

12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22) Date de dépôt : 27.01.97.

30) Priorité :

43) Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 31.07.98 Bulletin 98/31.

56) Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du  
présent fascicule*

60) Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

71) Demandeur(s) : INTERCONTROLE SOCIETE ANO-  
NYME — FR.

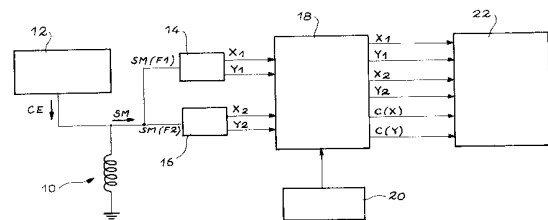
72) Inventeur(s) : MARTENS JOEL.

73) Titulaire(s) :

74) Mandataire(s) : BREVATOME.

54) PROCÉDE DE CONTROLE NON DESTRUCTIF, PAR COURANTS DE FOUCAULT, DES GRAPPES DE  
COMMANDE DE REACTEURS NUCLEAIRES EN PRESENCE D'ELEMENTS PERTURBATEURS.

57) L'invention concerne le contrôle non destructif, par courants de Foucault, des crayons des grappes de commande, dans les réacteurs nucléaires, lorsque des éléments perturbateurs modifient, au moins localement, la répartition des courants induits. Ces éléments perturbateurs, tels que des traitements de surface, peuvent soit appartenir à la pièce examinée, soit à son environnement immédiat. On excite un capteur au moyen d'un signal multi-fréquence, puis on combine les composantes en phase (X1, X2) et en quadrature (Y1, Y2) de signaux de mesure obtenus aux fréquences concernées, de façon à minimiser l'influence des éléments perturbateurs. §



PROCEDE DE CONTROLE NON DESTRUCTIF, PAR COURANTS DE  
FOUCAULT, DES GRAPPES DE COMMANDE DE REACTEURS  
NUCLEAIRES EN PRESENCE D'ELEMENTS PERTURBATEURS.

5

## DESCRIPTION

**Domaine technique**

L'invention concerne un procédé de contrôle non destructif, par courants de Foucault, des grappes de commande qui équipent les réacteurs nucléaires, lorsque des éléments perturbateurs appartenant soit à la pièce examinée, soit à son environnement immédiat, modifient au moins localement la répartition des courants induits.

Le procédé selon l'invention s'applique plus précisément au contrôle des crayons des grappes de commande, lorsqu'une propriété physique d'un composant du crayon, affectant les courants induits, est modifiée. Cette modification peut notamment être due au fait que les gaines métalliques des crayons ont subi un traitement de surface (nitruration, etc.) et/ou découler de la présence de trous dans le matériau absorbant contenu dans les crayons.

**Etat de la technique**

Les techniques de contrôle non destructif par courants de Foucault sont employées couramment pour détecter et localiser des défauts dans les matériaux métalliques, pour mesurer l'épaisseur d'une paroi ou d'un revêtement, et pour évaluer des déformations géométriques de composants.

Le principe du contrôle par courants de Foucault repose sur l'examen des courants de Foucault

induits, à l'intérieur de la pièce à contrôler, par au moins une bobine excitatrice, placée à proximité de la pièce et excitée par un courant alternatif. Les courants de Foucault induits dans la pièce génèrent des  
5 champs magnétiques qui se couplent à la bobine excitatrice ou à une autre bobine appelée "bobine réceptrice", pour induire une tension dans cette bobine. Cette tension est enregistrée par un appareil approprié. Lorsque la même bobine est utilisée comme bobine  
10 excitatrice et comme bobine réceptrice, on dit que cette bobine travaille en mode émission-réception. Au contraire, lorsqu'une bobine excitatrice et une bobine réceptrice distinctes sont utilisées, on parle de mode séparé.

15 Selon le type de pièces à examiner, le capteur à courants de Foucault, composé selon le cas d'une ou plusieurs bobines, peut prendre différentes formes. Ainsi, le capteur peut être un capteur ponctuel ou de surface, destiné à être placé en face d'une surface de  
20 la pièce à examiner. Le capteur peut aussi présenter une forme encerclante, lorsque la pièce à examiner est une pièce longue et effilée telle qu'un tube, une barre ou un profilé.

Dans la pratique, l'exploitation des  
25 signaux de mesure délivrés par les capteurs à courants de Foucault est généralement faite en extrayant de ces signaux une composante X, dite en phase et une composante Y, en quadrature avec la composante X. Un traitement de ces composantes X et Y permet, selon le cas,  
30 d'obtenir des informations telles que la conductivité électrique du matériau, sa perméabilité magnétique, l'épaisseur de paroi, la présence de défauts structuraux métallurgiques tels que des fissures, des inclu-

sions, etc., les variations de la distance séparant le capteur de la pièce, etc..

Il est aussi connu d'améliorer la qualité des informations obtenues en excitant simultanément la bobine excitatrice du capteur à au moins deux fréquences différentes. Dans ce cas, l'exploitation des signaux délivrés par le capteur s'effectue en extrayant la composante X en phase et la composante Y en quadrature, à chacune des fréquences.

