



CONFÉDÉRATION SUISSE
OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(51) Int. Cl.³: C 25 C
C 25 C

3/06
7/02

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)

631 213

(21) Numéro de la demande: 4823/79

(22) Date de dépôt: 23.05.1979

(30) Priorité(s): 29.05.1978 FR 78 16808

(24) Brevet délivré le: 30.07.1982

(45) Fascicule du brevet
publié le: 30.07.1982

(73) Titulaire(s):
Aluminium Pechiney, Lyon (FR)

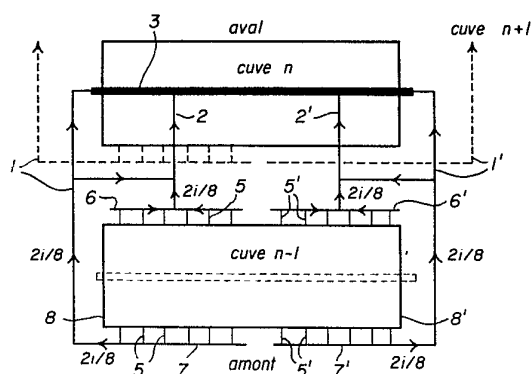
(72) Inventeur(s):
Paul Morel, Le Vesinet (FR)
Jean-Pierre Dugois, St-Jean-de-Maurienne (FR)

(74) Mandataire:
William Blanc & Cie conseils en propriété
industrielle S.A., Genève

(54) Dispositif de liaison électrique pour la réduction des perturbations magnétiques dans les séries de cuves d'électrolyse à très haute intensité pour la production d'aluminium.

(57) Le dispositif est caractérisé par l'alimentation du croisillon anodique (3) à la fois par ses deux extrémités et par au moins une montée centrale (2, 2') alimentée à partir de sorties cathodiques amont (7, 7') et par une dérivation prise sur les barres de sorties cathodiques aval (6, 6') de la cuve précédente.

Ce dispositif permet la réduction des perturbations magnétiques dans les séries de cuves d'électrolyse à haute intensité, lors de la production d'aluminium par électrolyse d'alumine dans de la cryolithe fondue.



REVENDECATIONS

1. Dispositif de liaison électrique pour la réduction des perturbations magnétiques dans les séries de cuves d'électrolyse à très haute intensité pour la production d'aluminium, ces cuves étant connectées en série et disposées transversalement par rapport à l'axe de la série, chaque cuve comportant un croisillon auquel est suspendu le système anodique, et des barres de sorties cathodiques, caractérisé en ce que le croisillon de chaque cuve est alimenté en courant à la fois par ses deux extrémités et par au moins une montée centrale, la fraction de l'intensité totale i alimentant chaque extrémité étant comprise entre $i/8$ et $2 i/8$.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le croisillon de chaque cuve est alimenté à la fois par ses deux extrémités et par au moins une montée centrale, chaque montée centrale étant alimentée à la fois à partir des sorties cathodiques aval et à partir d'une dérivation prise sur le conducteur latéral alimentant les têtes du croisillon à partir des sorties cathodiques amont.

La présente invention concerne un dispositif de liaison électrique pour la réduction des perturbations magnétiques dans les séries de cuves d'électrolyse, à très haute intensité, destinées à la production d'aluminium par électrolyse d'alumine dissoute dans de la cryolithe fondue. Elle s'applique à la réduction des perturbations dues au champ propre créé par chaque cuve et par ses voisines de la même file.

On sait que, pour réduire les investissements et augmenter les rendements, la tendance est d'augmenter la puissance des cuves, qui, alimentées sous 100 000 ampères, il y a vingt ans, atteignent maintenant 200 000 ampères. On sait également que les cuves disposées en travers par rapport à l'axe de la file, présentent à dimensions égales, des effets magnétiques moindres que les cuves disposées en long, malgré la complication des conditions d'exploitation qui en résultent.

Dans tout ce qui va suivre, on désignera, selon les conventions habituelles, par B_x , B_y et B_z les composantes 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 file, Oy , l'axe transversal et Oz l'axe vertical dirigé vers le haut.

Selon la convention habituelle, on désigne les positions amont et aval par référence au sens conventionnel du courant dans la série.

