



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) Numéro de publication :

**0 070 232
B1**

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPÉEN

(45) Date de publication du fascicule du brevet :
10.09.86

(51) Int. Cl.⁴ : **H 05 B 6/02, H 05 B 6/06**

(21) Numéro de dépôt : **82401267.8**

(22) Date de dépôt : **06.07.82**

(54) **Procédé et dispositif de chauffage homogène par induction électromagnétique à flux transversal de produits plats, conducteurs et amagnétiques.**

(30) Priorité : **10.07.81 FR 8113689**

(43) Date de publication de la demande :
19.01.83 Bulletin 83/03

(45) Mention de la délivrance du brevet :
10.09.86 Bulletin 86/37

(84) Etats contractants désignés :
BE CH DE GB IT LI LU

(56) Documents cités :
**DE-A- 2 609 978
DE-A- 2 622 825
DE-C- 903 977
DE-C- 921 401
FR-A- 1 202 900
FR-A- 2 334 755
US-A- 3 272 956
US-A- 3 444 346
US-A- 4 054 770
US-A- 4 122 321**

(73) Titulaire : **ALSTHOM**
38, avenue Kléber
F-75784 Paris Cédex 16 (FR)

(72) Inventeur : **Travers, Roger**
11 rue Pasteur
F-92290 Chatenay-Malabry (FR)
Inventeur : **Camus, Jean-Paul**
154 Boulevard du Maréchal Juin
F-78200 Mantes-la-Jolie (FR)
Inventeur : **Bronner, Jean-Claude**
28 Boulevard Bellerive
F-92500 Rueil-Malmaison (FR)

(74) Mandataire : **Weinmiller, Jürgen et al**
Zeppelinstrasse 63
D-8000 München 80 (DE)

EP 0 070 232 B1

Il est rappelé que : Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

La présente invention se rapporte à un procédé et un dispositif de chauffage homogène, par flux électromagnétique transversal, de produits minces conducteurs amagnétiques de dimensions variables.

On connaît par le document US-A-4 122 321 un dispositif de chauffage de produits plats à l'aide de pôles magnétiques allongés. Les produits à chauffer étant des tôles épaisses et longues, il est difficile voire impossible d'assurer une homogénéité de chauffage avec ce dispositif surtout le long des bordures du produit et lorsque les dimensions du produit changent.

On connaît en outre par le document FR-A-2 334 755 un procédé de chauffage de bande de longueur infinie au cours de son défilement. L'installation permettant la mise en œuvre de ce procédé fait appel à un moteur linéaire.

Le but principal de l'invention consiste à chauffer de façon homogène, un produit plat à l'arrêt, ayant deux dimensions finies quelles que soient ces dimensions, par exemple dans le cadre d'une gamme de fabrication de tôles.

Ce but est atteint par le procédé et le dispositif tels qu'ils sont définis par les deux revendications.

L'invention sera décrite ci-après plus en détail à l'aide d'un exemple de réalisation et en regard des dessins annexés, sur lesquels :

la figure 1 est une vue en perspective partielle d'une forme de réalisation de l'invention d'un dispositif de chauffage constitué par deux inducteurs disposés de part et d'autre du produit à chauffer ;

les figures 2 et 3 sont des vues en plan des bobinages de l'un de ces inducteurs, respectivement sans le produit et avec le produit ;

la figure 4 est une vue en perspective de ces bobinages associés à un circuit magnétique de fermeture de flux magnétique ;

les figures 5 et 5A sont des organigrammes de fonctionnement de dispositifs selon l'invention.

Le procédé conforme à l'invention consiste en la génération, dans le produit, de courants (m) se refermant à l'intérieur de mailles, les dimensions et les formes de ces mailles de courant résultant de variations spatiales du champ magnétique alternatif auquel le produit est soumis, les intensités des courants dans chaque maille étant telles que la valeur moyenne de la puissance volumique dissipée dans chaque maille est la même dans tout le produit.

L'homogénéité locale, au niveau de chaque maille, est assurée par la conduction et dépend directement de la taille de la maille.

Les frontières (bouts et rives) ne sont, en général, pas compatibles avec une répartition spatiale donnée du champ magnétique, les dimensions des produits traités étant variables ou la dilatation due au chauffage entraînant une variation sensible de ces dernières. Sur les fron-

tières les mailles élémentaires engendrées ne sont pas toujours celles qui existent dans le cas d'un produit infini.

Pour un même courant d'excitation (b) la puissance volumique moyenne dissipée dans une de ces mailles de frontière est différente de celle qui serait dissipée pour un produit infini. Certaines mailles proches des mailles de frontière peuvent être perturbées.

Selon le procédé, pour obtenir la même valeur moyenne de la puissance volumique de chauffage dans les mailles élémentaires de frontière que dans le reste du produit, on définit une maille d'hétérogénéité locale de frontière constituée par une ou plusieurs mailles élémentaires juxtaposées. Le réglage de la puissance dissipée s'effectue par le réglage de l'intensité des boucles de courant (b) faisant face à cette maille d'hétérogénéité locale alors définie.

Suivant un cas particulier, chaque maille d'hétérogénéité locale de chauffage s'identifie à une maille élémentaire.