Comme l'illustre le document FR-A-2 324 003, dans le cas où des éléments perturbateurs sont présents au voisinage de la pièce, sans toutefois en modifier la perméabilité magnétique, on a proposé d'exciter simultanément la bobine d'excitation d'un capteur à courants de Foucault à plusieurs fréquences différentes, puis de combiner les signaux de mesure obtenus à chacune des fréquences, sous la forme de signaux composites, de façon à éliminer les parasites dus à l'influence des éléments perturbateurs. L'utilisation de cette technique a été cependant limitée au contrôle de pièces, telles que des faisceaux de tubes d'échangeurs de chaleur, en présence d'éléments perturbateurs extérieurs ne modifiant pas la perméabilité magnétique de ces pièces. En particulier, les éléments perturbateurs visés sont, par exemple, les plaques qui supportent les tubes dont on effectue le contrôle.

Lorsque le contrôle par courants de Foucault s'effectue sur des pièces dont la perméabilité magnétique est modifiée par des éléments perturbateurs tels que des traitements de surface de ces pièces, il est d'usage d'adjoindre au capteur un dispositif permettant d'appliquer un champ magnétique continu de saturation sur la pièce. Ce dispositif peut notamment

être constitué par des pastilles d'aimants permanents ou par un bobinage de grande taille, alimenté en courant continu. Le champ magnétique continu créé par ce dispositif sature le matériau et évite que les fluctuations locales de la perméabilité magnétique, engendrées par les éléments perturbateurs, modifient le signal de mesure.

Cette technique a toutefois pour inconvénient de nécessiter une modification du capteur à courants de Foucault, qui se traduit notamment par une augmentation de sa masse. De plus, la présence de pastilles d'aimants permanents a pour effet d'attirer les particules métalliques éventuellement présentes sur la pièce, ce qui conduit à encrasser rapidement le capteur. Dans le cas où un bobinage d'excitation est utilisé, cela conduit à l'ajout de fils supplémentaires, ce qui contribue à accroître la complexité du système.

#### 20 **Exposé de l'invention**

L'invention a principalement pour objet un procédé de contrôle non destructif, par courants de Foucault, conçu pour permettre le contrôle de grappes de commande présentant des éléments perturbateurs modifiant, au moins localement, la répartition des courants induits, sans qu'il soit nécessaire d'utiliser un capteur différent de ceux qui sont utilisés pour le contrôle de pièces dépourvues d'éléments perturbateurs.

Conformément à l'invention, ce résultat est obtenu au moyen d'un procédé de contrôle non destructif, par courants de Foucault, caractérisé par le fait qu'il est appliqué au contrôle des crayons des grappes de commande, présentant des éléments perturba-

teurs appartenant à ces crayons, ou à leur environnement immédiat, ces éléments perturbateurs affectant, au moins localement, la répartition des courants induits, le procédé comprenant les étapes

5 consistant à exciter simultanément un capteur à courants de Foucault à au moins deux fréquences différentes, à acquérir des signaux de mesure correspondant à chacune de ces fréquences, à combiner ces signaux de mesure, pour obtenir au plus quatre

10 signaux composites dans lesquels l'influence des éléments perturbateurs est minimisée, puis à traiter les signaux de mesure et les signaux composites de façon à obtenir une information relative à des défauts éventuels des crayons.

15 Dans une forme de réalisation préférentielle, on extrait de chacun des signaux de mesure une composante  $(X_1, X_2, \dots, X_n)$  en phase et une composante  $(Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$  en quadrature, puis on combine ces composantes pour obtenir les signaux composites dont

20 les composantes en phase  $C_i(X)$  et les composantes en quadrature  $C_i(Y)$  sont déterminées par les relations :

$$C_i(X) = a_{i1}.X_1 + a_{i2}.X_2 + \dots + a_{in}.X_n$$

$$C_i(Y) = b_{i1}.Y_1 + b_{i2}.Y_2 + \dots + b_{in}.Y_n$$

dans lesquelles l'indice  $i$  varie, au plus, de 1 à 4, et

25  $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}$  et  $b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{in}$  sont des coefficients que l'on choisit pour minimiser l'influence des éléments perturbateurs.

On choisit de préférence les coefficients lors d'une opération d'apprentissage préalable, de

30 façon à obtenir des signaux composites dont les composantes en phase  $C_i(X)$  sont sensiblement constantes en l'absence et en présence de défauts et dont les compo-

santes en quadrature  $C_i(Y)$  varient de façon notable, en présence de défauts.

Selon le cas, la combinaison des signaux de mesure peut se faire soit en temps réel, au fur et à mesure de leur acquisition, soit en temps différé, après leur acquisition.

La combinaison des signaux de mesure peut se faire selon le cas soit dans un ordinateur auquel est associé un logiciel approprié, soit dans un module comprenant des circuits électroniques appropriés. Dans ce dernier cas, on programme les circuits électroniques au moyen d'une unité de pilotage associée.

Par ailleurs, le capteur à courants de Foucault peut comporter soit une bobine unique, fonctionnant à la fois en émission et en réception, soit deux bobines fonctionnant respectivement en émission et en réception (mode séparé).

Les signaux de mesure peuvent être, selon le cas, de type absolu ou de type différentiel.

Une application préférentielle de l'invention concerne le contrôle des crayons comprenant des gaines métalliques ayant subi un traitement de surface et/ou contenant un matériau absorbant présentant des éléments perturbateurs de type géométrique, par exemple, un trou.

En outre, on contrôle avantageusement plusieurs crayons de la grappe de façon simultanée.

