

INTERNATIONAL
STANDARD
NORME
INTERNATIONALE

IEC
CEI

62397

First edition
Première édition
2007-05

**Nuclear power plants –
Instrumentation and control important to safety –
Resistance temperature detectors**

**Centrales nucléaires de puissance –
Instrumentation et contrôle-commande
importants pour la sûreté –
Sondes à résistance**



Reference number
Numéro de référence
IEC/CEI 62397:2007



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2007 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch
Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch
Tél.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

**INTERNATIONAL
STANDARD**

**NORME
INTERNATIONALE**

**IEC
CEI**

62397

First edition
Première édition
2007-05

**Nuclear power plants –
Instrumentation and control important to safety –
Resistance temperature detectors**

**Centrales nucléaires de puissance –
Instrumentation et contrôle-commande
importants pour la sûreté –
Sondes à résistance**

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

PRICE CODE
CODE PRIX

T

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

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	8
2 Normative references	8
3 Terms and definitions	8
4 Design and construction requirements.....	10
4.1 General.....	10
4.2 Reliability	10
4.3 Materials	10
4.3.1 Radiation dose to materials	10
4.3.2 Resistance element material.....	11
4.3.3 Seals and adhesives.....	11
4.4 Connections	11
4.4.1 Electrical connection	11
4.4.2 Mechanical connection	14
4.5 Workmanship	14
4.6 Ambient conditions (normal and accident operations).....	15
4.7 RTD performance.....	15
4.7.1 Accuracy	15
4.7.2 Resistance temperature calibration.....	16
4.7.3 Self-heating error	16
4.7.4 Thermal response time	16
4.7.5 Interchangeability	17
4.7.6 Electrical insulation resistance	17
4.7.7 Repeatability (thermal shock)	17
4.7.8 Vibration.....	18
4.7.9 Steam test.....	18
4.7.10 Insulation resistance after storage.....	18
4.7.11 <i>In situ</i> response time testing.....	19
4.8 Identification.....	19
4.9 Failure mode and effects analysis	19
5 Inspection and tests	20
5.1 General.....	20
5.2 Inspection and test failure	20
5.3 Inspection and test reports	20
5.4 Qualification tests.....	20
5.4.1 Calibration procedure	21
5.4.2 Thermal cycling	22
5.4.3 Insulation breakdown test.....	22
5.4.4 Examination	22
5.5 Production tests	22
6 Technical information required	23
Bibliography.....	24

Figure 1 – Form and dimensions of an RTD	12
Figure 2 – Installation of a rigid RTD (Type I).....	12
Figure 3 – Installation of a rigid RTD (Type II) long insertion.....	13
Figure 4 – Installation of a rigid RTD (Type II) short insertion	13

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

NUCLEAR POWER PLANTS – INSTRUMENTATION AND CONTROL IMPORTANT TO SAFETY – RESISTANCE TEMPERATURE DETECTORS

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of 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, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). 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. 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 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 IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 62397 has been prepared by subcommittee 45A: Instrumentation and control of nuclear facilities, of IEC technical committee 45: Nuclear instrumentation.

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

FDIS	Report on voting
45A/650/FDIS	45A/656/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 2.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

INTRODUCTION

a) Technical background, main issues and organisation of the standard

This standard describes the requirements for the design, material selection, procurement, construction, and testing of resistance temperature detectors (RTDs) being used in nuclear power plants (NPPs). These RTDs may be used in both the nuclear safety I&C systems and/or in the non-safety-related instrumentation systems.

When the project was proposed in October 2002 during the SC 45A meeting held in Beijing, China, there was no other known IEC standard currently available on this subject.

b) Situation of the current standard in the structure of the SC 45A standard series

IEC 62397 is not directly referenced by IEC 61513 and is the third-level SC 45A document tackling the issue of RTDs.

For more details on the structure of the SC 45A series of standards, see item d) of this introduction.

c) Recommendations and limitations regarding the application of this standard

There is no particular recommendation or limitation regarding the application of this standard.

d) Description of the structure of the SC 45A standard series and relationships with other IEC documents and other bodies documents (IAEA, ISO)

The top-level document of the IEC SC 45A standard series is IEC 61513. It provides general requirements for I&C systems and equipment that are used to perform functions important to safety in NPPs. IEC 61513 structures the IEC SC 45A standard series.

IEC 61513 refers directly to other IEC SC 45A standards for general topics related to categorization of functions and classification of systems, qualification, separation of systems, defence against common-cause failure, software aspects of computer-based systems, hardware aspects of computer-based systems, and control room design. The standards referenced directly at this second level should be considered together with IEC 61513 as a consistent document set.

At a third level, IEC SC 45A standards not directly referenced by IEC 61513 are standards related to specific equipment, technical methods, or specific activities. Usually these documents, which make reference to second-level documents for general topics, can be used on their own.

A fourth level extending the IEC SC 45A standard series corresponds to technical reports, which are not normative.

IEC 61513 has adopted a presentation format similar to the basic safety publication IEC 61508 with an overall safety life-cycle framework and a system life-cycle framework and provides an interpretation of the general requirements of IEC 61508-1, IEC 61508-2 and IEC 61508-4, for the nuclear application sector. Compliance with IEC 61513 will facilitate consistency with the requirements of IEC 61508 as they have been interpreted for the nuclear industry. In this framework, IEC 60880 and IEC 62138 correspond to IEC 61508-3 for the nuclear application sector.

IEC 61513 refers to ISO as well as to IAEA 50-C-QA (now replaced by IAEA 50-C/SG-Q) for topics related to quality assurance (QA).

The IEC SC 45A series of standards consistently implements and details the principles and basic safety aspects provided in the IAEA code on the safety of NPPs and in the IAEA safety series, in particular the requirements NS-R-1 establishing safety requirements related to the design of NPPs, and safety guide NS-G-1.3 dealing with instrumentation and control systems important to safety in NPPs. The terminology and definitions used by SC 45A standards are consistent with those used by the IAEA.

NUCLEAR POWER PLANTS – INSTRUMENTATION AND CONTROL IMPORTANT TO SAFETY – RESISTANCE TEMPERATURE DETECTORS

1 Scope

This International Standard describes the requirements for resistance temperature detectors (RTDs) suitable for nuclear power plant (NPP) services. The requirements of RTDs include design, materials, manufacturing, testing, calibration, procurement, and inspection. In nuclear application, both “direct-immersion” and “thermowell-mounted” RTD are commonly used; however, this standard does not exclude any other design of RTD which may be required for certain special applications in various types of reactors.

RTDs can be supplied in different internal constructions, which depend on the manufacture, qualifications, and applications. For RTD being used in an NPP, the design and structure of the RTD should consider the environmental conditions in which the detector is being used under normal operating and under design basis accident conditions, as well as the qualification tests specified by the user¹. The use of a flexible mineral-insulated (MI) cable between the RTD and the connector is commonly adopted, and the user may also adopt any other construction. A variation of this design may include a rigid exterior sheath over the MI cable between the RTD and the connector, these being welded to each other.

The scope of this standard does not cover the design, material selection, and construction of the thermowell, the guide tube, the extension cable, and the temperature transmitter or bridge which may be associated with the RTD.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60780:1998, *Nuclear power plants – Electrical equipment of the safety system – Qualification*

IEC 60980:1989, *Recommended practices for seismic qualification of electrical equipment of the safety system for nuclear generating stations*

IEC 61224, *Nuclear reactors – Response time in resistance temperature detectors (RTD) – In situ measurements*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

¹ The user corresponds to the party or the company that uses the RTD in a NPP for measuring the temperature in a safety or a non-safety system. The term user may also refer to the purchaser or the buyer, or the operator of the RTD.

3.1**accuracy of measurement**

closeness of the agreement between the result of a measurement and the conventional true value of the measurand

[IEV 394-40-35]

3.2**calibration**

set of operations that establish, under specified conditions, the relationship between values of quantities indicated by measuring instrument or measuring system, or values represented by material measure or a reference material, and the corresponding values realized by standards

[IEV 394-40-43]

3.3**drift**

variation in sensor or instrument channel output that may occur between calibrations that cannot be related to changes in the process variable or environmental conditions

[IEC 62385, definition 3.6]

3.4**performance monitoring**

process of demonstrating that an installed instrument channel continues to perform its intended function of monitoring the process variable with the expected accuracy, response time, and stability

[IEC 62385, definition 3.14]

3.5**resistance temperature detector (RTD)**

detector 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 the thermowell

NOTE 1 Mounting means or connection heads may be included. The temperature-sensing resistor can be made of platinum, nickel tungsten, copper, or other metals. However, a platinum sensor is commonly used in the RTD in an NPP; therefore, a platinum resistance thermometer is referred to in this standard.

NOTE 2 In this standard, the term "sensor" describes the RTD unit with all its associated protection, for example, barrel or thermowell. For most applications of measuring process fluid temperature in an NPP, the platinum resistor sensor is installed inside a stainless steel thermowell. For air temperature measurement, a direct sensor may be used.

3.6**response time**

the time required for the output signal of a component to reach a specified fraction (generally 90 %) of its final variation after a step change of its input signal

3.7**self-heating error**

rise in the indicated temperature due to the power dissipated in the sensor

3.8

thermowell

protective jacket for RTDs, thermocouples, and other temperature sensors. The thermowell is also used to facilitate replacement of the temperature sensor

[IEC 62385, definition 3.21]

3.9

time constant

in the case of a first order system, the time required for the output signal of a system to reach 63,2 % of its final variation after a step change of its input signal.

If the system is not first order system, the term “time constant” is not appropriate. For a system of a higher order, the term “response time” should be used.

4 Design and construction requirements

4.1 General

The RTD and its associated devices shall meet the requirements described in this standard but shall not necessarily be limited to these requirements.

4.2 Reliability

The design philosophy for RTDs in an NPP requires a device which is capable of continuous successful operation at rated service conditions throughout the design life of the plant. The equipment should have a failure rate less than 5×10^{-3} failures per year.

RTDs operated in safety systems should have their design lives defined. For RTD whose design life is less than the design life of the NPP or the safety system, then arrangement shall be made for the RTD to be replaced or re-assessed before its design life is reached.

4.3 Materials

Materials, processes and standard parts which are not specifically designated herein and which are necessary for the manufacturing and installation of the RTD shall be of high quality and in accordance with the highest calibration practice pertinent to the manufacture and application of instrumentation equipment.

All equipment, material, and articles incorporated in the products covered by this standard shall be new but may be fabricated using components produced from recycled materials to the maximum extent practicable without jeopardizing the intended use.

4.3.1 Radiation dose to materials

The maximum radiation dose may be about 900 kGy (90 Mrad) depending on the application and the mission time after a design basis accident.

Some devices may be exposed to neutron fluxes. The user shall review and approve the use of the materials, which may be subject to activation.

4.3.2 Resistance element material

Platinum is used extensively for resistance thermometers in an NPP for both safety- and non-safety-related instrument applications. Platinum is a noble metal, relatively stable and unaffected by its surrounding environment. It resists corrosion, oxidation, and other forms of chemical attack. It is easily workable and can be drawn into fine wires. Platinum has a high melting- point, which shows little volatilization below 1 000 °C. Platinum can be obtained to a high degree of purity, which has a reproducible electrical and chemical characteristic over a wide range of temperatures. All this is evidenced by a simple linear and stable resistance temperature relationship that characterizes the platinum sensor. However, the electrical resistance of platinum wire is extremely sensitive to minute quantities of contaminating impurities and to strains; both of these characteristics may alter the simple resistance-temperature relationship.

Other metals may also be used for resistance thermometers provided their accuracy, repeatability, response time, and reliability comply with the requirements of the applications.

The sensing wire shall be mounted so as to be almost free of strains to avoid the strain gauge effect from causing extraneous changes in resistance. Furthermore, the thermometer shall be manufactured with the resistance element free of contaminants.

4.3.3 Seals and adhesives

The RTD shall be hermetically sealed. The connector may or may not be an integral part of the RTD assembly. RTD used in a harsh environment, such as under high-temperature and/or radiation areas, shall be designed without organic material. The use of ceramic material is recommended. The tightness of the insulating termination shall be tested according to an adequate and proven procedure. Commonly suggested seals of the connector are glass-to-metal or ceramic-to-metal, which should have less than 10^{-8} cm³/s leak rate when tested with helium at an atmospheric differential pressure.

All cements, adhesives, or seals used internally in the device shall be capable of withstanding the service conditions without functional deterioration and without emitting gases. All non-metallic materials, when used for seals, protective finishes, and so forth, shall be moisture- and flame-resistant. These non-metallic materials shall not support fungus growth and shall not be adversely affected by the ambient environments specified in the performance requirements of this standard.