Les boucles de courant de l'inducteur ne faisant pas face au produit sont éteintes.

Le dispositif de mise en œuvre du procédé selon l'invention comprend :

des moyens (A) permettant de créer un champ magnétique alternatif, appelés inducteurs, composés de conducteurs formant des boucles de courant parcourus par des intensités réglables, et de circuits magnétiques renforçant l'efficacité du dispositif ; et,

des moyens (B) permettant de connaître la position du produit par rapport à l'inducteur et, en particulier, celle de ses frontières ;

des moyens (C) permettant de définir la montée en température à effectuer ;

des moyens (D) permettant de connaître la température du produit ;

des moyens (E) reliés aux précédents permettant de déterminer les intensités à faire circuler dans les différentes « boucles » des inducteurs en fonction des caractéristiques du produit (F) et du chauffage désiré ;

des moyens (G) reliés éventuellement à ces derniers et aux inducteurs aptes à créer les intensités ainsi déterminées.

Le dispositif de chauffage selon l'invention est constitué par deux inducteurs identiques horizontaux (A1 et A2) se faisant face, disposés de part et d'autre du produit (F) à chauffer (figure 1). Chacun des inducteurs est constitué de bobinages conducteurs (1) de forme carrée, identiques, disposés régulièrement suivant un pas polaire identique dans deux directions orthogonales. Dans chacune de ces directions, à chaque instant, les boucles de courant (b) ainsi formées constituent une succession de pôles magnétiques Nord et Sud alternés (figures 2 et 3). La fermeture des flux magnétiques, permettant le renforcement de l'efficacité du dispositif, est assurée par un circuit magnétique (2), éventuelle-

ment en feuilleté. Cette fermeture peut s'effectuer suivant l'une des directions précédemment citées ou les deux, selon les cas. La fermeture dans une seule direction permet un réglage plus simple de la variation du profil du champ dans la direction orthogonale, les interactions entre pôles de deux lignes parallèles à la direction de fermeture étant plus faibles (figure 4).

La taille du pôle est déterminée en fonction de la puissance volumique maximale du chauffage à obtenir, de la conductivité thermique du produit et de la différence de température maximale admissible dans le produit en cours de chauffage. Les différences de température dans le produit peuvent cependant être réduites, en fin de chauffage, par une diminution de la puissance volumique à laquelle elles sont, au premier ordre, proportionnelles.

La fréquence d'alimentation du dispositif répond à deux objectifs :

- amélioration sensible du rendement dans le cas où la fréquence industrielle n'est pas adoptée ;
- sustentation électromagnétique des produits traités, pouvant être d'épaisseur, de résistivité et de masse volumique différentes. Une adaptation de la fréquence peut alors être nécessaire pour tenir compte des variations de ces différents paramètres.

La variation du champ magnétique décrite précédemment réalise, de surcroît, un maintien stable du produit entre les inducteurs.

La position du produit par rapport aux inducteurs est connue, par exemple à partir de sa position d'entrée et des déplacements effectués.

A partir de la position du produit (B figure 5), en particulier celle de sa frontière par rapport aux pôles de l'inducteur, et des caractéristiques du produit (F), un calculateur (E) élabore les valeurs des intensités devant parcourir les pôles pour obtenir une homogénéité de chauffage. Ces intensités sont sensiblement égales sur la majeure partie du produit ; elles ne sont différentes que pour les pôles proches de la frontière du produit. Dans le cas de produits beaucoup plus longs que larges, la réalisation peut être simplifiée en ne réglant les intensités que par rangées de pôles parallèles à la grande largeur, les variations relatives d'intensité ne concernant que deux ou trois rangées de chaque côté du produit.

A partir des valeurs des intensités calculées, un dispositif (G) régule, à partir d'une source (S) dont la fréquence peut être variable, les intensités dans chaque pôle ou groupe de pôles.

La montée en température souhaitée peut être obtenue à partir d'une consigne de température (C) et d'une mesure de température (D) du produit que l'on compare et qui constitue une entrée du calculateur (E).

Dans une autre forme de réalisation (figure 5A), un générateur de fonction élabore la fonction température moyenne du produit par rapport au temps, le calculateur (E) compare alors cette consigne de température (C) à la température calculée, par intégration du chauffage déjà réalisé pour délivrer les consignes

d'intensité permettant de respecter la fonction désirée.

Un complément consiste à comparer la température calculée à une mesure de température réelle du produit et donc d'effectuer un contrôle, donc d'éviter des dérives lentes, ou de réaliser une auto-adaptation du modèle mathématique employé par le calculateur.

Il est bien entendu, enfin, que la présente invention n'a été décrite et représentée qu'à titre d'exemple préférentiel et que l'on pourra apporter des équivalences dans ses éléments constitutifs sans pour autant sortir du cadre de l'invention.

Dans une forme préférée de réalisation, les produits traités sont rectangulaires. La longueur et la largeur du produit constituent des entrées du calculateur principal. L'axe principal du produit étant parallèle au dispositif de chauffage, la connaissance de la position de l'un des points du produit, par exemple le centre, par rapport au dispositif de chauffage permet de déterminer de façon complète la position du produit (en particulier celle de ses frontières) par rapport à l'inducteur.

