



(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2002/12/04
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2003/06/12
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2004/05/28
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2002/004163
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2003/048426
(30) Priorité/Priority: 2001/12/07 (01/15871) FR

(51) Cl.Int.⁷/Int.Cl.⁷ C25C 3/20
(71) Demandeur/Applicant:
ALUMINIUM PECHINEY, FR
(72) Inventeurs/Inventors:
DELCLOS, CHRISTIAN, FR;
BONNARDEL, OLIVIER, NL
(74) Agent: OGILVY RENAULT

(54) Titre : PROCEDE ET DISPOSITIF DE DETECTION DES EFFETS D'ANODE D'UNE CELLULE D'ELECTROLYSE
POUR LA PRODUCTION D'ALUMINIUM
(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR DETECTING ANODE EFFECTS OF AN ELECTROLYTIC CELL FOR
ALUMINIUM PRODUCTION

(57) **Abrégé/Abstract:**

L'invention a pour objets un procédé et un dispositif de détection des effets d'anode dans une cellule de production d'aluminium par électrolyse en sel fondu, dans lesquels on mesure au moins un premier signal de tension électrique U1 et un deuxième signal de tension électrique U2 à deux endroits distincts de ladite cellule, et dans lesquels on détermine la valeur d'au moins un indicateur anticipé d'effet d'anode A à partir d'une comparaison desdits signaux U1 et U2. L'invention permet une détection simple, fiable et précoce des effets d'anode.



(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international(43) Date de la publication internationale
12 juin 2003 (12.06.2003)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 03/048426 A3(51) Classification internationale des brevets⁷ : C25C 3/20(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR02/04163(22) Date de dépôt international :
4 décembre 2002 (04.12.2002)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
01/15871 7 décembre 2001 (07.12.2001) FR(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : ALU-
MINIUM PECHINEY [FR/FR]; 7, place du Chancelier
Adenauer, F-75218 Paris cedex 16 (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : DELCLOS,
Christian [FR/FR]; 38 chemin de la Taillat, F-38240 Mey-
lan (FR). BONNARDEL, Olivier [FR/NL]; PA de Gen-
estetlaan 16, NL-4382 CA Vlissingen (NL).(74) Mandataire : MARSOLAIS, Richard; Péchiney, 217,
cours Lafayette, F-69451 Lyon Cedex 06 (FR).(81) États désignés (national) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ,
BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ,DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK,
LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,
MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG,
SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC,
VN, YU, ZA, ZM, ZW.(84) États désignés (régional) : brevet ARIPO (GH, GM, KE,
LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet
eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet
européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,
FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR),
brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

- relative au droit du déposant de revendiquer la priorité de la demande antérieure (règle 4.17.iii) pour la désignation suivante US
- relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv) pour US seulement

Publiée :

- avec rapport de recherche internationale

(88) Date de publication du rapport de recherche
internationale: 11 décembre 2003En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abrévia-
tions, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et
abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de
la Gazette du PCT.(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR DETECTING ANODE EFFECTS OF AN ELECTROLYTIC CELL FOR ALUMINIUM
PRODUCTION(54) Titre : PROCEDE ET DISPOSITIF DE DETECTION DES EFFETS D'ANODE D'UNE CELLULE D'ELECTROLYSE
POUR LA PRODUCTION D'ALUMINIUM(57) Abstract: The invention concerns a method and a device for detecting anode effects in an electrolytic cell for aluminium pro-
duction by electrolytic fused salt process, which consists in measuring at least a first electric voltage signal U1 and a second electric
voltage signal U2 at two different locations of said cell, and in determining the value of at least an anode effect anticipated indicator
A based on the comparison of the two signals U1 and U2. The invention enables simple, reliable and early detection of anode effects.(57) Abrégé : L'invention a pour objets un procédé et un dispositif de détection des effets d'anode dans une cellule de produc-
tion d'aluminium par électrolyse en sel fondu, dans lesquels on mesure au moins un premier signal de tension électrique U1 et un
deuxième signal de tension électrique U2 à deux endroits distincts de ladite cellule, et dans lesquels on détermine la valeur d'au
moins un indicateur anticipé d'effet d'anode A à partir d'une comparaison desdits signaux U1 et U2. L'invention permet une détec-
tion simple, fiable et précoce des effets d'anode.

WO 03/048426 A3

**PROCEDE ET DISPOSITIF DE DETECTION DES EFFETS D'ANODE
D'UNE CELLULE D'ELECTROLYSE POUR LA PRODUCTION
D'ALUMINIUM**

5

Domaine de l'invention

L'invention concerne les cellules de production d'aluminium par électrolyse d'alumine dissoute dans un électrolyte à base de cryolithe fondue, notamment selon le procédé Hall-Héroult. Elle concerne en particulier un dispositif et un procédé de détection des effets d'anode.

Etat de la technique

15 L'aluminium métal est produit industriellement par électrolyse ignée, à savoir par électrolyse de l'alumine en solution dans un bain à base de cryolithe fondue, appelé bain d'électrolyte, notamment selon le procédé bien connu de Hall-Héroult. Le bain d'électrolyte est contenu dans des cuves, dites « cuves d'électrolyse », comprenant un caisson en acier, qui est revêtu intérieurement de matériaux réfractaires et/ou
20 isolants, et un ensemble cathodique situé au fond de la cuve. Des anodes sont partiellement immergées dans le bain d'électrolyte. L'expression « cellule d'électrolyse » désigne normalement l'ensemble comprenant une cuve d'électrolyse et une ou plusieurs anodes.

25 Le courant d'électrolyse, qui circule dans le bain d'électrolyte et la nappe d'aluminium liquides par l'intermédiaire des anodes et des éléments cathodiques, opère les réactions de réduction de l'aluminium et permet également de maintenir le bain d'électrolyte à une température de l'ordre de 950 °C par effet Joule. La cellule d'électrolyse est régulièrement alimentée en alumine de manière à compenser la
30 consommation en alumine produite par les réactions d'électrolyse.

Un des facteurs essentiels permettant d'assurer la régularité de marche d'une cuve de production d'aluminium par électrolyse d'alumine dissoute dans un bain d'électrolyse fondu à base de cryolithe est le maintien d'une teneur appropriée en alumine dissoute dans cet électrolyte et par conséquent l'adaptation des quantités d'alumine introduites dans le bain à la consommation d'alumine de la cuve.

Un excès d'alumine crée un risque d'encrassement du fond de la cuve par des dépôts d'alumine non dissoute pouvant se transformer en plaques dures qui sont susceptibles d'isoler électriquement une partie de la cathode. Ce phénomène favorise alors la formation dans le métal des cuves de courants électriques horizontaux très forts qui, par interaction avec les champs magnétiques brassent la nappe de métal et provoquent une instabilité de l'interface bain-métal.

A l'inverse un défaut d'alumine peut notamment provoquer l'apparition de " l'effet d'anode ", c'est-à-dire la polarisation d'une anode, avec montée brutale de la tension aux bornes de la cellule et dégagement en quantité importante de produits fluorés et fluoro-carbonés (CF_x), dont la forte capacité d'absorption des rayons infrarouges favorise l'effet de serre.

Plusieurs procédés de régulation ont été développés pour contrôler l'alimentation en alumine.

Dans les procédés industriels, il est connu d'avoir recours à une évaluation indirecte des teneurs en alumine en suivant un paramètre électrique représentatif de la concentration en alumine dudit électrolyte. Ce paramètre est généralement la variation de la résistance R aux bornes de la cuve alimentée sous une tension U , incluant une force contre-électromotrice U_e évaluée par exemple à 1,65 volt et traversée par un courant I de sorte que $R = (U - U_e) / I$. Typiquement, les procédés de régulation de la teneur en alumine consistent à moduler l'alimentation en alumine en fonction de la valeur de R et de son évolution dans le temps. Ce principe de base a fait l'objet de nombreux brevets jusqu'à tout récemment (voir par exemple la demande française FR 2 749 858 correspondant au brevet américain US 6 033 550).

Ces procédés de régulation permettent donc de maintenir la teneur en alumine du bain dans une plage étroite et faible et ainsi d'obtenir des rendements Faraday de l'ordre de 95% avec des bains acides, en réduisant simultanément et de façon notable la quantité (ou fréquence) des effets d'anode sur les cuves que l'on décompte en nombre d'effets d'anode par cuve et par jour (EA/cuve/jour) sous l'appellation « taux d'effet d'anode ». Pour les cellules d'électrolyse les plus récentes (qui sont à piquage ponctuel), ce taux se situe entre 0,15 et 0,5 EA/cuve/jour.

10 Les exigences de plus en plus sévères en matière d'émission de gaz à effet de serre incitent les producteurs d'aluminium à rechercher des moyens pour réduire encore davantage les taux d'effets d'anode.

La demanderesse a donc recherché des solutions à ces difficultés qui soient économiques et susceptibles d'être appliquées à une échelle industrielle.

Description de l'invention

L'invention a pour objet un procédé de détection anticipée des effets d'anode dans une cellule de production d'aluminium par électrolyse en sel fondu, dans lequel on mesure un premier signal de tension électrique U1 et au moins un deuxième signal de tension électrique U2 à deux endroits distincts de ladite cellule, et dans lequel on détermine la valeur d'au moins un indicateur de risque d'apparition d'un effet d'anode A (ou « indicateur anticipé d'effet d'anode » A) à partir d'une analyse desdits signaux U1, U2, ..., apte à signaler de manière anticipée, voire précoce, un risque élevé de survenue d'un effet d'anode.

Un indicateur anticipé d'effet d'anode A est typiquement déterminé à partir d'une comparaison des signaux U1, U2,... Plus précisément, l'indicateur A (ou les indicateurs A1, A2,...) est (sont) typiquement déterminés (s) à partir d'une fonction F(U1, U2, U3,...), dite de comparaison, qui est de préférence apte à quantifier

l'étalement des signaux, et plus spécifiquement les écarts E entre les signaux U_1 , U_2 , U_3 ,...

Par exemple, dans une variante simplifiée de l'invention, un indicateur A peut être
5 donné par un écart algébrique entre les deux tensions électriques lorsqu'on mesure
deux signaux de tension, ou par un écart algébrique entre des valeurs extrêmes (par
exemple entre les signaux les plus séparés) ou entre au moins deux signaux lorsqu'on
mesure plus de deux signaux de tension. Selon une autre variante, un indicateur A
peut être déterminé de manière statistique, par exemple par un écart-type entre tous
10 les signaux. Il peut également être déterminé par des traitements analogiques ou
numériques plus élaborés.

Le ou les indicateurs A sont, de préférence, déterminés à partir de l'évolution
temporelle de la fonction de comparaison $F(U_1, U_2, \dots)$, typiquement à partir de
15 l'évolution temporelle d'au moins un écart E entre les signaux U_i (par exemple, un
écart algébrique, un écart-type,...). En d'autres termes, un indicateur anticipé d'effet
d'anode A peut être donné par un indicateur d'évolution temporelle B de la fonction
de comparaison.