4.4 Connections

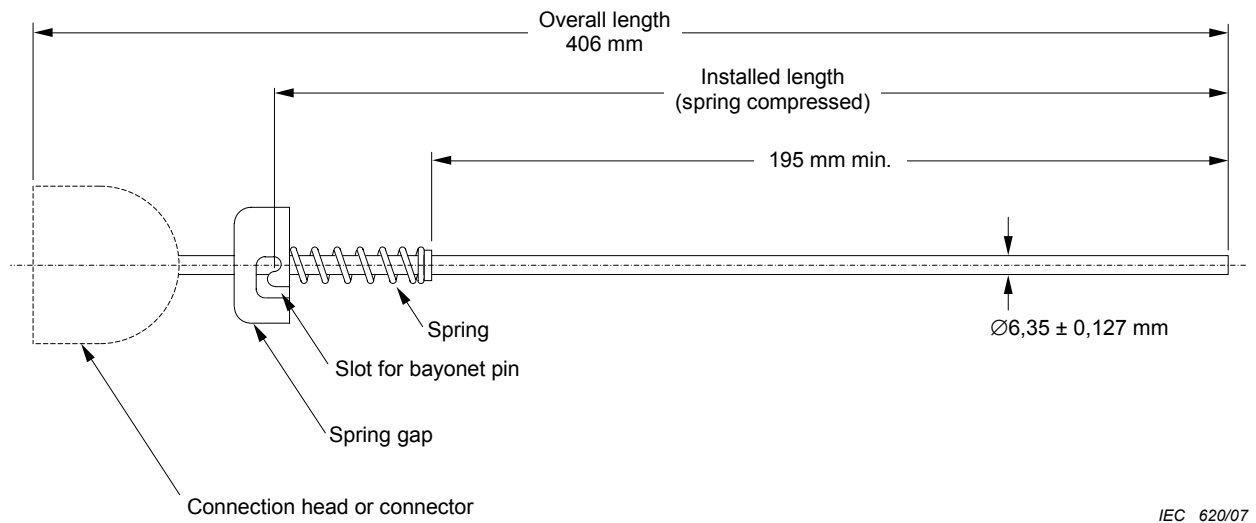
4.4.1 Electrical connection

RTDs shall have lead wires terminated through a qualified hermetic seal.

There are two common types of electrical connections used in an NPP. Figure 1 provides the general form and dimensions of an RTD without any thermowell. Figure 2 is a rigid RTD without a quick disconnect and is referred to as Type I (standard). Figures 3 and 4 are rigid RTDs with quick connectors, and are referred to as Type II with long insertion and short insertion, respectively. A user may specify any other form of RTD and construction, depending on its particular applications.

Type I (standard): The electrical connection is made within a metallic housing (connection head) and is achieved by screw-type terminals. The housing shall be waterproof when closed and shall permit ready withdrawal of the RTD when open. The removable cap shall be joined to the body by a corrosion-resistant chain. The nipple and the extension may be specified as part of the application or recommended by the temperature-sensor manufacturer².

Type II (quick disconnect): The electrical connection is achieved by using a multi-pin connector. The connector need not be a hermetic type, but it shall be splash-proof when mated and shall meet the insulation resistance requirements in 4.7.6. In addition, the contact resistance across a mated connector shall not exceed 0,25 Ω . For high-accuracy application, the user may consider gold or silver plating for the pins and sockets of the connector.



NOTE Spring may be enclosed inside connection head.

Figure 1 – Form and dimensions of an RTD

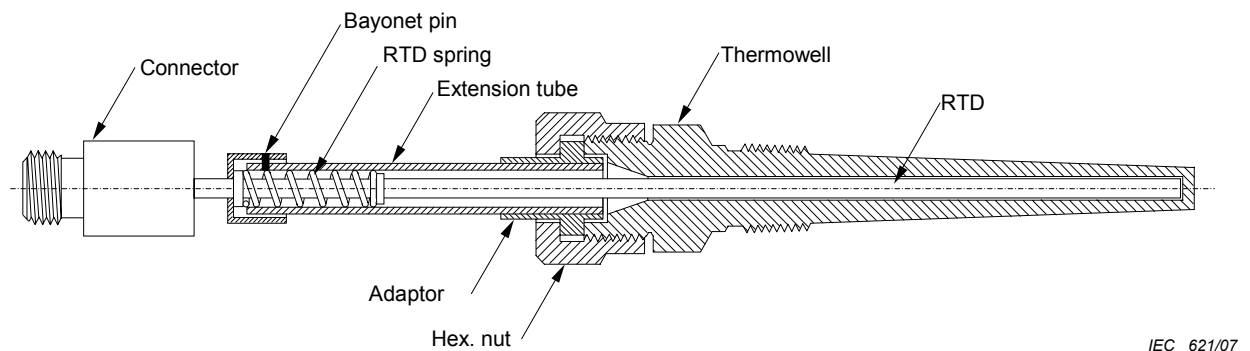
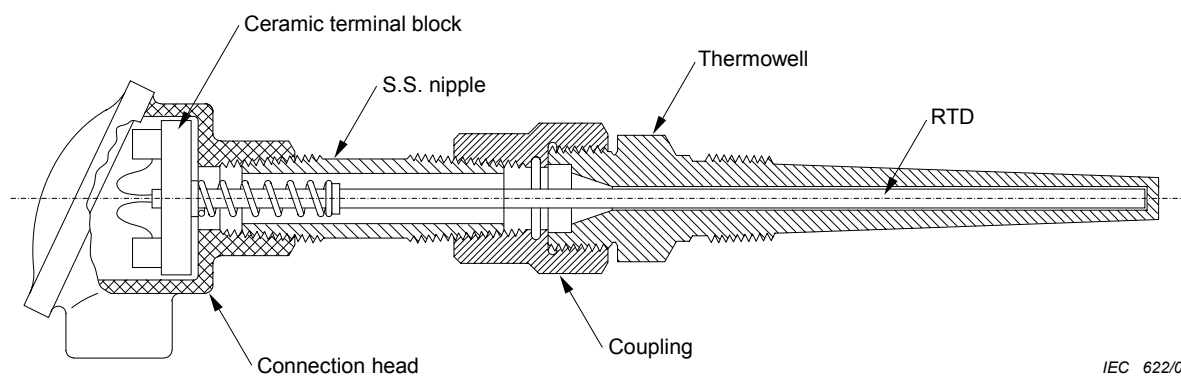


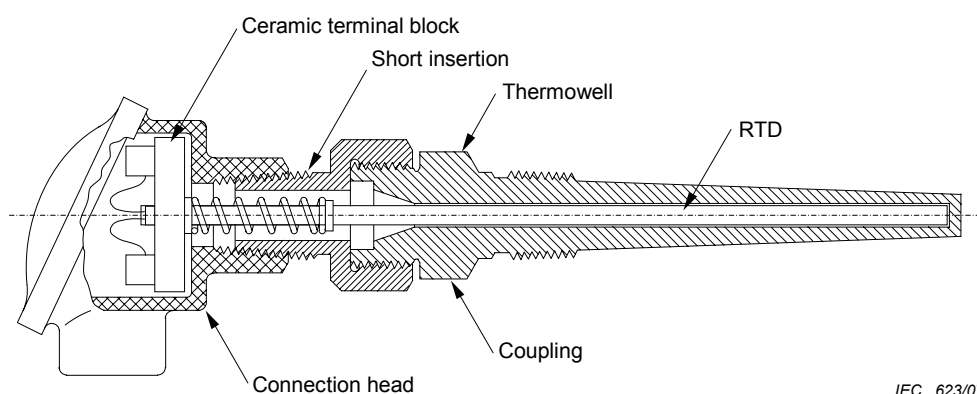
Figure 2 – Installation of a rigid RTD (Type I)

² The manufacturer corresponds to the party or the company that manufactures the RTD. The term manufacturer may also refer to the supplier or the vendor of the RTD.



IEC 622/07

Figure 3 – Installation of a rigid RTD (Type II) long insertion



IEC 623/07

Figure 4 – Installation of a rigid RTD (Type II) short insertion

The temperature rating of the connector shall be at least 150 °C or the accident temperature specified by the user. Unless otherwise specified, the manufacturer shall supply the mating connector half with the RTD. The adapter and the extension tube shall be supplied by the manufacturer.

Electrical continuity

All circuits shall maintain electrical continuity throughout the normal and accident operating conditions.

Contact resistance

Resistance in the contacts of each circuit shall not be greater than 0,25 Ω.

Lead wires

Three or four lead wires may be used depending on their applications and degree of required accuracy. The RTD should normally be used as a three-wire device unless a four-wire device is required for specific design reasons. The lead wires of the RTD shall be continuously supported by an insulating material in such a manner that the completed RTD is insensitive to vibration. The lead-wire material shall be so chosen as to reduce the resistance of the leads to the practicable minimum.

Installation of RTD into a thermowell

The RTD shall be installed generally as shown in Figures 2, 3, and 4. In each case, the RTD shall be held in its thermowell by spring pressure. Where an RTD of Type I is used, the spring cap which forms part of a dust-cap shall completely cover the end of the extension tube. In each case, the extension nipple is considered to be part of the RTD.

4.4.2 Mechanical connection

The user shall ensure that the RTD is compatible with the design of the thermowell, the connection head, the extension guide tube, and the end fittings shown in figure 1.

NOTE The guide tube is not part of this standard.

A spring force of the order of 1 100 kN/m² ensures a satisfactory RTD to thermowell bottom contact.

The connector assembly shall prevent moisture intrusion that may result in a leakage current, thus deteriorating the signal and producing a false temperature indication. The cable connector assembly shall also provide mechanical protection for the connections, thus preventing mechanical stresses from rendering the circuit susceptible to the effects of moisture intrusion, or breaking off the connections completely.

If fastening devices, such as screws, pins, bolts and similar, are used, these parts shall be installed with a means for preventing loss of tightness. These parts, when subject to removal or adjustment, shall not be swaged, peened, stacked, or otherwise permanently deformed.

X-rays of welds

All the welds shall be checked by X-ray. Any evidence of damage to components beneath the welds or any evidence of voids, cracks, reduction of area, or incomplete fusion in the weld should be considered as a cause for rejection.

Liquid penetrant

All the welds shall be tested by a liquid penetrant. The manufacturer and the user shall agree on the liquid penetrant examination procedures and materials. Documented qualification of personnel to the standard of a recognized regulatory body is required for those who are involved in the liquid penetrant examination.

Liquid penetrant materials

Halogenated liquid penetrant products or liquid penetrant products containing halogenated materials are not recommended. Furthermore, all liquid penetrant examination consumables (such as developers, cleaners) shall have both a restricted halogen and sulphur content regardless of the end use.

4.5 Workmanship

Workmanship shall be in accordance with good engineering and manufacturing practice as adopted in the nuclear industry. The RTD and its assembly should have a high degree of excellence to ensure satisfactory operations and service life in accordance with the provisions of this standard.

4.6 Ambient conditions (normal and accident operations)

The RTD may be either a “directly immersed” type or a “thermowell mounted” type, when it is exposed to the following service conditions.

- | | |
|---|---|
| a) Maximum element temperature | 330 °C |
| b) Plant design lifetime | 40 years |
| c) Radiation exposure | |
| rate (normal operation) | up to 3 Gy/h (300 rad/h) |
| rate (accident operation) | up to 100 kGy/h (10 Mrad/h) |
| total integrated dose | 2 000 kGy (200 Mrad) for 40 years |
| d) Air/steam environments under normal and accident | |
| temperature | 0 °C to 330 °C |
| humidity | up to 100 % (saturated) |
| contaminants | up to 50 ppm ozone salt laden “sea air” |
| steam | saturated |

Depending on the application of the subject RTD and the design of the reactor, the user may specify conditions other than the conditions as listed above.

– Environmental qualification

Environment Qualification for a plant accident scenario, such as a loss of coolant accident (LOCA) or a high-energy line break (HELB), shall be specified in the individual RTD specification sheets. Qualification shall be done in accordance with the technical specification as defined by the user. In the absence of any specific instruction from the user, the qualification tests shall be performed in accordance with the methods and procedures provided in IEC 60780.

Certain RTDs with their cable connector assemblies may be used in nuclear safety I&C systems; they are required to perform continuously their temperature-measurement safety functions throughout the defined mission time. If such a requirement is specified, the RTD with the complete assembly shall be subjected to a range of qualification tests, as described in 5.4. This is to demonstrate and to ensure that the RTD and its assembly is capable of performing its required functions under various operating and design basis accident conditions that may occur during the life of the plant.