Pour cela, à son arrivée, le produit est disposé symétriquement par rapport à deux axes perpendiculaires connus. Le déplacement du produit s'effectue par l'extinction successive de rangées de pôles adjacentes, donc pas à pas, d'une distance égale à un pas polaire. Un compteur est incrémenté à chaque extinction et donne donc la position du centre à chaque instant.

L'élévation de température du produit est, par exemple, connue par intégration en fonction du temps, du quotient puissance volumique (déterminée par le calculateur) chaleur massique à la température considérée. Elle peut être vérifiée par une mesure de température du produit grâce à un thermomètre à griffe.

A partir de la position du produit (B figure 5), en particulier celle de sa frontière par rapport aux pôles de l'inducteur, et des caractéristiques du produit (F), un calculateur (E) élabore les valeurs des intensités devant parcourir les pôles pour obtenir une homogénéité de chauffage. Ces intensités sont sensiblement égales sur la majeure partie du produit ; elles ne sont différentes que pour les pôles proches de la frontière du produit. Dans le cas de produits beaucoup plus longs que larges, la réalisation peut être simplifiée en ne réglant les intensités que par rangées de pôles parallèles à la grande largeur, les variations relatives d'intensité ne concernant que deux ou trois rangées de chaque côté du produit.

A partir des valeurs des intensités calculées, un dispositif (G) régule, à partir d'une source (S) dont la fréquence peut être variable, les intensités dans chaque pôle ou groupe de pôles.

La montée en température souhaitée peut être obtenue à partir d'une consigne de température (C) et d'une mesure de température (D) du produit que l'on compare et qui constitue une entrée du calculateur (E).

Dans une autre forme de réalisation

(figure 5A), un générateur de fonction élabore la fonction température moyenne du produit par rapport au temps, le calculateur (E) compare alors cette consigne de température (C) à la température calculée, par intégration du chauffage déjà réalisé pour délivrer les consignes d'intensité permettant de respecter la fonction désirée.

Un complément consiste à comparer la température calculée à une mesure de température réelle du produit et donc d'effectuer un contrôle, donc d'éviter des dérives lentes, ou de réaliser une auto-adaptation du modèle mathématique employé par le calculateur.

Il est bien entendu, enfin, que la présente invention n'a été décrite et représentée qu'à titre d'exemple préférentiel et que l'on pourra apporter des équivalences dans ses éléments constitutifs sans pour autant sortir du cadre de l'invention.

Dans une forme préférée de réalisation, les produits traités sont rectangulaires. La longueur et la largeur du produit constituent des entrées du calculateur principal. L'axe principal du produit étant parallèle au dispositif de chauffage, la connaissance de la position de l'un des points du produit, par exemple le centre, par rapport au dispositif de chauffage permet de déterminer de façon complète la position du produit (en particulier celle de ses frontières) par rapport à l'inducteur.

Pour cela, à son arrivée, le produit est disposé symétriquement par rapport à deux axes perpendiculaires connus. Le déplacement du produit s'effectue par l'extinction successive de rangées de pôles adjacentes, donc pas à pas, d'une distance égale à un pas polaire. Un compteur est incrémenté à chaque extinction et donne donc la position du centre à chaque instant.

L'élévation de température du produit est, par exemple, connue par intégration en fonction du temps, du quotient puissance volumique (déterminée par le calculateur) chaleur massique à la température considérée. Elle peut être vérifiée par une mesure de température du produit grâce à un thermomètre à griffe.

Revendications

1. Dispositif de chauffage homogène de produits amagnétiques, conducteurs, plats et minces, ce dispositif comportant :

— au moins un ensemble d'induction électromagnétique s'étendant parallèlement au produit à chauffer (F) de part et d'autre de celui-ci pour le faire traverser par un flux magnétique alternatif transversal, cet ensemble étant constitué par un circuit magnétique (2) formant une pluralité de pôles muni chacun d'un bobinage conducteur (1) parcouru par un courant d'excitation (b) pour induire une maille de courant (m) dans le produit à chauffer,

— une source de courant (S) pour fournir ce courant d'excitation,

— et un dispositif de régulation (G) pour régler l'intensité de ce courant d'excitation afin de commander le chauffage du produit,

— ce dispositif étant caractérisé par le fait que lesdits pôles munis de bobinages (1) se succèdent régulièrement avec un même pas polaire selon deux directions sensiblement orthogonales parallèles au produit à chauffer (F),

— que des mailles d'hétérogénéité locale sont définies, composées chacune d'au moins une desdites mailles de courant,

— que le dispositif de régulation (G) est apte à régler les intensités des courants d'excitation dans les bobines indépendamment pour les diverses mailles d'hétérogénéité locale de manière que des réglages différents des intensités du courant d'excitation dans ceux desdits bobinages dont les pôles sont proches des frontières du produit à chauffer permettent d'obtenir un chauffage homogène sur toute la surface de ce produit même lorsque celui-ci est à l'arrêt et que ses frontières coupent certaines des mailles de courant qui seraient induites par ces pôles dans un produit infini.

