

Traductor de curenți turbionari cu câmp magnetic rotitor de interior. Aplicație la examinarea tuburilor din generatoare de abur din centrale nucleare PHWR

Inner Eddy current transducer with rotating magnetic field. Application to examination of fuel channels of PHWR nuclear power plant

R. Grimberg², N. Farbaș¹, L. Udpa³, A. Savin², S. Leițoiu², S.S. Udpa³

¹ Institutul National de C&D în Sudură și Încercări de Materiale, Timișoara, Romania

² Institutul National de C&D pentru Fizica Tehnica, Iași Romania

³ Michigan State University - Department of Electrical & Computer Engineering USA

Cuvinte cheie

Traductor, curenți turbionari, generator abur, centrală nucleară

Keywords

Transducer, Eddy current, fuel channel, nuclear power plant

1. Introducere

La sfârșitul anului 2006, în lume funcționau 443 de centrale nucleare în 31 de țări, producând aproximativ 307GW (e), reprezentând 16% din capacitatea mondială de producție a energiei electrice [1].

Unul din criteriile de clasificare a reactoarelor nucleare este reprezentat de tipul moderatorului. Reactoarele care utilizează apa grea (D_2O) ca moderator reprezintă o categorie importantă, cele mai cunoscute fiind Pressurized Heavy Water Reactor (PHWR) în varianta CANDU. Acest tip de reactor utilizează apa grea atât ca moderator cât și ca lichid de răcire, în două circuite separate:

- Sistemul de transport a căldurii la presiune și temperaturi înalte (sistemul de răcire a reactorului) prin care circulă D_2O printre canalele de combustibil pentru a prelua căldură produsă de fisiune în combustibil

- Sistemul moderator de răcire la presiune scăzută în care circula D_2O ca moderator înconjurând canalele de combustibil prin schimbătoarele de căldură pentru a îndepărta căldura generată în moderator.

Reactoarele CANDU pot opera cu combustibil – uraniu natural ($\sim 0,7\% U^{235}$), sau cu alți combustibili cu conținut scăzut de material fisibil.

Ansamblul de transport al căldurii în CANDU6 (600 MW(e)) conține două bucle (Figura 1). Prin fiecare buclă circulă apa grea presurizată ca răcitor prin cele 190 de canale de combustibil localizate pe o parte a centrului planului vertical a reactorului. Fiecare buclă conține 2 pompe, 2 generatoare de abur, 2 colectoare de intrare și 2 de ieșire, țevile conectoare, aranjate în forma de „opt”, pompele și colectoarele sunt localizate deasupra reactorului pentru a facilita circulația răcitorului prin termosifonare.

Generatorul de abur este prezentat în figura 2.

Generatorul de abur transferă căldură de la răcitorul

1. Introduction

At the end of 2006, in the world, 443 Nuclear Power Plants operated in 31 countries, producing approximately 307GW (e), representing 16% of the capacity of worldwide electrical energy production [1].

One of classification criteria for nuclear reactors is represented by the type of moderator. The reactors which use heavy water (D_2O) as moderator represent an important category, the most known type being the Pressurized Heavy Water Reactor (PHWR) in CANDU variant. This type of reactor uses heavy water both as a moderator and as a coolant fluid, in two separate circuits:

- the high pressure and high temperature heat transport system (the reactor coolant system) that circulates D_2O coolant through the fuel channels to remove the heat produced by fission in the fuel;

- the low pressure cool moderator system that circulates the D_2O moderator surrounding the fuel channels through the heat exchangers to remove the heat generated in the moderator.

CANDU reactors can operate on natural uranium fuel ($\sim 0,7\% U^{235}$), or other fuels with low fissile material content.

The CANDU6 (600 MW(e)) heat transport system arrangement comprises two loops. Each loop circulates pressurized heavy water coolant through 190 of the fuel channels located to one side of the centre of the vertical plane of the reactor. Each loop contains 2 pumps, 2 steam generators, 2 inlet headers and 2 outlet headers, and connecting piping, in a “figure – of – eight”; in this arrangement the pumps and steam generators are connected in series, Figure 1.

The steam generators, pumps and headers are located above the reactor to facilitate circulation of the coolant by thermosiphoning.

The steam generator is illustrated in Figure 2.

The steam generator transfers heat from reactor coolant,

reactorului care curge prin tuburile generatorului de abur către apa obișnuită care înconjoară tuburile generatorului de abur în partea a doua pentru a produce abur. Generatorul de abur CANDU constă într-un fascicol de tuburi în forma de U inversat

which flows within the steam generator tubes, to ordinary water surrounding the steam generator tubes on the secondary side to produce steam. CANDU steam generator consists of an inverted vertical U-tube bundle in a cylindrical shell. Steam

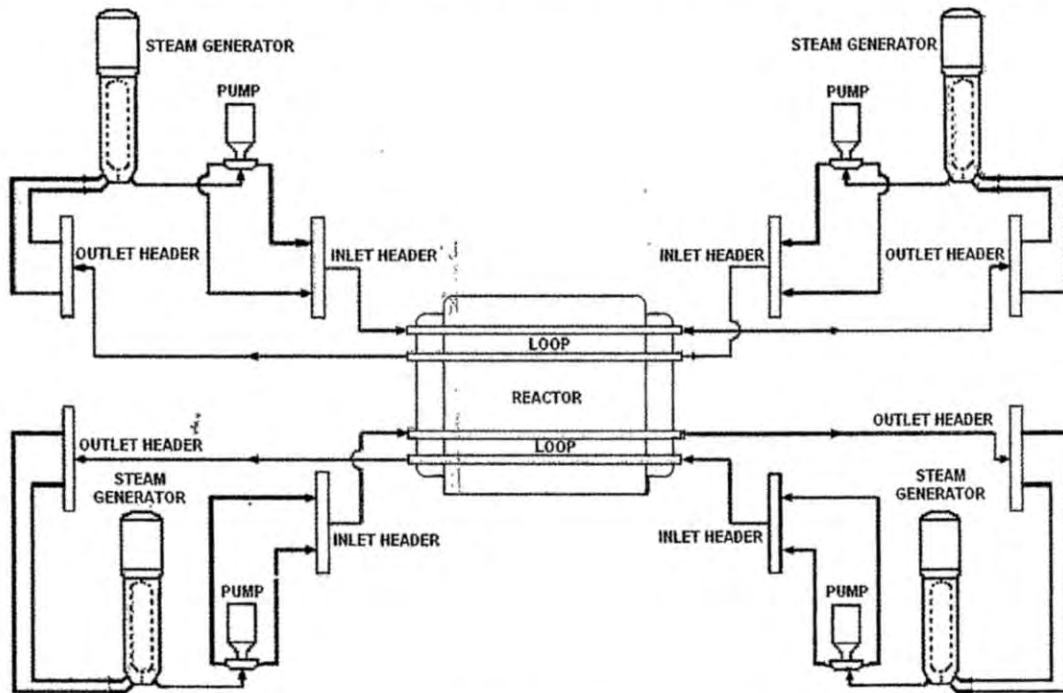


Figura 1. Sistemul de transport al căldurii în centrale nucleare PHWR de tip CANDU /
Figure 1. Heat transport system for PHWR nuclear power plant CANDU type

