

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**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**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62397:2022



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2022 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 l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Secretariat
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
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 corrigendum or an amendment might have been published.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and once a month by email.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: sales@iec.ch.

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 300 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 19 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) 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 IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études, ...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: sales@iec.ch.

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 300 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 19 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**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**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 27.120.20

ISBN 978-2-8322-6045-6

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	7
1 Scope.....	9
2 Normative references	9
3 Terms, definitions and abbreviated terms	9
3.1 Terms and definitions.....	10
3.2 Abbreviated terms.....	11
4 Design and construction requirements	12
4.1 General.....	12
4.2 Reliability.....	12
4.3 Materials.....	12
4.3.1 General	12
4.3.2 Radiation dose to materials	12
4.3.3 Resistance element material.....	12
4.3.4 Seals and adhesives.....	13
4.4 Connections.....	13
4.4.1 Structural type	13
4.4.2 Electrical connection.....	14
4.4.3 Mechanical connection	16
4.5 Manufacturing quality.....	17
4.6 Ambient conditions (normal and accident operations) and qualification	17
4.7 RTD performance.....	18
4.7.1 General	18
4.7.2 Accuracy	18
4.7.3 Resistance temperature calibration.....	18
4.7.4 Self-heating error.....	19
4.7.5 Thermal response time	19
4.7.6 Interchangeability	20
4.7.7 Electrical insulation resistance.....	20
4.7.8 Repeatability (thermal shock)	20
4.7.9 Vibration.....	20
4.7.10 Steam test	21
4.7.11 Thermal cycling	21
4.7.12 Dielectric inspection	21
4.7.13 Hydraulic strength	21
4.7.14 <i>In situ</i> response time testing	21
4.8 Identification	22
4.9 Failure mode and effects analysis	22
5 Inspection and tests	22
5.1 General.....	22
5.2 Inspection and test failure	23
5.3 Inspection and test reports.....	23
5.4 Test method.....	23
5.4.1 Assembly and appearance inspection	23
5.4.2 Calibration procedure	23
5.4.3 Self-heating test	24

5.4.4	Thermal response time	24
5.4.5	Insulation resistance test	24
5.4.6	Repeatability test (thermal shock)	24
5.4.7	Vibration test	24
5.4.8	Steam test	25
5.4.9	Thermal cycling	25
5.4.10	Dielectric inspection test	25
5.4.11	Hydraulic test	25
5.4.12	<i>In situ</i> response time test	26
5.4.13	Cross-calibration testing	26
5.5	Production test	27
5.6	Qualification test	28
6	Documentation	29
Annex A (informative)	<i>In situ</i> response time test methods	31
A.1	Loop current step response test (LCSR)	31
A.2	Calculation of the response time by temperature noise (passive method)	34
A.3	Self-heating method (active method)	36
A.4	Instructions for the application of test	38
Bibliography		39
Figure 1	Form and dimensions of an RTD	13
Figure 2	Installation of a rigid RTD (Type I)	14
Figure 3	Installation of a rigid RTD (Type II) long insertion	14
Figure 4	Installation of a rigid RTD (Type II) short insertion	14
Figure 5	Type A of RTD connection	16
Figure 6	Type B of RTD connection	16
Figure A.1	LCSR and plunge transients	33
Figure A.2	Power spectrum density (PSD) plot of a sensor (smoothing of the power spectrum)	35
Figure A.3	Power spectrum density (PSD) plot of a sensor (associated modal response)	36

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 itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 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.

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

This second edition cancels and replaces the first edition, published in 2007; it also cancels and replaces the first edition of IEC 61224:1993. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- 1) The definitions, terms, references, test methods, test requirements and other contents in IEC 61224 are incorporated into the corresponding clauses of IEC 62397, including the situ response time test methods;
- 2) Move the second paragraph of Scope to 4.1 and add "certain design extension conditions" in the text;
- 3) Add the definition of temperature units of ITS-90;

- 4) Add reference standards, including IEC 60737:2010, IEC 60751:2022, IEC 62765-2:2019, IEC 62342:2007, IEC 62385:2007, IEC 61298-2, IEC 60068-2;
- 5) Update the reference IEC 60780 to IEC/IEEE 60780-323:2016; update the reference IEC 60980 to IEC/IEEE 60980-344:2020;
- 6) Delete the outdated definition of "accuracy (measurement)" and modify the definition of "calibration", "drift" and "response time";
- 7) Add the terms and definitions of "cross-calibration (cross-validation)", "self-heating index", "tolerance of RTD", "sheath", "*in situ* measurement", and some abbreviated terms (e.g., NPP);
- 8) Delete the reference values of failure rate, radiation dose, contact resistance and leak rate, environmental conditions and test conditions in 4.2, 4.3.2, 4.4.2.2, 4.6, 5.4.7;
- 9) Clarify 4.3.1;
- 10) Add "fast neutron damage" and " β irradiation" in 4.3.2 and correct the requirement for material change to be "shall not";
- 11) Replace platinum description with general material requirement in 4.3.3;
- 12) Delete the statement on sealant elements and flat sealants;
- 13) Add labels of dust cover, spring and extension tube in Figure 3 and Figure 4 and correct a typo in Figure 6;
- 14) Add electrical connector configuration requirement referring to IEC 60751 in 4.4.2.1;
- 15) Modify the temperature rating requirement of type I connector in 4.4.2.2 and add the definition of manufacturer in the footnote;
- 16) Add the type of connection for RTD mounted in pipe and relax the statement on spring force in 4.4.3.1;
- 17) Modify the type I and type II statement in 4.4;
- 18) Change the subtitle to "Manufacturing Quality" and add detailed requirements in 4.5;
- 19) Considering the application for difference types of nuclear power plants, in 4.6 and 4.7 introduce the concept that the user shall specify the requirements, test method and acceptance criteria for tests depending on the application of the subject RTD;
- 20) Delete the last three paragraphs in 4.6;
- 21) Add detailed performance requirements in 4.7 and move the test requirements to a new subclause 5.4 "Test method";
- 22) Replace "330 °C" in the standard with the (highest) operating temperature;
- 23) Add a new subclause "4.7.1 General" to describe the general requirements and restate *in situ* response time measurement requirement;
- 24) Add the Callendar formula for temperature range of -200 °C to 0 °C and delete the temperature tolerance values and refer to IEC 60751 in 4.7.3;
- 25) Supplement detailed requirements of "self-heating error" in 4.7.4;
- 26) Change the subtitle to "thermal response time" in 4.7.5 and delete the definition of thermal response time;
- 27) Relax the performance requirements to "should" in 4.7.8, 4.7.9, 4.7.10, 4.7.11 and 4.7.13, and relax the steam test requirement to only RTDs used in steam environment;
- 28) Merge "Insulation resistance test after storage" into "Electrical insulation resistance", reduce the requirement and change insulation resistance under 200 °C to be 10 M Ω in 4.7.7;
- 29) Add "Dielectric inspection" and "Hydraulic strength" as 4.7.12 and 4.7.13;
- 30) Revise description on *in situ* response time testing in 4.7.14;
- 31) Add identifications in 4.8;
- 32) Delete the insulation breakdown test;
- 33) Refer to IEC 60751 for self-heating test in 5.4.3;

- 34) Delete the vibration spectrum for vibration test, and refer to IEC 60068-2-6 in 5.4.7;
- 35) Revise thermal cycling test requirement to be more general and refer to IEC 60068-2-30 in 5.4.9;
- 36) Add 5.4.13 "Cross-calibration testing";
- 37) Add dielectric inspection test and hydraulic test as product tests in 5.5 and note that the user can specify the test requirement;
- 38) Add dielectric inspection test and hydraulic test as qualification tests in 5.6, note that the user can specify the test requirement, and refer to IEC/IEEE 60780-323 and IEC/IEEE 60980-344 or pertinent national guides and regulations;
- 39) Change title from "Technical information required" to "Documentation" of Clause 6 and add "the regular maintenance strategy" in performance specification;
- 40) Add an informative annex "Annex A *In situ* response time test methods" to include the related information from IEC 61224, update figures and cross-references, and cite it in 4.7.13 and 5.4.12;
- 41) Add the IAEA documents in bibliography.

