

# Metoda de curenți turbionari pentru caracterizarea tuburilor sub presiune din reactoare PHWR tip CANDU

## Eddy current method for characterizing the tubes under pressure in CANDU PHWR

R. Grimberg<sup>1</sup>, S. Leitoiu<sup>1</sup>, N. Farbas<sup>2</sup>, Adriana Savin<sup>1</sup>, Rozina Steigmann<sup>1</sup>,  
Nicoleta Iftimie<sup>1</sup>, Alina Bruma<sup>1</sup>, R. Cojocaru<sup>2</sup>, I.R. Popovici<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizică Tehnică Iași, România

<sup>2</sup>Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Sudură și Încercări de Materiale, Timișoara, România

<sup>3</sup>Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Inginerie Electrică, București, România

### Cuvinte cheie

Curenți turbionari, sistem automat, procesare de semnal, PHWR, eșantioane de tuburi.

### 1. Introducere

Operațiunile de evaluare nedistructivă pot fi considerate a se desfășura în două etape:

- Un câmp fizic (forțe selective, câmp electromagnetic, etc) acționează asupra obiectului de examinat și un traductor adecvat convertește răspunsul sistemului într-o mărime care poate fi eșantionată și cuantizată pentru stocare într-un compilator. Această etapă poate fi numită achiziție de date.

- Datele stocate sunt interpretate pentru a putea răspunde următoarelor întrebări: există sau nu defect, și în cazul în care unul din semnalele sau imaginile obținute în prima etapă au fost interpretate ca defect, care este severitatea sa. Această etapă poate fi numită analiză de date.

Pentru o lungă perioadă de timp, atenția comunității evaluărilor nedistructive a fost focalizată pe proiectarea și producerea de echipamente de înaltă calitate, acest deziderat fiind atins odată cu dezvoltarea sistemelor computaționale și a metodelor de procesare digitală a semnalelor și imaginilor [1], [2], [3].

A fost clar că, dacă semnalele și imaginile rezultate din operațiunile de evaluare nedistructivă conțin un nivel scăzut de zgomot, operatorii instruiți adecvat le vor interpreta corect, detectând defectele sau, mai mult, fiind apti să le evalueze cu acuratețe. O serie de teste de tip "round-robin" [4], [5] au arătat ca situația este mult mai complicată, erorile factorului uman fiind mai numeroase decât estimarea inițială.

Centralele nucleare cu reactoare cu apă grea sub presiune (Pressurized Heavy Water Reactor - PHWR) au prevăzut o închidere totală, aproximativ odată pe an, ocazie cu care sunt efectuate un număr mare de examinări nedistructive [6], în special examinarea prin curenți turbionari a fasciculelor tubulare din generatoarele de abur precum și a unui număr de canale de combustibil. Deoarece cantitatea de date de la examinări este foarte mare [6] și pentru a evita erorile datorate factorului uman, în special în cazul lucrului sub stress, s-au dezvoltat principii teoretice, algoritmi și coduri numerice pentru analiza automată a datelor [7], [8], [9].

Datele furnizate de echipamentul de control și traductorii de curenți turbionari trebuie să îndeplinească câteva criterii de calitate astfel ca sistemul de analiză automată a datelor să funcționeze corect.

### Keywords

Eddy current, automatic system, signal processing, PHWR, tubes samples.

### 1. Introduction

The NDE operations can be considered as getting into development in two steps:

- a physical field (selective forces, electromagnetic field, etc.) actions over the examined object and an adequate transducer converts the answer of the system into a size that can be sampled and quantified for storing on a compiler. This stage can be named data acquisition.

- the stored data are interpreted to be able to answer the following questions: there is a flaw or not, and, in the case one of the signals or the images obtained in the first stage has been interpreted as a flaw, which is its severity. This stage can be named data analysis.

For a very long period of time, the attention of the non-destructive evaluation (NDE) community was focused on the design and production of high quality equipments, this desideratum being reached together with the development of the computing systems, as well as of the signal and image digital processing methods [1], [2], [3].

It was clear that, if the signals and images resulted from NDE operation contain a low noise level, the adequate trained operators would interpret them correctly, detecting the flaws and more, being able to evaluate them with high accuracy. A series of round-robin tests [4], [5] have shown that the situation is more complicated, the errors of the human factors being more numerous than the initial estimation.

The Nuclear Power Plants with Pressurized Heavy Water Reactor (PHWR) have foreseen, approximately once a year, an outage, on this occasion a large number of NDE operations being effectuated [6], especially the eddy current examination of the tubes bundles from the steam generators, as well as of a series of fuel channels. As the number of data from the examination is extremely large, and to avoid the errors that the human factors might commit, especially under the circumstances of the stress conditions, theoretical principles, algorithms and numerical codes for the automatic data analysis have been developed [7],[8] [9].

The data delivered by the control equipment and the eddy

Această lucrare propune prezentarea metodelor și algoritmilor pentru analiza de date și rezultatele obținute la inspecția țevilor neiradiate din generatoare de abur realizate din Incoloy 800 și a tuburilor de presiune realizate din aliajul Zr-2.5%Nb. Achiziția de date a fost efectuată cu două tipuri de traductori: traductorul rotativ [11], [12] și traductorul de interior cu câmp magnetic rotitor [13], [14].