Enfin, en complément à la combinaison des signaux de mesure sous la forme de signaux composites, il peut s'avérer utile d'appliquer sur les crayons un champ magnétique continu de saturation, tout en excitant le capteur à courants de Foucault.

**Brève description des dessins**

On décrira à présent, à titre d'exemple non limitatif, une forme de réalisation préférentielle de l'invention, en se référant aux dessins annexés, dans  
5 lesquels :

- la figure 1 représente le schéma synoptique d'un dispositif à deux fréquences, mettant en oeuvre le procédé de contrôle non destructif selon l'invention ;

10 - les figures 2A et 2B représentent respectivement les variations, en fonction du temps  $t$ , de la composante en phase  $X_1$ , et de la composante en quadrature  $Y_1$  du signal de mesure à une première fréquence de 160 kHz ;

15 - la figure 3 représente la courbe obtenue dans le plan d'impédance à partir des figures 2A et 2B, en portant en abscisse la composante en phase  $X_1$  et en ordonnée la composante en quadrature  $Y_1$  ;

20 - les figures 4A et 4B sont des courbes comparables aux figures 2A et 2B représentant respectivement les variations, en fonction du temps  $t$ , de la composante en phase  $X_2$  et de la composante en quadrature  $Y_2$  du signal de mesure à une fréquence d'excitation de 500 kHz ;

25 - la figure 5 est une vue comparable à la figure 3 représentant la courbe obtenue dans le plan d'impédance, en portant respectivement en abscisse et en ordonnée les composantes en phase  $X_2$  et en quadrature  $Y_2$  des figures 4A et 4B ;

30 - les figures 6A et 6B représentent respectivement les variations, en fonction du temps  $t$ , de la composante en phase  $C(X)$  et de la composante en quadrature  $C(Y)$  d'un signal composite obtenu en combinant les

signaux de mesure aux fréquences de 160 kHz et de 500 kHz, en fonction du temps  $t$  ; et

- la figure 7 représente la courbe obtenue dans le plan d'impédance, en portant respectivement en abscisse et en ordonnée la composante en phase  $C(X)$  et la composante en quadrature  $C(Y)$  du signal composite illustré sur les figures 6A et 6B.

#### **Description d'une forme de mise en oeuvre**

Sur le schéma synoptique de la figure 1, on a représenté à titre d'exemple un dispositif mettant en oeuvre le procédé de contrôle non destructif, par courants de Foucault, conforme à l'invention. Il est à noter que ce dispositif peut prendre toutes les formes connues telles que celles qui sont divulguées par le document FR-A-2 324 003. Pour une description plus détaillée, on se reportera utilement à ce document.

Sur la figure 1, la référence 10 désigne un capteur à courants de Foucault prévu pour être déplacé à proximité d'un crayon d'une grappe de commande à contrôler. Conformément à l'invention, ce crayon présente une propriété physique modifiée affectant, au moins localement, la répartition des courants induits par des éléments perturbateurs appartenant à ce crayon ou à son environnement immédiat. Plus précisément, il s'agit principalement ici de contrôler des crayons dont la région superficielle présente, au moins localement, une structure différente de celle du corps du crayon. Cette différence de structure superficielle peut notamment avoir pour origine la présence d'un ou plusieurs films de matériaux différents, un traitement de surface spécifique d'origine thermique et/ou chimique, etc..

Dans un crayon appartenant à une grappe de commande utilisée dans un réacteur nucléaire, la modification de la répartition des courants induits peut aussi avoir pour origine la présence d'un trou dans le  
5 matériau absorbant contenu dans le crayon.

Sur la figure 1, le capteur 10 à courants de Foucault a été représenté schématiquement sous la forme d'une bobine unique. Deux bobines ou plus, de forme quelconque, peuvent toutefois être utilisées  
10 selon le type de mesure effectuée.

Ainsi, le capteur 10 peut être formé d'une ou plusieurs bobines encerclantes, entourant le crayon à contrôler. Il peut aussi être formé d'une ou plusieurs bobines ponctuelles de surface, prévues pour  
15 être placées à proximité du crayon à contrôler.

Lorsqu'une seule bobine est utilisée, celle-ci fonctionne à la fois en émission-excitation et en réception. Au contraire, lorsque deux bobines ou plus sont utilisées, au moins l'une des bobines fonc-  
20 tionne en émission-excitation et au moins une autre bobine fonctionne en réception. Dans les deux cas, les signaux détectés et mesurés peuvent être de type absolu ou de type différentiel selon le montage utilisé, d'une manière connue de l'homme du métier.

Lors du contrôle des crayons des grappes de commande équipant les réacteurs nucléaires, un capteur unique peut être utilisé afin de contrôler l'un après l'autre chacun des crayons. Avantageusement, on prévoit toutefois de monter sur un même dispositif de contrôle  
30 plusieurs capteurs inspectant simultanément une partie ou la totalité des crayons d'une même grappe de commande.

En se reportant à nouveau au schéma synop-  
tique de la figure 1, on voit que la ou les bobines  
d'excitation du capteur 10 à courants de Foucault sont  
parcourues par un courant d'excitation alternatif CE  
5 délivré par un générateur de courant alternatif 12.  
Plus précisément, le courant alternatif délivré par le  
générateur 12 est un courant multifréquences. Dans la  
forme de réalisation décrite, l'excitation du capteur  
10 à courants de Foucault s'effectue à deux fréquences  
10 différentes F1 et F2. Dans l'exemple numérique qui sera  
développé ultérieurement, les valeurs respectives de  
ces fréquences F1 et F2 sont de 160 kHz et 500 kHz.