The text of this International Standard is based on the following documents:

Draft	Report on voting
45A/1447/FDIS	45A/1454/RVD

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

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/publications.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under webstore.iec.ch in the data related to the specific document. At this date, the document 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) 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.

This standard is a revision merger of IEC 62397 and IEC 61224 and was initiated in November 2019.

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 a 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 IEC SC45A standard series and relationships with other IEC documents and other bodies documents (IAEA, ISO)

The IEC SC 45A standard series comprises a hierarchy of four levels. The top-level documents of the IEC SC 45A standard series are IEC 61513 and IEC 63046.

IEC 61513 provides general requirements for instrumentation and control (I&C) systems and equipment that are used to perform functions important to safety in nuclear power plants (NPPs). IEC 63046 provides general requirements for electrical power systems of NPPs; it covers power supply systems including the supply systems of the I&C systems.

IEC 61513 and IEC 63046 are to be considered in conjunction and at the same level. IEC 61513 and IEC 63046 structure the IEC SC 45A standard series and shape a complete framework establishing general requirements for instrumentation, control and electrical power systems for nuclear power plants.

IEC 61513 and IEC 63046 refer directly to other IEC SC 45A standards for general requirements for specific topics, such as categorization of functions and classification of systems, qualification, separation, defence against common cause failure, control room design, electromagnetic compatibility, human factors engineering, cybersecurity, software and hardware aspects for programmable digital systems, coordination of safety and security requirements and management of ageing. The standards referenced directly at this second level should be considered together with IEC 61513 and IEC 63046 as a consistent document set.

At a third level, IEC SC 45A standards not directly referenced by IEC 61513 or by IEC 63046 are standards related to specific requirements for specific equipment, technical methods, or activities. Usually these documents, which make reference to second-level documents for general requirements, can be used on their own.

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

The IEC SC 45A standards series consistently implements and details the safety and security principles and basic aspects provided in the relevant IAEA safety standards and in the relevant documents of the IAEA nuclear security series (NSS). In particular this includes the IAEA requirements SSR-2/1, establishing safety requirements related to the design of nuclear power plants (NPPs), the IAEA safety guide SSG-30 dealing with the safety classification of structures, systems and components in NPPs, the IAEA safety guide SSG-39 dealing with the design of instrumentation and control systems for NPPs, the IAEA safety guide SSG-34 dealing with the design of electrical power systems for NPPs, the IAEA safety guide SSG-51 dealing with human factors engineering in the design of NPPs and the implementing guide NSS17 for computer security at nuclear facilities. The safety and security terminology and definitions used by the SC 45A standards are consistent with those used by the IAEA.

IEC 61513 and IEC 63046 have adopted a presentation format similar to the basic safety publication IEC 61508 with an overall life-cycle framework and a system life-cycle framework. Regarding nuclear safety, IEC 61513 and IEC 63046 provide the interpretation of the general requirements of IEC 61508-1, IEC 61508-2 and IEC 61508-4, for the nuclear application sector. In this framework, IEC 60880, IEC 62138 and IEC 62566 correspond to IEC 61508-3 for the nuclear application sector.

IEC 61513 and IEC 63046 refer to ISO 9001 as well as to IAEA GSR part 2 and IAEA GS-G-3.1 and IAEA GS-G-3.5 for topics related to quality assurance (QA).

At level 2, regarding nuclear security, IEC 62645 is the entry document for the IEC/SC 45A security standards. It builds upon the valid high level principles and main concepts of the generic security standards, in particular ISO/IEC 27001 and ISO/IEC 27002; it adapts them and completes them to fit the nuclear context and coordinates with the IEC 62443 series. At level 2, IEC 60964 is the entry document for the IEC/SC 45A control rooms standards, IEC 63351 is the entry document for the human factors engineering standards and IEC 62342 is the entry document for the ageing management standards.

NOTE 1 It is assumed that for the design of I&C systems in NPPs that implement conventional safety functions (e.g. to address worker safety, asset protection, chemical hazards, process energy hazards) international or national standards would be applied.

NOTE 2 IEC TR 64000 provides a more comprehensive description of the overall structure of the IEC SC 45A standards series and of its relationship with other standards bodies and standards.

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

1 Scope

This document describes the requirements for resistance temperature detectors (RTDs) suitable for applications in I&C systems important to safety of nuclear power plants. The requirements of RTDs include design, materials, manufacturing, testing, calibration, procurement, and inspection. RTDs used for safety applications in Nuclear Power Plants can be categorized into direct-immersed and thermowell-mounted RTDs. Furthermore, there are RTDs with specific design which cannot be assigned to the categories mentioned above. However, they are also covered by the requirements stated in this document.

This document does not cover the design, material selection, and construction of the thermowell, the guide tube, the extension cable, and the temperature transmitter or resistance bridge which may be associated with the RTD.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements 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 60068-2-6:2007, *Environmental testing – Part 2-6: Tests – Test Fc: Vibration (sinusoidal)*

IEC 60068-2-30:2005, *Environmental testing – Part 2-30: Tests – Test Db: Damp heat, cyclic (12 h + 12 h cycle)*

IEC 60751:2022, *Industrial platinum resistance thermometers and platinum temperature sensors*

IEC/IEEE 60780-323:2016, *Nuclear facilities – Electrical equipment important to safety – Qualification*

IEC/IEEE 60980-344:2020, *Nuclear facilities – Equipment important to safety – Seismic qualification*

3 Terms, definitions and abbreviated terms

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

ISO and IEC maintain terminology databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <https://www.iso.org/obp>

3.1 Terms and definitions

3.1.1

calibration

set of operations that establishes, by referring to standards, the relationship which exists under specified conditions between an indication and a result of a measurement

Note 1 to entry: This term is based on the "uncertainty" approach.

Note 2 to entry: The relationship between the indications and measurement results can be expressed, in principle, using a calibration diagram.

3.1.2

cross-calibration

cross-validation

procedure of intercomparing the indications of redundant instruments (e.g., temperature sensors) to identify outlier sensors as a means of verifying calibration or identifying calibration changes. A more appropriate term for this definition is "cross-validation," but, cross-calibration is more commonly used

Note 1 to entry: A calibration test of temperature sensors in some NPPs can be different from this definition mainly because an adjustment of the temperature channel during cross calibration may be allowed within a predetermined allowable value.

[SOURCE: IEC 62385:2007, 3.6]

3.1.3

drift

change in the indication of a measuring instrument, generally slow, continuous, not necessarily in the same direction and not related to a change in the measurand

[SOURCE: IEC 60050-311:2001, 311-06-13]

3.1.4

***in situ* measurement**

measurement of RTD performance (calibration or response time) while the RTD remains installed in normal configuration for service

3.1.5

protective tube

tubular material used to protect one or more sensing resistors and inner leads assembly from environmental impact

3.1.6

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 to entry: 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 document.

Note 2 to entry: In this document, 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, and the thermowell is mounted on a pipe or container by means of external threads or welding. For air temperature measurement, a direct sensor may be used.

3.1.7**response time**

period of time necessary for a component to achieve a specified output state from the time that it receives a signal requiring it to assume that output state

Note 1 to entry: Thermal response time used in this document is the time required for the temperature detector to reach 63,2 % of the total change in resistance for a step change in temperature.