For the laboratory to perform the qualification tests, the user shall define the normal operating environments of these RTDs, harsh environments as a result of the postulated accidents or design basis accidents, normal and accident safety functions, and the RTD performance in 4.7, their mission times, and floor-response spectrum for seismic qualification, see IEC 60980.

4.7 RTD performance

Each RTD shall meet the performance requirements of this clause.

4.7.1 Accuracy

During normal and accident operating conditions, the error attributed to the performance of the temperature measurement loop, including the RTD with its cable and connector, is limited to 0,25 °C (temperature between 0 °C and 100 °C) or 0,25 % (for temperatures above 100 °C) variance in temperature measurement. The maximum drift shall not be more than 0,2 % of full scale per year. This error includes contributions due to the resistance-temperature calibration, self-heating, drift, and steam conduction, but does not include contributions due to field extension wiring and the temperature transmitter or bridge.

4.7.2 Resistance temperature calibration

The changes in resistivity with the temperature of platinum follow a definite relationship which can be expressed as a simple mathematical formula. For a platinum resistance thermometer, the resistance at any temperature can be represented by the following Callendar equation.

$$R_t = R_0 (1 + AT + BT^2)$$

where

R_t is the resistance of thermometer at temperature T °C;

R_0 is the resistance of thermometer at 0 °C;

A, B are constants, dependent on the characteristics of the platinum wire;
(constants A and B can be defined as $A = \alpha(1 + \delta/100)$; $B = \alpha \delta/10^4$);

α (alpha) is given on each specific calibration table, nominally = 0,00385 $\Omega/\Omega/^\circ\text{C}$;

δ (delta) is given on each specific calibration table, nominally = 1,5.

(Alpha and delta should be provided by the manufacturer or defined by the user.)

The purity of the platinum wire and the strain free construction of the RTD element for the alpha constant should result in a value of not less than 0,003850 $\Omega/\Omega/^\circ\text{C}$. The nominal resistance of the RTD element at 0 °C shall be 100 Ω . For precision temperature measurement, the user may specify the nominal resistance of the RTD element at 0 °C to be 200 Ω . A master resistance-temperature relationship table shall be provided covering the range between 9 °C and 330 °C at intervals of 1 °C.

Temperature range in °C	Tolerances
0-150	$\pm 0,75$ °C
Above 150	$\pm 0,50$ %

The resistance shall be that measured at the connector head.

For certain applications, and where specifically required on the application specifications, an individual calibration table of resistance versus temperature shall be supplied. It shall be performed in accordance with the procedure described in the calibration procedure (see 5.4.1). Different calibration tables shall be provided for different resistance elements.

4.7.3 Self-heating error

The self-heating error is defined as the rise in the indicated temperature due to the power dissipated in the sensor. The principle for the test method for evaluating the self-heating error should be as follows.

The sensor assembly is placed in water with a stable specified temperature. Under this condition, the sensor shall be capable of dissipating 10 mW without causing the indicated temperature to raise more than 0,2 °C.

4.7.4 Thermal response time

The response time is defined as the time required for the temperature detector to reach 63,2 % of the total change in resistance for a step change in temperature. For NPP applications, the response time requirements depend on the functions to be fulfilled. Typically two kinds of RTD are considered: fast-response-time RTDs and standard-response-time RTDs.

The test procedure and the requirements shall be defined according to the functional needs. IEC 61224 gives recommendations and requirements related to RTDs.

A typical test condition for determining response time is to quickly plunge the detector at 20 °C into water flowing at 1 m/s $\pm$ 0,15 m/s and at 75 °C $\pm$ 2,5 °C. Alternatively, the sensor can be heated in the air and then plunged into room temperature water flowing at 1 m/s. Unless otherwise specified, the time to reach 63,2 % of the step change in temperature shall not exceed 20 s for an RTD in a thermowell or 3,0 s for an RTD alone.

For some special applications, the user may require the *in situ* response time to be testable using the loop current step response (LCSR) method. The LCSR method requires currents of 40 mA to 80 mA to be applied temporarily for up to 1 min to 2 min. This test can be repeated up to 50 times to allow averaging of the data to reduce the effect of process fluctuations on the LCSR signal.

4.7.5 Interchangeability

Every sensor produced under the same specification shall be interchangeable with any other of the same type, within the tolerances listed in the resistance temperature calibration (see 4.7.2) above.

4.7.6 Electrical insulation resistance

The RTD shall successfully meet acceptance criteria for the electrical insulation resistance test as specified below.

The electrical insulation resistance of the temperature detector element, as measured between each terminal of the element and the element sheath, shall not be less than 100 M Ω , at 100 V d.c. at room temperature, and shall be at least 10 M Ω at 100 V d.c. at a temperature equal to, or greater than, 200 °C.

For the purpose of the qualification test specified in the following qualification test, see 5.4, the insulation resistance shall be continuously monitored as the element cools from 330 °C $\pm$ 10 °C to room temperature. Any drop in insulation resistance below the stated limits shall be a cause for disqualification.

4.7.7 Repeatability (thermal shock)

The RTDs shall successfully meet the acceptance criteria stated in the repeatability (thermal shock) test specified below.

The sensor shall be transferred between baths at 0 °C to 330 °C to 0 °C for 25 cycles. Each transfer shall be achieved in less than 5 s and the sensor shall remain immersed in the bath for a minimum of 60 s between transfers. The sensor may be mounted in the thermowell to be used for this test but shall be allowed to stabilize at each temperature for a minimum period of 1 min. Following this test, the sensor shall be checked for insulation resistance and be calibrated at 0 °C and 100 °C. The insulation resistance shall be at least 100 M Ω , and the thermal cycling shall not shift the resistance temperature calibration more than 0,1 °C at 0 °C or 0,15 °C at 150 °C.

The number of cycles and the procedure may be specified jointly by the user and the manufacturer.

4.7.8 Vibration

The RTD shall successfully meet acceptance criteria for a mechanical endurance test (vibrations). The conditions of the test (frequency range, duration of one sweep cycle, type of frequency sweep, vibration level, and test duration) and the acceptance criteria should be defined according to the conditions and the application of the temperature measurement. A typical test procedure is given as follows.

The sensor is to be mounted in a fashion similar to the installation (in particular, the spring tension shall be identical to the installation) and heated to $330\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$ for the duration of the test. The sensor is then subjected to vibration in two planes in two separate runs: one perpendicular and one parallel to the sensor's longitudinal axis. The vibration spectrum to be used for each run is tabulated below.

Frequency range	10-5 000 Hz
Duration of one sweep cycle	10-5 000-10 Hz cycle in 1 h
Type of frequency sweep	Logarithmic
Vibration level	0,762 mm max. peak to peak, subject to 5 g max. peak
Test duration	2 h in each plane

The RTD shall be continuously monitored on an oscilloscope for continuity and short circuits over the test run.

The sensor shall be disqualified unless all the following conditions are met:

- a) no short or no open circuit is indicated;
- b) calibration at ice-point has shifted by no more than $0,1\text{ °C}$;
- c) calibration at 100 °C has shifted by no more than $0,15\text{ °C}$; and
- d) the sensor meets the insulation resistance requirements of electrical insulation resistance (see 4.7.6).

This vibration test is not intended to replace any seismic qualification test which may be called for by the user, if the RTD is required to perform any temperature measurement during and after a seismic event, see IEC 60980.

4.7.9 Steam test

This test shall apply to the whole RTD assembly, for example, with the metallic housing for Type I design and with the quick disconnect for Type II design, as specified in the qualification test (see 5.4). Both Types I and II design are described in 4.4.1.

The RTD shall be tested to demonstrate satisfactory insulation resistance and then exposed to saturated steam at $101\text{ kPa} \pm 2,0\text{ kPa}$ for a period of 2 h. At the end of this period, the connector pins shall be dried and an insulation resistance test is conducted. The insulation resistance shall be greater than $100\text{ M}\Omega$. Furthermore, each sensor shall be calibrated at 0 °C and meet the requirements of 5.4.1.

4.7.10 Insulation resistance after storage

Each RTD produced shall be stored indoors under a controlled environment and the RTDS may have been packaged for a couple of months. At the end of this storage period the insulation resistance of the RTD shall be greater than $10\text{ M}\Omega$ and shall not have dropped by more than a factor of 10 from the value obtained during production testing.

4.7.11 *In situ* response time testing

As an optional test, this *in situ* response time testing may be specified by the user. The *in situ* response time of the RTDs shall be measured using the LCSR method. This involves using a Wheatstone bridge to send a d.c. current of 40 mA to 80 mA to the RTD to cause internal heating in its sensing element. The internal heating produces a temperature transit in the RTD that manifests itself as a transient signal at the output of the Wheatstone bridge. This signal is then digitalized and fitted to a detailed mathematical model of the RTD to identify the RTD response time. The LCSR is performed remotely from the instrument cabinets where the RTD field leads terminate in the process instrumentation cabinets. The test provides the actual *in situ* response time of the RTD and accounts for the contribution of the thermowell, the process conditions, and other effects that can influence the response time.

The validity and accuracy of the LCSR method depends on a number of assumptions that shall be verified by laboratory testing. Therefore, each RTD design to be tested by the LCSR method shall undergo a laboratory validation test to verify that the RTD design lends itself to LCSR testing. The validation test involves LCSR and plunge testing performed under the same conditions to demonstrate that the LCSR method will provide the same response time as the plunge test (within $\pm 10\%$).

When testing a RTD in a noisy process, the LCSR test shall be repeated 20 to 50 times as necessary and the resulting data averaged to yield a smooth LCSR transient for an optimum analysis and accurate results. The duration of each LCSR repeat would depend on the RTD and its environment and can range from 10 s to 100 s.

4.8 Identification

Each device shall be identified with the following information:

- manufacturer's name or identity;
- manufacturer's model and/or serial number;
- user's identification number(s).

The identification shall be made by electro-etching on a non-critical surface according to the acceptable quality assurance procedure. Also, when specified, each device shall show the code identity of the user, attached to the instrument in the form of a metal tag, wired securely to the device. The tag shall be brass or stainless steel.

4.9 Failure mode and effects analysis

Each component may fail in one or more ways, called failure modes.

The manufacturer and the user shall evaluate all significant failure modes and their effects on the RTD and its operations.

The evaluation shall cover for each failure mode:

- the most likely causes of failure;
- the design features intended to prevent failure;
- the features intended to limit the consequence of failure;
- how to detect deterioration prior to failure;
- how to identify failure.

5 Inspection and tests

5.1 General

Tests shall be carried out to prove that RTDs comply with the requirements of this standard. It is not intended or recommended that all tests be performed on every RTD being supplied. Two kinds of tests are therefore described as follows.

Routine production tests shall be carried out on every RTD manufactured according to 5.5.

Qualification tests (type tests) shall be carried out on samples of each particular design and range of RTD. The scope of qualification tests (type test) is specified in 5.4.

In addition to the qualification tests listed in 5.4, the user may further specify environmental qualification and/or seismic qualification tests for those RTDs being used in severe environmental conditions during normal and accident plant conditions, see IEC 60980. The user and the manufacturer shall review the sequence and the content of each test. The purpose of the qualification test is to demonstrate that the RTD will successfully perform its safety function during the normal and accident plant conditions.

The manufacturer shall conduct all routine tests and carry out all inspections necessary to ensure that the material, workmanship, and operation are of the degree of excellence required by this standard and to demonstrate that the equipment supplied is calibrated and functionally performs as specified herein.

All inspection and test procedures, calibration equipment, and calibration equipment certificates shall be available to the user for acceptance prior to the commencement of manufacture.

5.2 Inspection and test failure

In the event of failure of any unit or part thereof to meet any inspection or test requirement specified in this standard, the user and/or the manufacturer should conduct a failure mode analysis or a root cause analysis.

5.3 Inspection and test reports

Inspection and test, including production and qualification reports shall be retained for the duration of the station life or the operating life of the temperature detector (RTD), as appropriate.

5.4 Qualification tests

To demonstrate that the temperature measurement sensor (RTD) is suitable for the service stipulated above, 10 % of the same production batch or no less than three sensors chosen at random, produced by normal methods and processes, shall be subjected to a qualification test. This test shall qualify all models of a common design.