20 La demanderesse a observé que, de manière inattendue, une grande partie des effets
d'anode s'amorçaient longtemps (jusqu'à plusieurs dizaines de minutes) avant
l'arrivée effective de l'effet d'anode et que cette amorce correspondait à un début de
polarisation qui se traduit par une modification de la répartition de la tension
électrique dans la cellule, notamment au voisinage de l'anode susceptible d'être
25 polarisée. Elle a également constaté que des mesures de tension en au moins deux
endroits distincts d'une cellule d'électrolyse permettaient de détecter de manière
fiable et anticipée l'amorçage d'un effet d'anode.

Les mesures de tension électrique présentent l'avantage d'être économiques et
30 automatisables.

L'invention a également pour objet un procédé de régulation d'une cellule d'électrolyse en sel fondu pour la production d'aluminium comprenant le procédé de détection anticipée d'effet d'anode selon l'invention.

5 L'invention a également pour objet un dispositif de détection anticipée des effets d'anode dans une cellule de production d'aluminium par électrolyse en sel fondu, apte à mettre en œuvre le procédé de détection selon l'invention, comprenant au moins un premier moyen pour mesurer un premier signal de tension électrique U1 sur ladite cellule, au moins un deuxième moyen pour mesurer au moins un deuxième
10 signal de tension électrique U2 sur ladite cellule, et au moins un moyen pour déterminer un indicateur d'effet d'anode A à partir d'une analyse desdits signaux de tension électrique U1, U2,...., typiquement à partir d'une comparaison de ceux-ci et, éventuellement, à partir d'une quantification des évolutions temporelles des écarts entre ceux-ci.

15 L'invention a également pour objet une cellule d'électrolyse et un système de régulation d'une cellule d'électrolyse en sel fondu pour la production d'aluminium comprenant un dispositif de détection anticipée d'effet d'anode selon l'invention.

20 **Figures**

La figure 1 représente, en coupe transversale, une cellule d'électrolyse typique utilisant des anodes précuites en matériau carboné.

25 La figure 2 illustre une méthode de mesure de la tension aux bornes d'une cuve d'électrolyse selon l'invention.

La figure 3 illustre schématiquement un dispositif de détection anticipée d'effet d'anode selon l'invention

30

La figure 4 illustre schématiquement une partie d'un dispositif de détection anticipée d'effet d'anode selon l'invention.

Les figures 5 et 6 montrent des signaux de tension et de courant mesurés selon l'invention sur une cellule d'électrolyse.

5 Description détaillée de l'invention

L'invention s'applique avantageusement à une cellule d'électrolyse (1) pour la production d'aluminium par réduction électrolytique de l'alumine dissoute dans un bain d'électrolyte (15) à base de cryolithe, notamment par le procédé d'électrolyse Hall-Héroult.

Tel qu'illustré à la figure 1, une cellule d'électrolyse (1) pour la production d'aluminium par le procédé d'électrolyse Hall-Héroult comprend typiquement une cuve (20), au moins une anode (13), au moins une cathode (5) et des moyens d'alimentation en alumine (18). La cuve (20) comporte des parois latérales internes (3) et est apte à contenir un bain d'électrolyte liquide (15). La cellule (1) est apte à faire circuler dans ledit bain un courant dit d'électrolyse ayant une intensité I . L'aluminium produit par ladite réduction forme normalement une nappe dite « nappe de métal liquide » (16) sur la ou les cathodes (5). Les anodes (13) sont typiquement supportées par les moyens de fixation (11, 12) à un cadre anodique (10), qui peut être mobile. La cuve (20) comprend normalement un caisson (2) en acier, des éléments de revêtement intérieur (3) et éléments cathodiques (5, 6), qui comprennent des barres de raccordement (ou barre cathodique) (6) auxquelles sont fixés les conducteurs électriques (7, 8) servant à l'acheminement du courant d'électrolyse.

Plusieurs cellules d'électrolyse sont généralement disposées en série. Un courant dit « d'électrolyse » (dont l'intensité totale est I_0) circule dans les cellules et se répartit dans celles-ci. Le courant d'électrolyse transite dans le bain d'électrolyte (15) par l'intermédiaire de la ou des anodes (13) et de la ou des cathodes (5). Il transite d'une cellule d'électrolyse à la suivante par l'intermédiaire des conducteurs de liaison (7 à 12), et plus précisément par l'intermédiaire des conducteurs de liaison cathodiques

(6, 7, 8) d'une cuve, dite amont, et des conducteurs de liaison anodiques (9, 10, 11, 12) de la cuve suivante, dite aval.

L'alimentation en alumine de la cellule a pour but de compenser la consommation
5 sensiblement continue de la cellule qui provient essentiellement de la réduction de
l'alumine en aluminium métal. L'alimentation en alumine, qui se fait par ajouts
d'alumine dans le bain liquide (15), est en général régulée indépendamment. Les
moyens d'alimentation (18) incluent typiquement des piqueurs-doseurs (19) aptes à
percer la croûte d'alumine (14) et à introduire une dose d'alumine dans l'ouverture
10 (19a) formée dans la croûte d'alumine par perçage.

L'aluminium métal (16) qui est produit au cours de l'électrolyse s'accumule
normalement au fond de la cuve et il s'établit une interface assez nette entre le métal
liquide (16) et le bain à base de cryolithe fondue (15). La position de cette interface
15 bain-métal varie au cours du temps : elle s'élève au fur et à mesure que le métal
liquide s'accumule au fond de la cuve et elle s'abaisse lorsque du métal liquide est
extrait de la cuve.

Dans un mode de réalisation préféré de l'invention, le procédé de détection anticipée
20 d'un effet d'anode dans une cellule (1) de production d'aluminium par électrolyse en
sel fondu est caractérisé en ce qu'il comprend :

- la mesure d'un premier signal de tension électrique U1 entre un premier point de
mesure cathodique (301 à 304) sur un conducteur de liaison cathodique (6, 7, 8) et un
premier point de mesure anodique (311 à 314) sur un conducteur de liaison anodique
25 (9, 10, 11, 12) ;
- la mesure d'au moins un deuxième signal de tension électrique U2 entre un
deuxième point de mesure cathodique (301 à 304) sur un conducteur de liaison
cathodique (6, 7, 8) et un deuxième point de mesure anodique (311 à 314) sur un
conducteur de liaison anodique (9, 10, 11, 12), au moins un de ces deuxièmes points
30 de mesure étant distinct desdits premiers points de mesure ;
- la détermination de la valeur d'au moins une fonction de comparaison des signaux
F(U1, U2,...) sur une période de temps T déterminée ;

- la détermination de la valeur d'au moins un indicateur de risque d'apparition d'un effet d'anode A à partir de la ou desdites fonctions de comparaison.

La période de temps déterminée T, qui est un paramètre variable du procédé selon
5 l'invention, peut être nulle ou quasiment nulle (par exemple, elle peut être égale à une période d'échantillonnage $T_e = 1/F_e$). Il a été trouvé avantageux d'utiliser une période T suffisamment grande pour éliminer les fluctuations aléatoires des tensions U_i .

10 Il est avantageux de prévoir la mesure de plusieurs signaux de tension électrique distincts U_1, U_2, U_3, \dots , tel qu'illustré à la figure 3. En d'autres termes, le procédé de détection selon l'invention comporte la mesure de N signaux de tension électrique U_i , N étant avantageusement supérieur à 2. L'utilisation de plusieurs signaux permet
15 d'augmenter la fiabilité de la détection anticipée et de localiser plus précisément la zone de la cuve qui est susceptible de conduire à un effet d'anode. De cette façon, un traitement préventif de l'effet d'anode pourrait comprendre, par exemple, une modification locale de l'alimentation en alumine (typiquement dans la zone détectée par les mesures).

20 Dans le procédé de détection selon l'invention, lesdits signaux de tension électrique U_i (c'est-à-dire $U_1, U_2, U_3, \dots, U_n$) sont normalement mesurés en fonction du temps. Ils sont typiquement mesurés de manière analogique puis convertis en signaux numériques pour leur traitement.

25 La fonction de comparaison $F(U_1, U_2, \dots)$ peut être donnée par une fonction équivalente $F'(TU_1, TU_2, \dots)$ qui utilise comme arguments des signaux prétraités TU_1, TU_2, \dots , c'est-à-dire les signaux TU_1, TU_2, \dots issus d'un pré-traitement des signaux U_1, U_2, \dots . Typiquement, le pré-traitement comporte un échantillonnage, à
30 une fréquence déterminée F_e , des signaux réels U_1, U_2, \dots , et éventuellement une (ou plusieurs) opération(s) de traitement supplémentaire(s) d'au moins un des signaux. Ces opérations sont typiquement choisies parmi les opérations de filtration fréquentielle (passe-bas, passe-bande ou autre), les sous-échantillonnages, le calcul

d'au moins une moyenne (telles qu'une moyenne RMS (Root Mean Square), éventuellement glissante, qui peut être calculée à l'aide de la relation $U_{rms} = \sqrt{(\sum (U_i(j) - U_r)^2 / m)}$, où $U_i(j)$ est une valeur de la tension U_i au temps j , U_r est une valeur de référence, éventuellement nulle, et m le nombre de termes de la somme ; la même relation peut être utilisée pour le calcul d'une moyenne TU_{rms} sur les signaux prétraités TU_i) et les opérations mathématiques connues (telles que le calcul d'une différence entre chaque signal U_i ou signal prétraité TU_i et une valeur de référence U_o , qui peut être une moyenne U_m des signaux U_i ou des signaux prétraités TU_i). Ces opérations peuvent être combinées. Un filtre passe-bas anti-repliement est
5
10
avantageusement inclus dans le pré-traitement. Les signaux peuvent être traités de manière analogique et/ou numérique. Il est également possible que seuls certains signaux U_i soient prétraités.

L'opération de filtration fréquentielle peut être de différents types. Il a été trouvé
15
avantageux d'utiliser un filtre de type passe-bas. La fréquence de coupure de ce filtre est avantageusement comprise entre 0,001 et 1 Hz.

Il a également été trouvé avantageux d'utiliser un filtre de type passe-bande. Les fréquences de coupure basse et haute du filtre fréquentiel de type passe-bande sont
20
respectivement avantageusement comprises entre 0,001 et 1 Hz et entre 1 et 10 Hz (typiquement 0,5 et 5 Hz).

Dans un mode de réalisation de cette variante, le pré-traitement comprend deux filtrations fréquentielles, l'une de type passe-bas (avec une fréquence de coupure
25
typiquement égale à 0,5 Hz environ) qui donne un premier signal prétraité TU_i , l'autre de type passe-bande (avec une fréquence de coupure basse typiquement égale à 0,5 Hz environ et une fréquence de coupure haute typiquement égale à 5 Hz environ) qui donne un deuxième signal prétraité TU_i' . Dans ce mode de réalisation, le procédé comporte deux fonctions de comparaison F , l'une portant sur les signaux
30
 TU_i , l'autre portant sur les signaux TU_i' .

