



(11) **EP 3 256 623 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:  
**25.03.2020 Bulletin 2020/13**

(21) Numéro de dépôt: **16748782.6**

(22) Date de dépôt: **05.02.2016**

(51) Int Cl.:  
**C25C 3/16 (2006.01)**

(86) Numéro de dépôt international:  
**PCT/IB2016/000120**

(87) Numéro de publication internationale:  
**WO 2016/128824 (18.08.2016 Gazette 2016/33)**

(54) **ALUMINERIE ET PROCÉDÉ DE COMPENSATION D'UN CHAMP MAGNÉTIQUE CRÉÉ PAR LA CIRCULATION DU COURANT D'ÉLECTROLYSE DE CETTE ALUMINERIE**

ALUMINIUMHÜTTE UND VERFAHREN ZUR KOMPENSATION EINES DURCH DIE ZIRKULATION DES ELEKTROLYSESTROMS DIESER ALUMINIUMHÜTTE ERZEUGTEN MAGNETFELDS

ALUMINIUM SMELTER AND METHOD TO COMPENSATE FOR A MAGNETIC FIELD CREATED BY THE CIRCULATION OF THE ELECTROLYSIS CURRENT OF SAID ALUMINIUM SMELTER

(84) Etats contractants désignés:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
Etats d'extension désignés:  
**BA**

(30) Priorité: **09.02.2015 FR 1500251**

(43) Date de publication de la demande:  
**20.12.2017 Bulletin 2017/51**

(73) Titulaire: **Rio Tinto Alcan International Limited**  
**Montréal, QC H3B 0E3 (CA)**

(72) Inventeurs:  
• **BARDET, Benoit**  
**F-73300 Villargondran (FR)**

• **RENAUDIER, Steeve**  
**F-73140 Saint Michel de Maurienne (FR)**

(74) Mandataire: **Malcoiffe, Julien**  
**Rio Tinto France SAS**  
**725, rue Aristide Bergès**  
**BP 25 Voreppe**  
**38341 Moirans Cedex (FR)**

(56) Documents cités:  
**WO-A1-2015/017924 WO-A2-2013/007893**  
**US-A- 4 176 037 US-A- 4 397 728**  
**US-A1- 2007 256 930 US-A1- 2008 041 718**  
**US-A1- 2008 041 718 US-A1- 2014 138 240**

**EP 3 256 623 B1**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

## Description

**[0001]** La présente invention concerne une aluminerie, destinée à la production d'aluminium par électrolyse, et un procédé de compensation des composantes verticale et horizontales d'un champ magnétique généré par la circulation d'un courant d'électrolyse dans cette aluminerie.

**[0002]** Il est connu de produire l'aluminium industriellement à partir d'alumine par électrolyse selon le procédé de Hall-Héroult. A cet effet, on prévoit une cuve d'électrolyse comprenant un caisson en acier à l'intérieur duquel est agencé un revêtement en matériaux réfractaires, une cathode en matériau carboné, traversée par des conducteurs cathodiques destinés à collecter le courant d'électrolyse à la cathode pour le conduire jusqu'à des sorties cathodiques traversant le fond ou les côtés du caisson, des conducteurs d'acheminement s'étendant sensiblement horizontalement jusqu'à la cuve suivante depuis les sorties cathodiques, un bain électrolytique dans lequel est dissout l'alumine, au moins un ensemble anodique comportant au moins une anode plongée dans ce bain électrolytique, un cadre anodique auquel est suspendu l'ensemble anodique, et des conducteurs de montée du courant d'électrolyse, s'étendant de bas en haut, reliés aux conducteurs d'acheminement de la cuve d'électrolyse précédente pour acheminer le courant d'électrolyse depuis les sorties cathodiques jusqu'au cadre anodique et à l'ensemble anodique et l'anode de la cuve suivante. Les anodes sont plus particulièrement de type anodes précuites avec des blocs carbonés préculits, c'est-à-dire cuits avant introduction dans la cuve d'électrolyse.

**[0003]** Les usines de production d'aluminium, ou alumineries, comprennent traditionnellement plusieurs centaines de cuves d'électrolyse, alignées transversalement en files parallèles et connectées en série.

**[0004]** Ces cuves d'électrolyse sont parcourues par un courant d'électrolyse de l'ordre de plusieurs centaines de milliers d'Ampères, ce qui crée un champ magnétique important. La composante verticale de ce champ magnétique, générée principalement par les conducteurs d'acheminement conduisant le courant d'une cuve d'électrolyse à la suivante, est connue pour provoquer des instabilités appelées instabilités magnétohydrodynamiques (MHD).

**[0005]** Ces instabilités MHD sont connues pour dégrader le rendement du procédé. Plus une cuve est instable, plus la distance interpolaire entre l'anode et la nappe de métal doit être élevée. Or, plus la distance interpolaire est importante, plus la consommation énergétique du procédé est élevée car dissipée par effet Joule dans l'espace interpolaire.

**[0006]** D'autre part, les composantes horizontales du champ magnétique, générées par l'ensemble du parcours du courant électrique, aussi bien dans les conducteurs situés à l'intérieur de la cuve que ceux situés à l'extérieur, interagissent avec le courant électrique tra-

versant les liquides, ce qui engendre une déformation stationnaire de la nappe de métal. La dénivellation de la nappe de métal occasionnée doit rester suffisamment faible pour que les anodes soient consommées de façon uniforme avec peu de déchet. Pour obtenir une faible dénivellation, il est nécessaire que les composantes horizontales du champ magnétique soient le plus antisymétrique possible dans les liquides (bain électrolytique et nappe de métal). Pour les composantes longitudinale et transversale du champ magnétique qui constituent les composantes horizontales, par antisymétrie on entend que lorsque l'on se déplace perpendiculairement à l'axe central de la cuve, parallèle à la composante considérée du champ, et lorsque l'on se situe à égale distance de part et d'autre de cet axe central, la valeur de la composante considérée est opposée. L'antisymétrie des composantes horizontales du champ magnétique est la configuration fournissant la déformée d'interface la plus symétrique et la plus plate possible dans la cuve.

**[0007]** Il est connu, notamment des documents de brevet FR1079131 et FR2469475, de lutter contre les instabilités MHD en compensant le champ magnétique créé par la circulation du courant d'électrolyse, grâce à une disposition particulière des conducteurs conduisant le courant d'électrolyse. Par exemple, selon le document de brevet FR2469475, les conducteurs d'acheminement contournent latéralement les extrémités ou têtes de chaque cuve d'électrolyse. On parle d'auto-compensation. Ce principe repose sur un équilibrage local du champ magnétique, à l'échelle d'une cuve d'électrolyse.

**[0008]** L'avantage principal de l'auto-compensation réside dans l'utilisation du courant d'électrolyse lui-même pour compenser les instabilités MHD.

**[0009]** Cependant, l'auto-compensation peut créer un encombrement latéral important puisque les conducteurs électriques contournent les têtes de cuves d'électrolyse.

**[0010]** Surtout, la longueur importante des conducteurs d'acheminement pour la mise en œuvre de cette solution génère de la perte électrique en ligne par effet résistif des conducteurs, donc une augmentation des coûts de fonctionnement, et nécessite beaucoup de matière première, donc des coûts de fabrication élevés. Ces inconvénients sont d'autant plus marqués que les cuves d'électrolyse ont des dimensions importantes et fonctionnent avec des intensités importantes.

**[0011]** Aussi, la conception d'une aluminerie avec un circuit électrique auto-compensé est figée. Or, en cours de vie, il peut devenir nécessaire d'augmenter l'intensité du courant d'électrolyse, au-delà de l'intensité prévue lors de la conception. Cela modifie aussi de fait la répartition du champ magnétique du circuit électrique auto-compensé, non conçu pour cette répartition nouvelle, qui ne permet plus de compenser de façon optimale ce champ magnétique. Il existe des solutions pour pallier ce manque d'évolutivité et retrouver une compensation magnétique proche de l'optimum, mais ces solutions sont particulièrement complexes et coûteuses à mettre en

œuvre.

**[0012]** Une autre solution pour diminuer les instabilités MHD, connue notamment du document de brevet FR2425482, consiste à utiliser un circuit électrique secondaire, ou boucle externe, longeant les files de cuves d'électrolyse, sur les côtés. Ce circuit électrique secondaire est parcouru par un courant dont l'intensité égale un pourcentage prédéterminé de l'intensité du courant d'électrolyse. Ainsi, la boucle externe génère un champ magnétique compensant les effets du champ magnétique créé par le courant d'électrolyse de la file voisine de cuves d'électrolyse.

**[0013]** Il est également connu du document de brevet EP0204647 l'utilisation d'un circuit secondaire longeant les files de cuves d'électrolyse sur les côtés pour réduire l'effet du champ magnétique généré par les conducteurs d'acheminement, l'intensité du courant parcourant les conducteurs électriques de ce circuit secondaire étant de l'ordre de 5 à 80% de l'intensité du courant d'électrolyse, et ce courant circulant dans le même sens que le courant d'électrolyse.

**[0014]** La solution de compensation par boucle externe présente l'avantage de disposer d'un circuit secondaire indépendant du circuit principal parcouru par le courant d'électrolyse.

**[0015]** L'agencement du circuit secondaire, situé sur les côtés des files de cuve à proximité des petits côtés des caissons, à la hauteur de l'interface bain-métal, permet une compensation de la composante verticale sans impacter les composantes horizontales du champ magnétique.

**[0016]** La solution de compensation par boucle externe diminue de manière importante la longueur, la masse et les pertes électriques des conducteurs d'acheminement, mais nécessite une station d'alimentation électrique supplémentaire et un circuit électrique secondaire indépendant supplémentaire.

**[0017]** On notera également que la solution de compensation par boucle externe implique un cumul de champs magnétiques, avec le courant de la série, créant un champ ambiant total très fort, si bien que cela implique des contraintes sur les opérations et le matériel (par exemple blindage nécessaire des véhicules), et si bien que le champ magnétique d'une file impacte la stabilité des cuves de la file voisine. Pour limiter l'influence d'une file sur la file voisine, il est nécessaire de les éloigner l'une de l'autre, ce qui constitue une contrainte spatiale importante et implique par conséquent d'abriter chaque file de cuves d'électrolyse dans un hangar distinct.

**[0018]** Par ailleurs, la portion de jonction du circuit d'électrolyse et du circuit secondaire joignant les extrémités de deux files adjacentes de cuves d'électrolyse tend à déstabiliser les cuves de fin de file. Pour éviter d'avoir des cuves de fin de file instables, il est possible de configurer cette portion du circuit secondaire selon un parcours prédéterminé, comme cela est connu du brevet FR2868436, afin de corriger le champ magnétique pour que l'impact sur les cuves de bout de file devienne ac-

ceptable. Cependant, ce parcours rallonge notamment la longueur du circuit secondaire, donc le coût matière. Il est à noter que la solution usuelle consiste à éloigner la portion de jonction du circuit secondaire et du circuit d'électrolyse des cuves situées en extrémité de file, mais cela augmente l'encombrement en plus d'augmenter la longueur des conducteurs électriques donc le coût matière et énergétique.

**[0019]** On retiendra donc que les solutions connues de compensation par boucle externe génèrent des coûts structurels relativement importants.

**[0020]** Aussi, la présente invention vise à pallier tout ou partie de ces inconvénients en proposant une aluminerie avec une configuration magnétique permettant d'avoir des cuves très stables magnétiquement, et offrant une compacité améliorée. La présente invention vise aussi un procédé de compensation d'un champ magnétique créé par la circulation d'un courant d'électrolyse dans cette aluminerie.

**[0021]** A cet effet, la présente invention a pour objet une aluminerie comprenant au moins une file de cuves d'électrolyse agencées transversalement par rapport à la longueur de ladite au moins une file, une des cuves d'électrolyse comprenant des ensembles anodiques et des conducteurs électriques de montée et de connexion aux ensembles anodiques, caractérisée en ce que les conducteurs électriques de montée et de connexion s'étendent vers le haut le long de deux bords longitudinaux opposés de la cuve d'électrolyse pour conduire le courant d'électrolyse vers les ensembles anodiques, et en ce que l'aluminerie comprend

- au moins un premier circuit électrique de compensation s'étendant sous les cuves d'électrolyse, ledit au moins un premier circuit électrique de compensation pouvant être parcouru par un premier courant de compensation destiné à circuler sous les cuves d'électrolyse en sens inverse du sens de circulation global du courant d'électrolyse,
- au moins un deuxième circuit électrique de compensation s'étendant sur au moins un côté de ladite au moins une file de cuves d'électrolyse, ledit au moins un deuxième circuit électrique de compensation pouvant être parcouru par un deuxième courant de compensation destiné à circuler dans le même sens que le sens de circulation global du courant d'électrolyse.

**[0022]** Ainsi, l'aluminerie selon l'invention offre l'avantage de disposer de cuves très stables magnétiquement, car compensant à la fois les composantes horizontales et verticale du champ magnétique généré par la circulation du courant d'électrolyse, ce qui permet d'améliorer le rendement global, et cela sans impact négatif sur l'encombrement de l'aluminerie selon l'invention puisque le premier circuit électrique de compensation s'étend sous les cuves d'électrolyse.

**[0023]** Selon un mode de réalisation préféré, les conducteurs électriques de montée et de connexion comprennent des conducteurs électriques de montée et de connexion amont, adjacents au bord longitudinal amont de la cuve d'électrolyse, et des conducteurs électriques de montée et de connexion aval, adjacents au bord longitudinal aval de la cuve d'électrolyse, et l'aluminerie est configurée pour que la répartition du courant d'électrolyse soit dissymétrique entre les conducteurs électriques de montée et de connexion amont et aval, l'intensité du courant d'électrolyse amont destiné à parcourir l'ensemble des conducteurs électriques de montée et de connexion amont de la cuve d'électrolyse étant égale à ] 50-100[% de l'intensité du courant d'électrolyse, et l'intensité du courant d'électrolyse aval destiné à parcourir l'ensemble des conducteurs électriques de montée et de connexion aval de la cuve d'électrolyse étant égale à ] 0-50[% de l'intensité du courant d'électrolyse, la somme des intensités des courants d'électrolyse amont et aval étant égale à l'intensité du courant d'électrolyse.

**[0024]** Un avantage de ces caractéristiques est de permettre de compenser efficacement le champ magnétique pour une cuve d'électrolyse de grandes dimensions, en particulier de grande largeur, cela sans surcoût en matières premières.

**[0025]** En effet, si la répartition du courant d'électrolyse amont aval est symétrique, c'est-à-dire si cette répartition est de 50% à l'amont et 50% à l'aval, et que la largeur des cuves d'électrolyse est augmentée, pour avoir un meilleur rendement, il se crée, du fait de l'augmentation du chemin parcouru par les conducteurs électriques d'acheminement sous la cuve d'électrolyse pour alimenter les conducteurs électriques de montée et de connexion aval, un déséquilibre préjudiciable au bon fonctionnement de la cuve d'électrolyse. Pour rétablir un équilibre, il faudrait augmenter la section de ces conducteurs électriques d'acheminement sous la cuve d'électrolyse. Or cette augmentation de section implique un surcoût important en matières premières. En revanche, la demanderesse a observé que l'aluminerie selon la présente invention permet d'introduire une dissymétrie dans la répartition du courant d'électrolyse entre l'amont et l'aval des cuves d'électrolyse sans augmentation préjudiciable de la section des conducteurs électriques d'acheminement, tout en disposant de cuves d'électrolyse très stables magnétiquement.

**[0026]** Le choix de la répartition entre intensités des courants d'électrolyse amont et aval est réalisé par étude économique. Ce choix dépend principalement de la distance entre deux cuves et de la hauteur des cuves. Cette répartition est réalisée en ajustant les sections des conducteurs électriques des circuits électriques amont et aval, en tenant compte de leur longueur.

**[0027]** Selon un mode de réalisation préféré, l'aluminerie comprend une station d'alimentation configurée pour faire circuler à travers ledit au moins un premier circuit électrique de compensation un premier courant de compensation d'intensité égale au double de l'inten-

sité du courant d'électrolyse aval, à plus ou moins 20% près, et de préférence à plus ou moins 10% près.

**[0028]** Un avantage de cette caractéristique est que pour cette valeur de l'intensité du premier courant de compensation, qui est directement fonction de la répartition du courant d'électrolyse entre l'amont et l'aval des cuves d'électrolyse, la demanderesse a observé que le champ magnétique horizontal généré par le premier circuit électrique de compensation corrige précisément la dissymétrie du champ magnétique horizontal résultant de la dissymétrie entre le courant d'électrolyse amont et aval, et ce, afin d'avoir une distribution antisymétrique des composantes horizontales du champ magnétique. Ce premier courant de compensation permet en outre de corriger en partie le champ magnétique vertical, en fonction de la répartition entre courant d'électrolyse amont et aval de la cuve, et ce, afin de réduire les instabilités MHD dans la cuve.

**[0029]** Selon un mode de réalisation préféré, l'aluminerie comprend une station d'alimentation configurée pour faire circuler à travers ledit au moins un deuxième circuit électrique de compensation un deuxième courant de compensation d'intensité comprise entre 50% et 100% de la différence d'intensité entre les courants d'électrolyse amont et aval, et de préférence comprise entre 80% et 100% de la différence d'intensité entre les courants d'électrolyse amont et aval.