This test shall consist of the following tests:

- examination (see 5.4.4);
- initial calibration (see 5.4.1) and electrical insulation resistance (see 4.7.6);
- repeatability (see 4.7.7);

- vibration test (see 4.7.8);
- steam test (see 4.7.9);
- thermal response time (see 4.7.4);
- self-heating error (see 4.7.3);
- electrical insulation resistance (see 4.7.6);
- thermal cycle (see 5.4.2);
- insulation breakdown test (see 5.4.3);
- final calibration (see 5.4.1) and accuracy (see 4.7.1);
- insulation resistance after storage (see 4.7.10); and
- loop current step response test (optional) (see 4.7.11).

When RTDs are used in system important to safety applications and under design basis accident environmental conditions, the qualification test shall include the following special tests:

- loss of coolant accident (LOCA) simulation test;
- seismic test; and
- irradiation test.

Environment qualification for a plant accident scenario, such as an LOCA or a high-energy line break, shall be specified in the individual RTD specification sheets. Qualification shall be carried out in accordance with the technical specification defined by the user. In the absence of any specific instruction from the user, the qualification tests shall be performed in accordance with the methods and procedures provided in IEC 60780 and in IEC 60980.

For the laboratory to perform the qualification tests, the user shall define

- the normal operating environments of these RTDs;
- the harsh environments as a result of the postulated accidents or design basis accidents;
- the normal and accident safety functions;
- the RTD performance under Clauses 5 and 6;
- the mission times of the measurements; and
- the floor response spectrum for seismic qualification.

5.4.1 Calibration procedure

a) At 0 °C

The sensor shall be allowed to come to equilibrium in a well-stirred ice bath maintained at $0\text{ °C} \pm 0,02\text{ °C}$. The resistance of the sensor shall then be read to an accuracy of at least $\pm 0,015\%$.

b) At 100 °C and at 330 °C, or at operating temperature as specified by the user.

The sensor shall be immersed in a bath of silicone oil, or other appropriate fluid, recommended by a secondary standard, which is directly traceable to an approved temperature standard. The sensor shall be immersed deeply enough to render the stem conduction error negligible.

The bath shall be within 1 °C of the desired calibration temperature when the resistance reading is taken.

The bath temperature stability and temperature uncertainty shall be established and the effect of any non-uniformity or residual temperature stability of the bath shall be accounted for in calculating the overall accuracy of the RTD calibration process.

5.4.2 Thermal cycling

The RTD shall be cycled between two stable temperatures for a specified number of complete cycles. The temperature range and number of cycles shall be agreeable to both the user and the manufacturer. Typical temperature range and cycle are between 23 °C and 330 °C for 100 complete cycles.

The cycle speed may be chosen for convenience, the only requirement being that the sensor is allowed to stabilize at each temperature. Calibration at 0 °C and insulation resistance shall be checked before and after the test. The calibration shall not shift more than 0,1 °C at 0 °C and at 100 °C. The insulation resistance shall be greater than 100 MΩ at temperatures less than 200 °C and shall not have changed by more than a factor of 10 during the cycle test.

5.4.3 Insulation breakdown test

A 50 % length of the RTD shall be maintained at operating temperature with the connection end at or near room temperature. A signal of 100 V d.c. shall be applied between the connections and the metallic shield, with the shield electrically positive. This condition shall be maintained for 48 h and then the voltage polarity shall be reversed for a further 48 h.

The RTD shall have a $10^6 \Omega$ resistance in series with the platinum sensor. The voltage drop across the resistor shall be measured daily, and the insulation resistance calculated. The RTD shall be deemed to have successfully passed the test if each successive measurement shows no reduction in insulation resistance and if there is no shift in calibration.

5.4.4 Examination

The sensor shall be examined to comply with the criteria below.

- a) Workmanship – the sensor shall exhibit high-quality workmanship.
- b) Finish – pits, scratches or other defects outside the agreed tolerances shall be cause for rejection.
- c) Dimensions – all parts of the sensor shall be measured to ensure conformance to the approved drawing dimensions.
- d) Identification – the sensor shall be checked to ensure that all identification data required by this standard is present.

5.5 Production tests

Each RTD produced shall be subject to a sequence of tests to verify the quality of the manufacturing. These tests are less stressful than the qualification tests.

Each RTD produced shall be subject to the following production tests:

- electrical insulation resistance at $330 \text{ °C} \pm 10 \text{ °C}$ (see 4.7.6);
- resistance temperature calibration at 0 °C and at 100 °C (see 4.7.1);
- thermal response time (see 4.7.4);
- liquid penetrant test (see 4.4.2);
- examination (see 5.4.4);
- electrical insulation resistance (at room temperature) (see 4.7.6).

After the sequence of tests, a final calibration test is performed. The sensor is deemed qualified if the calibration is not shifted by more than 0,25 °C at 0 °C or 0,5 °C at 100 °C. In the event of failure of any unit or part thereof to meet any inspection or test requirement specified herein, the user or the manufacturer should conduct a failure mode analysis or a root cause analysis.

6 Technical information required

The technical information required should include drawings of the RTD, clearly showing dimensions, internal wiring diagrams, materials used and internal construction, as well as information regarding dimensions of supports, mounting arrangements, and electrical connections.

The RTD manual shall consist of, as a minimum, the following information:

- descriptive data on the equipment;
- applicable drawings;
- internal wiring diagrams;
- specifications;
- production test results;
- qualification test results, as applicable; and
- a detailed parts list.

The NPP shall maintain up-to-date manuals for the duration of the station life or for the operating life of the RTD, as appropriate.

A performance specification for the RTD may include the following:

- range;
- nominal calibration curve and accuracy;
- self-heating error;
- depth of immersion;
- thermal response time;
- insulation resistance;
- ohmic resistance of internal connection wires;
- qualified service conditions;
- repeatability;
- environmental and seismic qualification, as applicable;
- *in situ* response time by the LCSR method; and
- any other pertinent data, such as electrical characteristics.

A description of the quality assurance programme for the operating resistance temperature detector (RTD), and an outline plan for quality control of the RTD production may be filed together with the performance specification.

Bibliography

The following references contain information of some relevance to this standard.

IAEA NS-G 1-3, *Instrumentation and Control Systems Important to Safety in Nuclear Power Plants*

IAEA NS-R-1:2000, *Safety of nuclear power plants: Design*

IAEA 50-C/SG-Q:1996, *Quality assurance for safety in nuclear power plants and other nuclear installations*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	28
INTRODUCTION	30
1 Domaine d'application	32
2 Références normatives	32
3 Termes et définitions	32
4 Exigences de conception et de fabrication	34
4.1 Généralités	34
4.2 Fiabilité	34
4.3 Matériaux	34
4.3.1 Dosimétrie associée aux matériaux	34
4.3.2 Matériaux constituant l'élément sensible	35
4.3.3 Joints et adhésifs	35
4.4 Raccordements	35
4.4.1 Raccordements électriques	35
4.4.2 Couplage mécanique	38
4.5 Exécution des travaux	38
4.6 Conditions d'ambiance (fonctionnements normal et accidentel)	39
4.7 Performances des SR	39
4.7.1 Précision	39
4.7.2 Etalonnage résistance-température	40
4.7.3 Erreur d'auto-échauffement	40
4.7.4 Temps de réponse	40
4.7.5 Interchangeabilité	41
4.7.6 Résistance d'isolement électrique	41
4.7.7 Reproductibilité (chocs thermiques)	41
4.7.8 Vibrations	42
4.7.9 Essai vapeur	42
4.7.10 Résistance d'isolement après stockage	42
4.7.11 Essai de temps de réponse sur site	43
4.8 Identification	43
4.9 Analyse des modes de défaillance et de leurs effets	43
5 Inspection et essais	44
5.1 Généralité	44
5.2 Opérations d'inspection et d'essai liées aux défaillances	44
5.3 Comptes-rendus d'inspection et d'essais	44
5.4 Essai de qualification	44
5.4.1 Procédure d'étalonnage	45
5.4.2 Cyclage thermique	46
5.4.3 Essai de perte d'isolement	46
5.4.4 Examen visuel	46
5.5 Essais de fabrication	46
6 Information technique demandée	47
Bibliographie	48

Figure 1 – Forme et dimensions d'une SR	36
Figure 2 – Installation d'une SR rigide (Type I)	36
Figure 3 – Installation d'une SR rigide (Type II) à insertion courte	37
Figure 4 – Installation d'une SR rigide (Type II) à insertion longue.....	37

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CENTRALES NUCLÉAIRES DE PUISSANCE – INSTRUMENTATION ET CONTRÔLE-COMMANDE IMPORTANTES POUR LA SÛRETÉ – SONDES À RÉSISTANCE

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). 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 de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI 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 62397 a été établie par le sous-comité 45A: Instrumentation et contrôle-commande des installations nucléaires, 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/650/FDIS	45A/656/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 2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

INTRODUCTION

a) Contexte technique, questions importantes et structure de cette norme

Cette norme établit des exigences pour la conception, le choix des matériaux, l'approvisionnement, la fabrication et les essais des sondes à résistance (SR) utilisées dans les centrales nucléaires. Ces SR peuvent être utilisées dans les systèmes d'I&C (instrumentation et contrôle-commande) nucléaires importants pour la sûreté et/ou dans les systèmes d'instrumentation non liés à la sûreté.

Lors de la présentation du projet à la réunion de Pékin (Chine) en octobre 2002, il n'y avait pas d'autres normes CEI disponibles sur le sujet.

b) Position de la présente norme dans la collection de normes du SC 45A de la CEI

La CEI 62397 n'est pas directement référencée par la CEI 61513, c'est le document du SC 45A de la CEI de troisième niveau qui traite des SR.

Pour plus de détails sur la collection de normes du SC 45A de la CEI, voir le point d) de cette introduction.

c) Recommandations et limites relatives à l'application de cette norme

Il n'y a pas de recommandation particulière, ni de limitation concernant l'application de cette norme.

d) Description de la structure de la collection des normes du SC 45A de la CEI et relations avec d'autres documents de la CEI et d'autres organisations (AIEA, ISO)

Le document de niveau supérieur de la collection de normes produites par le SC 45A de la CEI est la CEI 61513. Cette norme traite des exigences relatives aux systèmes et équipements d'instrumentation et de contrôle-commande (systèmes d'I&C) utilisés pour accomplir les fonctions importantes pour la sûreté des centrales nucléaires, et structure la collection de normes du SC 45A de la CEI.

La CEI 61513 fait directement référence aux autres normes du SC 45A de la CEI traitant de sujets génériques, tels que la catégorisation des fonctions et le classement des systèmes, la qualification, la séparation des systèmes, les défaillances de cause commune, les aspects logiciels et les aspects matériels relatifs aux systèmes programmés, et la conception des salles de commande. Il convient de considérer que ces normes, de second niveau, forment, avec la CEI 61513, un ensemble documentaire cohérent.

Au troisième niveau, les normes du SC 45A de la CEI, qui ne sont généralement pas référencées directement par la CEI 61513, sont relatives à des matériels particuliers, à des méthodes ou à des activités spécifiques. Généralement ces documents, qui font référence aux documents de deuxième niveau pour les activités génériques, peuvent être utilisés de façon isolée.

Un quatrième niveau qui est une extension de la collection de normes du SC 45A de la CEI correspond aux rapports techniques qui ne sont pas des documents normatifs.

La CEI 61513 a adopté une présentation similaire à celle de la CEI 61508, avec un cycle de vie et de sûreté global, un cycle de vie et de sûreté des systèmes, et une interprétation des exigences générales des CEI 61508-1, CEI 61508-2 et CEI 61508-4 pour le secteur nucléaire. La conformité à la CEI 61513 facilite la compatibilité avec les exigences de la CEI 61508 telles qu'elles ont été interprétées dans l'industrie nucléaire. Dans ce cadre, la CEI 60880 et la CEI 62138 correspondent à la CEI 61508-3 pour le secteur nucléaire.

La CEI 61513 fait référence aux normes ISO ainsi qu'au document AIEA 50-C-QA (remplacé depuis par le document AIEA 50-C/SG-Q) pour ce qui concerne l'assurance qualité.

Les normes produites par le SC 45A de la CEI sont élaborées de façon à être en accord avec les principes de sûreté fondamentaux du Code AIEA sur la sûreté des centrales nucléaires, ainsi qu'avec les guides de sûreté de l'AIEA, en particulier le document d'exigences NS-R-1 qui établit les exigences de sûreté relatives à la conception des centrales nucléaires et le guide de sûreté NS-G-1.3 qui traite de l'instrumentation et du contrôle-commande importants pour la sûreté des centrales nucléaires. La terminologie et les définitions utilisées dans les normes produites par le SC 45A sont conformes à celles utilisées par l'AIEA.