Dans un autre mode de réalisation de cette variante, le pré-traitement comprend trois filtrations fréquentielles : une première de type passe-bas (avec une fréquence de coupure typiquement égale à 0,003 Hz environ) qui donne un premier signal prétraité TU_i , une deuxième de type passe-bande (avec une fréquence de coupure basse typiquement égale à 0,003 Hz environ et une fréquence de coupure haute typiquement égale à 0,5 Hz environ) qui donne un deuxième signal prétraité TU_i' , et une troisième de type passe-bande (avec une fréquence de coupure basse typiquement égale à 0,5 Hz environ et une fréquence de coupure haute typiquement égale à 5 Hz environ) qui donne un troisième signal prétraité TU_i'' . Dans ce mode de réalisation, le procédé comporte trois fonctions de comparaison F, la première portant sur les signaux TU_i , la deuxième portant sur les signaux TU_i' et la troisième portant sur les signaux TU_i'' .

Dans un mode de réalisation avantageux de l'invention, ladite au moins une fonction de comparaison $F(U_1, U_2, \dots)$ (ou éventuellement $F'(TU_1, TU_2, \dots)$) est donnée par un écart E entre lesdits signaux (U_1, U_2, U_3, \dots) ou entre les signaux prétraités (TU_1, TU_2, \dots). En particulier, la fonction de comparaison $F(U_1, U_2, \dots)$ peut être donnée par un écart E entre au moins deux signaux de tension U_1, U_2, \dots ou entre au moins deux signaux de tension prétraités TU_1, TU_2, \dots . L'écart E peut être donné par un écart algébrique entre les signaux U_i ou signaux prétraités TU_i , par exemple par la différence la plus grande entre tous les signaux U_i ou signaux prétraités TU_i (typiquement la différence entre les signaux les plus séparés, à un temps donné, ou sur une période de temps donnée). L'écart E peut également être donné par un écart-type entre les signaux U_i ou signaux prétraités TU_i .

Au moins un indicateur anticipé d'effet d'anode A peut être égal à une fonction de comparaison $F(U_1, U_2, \dots)$ ou $F'(TU_1, TU_2, \dots)$.

La valeur d'au moins un indicateur de risque d'apparition d'un effet d'anode A peut également être déterminée à partir des évolutions temporelles de la ou desdites fonctions de comparaison F ou F'. Ces évolutions peuvent être données par un indicateur d'évolution temporelle B d'une fonction de comparaison $F(U_1, U_2, \dots)$ ou

$F'(TU1, TU2, \dots)$. Dans une variante simplifiée de ce mode de réalisation, la fonction de comparaison $F(U1, U2, \dots)$ est donnée par un écart E entre au moins deux signaux de tension $U1, U2, \dots$ ou entre au moins deux signaux de tension prétraités $TU1, TU2, \dots$, et l'indicateur d'évolution B peut être proportionnel à la différence entre la
5 valeur $E(t)$ d'un écart E au temps t et sa valeur $E(t - t_0)$ au temps $t - t_0$, où t_0 est un paramètre ajustable.

L'indicateur A peut signaler un risque fort d'apparition d'un effet d'anode lorsque sa valeur est supérieure à une valeur seuil S donnée. Typiquement, le procédé signale ce
10 risque fort lorsque la valeur d'un écart E (et plus généralement $E(t)$) est supérieure à une valeur seuil S_e donnée ou lorsque l'évolution de la valeur de la fonction de comparaison F ou F' est supérieure à une valeur seuil S_t donnée.

Dans une variante avantageuse de l'invention, le procédé de détection comprend en
15 outre une opération test apte à révéler la susceptibilité d'une cellule d'électrolyse au déclenchement d'un effet d'anode. Cette opération test comporte typiquement une diminution temporaire du taux d'alimentation de la cellule en alumine (correspondant à une sous-alimentation en alumine), cette diminution étant typiquement comprise entre 20 et 100 % du taux d'alimentation moyen (100 %
20 correspondant à l'arrêt de l'alimentation en alumine). Par exemple, les essais de la demanderesse ont montré qu'une diminution temporaire du taux d'alimentation de la cellule en alumine, voire un arrêt temporaire de cette alimentation, pouvait augmenter de manière significative l'étalement des tensions U_i ou tensions prétraitées TU_i lorsque la cellule était dans un état de risque élevé vis-à-vis de
25 l'apparition d'un effet d'anode.

Le procédé de régulation selon l'invention comprend avantageusement une opération de traitement préventif des effets d'anodes apte à supprimer les effets d'anode qui sont détectés de manière anticipée, qui peut être activée lorsqu'un effet d'anode a été
30 détecté de manière anticipée. Cette opération est normalement déclenchée en fonction de la valeur de la fonction F (ou F'), typiquement lorsqu'un écart entre au moins deux signaux U_i ou entre au moins deux signaux prétraités TU_i excède un

seuil donné Se , ou lorsque l'évolution temporelle de cet écart excède un seuil donné St .

Le traitement préventif comprend typiquement une modification de la position de la
5 ou des anodes par rapport à la ou les cathodes, une sur-alimentation en alumine par rapport au taux d'alimentation normal, ou une combinaison de ces opérations.

Le procédé de régulation tient avantageusement compte des opérations d'exploitation qui sont susceptibles de donner des valeurs perturbées pour la fonction F (ou F'), et
10 donc pour le ou les indicateurs A , telles que les changements d'anode.

Afin de permettre le traitement préventif d'un effet d'anode, la cellule (1) comprend avantageusement au moins un moyen de réglage tel qu'un cadre anodique mobile (10) auquel est fixée la ou les anodes (13) ou un moyen de contrôle des moyens
15 d'alimentation en alumine (18, 19).

De manière avantageuse, le procédé de régulation comprend en outre :

- la mesure d'au moins un signal de tension UA sur au moins une cellule située en amont et/ou en aval ;
- 20 - la comparaison entre le signal (ou les signaux) UA et les signaux $U1, U2, \dots$ (ou les signaux prétraités $TU1, TU2, \dots$) de manière à retrancher des signaux $U1, U2, \dots$ ou des signaux prétraités $TU1, TU2, \dots$ les fluctuations (ou « bruit ») provenant des cellules voisines, et éventuellement de l'ensemble de la série de cellules d'électrolyse.

25

Selon une autre variante de l'invention, le procédé de régulation comprend en outre :

- la mesure d'au moins un signal d'intensité I d'un courant d'électrolyse ;
- la comparaison entre le signal (ou les signaux) I et les signaux $U1, U2, \dots$ (ou les signaux prétraités $TU1, TU2, \dots$) de manière à retrancher des signaux $U1, U2, \dots$ ou
30 des signaux prétraités $TU1, TU2, \dots$ les fluctuations (ou « bruit ») communes à l'ensemble des cellules d'électrolyse.

L'intensité I est typiquement l'intensité totale I_0 circulant dans les cellules. Il est également possible d'utiliser l'intensité I d'autres courants circulant dans une série de cellules d'électrolyse, tels que le courant circulant dans une anode, dans un conducteur de liaison ou dans une barre cathodique.

5

Cette variante de l'invention permet notamment de réduire le rapport dit « signal / bruit ».

Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, le dispositif de détection anticipé d'un effet d'anode dans une cellule de production d'aluminium par électrolyse en sel fondu est caractérisé en ce qu'il comprend :

10 - au moins un premier moyen (321 à 344) pour mesurer un premier signal de tension électrique U_1 entre un premier point de mesure cathodique (301 à 304) sur un conducteur de liaison cathodique (6, 7, 8) et un premier point de mesure anodique (311 à 314) sur un conducteur de liaison anodique (9, 10, 11, 12) ;

15 - au moins un deuxième moyen (321 à 344) pour mesurer un deuxième signal de tension électrique U_2 entre un deuxième point de mesure cathodique (301 à 304) sur un conducteur de liaison cathodique (6, 7, 8) et un deuxième point de mesure anodique (311 à 314) sur un conducteur de liaison anodique (9, 10, 11, 12), au moins un de ces deuxièmes points de mesure étant distinct desdits premiers points de mesure ;

20 - au moins un moyen (351-354, 40) pour déterminer la valeur d'au moins une fonction de comparaison des signaux $F(U_1, U_2, \dots)$, ou $F'(TU_1, TU_2, \dots)$, sur une période de temps T déterminée ;

25 - au moins un moyen (50) pour déterminer la valeur d'au moins un indicateur de risque d'apparition d'un effet d'anode A à partir du ou des fonctions F ou F' .

Le dispositif peut également comprendre un moyen pour déterminer la valeur d'au moins un indicateur de risque d'apparition d'un effet d'anode A à partir des évolutions temporelles de la ou desdites fonctions de comparaison F ou F' .

30

Les moyens de mesure des signaux de tension électrique U1, U2, ... comprennent avantageusement des conducteurs électriques (32, 321, 322, 323, 324, ..., 33, 331, 332, 334, ...) – typiquement sous forme de fils ou de câbles – dont une extrémité est raccordée à un point de mesure (30, 301, 302, 303, 304, ..., 31, 311, 312, 313, 314,...) sur la cellule et une autre extrémité est raccordée à un moyen de mesure de la tension (34, 341, 342, 343,...), tel qu'un voltmètre. Les points de mesure (30, 301, ..., 31, 311,...) de la tension électrique peuvent être réalisés par tout moyen connu, tels que par visserie, encochage, etc.

Certains moyens de mesure de la tension (30, 31, 32, 33, 34, ...) peuvent être fixés à demeure sur la cellule. Ils sont avantageusement installés sur les parties fixes de la cellule, telles que les conducteurs fixes (7, 8, 9, 10), ce qui, en particulier, permet d'éviter les interruptions de mesure et la réinstallation des moyens de mesure lors des changements d'anode.

Lesdits signaux de tension électrique U1, U2, U3,... sont avantageusement mesurés entre un collecteur (8) et une montée (9), de préférence dans la partie basse (9a) de la dite montée (tel qu'illustré à la figure 2), ce qui permet notamment de simplifier le câblage (32, 321, 322, ..., 33, 331, ...) et de faciliter l'accès aux points de mesure (30, 301, ..., 31, 311, ...).

Les signaux S (S1, S2, ...) générés par les moyens de mesures (34, 341, 342,...), qui sont équivalents aux signaux de tensions U1, U2,..., sont transmis à un analyseur ou un comparateur (40) par des moyens de transmission (35, 351, 352, 353, 354,...) tels que des conducteurs électriques, des ondes radio, des moyens optiques ou tout autre moyen.

