

1 NCS

DIVISION DE METALLURGIE ET D'ETUDE  
DES COMBUSTIBLES NUCLEAIRES

DEPARTEMENT DE TECHNOLOGIE

SERVICE DES ELEMENTS COMBUSTIBLES  
ET STRUCTURES

Section des Techniques Avancées

E.P. N° 51002

APPAREIL DE CONTROLE PAR COURANTS DE FOUCAULT

A DOUBLE FREQUENCE CFS-2F

- CAS PARTICULIER DES ECHANGEURS DE FESSENHEIM 1 -

Michel PIGEON - Robert SAGLIO

Journées du contrôle automatique de qualité. Paris,  
France, 8-10 juin 1976

CEA-CONF--3576

FR7603351

rôle

Le Chef de Section



M. CONTRE

RESUME

Le CFS-2F décrit dans ce rapport est un appareil de contrôle par courants de Foucault qui, grâce à un système à deux fréquences judicieusement choisies, permet d'éliminer les signaux non réductibles donnés par les variations dimensionnelles, les plaques, les dudgeonnages, etc..., qui risquent de masquer d'éventuels défauts.

Le cas particulier du contrôle des tubes d'échangeur de FESSENHEIM 1 est ensuite examiné.

S O M M A I R E

RESUME

I. INTRODUCTION

II. DESCRIPTION DE L'APPAREIL CFS-2F

II.1 Rappel du principe du contrôle

II.2 Principe du système d'analyse du CFS-2F

II.3 Divers constituants de l'appareil CFS-2F

II.3.1 Tiroir CFS-2F

II.3.2 Tiroir analyse 2F

II.3.3 Visualisation

II.3.4 Equipement complémentaire

III. CAS PARTICULIER DU CONTROLE DES TUBES DE GENERATEURS  
DE VAPEUR DES CENTRALES PWR

IV. CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

LISTE DES FIGURES

## I. INTRODUCTION

L'appareil CFS-2F, mis au point à la STA, est plus particulièrement destiné à l'examen de faisceaux tubulaires métalliques que l'on trouve généralement dans les échangeurs de chaleur, les condenseurs ou les générateurs de vapeur, et où un contrôle des tubes sur la totalité de leur longueur est exigé.

Les techniques habituelles de contrôle par courants de Foucault qui utilisent une seule fréquence d'examen sont inopérants en certains endroits particuliers, à savoir :

- au niveau des zones cintrées ou des dudgeonnages où il existe une déformation acceptable du tube,
- en présence d'un corps métallique : bord de plaque tubulaire, plaques intermédiaires, barres anti-vibratoires.

Ces discontinuités se manifestent sur l'appareil de contrôle par des signaux extrêmement importants qui masquent les éventuels signaux de défauts plus faibles.

Un autre élément important doit être la simplicité de mise en oeuvre et de réglage de l'appareillage pour éviter les pertes de temps lors des changements de sonde, qualité d'autant plus précieuse qu'un examen rapide est souhaité (examen des tubes de générateurs de vapeur des centrales nucléaires par exemple).

L'appareil CFS-2F décrit ici, palie ces inconvénients en utilisant deux fréquences simultanées qui alimentent un capteur classique. Il dispose principalement d'un tiroir double détecteur, d'un système d'analyse et d'un dispositif de visualisation. On peut lui associer divers types d'enregistreurs graphiques ou magnétiques.

.../...

## II. DESCRIPTION DE L'APPAREIL CFS-2F

### II.1 Rappel du principe de contrôle

La méthode de contrôle par courants de Foucault consiste à étudier les variations des courants induits par le champ alternatif d'une bobine, placée à proximité d'une pièce conductrice plane ou courbe (tube par exemple). Les courants de Foucault qui sont des courants circulaires produisent en retour un champ qui, en s'opposant au champ inducteur, modifie l'impédance du bobinage. Toute discontinuité de la matière qui se présente sous la sonde (changement de géométrie, variation de conductivité électrique, de perméabilité magnétique, criques, etc...) modifie le parcours ou l'intensité des courants de Foucault et par suite, l'impédance du bobinage.