CENTRALES NUCLÉAIRES DE PUISSANCE – INSTRUMENTATION ET CONTRÔLE-COMMANDE IMPORTANTES POUR LA SÛRETÉ – SONDES À RÉSTANCE

1 Domaine d'application

Cette Norme internationale établit les exigences applicables aux sondes à résistance (SR) aptes à fonctionner en centrales nucléaires. Ces exigences applicables aux SR sont relatives à la conception, aux matériaux de construction, à la fabrication, aux essais, à l'étalonnage, à l'approvisionnement et aux inspections. Dans les applications nucléaires on utilise communément des SR en «immersion directe» comme des SR «montées dans des doigts de gant»; néanmoins cette norme n'exclut pas les SR de conception différente, qui peuvent être nécessaires pour des applications spéciales sur des réacteurs de divers types.

Les SR fournies peuvent présenter des dispositions internes de fabrication différentes, qui dépendent de la fabrication, de la qualification et des applications. Il convient que les SR utilisées dans les centrales nucléaires prennent en compte les conditions liées à l'environnement dans lequel la sonde sera utilisée, ceci pour les conditions de fonctionnement normal, comme pour celles relatives aux accidents de dimensionnement ou pour celles spécifiées par l'utilisateur¹ pour les essais de qualification. On utilise de façon courante des flexibles à isolant minéral entre la SR et le connecteur, mais l'utilisateur peut aussi choisir une autre solution. Une conception différente peut utiliser un fourreau rigide extérieur au câble à isolant minéral entre la SR et le connecteur, ceux-ci étant soudés ensemble.

Le domaine de cette norme ne couvre pas la conception, le choix des matériaux et la fabrication des doigts de gant, des tubes guide, des câbles d'extension et des ponts de mesure et des capteurs de température qui peuvent être associés aux SR.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60780:1998, *Centrales nucléaires – Equipements électriques de sûreté – Qualification*

CEI 60980:1989, *Pratiques recommandées pour la qualification sismique du matériel électrique du système de sûreté dans les centrales électronucléaires*

CEI 61224: *Réacteurs nucléaires – Temps de réponse des détecteurs de température à résistance (RTD) – Mesures in situ*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

¹ L'utilisateur est l'organisation ou la société qui utilise des SR dans une centrale nucléaire pour mesurer la température dans un système lié ou non à la sûreté. Le terme utilisateur est aussi employé pour faire référence aux acheteurs ou à l'exploitant utilisant les SR.

3.1

exactitude de mesure

étroitesse de l'accord entre une mesure et la valeur conventionnellement vraie du mesurande

[VEI 394-40-35]

3.2

étalonnage

ensemble des opérations établissant, dans des conditions spécifiées, la relation entre les valeurs de la grandeur indiquées par un appareil de mesure ou un système de mesure, ou les valeurs représentées par une mesure matérialisée ou par un matériau de référence, et les valeurs correspondantes de la grandeur réalisées par des étalons.

[VEI 394-40-43]

3.3

dérive

variation de la sortie d'un capteur ou d'une chaîne d'instrumentation qui peut survenir entre deux opérations d'étalonnage et qui n'est pas due à l'évolution d'une variable du procédé ou d'une condition d'environnement

[CEI 62385, définition 3.6]

3.4

surveillance des performances

processus permettant de démontrer qu'une chaîne d'instrumentation continue d'assurer la fonction attendue de surveillance d'une variable du procédé avec la précision, le temps de réponse et la stabilité souhaités

[CEI 62385, définition 3.14]

3.5

Sonde à Résistance (SR)

détecteur généralement constitué d'un fût cylindrique en acier inoxydable protégeant une résistance en 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.

NOTE 1 Les moyens de montage ou les têtes de branchement peuvent être comprises. La résistance sensible à la température peut être en platine, en nickel-tungstène, en cuivre ou constituée d'autres métaux. Cependant, les sondes en platine sont couramment utilisées dans les centrales nucléaires; ainsi cette norme fait référence aux SR au platine.

NOTE 2 Dans cette norme le terme «capteur» décrit la SR et toutes les protections associées, par exemple l'enveloppe cylindrique ou le doigt de gant. Dans les centrales nucléaires, pour la plupart des applications de mesure de la température de fluide, la résistance de platine est montée dans un doigt de gant en acier inoxydable. Pour la mesure de la température de l'air, la résistance peut être directement utilisée.

3.6

temps de réponse

temps nécessaire pour que le signal de sortie d'un composant atteigne une fraction spécifiée (généralement 90 %) de sa variation après une variation en échelon du signal d'entrée

3.7

erreur d'auto-échauffement

erreur liée à l'élévation de l'indication de température relative à la puissance dissipée dans le capteur

3.8

doigt de gant

enveloppe de protection de SR, de thermocouples, ou d'autres capteurs de température. Le doigt de gant est utilisé pour faciliter le remplacement des capteurs de température

[CEI 62385, définition 3.21]

3.9

constante de temps

dans le cas d'un système du premier ordre, temps nécessaire pour que le signal de sortie d'un système atteigne 63,2 % de sa variation finale après une variation en échelon du signal d'entrée

Si le système n'est pas du premier ordre, l'expression «constante de temps» n'est pas adaptée. Pour les systèmes d'un ordre supérieur il convient d'employer l'expression «temps de réponse»

4 Exigences de conception et de fabrication

4.1 Généralités

Les SR et leurs dispositifs associés doivent satisfaire aux exigences fournies par cette norme sans pour autant se limiter à ces seules exigences.

4.2 Fiabilité

La philosophie de conception des SR utilisables en centrale nucléaire est celle d'un appareil capable de fonctionner correctement de façon continue dans des conditions de service données pendant la durée de vie de conception de la tranche. Il convient que le matériel ait un taux de défaillance inférieur à 5×10^{-3} défaillance par an.

Il convient que les durées de vie de conception des SR intégrés aux systèmes de sûreté soient définies. Dans le cas des SR dont la durée de vie de conception est plus courte que la durée de vie de conception de la centrale nucléaire ou du système de sûreté, des dispositions doivent être prises pour que les SR puissent être remplacées ou réévaluées avant la fin de leur durée de vie de conception.

4.3 Matériaux

Les matériaux, les processus et les composants normalisés qui ne sont pas ici spécifiquement couverts mais qui sont nécessaires à la fabrication des SR ou à leur installation doivent être d'un niveau de qualité élevé et conforme aux meilleures pratiques d'étalonnage applicables à la fabrication et à l'utilisation des matériels d'instrumentation.

Tous les matériels, les matériaux et les composants utilisés pour réaliser les produits objet de cette norme doivent être neufs, par contre ils peuvent être fabriqués à l'aide de composants produits à partir de matériaux recyclés et ceci dans la mesure où cela ne remet pas en cause l'usage prévu du matériel.

4.3.1 Dosimétrie associée aux matériaux

La dose maximale d'exposition aux rayonnements peut avoisiner les 900 kGy (90 Mrad) suivant le type et la durée d'utilisation du matériel après un accident de dimensionnement.

Certains appareils peuvent être exposés à des flux neutroniques. L'utilisation des matériaux qui sont susceptibles d'être activés doit faire l'objet d'une revue et recevoir l'approbation de l'utilisateur.

4.3.2 Matériaux constituant l'élément sensible

Le platine est utilisé couramment dans les sondes à résistance employées dans les centrales nucléaires pour les applications liées à la sûreté, comme pour celles non liées à la sûreté. Le platine est un métal rare, relativement stable et insensible à son environnement. Il résiste à la corrosion, à l'oxydation et aux autres formes d'attaque chimique. Il est facile à travailler et peut servir à la fabrication de fils fins. Le platine a un point de fusion élevé, il est très peu volatile en dessous de 1 000 °C. Le platine que l'on peut obtenir peut avoir un niveau de pureté très élevé, celui-ci présente alors des comportements électrique et chimique reproductibles sur une gamme de températures étendue. Ceci explique la relation linéaire simple et régulière qui lie la résistance à la température, qui caractérise les sondes au platine. Cependant la résistance électrique des fils de platine est extrêmement sensible aux impuretés incluses et aux contraintes appliquées, ces deux points peuvent dégrader la loi de correspondance entre la résistance et la température.

D'autres métaux peuvent être employés pour fabriquer des sondes à résistance dans la mesure où les exigences de précision, de répétition, de temps de réponse et de fiabilité correspondant aux utilisations prévues sont satisfaites.

Le fil sensible doit être monté de façon à ne subir pratiquement aucune contrainte pour éviter que les effets liés aux contraintes n'entraînent des variations de résistance. De plus les sondes doivent être fabriquées en utilisant des éléments résistants ne présentant pas d'impureté.

4.3.3 Joints et adhésifs

Une SR doit être parfaitement étanche. Les connecteurs font ou ne font pas partie de l'assemblage d'une SR. Une SR utilisable en environnement hostile, par exemple en présence de températures élevées et/ou de rayonnements, doit être conçue sans faire appel à des matériaux organiques. L'utilisation de céramiques est recommandée. L'étanchéité des raccordements isolants doit être testée suivant une procédure adaptée et éprouvée. Au niveau des connecteurs on recommande généralement l'utilisation de raccords verre/métal ou céramique/métal, qui doivent présenter un taux de fuite inférieur à 10^{-8} cm³/s lorsqu'on les teste à l'hélium avec une pression différentielle d'une atmosphère.

Tous les ciments, les adhésifs ou les joints utilisés à l'intérieur de l'appareil doivent être capables de résister aux conditions de service sans détérioration fonctionnelle, ni émission de gaz. Les matériaux non métalliques utilisés pour réaliser les joints, la protection extérieure ou autres, doivent être résistants à l'humidité et à la flamme. Ces matériaux non métalliques ne doivent pas permettre le développement de champignons et doivent supporter les conditions d'ambiance spécifiées au niveau des exigences de performances de cette norme.

4.4 Raccordements

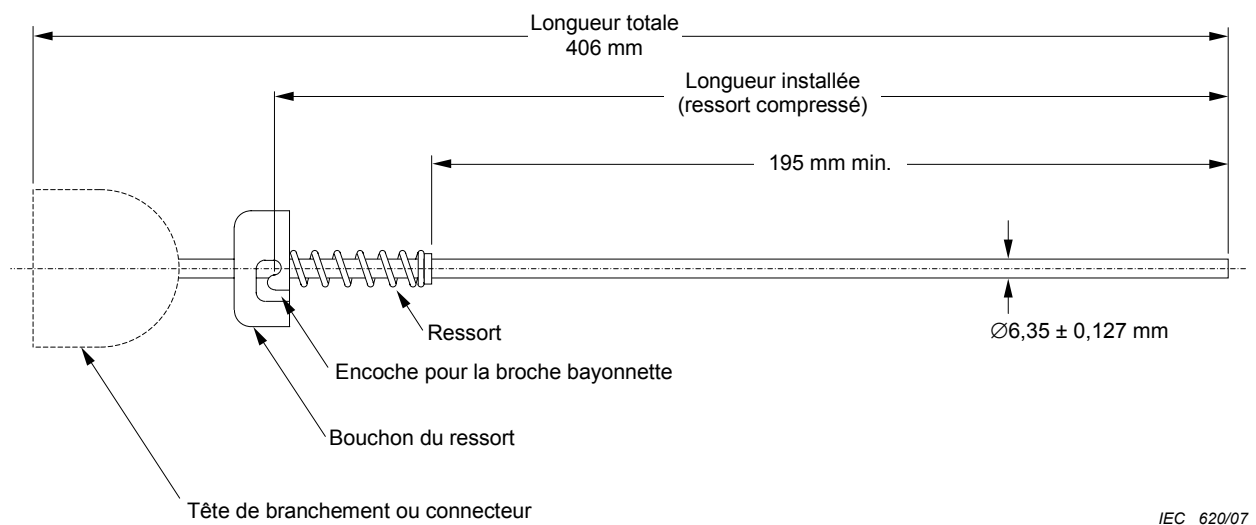
4.4.1 Raccordements électriques

Les extrémités des câbles de raccordement des SR doivent être équipées de connecteurs étanches qualifiés.

Deux types de raccordements électriques sont communément utilisés sur tranche. La Figure 1 présente la forme générale et les dimensions d'une SR sans doigt de gant. La Figure 2 correspond à une SR rigide sans fixation rapide connue sous l'appellation Type I (standard). Les Figures 3 et 4 montrent des SR rigides avec fixation rapide, connues sous l'appellation Type II correspondant respectivement à une insertion longue et courte. L'utilisateur peut spécifier d'autres formes de SR ou introduire des contraintes de fabrication pour des applications particulières.