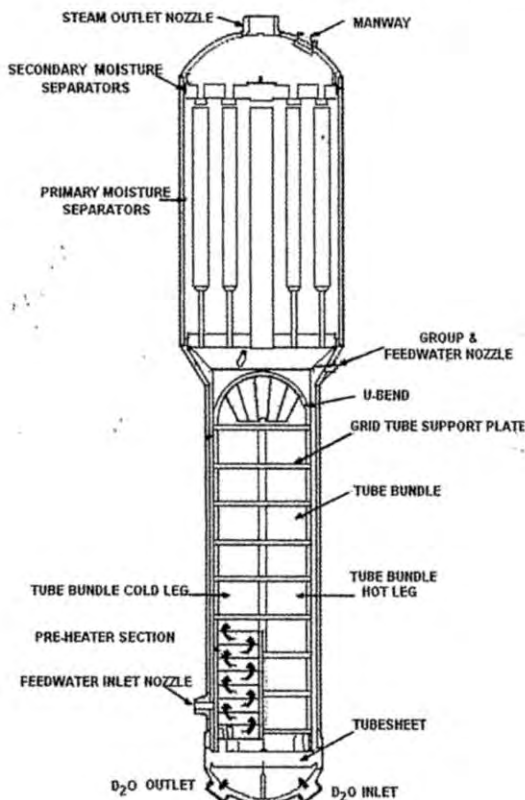


Figura 2. Generator de abur /
Figure 2. Steam generator

separating equipment is provided in the steam drum in the upper part of the shell.

The reactor outlet header pressure is 9.9 MPa, the total area of transfer heat per steam generator is 3200 m² and steam pressure is 4.7 MPa, at net steam flow rate of 1033 kg/sec [2].

The prevention of steam generator tube failure is important in all indirect-cycle nuclear power plants. Thus, careful consideration is given to the secondary side chemistry and to the control of inadvertent additions of undesirable chemical species. CANDU secondary side system uses All Volatile Treatment and high quality makeup water, excludes alloys containing copper as a major constituent, have leak tight titanium condensers and optimizes operating chemistry to minimize the transfer of corrosion products into the steam generator.

The national regulatory bodies in the nuclear field have introduced, as compulsory rule, the in-service inspection (ISI) of steam generator (SG) tubes in the outage period.

Eddy current (EC) testing is the conventional method for ISI of SG tubing that is exposed to corrosive, high pressure, and high temperature environment. This non destructive evaluation (NDE) method has advanced significantly over the years in all areas associated with probe design, instrumentation, and computer aided data analyzer. NDE technique is therefore necessary to enhance detection and characterization of difficult flaws.

Bobbin coil probes have long served as the primary NDE tool for initial inspection of SG tubes. Circumferential windings of this probe are concentric with the tube inner surface and render this probe suitable for high speed inspection application. Due to their configuration, bobbin probes are inherently insensitive

într-o carcasa cilindrică. Echipamentul de separare a aburului este prevăzut în partea superioară a carcasei cilindrice.

Presiunea în colectorul de ieșire a reactorului este de 9,9 Mpa, aria totală de transfer pe generator de abur este de 3200 m² iar presiunea aburului este 4,7 Mpa, rata netă de curgere a aburului fiind 1033 kg/sec [2].

Prevenirea avariei tuburilor din generatorul de abur este importantă în toate centralele nucleare cu ciclu indirect. Astfel, se oferă o atenție deosebită chimiei secundare sicontrolului apariției speciilor chimice inoportune. Sistemul secundar CANDU utilizează tratamente volatile și de înaltă calitate de tratare a apei, excluzând aliaje conținând cupru, condensatori de titan etanși fără scurgeri și optimizează chimia exploataării pentru a minimiza transferul produselor corozive în generatorul de abur.

Organismele legislative naționale în domeniul nuclear au introdus ca regula obligatorie, inspecția în service (ISI) a generatoarelor de abur (SG) în timpul opririi reactorului pentru revizie.

Testarea prin curenți turbionari este o metoda convențională pentru inspecția în service a tuburilor generatoarelor de abur care au fost expuse la medii corozive, cu presiune înaltă și temperatură înaltă. Această metodă nedistructivă a avansat semnificativ de-a lungul anilor în toate domeniile asociate cu proiectarea traductorilor, instrumentația și analiza datelor pe calculator. Evaluările nedistructive sunt necesare pentru a îmbunătăți detecția și caracterizarea defectelor dificile.

Traductorii tip „bobbin coil” au servit îndelung ca unealtă primară pentru inspecțiile inițiale a tuburilor generatoarelor de abur. Bobinajul circumferențial a acestui traductor este concentric cu suprafața interioară a tubului și îl fac potrivit pentru inspecția la viteza mare. Datorită configurației, traductorii cu bobină unică sunt în mod firesc insensibile la defecte înguste circumferențiale care nu au componente axiale [3]. Sunt necesare tehnici de inspecție de rezoluție înaltă care utilizează bobine multiple ce se rotesc sau în configurație arie pentru a compensa limitările bobinelor unice. Astfel de sonde încorporează bobine mici fiecare scanând suprafața ca elemente rotative, în general menționate ca bobine pancake rotite cu motor sau multiple elemente în arie [4]. [5]. Ca o consecință directă a unei rezoluții spațiale mai fine, aplicațiile cu astfel de sonde necesită utilizarea unor proceduri mai eficiente de procesare a semnalelor și de alegere a datelor [6].

În această lucrare prezentăm un nou tip de traductor de curenți turbionari, traductorul cu câmp magnetic rotitor și rezultatele obținute la controlul tuburilor din generatoare de abur.