2. Procédé de mise en œuvre du dispositif de la revendication 1, ce procédé étant caractérisé par le fait qu'il comporte les opérations suivantes :

— pour un produit à chauffer donné dont les frontières ont des positions données, lesdites mailles de courant induites dans ce produit chacune par le courant d'excitation parcourant un dit bobinage sont réparties en plusieurs familles appelées mailles d'hétérogénéité locales, une au moins de ces familles comportant plusieurs de ces mailles de courant, chaque telle famille étant constituée de mailles de courant qui créent une même puissance volumique moyenne de chauffage dans le produit à chauffer lorsqu'elles sont induites par des courants d'excitation de mêmes intensités,

— et on organise lesdits moyens de régulation pour qu'ils règlent en commun les intensités des courants d'excitation induisant les mailles de courant d'une même famille, tout en réglant indépendamment les intensités des courants d'excitation induisant les mailles de courant de familles différentes, de manière que ledit chauffage homogène soit obtenu avec des moyens de régulation simples.

Claims

1. A device for the homogenous heating of amagnetic, conducting, flat and thin products, this device comprising :

— at least one electromagnetic induction unit extending parallelly to the product to be heated (F) on either side of the latter so as to make a magnetic alternating transversal flux pass through it, this unit being constituted by a magnetic circuit (2) forming a plurality of poles each supplied with a conductor winding (1) traversed by an excitation current (b) in order to induce a current loop (m) in the product to be heated,

— a current source (S) for supplying this excitation current,

— and a regulating device (G) for regulating the intensity of this excitation current in order to control the heating of the product, characterized in

— that said poles supplied with windings (1) follow each other regularly with the same pole step according to two directions which are essentially orthogonal and parallel to the product to be heated (F),

— that loops of local heterogeneity are defined, each composed of at least one of said current loops,

— that the regulating device (G) is able to regulate the intensities of the excitation currents in the windings independently for the different loops of local heterogeneity, so that the different regulations of the intensities of the excitation current in those of said windings the poles of which are near the boundaries of the product to be heated, ensure a homogenous heating over the entire surface of this product even if the latter is at a standstill and if its boundaries cut some of the current loops which would be induced by these poles in an endless product.

2. A process for the application of the device according to claim 1, characterized in that it comprises the following steps:

— for a product to be heated whose boundaries have given positions, said current loops induced in this product each by the excitation current traversing one said winding, are arranged in several families called loops of local heterogeneity, one at least of these families comprising several of these current loops, each such family being constituted by current loops which create the same mean volume heating power in the product to be heated when they are induced by excitation currents of the same intensity,

— and said regulation means are arranged in such a way that they regulate in common the intensities of the excitation currents inducing the current loops of the same family, while independently regulating the intensities of the excitation currents inducing the current loops of different families, so that said homogenous heating is obtained by simple regulation means.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum homogenen Heizen von unmagnetischen, leitenden, flachen und dünnen Produkten, wobei diese Vorrichtung aufweist:

— mindestens eine elektromagnetische Induktionseinheit, die sich parallel zum und zu beiden Seiten des zu heizenden Produkts (F) erstreckt, so daß dieses von einem magnetischen

Wechselfluß in Querrichtung durchquert wird, wobei diese Einheit aus einem Magnetkreis (2) besteht, der eine Vielzahl von Polen bildet, die je mit einer von einem Erregerstrom (b) durchflossene Leiter-Wicklung (1) versehen sind, um eine Stromschleife (m) in das zu heizende Produkt zu induzieren,

— eine Stromquelle (S), um diesen Erregerstrom zu liefern,

— und eine Regelvorrichtung (G), um die Stärke dieses Erregerstroms zu regulieren und so das Heizen des Produkts zu steuern, dadurch gekennzeichnet,

— daß die mit Wicklungen (1) versehenen Pole regelmäßig mit dem gleichen Polabstand entlang zweier im wesentlichen orthogonaler und parallel zum zu heizenden Produkt (F) verlaufender Richtungen aufeinander folgenden,

— daß Schleifen örtlicher Heterogenität definiert sind, die je aus mindestens einer der Stromschleifen bestehen,

— daß die Regelvorrichtung (G) die Stärken der Erregerströme in den Wicklungen unabhängig voneinander für die verschiedenen Schleifen örtlicher Heterogenität regeln kann, so daß unterschiedliche Regelungen der Stärken des Erregerstroms in denjenigen Wicklungen, deren Pole den Grenzen des zu heizenden Produkts nahe sind, es ermöglichen, eine homogene Heizung über die ganze Oberfläche dieses Produkts zu erhalten, auch wenn dieses angehalten ist und seine Grenzen einige der Stromschleifen schneiden, die bei einem unendlich ausgedehnten Produkt von diesen Polen induziert würden.

2. Verfahren zur Anwendung der Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß es die folgenden Verfahrensschritte aufweist:

— für eine gegebenes zu heizendes Produkt, dessen Grenzen gegebene Positionen haben, sind die Stromschleifen, die je in dieses Produkt von dem Erregerstrom, der eine Wicklung durchfließt, induziert sind, in mehrere Familien aufgeteilt, die Maschen örtlicher Heterogenität genannt werden, wobei mindestens eine dieser Familien mehrere dieser Stromschleifen aufweist und jede solche Familie aus Stromschleifen besteht, die eine gleiche mittlere volumenmäßige Heizleistung im zu heizenden Produkt entwickeln, wenn sie von Erregerströmen gleicher Stärke induziert werden,

— und man gestaltet die Regelmittel so, daß sie zusammen die Stärke der Erregerströme regeln, die die Stromschleifen der gleichen Familie induzieren, aber unabhängig voneinander die Stärke der Erregerströme regeln, die die Stromschleifen der verschiedenen Familien induzieren, so daß die homogene Heizung mit einfachen Regelmitteln erhalten wird.