Type I (standard): Le branchement électrique est réalisé sous boîtier métallique (tête de branchement) et ceci par des bornes de type vissées. Le boîtier doit être étanche à l'eau lorsqu'il est fermé et doit permettre le retrait facile de la SR lorsqu'il est ouvert. Le couvercle amovible doit être attaché au corps avec une chaîne résistant à la corrosion. Les manchettes et extensions peuvent être spécifiées comme faisant partie de l'appareil ou faire l'objet de recommandations de la part du fabricant² du capteur de température.

Type II (débranchement rapide): Le branchement électrique est réalisé au moyen de connecteurs multibroches. Le connecteur n'est pas forcément de type étanche, mais il doit supporter les projections d'eau une fois monté et doit satisfaire aux exigences relatives à la résistance d'isolement de 4.7.6. De plus, la résistance de contact d'un connecteur branché ne doit pas dépasser 0,25 Ω . Pour les utilisations exigeant une grande précision, l'utilisateur peut envisager le placage des broches ou des logements des connecteurs à l'or ou à l'argent.



NOTE Le ressort peut se situer à l'intérieur de la tête de branchement.

Figure 1 – Forme et dimensions d'une SR

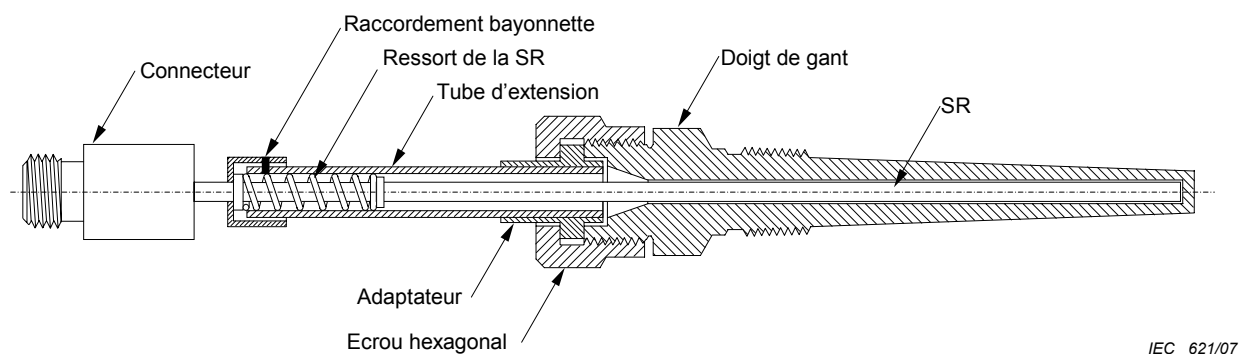


Figure 2 – Installation d'une SR rigide (Type I)

² Le fabricant est l'entité dans d'une société qui fabrique des SR. Le terme de fabricant peut aussi faire référence au fournisseur ou au vendeur de SR.

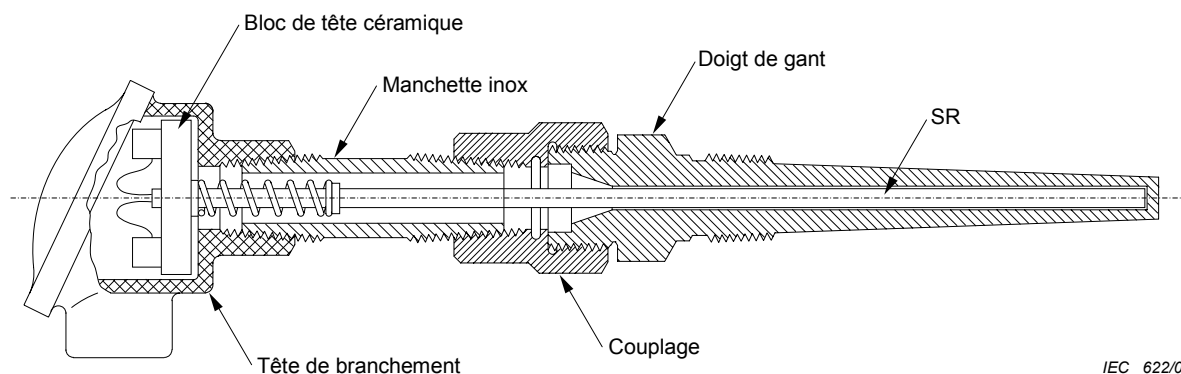


Figure 3 – Installation d'une SR rigide (Type II) à insertion longue

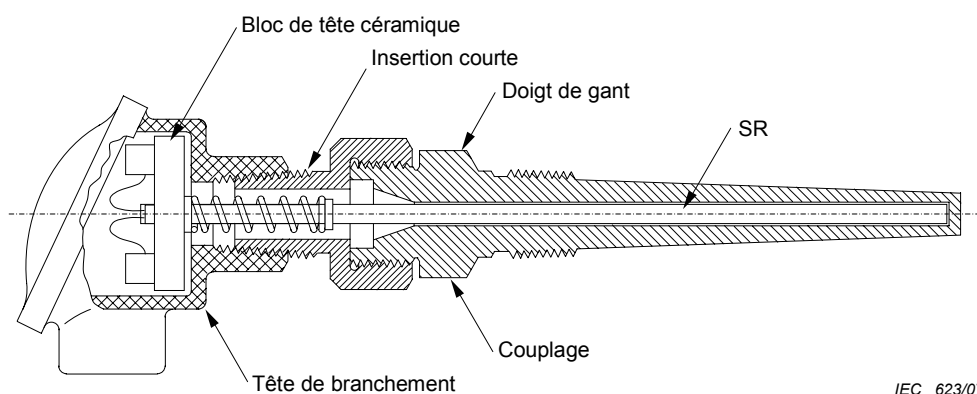


Figure 4 – Installation d'une SR rigide (Type II) à insertion courte

Le connecteur doit résister à une température au moins égale à 150 °C ou à la température d'accident spécifiée par l'utilisateur. Sauf si cela est spécifié autrement, le fabricant doit fournir le demi connecteur de montage avec la SR. L'adaptateur et le tube d'extension doivent être fournis par le fabricant.

Continuité électrique

La continuité des circuits électriques doit être maintenue pour toutes les conditions de fonctionnement normal et accidentel.

Résistance de contact

La résistance de contact de chaque circuit ne doit pas excéder 0,25 Ω .

Fils de prolongation de l'élément sensible

Trois ou quatre fils de prolongation peuvent être employés suivant les utilisations prévues et le degré de précision souhaité. Il convient normalement d'utiliser la SR comme un appareil à trois câbles à moins que le type de l'appareil ne soit à quatre fils pour des raisons propres à la conception. Les fils de prolongation de la SR doivent toujours être soutenus par un matériau isolant de façon que la SR terminée ne soit pas sensible aux vibrations. Le matériau des fils de prolongation doit être choisi pour réduire autant que possible au minimum la résistance des fils.

Installation d'une SR dans un doigt de gant

Les SR doivent généralement être installées conformément aux Figures 2, 3 et 4 de cette norme. Dans tous les cas, les SR doivent être maintenues dans les doigts de gant par des ressorts de pression. Lorsqu'une SR de Type I est utilisée, le couvercle du ressort qui fait partie de la protection, doit complètement couvrir l'extrémité du tube d'extension. Dans tous les cas on considère que la manchette d'extension fait partie de la SR.

4.4.2 Couplage mécanique

L'utilisateur doit s'assurer de la compatibilité de la SR avec la conception du doigt de gant, de la tête de branchement, du tube guide d'extension et des raccords d'extrémité présentés à la Figure 1.

NOTE Le tube guide n'est pas couvert par cette norme.

Une pression d'environ 1 100 kN/m² assurée par un ressort assure un contact suffisant de la SR avec le fond du doigt de gant.

L'assemblage connecteur doit empêcher l'entrée d'humidité qui pourrait entraîner des courants de fuite, et ainsi dégrader le signal et produire des indications de température erronées. Le câble de liaison doit aussi assurer la protection mécanique des connexions, au niveau du boîtier en empêchant que les contraintes mécaniques aient pour conséquence des entrées d'humidité ou la perte totale de la connexion.

Si des moyens d'attache, tels que des écrous, des broches, des boulons ou autres, sont utilisés, ceux-ci doivent être mis en oeuvre de façon à éviter les pertes d'étanchéité. Ces éléments, lors de leur démontage ou de leur ajustement, ne doivent pas être dessertis, martelés, empilés, ou même seulement déformés.

Radiographie des soudures

Toutes les soudures de chaque SR doivent être vérifiées par radiographie. Tout défaut dans les soudures, mise en évidence de bulles, de craquelures, de retraits, ou de fusion incomplète est un motif de rejet.

Ressuage des soudures

Toutes les soudures doivent être testées par pénétration de liquide. Le fabricant et l'utilisateur doivent se mettre d'accord sur la procédure de ressueage et le type de liquide à utiliser. Le personnel impliqué dans les vérifications des soudures par ressueage doit avoir fait l'objet d'une qualification documentée, reconnue par un organisme réglementaire.

Liquide pénétrant pour ressueage

L'utilisation de produits pénétrants halogénés ou contenant des matériaux halogénés n'est pas recommandée. De plus les produits consommables nécessaires aux opérations de ressueage (tels que les révélateurs, les produits de nettoyage,) doivent avoir une teneur réduite en halogène et en soufre et ceci indépendamment de leur utilisation finale.

4.5 Exécution des travaux

L'exécution des travaux doit être conforme aux bonnes pratiques d'ingénierie et de fabrication en vigueur dans l'industrie nucléaire. Il convient qu'une SR équipée de son assemblage associé atteigne un haut degré de perfection afin de garantir son bon fonctionnement pendant sa durée de vie suivant les dispositions contenues dans cette norme.

4.6 Conditions d'ambiance (fonctionnements normal et accidentel)

Une SR peut être du type "directement immergée" ou du type "montée sur un doigt de gant" lorsque celle-ci doit faire face aux conditions de service suivantes:

- | | |
|---|--|
| a) Température maximale de l'élément | 330 °C |
| b) Durée de vie de la tranche | 40 ans |
| c) Exposition aux rayonnements | |
| débit de dose (fonctionnement normal) | jusqu'à 3 Gy/h (300 rad/h) |
| débit de dose (fonctionnement accidentel) | jusqu'à 100 kGy/h (10 Mrad/h) |
| dose intégrée totale | 2 000 kGy (200 Mrad) pour 40 ans |
| d) Environnement eau/vapeur en conditions normales et accidentelles | |
| température | 0 °C à 330 °C |
| humidité | jusqu'à 100 % (saturée) |
| polluants | jusqu'à 50 ppm ozone chargé en sel "air marin" |
| vapeur | saturée |

Suivant l'utilisation prévue pour la SR et la conception de tranche, l'utilisateur peut spécifier des conditions différentes de celles stipulées précédemment.

– Qualification environnementale

La qualification environnementale aux scénarii accidentels de la tranche, tels que la perte de réfrigérant primaire ou la rupture d'une tuyauterie vapeur principale, doit être indiquée au niveau des documents de spécifications propres à la SR. En l'absence d'instructions utilisateur particulières les essais de qualification doivent être réalisés conformément aux méthodes et procédures définies dans la CEI 60780.

Certaines SR et leurs assemblages de câbles de connexion qui peuvent être utilisés en centrale, fonctionnent en continu réalisant des mesures de température pour des fonctions de sûreté et ceci durant le temps de mission défini. Si de telles exigences sont spécifiées, les SR doivent être soumises à un ensemble d'essais de qualification, tel que défini en 5.4. Ceci est réalisé pour montrer et garantir que la SR et son assemblage sont capables de réaliser les fonctions requises pour les différentes conditions d'exploitation et celles correspondant aux accidents de dimensionnement qui pourraient survenir au cours de la durée de vie de la tranche.

Afin que le laboratoire puisse réaliser les essais de qualification, l'utilisateur doit définir l'environnement relatif au fonctionnement normal des SR, l'environnement hostile correspondant à un accident hypothétique postulé ou à un accident de dimensionnement, les performances visées par les SR conformément à 4.7, leur temps de mission et le spectre de réponse du plancher pour leur qualification sismique, voir la CEI 60980.

4.7 Performances des SR

Chaque SR doit satisfaire aux exigences de performances de cet article.

