

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
1224**

Première édition
First edition
1993-05

**Réacteurs nucléaires –
Temps de réponse des détecteurs
de température à résistance (RTD) –
Mesures *in situ***

**Nuclear reactors –
Response time in resistance temperature
detectors (RTD) –
In situ measurements**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1224: 1993

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles auprès du Bureau Central de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électro-technique*;
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*;
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas*;

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale*.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available from the IEC Central Office.

Information on the revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology*;
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets*;
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams*;

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice*.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC
1224

Première édition
First edition
1993-05

Réacteurs nucléaires –
Temps de réponse des détecteurs
de température à résistance (RTD) –
Mesures *in situ*

Nuclear reactors –
Response time in resistance temperature
detectors (RTD) –
In situ measurements

© CEI 1993 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.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

H

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

SOMMAIRE

	Pages
Avant-propos.....	4
Articles	
1 Domaine d'application.....	6
2 Terminologie.....	6
2.1 Détecteur de température à résistance (RTD)	6
2.2 Temps de réponse	6
3 Méthodes d'essais	6
3.1 Réponse à un changement de courant (méthode active) (réponse échelonnée en courant de boucle).....	8
3.2 Calcul du temps de réponse par le bruit de température (méthode passive)	10
4 Prescriptions générales d'utilisation.....	10
4.1 Essai de réponse à un changement de courant	10
4.2 Essai d'analyse du bruit.....	12
4.3 Observations.....	12
Figures	
1 Méthode active.....	14
2 Essai par lissage du spectre de puissance.....	14

CONTENTS

	Page
Foreword	5
Clause	
1 Scope	7
2 Terminology.....	7
2.1 Resistance temperature detector (RTD)	7
2.2 Response time	7
3 Test methods.....	7
3.1 Response to a current change (active method) (loop current step response)	9
3.2 Calculation of the response time by temperature noise (passive method)	11
4 General requirements for use.....	11
4.1 Test by the response to a current change.....	11
4.2 Test by noise analysis	13
4.3 Observations.....	13
Figures	
1 Active method	15
2 Test by smoothing of the power spectrum	15

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**Réacteurs nucléaires -
Temps de réponse des détecteurs de température à résistance (RTD) -
Mesures *in situ***

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique 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 en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles 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 du 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.

La Norme internationale CEI 1224 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:

DIS	Rapport de vote
45A(BC)127	45A(BC)132

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**Nuclear reactors -
Response time in resistance temperature detectors (RTD) -
In situ measurements**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a world-wide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international cooperation 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 Standardization Organization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by technical committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subject dealt with.
- 3) They have the form of recommendations for international use published in the form of standards, 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.

International Standard IEC 1224 has been prepared by sub-committee 45A: Reactor instrumentation, of IEC technical committee 45: Nuclear instrumentation.

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

DIS	Report on voting
45A(CO)127	45A(CO)132

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

Réacteurs nucléaires - Temps de réponse des détecteurs de température à résistance (RTD) - Mesures *in situ*

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale définit les critères de choix, de conception et d'utilisation des matériels de mesure du temps de réponse des détecteurs de température à résistance (RTD) utilisés dans les systèmes de sécurité et de contrôle-commande des réacteurs nucléaires.

L'objet de cette norme est de décrire les techniques qui peuvent être employées pour la mesure *in situ* du temps de réponse des RTD.

Ces techniques sont recommandées seulement quand des essais spécifiques effectués sur des boucles ou une analyse physique ont montré des possibilités significatives de variation du temps de réponse.

2 Terminologie

2.1 Détecteur de température à résistance (RTD)

Ce type de détecteur est généralement constitué d'un fût cylindrique en acier inoxydable protégeant une sonde à résistance de platine dont la résistance varie avec la température. Ce détecteur est placé dans le conduit contenant le fluide dont la température est ainsi mesurée. Il peut être directement immergé dans le fluide ou protégé par une enveloppe intermédiaire appelée "doigt de gant".

Dans cette norme, le terme "capteur" décrit l'unité de RTD associée à l'ensemble de sa protection (fût, doigt de gant).