En ce qui concerne les diagrammes des champs magnétiques, on conviendra d'appeler «antisymétrique» par rapport à un plan donné, une fonction lorsqu'à tout couple de points symétriques par rapport à ce plan correspondent deux valeurs égales et de signe opposé de la fonction.

Le dispositif selon l'invention présente les caractéristiques spécifiées dans la revendication 1.

Dans le dessin annexé:

La figure 1 représente schématiquement, en coupe verticale transversale passant par le point O défini ci-dessus, une cuve d'électrolyse disposée en travers par rapport à l'axe de la série. L'axe Ox est donc perpendiculaire au plan de figure.

Sur la demi-coupe de gauche, on a figuré les vecteurs des champs magnétiques induits par les montées centrales et les liaisons latérales. Sur la demi-coupe de gauche, on a figuré l'encombrement du système anodique de demi-longueur a . La demi-largeur b apparaît sur la figure 2.

La figure 2 représente schématiquement, en coupe horizontale, la cathode d'une cuve d'électrolyse divisée en quatre quarts numérotés par convention 1 à 4, cette convention étant valable pour les autres figures.

La figure 3 est un diagramme des composantes horizontales

longitudinales, des forces, dites Forces de Laplace, développées dans le métal par les champs magnétiques.

La figure 4 est un diagramme des champs B_z moyen par quart de cuve.

La figure 5 est un schéma d'ensemble des conducteurs de liaison entre cuves, selon l'invention.

Les figures 6, 7 et 8 montrent différentes variantes de l'alimentation du croisillon, selon l'invention, en faisant varier la fraction de l'intensité alimentant les extrémités et des prises intermédiaires du croisillon. Pour alléger le dessin, on a figuré l'alimentation de la moitié gauche seulement, la partie droite étant symétrique.

La figure 9 est un diagramme comparatif de la valeur des champs B_z et B_y des collecteurs latéraux en fonction de leur position par rapport au plan du métal.

Les figures 1 à 4 sont illustratives, et ont pour but de faciliter l'exposé du problème.

Les figures 5 à 9 se rapportent à l'invention proprement dite.

Le brevet français n° 2 324 761 a donné les conditions à respecter pour réduire les effets magnétiques dans les cuves en travers et l'expérimentation a montré que l'application de ces conditions pour ce type de cuve, a apporté un progrès important dans la production d'aluminium, notamment au point de vue consommation d'énergie.

Mais cette théorie ne tenait pas compte de l'effet d'écran produit par les masses ferro-magnétiques essentiellement constituées par le caisson, la superstructure, les barres cathodiques et éventuellement le bâtiment.

La mise au point d'une technologie de mesure sur les cuves en fonctionnement au sein du bain et du métal cathodique a permis de déterminer l'influence de ces masses ferro-magnétiques sur les champs déterminés par le calcul.

Nous appellerons «champ d'aimantation» l'écart entre les champs mesurés et calculés. Il est variable en tous points de la cathode, et l'expérience montre qu'il est maximum dans les extrémités de la cuve, et qu'il décroît en se déplaçant vers le centre où il est nul.

En particulier, pour la composante verticale B_z , cet écart est généralement positif pour des points de la cathode située du côté des y positifs, et négatifs par anti-symétrie pour ceux situés du côté des y négatifs. Ceci est dû au fait que la composante B_z est la résultante des champs élémentaires des différents conducteurs entourant la cuve, dont les principaux sont (fig. 1).

— les liaisons latérales (1) entre cuves situés du côté des y positifs donnant un champ B_z (1) toujours de sens négatifs en raisonnant pour les points de la cathode situés du côté des y positifs.

— les montées centrales (2) (2') alimentant le croisillon (3) donnant des champs b_z (2) et b_z (2') dont le total est toujours de sens positif.

Dans tout ce qui suit, on emploiera l'expression «croisillon» de façon générale, pour désigner le système de suspension et d'alimentation électrique du système anodique sans faire aucune hypothèse particulière sur sa structure, qui peut comporter notamment une seule traverse, deux traverses, électriquement séparées ou deux traverses réunies par des liaisons équipotentielles.