2. Descrierea traductorului

Construcția traductorului este prezentată în figura 3. Partea de emisie A constă în trei bobine rectangulare a, b și c cu același număr de spire, plasate la 120° una de cealaltă. Bobinele sunt conectate în stea și alimentate de un sistem de curenți trifazați. Partea de emisie B constă în 6 bobine plate 1, 2, 3, ..., 6, plasate pe suprafața exterioară a traductorului, conectate la un echipament multicanal de control prin curenți turbionari.

Realizarea fizică a traductorului este prezentată în figura 4. Funcționarea teoretică a traductorului a fost prezentată în [7].

3. Probele și montajul experimental

Au fost luate în studiu probe din tuburi din generatoare de abur, realizate din Incoloy 800 având diametru interior 18,2 mm și grosimea pereților 1,8 mm. Pe aceste probe au fost practicate

to narrow circumferential flaws that do not possess axial components [3]. High resolution inspection techniques that utilize multi coils rotating or array configurations are needed to compensate for bobbin coil limitations. Such probes incorporate small coils either as surface riding rotating elements commonly referred to as motorized rotating pancake coil, or multiple element arrays [4], [5]. As a direct consequence of finer spatial resolution, application of such probes requires the use of more efficient signal processing and data screening procedures [6].

In this work we present a new type of EC probe – the transducer with rotating magnetic field and the results obtained at the control of SG tubes.

2. Transducer description

The transducer construction is presented in Figure 3. The emission part A consists of three rectangular coils a, b and c with the same turn number, placed 120° apart. The coils are star-connected and supplied by a three-phase current system. The reception part B consists of 6 flat coils 1, 2, ..., 6 placed on the transducer's external surface, connected to a multi-channel eddy current control equipment.

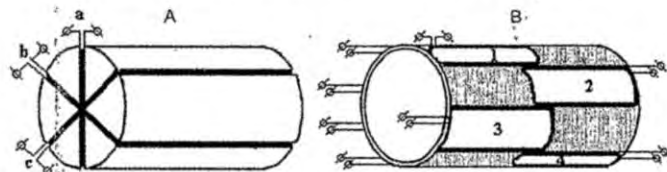


Figura 3. Traductorul de interior cu câmp magnetic rotitor/
Figure 3. The inside transducer with rotating magnetic field

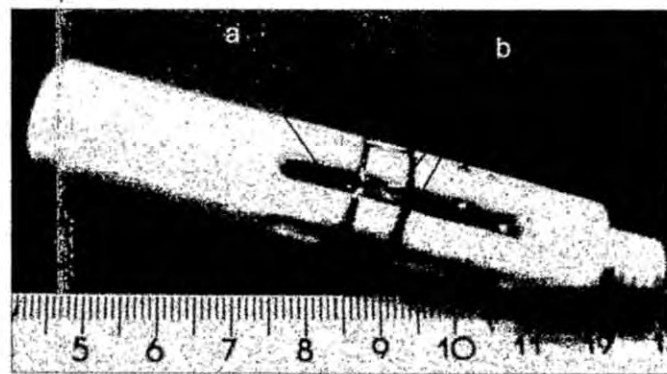


Figura 4. Traductorul de interior cu câmp magnetic rotitor/
Figure 4. Inner eddy current transducer with rotating magnetic field

The physical realization of the transducer is given in Figure 4. The theoretical functioning of this transducer was presented in [7].

3. Samples and experimental set-up

Steam generator tube samples made of Incoloy 800 have the inner diameter 18.2mm and wall thickness 1.80mm. On these samples, artificial discontinuities were practiced using EDM, and they are presented in Table 1.

The artificial discontinuities presented above were distributed on 4 tube samples having 800mm length each, similarly with those used in steam generator construction.

On the tube no.1 there were practiced the slots #1-#6, being aligned after the same generatrix of tube. On the tube no.2 there were practiced the slots #7-#12, all disposed after the same



Advertise



Advertise

defecte utilizând EDM, caracteristicile defectelor fiind prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1. Dimensiunile și localizarea sloturilor EDM/
Table 1. Dimensions and location of EDM slots

Slot	Dimensiune axială/ Axial dimension [mm]	Dimensiune circumferențială/ Circumferential dimension [mm]	Dimensiune radială/ Radial dimension [mm]	Localizare/ Location
1	5	0,2	0,125	SE
2	5	0,2	0,25	SE
3	5	0,2	0,5	SE
4	5	0,2	0,125	SI
5	5	0,2	0,25	SI
6	5	0,2	0,5	SI
7	0,2	5	0,125	SE
8	0,2	5	0,25	SE
9	0,2	5	0,5	SE
10	0,2	5	0,125	SI
11	0,2	5	0,25	SI
12	0,2	5	0,5	SI

SE – Suprafața externă/External surface;
SI – Suprafața internă/Internal surface

Discontinuitățile artificiale prezentate anterior au fost distribuite pe 4 probe de tuburi având 800 mm lungime fiecare, similare cu cele din construcția generatoarelor de abur.

Pe tubul nr. 1 au fost practicate sloturile #1-#6, fiind dispuse pe aceeași generatoare a tubului. Pe tubul nr. 2 au fost practicate sloturile #7-#12, toate dispuse pe aceeași generatoare. Aceste probe au servit pentru a verifica răspunsul furnizat de senzorii din aria de recepție. Pe celelalte probe, sloturile au avut diferite poziții. Precizia execuției sloturilor a fost de 0,01mm, distanța dintre ele fiind 30 mm. În afară de aceste tuburi, a fost utilizat un mock-up de generator de abur, tuburile având diferite tipuri de discontinuități (figura 5).

Schema de principiu a echipamentului de curenți turbionari pentru testarea generatoarelor de abur utilizând traductorul cu câmp magnetic rotitor este prezentată în figura 6.

Trei plăci generatoare de funcții programabile, tip AWG 7223 PC-2, alimentează circuitul cu curenți trifazați de amplitudini egale și diferența de fază între ele de $2\pi/3$ și furnizează referința pentru detecția sincronă. Semnalele sunt amplificate și aplicate părții de emisie creând câmpul magnetic rotativ. Plăcile furnizează semnale de referință pentru detectorii sincroni, incluși în placa de curenți turbionari SFT 6000N. Această placă conține de asemenea preamplificatoare, filtre, amplificatoare directe de curent și un circuit pentru rotirea fazei semnalului. Deplasarea traductorului prin tuburi se face cu un push-puller, fiind comandat de calculator.