2.2 Temps de réponse

Dans le cas d'un changement rapide de température dans le fluide au niveau du capteur, le temps de réponse représente le temps nécessaire au signal électrique pour atteindre 63,2% de sa valeur finale.

Il est important de savoir que le temps de réponse considéré concerne le capteur et son environnement thermohydraulique. Il tient compte des propriétés de l'échange thermique entre le capteur et le fluide.

D'autre part, le temps de réponse concerné exclut le temps de transfert du fluide dans le conduit, de la source (le réacteur par exemple) au capteur.

3 Méthodes d'essais

La méthode physique, basée sur des changements connus dans le processus de la température du fluide, est idéale mais il est généralement difficile de l'utiliser.

Nuclear reactors - Response time in resistance temperature detectors (RTD) - *In situ* measurements

1 Scope

This International Standard defines the intended criteria for the choice, conception and use of equipment for the measurement of the response time of resistance temperature detectors (RTD) which are used in the safety and control systems of nuclear reactors.

The object of this standard is to describe the techniques which can be used for the *in situ* measurement of RTD response time.

These techniques are recommended only when specific tests performed on loops or physical analysis have shown significant possibilities of drift in the response time.

2 Terminology

2.1 Resistance temperature detector (RTD)

This type of detector is generally made up of a stainless steel cylindrical barrel protecting a platinum resistor whose resistance varies with temperature. This detector is placed in the piping containing the fluid whose temperature is measured in this way. It can be directly immersed in the fluid or protected by an intermediate casing called a "glove finger".

In this standard, the term "sensor" describes the RTD unit associated with all its protection (barrel, glove finger).

2.2 Response time

In the case of a step temperature change in the fluid at the location of the sensor, the response time represents the time necessary for the electrical signal to reach 63,2 % of its final value.

It is important to know that the response time under consideration concerns the sensor and its thermohydraulic environment. It takes into account the properties of the thermal exchange between the sensor and the fluid.

On the other hand, the response time concerned excludes the transfer time of the step temperature change in the piping from the source (e.g. the reactor) to the sensor.

3 Test methods

The physical method, such as known change in the fluid temperature process, is ideal, but is generally difficult to use.

3.1 Réponse à un changement de courant (méthode active) (réponse échelonnée en courant de boucle)

3.1.1 Principe de la méthode

La mesure de la température par un RTD se fait normalement à l'aide d'un pont de Wheatstone, la valeur du courant passant par le RTD étant de l'ordre de quelques milliampères. Le principe de l'essai est d'augmenter brusquement ce courant qui induit une température transitoire interne associée à la chaleur ainsi produite. En fait, ce transitoire représente les échanges thermiques internes du capteur. À partir d'une analyse de ce transitoire interne, on peut déduire le temps de réponse du capteur.

3.1.2 Détermination du temps de réponse à partir du transitoire

Le calcul est basé sur l'établissement d'un modèle thermique unidimensionnel du capteur grâce à la solution de l'équation de la chaleur. Cette analyse montre que le fonctionnement dynamique du capteur est représenté par un système à deux entrées et une sortie. Les deux entrées sont la température du fluide et la chaleur dégagée due à l'effet Joule. La sortie montre la température de la résistance de platine. Les fonctions de transfert associées à chacune de ces entrées sont les suivantes:

Pour le changement de température du fluide:

$$H_1(p) = \frac{K}{\Pi_i(p-p_i)}$$

Pour l'alimentation en chaleur interne:

$$H_2(p) = \frac{\Pi_j(p-z_j)}{\Pi_i(p-p_i)}$$

où

K est le module de Biot défini comme le rapport de conductance thermique du film à la conductance interne du RTD;

p représente l'opérateur de Laplace;

p_i est le pôle de la fonction;

z_j représente les zéros (valeurs nulles) de la fonction.

Les réponses modales associées à $H_1(p)$ - $H_2(p)$ sont:

$$R_1(t) = A_0 + \sum_i A_i \exp(-p_i t)$$

$$R_2(t) = B_0 + \sum_i B_i \exp(-p_i t)$$

Il apparaît que l'estimation des pôles (p_i), à partir du transitoire créé $R_2(t)$, suffit pour recalculer la réponse modale théorique $R_1(t)$. En fait, la fonction de transfert $H_2(p)$ avec des zéros (valeurs nulles) et des pôles fournit plus d'informations que $H_1(p)$ qui n'a que des pôles.