— les liaisons latérales (1') entre cuves situées du côté des y négatifs donnant un champ b_z (1') toujours de sens positif.

Or le champ vertical résultant des liaisons latérales (1) et (1') toujours négatif est fortement atténué par l'effet d'écran constitué par les têtes du caisson (4 + 4') alors que c'est moins le cas pour le champ résultant des montées centrales (2 et 2') toujours positif.

Il en résulte un écart positif du côté des y positifs, de la valeur réelle du champ B_z mesuré par rapport à sa valeur calculée.

Un raisonnement analogue pour les points situés près du centre, montre que l'effet d'écran s'affaiblit car il devient assez uniforme pour tous les conducteurs source de b_z . En outre, les différents champs tendent à s'équilibrer. Il n'y aura donc que peu d'écart entre les valeurs mesurées et calculées s'appliquant d'ailleurs à un champ résultant B_z faible.

Cette théorie est vérifiée par les mesures expérimentales qui permettent de choisir une disposition et une répartition du courant circulant dans les différents conducteurs alimentant la cuve pour obtenir des effets magnétiques réduits.

Les forces, dites Forces de Laplace, qui se développent dans le métal, sont la source de la déformation de l'interface bain-métal.

Force suivant l'axe Oy : $f(y) = j_z B_x - j_x B_z$

Force suivant l'axe ox : $f(x) = j_y B_z - j_z B_y$

B_x , B_y et B_z étant les trois composantes mesurées du champ magnétique B suivant les axes parallèles à Ox, Oy et Oz.

B_x mesuré = B_x calculé + B_x champ d'aimantation

B_y mesuré = B_y calculé + B_y champ d'aimantation

B_z mesuré = B_z calculé + B_z champ d'aimantation

j_x , j_y et j_z étant les trois composantes de la densité de courant dans le métal.

La figure 2 donne la coupe horizontale d'une cuve en travers au niveau du point central du plan cathodique et divisé en quatre quarts par les axes Ox et Oy.

L'ensemble des forces $f_1(y)$ sur une parallèle à Oy d'abscisse (x) dans le premier quart est

$$F_1(y) = \int_{+a}^0 f_1(y) dy = j_z \int_{+a}^0 B_x dy - j_x \int_{+a}^0 B_z dy \quad (1)$$

car sur chaque axe parallèle à oy:

j_z est constant puisque uniforme sur toute la cuve et

j_x est constant en raison de la disposition habituelle des barres cathodiques.

On aura de même, dans le quatrième quart et sur le même axe y parallèle à Oy

$$F_4(y) = \int_0^{-a} f_4(y) dy = j_z \int_0^{-a} B_x dy - j_x \int_0^{-a} B_z dy \quad (2)$$

Si $F_1(y) = -F_4(y)$ les forces sur chaque parallèles à Oy seront égales et opposées. Il suffit pour cela que:

$$\int_{+a}^0 B_x dy = - \int_0^{-a} B_x dy \quad (3)$$

et

$$\int_{-a}^0 B_z dy = - \int_0^{-a} B_z dy \quad (4)$$

Ces deux équations seront vérifiées si les valeurs de B_x et B_z sur un axe y sont antisymétriques par rapport au plan xOz.

Cas du champ horizontal B_x : Dans une cuve en travers, les conducteurs suivant les axes y et z étant habituellement disposés symétriquement par rapport à xOz, le champ B_x calculé sera antisymétrique.

Il en est de même des masses ferro-magnétiques par rapport à xOz et le champ B_x d'aimantation sera antisymétrique. Il en résulte que le champ réel B_x mesuré sera, lui aussi, antisymétrique par rapport à Ox.

Cas du champ vertical B_z : Dans une cuve en travers, les

conducteurs suivant les axes x et y étant habituellement disposés symétriquement par rapport à xOz, le champ B_z calculé sera antisymétrique.

Il en est de même des masses ferro-magnétiques par rapport à xOz et le champ B_z d'aimantation sera antisymétrique. Il en résulte que le champ réel B_z mesuré sera, lui aussi, antisymétrique par rapport à Ox.