Les moyens (351-354, 40) pour évaluer au moins une fonction de comparaison F (ou F') desdits signaux de tension Ui comportent avantageusement au moins un moyen de pré-traitement (401-404) pour pré-traiter au moins un des signaux Ui ou signaux équivalents Si. Le moyen pour pré-traiter comprend typiquement au moins un filtre fréquentiel, et avantageusement un filtre passe-bas ou passe-bande. Le moyen pour

pré-traiter peut aussi être un moyen pour échantillonner, à une fréquence déterminée F_e , les signaux U_1, U_2, \dots . En pratique, il peut comprendre également un ou plusieurs éléments typiquement choisis parmi les convertisseurs analogue/digital (CAN), les amplificateurs (G), les filtres fréquentiels (passe-bas, passe-bande ou autre), les sous-
5 échantillonneurs, les moyens pour calculer une moyenne sur un signal (de type RMS ou autre), les moyens pour calculer une moyenne U_m d'au moins un signal U_i ou de plusieurs signaux U_i , et les opérateurs mathématiques connus (tels que les moyens pour effectuer la soustraction d'une valeur de référence U_0 , et plus précisément pour calculer une différence entre chaque signal U_1, U_2, \dots ou signal prétraité TU_1, TU_2, \dots
10 et une valeur de référence U_0 , U_0 étant typiquement une moyenne U_m). Lorsque le dispositif comprend un filtre passe-bas, la fréquence de coupure du filtre passe-bas est typiquement comprise entre 0,001 et 1 Hz. Lorsque le dispositif comprend un filtre passe-bande, les fréquences de coupure basse et haute du filtre passe-bande sont typiquement respectivement comprises entre 0,001 et 1 Hz et entre 1 et 10 Hz. Le
15 dispositif peut aussi comprendre un moyen pour déterminer une valeur moyenne U_m des signaux U_1, U_2, \dots ou des signaux prétraités TU_1, TU_2, \dots

Le dispositif peut comprendre un moyen (40, 411) pour déterminer un écart E (et plus généralement $E(t)$) (tel qu'un écart algébrique, un écart-type,...) entre au moins
20 deux signaux de tension U_1, U_2, \dots ou entre au moins deux signaux de tension prétraités TU_1, TU_2, \dots

Le dispositif peut également comprendre un moyen pour déterminer une évolution temporelle d'au moins une fonction de comparaison des signaux $F(U_1, U_2, \dots)$ ou
25 $F'(TU_1, TU_2, \dots)$, tel que l'évolution temporelle d'un écart E (et plus précisément $E(t)$) entre au moins deux signaux de tension U_1, U_2, \dots ou entre au moins deux signaux de tension prétraités TU_1, TU_2, \dots

Les moyens pour évaluer une fonction F (ou F') (40, 401, ..., 404, 411) et pour
30 déterminer un indicateur d'effet d'anode A (50) peuvent avantageusement être regroupés en un seul, typiquement à l'aide d'un circuit électronique et/ou informatique commun.

De manière avantageuse, le système de régulation d'une cellule d'électrolyse selon l'invention comprend en outre :

- 5 - un moyen pour mesurer au moins un signal de tension U_A sur au moins une cellule située en amont et/ou en aval ;
- un moyen pour comparer le signal (ou les signaux) U_A et les signaux U_1, U_2, \dots (ou signaux prétraités TU_1, TU_2, \dots) de manière à retrancher de ces signaux les fluctuations (ou « bruit ») provenant des cellules voisines, et éventuellement de l'ensemble de la série de cellules d'électrolyse.

10

Selon une autre variante de l'invention, le système de régulation comprend en outre :

- un moyen pour mesurer au moins un signal d'intensité I d'un courant d'électrolyse (typiquement l'intensité totale I_0 circulant dans les cellules) ;
- 15 - un moyen pour comparer le signal (ou les signaux) I et les signaux U_1, U_2, \dots (ou les signaux prétraités TU_1, TU_2, \dots) de manière à retrancher de ces signaux les fluctuations (ou « bruit ») communes à l'ensemble des cellules d'électrolyse.

Exemples

- 20 Les mesures de tension électrique et de courant ont été effectuées sur une cuve d'électrolyse dans laquelle circulait un courant d'une intensité totale de 500 kA environ. Les mesures se sont étalées sur plusieurs semaines. Six signaux de tension U_i ont été mesurés à 6 endroits différents de la cuve, entre des points de mesure anodiques et des points de mesure cathodiques distincts. Le courant circulant dans 6
- 25 anodes distinctes a également été mesuré en fonction du temps.

Les figures 5 et 6 montrent les résultats obtenus pendant une période de 24 heures durant laquelle un effet d'anode (noté EA) a été observé. La figure 5 correspond aux signaux de courant I_i (graphique A) et de tension U_i (graphique B), en fonction du

30 temps t , numérisés et prétraités à l'aide d'un filtre passe-bas dont la fréquence de coupure était de 0,5 Hz. La figure 6 correspond aux mêmes signaux numérisés, mais prétraités à l'aide d'un filtre passe-bande dont les fréquences de coupure étaient de

0,5 Hz et 5 Hz. Dans les deux figures, le graphique C donne l'écart entre chaque signal de tension U_i filtré et la moyenne U_m des 6 signaux de tension filtrés. Les lettres CA identifient le moment où une anode a été changée.

- 5 Plusieurs dizaines de minutes avant un effet d'anode (noté EA dans les figures), on a constaté une augmentation progressive de l'étalement des signaux (en particulier des signaux filtrés en passe-bas). Une ou quelques anodes commençaient à se polariser partiellement, les zones de polarisation progressant relativement lentement.
- 10 La figure 5 montre que l'étalement des signaux filtrés en passe-bas augmentait progressivement avant les événements de polarisation. En particulier, l'étalement a augmenté de manière significative (passant de 9 mV à plus de 30 mV) à partir de 90 minutes avant la forte polarisation observée après l'arrêt temporaire de l'alimentation en alumine (noté SA dans la figure 5). De manière similaire, l'étalement a augmenté
- 15 de manière significative (passant de 7,5 mV à 12 mV) à partir de 30 minutes avant l'effet d'anode noté EA dans la figure 5. La fonction de comparaison pourrait alors être donnée par le plus grand écart entre deux signaux $U_i - U_m$.

On a également observé une augmentation de l'étalement des signaux lors d'un

20 changement d'anode (noté CA dans la figure 5). Dans ce cas, l'augmentation a été immédiate (passant rapidement de 8,5 mV à 15 mV). Ces observations peuvent être utilisées pour corriger les indicateurs de risque d'effet d'anode de manière à s'affranchir des perturbations connues et en particulier de celles liées aux opérations sur cuve ou à certaines procédures spécifiques de régulation.

25

La figure 6 permet de faire un autre diagnostic sur le comportement des signaux filtrés en passe-bande. On a également constaté une augmentation de l'étalement (qui était passé de 0,2 mV à plus de 0,4 mV dans ce cas) dans les situations de risque d'effet d'anode.

30

La combinaison de ces informations peut être utilisée pour élaborer des indicateurs de risque d'effet d'anode synthétiques qui permettent de détecter de façon anticipée

les effets d'anode avec une grande fiabilité et de mettre en œuvre des traitements aptes à les éviter.

Liste des repères numériques

- 5
- (1) cellule d'électrolyse
 - (2) caisson
 - (3) revêtement intérieur (paroi latérale interne)
 - (4) revêtement intérieur (briques réfractaires)
- 10
- (5) cathode
 - (6) barre de raccordement ou barre cathodique
 - (7) conducteur de liaison cathodique
 - (8) conducteur de liaison cathodique (collecteur)
 - (9) conducteur de liaison anodique (montée)
- 15
- (9a) partie basse d'une montée
 - (10) cadre anodique
 - (11) moyen de support et de fixation d'une anode (tige d'anode)
 - (12) moyen de support d'une anode
 - (13) anode
- 20
- (14) couverture (ou croûte) d'alumine
 - (15) bain d'électrolyte
 - (16) nappe de métal liquide
 - (17) couche de bain solidifié
 - (18) moyen d'alimentation en alumine
- 25
- (19) piqueur-doseur
 - (19a) ouverture dans la croûte d'alumine
 - (20) cuve
 - (30) (301) (302) ... (31) (311) (312) ... points de mesure d'une tension électrique
 - (32) (321) (322) (323) ... (33) (331) (332) (333)... conducteur électrique
- 30
- (34) (341) (342) (343) ... moyen de mesure de la tension électrique
 - (35) (351) (352) (353) ... moyen de transmission
 - (40, 401, ..., 404, 411) moyens pour évaluer une fonction de comparaison F

(50) moyen pour déterminer un indicateur d'effet d'anode A

REVENDICATIONS

1. Procédé de détection anticipée d'un effet d'anode dans une cellule (1) de
5 production d'aluminium par électrolyse en sel fondu, ladite cellule comprenant
au moins une anode (13), au moins une cathode (5) et des conducteurs de
liaisons cathodiques (6, 7, 8) et anodiques (9, 10, 11, 12), caractérisé en ce qu'il
comprend :
- 10 - la mesure d'un premier signal de tension électrique U1 entre un premier point
de mesure cathodique (301 à 304) sur un conducteur de liaison cathodique (6, 7,
8) et un premier point de mesure anodique (311 à 314) sur un conducteur de
liaison anodique (9, 10, 11, 12) ;
 - 15 - la mesure d'au moins un deuxième signal de tension électrique U2 entre un
deuxième point de mesure cathodique (301 à 304) sur un conducteur de liaison
cathodique (6, 7, 8) et un deuxième point de mesure anodique (311 à 314) sur un
conducteur de liaison anodique (9, 10, 11, 12), au moins un de ces deuxièmes
points de mesure étant distinct desdits premiers points de mesure ;
 - 20 - la détermination de la valeur d'au moins une fonction de comparaison des
signaux $F(U1, U2, \dots)$ sur une période de temps T déterminée ;
 - la détermination de la valeur d'au moins un indicateur de risque d'apparition
d'un effet d'anode A à partir de la ou desdites fonctions de comparaison.
2. Procédé de détection selon la revendication 1, caractérisé en ce que la fonction
25 $F(U1, U2, \dots)$ est donnée par une fonction équivalente $F'(TU1, TU2, \dots)$ qui
utilise comme arguments les signaux TU1, TU2,.... issus d'un pré-traitement des
signaux U1, U2,...
3. Procédé de détection selon la revendication 2, caractérisé en ce que le pré-
30 traitement comporte un échantillonnage, à une fréquence déterminée F_e , des
signaux U1, U2,...

4. Procédé de détection selon la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce que le pré-traitement comporte une opération de filtration fréquentielle d'au moins un de ces signaux.
5. Procédé de détection selon la revendication 4, caractérisé en ce que l'opération de filtration fréquentielle est de type passe-bas.
6. Procédé de détection selon la revendication 5, caractérisé en ce que la fréquence de coupure de l'opération de filtration fréquentielle de type passe-bas est comprise entre 0,001 et 1 Hz.
7. Procédé de détection selon la revendication 4, caractérisé en ce que l'opération de filtration fréquentielle est de type passe-bande.
8. Procédé de détection selon la revendication 7, caractérisé en ce que les fréquences de coupure basse et haute de l'opération de filtration fréquentielle de type passe-bande sont respectivement comprises entre 0,001 et 1 Hz et entre 1 et 10 Hz.
9. Procédé de détection selon l'une quelconque des revendications 2 à 8, caractérisé en ce que le pré-traitement comporte au moins un sous-échantillonnage.
10. Procédé de détection selon l'une quelconque des revendications 2 à 9, caractérisé en ce que le pré-traitement comporte le calcul d'au moins une moyenne d'au moins un signal U_i .
11. Procédé de détection selon la revendication 10, caractérisé en ce que la moyenne est une moyenne RMS.