Dans le cas où plusieurs éléments perturba-  
teurs sont à prendre en compte lors de l'analyse des  
15 mesures, trois ou même quatre fréquences différentes  
peuvent être utilisées pour exciter le capteur 10 à  
courants de Foucault.

Les signaux de mesure SM détectés par la ou  
les bobines réceptrices du capteur 10 à courants de  
20 Foucault peuvent être décomposés en autant de signaux  
fondamentaux qu'il existe de fréquences d'excitation.  
Sur le schéma synoptique de la figure 1, on retrouve  
donc, à la sortie du capteur 10, une première partie  
SM(F1) de signal de mesure à la fréquence F1 et une  
25 deuxième partie SM(F2) de signal de mesure à la fré-  
quence F2.

Des circuits appropriés, désignés respecti-  
vement par les références 14 et 16 sur la figure 1,  
permettent d'extraire respectivement de chacune de ces  
30 deux parties du signal de mesure leurs composantes en  
phase et leurs composantes en quadrature. Les composan-  
tes en phase et en quadrature de la première partie  
SM(F1) du signal de mesure à la fréquence F1 sont dési-

gnées respectivement par les références X1 et Y1. De même, les composantes en phase et en quadrature de la deuxième partie SM(F2) du signal de mesure à la fréquence F2 sont désignées par les fréquences X2 et Y2. Comme il ressort de la description détaillée du circuit faite dans le document FR-A- 2 324 003, les circuits 14 et 16 peuvent être constitués par des échantillonneurs à mémoire.

Comme l'illustre le schéma synoptique de la figure 1, les composantes en phase et en quadrature du signal de mesure à chacune des fréquences d'excitation sont injectées dans l'unité de combinaison 18. Cette unité de combinaison 18 peut être constituée par un module comprenant des circuits électroniques appropriés, programmés au moyen d'une unité de pilotage associée. En variante, l'unité de combinaison 18 peut aussi être constituée par un ordinateur auquel est associé un logiciel approprié. Dans l'un et l'autre cas, il est à noter que la combinaison des signaux de mesure peut se faire soit en temps réel, au fur et à mesure de leur acquisition, soit ultérieurement, en temps différé.

Quelle que soit sa forme, l'unité de combinaison 18 a pour fonction de combiner les composantes en phase X1, X2 et en quadrature Y1, Y2 des signaux de mesure SM(F1), SM(F2), pour chacune des fréquences d'excitation, afin d'obtenir un signal composite dans lesquels l'influence des éléments perturbateurs est minimisée, voire annulée. De façon plus précise, l'unité de combinaison 18 calcule la composante en phase C(X) et la composante en quadrature C(Y) du signal composite en utilisant les relations :

$$C(X) = a1.X1 + a2.X2$$

$$C(Y) = b_1.Y_1 + b_2.Y_2$$

Dans ces relations,  $a_1$ ,  $a_2$  et  $b_1$ ,  $b_2$  sont des coefficients qui sont déterminés à l'avance afin de minimiser ou d'annuler l'influence des éléments perturbateurs dans le signal composite.

De façon plus générale, lorsque le courant d'excitation CE comprend  $n$  fréquences  $F_1, F_2, \dots, F_n$ , le signal de mesure SM comprend  $n$  parties dont les composantes en phase et en quadrature peuvent être désignées respectivement par les références  $X_1, X_2, \dots, X_n$  et  $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ . Les composantes  $C_i(X)$  et  $C_i(Y)$  de chacun des  $i$  signaux composites (l'indice  $i$  étant, au plus égal à 4), calculées par l'unité de combinaison 18, sont alors données par les relations :

$$C_i(X) = a_{i1}.X_1 + a_{i2}.X_2 + \dots + a_{in}.X_n$$

$$C_i(Y) = b_{i1}.Y_1 + b_{i2}.Y_2 + \dots + b_{in}.Y_n$$

dans lesquelles l'indice  $i$  varie, au plus, de 1 à 4, et  $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}$  et  $b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{in}$  désignent des coefficients choisis de façon à annuler ou à minimiser l'influence des éléments perturbateurs.

Comme on le décrira plus en détail par la suite à l'aide d'un exemple, ces coefficients sont déterminés lors d'une opération d'apprentissage préalable effectuée sur une pièce de même nature que la pièce à contrôler, cette pièce présentant des défauts dont la localisation est connue, ainsi que des éléments perturbateurs analogues à ceux qui sont présents sur la pièce à contrôler, c'est-à-dire notamment des traitements de surfaces comparables. Un logiciel adapté peut permettre le calcul automatique des coefficients  $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}$  et  $b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{in}$  lorsque l'unité de combinaison 18 est constituée par un ordinateur. Dans le cas contraire,

les coefficients précités sont déterminés par l'opérateur.

Comme l'illustre le schéma synoptique de la figure 1, les composantes  $X_1, Y_1, X_2$  et  $Y_2$  des parties SM(F1) et SM(F2) du signal de mesure relatives à  
5 chacune des fréquences d'excitation, ainsi que les composantes  $C_i(X)$  et  $C_i(Y)$  calculées dans l'unité de combinaison 18, sont injectées dans une unité 22 de traitement des signaux.