[SOURCE: IAEA Safety Glossary, 2018]

3.1.8**self-heating error**

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

3.1.9**self-heating index**

self-heating coefficient

SHI

coefficient with the dimension °C/mW is characteristic for a resistor/thermometer and describes the temperature increase of the resistor per unit power dissipated. This coefficient is evaluated under specified operating conditions of the resistor or thermometer. The medium, its flow conditions and temperature should be specified

[SOURCE: IEC 60751:2008, 3.9]

3.1.10**thermowell**

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

[SOURCE: IEC 62385:2007, 3.19]

3.1.11**tolerance of RTD**

initial maximum allowable deviation expressed as temperature in °C from nominal temperature/resistance relationship in RTD

[SOURCE: IEC 62765-2:2019, 3.19]

3.2 Abbreviated terms

HELB	High-energy Line Break
ITS-90	The International Temperature Scale of 1990 (Temperature units in this document are in terms of International Temperature Scale-1990)
LCSR	Loop Current Step Response
LOCA	Loss of Coolant Accident
M&TE	Measurement and Test Equipment
NPP	Nuclear Power Plant
PRT	Platinum Resistance Thermometer
RTD	Resistance Temperature Detector
SHI	Self-heating index of RTD
QA	Quality Assurance

4 Design and construction requirements

4.1 General

RTDs can be supplied with 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 and certain design extension conditions, as well as the qualification tests specified by the user¹.

The RTD shall meet or exceed the requirements specified in this document.

4.2 Reliability

The design philosophy for RTDs that are used in NPPs requires a device which is capable of continuous successful operation at rated service conditions throughout its specified design life. The required reliability of the RTD shall be derived from the overall reliability specified for the temperature measurement function.

RTDs that operate as part of a safety system should have their design lives defined. The features of the RTD that are necessary to fulfill safety functions shall be ensured for the complete service life of the equipment, except for parts which have a short design life and can be replaced periodically. The preservation of these features should be ensured by appropriate maintenance and testing strategies. Arrangements shall be made for the RTD to be replaced or re-assessed before its design life is reached.

4.3 Materials

4.3.1 General

With the exception of parts which have a lower design life, all materials within the construction of the RTD shall retain their required features, attributes and design parameters for the required service life of the RTD.

4.3.2 Radiation dose to materials

The total integrated radiation dose shall be derived from postulated environmental conditions during normal operation and postulated accidents.

If neutron radiation is expected at the installation position of the RTD, the neutron fluence shall be taken into consideration when selecting the design and materials of the RTD. Material changes due to activation or fast neutron damage shall not affect adversely the safety function of the equipment. Some devices may be exposed to beta radiation in a severe accident. Beta and gamma radiation cause different types of damage.

4.3.3 Resistance element material

In addition to meeting the required temperature characteristics (including accuracy, repeatability, response time and reliability) the resistance element material shall be selected to meet the following material property requirements:

- high resistance to corrosion and chemical attack;
- high resistance to radiation damage;

¹ The user corresponds to the party or the company that uses the RTD in an 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.

- suitable strength and mechanical stability throughout the required temperature range and design life.

Because of its outstanding properties, the resistance element may consist of platinum. Other materials may be used if these requirements are met.

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.

4.3.4 Seals and adhesives

The RTD shall be hermetically sealed. RTDs used in a harsh environment, such as under high-temperature and/or radiation areas, may be designed without organic material. The tightness of the insulating termination shall be tested according to an adequate and proven procedure.

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.

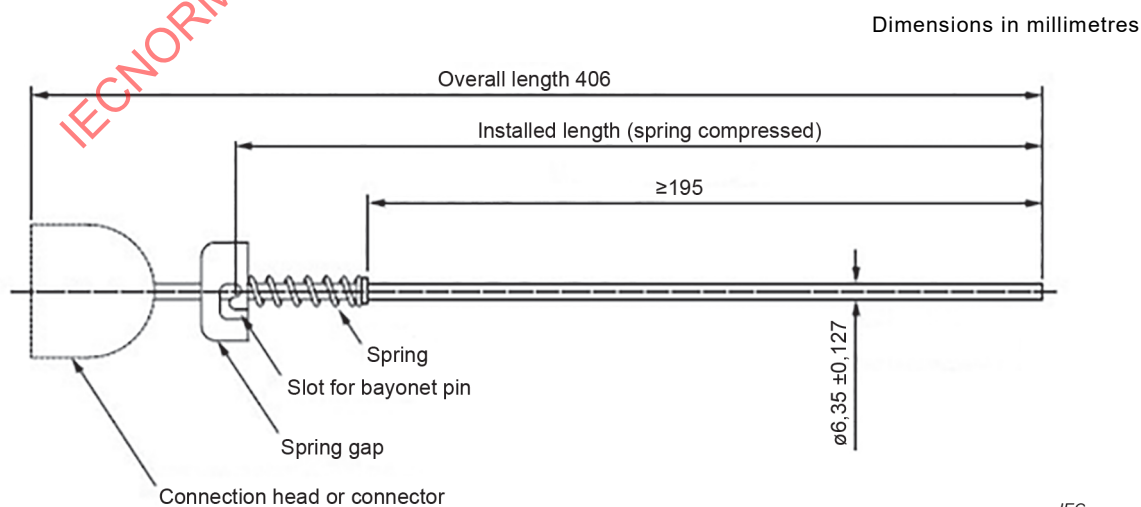
4.4 Connections

4.4.1 Structural type

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 with a quick disconnect and is referred to as Type I (quick disconnect). Figure 3 and Figure 4 are rigid RTDs without quick disconnects, and are referred to as Type II (standard) with long insertion and short insertion, respectively. A user may specify any other form of RTD and construction, depending on its particular applications.

For resistance thermometer with connector, the spring gap, as part of the dust cover, should completely cover the end of the extension tube.



IEC

Figure 1 – Form and dimensions of an RTD

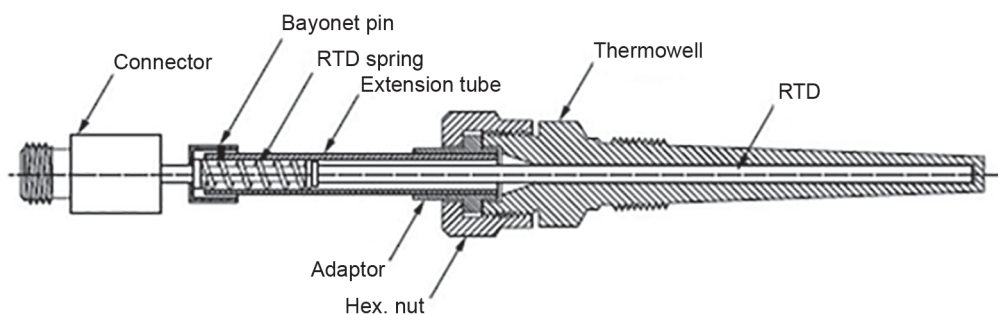


Figure 2 – Installation of a rigid RTD (Type I)