4.7.1 Précision

En conditions de fonctionnement normal et accidentel, l'erreur imputable à la boucle de mesure de température, comprenant la SR, son câble et son connecteur, n'excède pas 0,25 °C (pour les températures comprises entre 0 °C et 100 °C) ou 0,25 % d'écart dans la mesure de la température (pour les températures supérieures à 100 °C). La dérive maximale ne doit pas être supérieure à 0,2 % de la pleine échelle par an. Cette erreur comprend les contributions relatives à l'étalonnage résistance-température, l'auto-échauffement, les dérives et la conduction vapeur, par contre elle n'intègre pas les contributions relatives aux extensions de câblage de terrain et aux ponts ou transmetteurs de température.

4.7.2 Etalonnage résistance-température

L'évolution de la résistivité en fonction de la température du platine suit une relation qui peut être exprimée à l'aide d'une formule mathématique simple. Pour une sonde à résistance au platine, la résistance pour une température donnée peut être représentée par l'équation de Callendar:

$$R_t = R_0 (1 + AT + BT^2)$$

où

R_t est la résistance de la sonde à la température T °C;

R_0 est la résistance de la sonde à 0 °C;

A, B sont des constantes, dépendant des caractéristiques du fil de platine (A et B peuvent être définies comme suit: $A = \alpha(1+\delta/100)$; $B = \alpha\delta/10^4$);

α (alpha) est indiqué sur chaque table d'étalonnage, valeur nominale = 0,00385 $\Omega/\Omega/^\circ\text{C}$;

δ (delta) est indiqué sur chaque table d'étalonnage, valeur nominale = 1,5.

(Il convient qu' α et δ soient données par le fabricant ou définies par l'utilisateur.)

La pureté du fil de platine et le respect du critère relatif à l'absence de contrainte dans la fabrication des composants de la SR devraient permettre d'obtenir une valeur de la constante α supérieure à 0,003850 $\Omega/\Omega/^\circ\text{C}$. La résistance nominale de l'élément de la SR à 0 °C doit être de 100 Ω . Concernant la précision de la mesure de température, l'utilisateur peut demander à ce que la résistance nominale de l'élément de la SR à 0 °C soit de 200 Ω . Une table de référence de la relation résistance-température qui couvre la plage comprise entre 9 °C et 330 °C par intervalle de 1 °C doit être fournie.

Gamme de température, °C	Tolérances
0-150	$\pm 0,75$ °C
Au-delà de 150	$\pm 0,50$ %

La résistance est celle mesurée à la tête de branchement.

Pour certaines utilisations et lorsque ceci est spécifiquement demandé par les spécifications d'utilisation, une table d'étalonnage individuelle de la relation résistance-température doit être fournie. Elle doit être établie conformément à la procédure décrite dans la procédure d'étalonnage (voir 5.4.1). Différentes tables d'étalonnage doivent être fournies pour différents éléments de résistance.

4.7.3 Erreur d'auto-échauffement

L'erreur d'auto-échauffement est définie comme l'élévation de la température indiquée due à la dissipation de puissance dans le capteur. Il convient d'utiliser le principe de méthode d'essai suivant pour évaluer l'erreur d'auto-échauffement.

L'ensemble capteur est immergé dans de l'eau à une température stable donnée. Dans ces conditions, le capteur doit être capable de dissiper 10 mW sans entraîner une élévation de la température indiquée de plus de 0,2 °C.

4.7.4 Temps de réponse

Le temps de réponse est défini comme le temps nécessaire au capteur de température pour atteindre 63,2 % de la variation complète de la résistance correspondant à cet échelon de température. Pour l'utilisation sur tranche, les exigences de temps de réponse dépendent de la fonction à réaliser. Habituellement, deux types de SR sont distingués, les SR à temps de réponse court et les SR à temps de réponse standard.

La procédure d'essai et les exigences doivent être définies conformément aux besoins fonctionnels. La CEI 61224 fournit des recommandations et des exigences applicables aux SR.

Un essai classique pour déterminer le temps de réponse consiste à plonger rapidement le capteur à 20 °C dans de l'eau se déplaçant à la vitesse de 1 m/s $\pm$ 0,15 m/s et à une température de 75 °C $\pm$ 2,5 °C. Une autre façon consiste à chauffer le capteur dans l'air et ensuite à le plonger dans de l'eau se déplaçant à la vitesse de 1 m/s et à température ambiante de la pièce. Sauf spécification contraire, le temps pour atteindre 63,2 % de l'échelon de température de doit pas dépasser 20 s pour une SR montée dans un doigt de gant ou 3,0 s pour une SR seule (sans doigt de gant).

Pour certaines applications, l'utilisateur peut demander une mesure du temps de réponse sur site par la méthode de réponse à un échelon par boucle de courant (REBC). La méthode REBC correspond à l'application temporaire de courants variant entre 40 mA et 80 mA, pendant 1 min ou 2 min. Cet essai peut être répété jusqu'à 50 fois pour permettre de moyenner les données afin de réduire les effets liés aux fluctuations du procédé sur le signal REBC.

4.7.5 Interchangeabilité

Les capteurs fabriqués à partir de mêmes spécifications doivent être interchangeables avec tous les autres capteurs du même type, et ceci en tenant compte des tolérances indiquées au niveau étalonnage résistance-température ci-dessus (voir 4.7.2).

4.7.6 Résistance d'isolement électrique

Les SR doivent satisfaire aux critères d'acceptation pour la résistance d'isolement électrique tels qu'indiqués ci-dessous.

La résistance d'isolement de l'élément sensible du capteur de température, mesurée entre chaque borne de l'élément et la gaine de l'élément, ne doit pas être inférieure à 100 M Ω , à 100 V en courant continu, à température ambiante de la pièce et doit être au moins de 10 M Ω à 100 V en courant continu à une température supérieure ou égale à 200 °C.

Dans le cadre des essais de qualification spécifiés en 5.4, la résistance d'isolement doit être surveillée de façon continue pendant le refroidissement de l'élément sensible entre 330 °C $\pm$ 10 °C et la température ambiante. Toute chute de la résistance d'isolement en dessous des limites fixées doit entraîner la disqualification.

4.7.7 Reproductibilité (chocs thermiques)

Les SR doivent satisfaire aux critères des tests de reproductibilité (chocs thermiques) tels qu'indiqués ci-dessous.

Le capteur doit être immergé successivement dans des bains à 0 °C, puis à 330 °C, puis à 0 °C, ce cycle doit être répété 25 fois. Chaque passage d'un bain à l'autre doit se faire en moins de 5 s et le capteur doit rester immergé au minimum 60 s avant le passage au bain suivant. Le capteur en test peut être monté dans un doigt de gant, mais dans ce cas on doit laisser la température se stabiliser pendant au moins une période d'1 min. Suite à cet essai, la résistance d'isolement du capteur doit être vérifiée et on doit l'étalonner à 0 °C et à 100 °C. La résistance d'isolement doit être au minimum de 100 M Ω , et le cyclage thermique ne doit pas entraîner une dérive de l'étalonnage résistance-température de plus de 0,1 °C à 0 °C ou 0,15 °C à 150 °C.

Le nombre de cycles et la procédure peuvent être déterminés conjointement par l'utilisateur et le fabricant.

4.7.8 Vibrations

Les SR doivent satisfaire aux critères des tests d'endurance mécanique (vibrations). Il convient de définir, en prenant en compte les conditions de service et d'utilisation de la mesure de température, les conditions de cet essai (gamme de fréquences, durée d'un cycle de balayage, type de fréquence de balayage, niveau de vibration et durée d'essai) et les critères d'acceptation de l'essai. Une procédure d'essai classique est fournie ci-après.

Le montage du capteur doit être similaire à son installation en exploitation (en particulier la tension des ressorts doit être identique à celle de l'installation); il doit être chauffé à $330\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$ pour la durée de l'essai. Le capteur est alors soumis aux vibrations suivant deux axes et en deux séquences: une perpendiculaire et une autre parallèle à l'axe longitudinal du capteur. Le spectre de vibrations à utiliser pour chaque séquence est indiqué dans la table ci-dessous:

Gamme de fréquences	10-5 000 Hz
Durée d'un cycle de balayage	Cycle 10-5 000-10 Hz en 1 h
Type de fréquence de balayage	Logarithmique
Niveau de vibration	0,762 mm maximum entre les valeurs de crête, soumis à une valeur maximale de 5 g
Durée de l'essai	2 h suivant chaque axe

La SR doit être surveillée en permanence à l'aide d'un oscilloscope pour le contrôle de continuité et les courts-circuits pouvant survenir durant l'exécution de l'essai.

Le capteur sera qualifié si tous les critères suivants sont satisfaits:

- a) aucun court circuit, ni ouverture de circuit n'a été constaté;
- b) l'étalonnage à 0 °C n'a pas dérivé de plus de $0,1\text{ °C}$;
- c) l'étalonnage à 100 °C n'a pas dérivé de plus $0,15\text{ °C}$; et
- d) le capteur satisfait aux critères de résistance d'isolement électrique de 4.7.6.

Cet essai de tenue aux vibrations n'est pas destiné à remplacer un quelconque essai de qualification sismique qui peut être demandé par l'utilisateur, en cas d'exigence d'une mesure de température pendant ou après un phénomène sismique, voir la CEI 60980.

4.7.9 Essai vapeur

Cet essai concerne l'assemblage de la SR complet, par exemple avec les boîtiers métalliques pour une conception de Type I et avec les déconnecteurs rapides pour une conception de Type II, et ceci comme prévu en 5.4. Les conceptions de Type I et II sont concernées par 4.4.1.

Une SR doit tout d'abord être testée pour montrer qu'elle présente une résistance d'isolement satisfaisante, puis ensuite celle-ci est exposée à de la vapeur saturée à une pression de $101\text{ kPa} \pm 2,0\text{ kPa}$ pour une période de 2 h. Au terme de cette période les broches des connecteurs doivent être séchées et un essai de résistance d'isolement doit être réalisé. La résistance d'isolement doit être supérieure à $100\text{ M}\Omega$. De plus, chaque capteur doit être étalonné à 0 °C et satisfaire aux exigences de 5.4.1.

4.7.10 Résistance d'isolement après stockage

Les SR fabriquées doivent être entreposées à l'intérieur en environnement contrôlé et les SR peuvent être conditionnées pour une durée de deux mois. A la fin de cette période de stockage, la résistance d'isolement des SR doit être supérieure à $10\text{ M}\Omega$ et celle ci ne doit pas avoir chuté de plus d'un facteur de 10 de la valeur obtenue durant les essais réalisés en fabrication.

4.7.11 Essai de temps de réponse sur site

Un essai supplémentaire de temps de réponse sur site peut être demandé par l'utilisateur. L'essai de temps de réponse sur site des SR doit être réalisé en utilisant la méthode de réponse à un REBC. Pour cela on utilise un pont de Wheatstone pour envoyer à la sonde un courant continu d'une intensité comprise entre 40 mA et 80 mA, ceci afin d'entraîner un échauffement de l'élément sensible. L'échauffement interne provoque un transitoire de température dans la SR qui produit un transitoire au niveau du signal en sortie du pont de Wheatstone. Ce signal est alors numérisé et fourni en entrée d'un modèle mathématique correspondant à la SR permettant de calculer le temps de réponse de la SR. Le test REBC est réalisé à distance des racks d'instrumentation lorsque les câbles de la SR sont connectés aux armoires d'instrumentation. Cet essai fournit la vraie valeur du temps de réponse de la SR sur site et prend en compte le doigt de gant, les conditions du procédé et les autres effets qui peuvent influencer le temps de réponse.

La validité et la précision de la méthode REBC dépendent du nombre d'hypothèses qui doivent être vérifiées lors des essais en laboratoire. Ainsi chaque conception de SR devant être testée par la méthode REBC doit subir des essais de validation en laboratoire pour vérifier que la conception de la SR se prête bien aux essais REBC. Les essais de validation comprennent des essais REBC et des essais d'immersion réalisés dans les mêmes conditions afin de montrer que la méthode REBC fournira la même valeur de temps de réponse que l'essai d'immersion (à ± 10 % près).

Lorsqu'on teste une SR sur un procédé en présence de bruit, l'essai REBC doit être répété de 20 à 50 fois, si nécessaire et les données résultant doivent être moyennées pour obtenir un transitoire de REBC doux afin garantir l'analyse optimale et avoir les résultats les plus précis. La durée de chaque répétition de REBC dépendra de la SR et de son environnement et cela peut aller de 10 s à 100 s.

4.8 Identification

Chaque appareil doit être identifié à l'aide des informations suivantes:

- identité ou nom du fabricant;
- modèle fabricant et/ou numéro de série;
- numéro(s) d'identification utilisateur.