Au total sur chaque y:

$$F_1(y) = -F_4(y) \quad (6)$$

et

$$\sum_{-b}^0 F_1(y) \text{ sur le premier quart} = - \sum_{-b}^0 F_4(y) \text{ sur le quatrième quart} \quad (6)$$

Examinons maintenant les forces longitudinales dans le deuxième et le troisième quarts: Les équations sont les mêmes que pour le premier et le quatrième quart et l'on obtiendra:

$$\sum_0^{+b} F_2(y) \text{ sur le deuxième quart} = - \sum_0^{+b} F_3(y) \text{ sur le troisième quart} \quad (7)$$

Les équations 6 et 7 montrent que l'interface bain-métal sera symétrique par rapport à xOz dans chaque moitié de cuve délimitée par le plan yOz. Il convient maintenant d'ajouter une condition supplémentaire pour que dans chaque moitié délimitée par l'axe ox, les forces de Laplace soient égales, c'est-à-dire:

$$\sum_{-b}^0 F_1(y) = \sum_0^{+b} F_2(y) \quad (8)$$

d'où il découlera que:

$$\sum_0^{+b} F_3(y) = \sum_{-b}^0 F_4(y) \quad (9)$$

Ecrivons les équations des Forces de Laplace pour F_1 et F_2

$$F_1(y) = \int_{+a}^0 f_1(y) dy = j_z \int_{+a}^0 B_x dy - j_{1x} \int_{+a}^0 B_z dy \quad (10)$$

et

$$F_2(y) = \int_{+a}^0 f_2(y) dy = j_z \int_{+a}^0 B_x dy - j_{1x} \int_{+a}^0 B_z dy \quad (11)$$

car j_z est constant sur deux axes disposés symétriquement par rapport à Oy en raison de la disposition habituelle des barres cathodiques.

Pour j_x , les courants parcourant les barres cathodiques sont égaux et de sens opposés pour tous points disposés symétriquement par rapport à Oy.

On aura donc: $j_2x = -j_1x$

et l'équation (11) devient dans le deuxième quart de cuve:

$$F_2(y) = \int_{+a}^0 f_2(y) dy = j_z \int_{+a}^0 B_x dy + j_{1x} \int_{+a}^0 B_z dy \quad (12)$$

Cas du champ horizontal B_x : dans une cuve en travers, les conducteurs parallèles aux axes Oy et Oz étant disposés symétriquement par rapport au plan yOz, le champ B_x sera symétrique.

Cas du champ vertical B_z : on a égalisé les deux premiers termes des équations (10) et (12). Pour que l'équation (8) soit vérifiée, il suffit donc que:

$$-j_x \int_{+a}^0 B_z dy \text{ (premier quart)} = +j_{1x} \int_{+a}^0 B_z dy \text{ (deuxième quart)}.$$

c'est-à-dire:

$$-\int_{+a}^0 B_z dy \text{ (premier quart)} = + \int_{+a}^0 B_z dy \text{ (deuxième quart)}. \quad (14)$$

Autrement dit, si les valeurs de $\int_{+a}^0 B_z dy$ sur deux axes disposés symétriquement par rapport à Oy sont antisymétriques, l'équation (13) donc, l'équation (8) seront vérifiées. Or, on constate que dans une vue en travers, les valeurs des intégrales

$\int_{+a}^0 B_z dy$ du champ réel sur deux axes parallèles à Oy et disposés symétriquement sont antisymétriques par rapport à la valeur de

l'intégrale $\int_{+a}^0 B_z dy$ sur l'axe Oy.

La condition (13) sera donc réalisée lorsque:

$$\int_{+a}^0 B_z dy \text{ sur l'axe Oy, du champ mesuré, sera égale à 0} \quad (14)$$

On en conclut que si la condition (14) est réalisée, on obtient sur deux axes parallèles à Oy et disposés symétriquement par rapport à Oy et à une distance x_1 , figure 3:

$$F_1 = -F_4; F_1 = F_2; F_2 = -F_3 \text{ et } F_3 = F_4$$

c'est-à-dire:

$$\begin{aligned} F_2 &= F_1 \\ F_3 &= -F_1 \\ F_4 &= -F_1 \end{aligned}$$

et pour l'ensemble des forces longitudinales par quart de cuve, on aura de même:

$$\sum_{-b}^{+b} F_2 = \sum_{-b}^0 F_1, \sum_{-b}^{+b} F_3 = -\sum_{-b}^0 F_1 \text{ et } \sum_{-b}^0 F_4 = -\sum_{-b}^0 F_1$$

Cette égalité des forces longitudinales opposées deux à deux a pour conséquence que:

1. l'interface bain-métal aura une forme de dôme symétrique par rapport à xOz.