## 2. Probele luate în studiu

Au fost luate în studiu țevi realizate din Incoloy 800 cu diametrul interior 12,5mm și grosimea pereților 1,25mm, pe care au fost practicate diferite tipuri de discontinuități utilizând dispozitivul cu electroeroziune. Deoarece în generatorul de abur, placa tubulară și barele antivibrare sunt realizate din oțel feromagnetic, s-a simulat prezența lor înșărând tuburile în găurile practicate într-o placă din oțel feromagnetic.

Pentru a dezvolta sistemul automat de analiză a datelor pentru evaluarea tuburilor de presiune din PHWR au fost studiate eșantioane din tuburi de presiune din Zr-2,5%Nb cu diametrul 103x4,1mm pe care s-au practicat discontinuități artificiale și zgârieturi care să simuleze efectele mașinii de încărcare-descărcare a combustibilului nuclear.

## 3. Echipamentul experimental

Traductorii de curenți turbionari au fost realizați în cadrul Laboratorului de Control Nedestructiv de la Institutul Național de Cercetare Dezvoltare pentru Fizică Tehnică Iași, România. Deoarece traductorul rotativ este bine cunoscut în practică, în figura 1 sunt prezentate doua variante de traductori de curenți turbionari cu câmp magnetic rotitor.

Deplasarea traductorilor în interiorul tuburilor examinate a fost efectuată cu un sistem de deplasare X-Y produs de Newmark

current transducers shall fulfill certain quality criteria, in order that the automatic data analysis systems function correctly.

This paper aims to present the methods and the algorithms for data analysis, and the results obtained at the inspection of non-irradiated steam generator tubes, made of Incoloy 800 and of pressure tubes samples made of Zr2.5%Nb. The data acquisition has been made using two types of transducers: the rotating probe [11], [12], and the inner eddy current transducer with rotating magnetic field [13], [14].

## 2. Studied samples

There have been taken into study tubes made of Incoloy 800 with  $15.8 \times 1.12$ mm diameter, on which different types of discontinuities have been practiced, using the electro discharge machine. Because in steam generators the tube sheet, and the anti-vibration bars are made of ferromagnetic steel, their presence has been simulated by inserting them in the holes with 16mm diameter, practiced in a ferromagnetic steel plate.

In order to develop an automatic data analyzer system for eddy current evaluation of the pressure tubes in PHWR, tubes samples made of Zr2.5%Nb, with the diameter of 103x4.1mm, have been taken into study, on which there were made artificial discontinuities and scratches that simulate the effects of fuel-loading - unloading machine.

## 3. Experimental set-up

The eddy current transducers have been made in the Non Destructive Testing Laboratory from the National Institute of Research and Development for Technical Physics (NIRDTP) Iasi, Romania. As the rotating probe is well-known in usual practice, in Figure 1 there are presented the two variants of eddy current transducers with rotating magnetic field.

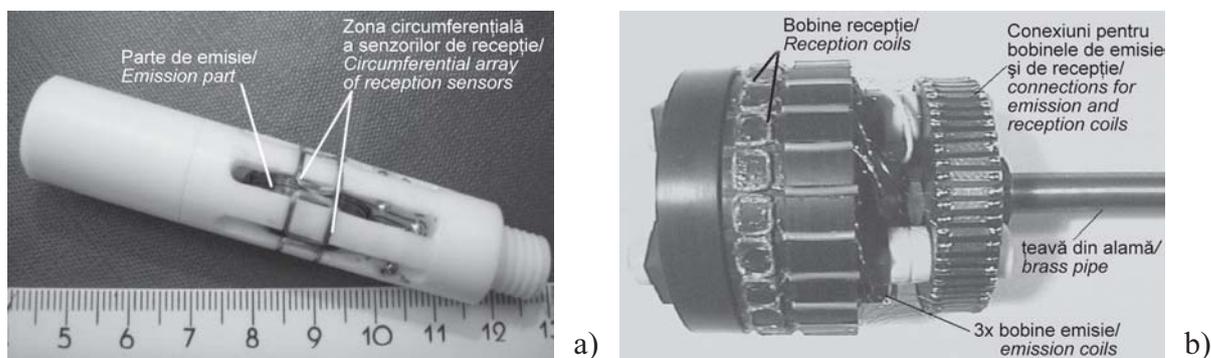


Figura 1. Traductorul de interior cu câmp magnetic rotitor: a) traductor pentru examinarea tuburilor din generatoare de abur; b) traductor pentru examinarea tuburilor de presiune/

Figure 1. Eddy current inner transducers with rotating magnetic field: a) the transducer for examination of steam generator tubes; b) the transducer for examination of pressure tubes

SUA care are posibilitate de rotație, fiind conectat la un calculator prin interfața RS232.

Semnalul de ieșire a traductorului a fost măsurat cu un analizor de rețea/spectru/ impedanță tip 4395A produs de Agilent SUA, conectat la același calculator prin interfața PCIB, tip IEEE 482.2. Același calculator achiziționează și salvează rezultatele controlului într-o manieră convenabilă.