10 Cette unité 22 de traitement des signaux a pour fonctions de détecter et de localiser les défauts de type usure, fissure, gonflement, etc. présents dans le crayon contrôlé. Lorsque ce crayon présente les éléments perturbateurs pris en compte lors de l'élabora-  
15 tion des signaux composites dont les composantes  $C_i(X)$  et  $C_i(Y)$  ont été calculées dans l'unité de combinaison 18, les défauts sont détectés et localisés à partir de ces composantes  $C_i(X)$  et  $C_i(Y)$ . Si le contrôle concerne au contraire un crayon dépourvue d'élément perturba-  
20 teur, les défauts sont directement détectés et localisés à partir des composantes  $X_1, Y_1, X_2$  et  $Y_2$  de chacune des parties du signal de mesure.

Il est à noter que l'unité de combinaison 18 et l'unité 22 de traitement des signaux peuvent  
25 éventuellement être regroupées en un seul ensemble, sans sortir du cadre de l'invention.

Comme on l'a indiqué précédemment, les valeurs des coefficients  $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}$  et  $b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{in}$  sont déterminées à la suite d'une opération  
30 d'apprentissage préalable.

Dans un premier temps, on place le capteur 10 à courants de Foucault à proximité d'une pièce de référence réalisée dans le même matériau que le crayon

à contrôler, dont le dimensionnement est similaire, et dont la surface a subi un traitement spécifique identique à celui du crayon à contrôler. De plus, cette pièce de référence présente des défauts régulièrement répartis à différentes profondeurs, en des emplacements  
5 déterminés.

En utilisant le dispositif décrit précédemment en se référant à la figure 1, dans des conditions analogues à celles qui seront utilisées par la suite  
10 lors du contrôle proprement dit, on obtient un signal de mesure dont les composantes X1 et Y1 évoluent en fonction du temps t de la manière illustrée respectivement sur les figures 2A et 2B, à la fréquence d'excitation de 160 kHz. Simultanément, on obtient un signal de  
15 mesure dont les composante X2 et Y2 évoluent en fonction du temps t comme illustré sur les figures 4A et 4B, pour la fréquence d'excitation de 500 kHz.

Les figures 3 et 5 représentent respectivement les courbes obtenues dans le plan d'impédance, en reportant respectivement en abscisse les composantes en phase X1 et X2 et en ordonnée les composantes en quadrature Y1 et Y2. Ces courbes des figures 3 et 5  
20 montrent que le défaut est détecté mais qu'il est difficile dans la pratique de le localiser et d'en évaluer l'importance simplement à partir des signaux de mesure  
25 à chacune des deux fréquences.

Dans ces conditions, on détermine les valeurs des nombres rationnels que constituent les coefficients a1 et a2 dans la relation  $C(X) = a1.X1 + a2.X2$ ,  
30 pour que la composante en phase C(X) soit sensiblement constante et égale à 0 en l'absence et en présence de défauts. On obtient ainsi la courbe C(X) en fonction du temps t, illustrée sur la figure 6a.

Par ailleurs, on détermine la valeur des nombres rationnels correspondant aux coefficients  $b_1$ ,  $b_2$  de la relation  $C(Y) = b_1.Y_1 + b_2.Y_2$ , afin que la composante en quadrature  $C(Y)$ , en présence de défauts, soit maximale. La figure 6b représente l'évolution de la composante en quadrature  $C(Y)$  en fonction du temps, obtenue de cette manière à partir des composantes en quadrature  $Y_1$  et  $Y_2$ .

Comme l'illustre la figure 7, on obtient ainsi dans le plan d'impédance une courbe à un seul lobe, qui permet de déterminer directement, après calibrage, la localisation et l'ampleur du défaut.

Après que les coefficients  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$  et  $b_2$  aient été déterminés de cette manière, leurs valeurs sont mises en mémoire. Lorsqu'un crayon est ensuite contrôlé, l'unité de combinaison 18 peut ainsi calculer soit en temps réel, soit en temps différé, les composantes en phase et en quadrature des signaux composites obtenus par les relations précitées. Par conséquent, les effets des éléments perturbateurs tels que les traitements de surface des crayons sont fortement diminués et même pratiquement annulés, ce qui facilite considérablement l'exploitation des résultats par l'unité 22 de traitement des signaux.

Pour améliorer encore la qualité des résultats obtenus, on peut adjoindre au capteur des pastilles d'aimant permanent ou une bobine alimentée en courant continu, afin d'engendrer dans le crayon un champ magnétique continu de saturation. Etant donné que la majeure partie des perturbations est éliminée par le calcul, un résultat optimal peut être obtenu avec une bobine de dimensions réduites, contrairement au cas où la prise en compte des éléments perturbateurs

s'effectue en totalité en créant un champ de saturation.

## REVENDEICATIONS

1. Procédé de contrôle non destructif, par courants de Foucault, caractérisé par le fait qu'il est  
5 appliqué au contrôle des crayons de grappes de commande de réacteurs nucléaires, présentant des éléments perturbateurs appartenant à ces crayons, ou à leur environnement immédiat, ces éléments perturbateurs affectant, au moins localement, la répartition des  
10 courants induits, le procédé comprenant les étapes consistant à exciter simultanément un capteur à courants de Foucault à au moins deux fréquences différentes, à acquérir des signaux de mesure correspondant à chacune de ces fréquences, à combiner ces signaux de  
15 mesure, pour obtenir au plus quatre signaux composites dans lesquels l'influence des éléments perturbateurs est minimisée, puis à traiter les signaux de mesure et les signaux composites de façon à obtenir une information relative à des défauts éventuels des crayons.