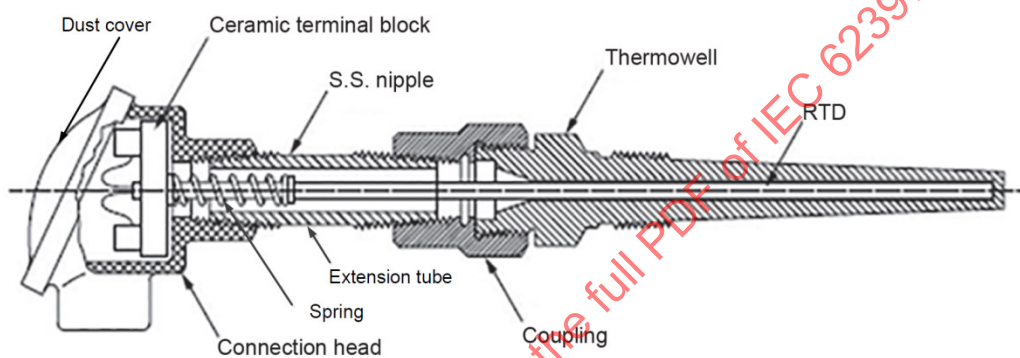


Figure 3 – Installation of a rigid RTD (Type II) long insertion

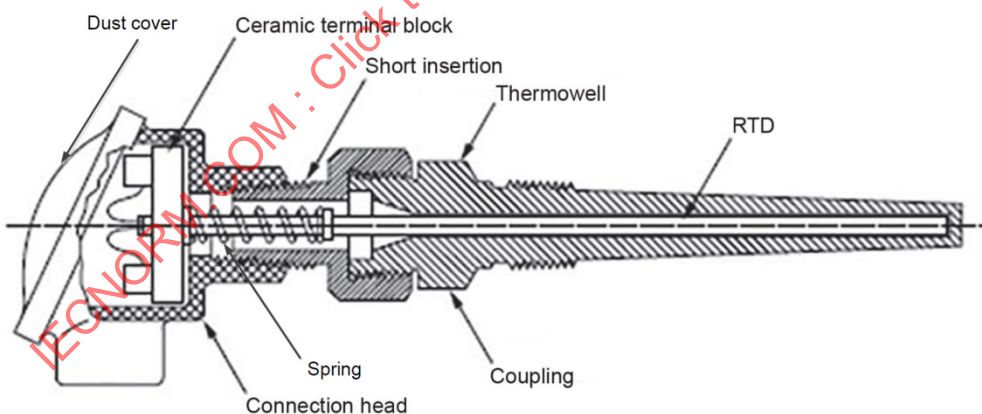


Figure 4 – Installation of a rigid RTD (Type II) short insertion

4.4.2 Electrical connection

4.4.2.1 General

The electrical connectors of resistance thermometers shall meet the following requirements:

- The electrical connectors configuration can be 3-wire or 4-wire, see IEC 60751 for details.
- The electrical connectors of resistance thermometers shall have a qualified leak tightness.

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

4.4.2.2 Type of connection

There are two kinds of electrical connectors commonly used in resistance thermometers in nuclear power plants:

Type I (Quick disconnect, Figure 2)

The electrical connection is achieved by using a multi-pin connector. The connector shall be splash-proof and water-proof when mated and shall meet the insulation resistance requirements in 4.7.7. The contact resistance between each pin of the mated connector shall be as low as possible, and shall not affect adversely the required accuracy of the complete sensor (sensor and connection interface/connector). For high accuracy applications, the user may consider gold or silver plating for the pins and sockets of the connector.

The temperature rating of the connector shall be in accordance with the requirements of the nuclear power plant at the planned installation location. For harsh environment purposes a lower limit of 150 °C should be considered, or the accident temperature specified by the user. Unless otherwise specified, the manufacturer² shall supply the mating connector half with the RTD.

The adaptor and the extension tube shall be supplied by the manufacturer.

Commonly suggested seals of the connector are glass-to-metal or ceramic-to-metal. The leak rate of the connector shall be in accordance with the requirements of the nuclear power plant at the planned installation location. The leak rate should be small enough when tested with helium at an atmospheric differential pressure.

Type II (Standard, Figure 3 and Figure 4)

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

4.4.2.3 Lead wires

The RTD shall be used as a three-wire or four-wire device depending on the design and performance requirements. The internal leads of the RTD shall be continuously supported by an insulating material in such a manner that the completed RTD is tolerant to vibration, temperature and irradiation. The lead-wire material shall be so chosen as to reduce the resistance of the leads to the practicable minimum.

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.

4.4.3 Mechanical connection

4.4.3.1 Type of connection

There are usually two types of mechanical connection for RTDs in NPPs. For Type A, the RTD can be connected directly to the boss as seen in Figure 5. For Type B, the RTD is connected to the tube boss through the thermowell as seen in Figure 6.

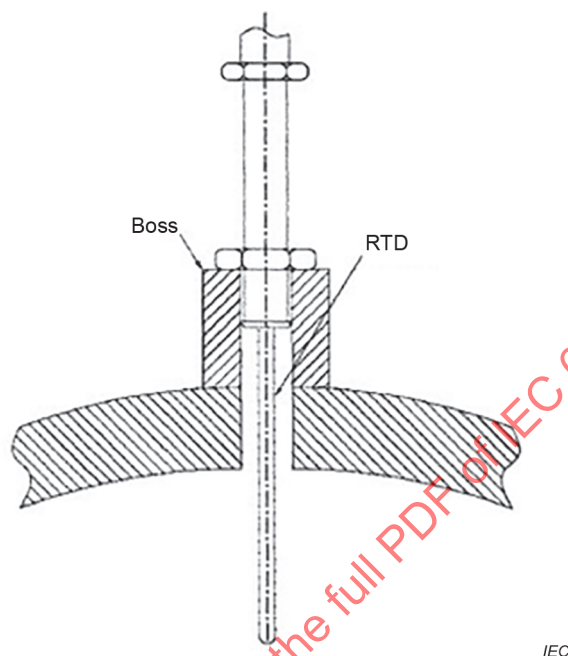


Figure 5 – Type A of RTD connection

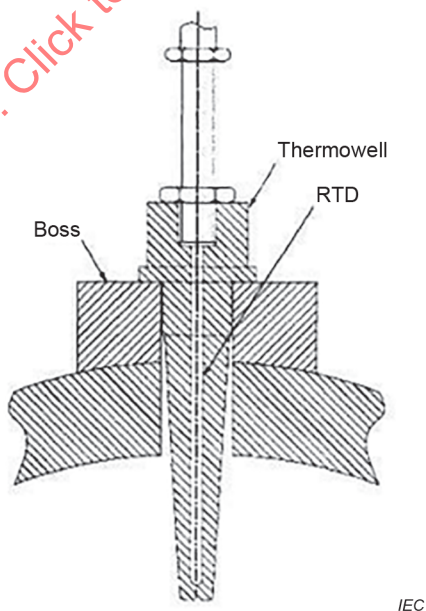


Figure 6 – Type B of RTD connection

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.

NOTE The guide tube is not part of this document.

The designer shall calculate the necessary spring force to ensure an acceptable mechanical contact between the RTD and the thermowell. A spring force of the order of 1 100 kN/m² is recommended based on past practice.

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.

4.4.3.2 Non-destructive testing methods

After welding has been completed all welds shall be tested using non-destructive testing methods. All the welds shall be checked by either of the following:

a) 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.

b) Liquid penetrate

The manufacturer and the user shall agree on the liquid penetrate examination procedures and materials. Documented qualification of personnel to the standard of a recognized regulatory body shall be mandated for those who are involved in the liquid penetrate examination.

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

4.5 Manufacturing quality

The manufacturing quality of an RTD 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 document.

The assembly quality of resistance thermometer shall meet the following requirements:

- a) All parts are assembled correctly, reliably and without defects,
- b) Without broken circuit or short circuit.

The manufacturer shall ensure that the requirements of this document are met and that all tests and inspections of this document are carried out.

In addition to the above requirement, the manufacturer shall carry out analyses, inspections, tests and other work which is considered necessary to ensure that the resistance thermometers can meet the requirements of this document.

4.6 Ambient conditions (normal and accident operations) and qualification

The typical operating conditions of a nuclear power plant should be defined by the following aspects and the specific parameters depend on the environment where the RTD is used.

- a) Maximum temperature.
- b) Plant design life.
- c) Radiation exposure
 - rate (normal operation)
 - rate (accident operation)
 - total integrated dose.

d) Air/steam environments under normal and accident

- temperature
- humidity
- contaminants
- saturated steam.

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.

4.7 RTD performance

4.7.1 General

The acceptance criteria of RTD performance are given in this subclause and the corresponding performance tests are documented in 5.4.

The main performance of an RTD is characterized by its accuracy and response time. The RTD performance should be established through formal, repeatable and traceable calibration methods in laboratory conditions. The RTD accuracy shall be established through calibration against a known standard.