**[0030]** Par intensité du deuxième courant de compensation, on entend la somme des intensités circulant dans les conducteurs formant le deuxième circuit de compensation, notamment lorsque le deuxième circuit de compensation est constitué de deux conducteurs (ou boucles) disposés de part et d'autre de la cuve d'électrolyse.

**[0031]** La demanderesse a observé que pour cette valeur d'intensité du deuxième courant de compensation, qui est aussi directement fonction de la répartition du courant d'électrolyse entre l'amont et l'aval des cuves d'électrolyse, le champ magnétique vertical généré par le deuxième circuit électrique de compensation corrige le champ magnétique vertical généré par le courant d'électrolyse circulant dans le circuit électrique principal (circuit cuve à cuve) et déjà en partie corrigé par le courant circulant dans le premier circuit de compensation.

**[0032]** On notera que cette caractéristique est particulièrement avantageuse quand elle est utilisée en combinaison avec la précédente.

**[0033]** Selon un mode de réalisation préféré, les conducteurs électriques de montée et de connexion sont répartis à intervalle régulier le long du bord longitudinal de la cuve d'électrolyse auquel ces conducteurs électriques de montée et de connexion sont adjacents.

**[0034]** Un avantage de cette caractéristique est d'avoir une distribution uniforme sur toute la longueur de la cuve de la composante horizontale longitudinale du champ magnétique (c'est-à-dire parallèlement à la longueur de la cuve d'électrolyse), ce qui permet de faciliter sa compensation via le premier circuit de compensation.

**[0035]** Les conducteurs électriques de montée et de

connexion sont avantageusement disposés de façon symétrique par rapport au plan médian transversal XZ des cuves d'électrolyse, ce qui permet d'obtenir une distribution antisymétrique de la composante transversale du champ magnétique selon X.

**[0036]** Selon un mode de réalisation préféré, les conducteurs électriques de montée et de connexion amont et les conducteurs électriques de montée et de connexion aval sont situés à équidistance d'un plan médian longitudinal YZ de la cuve d'électrolyse.

**[0037]** Selon un mode de réalisation préféré, les conducteurs électriques de montée et de connexion amont et les conducteurs électriques de montée et de connexion aval sont disposés de façon sensiblement symétrique par rapport audit plan médian longitudinal YZ de la cuve d'électrolyse.

**[0038]** Cette configuration, combinée au premier circuit de compensation, assure une parfaite antisymétrie de la composante longitudinale du champ magnétique selon Y.

**[0039]** Selon un mode de réalisation préféré, ledit au moins un premier circuit électrique de compensation comprend des conducteurs électriques s'étendant sous les cuves d'électrolyse en formant ensemble une nappe constituée d'une pluralité de conducteurs électriques parallèles, typiquement de deux à douze, et de préférence de trois à dix conducteurs électriques parallèles.

**[0040]** Le nombre de conducteurs parallèles nécessaires dépend en partie de la distance entre les liquides et ces mêmes conducteurs. Plus la distance est grande, plus le nombre de conducteurs doit être faible, plus la distance est courte, plus le nombre de conducteurs doit être élevé.

**[0041]** Un avantage de cette caractéristique est une compensation répartie sous toute la longueur de la cuve d'électrolyse, produisant donc de meilleurs résultats. On notera que le premier circuit électrique de compensation est configuré pour que le premier courant de compensation circule dans le même sens à travers tous les conducteurs électriques de la nappe.

**[0042]** L'intensité du premier courant de compensation correspond à la somme des intensités des courants circulant dans chacun des conducteurs électriques parallèles de la nappe s'étendant sous les cuves.

**[0043]** Selon un mode de réalisation préféré, les conducteurs électriques de ladite nappe sont agencés à intervalle régulier les uns des autres selon une direction longitudinale Y des cuves d'électrolyse.

**[0044]** Selon un mode de réalisation préféré, les conducteurs électriques de ladite nappe sont agencés de façon sensiblement symétrique par rapport à un plan médian transversal XZ des cuves d'électrolyse.

**[0045]** Selon un mode de réalisation préféré, les conducteurs électriques de ladite nappe sont agencés dans un même plan horizontal XY.

**[0046]** Un avantage de ces caractéristiques est d'améliorer encore davantage la compensation du champ magnétique défavorable.

**[0047]** Selon un mode de réalisation préféré, ledit au moins un deuxième circuit électrique de compensation comprend des conducteurs électriques s'étendant de chaque côté de ladite au moins une file de cuves d'électrolyse, et le deuxième courant de compensation circule dans le même sens que le sens de circulation global du courant d'électrolyse de chaque côté des cuves d'électrolyse.

**[0048]** Ainsi, les conducteurs électriques dudit au moins un deuxième circuit électrique de compensation forment une boucle interne et une boucle externe, et offrent ainsi une compensation améliorée du champ magnétique. On entend par boucle interne la boucle étant la plus proche de la file voisine et par boucle externe, la boucle étant la plus éloignée.

**[0049]** Selon un mode de réalisation préféré, l'intensité d'un deuxième courant de compensation circulant dans une boucle interne dudit au moins un deuxième circuit de compensation diffère de l'intensité d'un deuxième courant de compensation circulant dans une boucle externe dudit au moins un deuxième circuit de compensation.

**[0050]** Cette caractéristique permet de compenser le champ magnétique vertical résiduel de la file voisine.

**[0051]** L'intensité du deuxième courant de compensation correspond à la somme des intensités des courants circulant dans chacune des boucles.

**[0052]** Selon un mode de réalisation préféré, l'intensité du deuxième courant de compensation circulant dans la boucle interne est supérieure à l'intensité du deuxième courant de compensation circulant dans la boucle externe.

**[0053]** Cela permet de corriger le champ magnétique créé par la file voisine. Cette file voisine crée un champ magnétique proportionnel à un courant de la série auquel on soustrait deux fois le courant d'électrolyse aval, tandis qu'une série d'électrolyse « conventionnelle » subira un champ magnétique directement proportionnel à la totalité du courant d'électrolyse. Ainsi, grâce au premier circuit de compensation, le champ perturbateur créé par la file voisine est beaucoup plus faible et nécessite une correction bien moindre. Par conséquent, concernant le deuxième circuit de compensation, l'écart entre l'intensité de la boucle intérieure et celle de la boucle externe sera bien plus faible que dans le cas du brevet EP0204647 et l'écart entre les deux files de cuves peut être minimisé.

**[0054]** Selon un mode de réalisation préféré, les conducteurs électriques formant le deuxième circuit électrique de compensation sont sensiblement symétriques par rapport à un plan XZ transversal médian des cuves d'électrolyse.

**[0055]** Cela améliore la compensation du champ magnétique délétère.

**[0056]** Selon un mode de réalisation préféré, les conducteurs électriques du deuxième circuit électrique de compensation s'étendent dans un même plan horizontal XY, de préférence à hauteur d'une nappe d'aluminium liquide formée à l'intérieur des cuves d'électrolyse au

cours de la réaction d'électrolyse.

**[0057]** Cet agencement améliore la compensation du champ magnétique vertical sans impacter la composante horizontale du champ déjà compensée par le premier circuit de compensation.

**[0058]** De préférence, l'aluminerie comprend deux files consécutives et parallèles de cuves d'électrolyse, et le circuit de la boucle interne forme en extrémité de file des moyens de compensation des effets de « fin de file » provoqués par les conducteurs de liaison entre les files, ce qui procure davantage de stabilité magnétique et améliore donc le rendement des cuves d'extrémité de file.

**[0059]** Selon un mode de réalisation préféré, ledit au moins un premier circuit électrique de compensation est indépendant du circuit électrique principal parcouru par le courant d'électrolyse.

**[0060]** Cette caractéristique a l'avantage de limiter les conséquences d'une avarie comme un perçage de cuve d'électrolyse par les liquides contenus dans cette cuve d'électrolyse. En outre, cette caractéristique est avantageuse en termes d'évolutivité puisqu'elle permet de faire varier l'intensité du premier courant de compensation pour ajuster la compensation magnétique. Un ajustement de la compensation magnétique est utile lorsque les cuves d'électrolyse sont modifiées, parce que la configuration magnétique de ces cuves d'électrolyse est modifiée, ou pour adapter le brassage de l'alumine à la qualité de cette alumine (ce qui permet de conserver un rendement optimal malgré la qualité différente de l'alumine).

**[0061]** Selon un mode de réalisation préféré, ledit au moins un deuxième circuit électrique de compensation est indépendant du circuit électrique principal parcouru par le courant d'électrolyse.

**[0062]** Comme expliqué ci-dessus, cela présente un avantage en termes d'évolutivité puisque cela permet de faire varier l'intensité du premier courant de compensation pour ajuster la compensation magnétique.

**[0063]** Selon un mode de réalisation préféré, la cuve d'électrolyse présente une construction électrique modulaire en N modules répétés dans le sens de sa longueur, chaque module comprenant des conducteurs électriques configurés pour générer une même configuration magnétique prédéterminée.

**[0064]** Cette caractéristique est avantageuse en termes d'évolutivité : elle permet des modifications de la cuve d'électrolyse, par exemple un agrandissement par adjonction d'un ou plusieurs modules, sans modifier le principe d'équilibrage magnétique de la cuve d'électrolyse.

**[0065]** Pour obtenir la même configuration magnétique, chaque module électrique présente le même agencement de conducteurs électriques, chaque conducteur électrique d'un module électrique étant traversé par la même intensité et le même sens de courant que le conducteur électrique correspondant d'un module électrique adjacent. Les conducteurs électriques de chaque module sont notamment les conducteurs électriques de montée et de connexion, les ensembles anodiques, les ca-

thodes, les conducteurs cathodiques, les sorties cathodiques, les conducteurs électriques d'acheminement, et des conducteurs électriques de la nappe de conducteurs électriques du premier circuit électrique de compensation. Ces conducteurs électriques sont donc agencés les uns par rapport aux autres de la même façon d'un module à l'autre. En particulier, chaque module électrique comprend le même nombre de conducteurs électriques de la nappe de conducteurs électriques du premier circuit électrique de compensation.

**[0066]** On précise que les cuves d'électrolyse de l'aluminerie comprennent tout ou partie des caractéristiques susmentionnées de la cuve d'électrolyse.

**[0067]** L'invention concerne également un procédé de compensation d'un champ magnétique créé par la circulation d'un courant d'électrolyse dans une pluralité de cuves d'électrolyse d'une aluminerie ayant les caractéristiques précitées, le procédé comprenant :

- la circulation, en sens contraire du sens de circulation global du courant d'électrolyse, d'un premier courant de compensation à travers ledit au moins un premier circuit électrique de compensation,
- la circulation, dans le même sens que le sens de circulation global du courant d'électrolyse, d'un deuxième courant de compensation à travers ledit au moins un deuxième circuit électrique de compensation.

**[0068]** Ainsi, ce procédé offre une compensation magnétique efficace du champ magnétique généré par la circulation du courant d'électrolyse dans la série de cuves d'électrolyse de l'aluminerie, en limitant l'encombrement.

**[0069]** Selon un mode de réalisation préféré, le procédé comprend une répartition dissymétrique du courant d'électrolyse entre l'amont et l'aval des cuves d'électrolyse, l'ensemble des conducteurs électriques de montée et de connexion à l'amont des cuves d'électrolyse étant parcouru par un courant d'électrolyse amont d'intensité comprise entre ]50-100[% de l'intensité du courant d'électrolyse, et l'ensemble des conducteurs électriques de montée et de connexion à l'aval des cuves d'électrolyse étant parcouru par un courant d'électrolyse aval d'intensité comprise entre ]0-50[% de l'intensité du courant d'électrolyse, la somme des intensités des courants d'électrolyse amont et aval étant égale à l'intensité du courant d'électrolyse.

**[0070]** Ce procédé permet d'obtenir des cuves d'électrolyse stables magnétiquement, y compris quand les cuves d'électrolyse sont de grandes dimensions, notamment de grande largeur. Le rendement peut ainsi être sensiblement augmenté.

**[0071]** Selon un mode de réalisation préféré, l'intensité du premier courant de compensation est égale au double de l'intensité du courant d'électrolyse aval, à plus ou moins 20% près, et de préférence à plus ou moins 10%

près.

**[0072]** Un avantage de cette caractéristique est que pour cette valeur de l'intensité du premier courant de compensation, qui est directement fonction de la répartition du courant d'électrolyse entre l'amont et l'aval des cuves d'électrolyse, la demanderesse a observé que le champ magnétique horizontal généré par le premier circuit électrique de compensation corrige précisément la dissymétrie entre le courant amont et aval, et ce, afin d'avoir une distribution antisymétrique des composantes horizontales du champ magnétique. Ce premier courant de compensation permet également de corriger tout ou partie du champ magnétique vertical, suivant la répartition entre courant d'électrolyse amont et aval de la cuve, et ce, afin de réduire les instabilités MHD dans la cuve. L'intégralité du champ magnétique vertical est corrigée si la répartition entre l'amont et l'aval est de 50%.

**[0073]** Selon un mode de réalisation préféré, l'intensité du deuxième courant de compensation est comprise entre 50% et 100% de la différence d'intensité entre les courants d'électrolyse amont et aval, et de préférence comprise entre 80% et 100% de la différence d'intensité entre les courants d'électrolyse amont et aval.

**[0074]** De la même manière, la demanderesse a observé que pour cette valeur d'intensité du deuxième courant de compensation, qui est aussi directement fonction de la répartition du courant d'électrolyse entre l'amont et l'aval des cuves d'électrolyse, le champ magnétique vertical généré par le deuxième circuit électrique de compensation corrige précisément le champ magnétique vertical restant, résultant de la somme du champ magnétique vertical du courant d'électrolyse (circuit cuve à cuve) et du premier circuit de compensation.

**[0075]** Selon un mode de réalisation préféré, ledit au moins un deuxième circuit électrique de compensation comprend une boucle interne et une boucle externe, et dans lequel l'intensité d'un deuxième courant de compensation circulant dans la boucle interne diffère de l'intensité d'un deuxième courant de compensation circulant dans la boucle externe.

**[0076]** Selon un mode de réalisation préféré, l'intensité du deuxième courant de compensation circulant dans la boucle interne est supérieure à l'intensité du deuxième courant de compensation circulant dans la boucle externe.

**[0077]** Selon un mode de réalisation préféré, le procédé comprend une étape d'analyse d'au moins une caractéristique de l'alumine dans au moins une des cuves d'électrolyse de ladite aluminerie, et la détermination des valeurs d'intensité du premier courant de compensation et du deuxième courant de compensation à faire circuler en fonction de ladite au moins une caractéristique analysée.

**[0078]** Ainsi, le procédé permet de modifier la compensation magnétique, pour induire volontairement, dans des cas particuliers, une modification de l'écoulement dans les liquides et des vitesses de l'écoulement tout en contrôlant (dégradant faiblement) les instabilités MHD

de l'interface bain/métal. L'écoulement des liquides (bain + aluminium) contribue en effet à brasser l'alumine, ce qui, selon les vitesses et la forme de l'écoulement ainsi que selon la qualité de l'alumine, permet d'améliorer le rendement. Ce mode de réalisation préféré permet donc d'améliorer le rendement en optimisant l'écoulement pour dissoudre l'alumine tout en contrôlant le niveau de « dégradation » de la stabilité MHD de l'interface bain/métal.

**[0079]** D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront clairement de la description ci-après d'un mode particulier de réalisation, donné à titre d'exemple non limitatif, en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- La figure 1 est une vue schématique d'une aluminerie selon l'état de la technique,
- La figure 2 est une vue schématique de côté de deux cuves d'électrolyse successives de l'état de la technique,
- La figure 3 est une vue schématique en filaire du circuit électrique parcouru par le courant d'électrolyse dans les deux cuves d'électrolyse de la figure 2,
- La figure 4 est une vue schématique en coupe selon un plan longitudinal vertical d'une cuve d'électrolyse de l'état de la technique,
- La figure 5 est une vue schématique d'une aluminerie selon un mode de réalisation de l'invention,
- La figure 6 est une vue schématique de côté de deux cuves d'électrolyse successives d'une aluminerie selon un mode de réalisation de l'invention,
- La figure 7 est une vue schématique en coupe selon un plan longitudinal YZ d'une cuve d'électrolyse d'une aluminerie selon un mode de réalisation de l'invention,
- La figure 8 est une vue schématique filaire du circuit électrique parcouru par le courant d'électrolyse dans une cuve d'électrolyse d'une aluminerie selon un mode de réalisation de l'invention,
- La figure 9 est un tableau montrant l'intensité du courant d'électrolyse parcourant chaque segment de la figure 8,
- Les figures 10 à 12 sont des vues schématiques filaires du circuit électrique parcouru par le courant d'électrolyse dans une cuve d'électrolyse d'une aluminerie selon un mode de réalisation de l'invention, montrant pour cette cuve d'électrolyse les zones générant un champ magnétique significatif,

- La figure 13 est un tableau montrant la contribution de chaque segment des figures 10 à 12 dans le calcul de la composante verticale du champ magnétique généré par la circulation du courant d'électrolyse,
- La figure 14 est un tableau montrant la contribution de chaque segment des figures 10 à 12 dans le calcul de la composante horizontale longitudinale du champ magnétique généré par la circulation du courant d'électrolyse.