20 2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel on extrait de chacun des signaux de mesure une composante  $(X_1, X_2, \dots, X_n)$  en phase et une composante  $(Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$  en quadrature, puis on combine ces composantes pour obtenir les signaux composites dont  
25 les composantes en phase  $C_i(X)$  et les composantes en quadrature  $C_i(Y)$  sont déterminées par les relations :

$$C_i(X) = a_{i1}.X_1 + a_{i2}.X_2 + \dots + a_{in}.X_n$$

$$C_i(Y) = b_{i1}.Y_1 + b_{i2}.Y_2 + \dots + b_{in}.Y_n$$

30 dans lesquelles l'indice  $i$  varie, au plus, de 1 à 4, et  $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}$  et  $b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{in}$  sont des coefficients que l'on choisit pour minimiser l'influence des éléments perturbateurs.

3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel on choisit les coefficients lors d'une opération d'apprentissage préalable, de façon à obtenir des signaux composites dont les composantes en phase (C(X))  
5 sont sensiblement constantes en l'absence et en présence de défauts et dont les composantes en quadrature (C(Y)), varient de façon notable en présence de défauts.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel on combine les signaux de mesure en temps réel, au fur et à mesure de leur acquisition.  
10

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel on combine les signaux de mesure en temps différé, après leur acquisition.  
15

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel on combine les signaux de mesure dans un module comprenant des circuits électroniques appropriés.  
20

7. Procédé selon la revendication 6, dans lequel on programme les circuits électroniques appropriés au moyen d'une unité de pilotage associée.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel on combine les signaux de mesure dans un ordinateur auquel est associé un logiciel approprié.  
25

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel on utilise un capteur comportant une bobine unique, fonctionnant à la fois en émission et en réception.  
30

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel on utilise un capteur

comportant deux bobines, fonctionnant respectivement en émission et en réception.

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les signaux de mesure sont de type absolu.

12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, dans lequel les signaux de mesure sont de type différentiel.

13. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, appliqué au contrôle de crayons, comprenant des gaines métalliques ayant subi un traitement de surface et/ou contenant un matériau absorbant présentant des éléments perturbateurs de type géométrique, par exemple un trou.

14. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel on contrôle simultanément plusieurs crayons de la grappe.

15. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel on applique sur la pièce un champ magnétique continu de saturation, tout en excitant le capteur à courants de Foucault.