Deux bobinages voisins, alimentés en opposition et placés sur deux branches adjacentes d'un pont de mesure, sont le plus couramment utilisés. Le passage d'un défaut dans le champ du capteur déséquilibre le pont successivement dans les deux sens. La tension obtenue est amplifiée et, après traitement, est visualisée sur un tube cathodique. La composante réelle est appliquée en abscisse X et l'imaginaire en ordonnée Y.

Une discontinuité dans la matière apparaît le plus souvent sur l'écran de l'appareil sous forme d'une courbe en huit qui correspond à son passage successif sous les deux bobinages. Cette courbe peut être identifiée par sa phase et son amplitude.

Ces deux paramètres sont fonction de la fréquence d'examen. Dans le cas d'une sonde se déplaçant dans un tube, les courbes obtenues lorsque le capteur passe successivement sur un défaut interne  $D_i$ , un défaut de surface externe  $D_e$  et au droit d'une plaque intermédiaire métallique P, pour trois fréquences  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$ , sont données par la figure 1.

.../...

A fréquence très basse  $f_1$ , les défauts internes et externes ont la même phase, leur amplitude est faible comparée à celle de la plaque intermédiaire : la profondeur de pénétration étant importante, il y a également création de courants de Foucault dans la plaque.

A fréquence intermédiaire  $f_2$ , le rapport d'amplitude devient plus faible et un déphasage apparaît entre les défauts internes et externes.

Il existe une fréquence  $f_3$  pour laquelle le déphasage entre ces mêmes défauts est de  $90^\circ$  (1). Dans ces conditions la profondeur de pénétration des courants de Foucault est de l'ordre de l'épaisseur de la paroi du tube. Le signal dû à la plaque support devient alors faible. Le rapport entre les amplitudes dues à des défauts internes et externes est de l'ordre de 0,4. Augmenter la fréquence d'examen pour minimiser l'influence de la plaque métallique reviendrait à éliminer les défauts de surface externe.

Lorsqu'un défaut se trouve sur le bord d'une plaque, le signal obtenu est la somme des signaux initiaux (Fig. 3e). Si la déformation est quelquefois visible sur le tube cathodique, elle l'est rarement sur l'enregistrement graphique qui complète l'équipement de mesure, ce dernier étant habituellement saturé par les signaux des plaques.

## II.2 Principe du système d'analyse du CFS-2F

Le système d'analyse reprend l'observation précédente ; pour deux fréquences suffisamment éloignées, les déphasages et les amplitudes obtenus pour les divers défauts sont différents. Si l'on modifie la courbe du support intermédiaire pour la rendre semblable aux deux fréquences choisies, et que l'on effectue une différence, la résultante sera nulle alors qu'elle sera différente de zéro pour les signaux qui restent déphasés.

.../...

### II.3 Divers constituants de l'appareil CFS-2F

L'appareil CFS-2F se présente sous la forme de 2 tiroirs 5U et d'une unité de visualisation (fig. 2).

#### II.3.1 Tiroir CFS-2F

le premier tiroir contient les deux appareils de contrôle par courants de Foucault.

Ces appareils peuvent être utilisés ensemble ou séparément à une fréquence comprise entre 1 et 500 kHz sélectionnée par un module enfichable.

Il comporte :

- deux oscillateurs ajustés aux fréquences d'examen, un circuit sommateur qui permet de doser chacune de ces fréquences, un amplificateur qui alimente le pont par l'intermédiaire d'un transformateur à large bande. Le système de mesure est un pont équilibré suivi d'un préamplificateur de gain 10 dB afin que les signaux aient un niveau suffisant pour les opérations d'équilibrage. Ces dernières consistent à compenser les déséquilibres de construction du capteur en injectant des tensions en phase et un quadrature aux deux fréquences. Le signal de défaut est ensuite amplifié sans saturation. Ses composantes sont ensuite aiguillées en fonction de leur fréquence sur deux voies au moyen de deux filtres passe-bande à forte pente.

Après nouvelle amplification, l'analyse s'effectue dans des échantillonneurs à mémoire qui donnent les composantes réelle X et imaginaire Y du signal pour chacune des deux fréquences.