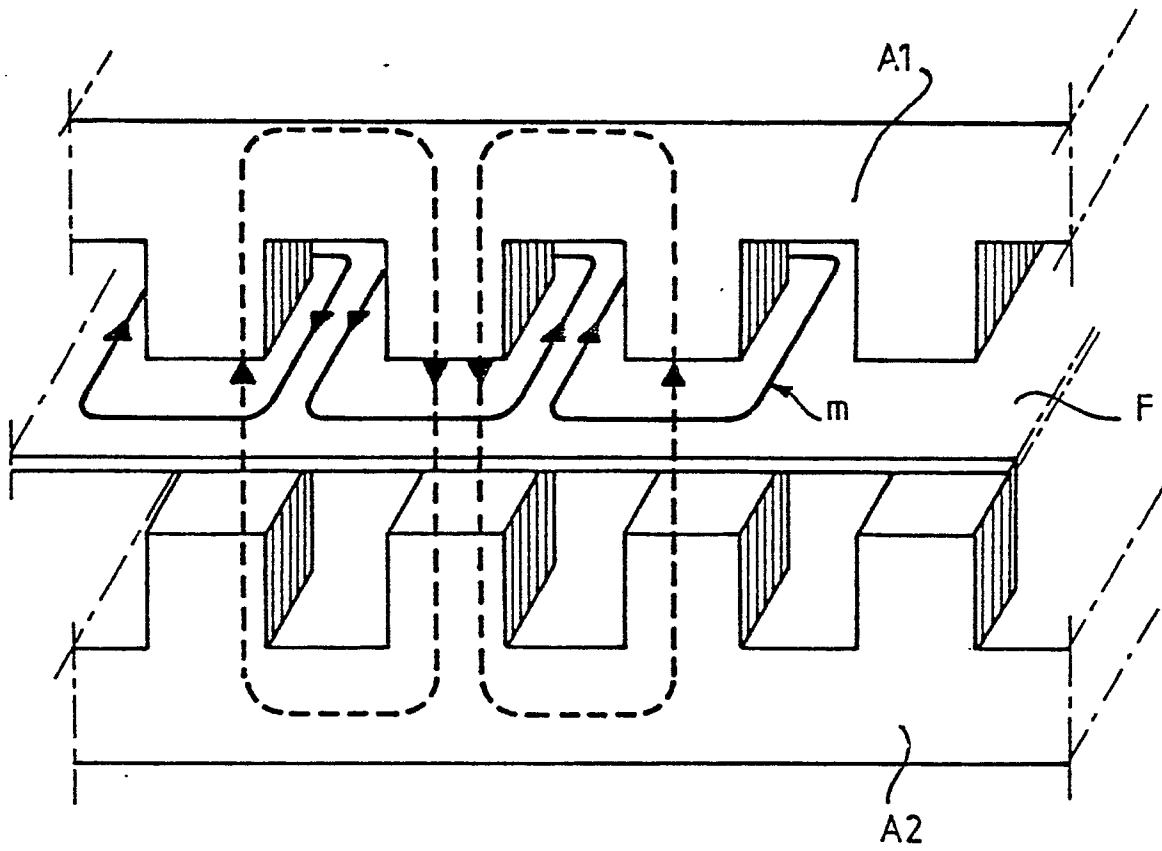


FIG. 1

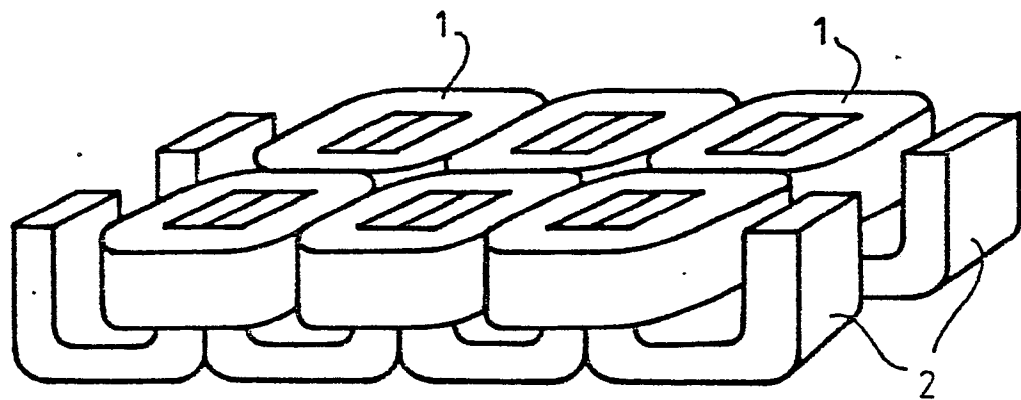