2. La flèche du dôme sera minimale et dans la pratique on constate que lorsque la condition (14) est réalisée, l'interface bain-métal est pratiquement plate et qu'il ne subsiste à la périphérie du système anodique qu'une légère dénivellation difficilement mesurable car inférieure à 1 centimètre.

3. Il n'y a plus de mouvement du métal décelable par la variation de résistance de la cuve.

En effet, les équations (4) et (13) ont pour conséquence, en appelant B_{z1} moyen dans le premier quart de cuve

$$B_{z1} \text{ moyen (premier quart de cuve)} = \frac{1}{s} \sum_{-b}^0 \int_{+a}^0 B_z dy$$

s étant la surface d'un quart de cuve

$$B_z \text{ moyen premier quart} = +B_{z1}$$

$$B_z \text{ moyen deuxième quart} = -B_{z1}$$

$$B_z \text{ moyen troisième quart} = +B_{z1}$$

$$B_z \text{ moyen quatrième quart} = -B_{z1}$$

Or, on sait que les mouvements de métal dépendent de la valeur moyenne de B_z par quart de cuve. Ils deviennent négligeables lorsque ces valeurs sont égales et de signe opposé deux deux comme le montre la figure 4.

En plus, cette égalité correspond à une valeur minimum par quart de cuve du B_z moyen.

On a vu que les progrès technologiques sur les appareils de mesure ont permis de mettre en évidence l'action différentielle due aux masses ferro-magnétiques sur les champs élémentaires des différents conducteurs, suivant leur position par rapport aux dites masses ferro-magnétiques.

On a donc pu déterminer expérimentalement cette action que nous avons appelée «champ d'aimantation» et qui constitue une correction non négligeable au calcul.

On a démontrée précédemment que la condition $\int_{+a}^0 B_z dy = 0$

du champ réel mesuré sur l'axe Oy aboutissait à des valeurs pour B_z moyen par quart de cuve égales en valeurs absolues, mais de

signe contraire pris deux à deux qu'il en résultait,

– une interface bain-métal pratiquement plane,
– une absence de mouvement du métal cathodique.

Cette stabilité permet d'optimiser les conditions de marche

des cuves et d'obtenir de très bons rendements énergétiques en

utilisant pleinement la finesse de réglage de l'ordinateur.

Pour obtenir la condition $\int_{+a}^0 B_z dy = 0$ et la condition similaire $\int_{-a}^0 B_z dy = 0$ du champ réel B_z mesuré sur l'axe Oy, on peut jouer

sur la position des conducteurs de liaison entre cuves et l'intensité qui les parcourt.

La figure 5 donne schématiquement la disposition de l'ensemble des conducteurs de liaison entre une cuve amont ($n-1$) et une cuve aval (n), figurée avec deux montées de tête et deux montées centrales alimentant le croisillon (3) de la cuve aval. Il est bien entendu que le nombre de montées centrales qui est ici de deux n'est pas limité. Inversement, dans le cas de cuves à intensité moins élevée, par exemple de 70 000 à 100 000 ampères, ou dans le cas de l'adaptation du dispositif selon l'invention à des cuves existantes où la place disponible est relativement limitée, il est possible de prévoir une seule montée centrale située sur l'axe Ox de la série.

Les barres cathodiques (5) (5') de la cuve amont ($n-1$) sont reliées à chacune de leur extrémité, à des collecteurs négatifs,

(6) (6'), (7), (7') dont le nombre par quart de cuve dépend en général de la dimension de la cuve. Par mesure de simplification, il n'en a été indiqué qu'un par quart de cuve sur la figure 5.

Par quart de cuve, l'intensité totale sortant du ou des collecteurs négatifs est $\frac{2i}{8}$

Les collecteurs négatifs amont (7) (7') de la cuve amont (n - 1) contournent les angles amont (8) (8') de la cuve amont et se raccordent aux collecteurs latéraux (1) (1') situés le long des petits côtés de la cuve amont pour conduire le courant au croisillon (3) de la cuve aval (n).

