ magnétique en 10^{-4}

TESLA, i l'intensité en kiloampères et d la distance en mètres), en allant du côté intérieur vers le côté extérieur. En fait, ce champ de compensation est dû à la fois au conducteur de compensation adjacent 7 et au conducteur de compensation équivalent 7' placé sur la file voisine. Il est représenté par la courbe G de la figure 3.

La courbe H, qui est la somme algébrique de F + G, représente le champ résultant.

Sur la figure 4, on a tracé le diagramme des champs magnétiques dans le cas où le conducteur de compensation externe 8, 8' est le seul alimenté, sous une intensité de 22 KA, le courant circulant dans le sens opposé à celui du courant d'électrolyse dans la file adjacente, donc dans le même sens que dans la file voisine.

Ce conducteur crée sur chaque cuve adjacente (A, B, C, D, E) un champ vertical de sens constant et opposé à celui du champ créé par la file voisine et d'intensité décroissant de façon quasi-hyperbolique (car $B = \frac{2i}{d}$) en allant du côté exté-

rieur vers le côté intérieur de la cuve. En fait, ce champ de compensation est dû à la fois au conducteur adjacent 8 de compensation de la cuve et, d'autre part, au conducteur de compensation équivalent 8' installé sur la file voisine. Ce champ est représenté par la courbe J de la figure 4.

La courbe K, qui est la somme algébrique de F + J représente le champ résultant.

Sur la figure 5, on a tracé le diagramme des champs magnétiques dans le cas où les deux conducteurs de compensation 7, 7' et 8, 8' sont alimentés et mis en série par la jonction 9, le sens du courant étant dans chacun d'eux le même que dans les deux cas précédents et l'intensité fixée à 13 KA.

Ces conducteurs créent sur la cuve un champ vertical de sens constant et opposé à celui créé par la file voisine et dont

l'intensité est légèrement plus faible au centre de la cuve (sur l'axe Ox) que sur ses côtés.

En fait, ce champ est dû aux deux conducteurs de compensation adjacents à la cuve 7, 8 et aux conducteurs de compensation situés le long de la file voisine 7', 8'.

Le champ de compensation est représenté par la courbe L de la figure 4 et le champ résultant, somme algébrique de $F + L$, est représenté par la courbe N. Pour rendre la figure plus lisible, on a adopté pour l'axe des ordonnées une échelle plus grande que pour les figures 3 et 4.

L'intensité sous laquelle vont être alimentés les conducteurs de compensation, doit être déterminée en vue d'une compensation optimale; en pratique, la compensation est obtenue avec un courant dont l'intensité ne dépasse pas 20% de l'intensité du courant d'électrolyse. Les conducteurs de compensation pouvant être assimilés à des conducteurs infinis, le champ qu'ils créent sur la cuve en un point M est pratiquement indépendant de l'abscisse de M.

Si l'on appelle:

$B_F(M)$ le champ créé par la file voisine en M

$B_C(M)$ le champ créé par les conducteurs de compensation en M,

le champ total $B_T(M)$ sera égal à $B_F(M) + B_C(M)$.

La valeur i de l'intensité dans les conducteurs de compensation sera choisie de façon que la valeur moyenne de B_T sur le grand axe de la cuve soit nulle, à partir de la relation

$$B = \frac{2i}{d}.$$

Le champ résultant est représenté par les courbes H, K, N respectivement sur les figures 3, 4 et 5.

On dispose donc de trois modes de mise en œuvre du procédé, objet de l'invention, selon que l'un ou l'autre ou les deux conducteurs de compensation sont alimentés.

Avec le mode de mise en œuvre de l'invention, selon la figure 3, que nous appellerons «variante no 1», la valeur moyenne du champ B_T est du signe opposé à B_F du côté intérieur et de même signe que B_F du côté extérieur.

Avec le mode de mise en œuvre selon la figure 4, que nous appellerons «variante no 2», B_T est du même signe que B_F côté intérieur et du signe opposé côté extérieur.

Avec le mode de mise en œuvre selon la figure 5, que nous appellerons «variante no 3», le champ B_T est très faible partout.