12. Procédé de détection selon l'une quelconque des revendications 2 à 11, caractérisé en ce que le pré-traitement comporte le calcul d'une différence entre chaque signal U_i ou signal prétraité TU_i et une valeur de référence U_0 .
- 5 13. Procédé de détection selon la revendication 12, caractérisé en ce que la valeur de référence U_0 est une moyenne U_m des signaux U_i ou des signaux prétraités TU_i .
14. Procédé de détection selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que la fonction de comparaison $F(U_1, U_2, \dots)$ est donnée par un écart E entre au moins deux signaux de tension U_1, U_2, \dots ou entre au moins
10 deux signaux de tension prétraités TU_1, TU_2, \dots .
15. Procédé de détection selon la revendication 14, caractérisé en ce que l'écart E est donné par un écart algébrique entre les signaux U_i ou signaux prétraités TU_i .
- 15 16. Procédé de détection selon la revendication 14, caractérisé en ce que l'écart E est donné par un écart-type entre les signaux U_i ou les signaux prétraités TU_i .
17. Procédé de détection selon l'une quelconque des revendications 1 à 16, caractérisé en ce qu'au moins un indicateur A est égal à une fonction de
20 comparaison $F(U_1, U_2, \dots)$ ou $F'(TU_1, TU_2, \dots)$.
18. Procédé de détection selon l'une quelconque des revendications 1 à 17, caractérisé en ce qu'au moins un indicateur A est donné par un indicateur
25 d'évolution temporelle B d'une fonction de comparaison $F(U_1, U_2, \dots)$ ou $F'(TU_1, TU_2, \dots)$.
19. Procédé de détection selon la revendication 18, caractérisé en ce que la fonction de comparaison $F(U_1, U_2, \dots)$ est donnée par un écart E entre au moins deux
30 signaux de tension U_1, U_2, \dots ou entre au moins deux signaux de tension prétraités TU_1, TU_2, \dots , et en ce que l'indicateur d'évolution B est proportionnel

à la différence entre la valeur $E(t)$ d'un écart E au temps t et sa valeur $E(t - t_0)$ au temps $t - t_0$, où t_0 est un paramètre ajustable.

- 5 20. Procédé de détection selon l'une quelconque des revendications 17 à 19, caractérisé en ce que l'indicateur A signale un risque fort d'apparition d'un effet d'anode lorsque sa valeur est supérieure à une valeur seuil donnée.
- 10 21. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 20, caractérisé en ce qu'il comprend une opération test apte à révéler la susceptibilité d'une cellule d'électrolyse au déclenchement d'un effet d'anode.
- 15 22. Procédé selon la revendication 21, caractérisé en ce que l'opération test comporte une diminution temporaire du taux d'alimentation de la cellule en alumine.
- 20 23. Procédé de détection selon l'une quelconque des revendications 1 à 22, caractérisé en ce qu'il comporte la mesure de N signaux de tension électriques U_i , N étant supérieur à 2.
- 25 24. Procédé de régulation d'une cellule d'électrolyse caractérisé en ce qu'il comprend le procédé de détection d'effet d'anode selon l'une quelconque des revendications 1 à 23.
- 30 25. Procédé de régulation selon la revendication 24, caractérisé en ce qu'il comprend en outre un traitement préventif de l'effet d'anode.
26. Procédé de régulation selon la revendication 25, caractérisé en ce que le traitement préventif comprend une opération choisie dans le groupe comprenant une modification de la position de la ou des anodes par rapport à la ou les cathodes, une sur-alimentation en alumine par rapport au taux d'alimentation normal, et une combinaison de celles-ci.

27. Procédé de régulation selon l'une quelconque des revendications 24 à 26, caractérisé en ce qu'il comprend en outre :
- la mesure d'au moins un signal de tension UA sur au moins une cellule située en amont et/ou en aval ;
 - 5 - la comparaison entre le signal, ou les signaux, UA et les signaux U1, U2,... ou les signaux prétraités TU1, TU2,... de manière à retrancher des signaux U1, U2,... ou des signaux prétraités TU1, TU2,... les fluctuations provenant des cellules voisines, et éventuellement de l'ensemble de la série de cellules d'électrolyse.
- 10
28. Procédé de régulation selon l'une quelconque des revendications 24 à 27, caractérisé en ce qu'il comprend en outre :
- la mesure d'au moins un signal d'intensité I d'un courant d'électrolyse ;
 - la comparaison entre le signal, ou les signaux, I et les signaux U1, U2,... ou les
 - 15 signaux prétraités TU1, TU2,... de manière à retrancher des signaux U1, U2,... ou des signaux prétraités TU1, TU2,... les fluctuations communes à l'ensemble des cellules d'électrolyse.
- 20
29. Dispositif de détection anticipée d'un effet d'anode dans une cellule de production d'aluminium par électrolyse en sel fondu, apte à mettre en œuvre le procédé de détection selon l'une des revendications 1 à 23, ladite cellule comprenant au moins une anode (13), au moins une cathode (5) et des conducteurs de liaisons cathodiques (6, 7, 8) et anodiques (9, 10, 11, 12), caractérisé en ce qu'il comprend :
- 25 - au moins un premier moyen (321 à 344) pour mesurer un premier signal de tension électrique U1 entre un premier point de mesure cathodique (301 à 304) sur un conducteur de liaison cathodique (6, 7, 8) et un premier point de mesure anodique (311 à 314) sur un conducteur de liaison anodique (9, 10, 11, 12) ;
 - au moins un deuxième moyen (321 à 344) pour mesurer un deuxième signal de
 - 30 tension électrique U2 entre un deuxième point de mesure cathodique (301 à 304) sur un conducteur de liaison cathodique (6, 7, 8) et un deuxième point de mesure anodique (311 à 314) sur un conducteur de liaison anodique (9, 10, 11, 12), au

moins un de ces deuxièmes points de mesure étant distinct desdits premiers points de mesure ;

- au moins un moyen (351-354, 40) pour déterminer la valeur d'au moins une fonction de comparaison des signaux $F(U_1, U_2, \dots)$, ou $F'(TU_1, TU_2, \dots)$, sur une période de temps T déterminée ;

- au moins un moyen (50) pour déterminer la valeur d'au moins un indicateur de risque d'apparition d'un effet d'anode A à partir du ou des fonctions F ou F' .

30. Dispositif selon la revendication 29, caractérisé en ce que le moyen (351-354, 40) pour évaluer la valeur d'au moins une fonction $F(U_1, U_2, \dots)$ des signaux de tension comporte au moins un moyen (401-404) pour pré-traiter au moins un des signaux U_1, U_2, \dots

31. Dispositif selon la revendication 30, caractérisé en ce que le moyen pour pré-traiter comprend un moyen pour échantillonner, à une fréquence déterminée F_e , les signaux U_1, U_2, \dots

32. Dispositif selon la revendication 30 ou 31, caractérisé en ce que le moyen pour pré-traiter comprend un filtre fréquentiel.

33. Dispositif selon la revendication 32, caractérisé en ce que le filtre fréquentiel est un filtre passe-bas.

34. Dispositif selon la revendication 33, caractérisé en ce que la fréquence de coupure du filtre passe-bas est comprise entre 0,001 et 1 Hz.

35. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 32 à 34, caractérisé en ce que le filtre fréquentiel est un filtre passe-bande.

36. Dispositif selon la revendication 35, caractérisé en ce que les fréquences de coupure basse et haute du filtre passe-bande sont respectivement comprises entre 0,001 et 1 Hz et entre 1 et 10 Hz.

37. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 30 à 36, caractérisé en ce que le moyen pour pré-traiter comprend au moins un moyen pour sous-échantillonner les signaux U_1, U_2, \dots
- 5
38. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 30 à 37, caractérisé en ce que le moyen pour pré-traiter comprend au moins un moyen pour calculer une moyenne d'au moins un signal U_i ou de plusieurs signaux U_i .
- 10
39. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 30 à 38, caractérisé en ce que le moyen pour pré-traiter comporte un moyen pour calculer une différence entre chaque signal U_1, U_2, \dots ou signal prétraité TU_1, TU_2, \dots et une valeur de référence U_0 .
- 15
40. Dispositif selon la revendication 39, caractérisé en ce qu'il comprend un moyen pour déterminer une valeur moyenne U_m des signaux U_1, U_2, \dots ou des signaux prétraités TU_1, TU_2, \dots .
- 20
41. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 29 à 40, caractérisé en ce qu'il comprend un moyen pour déterminer un écart E entre au moins deux signaux de tension U_1, U_2, \dots ou entre au moins deux signaux de tension prétraités TU_1, TU_2, \dots .
- 25
42. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 29 à 41, caractérisé en ce qu'il comprend un moyen pour déterminer une évolution temporelle d'au moins une fonction de comparaison des signaux $F(U_1, U_2, \dots)$ ou $F'(TU_1, TU_2, \dots)$.
- 30
43. Cellule d'électrolyse en sel fondu pour la production d'aluminium, caractérisée en ce qu'elle comprend un dispositif de détection d'effet d'anode selon l'une quelconque des revendications 29 à 42.

44. Système de régulation d'une cellule d'électrolyse en sel fondu pour la production d'aluminium, caractérisé en ce qu'il comprend un dispositif de détection précoce d'effet d'anode selon l'une quelconque des revendications 29 à 42.
- 5
45. Système de régulation selon la revendication 44, caractérisé en ce qu'il comprend en outre :
- un moyen pour mesurer au moins un signal de tension UA sur au moins une cellule située en amont et/ou en aval ;
 - 10 - un moyen pour comparer le signal, ou les signaux, UA et les signaux U1, U2,... ou TU1, TU2,... de manière à retrancher des signaux U1, U2,... ou des signaux prétraités TU1, TU2,... les fluctuations provenant des cellules voisines, et éventuellement de l'ensemble de la série de cellules d'électrolyse.
- 15
46. Système de régulation selon la revendication 44 ou 45, caractérisé en ce qu'il comprend en outre :
- un moyen pour mesurer au moins un signal d'intensité I d'un courant d'électrolyse ;
 - 20 - un moyen pour comparer le signal, ou les signaux, I et les signaux U1, U2,... ou les signaux prétraités TU1, TU2,... de manière à retrancher des signaux U1, U2,... ou des signaux prétraités TU1, TU2,... les fluctuations communes à l'ensemble des cellules d'électrolyse.