FIG. 4

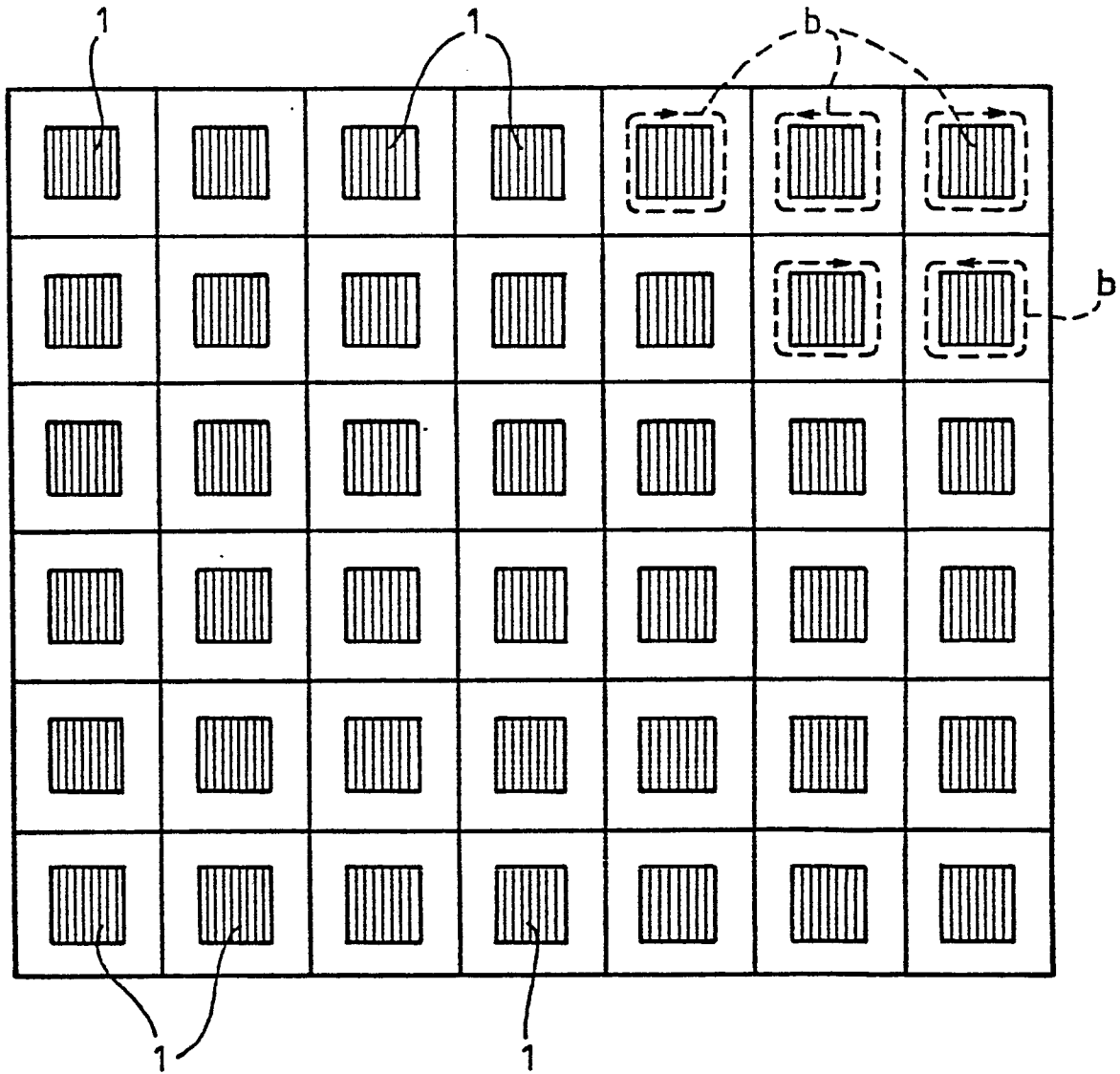


FIG. 2