Le capteur utilisé peut être celui d'un appareil monofréquence classique à condition qu'il soit bien équilibré.

.../...

Chaque voie comporte les réglages suivants :

- un circuit enfichable définit la fréquence,
- un réglage de la tension d'injection,
- un réglage de gain par gammes et vernier.

### II.3.2 Tiroir analyse-2F

Il s'utilise avec le tiroir précédent pour l'acquisition des informations ou seul, pour la relecture, avec, éventuellement, un nouveau traitement.

Il comporte trois canaux qui comportent chacun leur analyse en phase et en modulation :

- fréquence A seule,
- fréquence B seule,
- fréquence A + B après combinaison.

Les deux premiers circuits sont classiques. Le dernier (A + B) permet l'élimination d'un paramètre en effectuant la composition des composantes entre elles.

Un déphaseur 0-360° permet d'orienter les courbes obtenues et éventuellement d'annuler sur l'une des composantes le signal résiduel.

### II.3.3. Visualisation

Elle facilite le réglage de l'ensemble, un commutateur du tiroir analyse permet de visualiser :

- la fréquence A seule,
- la fréquence B seule,
- les fréquences A et B.

C'est dans cette position que s'effectuent la superposition des courbes.

- le résultat A-B

La courbe est débarrassée du signal indésirable.



Cette visualisation peut être faite sur n'importe quel oscilloscope comportant des amplificateurs X et Y.

#### II.3.4 Equipement complémentaire

L'appareil comporte les prises pour exploiter les informations en temps réel sur un enregistreur graphique à large bande et leur stockage éventuel sur un enregistreur magnétique à modulation de fréquence.

### III. CAS PARTICULIER DU CONTROLE DES TUBES DE GENERATEURS DE VAPEUR

Les possibilités de cet équipement CFS-2F sont mises en évidence dans l'application au contrôle des tubes en Inconel 600 des générateurs de vapeur des PWR. Ces tubes ont la forme d'épingles à cheveux de 8 m de parties droites surmontées d'une partie cintrée avec un rayon de courbure variable de 55,6 mm à plus de 1,5 m. Ce tube est "dudgeonné" sur une plaque tubulaire d'environ 550 mm et traverse 8 plaques intermédiaires.

La figure 3 montre les courbes obtenues :

- a) pour un bord de plaque à 240 kHz,
- b) un trou traversant  $\emptyset$  2,5 mm à 240 kHz,
- c) le signal de bord de plaque après analyse,
- d) le signal de trou après analyse,
- e) un trou au niveau du bord du support intermédiaire avant analyse,
- f) ce même trou après analyse.

La figure 4 montre un enregistrement effectué sur un tube de GV de Fessenheim. On distingue 5 voies :

- 1ère voie - voie Yb des défauts externes à la fréquence B,
- 2ème voie - voie Xb des défauts internes à la fréquence B,
- 3ème voie - voie Xa absolue à la fréquence A,

.../...

4ème voie - voie X (a + b) après analyse voie des internes,  
5ème voie - voie Y (a + b) après analyse voie des externes.

Les signaux de supports intermédiaires ont une amplitude négligeable sur les voies analysées. Le dudgeonnage, le bord de plaque et les signaux de cintrage ont considérablement diminué sur la voie des externes Y.(a + b) sur laquelle les défauts risquent d'apparaître lors de la mise en service.

#### IV. CONCLUSION

On dispose d'un matériel apte à supprimer des signaux parasites émanant de supports et autres, et à détecter des défauts qui, avec un appareil classique, seraient invisibles dans ces zones.

Pour passer d'un contrôle d'un tube de géométrie et de matériau donnés à un autre, il est nécessaire de choisir deux nouvelles fréquences. Les réglages du tiroir d'analyse sont également à reprendre, mais cela n'offre aucune difficulté.

Dans le cas particulier de FESSENHEIM 1, l'appareil CFS-2F s'est avéré d'un usage très sûr : des opérateurs, pour la plupart peu entraînés ont pu effectuer les équilibrages nécessaires après le changement de sonde. Les contrôles ont été effectués dans des conditions de chantier (poussières, variations importantes de température, d'humidité, coupures d'air comprimé, d'électricité) assurant ainsi un fonctionnement continu sans défaillance pendant les 500 heures de contrôle.

