NORME INTERNATIONALE

INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
61502

Première édition
First edition
1999-11

Centrales nucléaires de puissance – Réacteurs à eau pressurisée – Surveillance vibratoire des structures internes

Nuclear power plants – Pressurized water reactors – Vibration monitoring of internal structures

© IEC 1999 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission 3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
Telefax: +41 22 919 0300 e-mail: inmail@iec.ch IEC web site http: //www.iec.ch

Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE X

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

Pages

AVANT-PROPOS 6
INTRODUCTION 8

Articles

1 Domaine d'application 10
2 Définitions 10
3 Principes de la surveillance des structures internes 14
4 Prescriptions relatives au système 16
4.1 Utilisation du bruit neutronique 16
4.1.1 Instrumentation nucléaire 16
4.1.2 Prélèvement et conditionnement du signal 16
4.2 Utilisation de signaux relatifs aux vibrations de la cuve 18
4.2.1 Instrumentation 18
4.2.2 Conditionnement du signal 20
4.3 Utilisation de signaux d'un système multi-capteurs 22
4.3.1 Considérations générales 22
4.3.2 Système multi-capteurs type 22
4.3.3 Caractéristiques de l'instrumentation 24
4.3.4 Conditionnement du signal 26
4.4 Système de surveillance 26
4.4.1 Equipement de surveillance 26
4.4.2 Logiciel de surveillance 28
4.4.3 Mode d'acquisition spectrale 28
4.4.4 Etat du réacteur 30
5 Procédures de surveillance 30
5.1 Etudes préliminaires pour la mise en service du système de surveillance du réacteur 30
5.1.1 Etudes théoriques, pouvant être confirmées par des essais sur maquette 30
5.1.2 Qualification pendant les essais à chaud 30
5.1.3 Identification des mouvements au moment du démarrage 30
5.2 Phase de surveillance 32
5.2.1 Premier démarrage du réacteur (30 % de puissance) 32
5.2.2 Pendant la campagne combustible 32
5.3 Phase de diagnostic 34
6 Documentation 34
6.1 Mise en service initiale 34
6.2 Surveillance 36
6.3 Diagnostics 36

CONTENTS

Page

FOREWORD 7
INTRODUCTION 9

Clause

1 Scope 11
2 Definitions 11
3 Principles of internal structure monitoring 15
4 System requirements 17
4.1 Use of neutron noise 17
4.1.1 Nuclear instrumentation 17
4.1.2 Sampling and conditioning of the signal 17
4.2 Use of vessel vibration signals 19
4.2.1 Instrumentation 19
4.2.2 Signal conditioning 21
4.3 Use of the signals of a multi-sensor system 23
4.3.1 In general 23
4.3.2 Typical multi-sensor system 23
4.3.3 Instrumentation characteristics 25
4.3.4 Signal conditioning 27
4.4 Monitoring system 27
4.4.1 Monitoring equipment 27
4.4.2 Monitoring software 29
4.4.3 Spectral acquisition mode 29
4.4.4 Reactor conditions 31
5 Monitoring procedures 31
5.1 Studies preliminary to setting up the reactor monitoring system 31
5.1.1 Theoretical studies, which may be confirmed by mock-up tests 31
5.1.2 Qualification during hot tests 31
5.1.3 Identification of movement at the time of start-up 31
5.2 Monitoring phase 33
5.2.1 First start-up of the reactor (30 % power) 33
5.2.2 During the fuel cycle 33
5.3 Diagnosis phase 35
6 Documentation 35
6.1 Initial entry into service 35
6.2 Monitoring 37
6.3 Diagnosis 37

Pages

Annexe A (informative) Définition mathématique des fonctions spectrales 70
Annexe B (informative) Principe de mesure des chambres neutroniques hors coeur 74
B.1 Principe de la transmission des vibrations des internes aux chambres neutroniques hors coeur 74
B.2 Mesure du déplacement des structures internes par les chambres neutroniques hors coeur 74
Annexe C (informative) Principe et critères pour la détection et la surveillance d'internes avec des capteurs de déplacement absolus extérieurs à la cuve (exemple type) 78
Annexe D (informative) Bibliographie 82