1/6

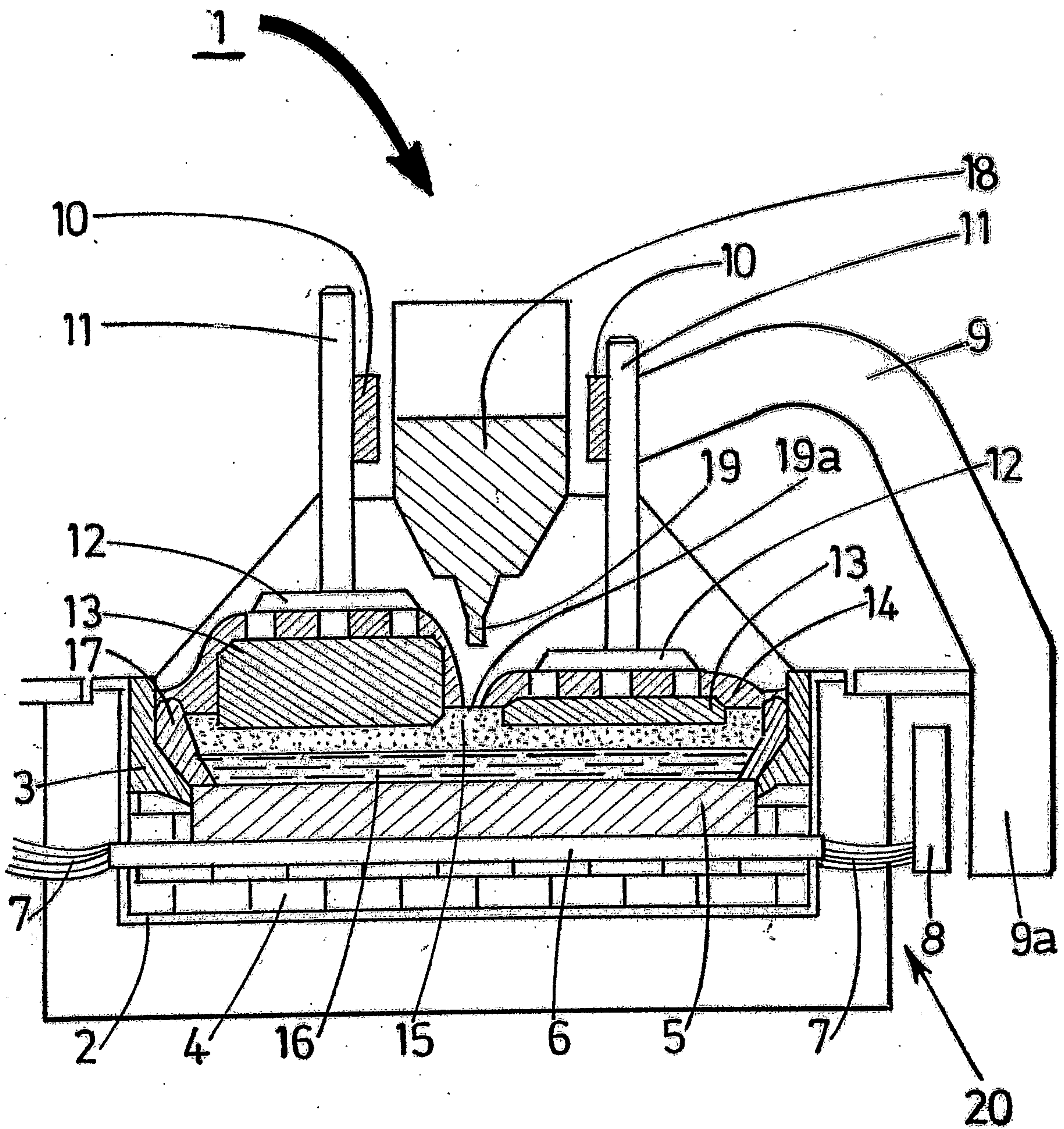


FIG.1

2/6

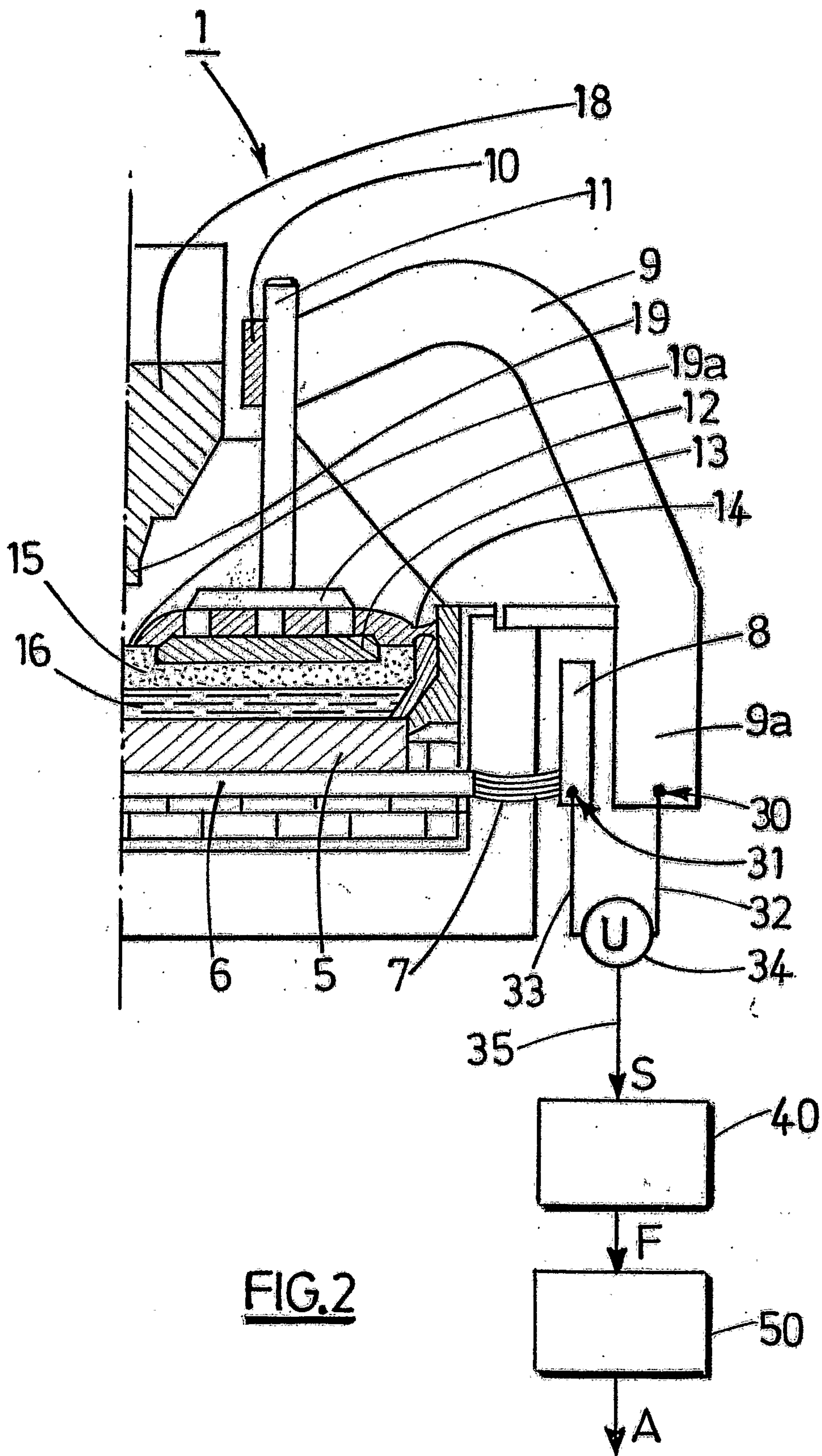
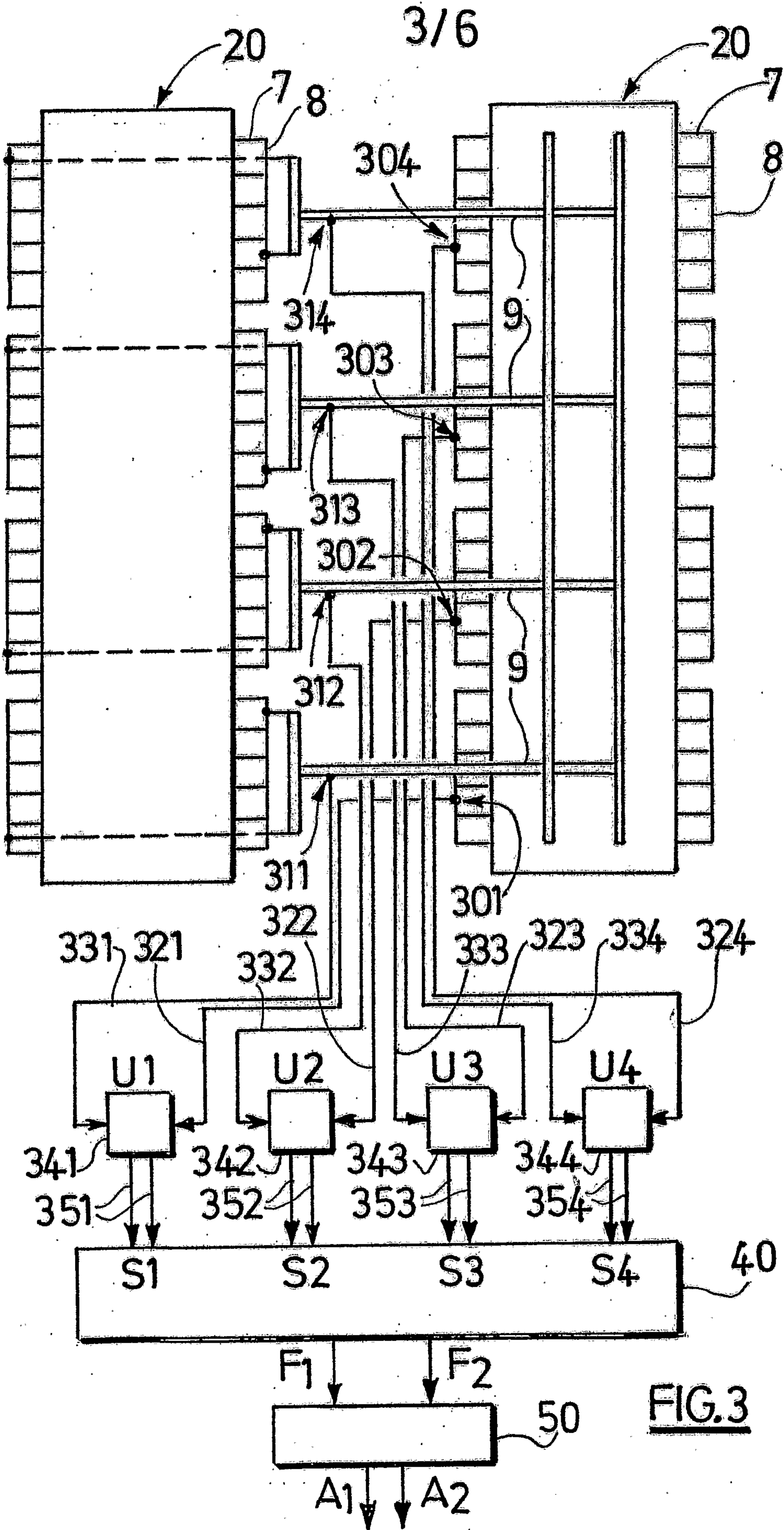