S-a utilizat controlul multifrecvență. În cazul țevilor din generatoare de abur frecvențele utilizate au fost 10 kHz, 100 kHz, și 200 kHz. Setarea funcționării și calibrarea s-a făcut ținând cont de codul ASME, secțiunea V, anexele 1 și 2 [15].

The displacement of the transducers inside the examined tubes has been made using an X-Y displacement system, produced by Newmark USA, which has the possibility of rotation, being connected with a PC using a RS232 interface.

The output signal of the transducer has been measured with Network/Spectrum/Impedance Analyzer 4395A produced by Agilent USA, connected to the same PC using a PCIB interface, IEEE 482.2 type. The same PC will acquire and save the results of the control into a convenient manner.

The multi-frequency control was used. In the case of the tubes from the heat exchangers, the frequencies were 10 kHz,

În cazul examinării mostrelor de tuburi de presiune s-au utilizat doar două frecvențe: 64 kHz și 200 kHz. Defectele de calibrare corespund standardelor [6].

## 4. Principiul analizei datelor

Schema propusă pentru analiza datelor este prezentată în figura 2. Datele furnizate de echipament și de traductorii de curenți turbionari sunt preprocesate. Această etapă poate conține un număr variabil de sarcini, depinzând de tipul de traductor utilizat și de obiectul de controlat.

În figura 3 prezentăm un exemplu pentru cazul controlului țevilor din generatoare de abur din centrale nucleare tip PHWR.

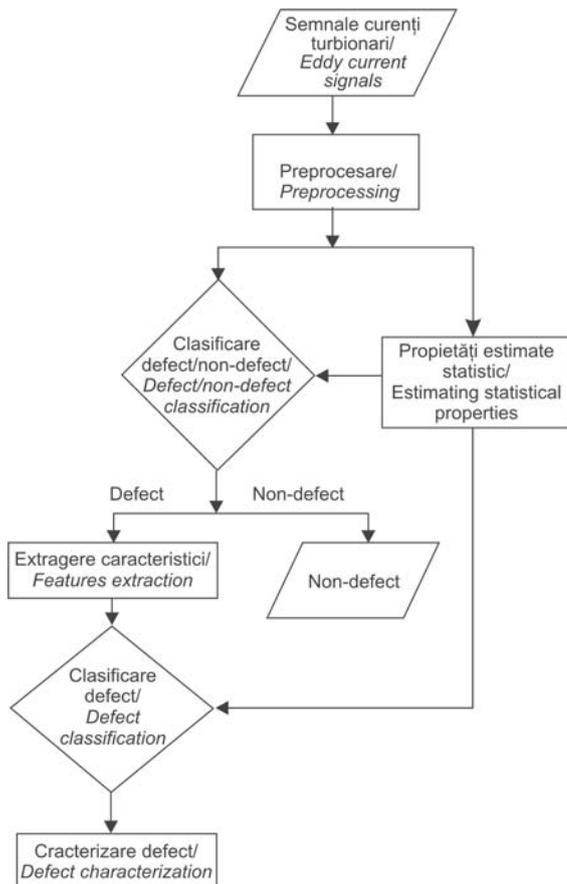


Figura 2. Diagrama analizei de date /  
Figure 2. Data analysis flow chart

În cazul utilizării traductorului rotativ, poziția unghiulară a traductorului este determinată prin sincronizarea specială a impulsurilor. În cazul în care, datorită unor cauze diferite, rotația traductorului este neuniformă, prin operația de sincronizare se urmărește restaurarea frontului impulsurilor astfel ca procesarea semnalului să permită obținerea unei imagini 2D a tubului desfășurat.

În timpul deplasării traductorului, acesta poate ajunge în zona barelor antivibrare. Aceasta zonă este extrem de vizibilă la utilizarea frecvenței joase de 10kHz, de aceea, utilizând segmentarea, regiunea în care se găsesc barele antivibrare va fi clar marcată, restul operațiilor fiind cele din cazul metodei multifrecvență. Operațiunea de calibrare implică scalarea datelor obținute și modificarea fazei astfel ca datele să corespundă calitativ cu altele obținute de pe standardul ASME.

În cazul în care se utilizează traductorul cu câmp magnetic rotitor [14], schema de preprocesare este similară. Deoarece traductorul nu trebuie să se rotească pentru a examina întreaga

100 kHz, and 200 kHz. The checking of the functioning and tuning were made taking into consideration the ASME standards, section V, art. 8, app1 and 2 [15].

In the case of the examination of the pressure tubes samples, only two frequencies were used: 64 kHz and 200 kHz. The calibration flaws correspond to the standards [6].

## 4. Data analysis principle

The proposed data analysis scheme is presented in Figure 2. The data provided by the equipment and by the eddy current transducers utilized are pre-processed. This stage can contain a variable number of tasks, depending on the type of transducer used and the object to be controlled.

We will give an example for the case of the steam generator tubes control in PHWR nuclear power plants (Figure 3)

In case of using the rotating probe, the angular position of the transducer is determined by the special synchronization impulses. When, due to different causes, the rotation of the transducer is non-uniform, through the operation of synchronization it is aimed the restoration of the impulses fronts, as well as the signal processing that will allow the obtaining of the 2D images of the unrolled tube.