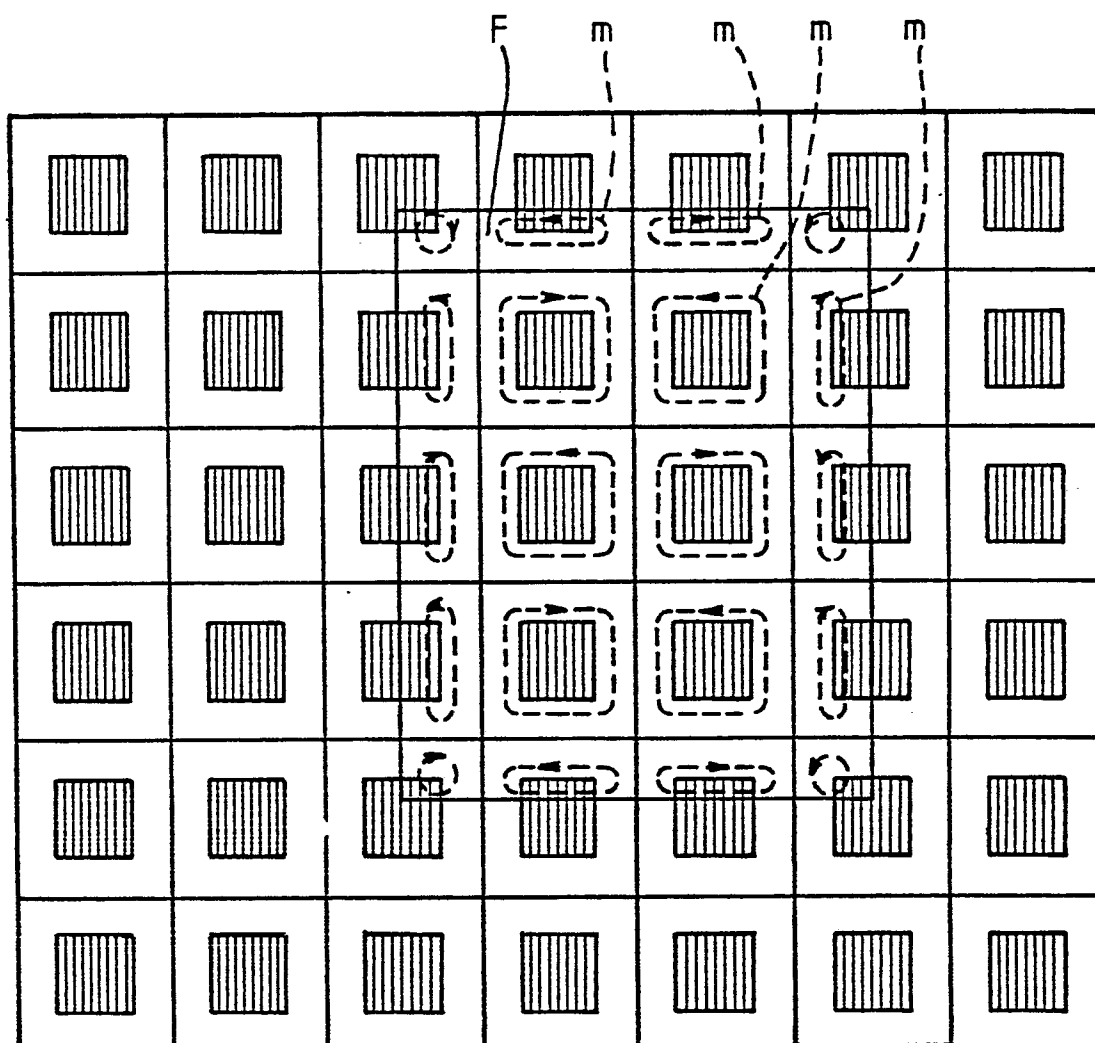


FIG.3

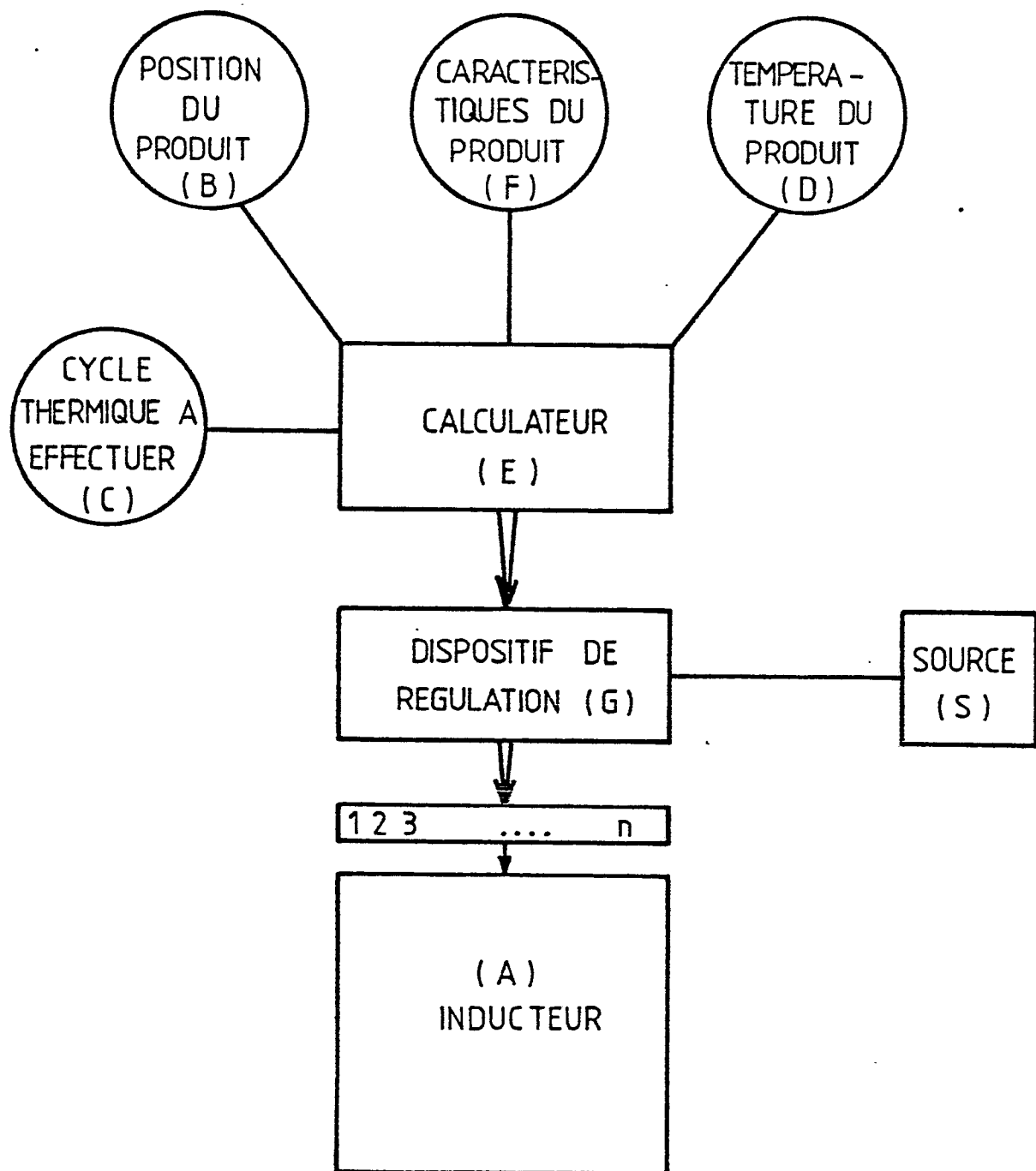