Les collecteurs négatifs aval (6) (6') de la cuve amont alimentent le croisillon (3) de la cuve aval par des montées centrales (2) (2').

On a constaté que suivant la dimension de la cuve, l'importance des masses ferro-magnétiques constituées principalement par le caisson, les superstructures, les barres cathodiques, le bâtiment et la position des barres de liaison entre cuves, l'intensité «i» alimentant chaque extrémité du croisillon devait être comprise entre $i/8$ et $2i/8$ pour des poids de masses ferro-magnétiques habituellement utilisées dans la construction des cuves.

Les figures (6) (7) et (8) donnent le schéma des conducteurs pour les cas où l'intensité «i» alimentant chaque tête du croisillon est respectivement de $i/8$; $1,5 \times i/8$ et $2 \times i/8$.

On a avantage à choisir, pour les conducteurs de liaison, une position dans le plan horizontale, la plus proche possible des têtes de caisson, mais compatible avec les contraintes posées par l'exploitation et la sécurité électrique.

Dans le sens vertical, on place habituellement ces conducteurs dans un plan assez voisin de celui du métal, afin de:

- ne pas allonger les circuits pour un gain relativement faible sur la composante B_z qui varie le cosinus de l'angle α (figure 9).
- ne pas introduire inutilement des composantes supplémentaires B_x et B_y qui apparaissent très rapidement lorsqu'on s'éloigne du plan du métal, car elles varient comme le sinus de l'angle α .

Dans la pratique industrielle, on est conduit pour des raisons économiques à prendre le tracé le plus court possible pour les conducteurs de liaison entre cuve, mais ce choix ne restreint par le domaine d'application du brevet.

La détermination de «i» est alors faite de la façon suivante:

- à partir d'un tracé retenu pour les conducteurs de liaison, on détermine par le calcul la courbe des valeurs de B_z théorique sur l'axe Oy. Cette courbe est fonction de «i».

- on connaît par l'expérimentation, les valeurs du champ B_z d'aimantation sur l'axe Oy.

Cette courbe est aussi fonction de «i».

- en écrivant que B_z mesuré = B_z théorique + B_z aimantation, on détermine la courbe des B_z réels sur l'axe Oy, fonction de «i».

- on calcule l'intégrale $\int_{+a}^0 B_z dy$ réel sur Oy pour différentes valeurs de «i».

On trouve la valeur i_0 qui correspond à la condition:

$$\int_{+a}^0 B_z dy \text{ réel sur l'axe Oy} = 0$$

la valeur i_0 est comprise entre $\frac{i}{8}$ et $2 \frac{i}{8}$.

Exemple

Une cuve 175 000 A construite suivant les revendications du brevet français n° 2 324 761 a donné les résultats suivants:

intensité moyenne: 175 500 Amp.

rendement Faraday: 91,1%

tension moyenne: 4,07 volts

ce qui correspond à une consommation spécifique de 13 330 kWh/t.

Sur la même cuve, fonctionnant avec les mêmes paramètres de marche, qualité de l'alumine, acidité du bain, etc... on a utilisé une disposition des conducteurs faisant l'objet du présent brevet, avec deux montées centrales, l'alimentation de chaque extrémité du croisillon étant égale à $1,3 \frac{i}{8}$. On a obtenu alors

les résultats suivants:

intensité moyenne: 177 000 Amp.

rendement Faraday: 92,8%

tension moyenne: 4,02 volts

ce qui correspond à une consommation spécifique de 12 940 kWh/t, constituant ainsi une des meilleures performances obtenues jusqu'à ce jour, avec des cuves fonctionnant avec un ampérage aussi élevé.