During the transducer's displacement in the tube, it can reach zones where anti-vibration grids are. These zones are extremely visible when a low frequency of 10 kHz is used. Therefore,

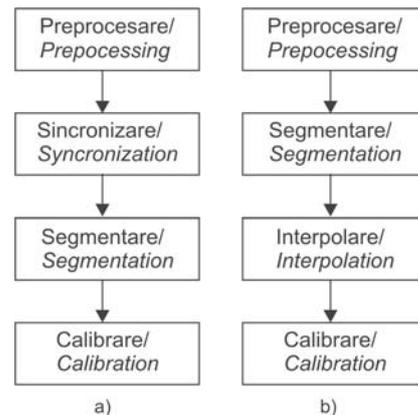


Figura 3. Schema de procesare: a) pentru traductor rotativ;  
b) pentru traductor cu câmp magnetic rotitor /  
Figure 3. Processing scheme: a) for the rotating probe;  
b) for the transducer with rotating magnetic field.

using the segmentation, the regions in which the anti-vibration grids exist will be clearly marked, the remaining operations following as in the multi-frequency method. The operation of calibration implies the scaling of the obtained data and the corresponding phase shift, in order that the data shall correspond qualitatively with the data obtained from the ASME standard.

When the transducer with the rotating magnetic field is used [14], the pre-processing scheme is similar. As the transducer does not have to rotate in order to examine the entire circumference of the tube, the stage of the synchronization does not exist. Because the number of reception coils of the transducer is limited due to the constructive reasons, the signals will be interpolated to obtain a sufficient number of voxels on the image.

The classification block, of defect or non defect type, is based on the use of the information delivered by the block for the estimation of statistical properties of the signals/images. An

circumferință a tubului, etapa de sincronizare nu există. Deoarece numărul de bobine de recepție a traductorului este limitat din motive constructive, semnalul va fi interpolat pentru a obține un număr suficient de voxelii pe imagine.

Blocul de clasificare defect -nondefect se bazează pe utilizarea informației furnizate de blocul de estimare a proprietăților statistice a semnalelor/imaginilor. Se utilizează un prag autoadaptiv și criteriul Neyman Pearson care pentru examinarea prin curenți turbionari poate fi formulat în următorul mod: probabilitatea de detecție este maximizată, menținând probabilitatea de falsă alarmă cel puțin la un nivel specificat.

Vom detalia funcționarea acestui bloc.

Fie  $\bar{y}_i$  semnalul dat de echipament în timpul controlului.

Considerăm că  $f(\bar{y}|H_0)$  și  $f(\bar{y}|H_1)$  sunt densitățile lui  $\bar{y}$  condiționate de următoarele ipoteze:

-  $H_0$ : semnalul dat de zona fără defect are o distribuție gaussiană cu medie nulă și dispersie  $\sigma_{nd}$

-  $H_1$ : semnalul dat de zona cu defect are deasemenea distribuție gaussiană cu medie  $m$  și dispersie  $\sigma_d$ .

Considerând că cele două semnale conțin  $N$  eșantioane, se poate scrie

$$f(\bar{y}|H_0) = (2\pi\sigma_{nd})^{-\frac{N}{2}} \exp\left[-\sum_{i=1}^N (y_i^2 / (2\sigma_{nd}^2))\right] \quad (1)$$

$$f(\bar{y}|H_1) = (2\pi\sigma_d)^{-\frac{N}{2}} \exp\left[-\sum_{i=1}^N (y_i - \mu)^2 / (2\sigma_d^2)\right] \quad (2)$$

Utilizând lema Neyman-Pearson, raportul probabilităților poate fi scris ca:

$$L(\bar{y}) = \frac{f(\bar{y}|H_1)}{f(\bar{y}|H_0)} \quad (3)$$

Detectorul optim utilizând (3) este:

$$\sum_{i=1}^N y_i : \begin{cases} < T \Rightarrow H_0 \\ > T \Rightarrow H_1 \end{cases} \quad (4)$$

unde:

$$T = \sqrt{N} \cdot \sqrt{\sigma_{nd}\sigma_d} \Phi^{-1}(1 - \alpha_0) \quad (5)$$

$\alpha_0$  = maximul probabilității de falsă alarmă

$\Phi(1 - \alpha_0)$  = funcția de distribuție cumulativă.

În același timp, pragul  $T$  trebuie să fie mai mare sau egal decât semnalul furnizat de discontinuitățile cu severitate mai mică decât 10% din grosimea de perete, discontinuități care în general nu sunt raportate.

Odată ce prin metoda propusă se consideră că semnalul de la traductor într-o anumită regiune a tubului controlat provine de la un defect, va apare problema clasificării acestuia. Modulul corespunzător din diagrama prezentată în figura 2 reprezintă o rețea neurală cu un strat ascuns (figura 4).

Numărul de neuroni din stratul de intrare este egal cu numărul de trăsături a semnalului furnizat de defect. Numărul de neuroni din stratul de ieșire furnizează informații despre dimensiunile geometrice ale defectului, orientarea și tipul degradării: coroziune fisurantă sub sarcină (ODSCC -Outer Diameter Stress Corrosion Cracking), atac intergranular pe suprafața interioară (ID IGA - Inner Diameter Intergranular Attack), ciupituri, subțieri și uzură.