The response time may be measured using the plunge test method. After the RTD is installed in a plant, its response time will not be the same as in the laboratory plunge test due to the effect of process flow rate and temperature and to a lower external pressure. Therefore, if a plant is required to measure RTD response time, the test to measure response time shall be performed *in situ* using an approved method such as the Loop Current Step Response (LCSR) test. That is, the response time measurement shall be made while the RTD is installed in its plant thermowell, and the plant is operating at or near normal operating temperature, pressure, and flow.

Each RTD shall meet the performance requirements of this clause. The configuration of the equipment during testing shall correspond to the installed configuration on site.

4.7.2 Accuracy

During normal and accident operating conditions, the error attributed to the performance of the RTD measurement, shall be limited to 0,25 °C (temperature between 0 °C and 100 °C) or 0,25 % (for temperatures above 100 °C) variance in temperature measurement. 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. The maximum drift shall not be more than 0,2 % of full scale per year.

Depending on the application of the subject RTD and the design of the reactor, the user may specify accuracy requirements other than the values as listed above, if the value is technically justified.

4.7.3 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 formula.

$$R_t = R_0[1 + At + Bt^2 + C(t - 100 \text{ °C}) t^3]$$

For the range of 0 °C to 850 °C:

$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2)$$

where

- R_t is the resistance of thermometer at temperature t ;
- R_0 is the resistance of thermometer at 0 °C;
- A, B, C are constants, dependent on the characteristics of the platinum wire;
(constants A, B and C can be defined as $A = \alpha (1 + \delta/100)$;
 $B = -\alpha\delta/10^4$; $C = -4,183 \times 10^{-12} \text{ °C}^{-4}$);
- α (alpha) is given on each specific calibration table, nominally = 0,00385 $\Omega/(\text{°C})$;
- 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 0,00385 $\Omega/(\text{°C})$. The nominal resistance of the RTD element at 0 °C may be 100 Ω or 200 Ω , which may be set by the manufacturer, and the user should be able to choose a specific RTD based on the specific conditions of its application at the NPP and its nominal resistance. A master resistance-temperature relationship table shall be provided covering the range between the lowest and the highest operating temperatures for NPPs at intervals of 1 °C.

The resistance shall be measured at the connector head. RTD manufacturing tolerances may refer to 5.2.3.1 of IEC 60751:2022. Each individual RTD should be calibrated before installation in the plant to meet the accuracy requirements of 4.7.2.

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 5.4.2). Different calibration tables shall be provided for different resistance elements.

4.7.4 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.

When the self-heating test is carried out on the resistance thermometers the sensor should be capable of dissipating 10 mW without causing the indicated temperature to rise by more than 0,2 °C, which corresponds to a self-heating index (SHI) of 0,02 °C/mW. For a 200 Ω platinum element RTD with a temperature coefficient of $\sim 0,0039 (\Omega / \text{°C})$, the SHI corresponds to 15,6 Ω/W . For a 100 Ω platinum element RTD, this value is 7,8 Ω/W .

Refer to 5.4.3 for detailed test requirements.

4.7.5 Thermal response time

For NPP applications, the response time requirements depend on the functions to be fulfilled. Typically two kinds of RTDs 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 (see 5.4.4 and 5.4.5 for details).

Unless otherwise specified, the time to reach 63,2 % of the step change in temperature shall not exceed the plant's technical specification requirements that is typically about 4 s for fast response RTDs in a thermowell. For standard response RTDs, the requirements are generally not as stringent.

To obtain the laboratory response time of an RTD, the user may use the plunge test method (refer to 5.4.4 for details).

To obtain *in situ* response time of an RTD, the user may require the *in situ* response time testable using the loop current step response (LCSR) method. The LCSR method can be used to verify proper RTD installation in the thermowell, measure RTD response time at sub-critical hot standby conditions and to measure the *in situ* RTD response time at normal operating conditions. (Refer to 5.4.12 for details).

4.7.6 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 4.7.8).

4.7.7 Electrical insulation resistance

The RTD should meet acceptance criteria for the electrical insulation resistance test under dry atmospheric conditions as specified below:

- a) The electrical insulation resistance of the temperature detector element should not be less than 100 MΩ at room temperature,
- b) The electrical insulation resistance of the temperature detector element should be at least 10 MΩ at a temperature equal to, or greater than, 200 °C.

For the purpose of the qualification test specified in 5.6, the insulation resistance shall be continuously monitored as the element cools from the highest operating temperature to room temperature. Any drop in insulation resistance below the stated limits shall be a cause for disqualification.

Each RTD produced shall be stored indoors under a controlled environment.

Depending on the application of the subject RTD, the user shall specify the acceptance criteria of the electrical insulation resistance for every phase of the equipment qualification test sequence.

4.7.8 Repeatability (thermal shock)

After the repeatability test, the sensor shall be checked for insulation resistance and be calibrated at 0 °C and 100 °C. The insulation resistance should be at least 100 MΩ, and the thermal shock should not shift the resistance temperature calibration more than 0,1 °C at 0 °C or 0,15 °C at 100 °C.

Refer to 5.4.6 for detailed test requirements. Depending on the application of the subject RTD, the user may also specify the requirements, test method (temperatures) and acceptance criteria for the repeatability test.

4.7.9 Vibration

After the vibration test, the RTD should meet the following acceptance criteria:

- a) no short or no open circuit is indicated,
- b) calibration at 0 °C has shifted by no more than 0,1 °C,
- c) calibration at 100 °C has shifted by no more than 0,15 °C,
- d) The sensor meets the insulation resistance requirements of electrical insulation resistance (see 4.7.7).

Refer to 5.4.7 for detailed test requirements. Depending on the application and the functional needs, the user may also specify the test and also the associated requirements and acceptance criteria.

4.7.10 Steam test

RTDs used in steam environment shall be subjected to a steam test. After the steam test, the RTD should meet the following acceptance criteria:

- a) The insulation resistance of the resistance thermometers should be greater than 100 MΩ,
- b) Each sensor should be calibrated at 0 °C and meet the requirements of 5.4.2.

Refer to 5.4.8 for detailed test requirements.

4.7.11 Thermal cycling

After the thermal cycling test, the RTD should meet the following acceptance criteria:

- a) The absolute error of the temperature converted by the measured resistance at 0 °C and 100 °C should not be greater than 0,1 °C.
- b) The insulation resistance of the resistance thermometers should be greater than 10 MΩ when the temperature is not higher than 200 °C under dry atmospheric conditions.

Refer to 5.4.9 for detailed test requirements. Depending on the application and the functional needs, the user may also specify the test and the associated requirements and acceptance criteria.

4.7.12 Dielectric inspection

The RTD shall resist a DC/AC overvoltage between RTD wires and housing.

Refer to 5.4.10 for detailed test requirements.

4.7.13 Hydraulic strength

During or after the hydraulic test, the RTD should meet the following acceptance criteria:

- a) There should be no visible leakage of thermometer (without thermowell) or thermowell during the hydraulic test.
- b) After the hydraulic test, the insulation resistance of the thermometers should be greater than 100 MΩ under dry atmospheric conditions, and the absolute error of the temperature converted by the measured resistance at 0 °C and 100 °C should not be greater than 0,1 °C.

Refer to 5.4.11 for detailed test requirements.

4.7.14 *In situ* response time testing

The response time of an RTD depends on installation and process conditions. Therefore, the manufacturer's response time specifications that are normally based on laboratory plunge tests are not the same as the RTD response time after installation in the plant. This is particularly true for RTDs that are installed in a thermowell. If an RTD is tested in a test thermowell in the laboratory and installed in a different thermowell in the plant, its response time may be completely different. The air gap in the thermowell as well as process flow rate, temperature, and pressure affect RTD response time. Therefore, the *in situ* response time of RTDs can only be identified by *in situ* testing with the RTD installed in its plant thermowell and while the plant is at or near normal operating conditions.

Refer to 5.4.12 for detailed test requirements. Three *in situ* response time test methods are presented in Annex A.