**[0080]** La figure 1 montre une aluminerie 100 de l'état de la technique. L'aluminerie 100 comprend des cuves d'électrolyse disposées transversalement par rapport à la longueur de la file qu'elles forment. Les cuves d'électrolyse sont ici alignées selon deux files 101, 102 parallèles. Ces cuves d'électrolyse sont parcourues par un courant d'électrolyse  $I_{100}$ . Deux circuits 104, 106 électriques de compensation s'étendent sur les côtés des files 101, 102 pour compenser le champ magnétique généré par la circulation du courant  $I_{100}$  d'électrolyse d'une cuve d'électrolyse à une autre et dans la file voisine. Les circuits 104, 106 électriques de compensation sont parcourus respectivement par des courants  $I_{104}$ ,  $I_{106}$  circulant dans le même sens que le courant d'électrolyse  $I_{100}$ . Des stations 108 d'alimentation alimentent la série de cuves d'électrolyse et les circuits 104, 106 électriques de compensation. Selon cet exemple, pour un courant d'électrolyse d'intensité 500kA, et compte-tenu des perturbations magnétiques de « fin de file », la distance  $D_{100}$  entre les cuves d'électrolyse les plus proches des stations 108 d'alimentation et les stations 108 d'alimentation est de l'ordre de 45m, et la distance  $D_{300}$  sur laquelle s'étendent les circuits 104, 106 électriques de compensation au-delà des fins de file est de l'ordre de 45m, tandis que la distance  $D_{200}$  entre les deux files 101, 102 est de l'ordre de 85m pour limiter les perturbations magnétiques d'une file sur l'autre.

**[0081]** La figure 2 montre deux cuves 110 d'électrolyse traditionnelles consécutives d'une même file de cuves d'électrolyse. Comme on peut le voir sur la figure 2, la cuve 110 d'électrolyse comprend un caisson 112 garni intérieurement par des matériaux 114 réfractaires, une cathode 116 et des anodes 118 plongées dans un bain 120 électrolytique au fond duquel est formée une nappe 122 d'aluminium. La cathode 116 est reliée électriquement à des conducteurs cathodiques 124 qui traversent les côtés du caisson 112 au niveau de sorties cathodiques 126. Les sorties 126 cathodiques sont reliées à des conducteurs 128 d'acheminement qui acheminent le courant d'électrolyse jusqu'aux conducteurs 130 de montée et de connexion d'une cuve d'électrolyse suivante. Comme on peut le voir sur la figure 2, ces conducteurs 130 de montée et de connexion s'étendent, de façon oblique, sur un seul côté, le côté amont, des cuves 110 d'électrolyse et s'étendent au-dessus des anodes 118, jusqu'à la partie centrale longitudinale des cuves 110 d'électrolyse.

**[0082]** La cuve d'électrolyse comporte une superstructure 132 qui la traverse longitudinalement, au-dessus du caisson 112 et des anodes 118. La superstructure 132 comporte notamment une poutre reposant sur des pieds (non représentés) à chacune de ses extrémités longitudinales. La poutre supporte un cadre 134 anodique, ce cadre 134 anodique s'étendant également longitudinalement au-dessus du caisson 112 et des anodes 118. Le cadre 134 anodique supporte les ensembles anodiques, ces derniers étant connectés électriquement au cadre 134 anodique.

**[0083]** La figure 3 illustre schématiquement le chemin parcouru par le courant d'électrolyse  $I_{100}$  dans chacune des cuves 110 d'électrolyse et entre deux cuves 110 d'électrolyse adjacentes comme celles représentées sur la figure 2. On remarque notamment que la montée du courant d'électrolyse  $I_{100}$  jusqu'à l'ensemble anodique d'une cuve 110 d'électrolyse est asymétrique puisque cette montée est effectuée uniquement à l'amont des cuves 110 d'électrolyse dans le sens de circulation globale du courant d'électrolyse  $I_{100}$  dans la file (à gauche des cuves sur les figures 2 et 3).

**[0084]** La figure 4 montre l'agencement sur les côtés des cuves 110 de l'état de la technique de conducteurs électriques formant les circuits 104, 106 électriques de compensation, ces conducteurs électriques étant parcourus respectivement par les courants  $I_{104}$ ,  $I_{106}$  de compensation circulant dans le même sens que le courant  $I_{100}$  d'électrolyse parcourant ici les conducteurs 128 d'acheminement positionnés en dessous de la cuve.

**[0085]** La figure 5 montre une aluminerie 1 selon un mode de réalisation de l'invention. L'aluminerie 1 est destinée à la production d'aluminium par électrolyse selon le procédé de Hall-Héroult.

**[0086]** L'aluminerie 1 comprend une pluralité de cuves d'électrolyse, sensiblement rectangulaires, destinées à la production d'aluminium par électrolyse, ces cuves d'électrolyse pouvant être alignées selon une ou plusieurs files 2 qui peuvent être sensiblement parallèles. Le cas échéant, les files 2 sont reliées électriquement en série et alimentées en courant d'électrolyse IE. L'aluminerie 1 comprend aussi un premier circuit électrique de compensation 4, qui s'étend sous la ou les files de cuves d'électrolyse, et un deuxième circuit électrique de compensation 6, qui s'étend sur au moins un côté de la ou des files 2 de cuves d'électrolyse. Selon l'exemple de la figure 5, le deuxième circuit électrique de compensation 6 s'étend des deux côtés de chaque file 2 de cuves d'électrolyse. Toujours selon l'exemple de la figure 5, l'aluminerie comporte deux files de cuves agencées parallèlement l'une par rapport à l'autre, alimentées par une même station 8 d'alimentation, et reliées électriquement en série de sorte que le courant d'électrolyse IE circulant dans la première des deux files 2 de cuves d'électrolyse circule ensuite dans la deuxième des deux files 2 de cuves d'électrolyse. Les cuves d'électrolyse sont agencées transversalement par rapport à chaque file 2 que ces cuves d'électrolyse forment. On notera que par cuve 2

d'électrolyse agencée transversalement on entend cuve 2 d'électrolyse dont la plus grande dimension, la longueur, est sensiblement perpendiculaire à la direction globale dans laquelle circule le courant IE d'électrolyse.

**[0087]** Dans la présente description, amont et aval sont définis par rapport au sens de circulation global du courant d'électrolyse IE, c'est-à-dire le sens de circulation du courant d'électrolyse IE à l'échelle de la file 2 de cuves d'électrolyse.

**[0088]** On précise aussi que la description est réalisée par rapport à un référentiel cartésien lié à une cuve d'électrolyse, l'axe X étant orienté dans une direction transversale de la cuve d'électrolyse, l'axe Y étant orienté dans une direction longitudinale de la cuve d'électrolyse, et l'axe Z étant orienté dans une direction verticale de la cuve d'électrolyse. Les orientations, directions, plans et déplacements longitudinaux, transversaux, verticaux sont ainsi définis par rapport à ce référentiel.

**[0089]** On notera que les cuves d'électrolyse de l'aluminerie sont de préférence des cuves d'électrolyse de grandes dimensions, l'utilisation de cuves d'électrolyse de grandes dimensions étant rendue possible par la configuration particulière des cuves d'électrolyse de l'aluminerie selon l'invention, comme décrit plus en détails ci-après. On définit les dimensions d'une cuve d'électrolyse par la surface au sol que cette cuve d'électrolyse représente. Pour cela on considère que les dimensions de la cuve sont définies par les dimensions extérieures de son caisson. Par cuve d'électrolyse de grandes dimensions, on entend cuve d'électrolyse ayant une largeur supérieure à 4 m, de préférence supérieure ou égale à 5 m, et notamment supérieure ou égale à 6 m, et/ou ayant une longueur supérieure à 15 m, de préférence supérieure ou égale à 20 m, et notamment supérieure ou égale à 25 m.

**[0090]** La figure 6 montre plus en détails des cuves 10 d'électrolyse de l'aluminerie 1 selon un mode de réalisation. Comme illustré sur cette figure, les cuves 10 d'électrolyse de l'aluminerie 1 comprennent un caisson 12, des ensembles anodiques 14, une cathode 16 traversée par des conducteurs électriques cathodiques 18 destinés à collecter le courant d'électrolyse IE à la cathode 16 pour le conduire jusqu'à d'autres conducteurs électriques appelés sorties cathodiques 20 hors du caisson 12, des conducteurs électriques de montée et de connexion 22 aux ensembles anodiques 14 pour conduire le courant d'électrolyse IE vers les ensembles anodiques 14, et des conducteurs électriques d'acheminement 24 connectés aux sorties cathodiques 20 et destinés à conduire le courant d'électrolyse IE depuis les sorties cathodiques 20 jusqu'aux conducteurs électriques de montée et de connexion 22 de la cuve 10 d'électrolyse suivante.

**[0091]** Le caisson 12 comprend un revêtement intérieur 26 en matériaux réfractaires. Comme illustré sur les figures 6 et 7, le caisson 12 comprend de préférence des berceaux 28 de renforts. Le caisson 12 peut être métallique, par exemple en acier.

**[0092]** Les ensembles anodiques 14 comportent un

support 30 et au moins une anode 32. La ou les anodes 32 sont notamment en matériau carboné et plus particulièrement de type précurtées. Le support 30 comprend quand à lui une première partie 34 électriquement conductrice, par exemple une traverse, s'étendant essentiellement selon une direction transversale X des cuves 10 d'électrolyse, et une deuxième partie 36 électriquement conductrice, formée de plusieurs éléments électriquement conducteurs pouvant être appelés « rondins », les rondins comprenant une extrémité distale reliée électriquement à la première partie 34 du support 30 et une extrémité proximale reliée électriquement à la ou aux anodes 32 afin de conduire le courant d'électrolyse IE depuis la première partie 34 du support 30 jusqu'à cette ou ces anodes 32. Les ensembles anodiques 14 sont destinés à être enlevés et remplacés périodiquement lorsque la ou les anodes 32 sont usées.

**[0093]** La cathode 16 peut être formée de plusieurs blocs cathodiques en matériau carboné. La cathode 16 est traversée par les conducteurs cathodiques 18 destinés à collecter le courant d'électrolyse IE à la cathode 16 pour le conduire jusqu'aux sorties cathodiques 20 sortant avantageusement par le fond du caisson 12, comme illustré sur la figure 6.

**[0094]** Les conducteurs électriques de montée et de connexion 22 s'étendent vers le haut le long de deux bords longitudinaux 38 opposés de chaque cuve 10 d'électrolyse, pour conduire le courant d'électrolyse IE vers les ensembles anodiques 14. On précise que les bords longitudinaux 38 des cuves 10 d'électrolyse correspondent aux bords de plus grande dimension, c'est-à-dire les bords des cuves 10 d'électrolyse qui sont sensiblement parallèles à la direction Y longitudinale. A titre d'exemple, une cuve 10 d'électrolyse fonctionnant avec une intensité de 400 à 1000k Ampères peut par exemple comprendre de préférence de 4 à 40 conducteurs de montée et de connexion 22 répartis régulièrement sur toute la longueur de chacun de ses deux bords longitudinaux 38. Les conducteurs électriques de montée et de connexion 22 comprennent des conducteurs électriques de montée et de connexion amont 22A, c'est-à-dire adjacents au bord longitudinal 38 amont de la cuve 10 d'électrolyse, et des conducteurs électriques de montée et de connexion aval 22B, c'est-à-dire adjacents au bord longitudinal 38 aval de la cuve 10 d'électrolyse. Les conducteurs électriques de montée et de connexion amont 22A sont connectés électriquement à une extrémité amont de la première partie 34 du support 30, et les conducteurs électriques de montée et de connexion aval 22B sont connectés électriquement à une extrémité aval de cette première partie 34 du support 30.

**[0095]** Les conducteurs électriques d'acheminement 24 sont connectés aux sorties cathodiques 20 et sont destinés à conduire le courant d'électrolyse IE depuis ces sorties cathodiques 20 jusqu'aux conducteurs électriques de montée et de connexion 22 de la cuve 10 d'électrolyse suivante de la série.

**[0096]** Les conducteurs cathodiques 18, les sorties ca-

thodiques 20 et/ou les conducteurs d'acheminement 24 peuvent être des barres métalliques, éventuellement composites, par exemple en aluminium, cuivre et/ou acier.

**[0097]** Une nappe d'aluminium 40 liquide est formée au cours de la réaction d'électrolyse.

**[0098]** On notera que les cuves 10 d'électrolyse de l'aluminerie 1 selon l'invention sont préférentiellement des cuves 10 d'électrolyse de type à remplacement d'anode par traction verticale ascendante des ensembles anodiques 14 au-dessus de la cuve 10 d'électrolyse, comme cela est représenté par l'intermédiaire de la cuve 10 d'électrolyse à droite sur la figure 6. Les conducteurs de montée et de connexion 22 s'étendent de part et d'autre du caisson 12 sans s'étendre au droit des anodes 32, c'est-à-dire sans s'étendre dans un volume obtenu par projection verticale de la surface des anodes 32 projetée dans un plan horizontal. Outre l'intérêt que cela représente pour permettre un changement d'anode 32 par traction verticale ascendante, cela permet aussi de diminuer la longueur des conducteurs de montée et de connexion 22 par rapport à une utilisation de conducteurs de montée et de connexion 130 de type classique, visibles sur la figure 2, qui s'étendent typiquement au-dessus de la cuve 110 d'électrolyse jusque dans la partie centrale longitudinale de la cuve 110 d'électrolyse. Cela contribue à réduire les coûts de fabrication. On note aussi que la partie horizontale 34 du support 30 est supportée et connectée au niveau de chacun des deux bords longitudinaux 38 de chaque cuve 10 d'électrolyse.

**[0099]** Ainsi, l'ensemble anodique n'est plus supporté et connecté électriquement au-dessus du caisson et des anodes au moyen d'une superstructure 132, comme cela est le cas pour les cuves d'électrolyse de l'état de la technique illustrées sur la figure 2. Les cuves 10 d'électrolyse de l'aluminerie 1 selon ce mode de réalisation de l'invention sont donc exemptes de superstructure. L'absence de superstructure permet d'élargir et/ou allonger les cuves 10 d'électrolyse, afin de bénéficier de cuves 10 d'électrolyse de grandes dimensions, comme mentionné précédemment. Un tel élargissement ou allongement des cuves 110 d'électrolyse de l'état de la technique n'est pas possible du fait de la superstructure 132, car cet élargissement et/ou allongement entraînerait un élargissement et/ou allongement de la superstructure 132 elle-même, donc de la portée de la poutre entre les pieds soutenant la poutre et du poids à soutenir par cette superstructure 132. Il existe des superstructures comportant une ou plusieurs arches intermédiaires de soutènement de la poutre, mais de telles arches intermédiaires, s'étendant transversalement au-dessus du caisson 112 et des anodes 118, sont encombrantes et complexifient les opérations sur cuves, notamment les changements d'anodes.

**[0100]** Le fait de pouvoir augmenter les dimensions des cuves d'électrolyse, combiné à une augmentation de l'intensité du courant d'électrolyse IE, cela sans créer d'instabilités MHD du fait de la configuration magnétique

particulière de l'aluminerie 1 selon l'invention décrite plus en détails ci-après, permet d'améliorer substantiellement le rendement de l'aluminerie 1 en comparaison avec l'état de la technique.

5 **[0101]** Les conducteurs électriques de l'aluminerie 1 (en particulier conducteurs électriques de montée et de connexion 22, support 30, sorties cathodiques 20, conducteurs d'acheminement 24, conducteurs électriques des premier et deuxième circuits électriques de compensation 4, 6) sont en effet configurés pour obtenir une compensation efficace des composantes horizontales et verticale du champ magnétique généré par la circulation du courant d'électrolyse IE et, ce faisant, une limitation des instabilités MHD, donc un rendement amélioré.

10 **[0102]** Plus particulièrement, la répartition du courant d'électrolyse IE parcourant les conducteurs électriques de montée et de connexion 22 est dissymétrique entre les conducteurs électriques de montée et de connexion amont 22A et aval 22B. Le courant d'électrolyse IE est réparti en un courant d'électrolyse amont IEA, qui parcourt l'ensemble des conducteurs électriques de montée et de connexion amont 22A des cuves 10 d'électrolyse, et un courant d'électrolyse aval IEB, qui parcourt l'ensemble des conducteurs électriques de montée et de connexion aval 22B des cuves 10 d'électrolyse. L'intensité du courant d'électrolyse amont IEA est égale à ] 50-100[% de l'intensité du courant d'électrolyse IE, tandis que l'intensité du courant d'électrolyse aval IEB est égale à ]0-50[% de l'intensité du courant d'électrolyse IE, étant précisé que les courants d'électrolyse amont IEA et aval IEB sont complémentaires, c'est-à-dire que la somme des intensités des courants d'électrolyse amont IEA et aval IEB est égale à l'intensité du courant d'électrolyse IE.

20 **[0103]** Cette répartition dissymétrique avec prépondérance de l'amont par rapport à l'aval est particulièrement avantageuse quand les cuves 10 d'électrolyse de l'aluminerie sont des cuves d'électrolyse de grandes dimensions. En effet, la dissymétrie amont/aval du courant d'électrolyse IE permet d'éviter de recourir à une augmentation trop importante de section des conducteurs d'acheminement 24 sous la cuve 10 d'électrolyse, si bien que des économies de matières et d'espace sont réalisées, et cela sans préjudice de la stabilité magnétique de la cuve 10 d'électrolyse.