Figure 1 – Schéma des internes et de l'instrumentation 38
Figure 2 – Implantation des chambres neutroniques hors coeur 40
Figure 3 – Déformées modales types sur les modes poutres d'assemblages et du panier 42
Figure 4 – Déformées modales types sur les modes coques d'un écran thermique cylindrique 44
Figure 5 – Exemple d'évolution des signatures vibratoires du panier de coeur lors d'une dégradation de l'anneau de calage (résultats obtenus sur maquette) 46
Figure 6 – Exemple d'évolution des signatures du bruit neutronique hors coeur consécutive à une très légère relaxation d'anneau de calage (résultats obtenus sur réacteur) 48
Figure 7 – Principe de détection du balancement du panier de cœur par le bruit neutronique hors coeur 50
Figure 8 – Exemple de détection de modes vibratoires d'internes sur les signatures de bruit neutronique hors coeur 52
Figure 9 – Exemple de détection du balancement des internes par un capteur de vibration extérieur à la cuve 54
Figure 10 – Surveillance du support de coeur supérieur par les vibrations verticales absolues de la cuve (cohérence A1/A3) 56
Figure 11 – Surveillance de la vibration horizontale de la jupe de répartition de débit (1^{er} mode poutre) par les vibrations verticales absolues de la cuve (cohérence A2/A4) 58
Figure 12 – Localisation des détecteurs neutroniques hors cœur sur les réacteurs de type VVER 60
Figure 13 – Exemple de prélèvement du bruit neutronique 62
Figure 14 – Système multi-capteurs type pour la surveillance vibratoire d'un REP à quatre boucles (voir [2]) 64
Figure 15 – Exemple de traitement d'une DSPN par le système de surveillance 66
Figure 16 – Exemple de traitement des fonctions de cohérence-phase par le système de surveillance 68
Figure C.1 – Comparaison de résonances d'internes par mesure directe/indirecte 80

Page

Annex A (informative) Mathematical definition of the spectral functions 71
Annex B (informative) Principle of measurement by ex-core neutron detectors 75
B.1 Principle of transmission of vibrations of internals to ex-core detectors 75
B.2 Measurement by ex-core detectors of displacement of internal structures 75
Annex C (informative) Principle criteria for detection and monitoring internals by absolute displacement sensors outside the vessel (typical example) 79
Annex D (informative) Bibliography 83

Figure 1 – Diagram of internals and instrumentation 39
Figure 2 – Arrangement of ex-core neutron detectors 41
Figure 3 – Typical modal shapes on beam modes of fuel assemblies and core barrel 43
Figure 4 – Typical modal shapes on the shell modes of a cylindrical thermal shield.....45
Figure 5 – Example of change in core barrel vibratory signatures in the case of degradation of the hold-down spring (results obtained on a mock-up).....47
Figure 6 – Example of change in ex-core neutron noise signatures following a very slight relaxation of the hold-down spring (results obtained on a reactor) 49
Figure 7 – Principle of detection of core barrel pendular motion using ex-core neutron noise.....51
Figure 8 – Example of detection of internals vibratory modes on ex-core neutron noise signatures.....53
Figure 9 – Example of detection of swinging of internals using a vibration sensor outside the vessel 55
Figure 10 – Monitoring of the upper core support by vertical absolute vessel vibrations (coherence A1/A3) 57
Figure 11 – Monitoring of the horizontal flow skirt vibration (1st beam mode) by vertical absolute vessel vibrations (coherence A2/A4) 59
Figure 12 – Location of ex-core neutron detectors on VVER-type reactors..... 61
Figure 13 – Example of sampling of neutron noise 63
Figure 14 – Typical multi-sensor system for vibration monitoring in a four-loop PWR (see [2]) 65
Figure 15 – Example of processing of a NPSD by the monitoring system..... 67
Figure 16 – Example of processing of coherence-phase functions by the monitoring system 69
Figure C.1 – Comparison of directly/indirectly measured internal resonances 81

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

CENTRALES NUCLÉAIRES DE PUISSANCE – RÉACTEURS À EAU PRESSURISÉE – SURVEILLANCE VIBRATOIRE DES STRUCTURES INTERNES

AVANT-PROPOS

1) La CEI (Commission Électrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61502 a été établie par le sous-comité 45A: Instrumentation des réacteurs, du comité d'études 45 de la CEI: Instrumentation nucléaire.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
45A/360/FDIS	45A/366/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 3.