FIG.2



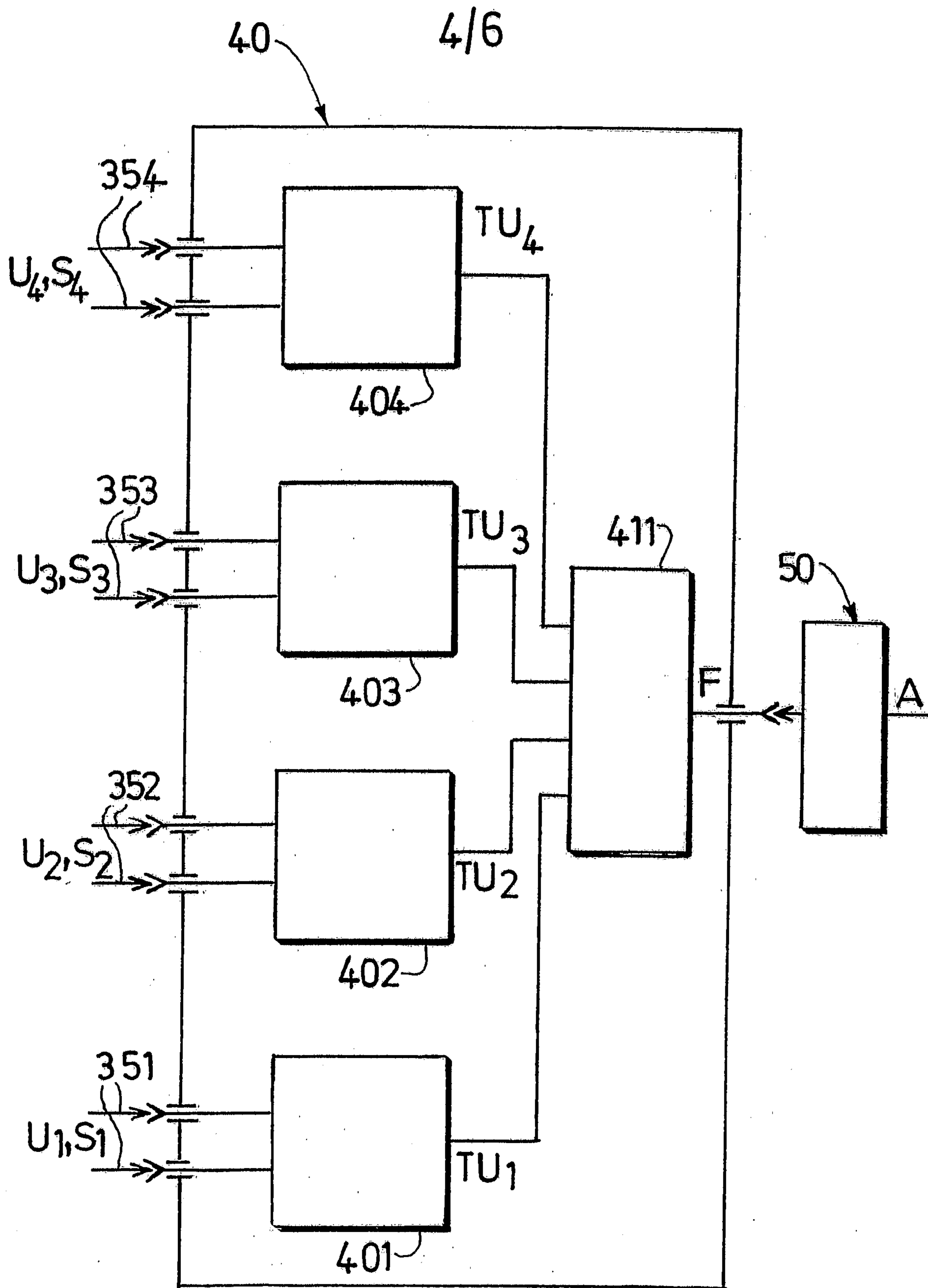
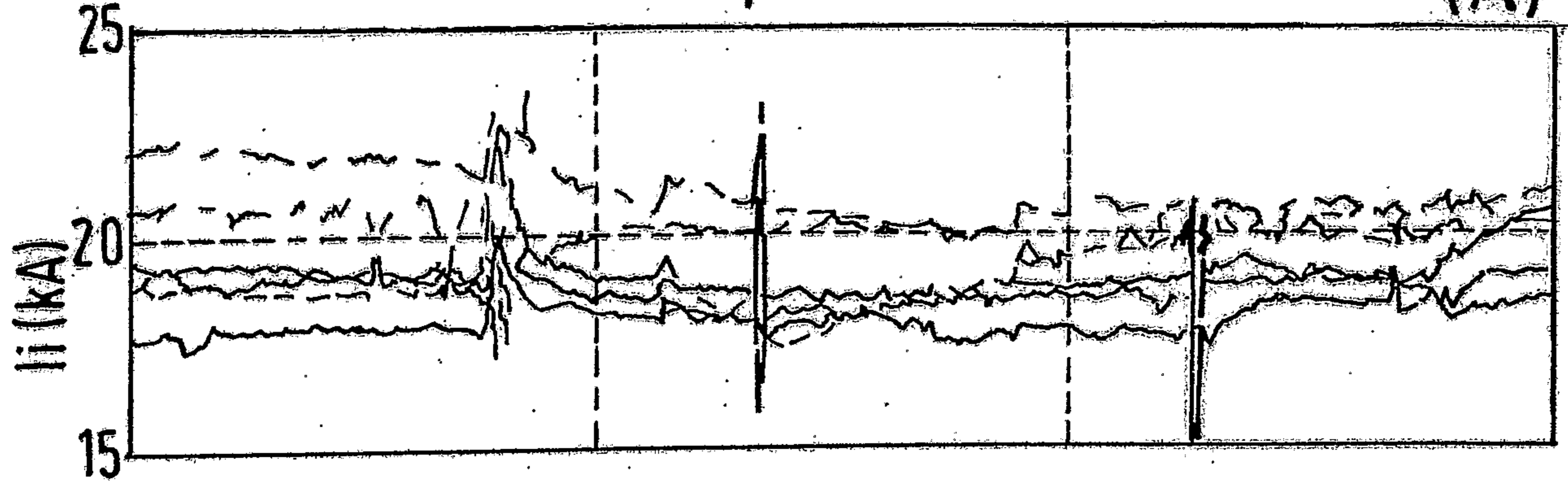


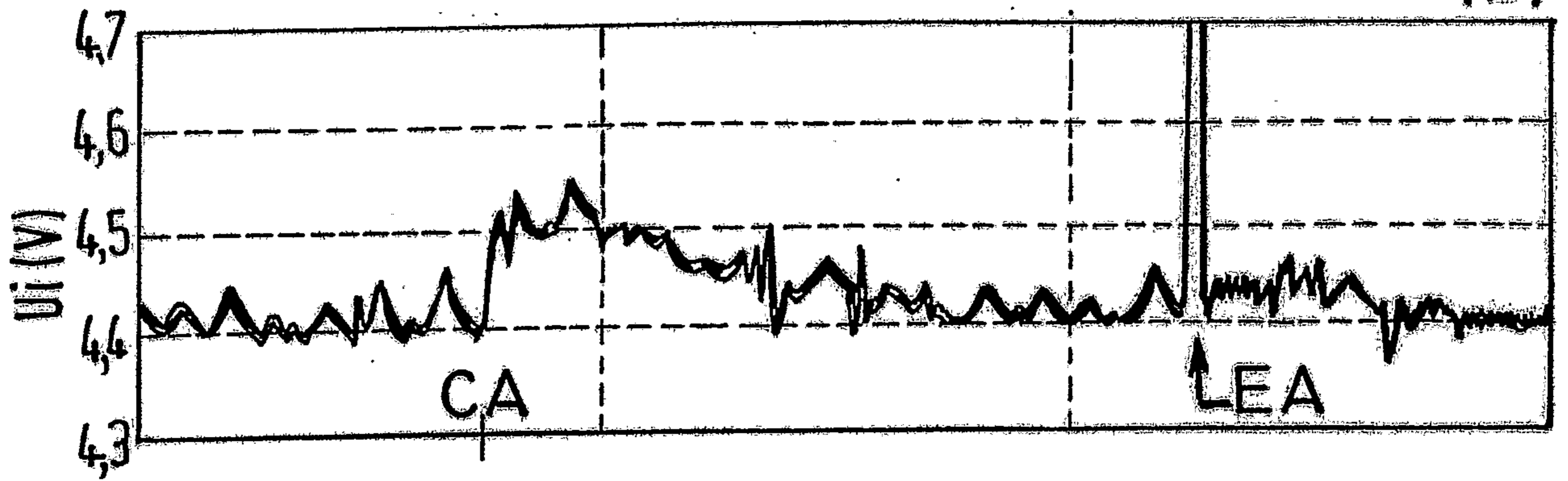
FIG.4

5/6

(A)



(B)



(C)