25 **[0104]** Le choix de la répartition entre intensités des courants d'électrolyse amont et aval IEA, IEB est réalisé par étude économique. Ce choix dépend principalement de la distance entre deux cuves et de la hauteur des cuves. Cette répartition est réalisée en ajustant les sections des conducteurs électriques des circuits électriques amont et aval, en tenant compte de leur longueur.

30 **[0105]** Les conducteurs de montée et de connexion 22 s'étendent de façon sensiblement verticale, et de préférence uniquement de façon verticale, si bien que le cheminement du courant d'électrolyse IE à travers les conducteurs de montée et de connexion 22 génère un champ magnétique avec uniquement des composantes horizontales, mais pas de composante verticale.

**[0106]** De même, la deuxième partie 36 du support 30 de l'ensemble anodique 14, et/ou les sorties cathodiques 20, s'étendent avantageusement selon une direction verticale, et de préférence uniquement de façon verticale, afin que le cheminement du courant d'électrolyse IE à travers cette deuxième partie 36 et/ou à travers les sorties cathodiques 20 génère un champ magnétique présentant uniquement des composantes horizontales, mais pas de composante verticale.

**[0107]** On notera que les sorties cathodiques 20 traversent avantageusement le fond du caisson 12. Le fait de disposer de sorties cathodiques 20 par le fond, au lieu de sorties cathodiques sur les côtés de la cuve d'électrolyse comme dans l'état de la technique (figure 2), permet de réduire la longueur des conducteurs d'acheminement 24. La réduction de longueur des conducteurs d'acheminement 24 permet, outre une économie de matières premières, une diminution substantielle des courants horizontaux dans les liquides et, ainsi, une meilleure stabilité MHD.

**[0108]** Par ailleurs, toujours en vue de compenser efficacement le champ magnétique créé par la circulation du courant d'électrolyse IE, la première partie 34 du support 30 de l'ensemble anodique 14 s'étend, de préférence uniquement, de façon sensiblement horizontale et parallèle à la direction transversale X des cuves 10 d'électrolyse.

**[0109]** De même, les conducteurs d'acheminement 24 s'étendent avantageusement de façon sensiblement rectiligne et parallèle à la direction transversale X des cuves 10 d'électrolyse, jusqu'aux conducteurs de montée et de connexion 22 de la cuve 10 d'électrolyse suivante. On limite ainsi le coût des conducteurs électriques d'acheminement 24, en minimisant leur longueur. On limite également les champs magnétiques générés par ces conducteurs électriques 24 d'acheminement par rapport à l'état de la technique, et en particulier par rapport aux cuves d'électrolyse auto-compensées de l'état de la technique.

**[0110]** Les conducteurs électriques de montée et de connexion 22 sont de préférence répartis à intervalles réguliers sur sensiblement toute la longueur du bord longitudinal 38 auquel ils sont adjacents. Autrement dit, une même distance sépare deux conducteurs électriques de montée et de connexion 22 consécutifs dans la direction longitudinale Y. Cela permet d'améliorer l'équilibre de la composante horizontale longitudinale du champ magnétique (c'est-à-dire parallèlement à la longueur de la cuve 10 d'électrolyse).

**[0111]** Les conducteurs électriques de montée et de connexion amont 22A et les conducteurs électriques de montée et de connexion aval 22B peuvent être agencés à équidistance d'un plan médian longitudinal YZ de chaque cuve 10 d'électrolyse, c'est-à-dire un plan sensiblement perpendiculaire à la direction transversale X et séparant chaque cuve 10 d'électrolyse en deux parties sensiblement égales. En d'autres termes, les conducteurs électriques de montée et de connexion amont 22A sont

à la même distance de ce plan médian longitudinal YZ que les conducteurs électriques de montée et de connexion aval 22B. De plus, les conducteurs électriques de montée et de connexion amont 22A sont avantageusement disposés de façon sensiblement symétrique aux conducteurs électriques de montée et de connexion aval 22B, par rapport à ce plan médian longitudinal YZ. On améliore ainsi encore la caractéristique sensiblement antisymétrique avantageuse de la distribution du champ magnétique horizontale dans les liquides.

**[0112]** Pour limiter le champ magnétique généré par la circulation du courant d'électrolyse à travers les conducteurs électriques de montée et de connexion 22, ces conducteurs électriques de montée et de connexion s'étendent avantageusement au-dessus des liquides (bain électrolytique) à une hauteur h comprise entre 0 et 1,5 mètre. La longueur des conducteurs de montée et de connexion 22 est ainsi fortement diminuée par rapport aux conducteurs de montée et de connexion 130 de type classique qui s'étendent à des hauteurs supérieures à deux mètres pour les cuves 130 d'électrolyse de l'état de la technique.

**[0113]** Pour améliorer la compacité de l'aluminerie 1 et limiter les coûts en matières premières, les conducteurs de montée et de connexion amont 22A des cuves 10 d'électrolyse peuvent être agencés en quinconce par rapport aux conducteurs de montée et de connexion aval 22B de la cuve 10 d'électrolyse la précédant dans la file 2. Cela permet en effet de rapprocher au maximum les cuves 10 d'électrolyse les unes des autres, soit pour placer davantage de cuves 10 d'électrolyse en série sur une même distance, ce qui augmente le rendement, soit pour réduire la longueur d'une file 2 de cuves 10 d'électrolyse, donc gagner de l'espace et réaliser des économies de structure.

**[0114]** Pour une compensation efficace des composantes horizontales du champ magnétique généré par la circulation du courant d'électrolyse IE, c'est-à-dire pour avoir des composantes horizontales antisymétriques, la première partie 34 du support 30 de l'ensemble anodique 14 et la deuxième partie 36 du support 30 de l'ensemble anodique 14 sont configurées pour que l'intensité de la fraction de courant d'électrolyse parcourant une moitié amont de cette deuxième partie 36 soit sensiblement égale à l'intensité de la fraction de courant d'électrolyse parcourant une moitié aval de cette deuxième partie 36. Autrement dit, et comme cela est représenté sur la figure 8, l'intensité de la fraction de courant d'électrolyse traversant l'ensemble des rondins situés côté amont d'un plan médian longitudinal YZ de la cuve 10 d'électrolyse est sensiblement égale à l'intensité de la fraction de courant d'électrolyse traversant l'ensemble des rondins situés côté aval de ce plan médian longitudinal YZ. En particulier, comme cela ressort du segment S9 de la figure 8 lue en combinaison avec le tableau de la figure 9, une partie du courant d'électrolyse amont IEA parvient jusqu'aux rondins situés côté aval du plan médian YZ de la cuve 10 d'électrolyse. Cela est obtenu grâce à un équi-

librage électrique global des différentes sections de conducteurs.

**[0115]** Le principe de compensation ou équilibrage magnétique de l'aluminerie 1 selon l'invention permet d'obtenir pour l'aluminerie 1 un circuit de conducteurs pouvant être réalisé de façon modulaire, comme cela est illustré sur la figure 7. Chaque module M peut comporter par exemple un conducteur électrique du premier circuit électrique de compensation 4 et un certain nombre de conducteurs d'acheminement 24 et de conducteurs de montée et de connexion 22 associés pour chaque cuve 10 d'électrolyse. Le fait est que les conducteurs électriques compris dans chaque module M (conducteurs de montée et de connexion 22, ensemble anodique 14, cathode 16, conducteurs cathodiques 18, sorties cathodiques 20, conducteurs d'acheminement 24, conducteurs électriques du premier circuit de compensation 4) sont configurés pour générer une même configuration magnétique prédéterminée. En d'autres termes, les conducteurs électriques de chaque module M sont agencés et parcourus par des courants tels que chaque module M génère les mêmes composantes verticale et horizontales de champ magnétique.

**[0116]** Le circuit de conducteurs, et donc chaque cuve 10 d'électrolyse, peut être composé d'un certain nombre N de modules M, déterminant la longueur des cuves 10 d'électrolyse et l'intensité du courant traversant les cuves 10 d'électrolyse (l'intensité du courant d'électrolyse IE circulant dans la série de cuves d'électrolyse étant égale à l'intensité de la fraction de courant d'électrolyse traversant chaque module M multipliée par le nombre N de modules M).

**[0117]** Il est important de préciser que, compte-tenu de la configuration magnétique de chaque module M, le choix du nombre N de modules M par cuve 10 d'électrolyse, compensé par le circuit secondaire de compensation 6 sur les extrémités de cuve, ne perturbe que peu l'équilibre magnétique des cuves 10 d'électrolyse. Cela permet d'obtenir une configuration magnétique optimale, et ce, pour des ampérages au-delà de 1000 kA voire 2000 kA lors de la conception ou une extension de la longueur des cuves 10 d'électrolyse par addition de tels modules. A contrario, l'allongement de cuves d'électrolyse de type auto-compensée ou compensée par des circuits magnétiques de compensation disposés sur les côtés des cuves connues de l'art antérieur imposent de redessiner complètement les circuits de conducteurs. Aussi, le rapport de la quantité de matériau formant le circuit de conducteurs ramené à la surface de production des cuves 10 d'électrolyse ne se dégrade pas lorsque l'on allonge les cuves 10 d'électrolyse, il augmente proportionnellement au nombre N de modules M et à l'intensité traversant les cuves 10 d'électrolyse. Ainsi, les cuves 10 d'électrolyse peuvent être allongées simplement en fonction des besoins et l'intensité du courant les traversant n'est pas limitée. La construction modulaire des conducteurs électriques des cuves 10 d'électrolyse offre donc un avantage en termes d'évolutivité, puisque

cette construction modulaire, combinée à un simple ajustement de l'ampérage du circuit secondaire de compensation, permet de modifier les cuves 10 d'électrolyse sans porter atteinte à leur équilibrage magnétique et électrique.

**[0118]** Le tableau de la figure 9, lu en combinaison avec la figure 8, montre pour un module les valeurs d'intensité parcourant les différents éléments électriquement conducteurs des cuves 10 d'électrolyse, ces éléments conducteurs étant symbolisés par des segments : S1 pour les conducteurs de montée et de connexion amont 22A ; S2, S5 et S8 pour la première partie 34 du support 30 ; S3 et S9 pour la deuxième partie 36 du support 30, la ou les anodes 32, le bain électrolytique, la nappe d'aluminium 40, la cathode 16, les conducteurs cathodiques 18 et les sorties cathodiques 20 ; S4, S6 et S10 pour les conducteurs d'acheminement 24 ; S7 pour les conducteurs de montée et de connexion aval 22B.

**[0119]** On précise que la somme des intensités  $i$  et  $i_a$  indiquées dans le tableau des figures 9, 13 et 14 est égale à l'intensité du courant d'électrolyse amont IEA divisée par le nombre N de modules de la cuve 10 d'électrolyse ; l'intensité  $i_b$  est égale à l'intensité du courant d'électrolyse aval IEB divisée par le nombre N de modules de la cuve 10 d'électrolyse ; la somme de  $i_a$  et  $i_b$  est égale à  $i$  ; la somme des courants d'électrolyse amont et aval IEA, IEB est donc égale à  $2i$  multiplié par le nombre N de modules ; et l'intensité du courant d'électrolyse IE circulant à travers la série de cuves d'électrolyse est égale à la somme de l'intensité du courant d'électrolyse amont IEA traversant toute la partie amont de la cuve d'électrolyse et de l'intensité du courant d'électrolyse aval IEB traversant toute la partie aval de la cuve d'électrolyse, c'est-à-dire au produit de  $2i$  et du nombre N de modules de la cuve d'électrolyse.

**[0120]** Les figures 10 à 12 sont des vues schématiques filaires du circuit électrique parcouru par le courant d'électrolyse dans un module d'une cuve 10 d'électrolyse de l'aluminerie 1, et montrant pour cette cuve 10 d'électrolyse les trois zones principales P1, P2, P3 générant un champ magnétique perturbateur significatif : une zone P1 amont, une zone P2 intermédiaire centrale, et une zone P3 aval symétrique de la zone P1 amont par rapport à un plan médian longitudinal YZ des cuves 10 d'électrolyse.

**[0121]** Le tableau de la figure 13, lu en combinaison avec les figures 10, 11 et 12, montre schématiquement la composante verticale du champ magnétique généré par les conducteurs électriques (représentés schématiquement par des segments) de la cuve 10 d'électrolyse, respectivement dans les trois zones P1, P2, P3 des cuves 10 d'électrolyse, par les premier et deuxième circuits de compensation 4, 6. En additionnant les contributions de chacun de ces conducteurs électriques, et celle du premier et du deuxième circuit de compensation 4, 6, on constate que la composante verticale  $B_z$  de champ magnétique généré par la circulation du courant d'électrolyse est nulle, c'est-à-dire parfaitement compensée. Ain-

si, les instabilités MHD sont réduites au minimum ; cela offre la possibilité d'améliorer substantiellement le rendement.

**[0122]** En outre, le tableau de la figure 14, lu aussi en combinaison avec les figures 10, 11 et 12, montre schématiquement la composante horizontale longitudinale du champ magnétique généré par la circulation du courant d'électrolyse à travers les conducteurs électriques (symbolisés par des segments) de la cuve 10 d'électrolyse, zone par zone, et à travers les premier et deuxième circuits de compensation 4, 6. La composante horizontale transversale du champ magnétique est quant à elle bien antisymétrique car les conducteurs sont symétriques par rapport au plan XZ. En additionnant les contributions de chaque segment, et celles des premier et deuxième circuits de compensation 4, 6, on constate que la composante horizontale longitudinale  $B_y$  du champ magnétique est antisymétrique (opposée dans les zones P1, P3 amont et aval, et nulle dans la zone P2 centrale). Cette antisymétrie supprime les effets délétères liés aux composantes horizontales du champ magnétique.

**[0123]** Le premier circuit électrique de compensation 4 est décrit plus en détails ci-après.

**[0124]** Le premier circuit électrique de compensation 4 s'étend sous les cuves 10 d'électrolyse. Ce premier circuit électrique de compensation 4 est destiné à être parcouru par un premier courant de compensation IC1, en sens inverse du sens de circulation global du courant d'électrolyse IE, comme cela est visible sur les figures 5 et 7. On rappelle que par sens de circulation global du courant d'électrolyse IE on entend sens de circulation du courant d'électrolyse IE à l'échelle de l'aluminerie 1 ou de la ou des files 2 de cuves 10 d'électrolyse.

**[0125]** Le premier circuit électrique de compensation 4 comprend des conducteurs électriques qui peuvent être des barres métalliques, par exemple en aluminium, cuivre ou acier, ou, de manière avantageuse, des conducteurs électriques en matériau supraconducteur, ces derniers permettant de réduire la consommation d'énergie et, du fait de leur masse plus faible que celle des conducteurs équivalents en métal, de réduire les frais de structure pour les supporter ou pour les protéger d'éventuelles coulées de métal au moyen de déflecteurs 42 métalliques (figure 7) ou en les enterrant. Avantageusement, ces conducteurs électriques en matériau supraconducteur peuvent être agencés pour réaliser plusieurs tours en série sous la ou les files de cuves, comme cela est décrit dans la demande de brevet WO2013007893 au nom de la demanderesse.

**[0126]** L'aluminerie 1 comprend une station 44 d'alimentation configurée pour faire circuler à travers le premier circuit électrique de compensation 4 une intensité de courant IC1 égale au double de l'intensité du courant d'électrolyse aval IEB, à plus ou moins 20% près, et de préférence à plus ou moins 10% près.

**[0127]** Cette station 44 d'alimentation peut être une station d'alimentation électrique propre, c'est-à-dire distincte de la station 8 d'alimentation alimentant les cuves

10 d'électrolyse en courant d'électrolyse IE. La station 44 d'alimentation électrique du premier circuit de compensation 4 est donc exclusivement dédiée à l'alimentation de ce premier circuit de compensation 4.

**[0128]** Le premier circuit électrique de compensation 4 est ainsi également indépendant du circuit électrique principal parcouru par le courant d'électrolyse IE comprenant notamment la ou les files 2 de cuves 10 d'électrolyse. Si le premier circuit électrique de compensation 4 subit une avarie, par exemple un perçage d'une des cuves 10 d'électrolyse par les liquides contenus dans les cuves d'électrolyse, dont la température est proche de 1 000°C, la réaction d'électrolyse peut se poursuivre, avec un rendement moindre toutefois puisque la compensation magnétique est impactée. De plus, l'intensité du premier courant de compensation IC1 est modifiable indépendamment du courant d'électrolyse IE. Cela est d'une importance primordiale en termes d'évolutivité et d'adaptabilité. D'une part parce que cela permet, en cas d'augmentation de l'intensité du courant d'électrolyse IE en cours de vie de l'aluminerie 1, d'adapter la compensation magnétique à cette évolution, par variation de l'intensité du premier courant de compensation IC1 en fonction des besoins. D'autre part parce que cela permet d'adapter l'ampérage du premier courant de compensation IC1 aux caractéristiques et à la qualité de l'alumine disponible. Cela permet de contrôler la vitesse des écoulements MHD pour favoriser ou limiter le brassage des liquides et la dissolution de l'alumine dans le bain en fonction des caractéristiques de l'alumine disponible, ce qui in fine contribue à un rendement le meilleur possible compte-tenu des approvisionnements en alumine.