FIG. 1

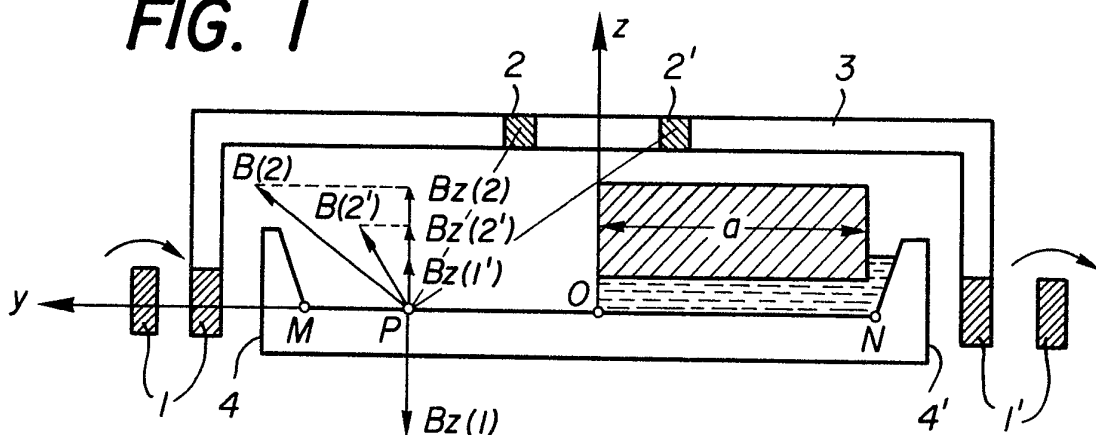


FIG. 2

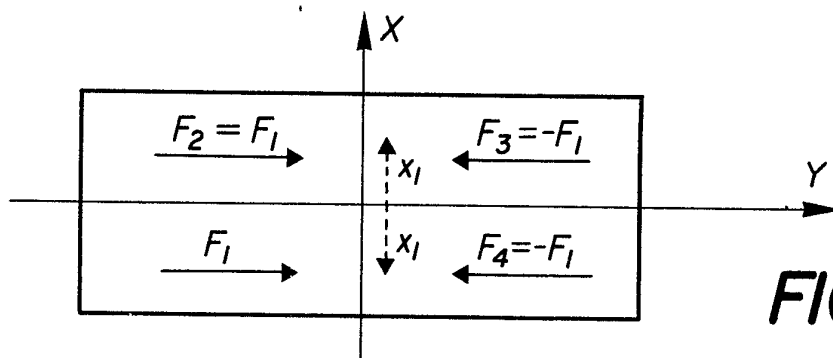
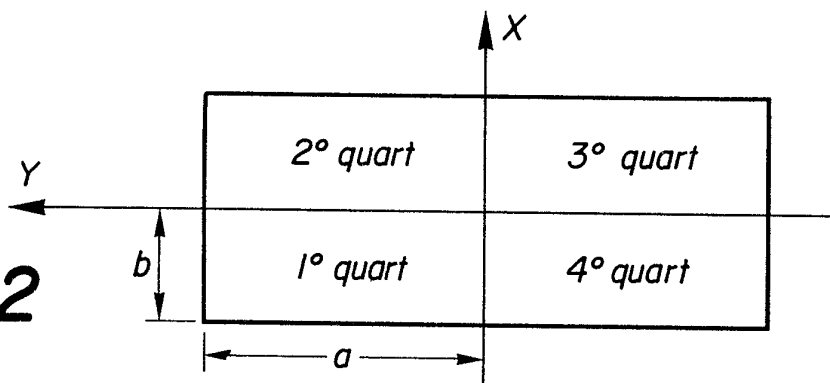
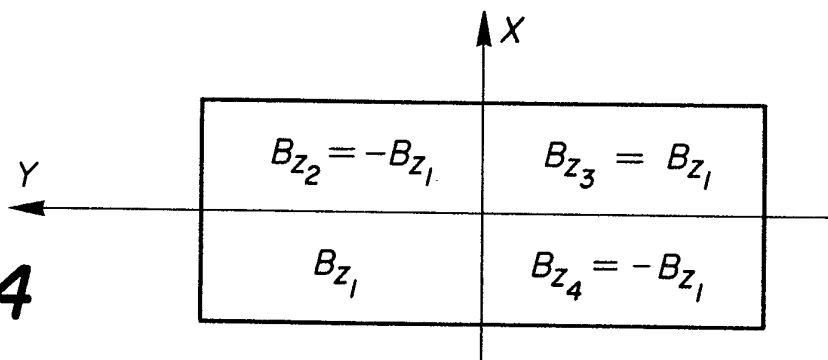
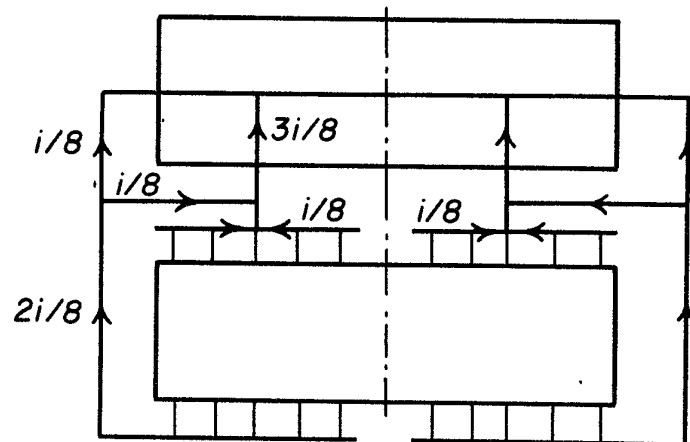