Pentru o clasificare corectă a datelor, rețeaua neurală trebuie antrenată utilizând o bază de învățare realizată din cât mai multe

auto-adaptive threshold is used, as well as the Neyman-Pearson criterion that can be formulated in the following way for the problem of eddy current examination: the probability of detection is maximized, maintaining the probability of false alarm at least at a specified level.

We will detail the functioning of this block.

Let  $\bar{y}_i$  be the signal given by the equipment during the control. We consider that  $f(\bar{y}|H_0)$  and  $f(\bar{y}|H_1)$  are the densities of  $\bar{y}$  conditioned by the following hypothesis:

-  $H_0$ : the signal given by a non-defect zone has a Gaussian distribution with null average and the dispersion  $\sigma_{nd}$

-  $H_1$ : the signal given by a defect zone has also a Gaussian distribution, with the  $m$  average and  $\sigma_d$  dispersion

Considering that the two signals contain  $N$  samples, it can be written that:

$$f(\bar{y}|H_0) = (2\pi\sigma_{nd})^{-\frac{N}{2}} \exp\left[-\sum_{i=1}^N (y_i^2 / (2\sigma_{nd}^2))\right] \quad (1)$$

$$f(\bar{y}|H_1) = (2\pi\sigma_d)^{-\frac{N}{2}} \exp\left[-\sum_{i=1}^N (y_i - \mu)^2 / (2\sigma_d^2)\right] \quad (2)$$

Using the Neyman -Pearson lemma, the likelihood ratio can be written as:

$$L(\bar{y}) = \frac{f(\bar{y}|H_1)}{f(\bar{y}|H_0)} \quad (3)$$

The optimum detector using (3) is:

$$\sum_{i=1}^N y_i : \begin{cases} < T \Rightarrow H_0 \\ > T \Rightarrow H_1 \end{cases} \quad (4)$$

where:

$$T = \sqrt{N} \cdot \sqrt{\sigma_{nd}\sigma_d} \Phi^{-1}(1 - \alpha_0) \quad (5)$$

$\alpha_0$  = the maximum probability of false alarm

$\Phi(1 - \alpha_0)$  = the cumulative distribution function.

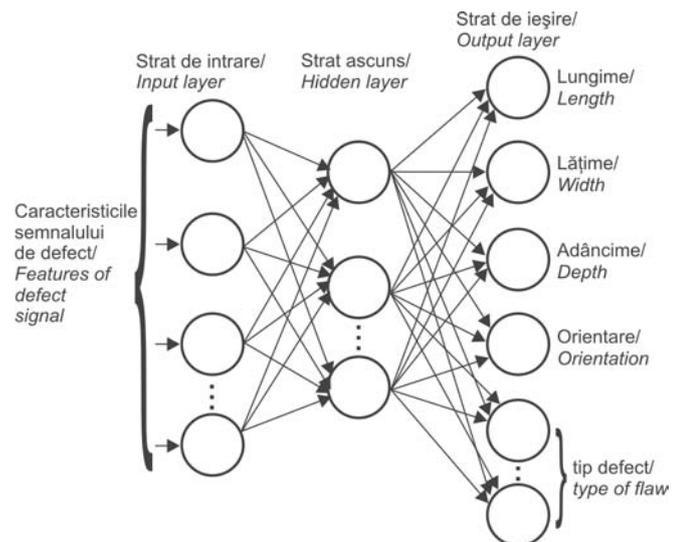


Figura 4. Sistem neural pentru analiza automată a datelor/  
Figure 4. Neural system for automatic data analyses

At the same time, the threshold  $T$  must be greater than or equal to the signals provided by the discontinuities with severities less than 10% of the thickness of the wall, discontinuities that in general are not reported.

As soon as through the proposed method it is considered

semnale de defecte complet caracterizate prin alte mijloace. De obicei bazele de date pentru antrenare conțin câteva mii de semnale [16]. Deoarece cercetările efectuate au utilizat doar defecte de tip EDM practicate pe țevi din generatoare de abur și pe tuburi de presiune neiradiate, nu am simulat ODSCC, ID IGA, ci doar ciupiturile, subțierile și uzura.

Extragerea de caracteristici dintr-un semnal se poate face prin două procedee:

a) cât mai aproape de metodele de analiză de date care utilizează operator uman; caracteristicile în acest caz pot fi maximul și minimumul amplitudinii, informații de fază, etc.

b) fără să aibă legătură intrinsecă cu parametri folosiți de operatorul uman, în acest caz componentele reale și imaginare ale semnalului pot fi descompuse prin diferite metode tipice de

that the signal provided by the transducer in a certain region of the controlled tube is coming from a defect, it will appear the problem of its classification. The corresponding modulus from the flaw chart presented in Figure 2 represents a neural network with a hidden layer presented in Figure 4.

The number of neurons from the input layer is equal to the number of the features of the signal provided by the defect. The number of neurons from the output layer provides the information about the geometrical dimensions of the defect, its orientation, and the type of degradation: ODSCC (Outer Diameter Stress Corrosion Cracking), ID IGA (Inner Diameter Intergranular Attack), pitting, thinning and wear.