4.8 Identification

Each device should be identified with the following information:

- manufacturer's name or identity;
- manufacturer's model and/or serial number;
- user's identification number(s);
- number of resistors;
- connecting wire configuration;
- tolerance class;
- temperature range of validity.

Labelling shall be in accordance with the specifications provided by the nuclear power plant. Electro-etching may be a suitable method for labelling the device.

4.9 Failure mode and effects analysis

Each component of the RTD may fail in one or more ways, identified as potential failure modes.

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

The evaluation and analysis shall cover the following aspects:

- 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 detect that the failure has occurred.

5 Inspection and tests

5.1 General

Tests shall be carried out to prove that RTDs comply with the requirements of this document.

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 5.6.

In addition to the qualification tests listed in 5.6 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. 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 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, manufacturing quality, and operation are of the degree of excellence required by this document 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 document, 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 Test method

5.4.1 Assembly and appearance inspection

The overall structure, appearance and assembly of the RTD and thermowell should be checked before the test. The assembly and appearance inspection shall include the following:

- a) Check the assembly quality of the resistance thermometer by visual inspection.
- b) Check the conformity of electrical and mechanical connections.
- c) Check the dimensions of the resistance thermometer and the thermowell, which shall be consistent with the design drawings.
- d) Visual inspection method can be used to check the appearance quality of resistance thermometer. There should be no indentation, scratch, or other appearance defects.
- e) Check the identification of the resistance thermometer, which shall contain the information required by this document.
- f) Check the resistance thermometer using a calibrated multimeter or other suitable instrument, and there should be no short circuit or open circuit.
- g) Check the axial straightness of the RTD. There should be no bend in its length which can compromise its installation in a thermowell. This may be done visually or by measurement of the bend radius (which shall be zero).

5.4.2 Calibration procedure

As a minimum, calibration shall be undertaken at the following temperatures:

- a) At 0 °C

The standard resistance thermometer and the calibrated resistance thermometer shall be immersed in a well-stirred ice bath maintained at $0\text{ °C} \pm 0,02\text{ °C}$. Record the resistance value when the reading is stable, and calculate the error of the calibrated resistance thermometer at 0 °C. The precision of the resistance value should be limited to $\pm 0,015\%$.

- b) At 100 °C and 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. Record the resistance value when the reading is stable, and calculate the error of the calibrated resistance thermometer at 100 °C and the highest operating temperature or the temperature specified by the user. 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.

5.4.3 Self-heating test

The test method may refer to IEC 60751.

Measure the steady resistance value of the RTD. This process may be repeated at several dissipation powers to obtain additional steady resistance values of the RTD that may be plotted against the dissipation power. This plot is referred to as the self-heating plot which should normally be a straight line. A straight line may be fitted to the self-heating plot, and the slope of this line calculated and referred to as the self-heating index (SHI) of the RTD expressed in units of °C per mW.

The self-heating index is an indication of RTD dynamic performance and may be tracked together with the LCSR test result to identify response time degradation. The self-heating index is not directly related to the RTD response time although the SHI for an RTD increases and decreases as the *in situ* response time increases and decreases.

5.4.4 Thermal response time

A typical test condition for determining response time is to quickly plunge the detector at $20\text{ °C} \pm 2,5\text{ °C}$ into water flowing at $1\text{ m/s} \pm 0,15\text{ m/s}$ and at $75\text{ °C} \pm 2,5\text{ °C}$. The measured resistance thermometer shall reach the final placed position in less than 1/10 of the response time. During the test, the embedded part of the measured resistance thermometer shall be located in the middle of the test flow channel. The longitudinal axis of the thermometer shall be located in the plane perpendicular to the flow direction of the medium. The width of the flow channel shall not be less than 10 times the diameter of the measured resistance thermometer.

The response time recorded shall be the average of at least three test results of the same test, and the deviation of each test result on the average value shall be within the range of $\pm 10\%$.

If the user specified the response time test parameter in the specification, it shall be carried out in accordance with the requirements of the specification.

5.4.5 Insulation resistance test

The test shall be performed applying a DC voltage of minimum 100 V between RTD wires and the housing under dry atmospheric conditions. The test duration should be more than 60 s (1 min).

5.4.6 Repeatability test (thermal shock)

The sensor shall be transferred between baths at 0 °C to the highest operating temperature and then again 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 number of cycles and the procedure may be specified jointly by the user and the manufacturer.

5.4.7 Vibration test

The RTD shall meet acceptance criteria for a mechanical endurance test (vibrations). Test methods shall comply with IEC 60068-2-6. 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.

The sensor shall be mounted in a fashion similar to the installation in NPPs, in particular, the spring tension shall be identical to the installation. 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. When performing vibration tests the effect of the support structure of the RTD shall be taken into account.

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/IEEE 60980-344.

5.4.8 Steam test

This test shall apply to the whole RTD assembly, for example, with the quick disconnecter for Type I design and with the metallic housing for Type II design.

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. After the steam test has been finalized, the RTD shall be taken out of the test chamber and the connector pins shall be dried. At normal room conditions the insulation resistance (wires against housing) and the accuracy shall be measured and calibration test at 0°C shall be conducted.

5.4.9 Thermal cycling

The temperature range and number of cycles shall be agreed as part of the specification for the test taking into account the specific application and required lifetime of the RTD.

A typical temperature range may be between room temperature and the highest operating temperature in normal operation and the cycle number may be 100.

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 100°C and insulation resistance shall be checked before and after the test.

Thermal cycling test may be performed according to IEC 60068-2-30 if the user requires. The user shall specify the choice of the following pair of values: temperature and number of cycles.

5.4.10 Dielectric inspection test

The RTD shall be subjected to AC or DC voltage between RTD wires and housing of 100 V AC (50 Hz / 60 Hz) or 140 V DC with a duration of 60 s. No dielectric breakdown shall occur. The breakdown may be identified by a steep increase of the current in a short time or by exceeding a current limit of 3 mA.

5.4.11 Hydraulic test

The hydraulic test should be carried out at room temperature, and the fluid used in the test shall be demineralized water. Resistance thermometer (Type A) or thermowell (Type B) shall be sealed in pressure vessel. The test may consist of the following steps:

- a) Raise the pressure quickly from normal pressure to operating pressure;
- b) Increase a little pressure at a time until reaching the test pressure;
- c) Keep the test pressure for at least 30 min, and the test pressure may be 1,5 times the design pressure;
- d) Reduce the pressure quickly from the test pressure to the normal pressure.

Record the pressure changes in the container during the test.

Calibration test and insulation resistance test shall be conducted for the thermometer of type A after the hydraulic test. Temperatures for calibration test should be specified by the user depending on the application of the subject RTD.

The hydraulic test of the thermowell can also be carried out by applying internal pressure.

5.4.12 *In situ* response time test

Annex A describes the techniques which can be used for the *in situ* measurement of RTD response time.

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

The response time of an RTD depends on installation and process conditions (fluid flow, temperature, and pressure). As such, in order to obtain the *in situ* response time of an RTD, it shall be tested as installed in the process and at or near normal operating temperature, pressure, and flow. This is referred to as "*in situ*" response time testing. The response time measured using the plunge method in a laboratory is only useful for comparing the dynamic performance of a group of RTDs. That is, the laboratory plunge test result provided by the manufacturer or measured by the user is not normally the same as the *in situ* response time because it is impossible to duplicate the installation and process conditions in a laboratory.

5.4.13 Cross-calibration testing

The cross-calibration test may be performed by measuring the resistance of the sensors, converting them to temperature using Callendar formula, and comparing the results to identify any outliers. The test is performed when the plant is at isothermal conditions. If the measurements are performed at several widely spaced process temperatures during startup or shutdown conditions, the data can be used to produce a new calibration table for an outlier without removing the sensor from the plant.