**[0129]** Les conducteurs électriques du premier circuit électrique de compensation 4 s'étendent sous les cuves d'électrolyse en formant ensemble une nappe de conducteurs électriques parallèles, avantageusement de deux à douze, et de préférence de trois à dix conducteurs électriques parallèles. En d'autres termes, en section longitudinal d'une cuve 10 d'électrolyse, c'est-à-dire dans un plan longitudinal YZ de la cuve 10 d'électrolyse, comme cela est représenté sur la figure 7, le premier circuit électrique de compensation 4 s'étend sous plusieurs endroits de la cuve 10 d'électrolyse. On notera que le premier courant de compensation IC1 circule en sens contraire du sens de circulation global du courant d'électrolyse IE, ce à travers tous les conducteurs électriques formant la nappe. La nappe peut être formée par un même circuit électrique formant plusieurs tours ou boucles en série sous les cuves 10 d'électrolyse, chaque boucle correspondant à un conducteur électrique de la nappe. Alternativement, la nappe peut être formée par une division en un faisceau de conducteurs électriques parallèles du premier circuit électrique de compensation 4, ce dernier pouvant former le cas échéant une seule boucle sous les cuves 10 d'électrolyse.

**[0130]** L'intensité du premier courant de compensation IC1 est égale à la somme des intensités du courant de compensation parcourant chaque conducteur électrique

de la nappe. De préférence, l'intensité du premier courant de compensation IC1 dans chaque conducteur électrique de la nappe est égale à l'intensité du premier courant de compensation IC1 divisée par le nombre de conducteurs électriques de cette nappe.

**[0131]** Les conducteurs électriques de la nappe sont avantageusement équidistants les uns des autres. Une même distance sépare donc deux conducteurs électriques adjacents de la nappe. On améliore encore ainsi la compensation du champ magnétique défavorable.

**[0132]** Les conducteurs électriques de la nappe peuvent s'étendre parallèlement les uns aux autres. Ils s'étendent de préférence parallèlement à la direction transversale X des cuves 10 d'électrolyse. Par ailleurs, les conducteurs électriques formant la nappe peuvent être agencés tous dans un même plan horizontal XY. Cela permet aussi d'améliorer la compensation du champ magnétique généré par la circulation du courant d'électrolyse.

**[0133]** De plus, les conducteurs électriques de la nappe peuvent s'étendre sensiblement symétriquement par rapport au plan médian transversal XZ des cuves d'électrolyse, c'est-à-dire par rapport au plan perpendiculaire à la direction longitudinale Y, ce plan séparant les cuves 10 d'électrolyse en deux moitiés sensiblement égales.

**[0134]** Selon l'exemple de la figure 7, le premier circuit électrique de compensation 4 forme une nappe de trois conducteurs sensiblement équidistants et agencés dans un même plan XY sensiblement horizontal. Cette nappe comprend autant de conducteurs électriques que la cuve 10 d'électrolyse comprend de modules M.

**[0135]** De fait, la nappe est avantageusement configurée pour que chaque module M de la cuve 10 d'électrolyse comprenne le même nombre de conducteurs électriques du premier circuit électrique de compensation 4. Cela permet d'obtenir une compensation du champ magnétique par module, ce qui produit de meilleurs effets et offre un avantage significatif en termes de mise en œuvre et d'évolutivité.

**[0136]** Le deuxième circuit électrique de compensation 6 est décrit plus en détails ci-après.

**[0137]** Le deuxième circuit électrique de compensation 6 s'étend sur au moins un côté, transversal, des cuves 10 d'électrolyse, de façon sensiblement parallèle à la direction transversale X des cuves 10 d'électrolyse, c'est-à-dire parallèlement à la ou les files 2 de cuves 10 d'électrolyse. Le deuxième circuit électrique de compensation 6 est destiné à être parcouru par un deuxième courant de compensation IC2, dans le même sens que le sens de circulation global du courant d'électrolyse IE.

**[0138]** De préférence, le deuxième circuit électrique de compensation 6 s'étend le long des deux côtés transversaux des cuves 10 d'électrolyse, comme cela est illustré sur la figure 5. Dans ce cas, on désigne par boucle interne 61 les conducteurs électriques du deuxième circuit électrique de compensation 6 qui sont situés entre les deux premières files 2 adjacentes de cuves 10 d'électrolyse, et par boucle externe 62 les conducteurs électri-

ques du deuxième circuit électrique de compensation 6 qui sont situés côté extérieur des files 2 de cuves 10 d'électrolyse, c'est-à-dire qui sont de l'autre côté des cuves 10 d'électrolyse par rapport aux conducteurs électriques formant la boucle interne 61. La boucle interne 61 est parcourue par un deuxième courant de compensation IC21 et la boucle externe 62 est parcourue par un deuxième courant de compensation IC22. Les deuxième courants de compensation IC21 et IC22 circulent dans le même sens. La somme des courants IC21 et IC22 circulant respectivement dans la boucle interne 61 et dans la boucle externe 62 est égale au courant de compensation IC2. La boucle interne 61 et/ou la boucle externe 62 peuvent éventuellement faire plusieurs tours en série ; le cas échéant l'intensité du courant IC21, respectivement IC22, est le produit du nombre de tours en série par l'intensité du courant circulant dans chaque tour en série.

**[0139]** L'aluminerie 1 comprend une station 46 d'alimentation qui est avantageusement configurée pour faire circuler à travers le deuxième circuit électrique de compensation 6 (boucle interne 61 et/ou boucle externe 62) une intensité totale (le cas échéant boucle interne 61 plus boucle externe 62) de courant de compensation IC2 comprise entre 50% et 100% de la différence d'intensité entre les courants d'électrolyse amont et aval, et de préférence comprise entre 80% et 100% de la différence d'intensité entre les courants d'électrolyse amont et aval. Cette valeur d'intensité, fixée en fonction de la répartition dissymétrique du courant d'électrolyse IE dans chaque cuve 10 d'électrolyse, offre, en synergie avec le choix de la valeur de répartition dissymétrique IEA, IEB et de l'intensité du premier courant de compensation IC1, les meilleurs résultats de compensation du champ magnétique, applicable efficacement aux cuves 10 d'électrolyse de grandes dimensions.

**[0140]** De préférence, l'intensité du courant IC21 circulant dans la boucle interne 61 diffère de l'intensité du courant IC22 circulant dans la boucle externe 62. Plus particulièrement, l'intensité du courant IC21 circulant dans la boucle interne 61 est avantageusement supérieure à l'intensité du courant IC22 circulant dans la boucle externe 62.

**[0141]** Le courant parcourant la boucle interne 61 pourra être augmenté afin de compenser l'impact de la file voisine sur le champ magnétique vertical. Cette augmentation aura une valeur typique voisine de (à 50% près)  $IE2xD61/DP2$ , où  $IE2 = IE - IC1 + IC2 = IE + IEA - 3 IEB$  et DP2 est la distance de la file voisine au centre de la cuve et D61 est la distance de la boucle interne 61 au centre de la cuve. Pour une série d'électrolyse classique IE2 est supérieur ou égal à IE. On peut noter que  $IE + IEA - 3 IEB$  est très inférieur à IE. Ceci est un gain de ce design qui permet le rapprochement de la file voisine car la création du champ magnétique par la file voisine est beaucoup plus faible sans surcoût par rapport à ce qui est connue par l'homme du métier.

**[0142]** La station 46 d'alimentation alimentant le

deuxième circuit de compensation 6 peut être une station d'alimentation électrique propre, c'est-à-dire distincte de la station 8 d'alimentation alimentant les cuves 10 d'électrolyse en courant d'électrolyse IE et distincte de la station 44 d'alimentation alimentant le premier circuit électrique de compensation 4. La station 46 d'alimentation électrique du deuxième circuit de compensation 6 est donc exclusivement dédiée à l'alimentation de ce deuxième circuit de compensation 6. Le deuxième circuit électrique de compensation 6 est ainsi également indépendant du circuit électrique principal parcouru par le courant d'électrolyse IE. L'intensité du deuxième courant de compensation IC2 est modifiable indépendamment du courant d'électrolyse IE, offrant ainsi des avantages substantiels en termes d'évolutivité et d'adaptabilité de l'aluminerie 1, comme expliqué précédemment concernant le premier circuit électrique de compensation 4. Avantageusement, le deuxième circuit de compensation 6 peut être également distinct du premier circuit de compensation 4.

**[0143]** Quand le deuxième circuit électrique de compensation 6 s'étend des deux côtés des cuves 10 d'électrolyse, les conducteurs électriques formant ce deuxième circuit électrique de compensation 6 peuvent avantageusement être symétriques par rapport à un plan XZ transversal médian des cuves 10 d'électrolyse. Cela améliore la compensation du champ magnétique délétaire.

**[0144]** Par ailleurs, toujours dans l'optique de compenser efficacement ce champ magnétique, créé par la circulation du courant d'électrolyse IE, les conducteurs électriques du deuxième circuit électrique de compensation 6 s'étendent avantageusement dans un même plan horizontal XY. De préférence, ce plan horizontal XY est situé à hauteur de la nappe d'aluminium 40 liquide formée à l'intérieur des cuves 10 d'électrolyse au cours de la réaction d'électrolyse.

**[0145]** On notera que les conducteurs électriques formant le deuxième circuit électrique de compensation 6 peuvent avantageusement être configurés de manière à limiter les effets de « fin de file », comme cela est montré sur la figure 5.

**[0146]** Les conducteurs électriques formant le deuxième circuit électrique de compensation 6 peuvent être des barres métalliques, par exemple en aluminium, cuivre ou acier, ou, de manière avantageuse, à des conducteurs électriques en matériau supraconducteur, ces derniers permettant de réduire la consommation d'énergie et, du fait de leur masse plus faible que celle des conducteurs équivalents en métal, de réduire les frais de structure pour les supporter. Avantageusement, ces conducteurs électriques en matériau supraconducteur peuvent être agencés pour réaliser plusieurs tours en série sur le ou les côtés des files 2 de cuves 10 d'électrolyse, comme cela est décrit dans la demande de brevet WO2013007893 au nom de la demanderesse.

**[0147]** L'invention concerne également un procédé de compensation du champ magnétique créé par la circulation d'un courant d'électrolyse IE dans les cuves 10

d'électrolyse de l'aluminerie 1 décrite ci-dessus. Ce procédé comprend :

- 5 - le fait de faire circuler, en sens contraire du sens de circulation global du courant d'électrolyse IE, le premier courant de compensation IC1 à travers le premier circuit électrique de compensation 4,
- 10 - le fait de faire circuler, dans le même sens de circulation que le sens de circulation global du courant d'électrolyse IE, le deuxième courant de compensation IC2 à travers le deuxième circuit électrique de compensation 6.

15 **[0148]** Le procédé comprend aussi avantageusement le fait de répartir de façon dissymétrique le courant d'électrolyse IE entre les conducteurs électriques de montée et de connexion amont 22A et les conducteurs électriques de montée et de connexion aval 22B.

20 **[0149]** Cette étape de répartition dissymétrique du courant d'électrolyse entre l'amont et l'aval des cuves 10 d'électrolyse comprend la séparation du courant d'électrolyse IE en un courant d'électrolyse amont IEA, qui circule à travers l'ensemble des conducteurs électriques de montée et de connexion amont 22A de chaque cuve 10 d'électrolyse, de sorte que l'intensité du courant d'électrolyse amont IEA soit comprise entre ]50-100[% de l'intensité du courant d'électrolyse IE, et en un courant d'électrolyse aval IEB, qui circule à travers l'ensemble des conducteurs électriques de montée et de connexion aval 22B de chaque cuve 10 d'électrolyse, de sorte que l'intensité du courant d'électrolyse aval IEB soit comprise entre ]0-50[% de l'intensité du courant d'électrolyse IE, la somme des intensités des courants d'électrolyse amont et aval IEA, IEB étant égale à l'intensité du courant d'électrolyse IE.

35 **[0150]** L'étape de mise en circulation du premier courant de compensation IC1 est avantageusement telle que l'intensité du premier courant de compensation IC1 soit égale au double de l'intensité du courant d'électrolyse aval IEB, à plus ou moins 20% près, et de préférence à plus ou moins 10% près.

40 **[0151]** L'étape de mise en circulation du deuxième courant de compensation IC2 est avantageusement telle que l'intensité totale (boucle interne 61 + externe 62) du deuxième courant de compensation IC2 soit comprise entre 50% et 100% de la différence d'intensité entre les courants d'électrolyse amont IEA et aval IEB, et de préférence comprise entre 80% et 100% de la différence d'intensité entre les courants d'électrolyse amont et aval.

45 **[0152]** Pour ces valeurs d'intensités du courant d'électrolyse amont IEA, du courant d'électrolyse aval IEB, du premier courant de compensation IC1 et du deuxième courant de compensation IC2, la demanderesse a constaté que le champ magnétique généré par la circulation du courant d'électrolyse est le plus efficacement compensé.

50 **[0153]** De plus, l'intensité du courant IC21 circulant

dans la boucle interne 61 peut différer de l'intensité du courant IC22 circulant dans la boucle externe 62. Plus particulièrement, l'intensité du courant IC21 circulant dans la boucle interne 61 est avantageusement supérieure à l'intensité du courant IC22 circulant dans la boucle externe 62.

**[0154]** Par ailleurs, le procédé peut comprendre avantageusement une étape d'analyse d'au moins une caractéristique de l'alumine dans au moins une des cuves 10 d'électrolyse de l'aluminerie 1 décrite précédemment, et la détermination d'une répartition de valeurs d'intensité des courants d'électrolyse amont et aval IEA, IEB à faire circuler en fonction de cette caractéristique analysée, ce qui définit aussi le cas échéant les valeurs d'intensité des premier et deuxième courants de compensation IC1, IC2 et le cas échéant des courants d'électrolyse amont et aval IEA, IEB. Les valeurs d'intensité des premier et deuxième courants de compensation IC1, IC2, et le cas échéant des courants d'électrolyse amont et aval IEA, IEB, peuvent être ensuite modifiées jusqu'aux valeurs déterminées précédemment si les valeurs d'intensité des premier et deuxième courants de compensation IC1, IC2 et des courants d'électrolyse amont et aval IEA, IEB initiales diffèrent des valeurs ainsi déterminées. Ainsi, le procédé permet de modifier la compensation magnétique, afin d'augmenter ou réduire le brassage des liquides tout en contrôlant les instabilités MHD. De manière générale plus le brassage (ou l'écoulement) des liquides est fort, plus la dissolution d'alumine va être efficace mais plus l'interface bain/métal va être instable (= instabilité MHD), ce qui peut dégrader le rendement des cuves. Un tel procédé est particulièrement intéressant avec la configuration des conducteurs électriques décrite ci-dessus car il rend les cuves 10 d'électrolyse magnétiquement très stables et offre donc une plus grande plage pour moduler/optimiser le brassage en fonction de la qualité de l'alumine. Les caractéristiques de l'alumine analysées peuvent notamment être l'habilité de l'alumine à se dissoudre dans le bain, la fluidité de l'alumine, sa solubilité, sa teneur en fluor, son humidité...

**[0155]** La détermination d'une répartition de valeurs d'intensité des courants de compensation amont et aval IEA, IEB et/ou de valeurs d'intensité des premier et deuxième courants de compensation IC1, IC2 en fonction des caractéristiques de l'alumine analysée peut être notamment effectuée par utilisation d'un abaque, par exemple réalisé par l'homme du métier par calcul, expérimentation et consignation des correspondances optimales intensités des courants d'électrolyse amont et aval IEA, IEB / caractéristiques de l'alumine. Il s'agit ici de quantifier l'intensité du brassage des liquide souhaité au regard du niveau d'instabilités MHD.

**[0156]** Il peut arriver que l'alumine disponible pour un fonctionnement continu de l'aluminerie soit de qualité différente, notamment plus ou moins pâteuse, et donc ayant des habilités différentes à se dissoudre dans le bain d'électrolyse. Dans ce cas, les mouvements des liquides dans les cuves 10 d'électrolyse constituent un atout, car

ils permettent de brasser cette alumine pour favoriser sa dissolution. Or, dans le cas de l'auto-compensation notamment (utilisée dans l'état de la technique), le champ magnétique à l'origine des mouvements des liquides est directement compensé via le courant d'électrolyse lui-même, avec une distribution du champ magnétique imposée et figée par le parcours des conducteurs d'acheminement. Il n'est donc pas possible dans les alumineries avec auto-compensation d'introduire volontairement et temporairement un déséquilibre dans la compensation du champ magnétique afin d'augmenter l'intensité du brassage de l'alumine dans les cuves, et ce afin d'augmenter l'efficacité de la dissolution. Ainsi, lorsque l'alumine disponible est uniquement de l'alumine plus difficile à dissoudre que d'ordinaire, le rendement d'alumineries avec auto-compensation peut être sensiblement affecté.

**[0157]** Bien entendu, l'invention n'est nullement limitée au mode de réalisation décrit ci-dessus, ce mode de réalisation n'ayant été donné qu'à titre d'exemple. Des modifications sont possibles. Ainsi, la présente invention est par exemple compatible avec l'utilisation d'anodes de type « inerte » au niveau desquelles se forme de l'oxygène au cours de la réaction d'électrolyse.