For a correct classification of the data, the neural network must be trained using a 'learning base' made of many more

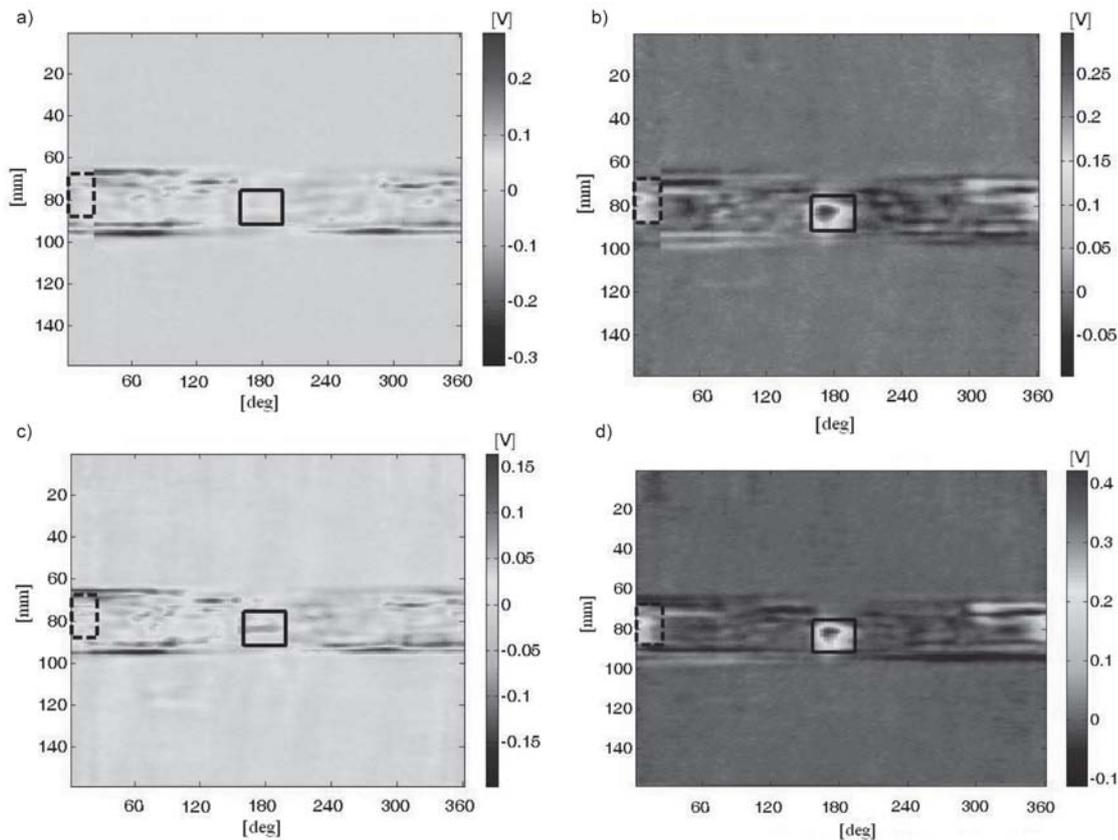


Figura 5. a) Componenta reală pentru 100 kHz; b) Componenta imaginară pentru 100 kHz; c) Componenta reală pentru 200 kHz; d) Componenta imaginară pentru 200 kHz./

Figure 5. a) the real component for 100 kHz; b) the imaginary component for 100 kHz; c) the real component for 200 kHz; d) the imaginary component for 200 kHz.

procesare digitală de semnale/imagini. Am utilizat descompunerea wavelets a celor două componente folosind „mother wavelets-Daubechey 2” [17]. Datorită ortogonalității semnalelor descompunerea este unică și admite transformata inversă.

## 5. Rezultate experimentale

În figurile 5 a, b și c sunt prezentate componentele reale și imaginare ale semnalului furnizat de traductorul cu sondă rotativă la 100kHz și 200kHz după minimizarea efectului barelor antivibrante.

Pe imagini au fost marcate două regiuni de interes (ROI - regions of interest), regiunea marcată cu linie continuă conține într-adevăr informația de defect, pe când cea marcată cu linie punctată conține o indicație de amplitudine mare, care se va dovedi a nu fi indicație de defect.

signals given by the defects completely characterized by other means. Usually, the database for the training contains thousands of signals [16].

As in our research we have used only the defects of EDM type practiced on steam generator tubes, and on non-irradiated pressure tubes, we did not simulate the ODSCC, ID IGA, but only the pitting, thinning, and wear.

The features extraction from a signal can be made using two procedures:

a) As close as possible to the methods of defect analysis that are using the human operator; the features in this case can be: the maximum and the minimum of the magnitude, phase information, etc.

b) Without an intrinsic connection with the parameters used by the human operator, in this case the real and the imaginary

În figura 6a prezentăm histogramele valorilor pixelilor (amplitudinea semnalului) pentru cele două ROI pentru frecvența de 100kHz, analizându-se doar componenta imaginară a semnalelor. În figura 6b este prezentat modul de stabilire a pragului auto adaptiv dacă se admite o probabilitate de falsă alarmă de 5%.

components of the signal can be decomposed using different typical methods of digital signal/image processing. We used the wavelets decomposition of the two components, by mother wavelets-Daubechey 2 [17].

Due to the orthogonality of the signals, the decomposition is unique, and will admit the inverse transform.