The cross-calibration test may also be performed using temperature data from the plant computer. In this case, the temperature readings of the sensors at isothermal conditions are averaged and the deviation of each sensor for the average of all redundant sensors is calculated to identify any outliers. The cross-calibration test can be performed by the user.

Following is a description of how the cross-calibration test is performed by measuring the resistances of the sensors and converting them to temperature.

a) Principle of the method

Cross-calibration is a test of consistency of a group of RTDs that are measuring the same temperature. RTD cross-calibration can be performed remotely from the control room area either during shutdown or startup to verify the calibration of redundant installed RTDs at isothermal conditions.

To perform cross-calibration testing, the resistances of redundant installed RTDs are measured at isothermal conditions and converted to temperatures. The temperatures are then averaged and the deviation of each individual RTD from the average temperature is calculated. Any RTD that exceeds the deviation criterion is removed from the average and either replaced with a newly calibrated RTD or corrected to meet the deviation criterion via the generation of new calibration coefficients.

Cross-calibration of RTDs is typically performed at three or more widely-spaced temperatures during startup or shutdown of a NPP. Small temperature instabilities and differences in loop temperatures within the plant should be corrected. The cross-calibration test is performed at isothermal conditions, either at temperature plateaus or when the plant temperature is ramping up or ramping down at a slow and constant rate. Under temperature ramp conditions, data may be taken at several widely spaced temperatures to produce the data to generate a new calibration table for any outlier.

b) Specific equipment of cross-calibration test

This test requires the use of specific equipment including:

- precision ohm meter or multi-channel RTD data collection device or plant computer;
- a device for analysing the RTD data and generating new calibration coefficients. The analysis can be automated with the use of a computer.

c) Operations of test

The test method shall be agreed as part of the specification for the test taking into account the specific application of the RTD.

A typical test may include the following operations:

- setting up test configuration containing the redundant installed RTD sensors;
- disconnection of the sensors from the associated converter and connection to the test equipment or acquisition of plant computer data which does not require disconnection of the sensors;
- precision RTD resistance measurements at isothermal conditions;
- analysis of the RTD data obtained, calculation of the average temperature, determination and rejection of any outlier RTDs exceeding the user specified deviation criterion, and calculation of new calibration coefficients for any outlier RTDs exceeding the deviation criterion.

To obtain the cross-calibration data, the test shall be conducted when the NPP is at isothermal conditions either during shutdown or startup. An alternative to the above procedure is to obtain cross calibration data from the plant computer. In this case, temperature data is retrieved from the plant computer during start up or shut down conditions when the plant is at isothermal conditions. Then readings of the redundant RTDs at each temperature are averaged and the deviation of each RTD from the average is calculated and compared with an acceptance criterion specified by the user (e.g., $\pm 0,2$ °C). Any RTD that does not agree with the remaining redundant RTDs by a user specified deviation is referred to as an outlier and removed from the average and the calculations are repeated until all outliers are identified. An outlier RTD may have to be replaced or a new calibration curve produced for the outlier using temperature versus resistance data collected at three or more widely spread temperature points during plant start up or shut down.

5.5 Production test

Each RTD produced shall be subject to a sequence of test to verify the quality of the manufacturing by the manufacturer. Product tests shall include at least the following items:

- Assembly and appearance inspection (see 5.4.1);
- Calibration test at 0 °C and 100 °C (see 5.4.2);
- Dielectric inspection test (see 5.4.10);
- Insulation resistance test at the highest operating temperature for NPPs (see 5.4.5);
- Thermal response time test (see 5.4.4);
- Hydraulic test (see 5.4.11);
- Liquid penetrate test (see 4.4.3.2);
- Insulation resistance test at room temperature (see 5.4.5).

Calibration test at 0 °C and 100 °C shall be carried out after the above tests, and the temperature converted by the measured resistance changes should not be greater than 0,25 °C and 0,5 °C. If any component or part cannot meet any of the inspection and test requirements specified in this document, the user or manufacturer should conduct fault mode analysis or root cause analysis.

The factory acceptance test shall at least include the following items before the resistance thermometers. These tests should be performed by the manufacturer in the witness of the purchaser or the user.

- Assembly and appearance inspection (see 5.4.1);
- Calibration test at 0 °C and 100 °C (see 5.4.2);
- Dielectric inspection test (see 5.4.10);
- Insulation resistance test at room temperature (see 5.4.5);
- Thermal response time test (see 5.4.4);
- Hydraulic test (see 5.4.11).

The factory acceptance test sampling ratio of the resistance thermometers can be agreed upon by the user and the manufacturer.

If required, depending on the application and the functional needs, the user shall specify the test and the associated requirements and acceptance criteria.

5.6 Qualification test

Qualification of RTDs shall be in line with IEC/IEEE 60780-323 and IEC/IEEE 60980-344 or with pertinent national guides and regulations.

The selection of three specimens from the same batch of products should be considered. The same batch of products refers to the products processed by standard methods and procedures under the same condition, at the same time, with the same material. The qualification test shall be performed by the manufacturer, accredited laboratories or certified independent entities. The qualification sequence should include all models of a general design and should consist of the following qualification steps:

- Assembly and appearance inspection (see 5.4.1);
- Initial calibration (see 5.4.2), dielectric inspection test (see 5.4.10) and insulation resistance test (see 5.4.5);
- Repeatability test (see 5.4.6);
- Vibration test (see 5.4.7);
- Saturated steam test (see 5.4.8);
- Thermal response time test (see 5.4.4);
- Hydraulic test (see 5.4.11);
- Self-heating test (see 5.4.3);
- Thermal cycling test (see 5.4.9);
- Final calibration (see 5.4.2) and accuracy (see 4.7.2);
- Insulation resistance test at the end of storage (see 5.4.5).

When RTDs are used in systems important to safety applications, the qualification test shall be performed according to IEC/IEEE 60780-323 taking into account the functional performance requirements and the service conditions that shall have been specified by the user.

If required, the qualification test shall include the following special tests:

- Loss of coolant accident (LOCA) simulation test;
- Seismic test;
- Irradiation test (including irradiation ageing and post-accident irradiation).

Environment qualification for a plant accident scenario, such as a LOCA or a high-energy line break (HELB), shall be specified in the individual RTD specification sheets.

Service conditions (parameters) for environmental and seismic qualification shall be derived from the requirements of the installation position in the nuclear power plant. In detail, this concerns the parameters of operational plant states and accidents.

If the RTD is required to function under harsh environment conditions, the specimen should consist of the RTD and the cable-connector assembly. The complete assembly shall be submitted to the specified qualification sequence.

Inputs for qualification shall be stated in a requirement specification issued by the nuclear power plant. General inputs may be:

- Service conditions;
- Parameters of anticipated operational occurrences;
- Parameters of postulated accidents or design basis accidents (pressure and temperature curves, radiation and mission time);
- Inputs for the seismic qualification: required response spectra, time histories, design of support structures and floor response spectra;
- Acceptance criteria in terms of uncertainties related to the installation positions and function within the nuclear power plant.

If required, depending on the application and the functional needs, the user shall specify the test as well as the associated requirements and acceptance criteria.

6 Documentation

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;
- The regular maintenance strategy of RTD;
- 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62397:2022

Annex A (informative)

In situ response time test methods

A.1 Loop current step response test (LCSR)

The LCSR method has been developed and validated to measure the *in situ* response time of RTDs after they are installed in a plant.

a) Principle of the method

The measurement of temperature with an RTD is normally made with the help of a Wheatstone bridge with the value of the current crossing through the RTD being of the order of a few milliamperes. The principle of the test is to increase this current suddenly which induces a temperature transient associated with the heat being generated. In fact, this transient is representative of the internal thermal exchanges in the sensor. From an analysis of this internal transient, one can deduce the response time of the sensor provided that the given RTD design has undergone 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 $\pm 10\%$.