4. Schema de procesare de semnal

Semnalul recepționat de o bobina de recepție din aria eșantionat în n_0 eșantioane și cuantizate pe 12 biți. A doua bobină va fi interogată după un interval de timp T_0 de la momentul începerii interogării primei bobine, operațiunea continuând până la sfârșitul controlului, pe ambele canale X și Y ale echipamentului.

generatrix, too. These samples have served to verify the response provided by the sensors from the reception array. On the other samples, the slots had different positions. The precision of slots execution was 0.01mm, the distance between them being 30mm. Besides these tubes, a steam generator mock-up was used, the tubes having different types of discontinuities (Figure 5).

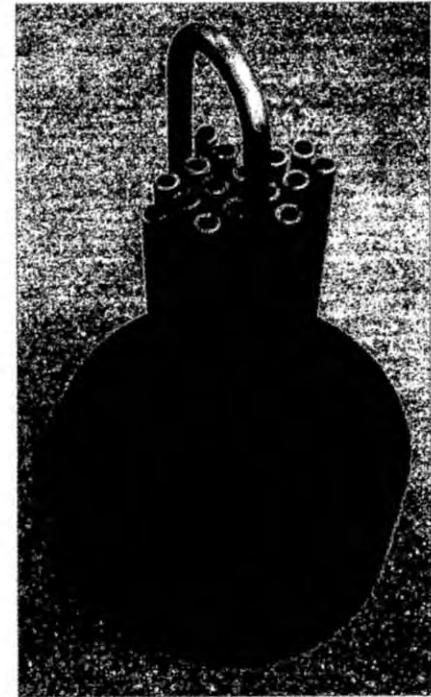


Figura 5. Mock-up de generator de abur/
Figure 5. Steam generator mock-up

The principle scheme of the eddy current equipment for steam generator testing using the transducer with rotating magnetic field is presented in Figure 6.

Three programmable function generator cards AWG 7223 PC-2 type supply the circuit with the three phase alternative current with equal amplitudes and $2\pi/3$ difference of phase between them, as well as the reference for synchronous detection. The signals are amplified and applied to the emission part creating a rotating magnetic field. The cards provide the reference signals for synchronous detectors, included into eddy current SFT 6000N card. The 6 receiver coils are consecutively interrogated by means of an analog multiplexer and the signal is applied to the input of an SFT 6000N eddy current board. This card contains also pre-amplifiers, filters, direct current amplifiers and a circuit for rotating the phase of the signal. The displacement of the transducer through the tube is made with a push-puller, being commanded by the computer.

4. Signal processing scheme

The signal provided by one reception coil from the array is sampled into n_0 samples and quantized on 12 bits. The second coil will be interrogated after an interval of time T_0 from the moment of the start of first coil interrogation, the operation continuing until the end of the control, on both channels X and Y of the equipment.

This situation is presented for one channel, in Figure 7.

Examining the data from the diagram above, it can be

În Figura 7 este prezentată această situație pentru un singur canal.

Examinând datele din diagrama de mai sus, se poate observa că fiecare bobină nu va fi interogată o perioadă de $6 \cdot T_0$, timp în care nu avem informații despre starea tubului controlat într-

observed that each coil is not interrogated during $6 \cdot T_0$ interval, period in which we do not have information about the state of controlled tube in angular sector of 60° , representing the sensibility region of the respective coil.

Only after this time interval, the respective coil will be again

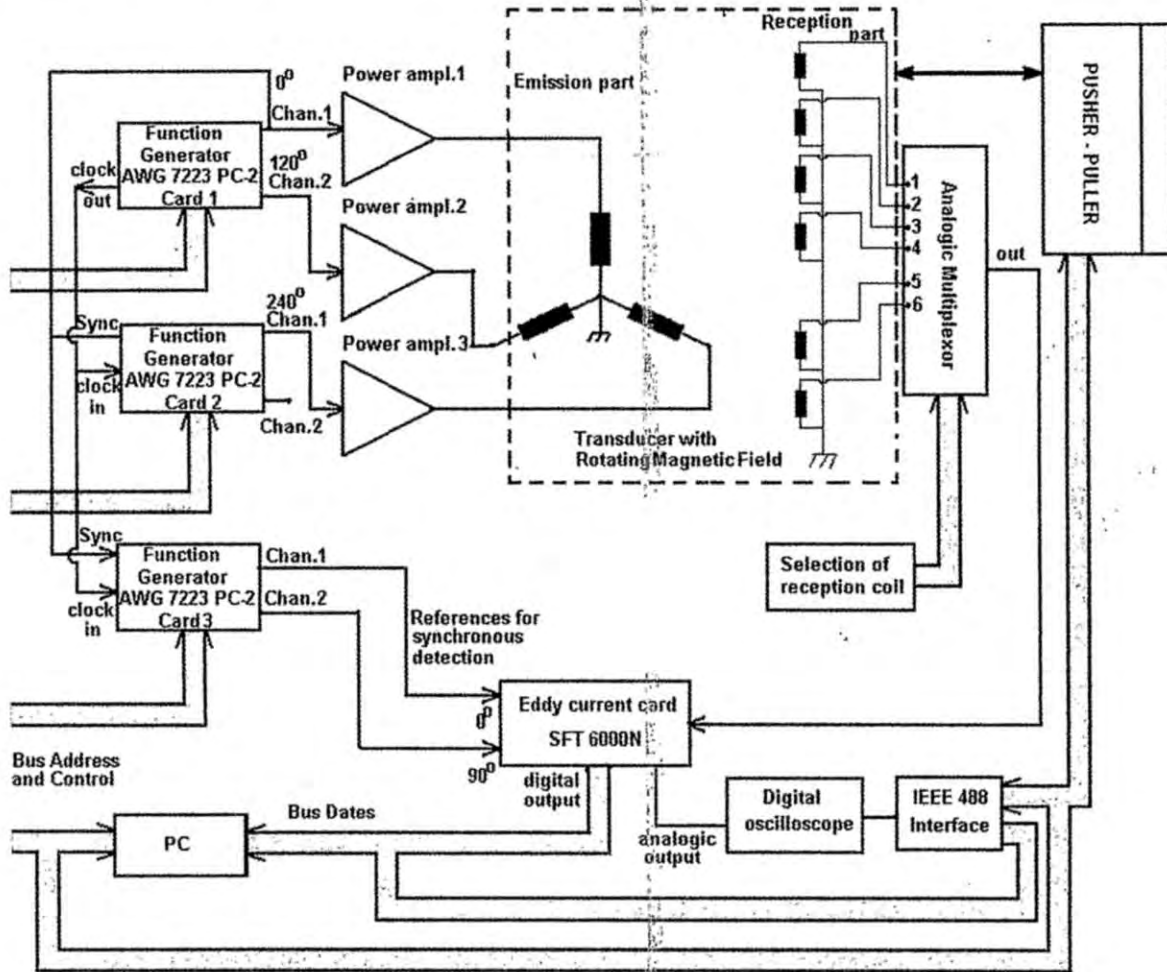


Figura 6. Schema de principiu a echipamentului de curenți turbionari utilizând traductorul cu câmp magnetic rotitor/
Figure 6. Eddy current equipment lay-out using the transducer with rotating magnetic field