Le marquage doit être réalisé par électro-gravure sur des surfaces non critiques et suivant une procédure acceptable au niveau assurance qualité. De plus, lorsque cela est spécifié, le code d'identité de l'utilisateur doit apparaître sur chaque appareil sous la forme d'une étiquette métallique attachée fermement à l'appareil par un fil métallique. L'étiquette doit être en laiton ou en acier inoxydable.

4.9 Analyse des modes de défaillance et de leurs effets

Chaque composant peut défaillir selon plusieurs façons, appelées modes de défaillances.

Le fabricant et l'utilisateur doivent évaluer tous les modes de défaillance significatifs et leurs effets sur la SR et son fonctionnement.

L'évaluation doit couvrir pour chaque mode de défaillance:

- les causes les plus probables de défaillance;
- les caractéristiques de conception prévues pour empêcher la défaillance;
- les caractéristiques prévues pour limiter les conséquences de la défaillance;
- la façon de détecter la dégradation avant la défaillance;
- la façon d'identifier la défaillance.

5 Inspection et essais

5.1 Généralité

Les essais doivent être réalisés afin de montrer que les SR sont conformes aux exigences de cette norme. Il n'est ni demandé ni recommandé de réaliser les essais sur toutes les SR approvisionnées. Deux types d'essais sont donc décrits ci-dessous:

Les essais de routine de fabrication (essais de série) doivent être réalisés sur chaque SR fabriquée conformément à 5.5.

Les essais de qualification (essais de type) doivent être réalisés sur des échantillons correspondant à chaque conception particulière et à chaque gamme de SR. Le domaine des essais de qualification (essais de type) est précisé en 5.4.

En plus des essais de qualification listés en 5.4, l'utilisateur peut spécifier des essais de qualification d'environnement et/ou des essais de qualification sismique pour les SR qu'il est prévu d'utiliser dans des conditions d'environnement hostile, en conditions de fonctionnement normal ou accidentel de la tranche, voir la CEI 60980. L'utilisateur et le fabricant doivent faire la revue de la séquence et du contenu de chaque essai. L'objectif des essais de qualification est de montrer que la SR réalisera correctement sa fonction de sûreté en conditions de fonctionnement normal et accidentel de la tranche.

Le fabricant doit réaliser tous les essais de routine et effectuer toutes les opérations d'inspection nécessaires pour garantir que les matériaux, les travaux d'exécution et la mise en exploitation atteignent le degré d'excellence requis par cette norme et pour montrer que le matériel fourni est étalonné et fonctionne conformément aux présentes spécifications.

Toutes les procédures d'essai et d'inspection, l'étalonnage des appareils et la certification de l'étalonnage des appareils, doivent être mis à disposition de l'utilisateur pour acceptation avant que ne débute la fabrication.

5.2 Opérations d'inspection et d'essai liées aux défaillances

Dans l'hypothèse d'une défaillance d'une unité ou d'un de ses composants, il convient que l'utilisateur ou le fabricant réalise des analyses des modes de défaillance ou des analyses des causes initiales de défaillance pour satisfaire aux exigences relatives aux essais et aux inspections spécifiées dans cette norme.

5.3 Comptes-rendus d'inspection et d'essais

Les comptes-rendus relatifs aux inspections et aux essais réalisés dans le cadre de la fabrication et de la qualification doivent être conservés pendant la durée de vie de la tranche ou la durée de vie en fonctionnement des capteurs de température (SR), autant que nécessaire.

5.4 Essai de qualification

Pour montrer que les capteurs de température (SR) sont aptes au service indiqué ci-dessus, 10 % des unités d'un même lot de fabrication ou pas moins de trois capteurs choisis aléatoirement, produits par les méthodes et procédés de série doivent être soumis à l'essai de qualification. Cet essai doit qualifier tous les modèles issus d'une même conception.

Cet essai comprend les essais élémentaires suivants:

- examen visuel (voir 5.4.4);
- étalonnage initial (voir 5.4.1) et Résistance d'isolement électrique (voir 4.7.6);
- reproductibilité (voir 4.7.7);

- essai de vibrations (voir 4.7.8);
- essai vapeur (voir 4.7.9);
- temps de réponse à la chaleur (voir 4.7.4);
- erreur d'auto-échauffement (voir 4.7.3);
- résistance d'isolement électrique (voir 4.7.6);
- cyclage thermique (voir 5.4.2);
- essai de perte d'isolement (voir 5.4.3);
- étalonnage final (voir 5.4.1) et précision (voir 4.7.1);
- résistance d'isolement après stockage (voir 4.7.10), et
- réponse à un Echelon par Boucle de Courant (REBC) (optionnel) (voir 4.7.11).

Lorsque des SR sont utilisées dans le cadre d'une application relative à un système important pour la sûreté et dans les conditions d'ambiance d'un accident de dimensionnement, l'essai de qualification doit comprendre les essais particuliers suivant:

- essai de simulation d'accident de perte de réfrigérant primaire (APRP);
- essai de séisme; et
- essai d'irradiation.

Dans le cadre de la qualification d'ambiance, les scénarii d'accident de la centrale, tels que la perte de réfrigérant primaire ou la rupture de tuyauterie principale de vapeur doivent être spécifiés dans les documents de spécifications propres à la SR. La qualification doit être réalisée conformément aux spécifications techniques définies par l'utilisateur. En l'absence de toute instruction particulière de l'utilisateur, les essais de qualification doivent être réalisés conformément aux méthodes et procédures établies par la CEI 60780 et la CEI 60980.

Pour que le laboratoire réalise les essais de qualification, l'utilisateur doit définir:

- l'ambiance de fonctionnement normal de ces SR;
- l'environnement particulier résultant des accidents hypothétiques postulés ou des accidents de dimensionnement;
- les fonctions de sûreté liées au fonctionnement normal et accidentel;
- les performances de la SR conformément aux Articles 5 et 6;
- le temps de mission relatif aux mesures; et
- le spectre de réponse de plancher pour la qualification sismique.

5.4.1 Procédure d'étalonnage

a) A 0 °C

Le capteur doit pouvoir se stabiliser dans un bain de glace homogène à $0\text{ °C} \pm 0,02\text{ °C}$. La résistance du capteur doit alors être lue avec une précision minimale de $\pm 0,015\%$.

b) A 100 °C et à 330 °C, ou à une température de fonctionnement précisée par l'utilisateur.

Le capteur doit être immergé dans un bain de silicone, ou un autre fluide approprié, recommandé par une autre norme, à une température normalisée approuvée. Le capteur doit être immergé suffisamment pour que l'erreur de conduction du corps soit négligeable.

La température du bain doit être à 1 °C près celle souhaitée pour l'étalonnage lorsqu'on fait la lecture de la résistance.

La stabilité de la température du bain ainsi que l'incertitude attachée à celle-ci doivent être connues et les effets liés à l'hétérogénéité ou à la stabilité de la température résiduelle du bain doivent être pris en compte pour calculer la précision d'ensemble du processus d'étalonnage.

5.4.2 Cyclage thermique

La SR doit être soumise à un nombre spécifié de cycles de température durant lesquels celle-ci varie entre deux valeurs stables. La gamme de températures et le nombre de cycles doivent faire l'objet d'un accord entre l'utilisateur et le fabricant. Typiquement les gammes de températures sont comprises entre 23 °C et 330 °C pour une centaine de cycles complets.

La vitesse du cycle peut être choisie librement, la seule exigence portant sur la nécessité d'assurer la stabilisation de la température du capteur pour chaque température extrême. L'étalonnage à 0 °C ainsi que la vérification de la résistance d'isolement doivent être réalisés avant et après l'essai. L'étalonnage ne doit pas avoir dérivé de plus de 0,1 °C à 0 °C et à 100 °C. La résistance d'isolement doit être supérieure à 100 MΩ à une température inférieure à 200 °C, et ne doit pas avoir changé de plus d'un facteur de 10 durant le cyclage.

5.4.3 Essai de perte d'isolement

La moitié de la longueur de la SR doit être maintenue à température de fonctionnement et l'extrémité avec son connecteur à une température proche de la température ambiante. Une tension de 100 V en courant continu doit être appliquée entre les connecteurs et le blindage métallique, avec le pôle positif connecté au blindage. Ces conditions doivent être maintenues pendant 48 h, ensuite la polarité de tension doit être inversée pendant 48 h supplémentaires.

La SR doit être connectée à une résistance de $10^6 \Omega$ en série avec le fil de platine. Les chutes de tension par la résistance doivent être mesurées quotidiennement, et la résistance d'isolement doit être calculée. On doit considérer que la SR a passé les tests avec succès si les mesures successives n'ont pas mis en évidence une diminution de la résistance d'isolement, et s'il n'y a pas eu de dérive de l'étalonnage.

5.4.4 Examen visuel

Le capteur doit faire l'objet d'un examen pour vérifier qu'il satisfait aux critères suivants.

- a) Travaux d'exécution – Le capteur doit correspondre à un travail de grande qualité.
- b) Finition – piqures, éraflures et autres défauts d'aspect doivent être des causes de rejet.
- c) Dimensions – toutes les parties du capteur doivent être mesurées pour s'assurer qu'elles sont conformes aux dimensions des plans qui ont été approuvés.
- d) Identification – On doit vérifier sur le capteur la présence de toutes les données d'identification exigées par cette norme.

5.5 Essais de fabrication

Chaque SR produite doit être soumise à une séquence d'essais pour vérifier la qualité de fabrication. Ces essais sont moins sévères que les essais de qualification.

Chaque SR fabriquée doit être soumise aux essais de fabrication suivant:

- résistance d'isolement électrique à 330 ± 10 °C (voir 4.7.6),
- étalonnage résistance température à 0 °C et à 100 °C (voir 4.7.1),
- temps de réponse (voir 4.7.4),
- essais de ressuage des soudures (voir 4.4.2),
- examen (voir 5.4.4),
- résistance d'isolement électrique (à température de la pièce) (voir 4.7.6).

Suite à la séquence d'essais, un étalonnage final est réalisé. On considère alors le capteur qualifié si l'étalonnage n'a pas dérivé de plus de 0,25 °C à 0 °C ou 0,5 °C à 100 °C. En cas de défaillance d'une unité ou d'un composant de celle-ci, il convient, pour que les exigences d'inspection ou d'essai spécifiées ici soient satisfaites, que l'utilisateur ou le fabricant réalise des analyses de modes de défaillance ou des analyses des causes initiales de défaillance.

6 Information technique demandée

Il convient que la documentation technique demandée comprenne les plans de la SR, présentant clairement les dimensions, les schémas de câblage interne, les matériaux utilisés et la fabrication interne, les informations concernant les dimensions des supports et des éléments de montage et des branchements électriques.

Le manuel de la SR doit comprendre au minimum les informations suivantes:

- données descriptives du matériel,
- schéma d'ensemble,
- schéma de câblage interne,
- spécifications,
- résultats des essais de fabrication,
- résultats des essais de qualification pertinents, et
- la liste des composants.

L'exploitant de la centrale doit maintenir à jour les manuels pendant la durée de vie de la tranche ou pendant la durée de vie en service des SR, autant que nécessaire.

La spécification de performance de la SR doit comprendre les éléments suivants:

- la gamme de mesures,
- la courbe d'étalonnage nominal et sa précision,
- l'erreur d'auto-échauffement,
- la profondeur d'immersion,
- le temps de réponse,
- la résistance d'isolement,
- la résistance électrique des fils de connexion internes,
- les conditions de service qualifiées,
- la reproductibilité,
- la qualification à l'environnement et aux séismes, le cas échéant,
- le temps de réponse sur site mesuré par la méthode REBC, et
- toutes autres données pertinentes, telles que les caractéristiques électriques.

Une description du programme d'Assurance Qualité pour l'exploitation des sondes à résistance (SR), et un aperçu d'un plan de contrôle qualité de fabrication des SR peuvent être fournis avec les spécifications de performances.

Bibliographie

Les références suivantes contiennent des éléments d'information pertinents pour la lecture de cette norme:

AIEA NS-G 1-3, *Systèmes d'instrumentation et contrôle commande importants pour la sûreté des centrales nucléaires*

AIEA NS-R-1:2000, *Sûreté des centrales nucléaires: Conception*

AIEA 50-C/SG-Q:1996, *Assurance de la qualité pour la sûreté des centrales nucléaires de puissance et des autres installations nucléaires*

ISBN 2-8318-9134-5



9 782831 891347

ICS 27.120.20