## Revendications

1. Aluminerie (1) comprenant au moins une file (2) de cuves (10) d'électrolyse agencées transversalement par rapport à la longueur de ladite au moins une file (2), une des cuves (10) d'électrolyse comprenant des ensembles anodiques (14) et des conducteurs électriques de montée et de connexion (22) aux ensembles anodiques (14), **caractérisée en ce que** les conducteurs électriques de montée et de connexion (22) s'étendent vers le haut le long de deux bords longitudinaux (38) opposés de la cuve (10) d'électrolyse pour conduire le courant d'électrolyse (IE) vers les ensembles anodiques (14), et **en ce que** l'aluminerie (1) comprend :

- au moins un premier circuit électrique de compensation (4) s'étendant sous les cuves (10) d'électrolyse, ledit au moins un premier circuit électrique de compensation (4) pouvant être parcouru par un premier courant de compensation (IC1) destiné à circuler sous les cuves (10) d'électrolyse en sens inverse du sens de circulation global du courant d'électrolyse (IE),
- au moins un deuxième circuit électrique de compensation (6) s'étendant sur au moins un côté de ladite au moins une file (2) de cuves (10) d'électrolyse, ledit au moins un deuxième circuit électrique de compensation (6) pouvant être parcouru par un deuxième courant de compensation (IC2) destiné à circuler dans le même sens que le sens de circulation global du courant d'électrolyse (IE).

2. Aluminerie (1) selon la revendication 1, dans laquelle les conducteurs électriques de montée et de connexion (22) comprennent des conducteurs électriques de montée et de connexion amont (22A), adjacents au bord longitudinal (38) amont de la cuve (10) d'électrolyse, et des conducteurs électriques de montée et de connexion aval (22B), adjacents au bord longitudinal (38) aval de la cuve (10) d'électrolyse, et l'aluminerie (1) est configurée pour que la répartition du courant d'électrolyse (IE) soit dissymétrique entre les conducteurs électriques de montée et de connexion amont (22A) et aval (22B), l'intensité du courant d'électrolyse amont (IEA) destiné à parcourir l'ensemble des conducteurs électriques de montée et de connexion amont (22A) de la cuve (10) d'électrolyse étant égale à ]50-100[% de l'intensité du courant d'électrolyse (IE), et l'intensité du courant d'électrolyse aval (IEB) destiné à parcourir l'ensemble des conducteurs électriques de montée et de connexion aval (22B) de la cuve (10) d'électrolyse étant égale à ]0-50[% de l'intensité du courant d'électrolyse (IE), la somme des intensités des courants d'électrolyse amont et aval (IEA), (IEB) étant égale à l'intensité du courant d'électrolyse (IE).
3. Aluminerie (1) selon la revendication 2, dans laquelle l'aluminerie comprend une station (44) d'alimentation configurée pour faire circuler à travers ledit au moins un premier circuit électrique de compensation (4) un premier courant de compensation (IC1) d'intensité égale au double de l'intensité du courant d'électrolyse aval (IEB), à plus ou moins 20% près, et de préférence à plus ou moins 10% près.
4. Aluminerie (1) selon la revendication 2 ou 3, dans laquelle l'aluminerie (1) comprend une station (46) d'alimentation configurée pour faire circuler à travers ledit au moins un deuxième circuit électrique de compensation (6) un deuxième courant de compensation (IC2) d'intensité comprise entre 50% et 100% de la différence d'intensité entre les courants d'électrolyse amont et aval (IEA, IEB), et de préférence comprise entre 80% et 100% de la différence d'intensité entre les courants d'électrolyse amont et aval (IEA, IEB).
5. Aluminerie (1) selon l'une des revendications 1 à 4, dans laquelle les conducteurs électriques de montée et de connexion (22) sont répartis à intervalle régulier le long du bord longitudinal (38) de la cuve (10) d'électrolyse auquel ces conducteurs électriques de montée et de connexion (22) sont adjacents.
6. Aluminerie (1) selon l'une des revendications 1 à 5, dans laquelle ledit au moins un premier circuit électrique de compensation (4) comprend des conducteurs électriques s'étendant sous les cuves (10) d'électrolyse en formant ensemble une nappe constituée d'une pluralité de conducteurs électriques parallèles, typiquement de deux à douze, et de préférence de trois à dix conducteurs électriques parallèles.
7. Aluminerie (1) selon la revendication 6, dans laquelle les conducteurs électriques de ladite nappe sont agencés à intervalle régulier les uns des autres selon une direction longitudinale (Y) des cuves (10) d'électrolyse.
8. Aluminerie (1) selon l'une des revendications 6 à 7, dans laquelle les conducteurs électriques de ladite nappe sont agencés dans un même plan horizontal (XY).
9. Aluminerie (1) selon l'une des revendications 1 à 8, dans laquelle ledit au moins un deuxième circuit électrique de compensation (6) comprend des conducteurs électriques s'étendant de chaque côté de ladite au moins une file (2) de cuves (10) d'électrolyse, et le deuxième courant de compensation (IC2) circule dans le même sens que le sens de circulation global du courant d'électrolyse (IE) de chaque côté des cuves (10) d'électrolyse.
10. Aluminerie (1) selon la revendication 9, dans laquelle les conducteurs électriques du deuxième circuit électrique de compensation (6) s'étendent dans un même plan horizontal (XY), de préférence à hauteur d'une nappe d'aluminium liquide (40) formée à l'intérieur des cuves (10) d'électrolyse au cours de la réaction d'électrolyse.
11. Aluminerie (1) selon l'une des revendications 1 à 10, dans laquelle ledit au moins un premier circuit électrique de compensation (4) et/ou ledit au moins un deuxième circuit électrique de compensation (6) sont indépendants du circuit électrique principal parcouru par le courant d'électrolyse (IE).
12. Procédé de compensation d'un champ magnétique créé par la circulation d'un courant d'électrolyse (IE) dans une pluralité de cuves (10) d'électrolyse d'une aluminerie (1) selon l'une des revendications 1 à 11, le procédé comprenant :
- la circulation, en sens contraire du sens de circulation global du courant d'électrolyse (IE), d'un premier courant de compensation (IC1) à travers ledit au moins un premier circuit électrique de compensation (4),
  - la circulation, dans le même sens que le sens de circulation global du courant d'électrolyse (IE), d'un deuxième courant de compensation (IC2) à travers ledit au moins un deuxième circuit électrique de compensation (6).
13. Procédé selon la revendication 12, dans lequel le

procédé comprend une répartition dissymétrique du courant d'électrolyse (IE) entre l'amont et l'aval des cuves (10) d'électrolyse, l'ensemble des conducteurs électriques de montée et de connexion (22) à l'amont des cuves (10) d'électrolyse étant parcouru par un courant d'électrolyse amont (IEA) d'intensité comprise entre ]50-100[% de l'intensité du courant d'électrolyse (IE), et l'ensemble des conducteurs électriques de montée et de connexion (22) à l'aval des cuves (10) d'électrolyse étant parcouru par un courant d'électrolyse aval (IEB) d'intensité comprise entre ]0-50[% de l'intensité du courant d'électrolyse (IE), la somme des intensités des courants d'électrolyse amont et aval (IEA), (IEB) étant égale à l'intensité du courant d'électrolyse (IE).

14. Procédé selon la revendication 13, dans lequel l'intensité du premier courant de compensation (IC1) est égale au double de l'intensité du courant d'électrolyse aval (IEB), à plus ou moins 20% près, et de préférence à plus ou moins 10% près.
15. Procédé selon la revendication 12 ou 13, dans lequel l'intensité du deuxième courant de compensation (IC2) est comprise entre 50% et 100% de la différence d'intensité entre les courants d'électrolyse amont et aval (IEA, IEB), et de préférence comprise entre 80% et 100% de la différence d'intensité entre les courants d'électrolyse amont et aval (IEA, IEB).
16. Procédé selon l'une des revendications 12 à 15, dans lequel ledit au moins un deuxième circuit électrique de compensation (6) comprend une boucle interne et une boucle externe, et dans lequel l'intensité d'un deuxième courant de compensation (IC21) circulant dans la boucle interne diffère de l'intensité d'un deuxième courant de compensation (IC22) circulant dans la boucle externe.
17. Procédé selon la revendication 16, dans lequel l'intensité du deuxième courant de compensation (IC21) circulant dans la boucle interne est supérieure à l'intensité du deuxième courant de compensation (IC22) circulant dans la boucle externe.
18. Procédé selon l'une des revendications 12 à 17, dans lequel le procédé comprend une étape d'analyse d'au moins une caractéristique de l'alumine dans au moins une des cuves (10) d'électrolyse de ladite aluminerie (1), et la détermination des valeurs d'intensité du premier courant de compensation (IC1) et du deuxième courant de compensation (IC2) à faire circuler en fonction de ladite au moins une caractéristique analysée.

## Patentansprüche

1. Aluminiumhütte (1), umfassend mindestens eine Schlange (2) von Elektrolysewannen (10), die transversal in Bezug auf die Länge der mindestens einen Schlange (2) angeordnet sind, wobei eine der Elektrolysewannen (10) Anodenanordnungen (14) und elektrische Steig- und Verbindungsleitungen (22) zu den Anodenanordnungen (14) umfasst, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich die elektrischen Steig- und Verbindungsleitungen (22) nach oben entlang von zwei gegenüberliegenden Längsrändern (38) der Elektrolysewanne (10) erstrecken, um den Elektrolysestrom (IE) zu den Anodenanordnungen (14) zu führen, und dass die Aluminiumhütte (1) umfasst:
  - mindestens einen ersten Kompensationsstromkreis (4), der sich unter den Elektrolysewannen (10) erstreckt, wobei der mindestens eine erste Kompensationsstromkreis (4) von einem ersten Kompensationsstrom (IC1) durchfließbar ist, der bestimmt ist, unter den Elektrolysewannen (10) in umgekehrter Richtung zur allgemeinen Zirkulationsrichtung des Elektrolysestroms (IE) zu zirkulieren,
  - mindestens einen zweiten Kompensationsstromkreis (6), der sich auf mindestens einer Seite der mindestens einen Schlange (2) von Elektrolysewannen (10) erstreckt, wobei der mindestens eine zweite Kompensationsstromkreis (6) von einem zweiten Kompensationsstrom (IC2) durchfließbar ist, der bestimmt ist, in derselben Richtung wie die allgemeine Zirkulationsrichtung des Elektrolysestroms (IE) zu zirkulieren.
2. Aluminiumhütte (1) nach Anspruch 1, wobei die elektrischen Steig- und Verbindungsleitungen (22) vorgelagerte elektrische Steig- und Verbindungsleitungen (22A) umfassen, die zum vorgelagerten Längsrand (38) der Elektrolysewanne (10) benachbart sind, und nachgelagerte elektrische Steig- und Verbindungsleitungen (22B), die zum nachgelagerten Längsrand (38) der Elektrolysewanne (10) benachbart sind, und die Aluminiumhütte (1) konfiguriert ist, damit die Verteilung des Elektrolysestroms (IE) zwischen den vorgelagerten (22A) und nachgelagerten (22B) elektrischen Steig- und Verbindungsleitungen asymmetrisch ist, wobei die Stärke des vorgelagerten Elektrolysestroms (IEA), der bestimmt ist, die Gesamtheit der vorgelagerten elektrischen Steig- und Verbindungsleitungen (22A) der Elektrolysewanne (10) zu durchfließen, gleich ]50-100[% der Stärke des nachgelagerten Elektrolysestroms (IE) ist, und die Stärke des nachgelagerten Elektrolysestroms (IEB), der bestimmt ist, die Gesamtheit der nachgelagerten elektrischen Steig- und Verbindungsleitungen (22B) der Elektrolysewanne (10) zu

- durchfließen, gleich ]0-50[% der Stärke des Elektrolysestroms (IE) ist, wobei die Summe der Stärken des vorgelagerten und nachgelagerten Elektrolysestroms (IEA), (IEB) gleich der Stärke des Elektrolysestroms (IE) ist.
- 5
3. Aluminiumhütte (1) nach Anspruch 2, wobei die Aluminiumhütte eine Versorgungsstation (44) umfasst, die konfiguriert ist, um zu veranlassen, dass durch den mindestens einen ersten Kompensationsstromkreis (4) ein erster Kompensationsstrom (IC1) mit einer Stärke von gleich dem Doppelten der Stärke des nachgelagerten Elektrolysestroms (IEB) mit mehr oder weniger von zirka 20 % und vorzugsweise mit mehr oder weniger von zirka 10 % zirkuliert.
- 10
4. Aluminiumhütte (1) nach Anspruch 2 oder 3, wobei die Aluminiumhütte (1) eine Versorgungsstation (46) umfasst, die konfiguriert ist, um zu veranlassen, dass durch den mindestens einen zweiten Kompensationsstromkreis (6) ein zweiter Kompensationsstrom (IC2) mit einer Stärke fließen zu lassen, die zwischen 50 % und 100 % der Stärkendifferenz zwischen dem vorgelagerten und nachgelagerten Elektrolysestrom (IEA, IEB) liegt und vorzugsweise zwischen 80% und 100% der Stärkendifferenz zwischen dem vorgelagerten und nachgelagerten Elektrolysestroms (IEA, IEB) liegt.
- 20
5. Aluminiumhütte (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die elektrischen Steig- und Verbindungsleitungen (22) in gleichmäßigem Intervall entlang des Längsrandes (38) der Elektrolysewanne (10) verteilt sind, zu welchem diese elektrischen Steig- und Verbindungsleitungen (22) benachbart sind.
- 30
6. Aluminiumhütte (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der mindestens eine erste Kompensationsstromkreis (4) elektrische Leiter umfasst, die sich unter den Elektrolysewannen (10) erstrecken, indem sie gemeinsam eine Lage bilden, die aus einer Vielzahl paralleler elektrischer Leiter, in typischer Weise aus zwei bis zwölf und vorzugsweise aus drei bis zehn parallelen elektrischen Leitern, besteht.
- 35
7. Aluminiumhütte (1) nach Anspruch 6, wobei die elektrischen Leiter der Lage in gleichmäßigem Intervall voneinander gemäß einer Längsrichtung (Y) der Elektrolysewannen (10) angeordnet sind.
- 40
8. Aluminiumhütte (1) nach einem der Ansprüche 6 bis 7, wobei die elektrischen Leiter der Lage in derselben horizontalen Ebene (XY) angeordnet sind.
- 45
9. Aluminiumhütte (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei der mindestens eine zweite Kompensationsstromkreis (6) elektrische Leiter umfasst, die sich auf jeder Seite der mindestens einen Schlange (2)
- 50
- von Elektrolysewannen (10) erstrecken, und der zweite Kompensationsstrom (IC2) in derselben Richtung wie die allgemeine Zirkulationsrichtung des Elektrolysestroms (IE) auf jeder Seite der Elektrolysewannen (10) zirkuliert.
- 5
10. Aluminiumhütte (1) nach Anspruch 9, wobei sich die elektrischen Leiter des zweiten Kompensationsstromkreises (6) in derselben horizontalen Ebene (XY), vorzugsweise in Höhe einer Lage flüssigen Aluminiums (40), gebildet im Inneren der Elektrolysewannen (10) während der Elektrolysereaktion, erstrecken.
- 10
11. Aluminiumhütte (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei der mindestens eine erste Kompensationsstromkreis (4) und/oder der mindestens eine zweite Kompensationsstromkreis (6) unabhängig vom Hauptstromkreis sind, der von dem Elektrolysestrom (IE) durchflossen wird.
- 15
12. Verfahren zur Kompensation eines Magnetfelds, das durch die Zirkulation eines Elektrolysestroms (IE) in einer Vielzahl von Elektrolysewannen (10) einer Aluminiumhütte (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 11 erzeugt wird, wobei das Verfahren umfasst:
- 20
- die Zirkulation, in entgegengesetzter Richtung zur allgemeinen Zirkulationsrichtung des Elektrolysestroms (IE), eines ersten Kompensationsstroms (IC1) durch den mindestens einen ersten Kompensationsstromkreis (4),
  - die Zirkulation, in derselben Richtung wie die allgemeine Zirkulationsrichtung des Elektrolysestroms (IE), eines zweiten Kompensationsstroms (IC2) durch den mindestens einen zweiten Kompensationsstromkreis (6).
- 25
13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei das Verfahren eine asymmetrische Verteilung des Elektrolysestroms (IE) zwischen vorgelagert und nachgelagert zu den Elektrolysewannen (10) umfasst, wobei die Gesamtheit der den Elektrolysewannen (10) vorgelagerten elektrischen Steig- und Verbindungsleitungen (22) von einem vorgelagerten Elektrolysestrom (IEA) einer Stärke durchflossen wird, die zwischen ] 50-100[% der Stärke des Elektrolysestroms (IE) liegt, und die Gesamtheit der den Elektrolysewannen (10) nachgelagerten elektrischen Steig- und Verbindungsleitungen (22) von einem nachgelagerten Elektrolysestrom (IEB) einer Stärke durchflossen wird, die zwischen ]0-50[% der Stärke des Elektrolysestroms (IE) liegt, wobei die Summe der Stärken des vorgelagerten und nachgelagerten Elektrolysestroms (IEA), (IEB) gleich der Stärke des Elektrolysestroms (IE) ist.
- 30
14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei die Stärke des
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55

ersten Kompensationsstroms (IC1) gleich dem Doppelten der Stärke des nachgelagerten Elektrolysestroms (IEB) mit mehr oder weniger von zirka 20 % und vorzugsweise mit mehr oder weniger von zirka 10 % ist.