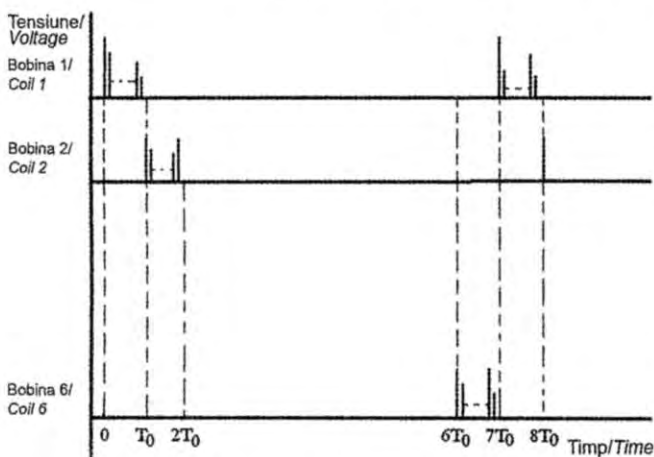


Figura 7. Prezentarea temporală a procedurii de achiziție de date/
Figure 7. Temporal presentation of data acquisition procedure

un sector unghiular de 60° , reprezentând regiune de sensibilitate a respectivei bobine.

Numai după acest interval, respectiva bobina va fi iar

interrogated. This disadvantage might be eliminated using a multi-channel equipment but increasing the cost of installation. It results that for the period in which the reception coil is not interrogated, the signal provided by this should be predicted. Using the method of interpolation of the signal starting from the value of the last sample from the period $n \cdot T_0$ and the first sample from the immediate period of interrogation $(n+7) \cdot T_0$ might be inefficient, and it might introduce big errors. To avoid this disadvantage, the making of a linear prediction for some time intervals, well defined, followed by the effectuation of a polynomial interpolation is proposed.

The points where the linear prediction will be made have been chosen as being Chebyshev nodes. In the numerical analysis, the Chebyshev nodes are the roots of the Chebyshev polynomial of the first kind. They are often used as nodes in polynomial interpolation because the resulting interpolation polynomial minimizes the problems of Runge's phenomenon [8].

For a given n , the n Chebyshev nodes are

$$x_i = \cos\left(\frac{2i-1}{2n} \pi\right), i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

interogată. Acest dezavantaj poate fi eliminat prin utilizarea unui echipament multicanal, acest lucru crescând costul instalației.

Rezultă că pentru perioada în care bobina de recepție nu este interogată, semnalul furnizat poate fi prezis. Utilizarea unei metode de interpolare a semnalelor începând de la valoarea ultimului eșantion din perioada $n \cdot T_0$ și primul eșantion din perioada imediat următoare a interogării $(n+7) \cdot T_0$ s-ar putea să nu fie eficientă și să introducă erori. Pentru evitarea acestui dezavantaj, se propune efectuarea unei predicții liniare pentru câteva intervale de timp bine definite urmate de efectuarea unei interpolări polinomiale.

Punctele unde se va face predicția liniară au fost alese ca fiind noduri Chebisev. În analiza numerică, nodurile Chebisev sunt rădăcinile polinomului Chebisev de ordin 1. Acestea se utilizează deseori în interpolarea polinomială deoarece rezultatele acesteia minimizează problemele fenomenului Runge [8].

Pentru un n dat, nodurile Chebisev sunt

$$x_i = \cos\left(\frac{2i-1}{2n}\pi\right), i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

Toate nodurile Chebisev sunt conținute în intervalul $[-1, 1]$. Pentru a obține noduri peste un interval arbitrar $[a, b]$ se poate utiliza o transformare liniară

$$\tilde{x}_i = \frac{1}{2}(a+b) + \frac{1}{2}(b-a)\cos\left(\frac{2i-1}{2n}\pi\right) \quad (2)$$

Interpolarea polinomială este interpolarea unui set de date printr-un polinom, fiind date câteva puncte, scopul este de a găsi polinomul care trece exact printre aceste puncte. Fiind date un set de $(n+1)$ puncte (x_i, y_i) unde nu sunt două puncte x_i la fel, se caută un polinom p de grad cel puțin n cu proprietatea

$$p(x_i) = y_i, i = 0, 1, \dots, n \quad (3)$$

Teorema unisolenței enunță că astfel de polinom p există și este unic.

Predicția liniară este o operațiune matematică prin care sunt obținute valori viitoare ale unui semnal discret în timp ca funcție liniară de eșantioanele precedente.

Cea mai comună reprezentare este

$$\hat{y}(n) = -\sum_{i=1}^p a_i y(n-i) \quad (4)$$

unde $\hat{y}(n)$ este valoarea semnalului prezis, $y(n-i)$ valoarea observată anterior, și a_i coeficienții de predicție. Eroarea generată de această estimare este

$$e(n) = y(n) - \hat{y}(n) \quad (5)$$

unde $y(n)$ este valoarea adevărată a semnalului.

Cea mai comună alegere în optimizarea coeficienților de predicție este criteriul rădăcinii pătrate a mediei aritmetice. În această metodă minimizăm valorile așteptate a erorii pătratice, care duce la ecuația

$$\sum_{i=1}^p a_i R(i-j) = -R(j) \quad (6)$$

Pentru $1 \leq j \leq p$, unde R este matricea de autocorelare a semnalului $y(n)$, definit ca

All the Chebyshev nodes are contained in the interval $[-1, 1]$. To get nodes over an arbitrary interval $[a, b]$, a linear transformation can be used

$$\tilde{x}_i = \frac{1}{2}(a+b) + \frac{1}{2}(b-a)\cos\left(\frac{2i-1}{2n}\pi\right) \quad (2)$$

Polynomial interpolation is the interpolation of a given data set by a polynomial. Given some data points, the aim is to find a polynomial which goes exactly through these points. Given a set of $n+1$ data points (x_i, y_i) , where no two x_i are the same, a polynomial p is looked for, of n degree at least, with the property

$$p(x_i) = y_i, i = 0, 1, \dots, n \quad (3)$$

The unisolvence theorem states that such a polynomial p exists and is unique.