La figure 1 montre un exemple de transitoire créé par l'effet Joule et la réponse modale à un changement de température obtenu par estimation.

3.1 Response to a current change (active method) (loop current step response)

3.1.1 Principle of the method

The measurement of temperature with an RTD is normally made with the help of a Wheatstone bridge, the value of the current crossing through the RTD being of the order of a few milliamperes. The principle of the test is to increase this current suddenly which induces a temperature transient associated with the heat being generated. In fact, this transient is representative of the internal thermal exchanges in the sensor. From an analysis of this internal transient, one can deduce the response time of the sensor.

3.1.2 Determination of the response time from the transient

The calculation is based on the working out of a one-dimensional thermal model of the sensor using the solution of the equation of the heat. This analysis shows that the dynamic operation of the sensor is represented by a system which has two inputs and one output. The two inputs are the temperature of the fluid and the heat generated by the Joule effect. The output shows the temperature of the platinum resistor. The transfer functions associated with each of these inputs are as follows:

For the temperature change of the fluid:

$$H_1(p) = \frac{K}{\Pi_i(p-p_i)}$$

For the internal heat supply:

$$H_2(p) = \frac{\Pi_j(p-z_j)}{\Pi_i(p-p_i)}$$

where

K is the Biot modulus which is defined as the ratio of the film thermal conductance to the internal conductance of the RTD;

p shows the Laplace operator;

p_i is the pole of the function;

z_j represents the zeros of the function.

The modal responses associated with $H_1(p)$ - $H_2(p)$ are:

$$R_1(t) = A_0 + \sum_i A_i \exp(-p_i t)$$

$$R_2(t) = B_0 + \sum_i B_i \exp(-p_i t)$$

It appears that the estimate of the poles (p_i), from the transient created $R_2(t)$, is sufficient to recalculate theoretically the modal response $R_1(t)$. In fact, the transfer function $H_2(p)$ with zeros and poles provides more information than $H_1(p)$ which only has poles.

Figure 1 shows an example of transient created by the Joule effect and the modal response to a temperature change obtained after estimation.

3.2 Calcul du temps de réponse par le bruit de température (méthode passive)

Principe d'analyse:

L'analyse est basée sur la fluctuation aléatoire du signal électrique autour de la valeur directe représentant le point de fonctionnement. Dans la mesure où le bruit de l'électronique associée au RTD est négligeable, ces fluctuations représentent le bruit du processus filtré par le capteur. Le bruit du processus provient de plusieurs sources, dont le mélange d'eau sortant du cœur, les caractéristiques fonctionnelles des pompes ou la turbulence.

Si le bruit du processus est stationnaire et blanc (densité spectrale en puissance stabilisée du processus sur une large bande avant la bande passante du capteur), le spectre de puissance du signal de sortie représente le module de la fonction de transfert du capteur. Ainsi, la méthode d'analyse repose sur une estimation de la fonction de transfert du capteur. Cette estimation peut être faite dans la gamme de fréquences (des exemples de lissage du spectre de puissance sont donnés dans la figure 2) ou dans le domaine temporel lorsqu'on utilise un modèle autorégressif (modèle AR).

Si le bruit du processus est non blanc, les méthodes d'analyse de la gamme de fréquences et d'analyse du domaine temporel utilisant un modèle autorégressif peuvent encore être appliquées à la surveillance des changements dans les variations du temps de réponse du capteur. Tant que l'analyse est effectuée dans des conditions comparables à celles de la centrale et des caractéristiques de fréquence de bruit identiques, la méthode fournit des informations sur les variations de réponse du capteur. Le temps de réponse est probablement surestimé.

La mesure est ainsi accomplie en deux phases:

- une phase de mesure de la signature de référence normalement limitée à la période de mise en service et un fonctionnement précoce de la centrale mais aussi, souvent un remplacement du capteur;
- une phase de surveillance lors de la comparaison entre la signature réelle et la signature de référence.