Considérons maintenant une cuve en l'absence de file voisine: les conducteurs d'alimentation de la cuve ainsi que la cuve elle-même sont symétriques par rapport au plan xoz. Il en résulte que la composante verticale du champ de la cuve sans file voisine est antisymétrique en y, c'est-à-dire que si l'on change y en -y, B_z se change en $-B_z$. En considérant la cuve coupée suivant son axe transversal, la valeur moyenne de B_z sur un côté de la cuve (par exemple du côté des y négatifs) est égale et de signe opposé à la valeur moyenne de B_z sur l'autre côté.

Un critère bien connu de bon fonctionnement des cuves est que la valeur moyenne de B_z soit la plus faible possible. Le choix entre l'une des trois variantes de mise en œuvre du procédé selon l'invention se fait alors de la façon suivante:

On mesure la valeur moyenne du champ vertical de la cuve dans la série pour la moitié intérieure et pour la moitié extérieure de la cuve, soit $\overline{B_i}$ (cuve + file voisine) et $\overline{B_e}$ (cuve + file voisine). On calcule ce que seraient ces valeurs moyennes en l'absence de file voisine: soit $\overline{B'_i}$ (sans file voisine) et $\overline{B'_e}$ (sans file voisine).

On vérifie que le rapport de ces deux valeurs $\overline{B'_i}/\overline{B'_e}$ est peu différent de -1.

On choisit alors celle des trois variantes pour laquelle la valeur moyenne du champ vertical de la cuve avec la file voisine et les conducteurs de compensation soit la plus faible possible en valeur absolue dans chacune des demi-cuves, intérieure et extérieure.

C'est-à-dire que si $\overline{B'_i}$ (sans file voisine) est du même signe que le champ créé par la file voisine, on adoptera la première variante (figure 3).

Si $\overline{B'_i}$ (sans file voisine) est du signe opposé à celui du champ créé par la file voisine, on adoptera la seconde variante (figure 4).

Si $\overline{B'_i}$ (sans file voisine) est très faible, par exemple, inférieure au dixième du champ créé par la file voisine, on adoptera la troisième variante.

Exemple:

On considère une série de cuves d'électrolyse fonctionnant sous 175 KA disposée en deux files parallèles éloignées de 50 mètres d'axe en axe. La longueur du système anodique est de 8,4 mètres. Les conducteurs de compensation sont placés à 8 mètres du centre de la cuve, côté intérieur et/ou côté extérieur.

Le tableau suivant indique les valeurs du champ magnétique vertical total (B_T) selon chacune des variantes mises en œuvre.

Champ en 10 ⁴ Tesla	Variante no 1	Variante no 2	Variante no 3
Valeur moyenne: côté intérieur			
B_F	7,3	7,3	7,3
B_C	-9,3	-5,3	-7,0
$B_T = B_F + B_C$	-2,0	-2,0	0,3
Valeur moyenne: côté extérieur			
B_F	6,7	6,7	6,7
B_C	-4,7	-8,7	-7,0
$B_T = B_F + B_C$	2,0	2,0	0,3
Intensité dans le ou les conducteurs de compensation	30 KA	22 KA	13 KA

L'expérience montre que l'effet d'aimantation (c'est-à-dire l'effet d'écran produit par les masses ferromagnétiques constituées par le caisson, la superstructure, les barres cathodiques et éventuellement le bâtiment), sur le champ créé par la file voisine d'une part et sur le champ créé par les conducteurs de compensation, d'autre part, est tel que la valeur de l'intensité correspond à l'annulation de l'intégrale du champ réel:

$$\int_P Q_{B_T} = 0$$

est peu différente de celle que donnerait le calcul en négligeant l'effet d'aimantation.