Linear prediction is a mathematical operation where the future values of a discrete-time signal are obtained as a linear function of previous samples.

The most common representation is

$$\hat{y}(n) = -\sum_{i=1}^p a_i y(n-i) \quad (4)$$

where $\hat{y}(n)$ is the predicted signal value, $y(n-i)$ the previously observed values, and a_i the prediction coefficients. The error generated by this estimation is

$$e(n) = y(n) - \hat{y}(n) \quad (5)$$

where $y(n)$ is the true signal value.

The most common choice in optimization of predictors' coefficients is the root mean square criterion. In this method we minimize the expected values of the squared error, which yields the equation

$$\sum_{i=1}^p a_i R(i-j) = -R(j) \quad (6)$$

For $1 \leq j \leq p$, where R is the autocorrelation matrix of signal $y(n)$, defined as

$$R(i) = E\{y(n)y(n-i)\} \quad (7)$$

where E is the expected value, and R $(p+1) \times (p+1)$ matrix. The equations (6) and (7) are called Yule-Walker equations or normal equations.

Introducing (4) in (5)

$$\begin{aligned} e(n) &= y(n) - \hat{y}(n) = \\ &= y(n) + \sum_{i=1}^p a_i y(n-i) = \sum_{i=0}^p a_i y(n-i) \end{aligned} \quad (8)$$

where we usually constrain the parameters a_i with $a_0=1$, to avoid non trivial solution.

In this case the Yule-Walker equation is

$$R a_i = [1, 0, 0, \dots, 0]^T \quad (9)$$

where the index i ranges from 0 to p and R is a $(p+1) \times (p+1)$ matrix.

For solving (9), we use the split Levinson recursion [9].

For the case of the transducer with rotating magnetic field, the axial speed for the displacing of the transducer inside the tube was 100mm/sec. The sampling rate has been chosen at 100ksamples/sec.

$$R(i) = E\{y(n)y(n-i)\} \quad (7)$$

unde E este valoarea așteptată și R matricea (p+1) x (p+1). Ecuțiile (6) și (7) sunt denumite ecuațiile Yule-Walker sau ecuații normale.

Introducând (4) în (5)

$$e(n) = y(n) - \hat{y}(n) = y(n) + \sum_{i=1}^p a_i y(n-i) = \sum_{i=0}^p a_i y(n-i) \quad (8)$$

unde de obicei constrângem parametri a_i cu $a_0=1$, pentru a evita soluțiile nontriviale.

În cazul în care ecuația Yule-Walker este

$$Ra_i = [1,0,0,\dots,0]^T \quad (9)$$

unde indexul i variază de la 0 la p și R este o matrice (p+1) x (p+1).

Pentru a rezolva (9) se utilizează recursiunea Levinson descompusă [9]

Pentru cazul traductorului cu câmp magnetic rotitor, viteza axială a deplasării traductorului în interiorul tubului a fost 100 mm/sec. Rata de eșantionare a fost aleasă la 100 ksampl/sec. Numărul de eșantioane pentru o perioadă de interogare a bobinei de recepție a fost setat la 100 de eșantioane și intervalul

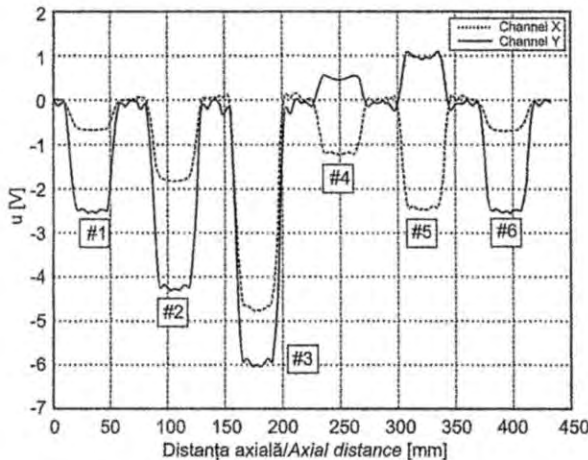


Figura 8. Datele furnizate de echipament la testarea probei nr. 1 (șlouri axiale cu diferite adâncimi, plasate pe suprafața exterioară și interioară a tubului) (Numerele notate cu # corespund sloturilor din tabelul 1)/

Figure 8. The data provided by the equipment at the testing of sample no. 1 (axial slots with different depths, placed on the external and internal surface of the tube. The numbers denoted by # from image, correspond to the slots in Table 1

de timp T_0 între două interogări succesive a fost 7 msec. Numărul de noduri Chebisev a fost ales $p = 5$.

În aceste condiții, nodurile Chebisev sunt

$$x_i = 3.5 * T_0 + 2.5 * T_0 * \cos\left(\frac{2i-1}{10} \pi\right) \quad (10)$$

Pentru aceste puncte s-a efectuat o predicție liniară pentru valorile stabilite din eșantioanele de tensiune, utilizând recursiunea Levinson descompusă. După aceasta s-a efectuat o interpolare polinomială utilizând un polinom de gradul 5.

The number of samples for an interrogation period of a reception coil has been set at 100 samples, and the time interval T_0 between two successive interrogations has been 7msec. The number of Chebyshev nodes has been selected as $p = 5$.

Under these conditions the Chebyshev nodes are

$$x_i = 3.5 * T_0 + 2.5 * T_0 * \cos\left(\frac{2i-1}{10} \pi\right) \quad (10)$$

For these points a linear prediction has been made for the values established from the voltage samples using the split Levinson recursion. After this, a polynomial interpolation using a polynomial of 5 degree has been made.

5. Experimental results

The results of eddy current examination of the samples 1 and respectively 2, using the transducer with rotating magnetic field are presented in Figures 8 and 9. The testing was made at 200 kHz; the amplitude of alternative current through the three emission coils being 0.1A.

The signals provided by the reception coils were amplified with 42dB gain, and, after the synchronous detection, were filtered with a low pass filter with 20Hz cut-off frequency, and then the data were digitally scaled to fit in the interval $\pm 10V$.