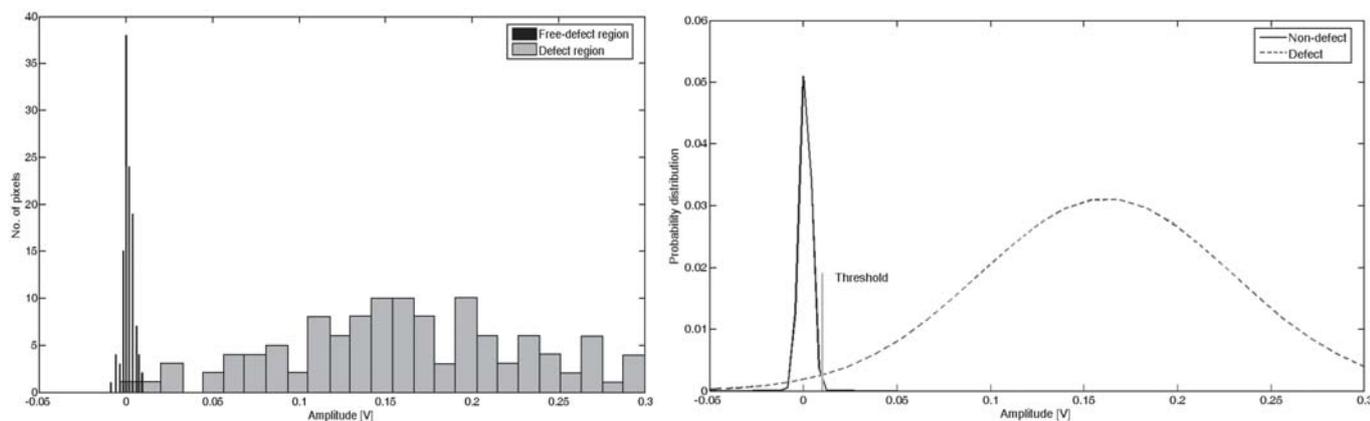


Figure 6. a) Histograma amplitudinii semnalelor din cele doua ROI pentru componenta imaginara la 100 kHz.; b) densitatea de probabilități și alegerea pragului autoadaptiv defect-nondefect pentru o probabilitate de falsă alarmă de 5%/

Figure 6. a) Histogram of the amplitude of the signal from the 2 ROI boxes for the imaginary component using the frequency of 100 kHz; b) The density of probability and the choosing of the auto-adaptive threshold defect-non defect, for a probability of false alarm of 5%.

Extragerea caracteristicilor a fost realizată în Matlab 7.0, mediul de programare în care s-au efectuat toate calculele și s-a creat sistemul neural pentru analiza datelor.

Bazele de date pentru antrenare și testare au avut structura prezentată în tabelul 1.

Rezultatele testării cu sistemul automat propus sunt prezentate în tabelul 2.

## 5. Experimental results

In Figure 5 a, b, c, d are presented the real and the imaginary components of the signal delivered by a transducer with the rotating probe, at 100 kHz and 200 kHz frequencies after the minimization of the effect of the anti-vibration grids.

On the images two regions of interest (ROI boxes) have been marked, the region marked with solid line contains indeed a

Tabelul 1. Structura bazei de date/ Table 1. The structure of the database

Clasificare/ Classification	Antrenare/ Training	Testare/ Testing	Total
Non-defect	19	8	27
Slot axial/ Axial slot	10	6	16
Slot circumferențial/ Circumferential slot	10	6	16
Ciupituri/ Pitting	7	3	10
Uzură/ Wear	6	2	8

Tabelul 2. Rezultatele clasificării automate/ Table 2. The results of automatic classification

Clasificare/ Classification	Numărul de indicații corecte/ Number of correction indicators	Numărul de clasificări obținute/ Number of obtained classification	Deviația/ Deviation (%)	Observații/ Observation
Non -defect	8	8	0	-
Slot axial/ Axial slot	6	7	+17%	O ciupitură a fost indicată ca slot axial/ A pitting was indicated as being an axial slot
Slot circumferențial/ Circumferential slot	3	3	0	-
Ciupitură/ Pitting	3	2	-33%	O ciupitură a fost indicată ca slot axial/ A pitting signal was identified as being an axial slot
Uzură/ Wear	2	2	0	-

Analizorul automat de date lucrează suficient de corect chiar și în cazul examinării tuburilor de presiune, rezultatele fiind prezentate în [14].

## 6. Concluzii

Au fost testate prin curenți turbionari, țevi din generatoare de abur și tuburi de presiune din reactoare PHWR utilizând traductori rotativi și traductori de interior cu câmp magnetic rotitor.

Toate defectele artificiale practicate pe cele două tipuri de tuburi au fost indicate corect, raportul semnal/zgomot fiind mai bun ca 5:1, metoda de prag autoadaptiv funcționând corect.

Metoda de extragere a trăsăturilor utilizând „mother Wavelets Daubechey 2” chiar dacă are o semnificație fizică redusă pentru operatorii de examinări nedestructive prin curenți turbionari se dovedește a funcționa perfect.

Sistemul neural dezvoltat lucrează corect cu toate că atât baza de antrenare cât și baza de testare sunt reduse.