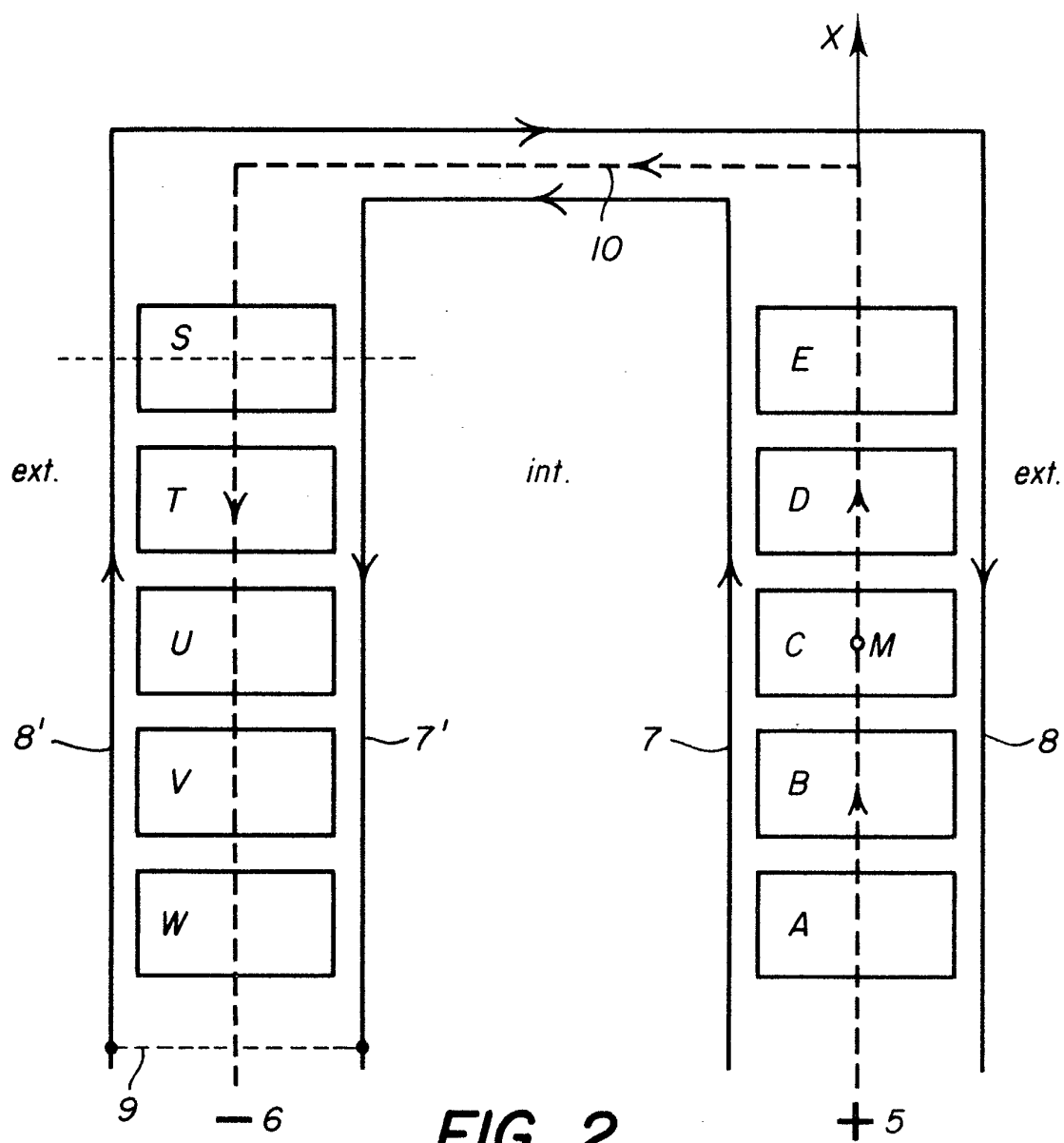
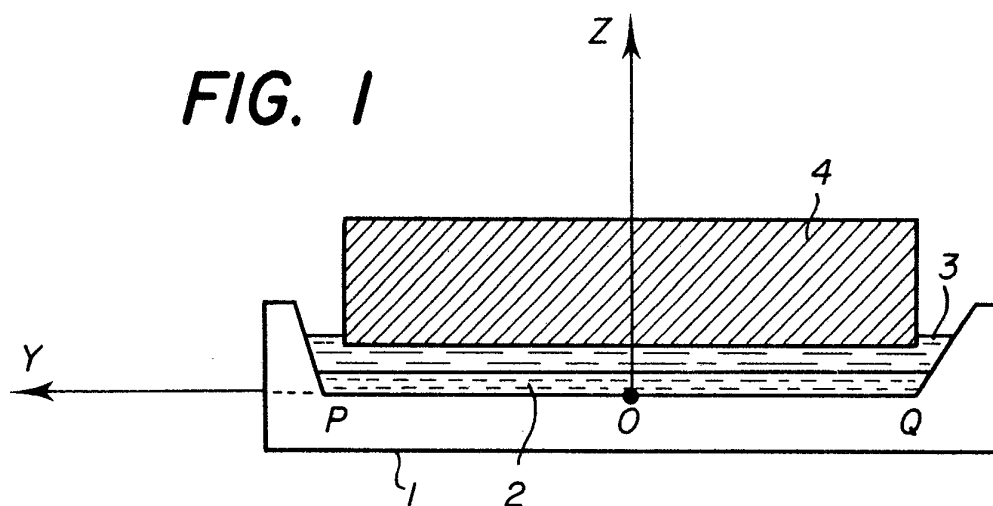