The examination of the data from the figures above proves the capability of the equipment and of the transducer to emphasize axial and circumferential slots with 0.125 mm depths, representing 10% of tube's wall thickness, indifferent if they

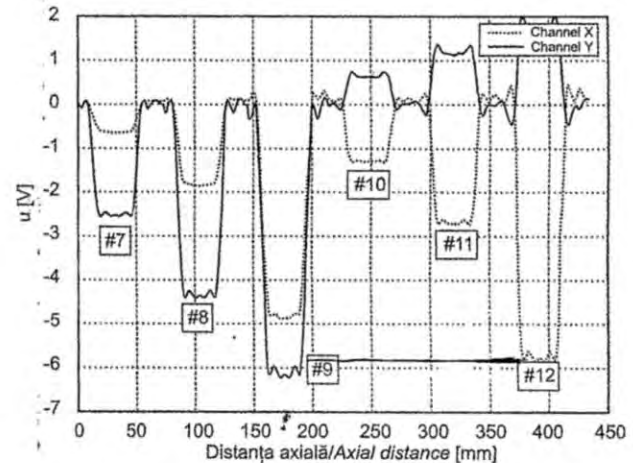


Figura 9. Datele furnizate de echipament la testarea probei nr. 2 (șlouri circumferențiale cu diferite adâncimi, plasate pe suprafața exterioară și interioară a tubului) (Numerele notate cu # corespund sloturilor din tabelul 1)/

Figure 9. The data provided by the equipment at the testing of sample no. 2 (circumferential slots with different depths, placed on the external and internal surface of the tube. The numbers denoted by # from image, correspond to the slots in Table 1.

are placed on the internal or on the external surface of the tube. Also, the aspect of data proves the righteous of our processing method based on linear prediction followed by polynomial interpolation.

The data obtained from the examination of samples 3 and 4 are presented in Figures 10 and respectively 11.

The examination of the results obtained from the control of tubes samples from steam generator CANDU 6 type, using the inner eddy current transducer with rotating magnetic field,

5. Rezultate experimentale

Rezultatele examinării prin curenți turbionari a probelor 1 și 2, utilizând traductorul cu câmp magnetic rotitor sunt prezentate în figurile 8 și 9. Testările au fost efectuate la 200 kHz, amplitudinea curentului alternativ prin cele trei bobine de emisie fiind 0,1A.

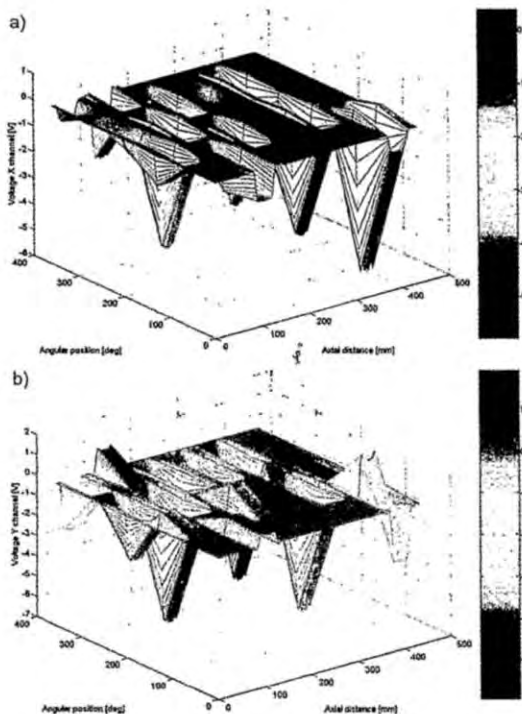


Figura 10. Datele furnizate de echipament la testarea probei 3.
a) canal X; b) canal Y/

Figure 10. The data provided by the equipment at the testing of sample no. 3 :a) channel X; b)channel Y

Semnalele livrate de bobinele de recepție au fost amplificate cu un câștig de 42 dB și, după detecția sincronă, au fost filtrate cu un filtru trece jos cu frecvența de tăiere 20 Hz și apoi datele au fost scălate să se adapteze intervalului $\pm 10V$.

Examinarea datelor din figurile de mai sus demonstrează capabilitatea echipamentului și a traductorului de a evidenția sloturi axiale și circumferențiale cu adâncimi de 0,125 mm, reprezentând 10% din grosimea de perete a tubului, indiferent dacă sunt plasate pe suprafața interioară sau exterioară a tubului. De asemenea, aspectul datelor demonstrează justetea metodei de procesare bazată pe predicția liniară urmată de interpolarea polinomială.

Datele obținute de la examinarea probei nr. 3 și 4 sunt prezentate în figurile 10 și 11.

Examinarea rezultatelor obținute la controlul eșantioanelor de tuburi din generatoare de abur, utilizând traductorul de interior de curenți turbionari cu câmp magnetic rotitor arată că discontinuitățile cu adâncimi de aproximativ 10% din grosimea de perete a tubului pot fi clar evidențiate, cu un raport semnal pe zgomot mai bun ca 5:1. În același timp metoda are avantajul rapidității, viteza de deplasare axială a traductorului în tub fiind comparabilă cu cea a traductorului cu bobina unică, permițând în același timp localizarea unghiulară a discontinuităților cu o precizie care depinde de numărul bobinelor de recepție.

shows that discontinuities with depths of approximately 10% from tube's wall thickness can be clearly emphasized with a signal to noise ratio better than 5:1. At the same time, the method has the advantage of being rapid, the axial speed for displacing the transducer inside the tube being comparable with the one of eddy current bobbin coil transducer, allowing at the same

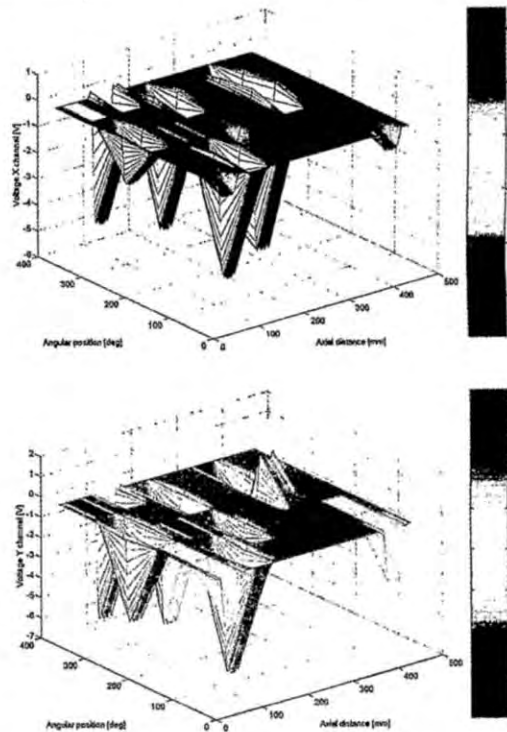


Figura 11. Datele furnizate de echipament la testarea probei 4:
a) canal X; b) canal Y/

Figure 11. The data provided by the equipment at the testing of sample no. 4: a) channel X; b)channel Y

time the angular localization of the discontinuities with a precision that depends on the number of reception coils.