-----

**B I B L I O G R A P H I E**

---

(1) M. PIGEON

"Contribution à l'étude des courants de Foucault : application  
au contrôle multiparamètre des tubes".

(rapport CEA-R 4073 octobre 1970).

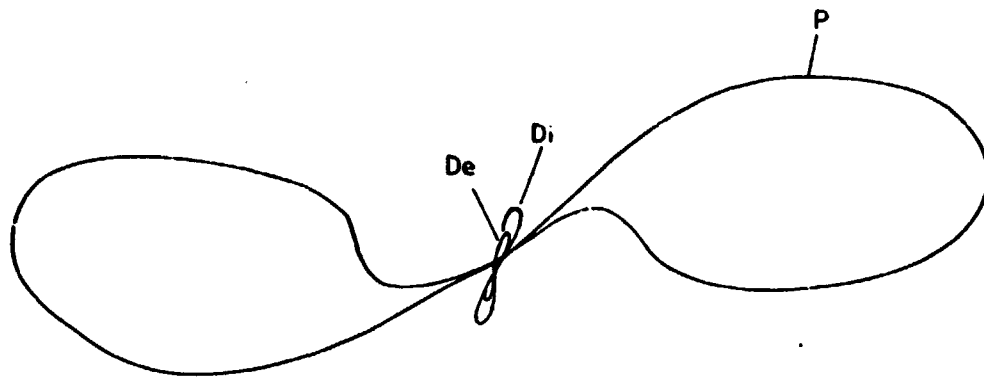
LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Signaux obtenus a divers fréquences

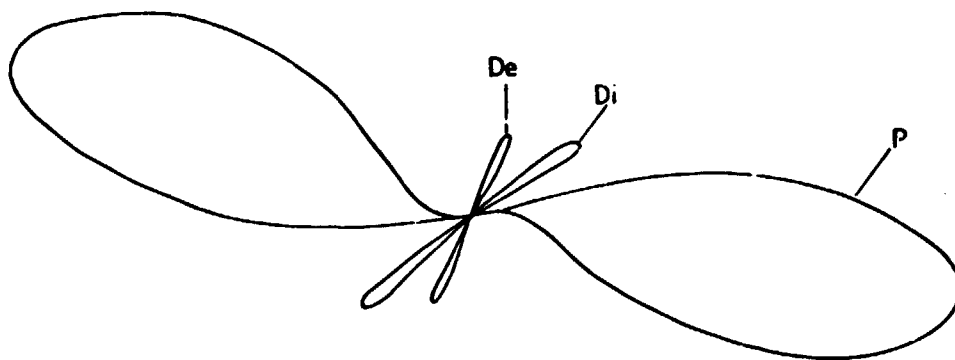
Figure 2 : Ensemble CFS-2F

Figure 3 : Oscillogrammes obtenus avant et après analyse

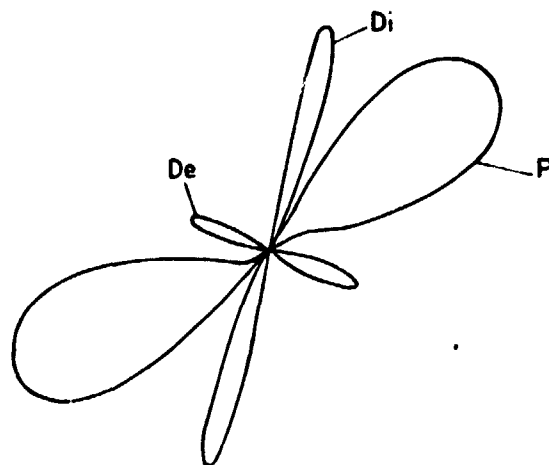
Figure 4 : Enregistrement de l'extrémité d'un tube de générateur de vapeur de FESSENHEIM 1.



a) Fréquence  $f_1$  très basse



b) Fréquence  $f_2$  moyenne



c) Fréquence  $f_3$  haute

Fig.1 - SIGNAUX OBTENUS A DIVERSES FRÉQUENCES