- 15 15. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, wobei die Stärke des zweiten Kompensationsstroms (IC2) zwischen 50% und 100% der Stärkendifferenz zwischen dem vorgelagerten und nachgelagerten Elektrolysestrom (IEA, IEB) liegt und vorzugsweise zwischen 80% und 100% der Stärkendifferenz zwischen dem vorgelagerten und nachgelagerten Elektrolysestrom (IEA, IEB) liegt.
- 10 16. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 15, wobei der mindestens eine zweite Kompensationsstromkreis (6) eine innere Schleife und eine äußere Schleife umfasst, und wobei sich die Stärke eines zweiten Kompensationsstroms (IC21), der in der inneren Schleife zirkuliert, von der Stärke eines zweiten Kompensationsstroms (IC22), der in der äußeren Schleife zirkuliert, unterscheidet.
- 20 17. Verfahren nach Anspruch 16, wobei die Stärke des zweiten Kompensationsstroms (IC21), der in der inneren Schleife zirkuliert, größer als die Stärke des zweiten Kompensationsstroms (IC22), der in der äußeren Schleife zirkuliert, ist.
- 25 18. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 17, wobei das Verfahren einen Analyseschritt mindestens eines Merkmals des Aluminiumoxids in mindestens einer der Elektrolysewannen (10) der Aluminiumhütte (1) und die Bestimmung der Stärkewerte des ersten Kompensationsstroms (IC1) und des zweiten Kompensationsstroms (IC2) umfasst, die in Abhängigkeit von dem mindestens einen analysierten Merkmal zirkulieren müssen.

## Claims

- 45 1. Aluminum smelter (1) comprising at least one row (2) of electrolytic cells (10) arranged transversely in relation to the length of said at least one row (2), one of the electrolytic cells (10) comprising anode assemblies (14) and rising and connecting electrical conductors (22) to the anode assemblies (14), **characterized in that** the rising and connecting electrical conductors (22) extend upwardly along two opposite longitudinal edges (38) of the electrolytic cell (10) for conducting electrolysis current (IE) to the anode assemblies (14), and **in that** the aluminum smelter (1) includes:
- 50 - at least one first electrical compensation circuit (4) extending beneath the electrolytic cells (10),

said at least one first electrical compensation circuit (4) being possibly traversed by a first compensation current (IC1) designed to flow under the electrolytic cells (10) in the opposite direction to the global direction of flow of the electrolysis current (IE),

- at least one second electric compensation circuit (6) extending over at least one side of said at least one row (2) of electrolytic cells (10), said at least one second electric compensation circuit (6) being possibly traversed by a second compensation current (IC2) designed to flow in the same direction as the global direction of flow of the electrolysis current (IE).

- 15 2. Aluminum smelter (1) according to claim 1 in which the rising and connecting electrical conductors (22) comprise upstream rising and connecting electrical conductors (22A), adjacent to the upstream longitudinal edge (38) of the electrolytic cell (10), and downstream rising and connecting electrical conductors (22B), adjacent to the downstream longitudinal edge (38) of the electrolytic cell (10), and the aluminum smelter (1) is laid out so that the distribution of the electrolysis current (IE) is asymmetrical between the upstream (22A) and downstream (22B) rising and connecting electrical conductors, the intensity of the upstream electrolysis current (IEA) designed to run through all of the rising and connecting electrical conductors upstream (22A) of the electrolytic cell (10) being equal to] 50-100 [% of the intensity of the electrolysis current (IE), and the intensity of the downstream electrolysis current (IEB) designed to run through all of the rising and connecting electrical conductors downstream (22B) of the electrolytic cell (10) is equal to] 0-50 [% of the intensity of the electrolysis current (IE), the total intensity of the upstream and downstream electrolysis currents (IEA), (IEB) being equal to the intensity of the electrolysis current (IE).
- 30 3. Aluminum smelter (1) according to claim 2 in which the aluminum smelter comprises a power station (44) configured to cause to flow through said at least one first compensating electrical circuit (4) a first compensating current (IC1) of intensity equal to twice the intensity of the downstream electrolysis current (IEB) to the nearest 20%, and preferably to the nearest 10%.
- 35 4. Aluminum smelter (1) according to claim 2 or 3 in which the aluminum smelter (1) includes a power station (46) configured to cause to flow through said at least one second electrical compensating circuit (6) a second compensating current (IC2) of intensity between 50% and 100% of the difference in intensity between the upstream and downstream electrolysis currents (IEA, IEB), and preferably between 80% and 100% of the difference in intensity between the

- upstream and downstream electrolysis currents (IEA, IEB).
5. Aluminum smelter (1) according to claims 1 to 4 in which the rising and connecting electrical conductors (22) are distributed at regular intervals along the longitudinal edge (38) of the electrolytic cell (10) to which these rising and connecting electrical conductors (22) are adjacent. 5
  6. Aluminum smelter (1) according to claims 1 to 5 in which said at least one first electrical compensating circuit (4) includes electrical conductors extending under the electrolytic cells (10) together forming a layer made up of a plurality of parallel electrical conductors, typically from two to twelve, and preferably three to ten parallel electrical conductors. 10
  7. Aluminum smelter (1) according to claim 6 in which the electrical conductors of said layer are arranged at regular intervals from each other along a longitudinal direction (Y) of the electrolytic cells (10). 15
  8. Aluminum smelter (1) according to one of claims 6 to 7 in which the electrical conductors of said layer are arranged in the same horizontal plane (XY). 20
  9. Aluminum smelter (1) according to one of claims 1 to 8 in which said at least one second electric compensating circuit (6) includes electrical conductors extending from each side of said at least one row (2) of electrolytic cells (10), and the second compensating current (IC2) flows in the same direction as the direction of the overall flow of the electrolysis current (IE) on each side of the electrolytic cells (10). 25
  10. Aluminum smelter (1) according to claim 9 in which the electrical conductors of the second compensating electrical circuit (6) extend in the same horizontal plane (XY), preferably at the height of a layer of liquid aluminum (40) formed inside the electrolytic cells (10) during the electrolysis reaction. 30
  11. Aluminum smelter (1) according to one of claims 1 to 10 in which said at least one first electric compensating circuit (4) and/or said at least one second electric compensating circuit (6) are independent of the main electrical circuit through which the electrolysis current (IE) flows. 35
  12. Method of compensating for a magnetic field created by the flow of an electrolysis current (IE) in a plurality of electrolytic cells (10) of an aluminum smelter (1) according to one of claims 1 to 11, the method comprising: 40
    - flow, in the opposite direction to the direction of overall flow of the electrolysis current (IE), of a first compensating current (IC1) through said at least one first electrical compensating circuit (4), 45
    - flow, in the same direction as the direction of overall flow of the electrolysis current (IE), of a second compensating current (IC2) through said at least one second electrical compensating circuit(6). 50
  13. Method according to claim 12 in which the method comprises an asymmetric distribution of the electrolytic current (IE) between the upstream and the downstream of the electrolytic cells (10), the set of rising and connecting electrical conductors (22) upstream of the electrolytic cells (10) being traversed by an upstream electrolysis current (IEA) of intensity between ]50-100[% of the intensity of the electrolysis current (IE), and the set of rising and connecting electrical conductors (22) downstream of the electrolytic cells (10) being traversed by a downstream electrolysis current (IEB) of intensity between ]0-50[% of the intensity of the electrolysis current (IE), the sum of intensities of the upstream and downstream electrolysis currents (IEA), (IEB) being equal to the intensity of the electrolysis current (IE). 55
  14. Method according to claim 13 in which the intensity of the first compensating current (IC1) is equal to twice the intensity of the downstream electrolysis current (IEB), to the nearest 20%, and preferably to the nearest 10%.
  15. Method according to claim 12 or 13 in which, the intensity of the second compensating current (IC2) is between 50% and 100% of the difference in intensity between the upstream and downstream electrolysis currents (IEA, IEB), and preferably between 80% and 100% of the difference in intensity between the upstream and downstream electrolysis currents (IEA, IEB).
  16. Method according to one of claims 12 to 15 in which said at least one second electric compensating circuit (6) comprises an inner loop and an outer loop, and wherein the intensity of a second compensating current (IC21) flowing in the inner loop is different from the intensity of a second compensating current (IC22) flowing in the outer loop.
  17. Method according to claim 16 in which the intensity of the second compensating current (IC21) flowing in the inner loop is greater than the intensity of the second compensating current (IC22) flowing in the outer loop.
  18. Method according to one of claims 12 to 17 in which the method comprises a step of analyzing at least one characteristic of the alumina in at least one of

the electrolytic cells (10) of said aluminum smelter (1), and determining the intensity values of the first compensating current (IC1) and the second compensating current (IC2) to be made to flow as a function of said at least one characteristic analyzed. 5