Les annexes A, B, C et D sont données uniquement à titre d'information.

Le comité à décidé que cette publication reste valable jusqu'en 2004.

A cette date, selon décision préalable du comité, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

NUCLEAR POWER PLANTS – PRESSURIZED WATER REACTORS – VIBRATION MONITORING OF INTERNAL STRUCTURES

FOREWORD

1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61502 has been prepared by subcommittee 45A: Reactor instrumentation, of IEC technical committee 45: Nuclear instrumentation.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
45A/360/FDIS	45A/366/RVD

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 3.

Annexes A, B, C and D are for information only.

The committee has decided that this publication remains valid until 2004.

At this date, in accordance with the committee's decision, the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

INTRODUCTION

Plusieurs incidents ont affecté les structures internes des tranches de réacteurs à eau pressurisée (REP) (panier de coeur, écran thermique), et ont occasionné de coûteuses réparations. De plus, avec le vieillissement des réacteurs, de tels incidents deviendront de plus en plus probables. Dans le but d'améliorer la maintenance sur ce type de composants, il est souhaitable de détecter tous les comportements anormaux suffisamment tôt.

L'utilisation de méthodes non intrusives a montré que la détection de problèmes vibratoires ayant un impact sur ces structures est faisable lorsque le réacteur est en fonctionnement.

Il est possible de concevoir un système qui permette aux spécialistes d'effectuer une surveillance et une interprétation régulière et fiable et ainsi d'espérer réduire la fréquence des inspections. La standardisation d'une telle surveillance et de l'interprétation peut faciliter les comparaisons au niveau international.

INTRODUCTION

Several incidents have affected the internal structures of pressurized water reactor (PWR) units (core barrel, thermal shield), and have resulted in costly repairs. Furthermore, with the ageing of the reactors, such incidents will become more and more probable. In order to improve maintenance on such components, it is desirable to detect all abnormal behaviour at a sufficiently early stage.

The use of non-intrusive methods has shown that detection of vibratory problems having an impact on these structures is feasible during reactor operation.

It is possible to design a system which can enable regular, reliable monitoring and interpretation by specialists and therefore is expected to reduce the frequency of inspections. Standardization of such monitoring and interpretation can facilitate comparisons on an international level.

CENTRALES NUCLÉAIRES DE PUISSANCE – RÉACTEURS À EAU PRESSURISÉE – SURVEILLANCE VIBRATOIRE DES STRUCTURES INTERNES

1 Domaine d'application

La présente norme s'applique aux systèmes utilisés pour surveiller le comportement vibratoire des structures internes des réacteurs à eau pressurisée (panier de coeur, écran thermique, supports de coeur supérieurs et inférieurs, etc.) et les assemblages combustibles, sur la base des fluctuations neutroniques observées à l'extérieur de la cuve et des vibrations de la cuve. L'objectif principal de la surveillance décrite dans la présente norme est de détecter des dégradations des structures internes. Des mesures sur le circuit primaire peuvent être associées à la surveillance des internes pour apporter des informations supplémentaires et permettre la détection de dégradations des supportages du circuit primaire. La présente norme couvre les caractéristiques du système et donne des recommandations pour la surveillance.

NUCLEAR POWER PLANTS – PRESSURIZED WATER REACTORS – VIBRATION MONITORING OF INTERNAL STRUCTURES

1 Scope

This standard applies to systems used for monitoring the vibratory behaviour of the internal structures of pressurized water reactors (core barrel, thermal shield, upper and lower core support, etc.) and fuel assemblies on the basis of neutron fluctuations observed outside the vessel and vessel vibrations. The main objective of monitoring described in this standard is to detect degradation of internal structures. Primary circuit measurements can be considered together with internal monitoring to provide further information and make it possible to detect degradation of primary circuit structural supports. This standard covers the system characteristics and gives recommendations for monitoring.