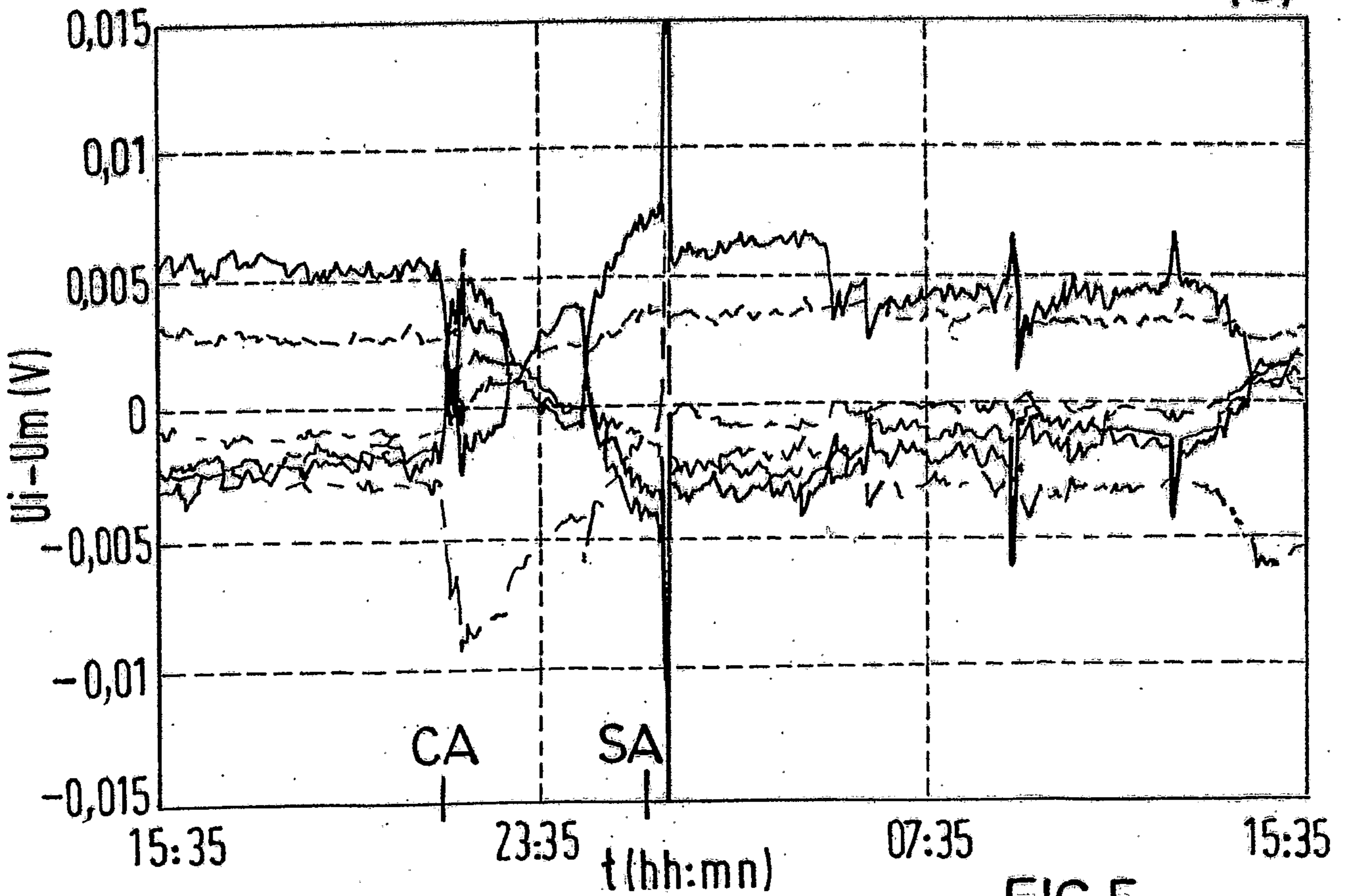
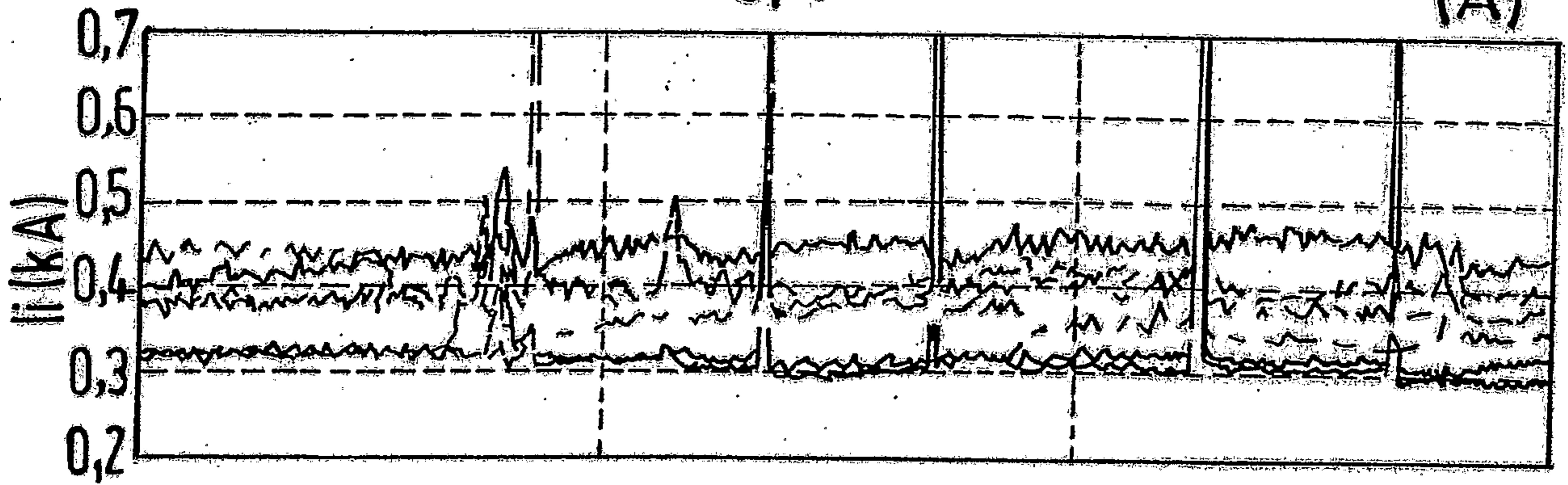


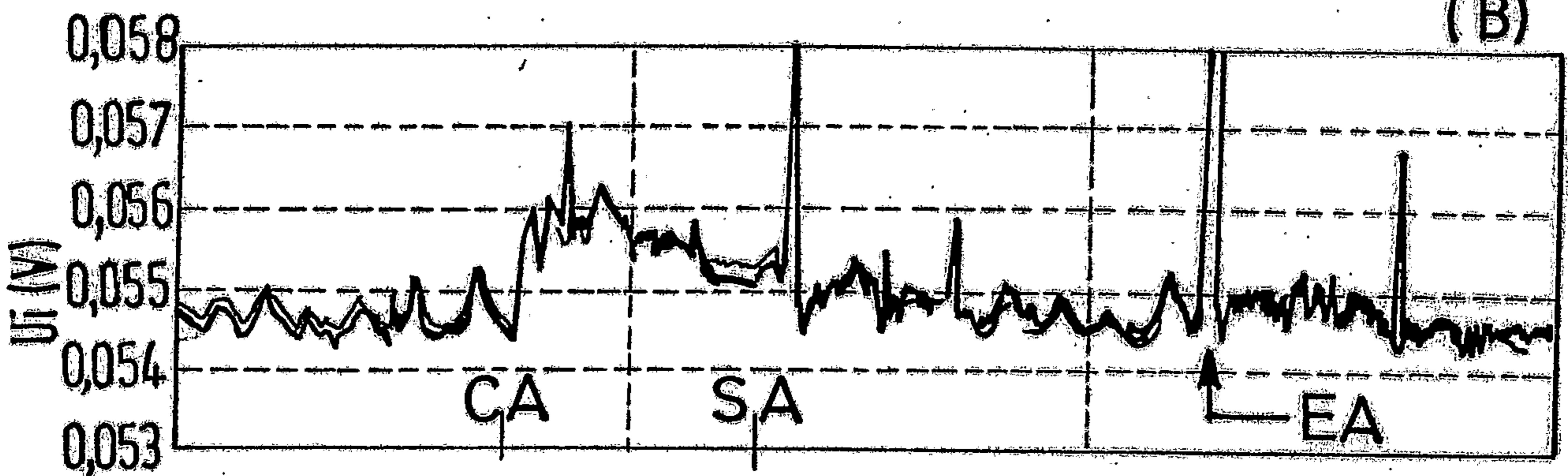
FIG. 5

6/6

(A)



(B)



(C)

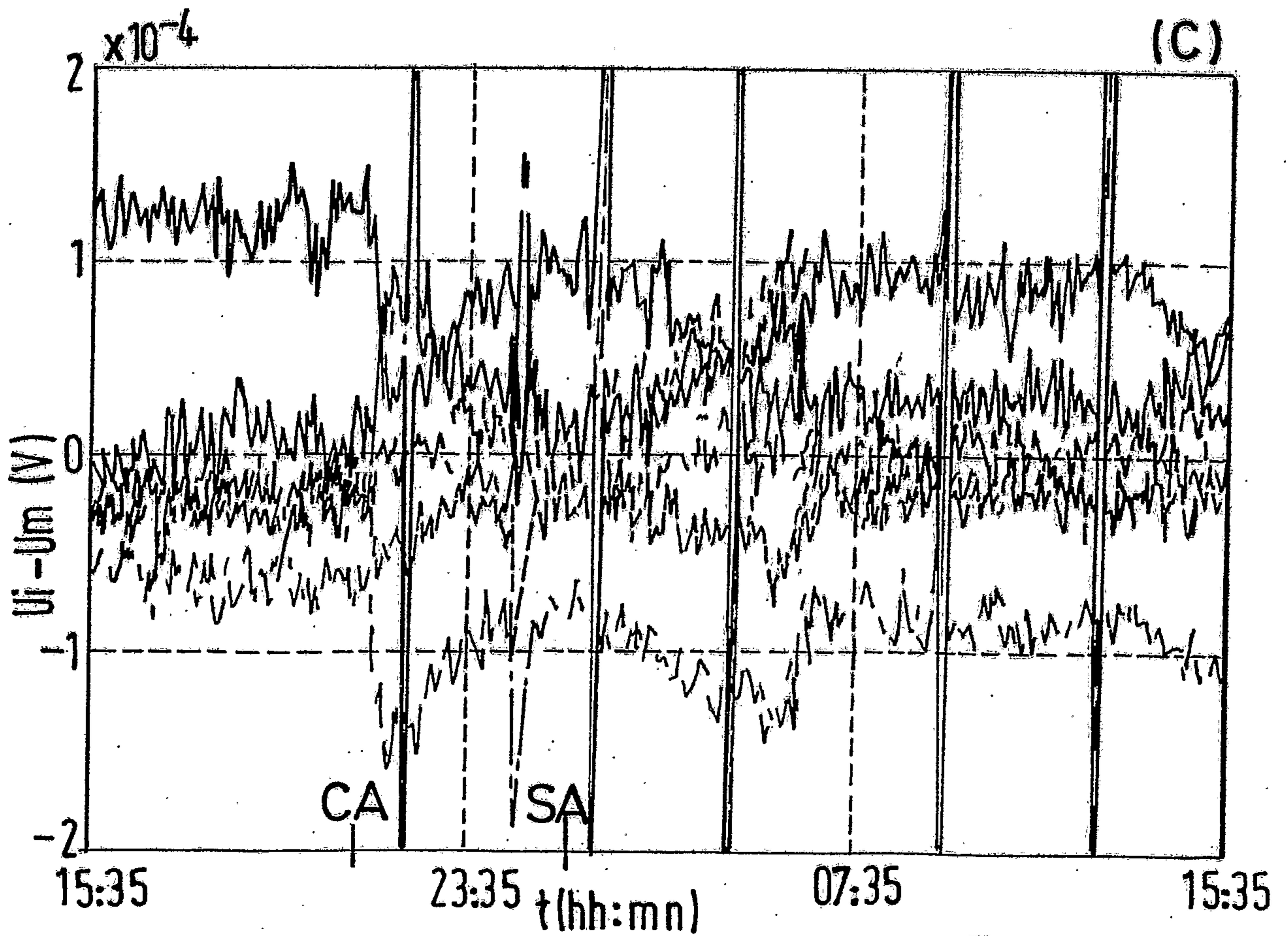


FIG.6