4 Prescriptions générales d'utilisation

4.1 Essai de réponse à un changement de courant

Cet essai exige l'utilisation d'un matériel spécifique incluant:

- un pont de Wheatstone avec une réponse en fréquence d'au moins 40 Hz permettant de commuter d'une faible sensibilité à un courant supérieur (par exemple des changements de l'ordre de 4 mA à 40 mA); le courant nécessaire dépendra du type de capteur et de sa température de fonctionnement;
- un appareil pour analyser les transitoires obtenus. L'analyse peut être automatisée à l'aide d'un calculateur.

L'essai inclut les opérations suivantes:

- détermination de la configuration d'essai de l'assemblage contenant le capteur;
- séparation du capteur et du convertisseur associé et connexion au matériel d'essai;
- équilibrage du pont de Wheatstone;
- injection d'échelons de courant dans le capteur en essai;
- analyse des transitoires obtenus, calcul des constantes et estimation du temps de réponse.

3.2 Calculation of the response time by temperature noise (passive method)

Principle of analysis:

The analysis is based on the random fluctuation of the electrical signal around the direct value representing the operating point. Insofar as the noise of the electronics associated with the RTD is insignificant, these fluctuations represent the noise of the process filtered by the sensor. The noise of the process arises from several sources including the mixing of water leaving the core, pump performances and turbulence.

If the noise of the process is stationary and white (constant power spectral density of the process in a wide band before the pass band of the sensor), the power spectrum of the output signal represents the modulus of the transfer function of the sensor. Thus, the method of analysis lies in working out an estimate of the transfer function of the sensor. This estimate can be made in the frequency domain (smoothing of the power spectrum examples are given in figure 2) or the time domain when using an autoregressive model (AR model).

If the noise of the process is not white, both methods, the frequency domain analysis and the time analysis domain using an autoregressive model, can still be applied for the surveillance of changes in the drift of response time of the sensor. As long as the analysis is conducted under conditions similar to those of the plant and similar noise frequency characteristics, the method provides information about the drift of the response of the sensor. The response time is probably overestimated.

The measurement is therefore accomplished in two stages:

- a phase of measurement of the reference signature normally limited to the period of commissioning and early operation of the station, but also often a replacement of the sensor;
- a phase of monitoring when the actual signature is compared to the reference signature.

4 General requirements for use

4.1 Test by the response to a current change

This test requires the use of specific equipment including:

- a Wheatstone bridge with a frequency response of at least 40 Hz allowing switching from low sensing to higher current (e.g. changes of the order of 4 mA to 40 mA); the current needed will depend on the type of sensor and its operating temperature;
- a device for analysing the transients obtained. The analysis can be automated with the use of a computer.

The test includes the following operations:

- setting on test configuration of the assembly containing the sensor;
- disconnection of the sensor from the associated converter and connection to the test equipment;
- balancing of the Wheatstone bridge;
- injection of current changes in the sensor on test;
- analysis of the transients obtained, calculation of the constants and estimation of the response time.

L'essai doit être effectué lorsque les conditions thermohydrauliques nominales (température, pression, circulation) sont remplies. La plus grande précision est obtenue dans des conditions d'arrêt à chaud (bruit de température minimal).

4.2 Essai d'analyse du bruit

Cet essai exige l'utilisation d'un matériel spécifique incluant:

- un amplificateur de découplage avec une réjection de composants de signaux à courant continu;
- un appareil pour le traitement des signaux, incluant par exemple un analyseur spectral et un mini-calculateur.

L'essai inclut les opérations suivantes:

- connexion de l'amplificateur de découplage à un point de connexion électrique disponible (la connexion peut être permanente dans le cas d'un matériel fixe);
- analyse, traitement de signaux, archivage des résultats (durée approximative 15 min).

Cet essai est réalisé lorsque le réacteur fonctionne en régime stable et à pleine puissance.

4.3 Observations

La méthode active est une technique précise; cependant, elle influence temporairement la configuration normale du système de protection et de commande. La méthode passive est une méthode de surveillance qui peut être utilisée sans problème dans une centrale en cours d'exploitation.