6. Conclusions

Using the transducer with rotating magnetic field at the examination of tubes from steam generators allows the detection of discontinuities with depths greater or equal to 10% from tube's wall thickness. The localization of angular position of discontinuities is made in sectors of 60° angle each, fact possible only in the case of rotating pancake probes. In this case, the transducer has a lower axial displacing speed and contains rotating parts which reduce the reliability.

Acknowledgements

This paper is partially supported by the Romanian Ministry of Education and Research under Excellence Research Program – Contract no. 70/2006 CEEX MATNANTECH – EDDY and National Plan II Contract no.71-016/2007 MODIS.

Bibliografie/References

- [1]. xxx: Global development of advanced nuclear power plants and related IAEA activities, IAEA, Vienna, 2006.
- [2]. G. Hongqi, R.S.Hart: Moderator, Heat Transport and Steam System, AECL Report, 1992.

6. Concluzii

Utilizarea traductorului cu câmp magnetic rotitor la examinarea tuburilor de presiune din generatoare de abur permite detecția discontinuităților cu adâncimi mai mari sau egale cu 10% din grosimea de perete a tubului. Localizarea poziției unghiulare a discontinuităților este realizată în sectoare de 60° fiecare, fapt posibil doar în cazul sondelor cu bobine pancake rotative la care viteza axială de deplasare este scăzută și încrederea este redusă datorită părților în mișcare.

Mulțumiri

Această lucrare este parțial suportată de Ministerul Educației, Cercetării și Inovării din România în cadrul Programului de Cercetare de Excelență – Contract nr. 70/2006 CEEC MATNANTECH – EDDY, Planul național de Cercetare Dezvoltare Inovare II – Contract nr. 71-016/2007 MODIS și Programul Nucleu – Contract nr. 09430104.



[3]. V.S. Cecco, G. Van Drunnen, F.L. Sharp: 'Manual on eddy current method', Vol 1, AECL Report 7523, Chalk River Nuclear Laboratories, 1981.

[4]. xxx: Pressurized Water Reactor Steam Generator Examination Guidelines, Rev.6, Requirements, EPRI, Palo Alto, CA: 2002.1003138.

[5]. xxx: Eddy Current Data Quality Parameters for Inspection of Steam Generator Tubes: Vol.4, Array Probes, EPRI, Palo Alto, CA: 2002.1007314.

[6]. S. Bakhtary: Advanced Eddy Current NDE for Steam Generator Tubing, Report ANL/ET/CP – 98667, Aragonne National Laboratory, 1999.

[7]. R. Grimberg, L. Udpa, A. Savin, R. Steigmann, S. Udpa: Inner eddy current transducer with rotating magnetic field. Theoretical model – forward problem, Research in Nondestructive Evaluation, 2005, Springer-Verlag New York, LLC, vol 16, issue 2, pp.79-100.

[8]. C.J. Zarowski : An Introduction to Numerical Analysis for Electrical and Computer Engineers John Wiley & Sons, Inc. 2004.

[9]. N. Levinson: "The Wiener RMS error criterion in filter design and prediction," J. Math. Phys., v. 25, 1947., pp. 261-278.

Calendarul manifestărilor științifice și tehnice internaționale și naționale

Calendar of international and national events

2009			
8-11 iul.	4th International Conference on Powder Metallurgy	Craiova, România	Universitatea Tehnică din Cluj Napoca, 103-105 Muncii Avenue, 400641 Cluj-Napoca, ROMÂNIA, tel.: +40 264 401742; +40 264 401705; fax: +40 264 402742; +40 264 415054; e-mail: RoPM2009@stm.utcluj.ro; liviu.brandusan@staff.utcluj.ro; ionel.chicinas@stm.utcluj.ro; http://www.sim.utcluj.ro/RoPM2009
12-18 iul.	62nd Annual Assembly IIV - International Conference	Singapore	IIV 2009 Conference Manager, /o Pacific World Singapore Pte Ltd, 73 Bukit Timah Road, Rex House #03-01, SINGAPORE 229832, tel.: +65 6330 6730; fax: +65 6336 2123; e-mail: iiv09@pwevent.com; http://www.iiv2009.com
24-26 iul.	International Conference WELDS 2009	Fort Myers, Florida, USA	Bilal Dogan, e-mail: bdogan@epri.com; Kent Coleman, e-mail: kqueen@epri.com
14-19 sept.	SCHWEISSEN & SCHNEIDEN - World trade fair joining, cutting, surfacing	Essen, Germania	Messe Essen GmbH, Norbertstraße D-45001 Essen, GERMANY; tel.: +49.(0)201.7244.0; fax: +49.(0)201.7244.448; e-mail: info@messe-essen.de; http://www.messe-essen.de
30 sept. - 2 oct.	Conferința internațională a ASR - Îmbinare și microîmbinare. Calitate și eficiență	Dr. Tr. Severin, România	Asociația de Sudură din România, Bv. Mihai Viteazul nr. 30 300222 Timișoara, ROMÂNIA, tel. / fax: +40 256 - 200041; e-mail: asr@asr.ro; http://www.asr.ro
28-30 sept.	9th International Seminar "Numerical Analysis of Weldability"	Graz-Seggau, Austria	Institute for Materials Science and Welding, Graz University of Technology, Kopernikusgasse 24, A-8010 Graz, AUSTRIA, tel.: +43 316 873-7182; fax: +43 316 873-7187; e-mail: office@iws.tugraz.at; http://www.iws.tugraz.at
10-11 oct.	9th International Conference "Modern Technologies in Manufacturing"	Cluj Napoca, România	Dr.Eng. Domnița Frățilă, Technical University of Cluj-Napoca, B-dul Muncii 103-105, 400641 Cluj-Napoca, ROMÂNIA; tel./fax: +40-264-415001, tel. +40-264-401740; e-mail: MTeM@conference.utcluj.ro; http://www.MTeM.utcluj.ro
4-5 nov.	ISCS09 - A 7-a Conferință internațională "Integritatea structurală a construcțiilor sudate"	Timișoara, România	ISIM Timișoara, Bv. Mihai Viteazul nr. 30, 300222 Timișoara, ROMÂNIA, tel.: +40(0)256/491828; fax: +40(0)256/492797; e-mail: isim@isim.ro, http://www.isim.ro/iscs09