FIG. 5

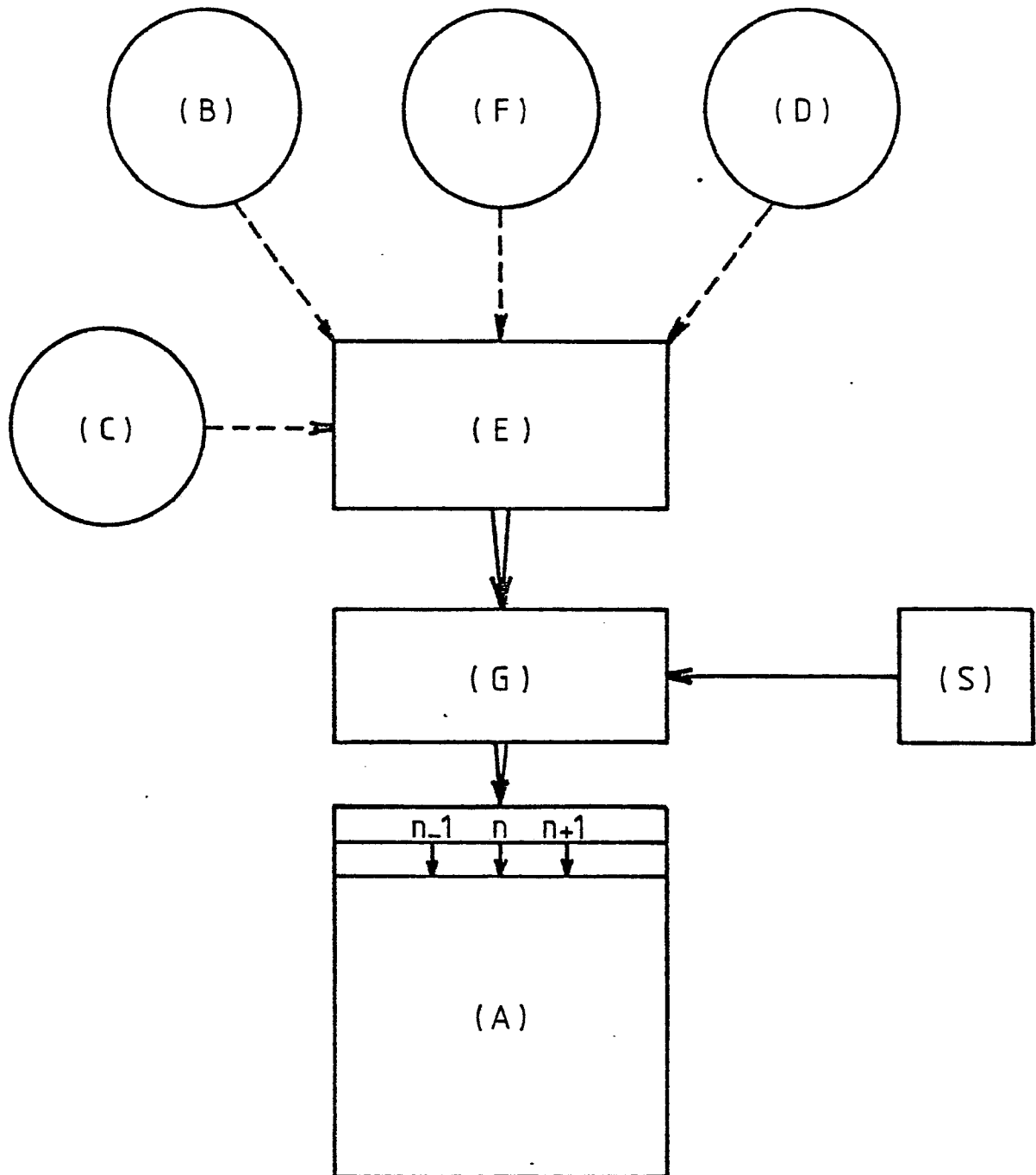


FIG. 5A