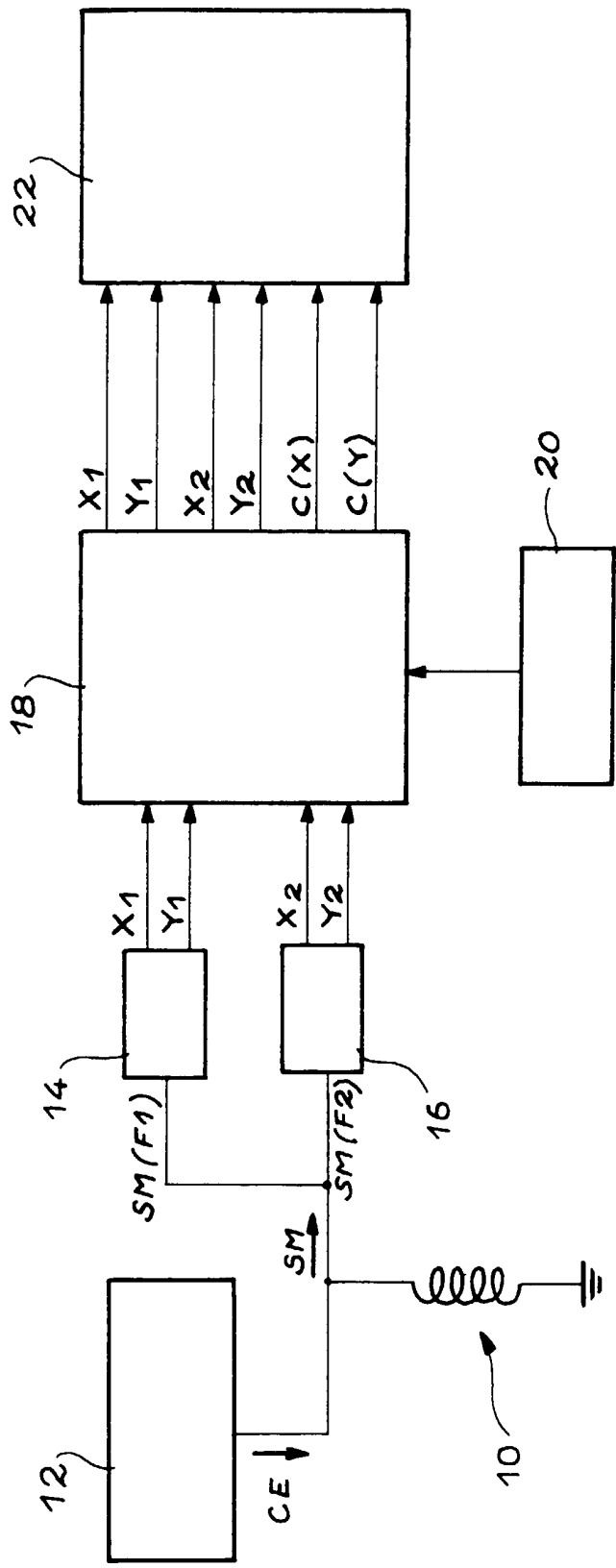


FIG.1

2/4

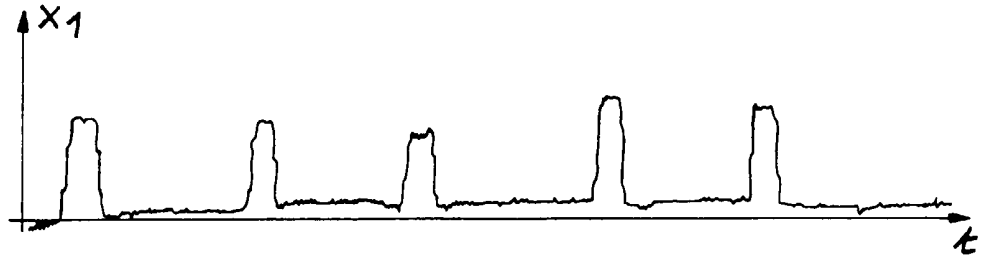


FIG. 2 A

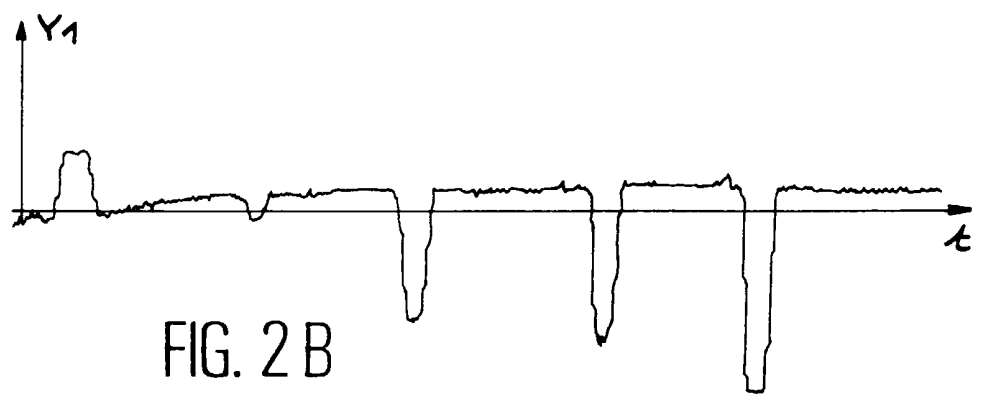


FIG. 2 B

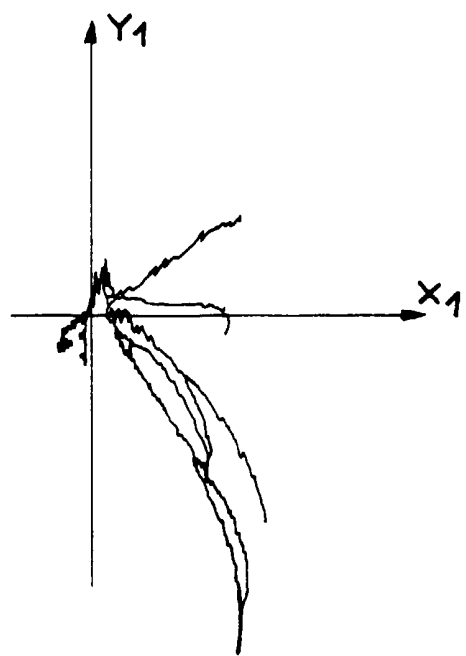


FIG. 3

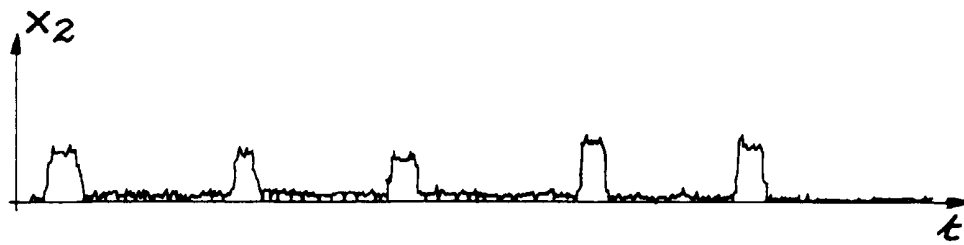


FIG. 4 A

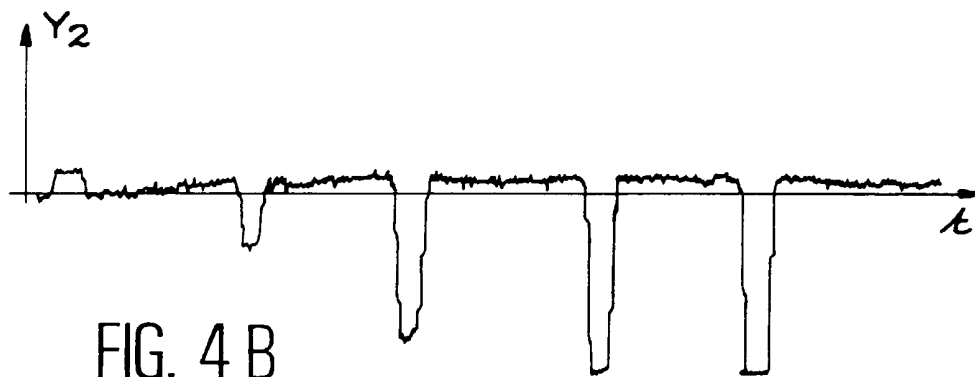


FIG. 4 B

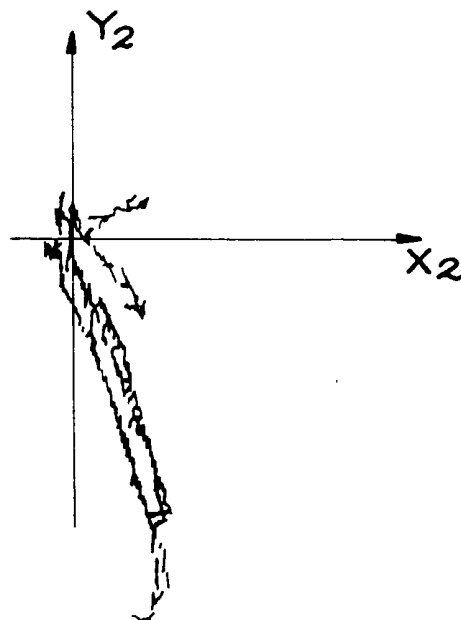


FIG. 5



FIG. 6 A

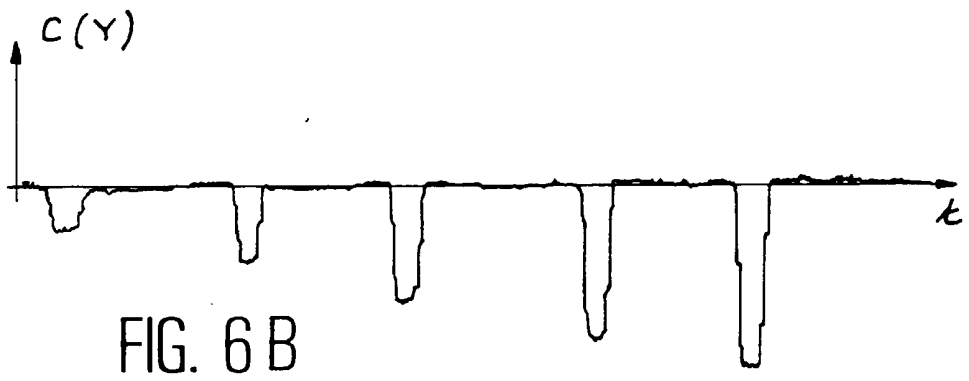


FIG. 6 B

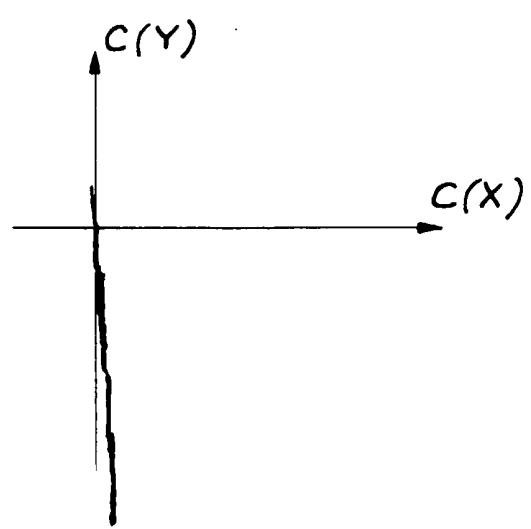


FIG. 7

| DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS   |  | Revendications<br>concernées<br>de la demande<br>examinée |
|---|--|---|
| Catégorie   | Citation du document avec indication, en cas de besoin,<br>des parties pertinentes   |   |
| X   | FR 2 324 003 A (COMMISARIAT A L'ENERGIE<br>ATOMIQUE)<br>* page 2, ligne 22 - ligne 32 *<br>* page 3, ligne 4 - ligne 13; figure 4 *<br>--- | 1   |
| X   | US 4 687 992 A (VON BERNUS ET AL.)<br>* abrégé *<br>* colonne 2, ligne 27 - ligne 48; figure 1<br>*  | 1,4   |
| A   | GB 2 019 005 A (INSTITUT DE RECHERCHES DE<br>LA SIDERURGIE FRANCAISE)<br>* abrégé *<br>* page 3, ligne 1 - ligne 8; figure 2 *<br>-----    | 1,2   |
|   |  | DOMAINES TECHNIQUES<br>RECHERCHES (Int.CL.6)              |
|   |  | G01N  |
| Date d'achèvement de la recherche   |  | Examineur   |
| 22 septembre 1997   |  | Kempf, G  |
| <p><b>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</b></p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul<br/> Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un<br/> autre document de la même catégorie<br/> A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication<br/> ou arrière-plan technologique général<br/> O : divulgation non-écrite<br/> P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention<br/> E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure<br/> à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date<br/> de dépôt ou qu'à une date postérieure.<br/> D : cité dans la demande<br/> L : cité pour d'autres raisons<br/> .....<br/> &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p> |  |   |