FIG. 3

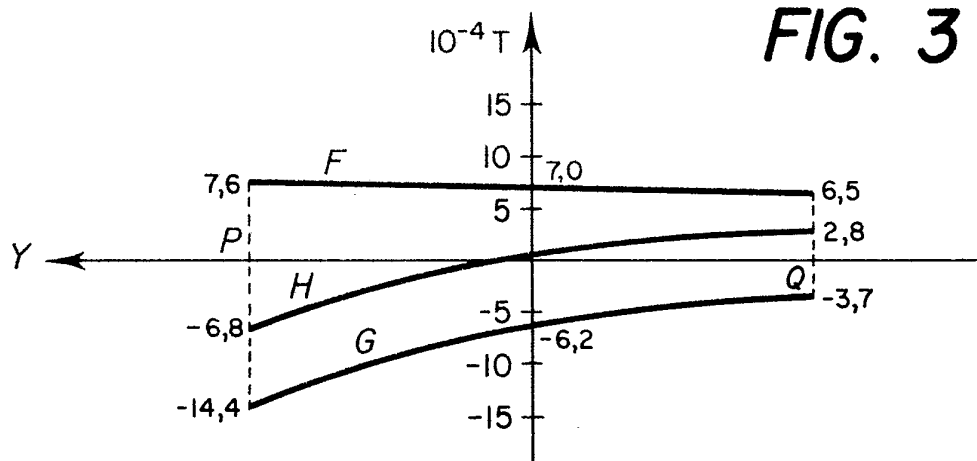


FIG. 4

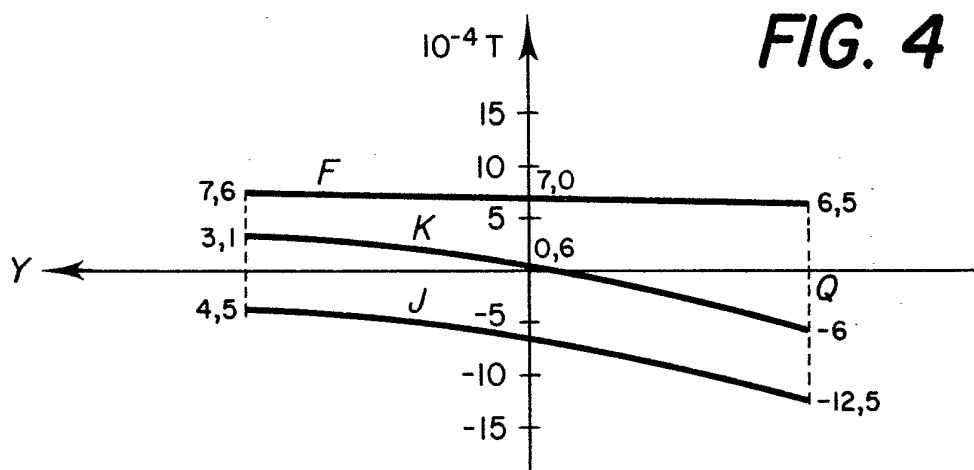


FIG. 5