FIG. 3

FIG. 4





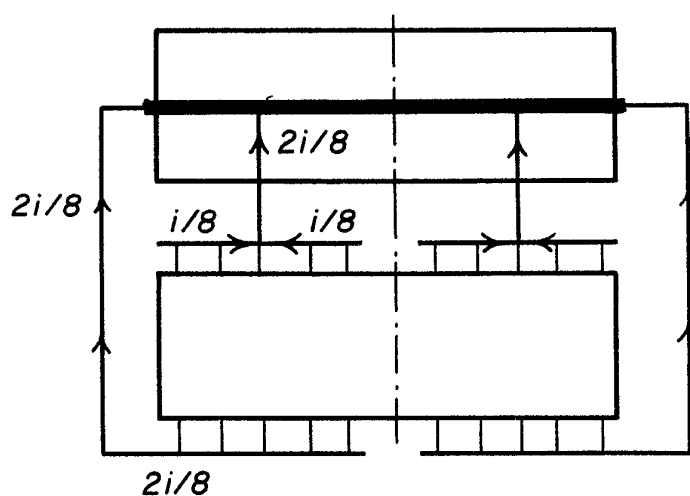


FIG. 8

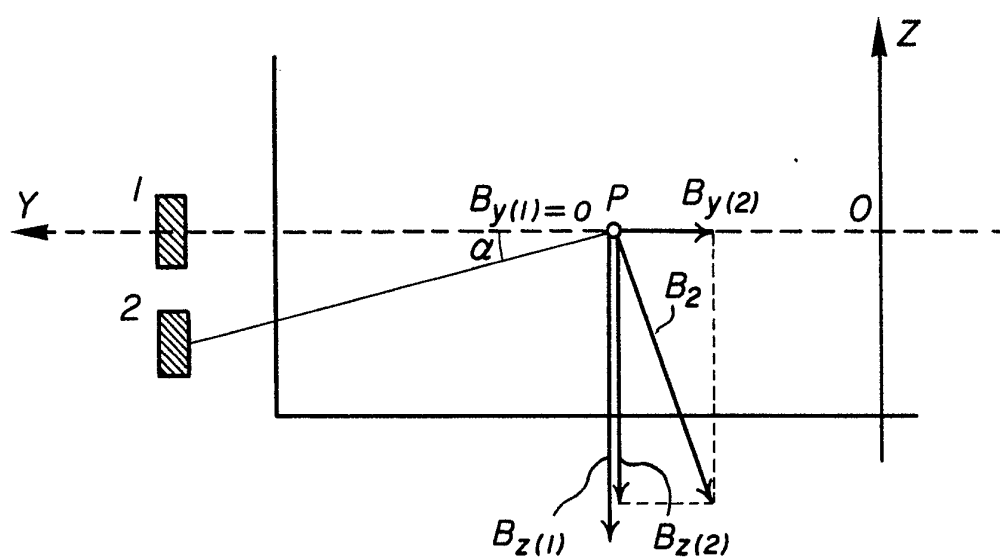


FIG. 9