*Aceasta lucrare este suportată de Ministerul Educației și Cercetării, prin Programul de Cercetare de Excelență, Contract CEE-MATNANTECH nr.71/2006, acronim EDDY.*

## Bibliografie/ Bibliography

- [1] Bar-Cohen Y.: Emerging NDE Technologies and Challenges at the Beginning of the 3rd Millenium, part I, NDT.net – 5, (2000)
- [2] Lothr B.P.: Signal Processing & Linear System, Oxford University Press, NY, 1998
- [3] Meher S.K., Shankar B.U., Ghosh A.: Multispectral Remote Sensing Image Classification Using Wavelets Based Features, în Soft Computing în Image Processing, Eds. M.Nachtegel, Springer Berlin, 2007. p. 3-34
- [4] Bieth M., Birac C., Camby R.: Evolution of the PISC III Results on steam generator tubes in-service inspection, NDT.Net, 6, 2001
- [5] xxx: Intercomparison of techniques for inspection and diagnostics of heavy water reactor pressure tubes-IAEA TECDOC 1494, 2006
- [6] xxx: Periodic Inspection of CANDU Nuclear Power Plant Components, National Standards of Canada, CAN/CSA – N285.4 (1994)
- [7] Ramuhalli P., Udpa L., Udpa S.S.: Electromagnetic NDE signal inversion by function-approximation neural, IEEE Trans. On Magnetics, 38, (2002), p. 3633-3642
- [8] Lunin V., Zhadonov A.: Automated Data Analysis în Eddy Current Inspection of Steam Generator, Proceedings of European Conference of NonDestructive Testing, berlin, 2006, www.ndt.net/article/ecndt2006
- [9] Sullivan S.P. ș.a.: Applying computer modelling to eddy current signal analysis for steam generator and heat exchange tube inspection, Rev. of Progress în QNDE, Eds. D.O.Thompson and D.E.Chimenti, Plenum Press, NY 2000, p. 401-408
- [10] xxx: Eddy Current Data Quality Parameters for Inspection of Steam Generator Tubes, vol.1, 2 and 3, Technical Report EPRI, Palo Alto, CA, USA, 2001
- [11] Gramz M., Stepinski T.: Eddy Current Imagin array sensors and flaw reconstruction, Research în Nondestructive Evaluation, 5, (1994), p. 157-174
- [12] Cecco V.S, Van Drunen G., Sharp F.L.: “Eddy Current Testing Manual, Vol. 1”, AECL Report, AECL-7523, 1981, Chalk River, Ontario, Canada.

defect information, while the one marked with dashed line contains a high amplitude indication, which will be proved as not being an indication of defect.

In Figure 6 a we present the histograms of the values of the pixels (amplitude of the signal) for the two ROI boxes, for the frequency of 100 kHz only the imaginary component of the signals being analyzed. In Figure 6 b it is presented the mode of establishing the auto-adaptive threshold, if there is a false alarm probability of 5%.

Feature extraction has been made using a specialized toolbox of Matlab 7.0, the programming environment in which all the calculations were effectuated, and the neural system for the data analyzer has been created.

The database for training and testing is presented in Table 1.

The results obtained with the proposed automatic system are presented in Table 2.

Automatic data analyzer works correctly enough even in the case of the examination of the pressure tube samples, the results being presented in [14].

## 6. Conclusions

Samples of tubes from steam generators and pressure tubes from PHWR have been tested with eddy currents, using rotating probes and inner transducers with rotating magnetic field.

All the artificial defects practiced on the two types of tubes have been correctly identified, the signal/noise report being better than 5:1, the auto-adaptive threshold method being correct.

The feature extraction method using mother Wavelets Daubechey 2, even if it has a reduced physical signification for the non destructive eddy currents operators, proves to be correct.

The neural system developed is working correctly, even if the base for training and the base for testing are small.

*This paper is supported by the Romanian Ministry of Education and Research - Research of Excellence Program, Contract No. 71/2006 EDDY.*

[13] Grimberg R., Udpa Lalita, Savin Adriana, Steigmann Rozina, Udpa S.: INNER EDDY CURRENT TRANSDUCER WITH ROTATING MAGNETIC FIELD. Theoretical model – forward problem, Research în Nondestructive Evaluation, 2005, Springer-Verlag New York, LLC, vol 16, issue 2, p. 79-100

[14] Grimberg R., Udpa Lalita, Savin Adriana, Steigmann Rozina, Udpa Satish S.: INNER EDDY CURRENT TRANSDUCER WITH ROTATING MAGNETIC FIELD; experimental results: APPLICATION TO NONDESTRUCTIVE EXAMINATION OF PRESSURE TUBES ÎN PHWR NUCLEAR POWER PLANTS, Research în Nondestructive Evaluation, 2005, Springer-Verlag New York, LLC, vol 16, issue 2, p. 65-78, ISSN: 0934-9847

[15] xxx: Code ASME, Section V, art.8, app.1 and 2., 2002

[16] xxx: Automated Analysis Performance Demonstration Database, Technical Report 1009144, EPRI, Palo Alto, CA, USA, 2003

[17] Daubechies I.: Ten Lectures on wavelets, CBMS-NSF Lecture Notes no.61, SIAM, (1992)