10

15

20

25

30

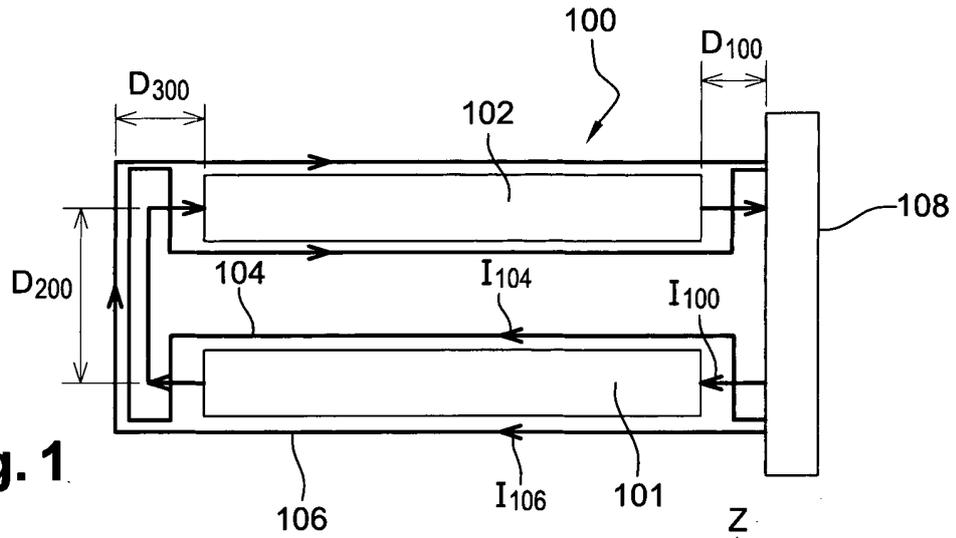
35

40

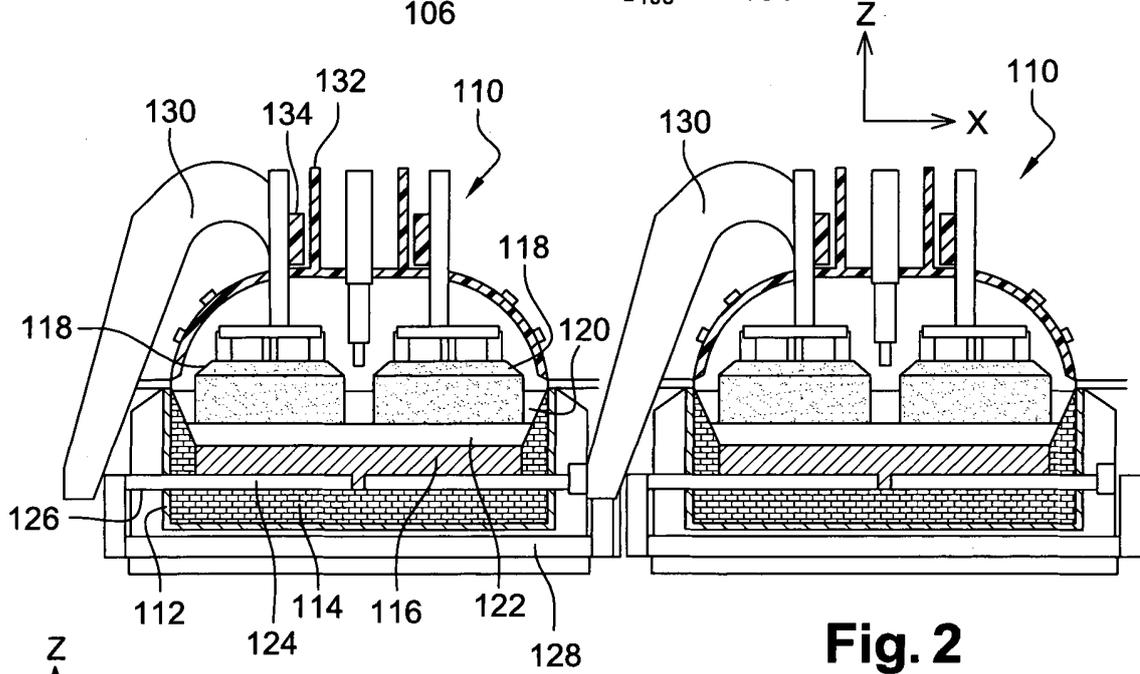
45

50

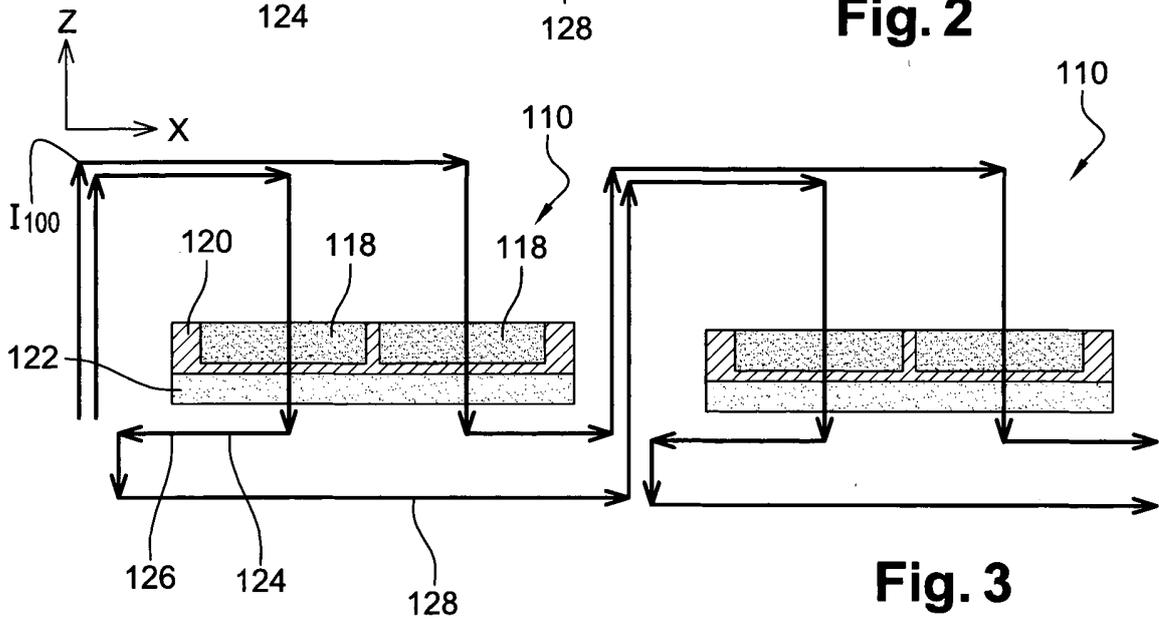
55



**Fig. 1**



**Fig. 2**



**Fig. 3**

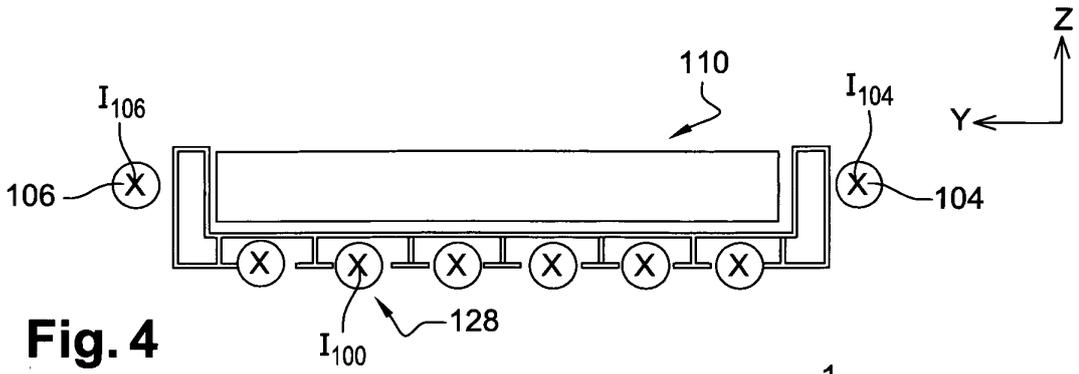


Fig. 4

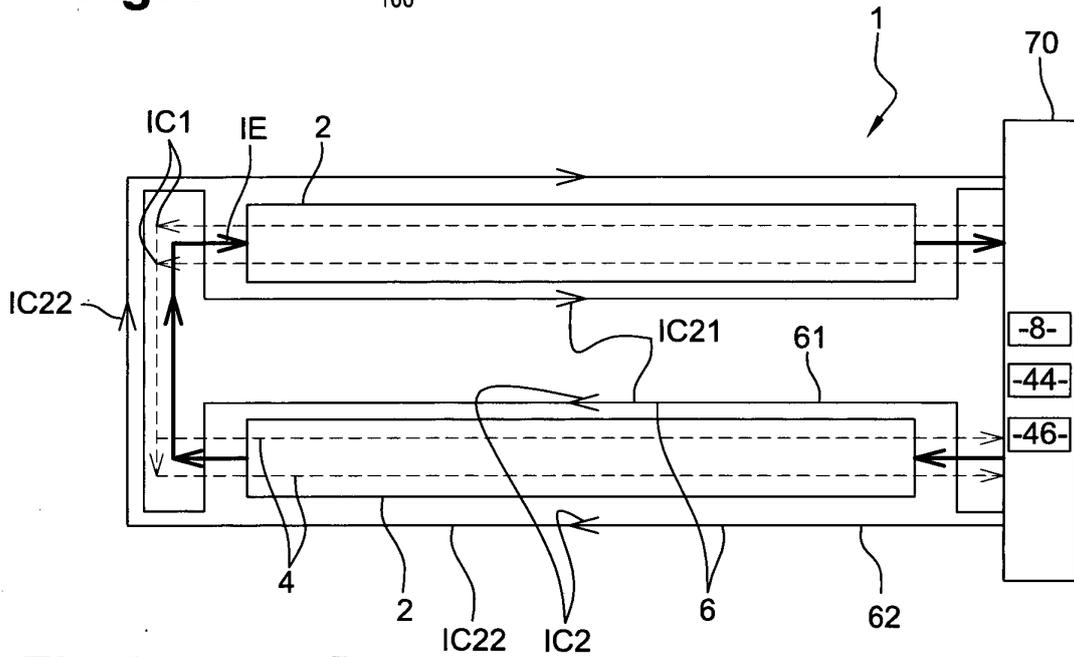


Fig. 5

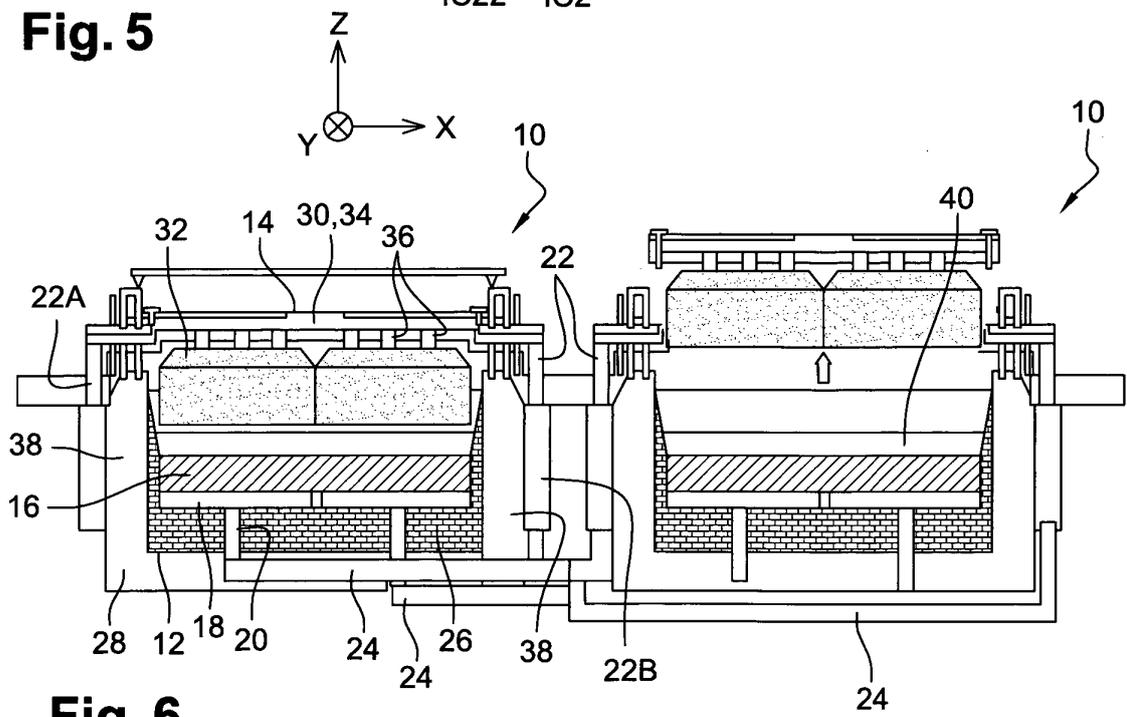
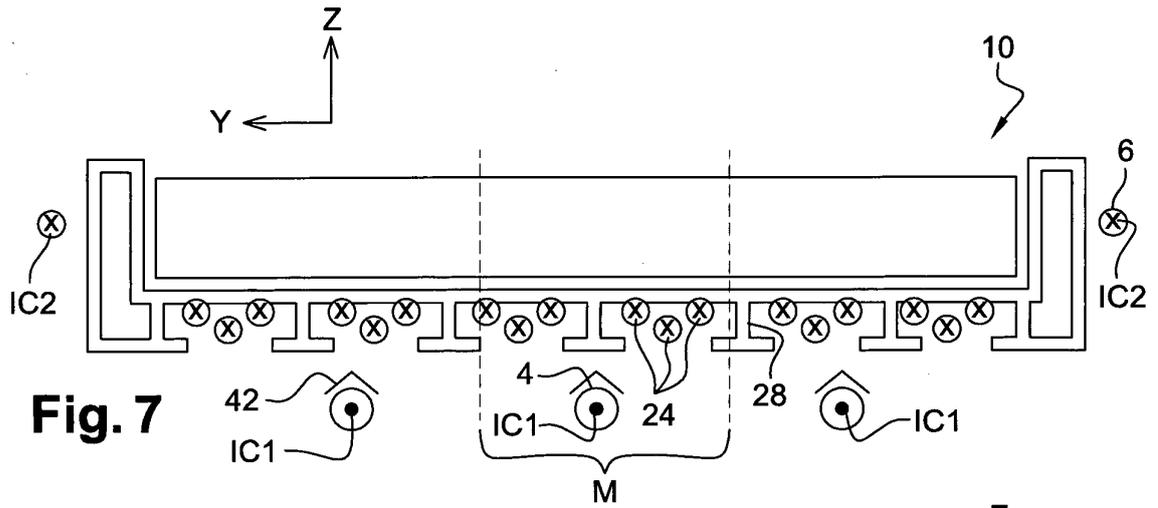
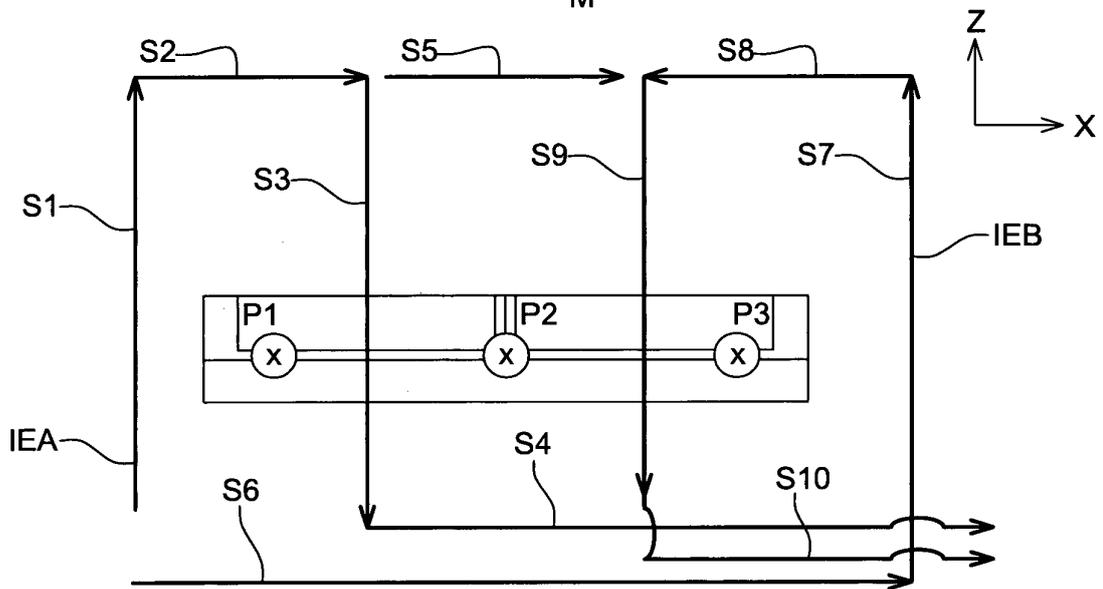


Fig. 6



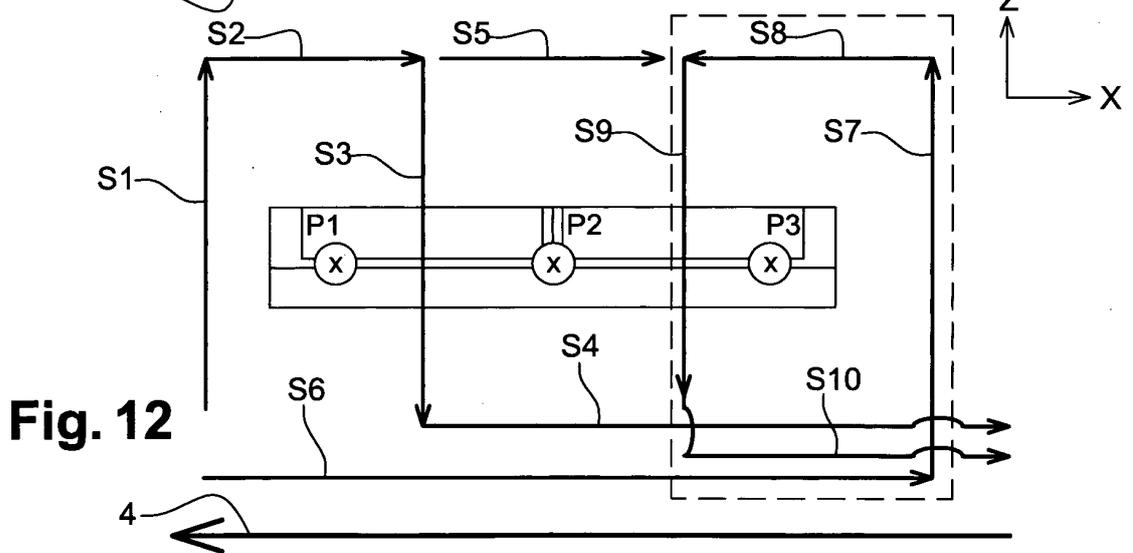
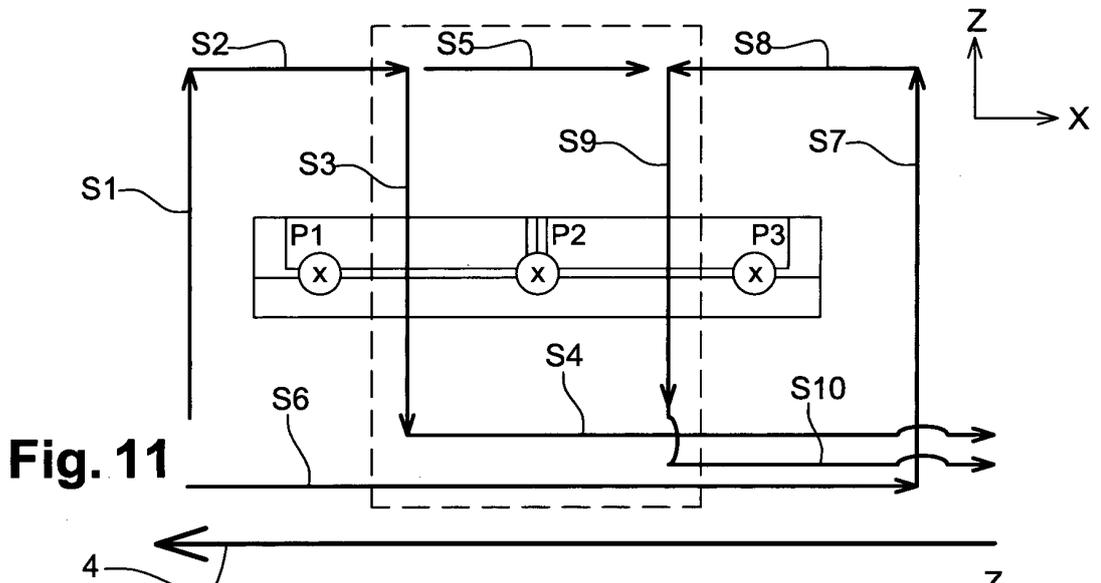
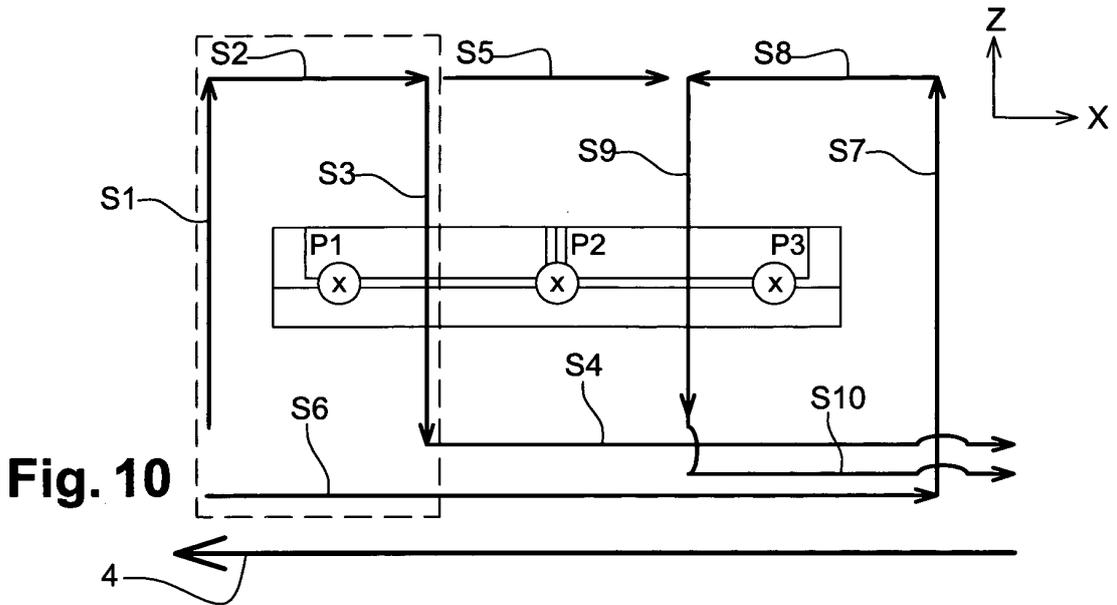
**Fig. 7**



**Fig. 8**

Segment	Courant
S1	$i + ia$
S2	$i + ia$
S3	$i$
S4	$i$
S5	$ia$
S6	$ib$
S7	$ib$
S8	$ib$
S9	$i$
S10	$i$

**Fig. 9**



Parties	Zone N°1	Zone N°2	Zone N°3
S1	0	0	0
S2	$i + ia$	$\approx 0$	$\approx 0$
S3	0	0	0
S4	$\approx 0$	$+ i$	$+ i$
S5	$\approx 0$	$+ ia$	$\approx 0$
S6	$+ ib$	$+ ib$	$+ ib$
S7	0	0	0
S8	$\approx 0$	$\approx 0$	$- ib$
S9	0	0	0
S10	$\approx 0$	$\approx 0$	$+ i$
Total cuve	$i + ia + ib = 2i$	$i + ia + ib = 2i$	$2i = 2i$
1 <sup>er</sup> circuit de compensation	$-2ib$	$-2ib$	$-2ib$
2 <sup>e</sup> circuit de compensation	$-(i + ia - ib)$	$-(i + ia - ib)$	$-(i + ia - ib)$
Total	0	0	0

Fig. 13

Parties	Zone N°1	Zone N°2	Zone N°3
S1	$i + ia$	$\approx 0$	$- i - ia$
S2	$i + ia$	$\approx 0$	$\approx 0$
S3	$i$	$- i$	$\approx 0$
S4	$\approx 0$	$- i$	$- i$
S5	$\approx 0$	$+ ia$	$\approx 0$
S6	$- ib$	$- ib$	$- ib$
S7	$+ib$	$\approx 0$	$- ib$
S8	$\approx 0$	$\approx 0$	$- ib$
S9	$\approx 0$	$+ i$	$- i$
S10	$\approx 0$	$\approx 0$	$- i$
Total cuve	$3i + 2ia$	$-i + ia - ib$	$-4i - ia - 3ib$
1 <sup>er</sup> circuit de compensation	$+2ib$	$+2ib$	$+2ib$
2 <sup>e</sup> circuit de compensation	0 ( pas d'impact sur By )	0 ( pas d'impact sur By )	0 ( pas d'impact sur By )
Total	$5i$	0	$-5i$

Fig. 14

**RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION**

*Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.*

**Documents brevets cités dans la description**

- FR 1079131 [0007]
- FR 2469475 [0007]
- FR 2425482 [0012]
- EP 0204647 A [0013] [0053]
- FR 2868436 [0018]
- WO 2013007893 A [0125] [0146]