The LCSR test may also be adapted to qualitatively verify the installation of an RTD in its thermowell (if one is used). The outer diameter of a properly installed RTD mates with the inner diameter of the thermowell with a small air gap as the RTD reaches the bottom of the thermowell. When the RTD is properly installed in its thermowell, it will respond well. If an RTD is improperly installed in its thermowell, a larger than normal air gap may exist between the RTD outer diameter and the thermowell inner diameter or between the bottom of the RTD and bottom of the thermowell. The air gap acts as a thermal insulator and degrades the response time of the RTD. To verify the installation of an RTD in its thermowell, the LCSR method may be applied. A fast transient observed in the early time domain of the LCSR test corresponds to a properly installed RTD while a slow transient corresponds to an improperly installed RTD.

b) Determination of the response time from the LCSR transient

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

For the temperature change of the fluid:

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

For the internal heat supply:

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

where

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

p is the Laplace operator;

p_i is the pole of the function;

z_j represents the zero of the function.

Fitting the temperature response data resulting from step Joule thermal changes of the resistance thermometer to the node model equation, and make the inverse transformation of the Laplace transform, the modal response equations corresponding to $H_2(p)$ can be obtained as follows:

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

where

p_i is the pole of the function;

B_0, B_i are the constants in the formula when the frequency domain transfer function is transformed into the time domain dynamic response equation. The constants $B_0, B_1, \dots$ are made of both the poles and zeros of the transfer function and can be obtained by fitting the LCSR data to R_2 .

The formula provides the required poles p_i for insertion test response (i.e. plunge test).

According to the above formula, the response formula of the resistance thermometer to the temperature step change outside the sensor is as follows:

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

where

A_0, A_i are the constants in the formula when the frequency domain transfer function is transformed into the time domain dynamic response formula;

and:

$$A_0 = \frac{1}{(-P_1)(-P_2) \cdots (-P_i)}$$

$$A_1 = \frac{1}{(P_1)(P_1 - P_2) \cdots (P_1 - P_i)}$$

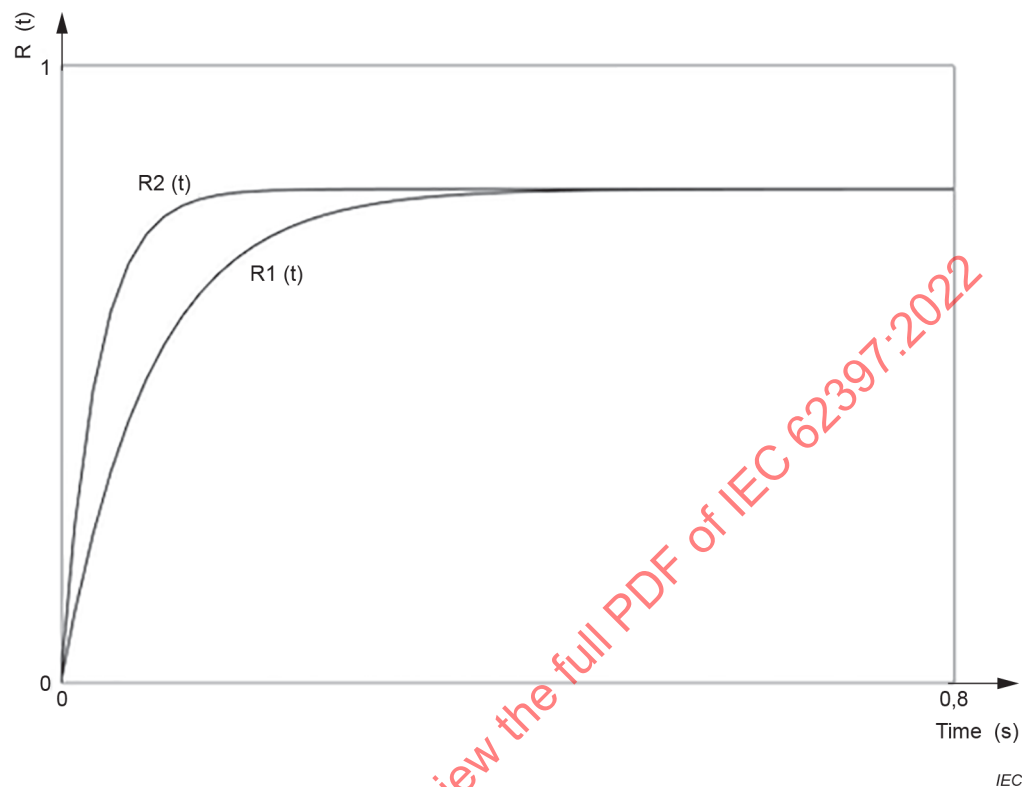
$$A_2 = \frac{1}{(P_2)(P_2 - P_1) \cdots (P_2 - P_i)}$$

.....

And so on, the response of the resistance thermometer to the sudden change in the temperature of the surrounding liquid can be obtained.

From above derivations, it is clear that of the poles (p_i), from the transient represented by $R_2(t)$.

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



Key

$R_1(t)$ modal response to the external temperature change

$R_2(t)$ modal response to a current change

Figure A.1 – LCSR and plunge transients

c) Specific equipment for LCSR test

This test requires the use of specific equipment including:

- a Wheatstone bridge with a frequency response of at least 40 Hz allowing switching from low sensing to higher current (e.g. changes of the order of 2 mA to 60 mA); the input current depends on the type of sensor and process operating conditions;
- an algorithm and validated software for analysing the LCSR transients. The analysis can be automated with the use of a computer.

d) Operations of test

The LCSR test includes the following steps:

- setting on test configuration of the assembly containing the sensor;
- disconnection of the sensor from the associated converter and connection to the LCSR test equipment;
- balancing of the Wheatstone bridge;
- injection of current changes in the sensor on test;

- analysis of the transients obtained, calculation of the constants and estimation of the response time.

To obtain the *in situ* response time of the RTD, the test shall be conducted when the nominal thermohydraulic conditions (temperature, pressure, flow) are reached. The greatest accuracy is obtained in hot shutdown conditions (minimal temperature noise), but the LCSR test may also be performed during normal operation of the nuclear power plant as long as the test is repeated 10 to 30 times depending on the level of process fluctuations (noise) and the results averaged to obtain a smooth LCSR transient.

The performance of LCSR test and analysis of LCSR data can be complicated and shall be conducted by personnel who are properly trained to perform the test and analyse the data. In particular, the LCSR in a plant with large process fluctuations can make it difficult to perform the tests and produce repeatable results.

To qualitatively verify the installation of an RTD in its thermowell, the LCSR test may be conducted after installation and at any thermohydraulic condition. This is referred to as cold LCSR test which can reveal any gross installation problems that can affect sensor response time (e.g., improper sensor insertion in its thermowell, RTD/thermowell mismatch, large air gap in thermowell, dirt in thermowell). The cold LCSR test is not sufficient to obtain the *in situ* response time of the sensor. In fact, the results of the cold LCSR test are only useful to check for proper installation of an RTD in its thermowell. The wirings of the sensors should also be checked and verified after installation to make sure the RTD response time can be tested using the LCSR method.

A.2 Calculation of the response time by temperature noise (passive method)

If the plant situation does not allow the sensor response time to be measured using the LCSR method, then an alternative technique called noise analysis may be used. The noise analysis technique is not as exact as the LCSR method for sensor response time tests, but it can provide reasonable estimates of *in situ* response time when no other method is available and the process fluctuations (noise) has an acceptable bandwidth to drive the sensor to exhibit its dynamic response. It is obvious that the noise analysis technique can only be used when the plant is operating to provide process fluctuations (noise) to perform the response time test. The noise analysis technique is referred to as a "passive" method because it does not require any perturbation of the sensor to obtain its response time. The perturbation to yield the sensor response time arises from natural process fluctuations that exist when the plant is operating. This is in contrast with the LCSR method that is called "active" because it involves sending an electric current to the sensor.

a) Principle of the method

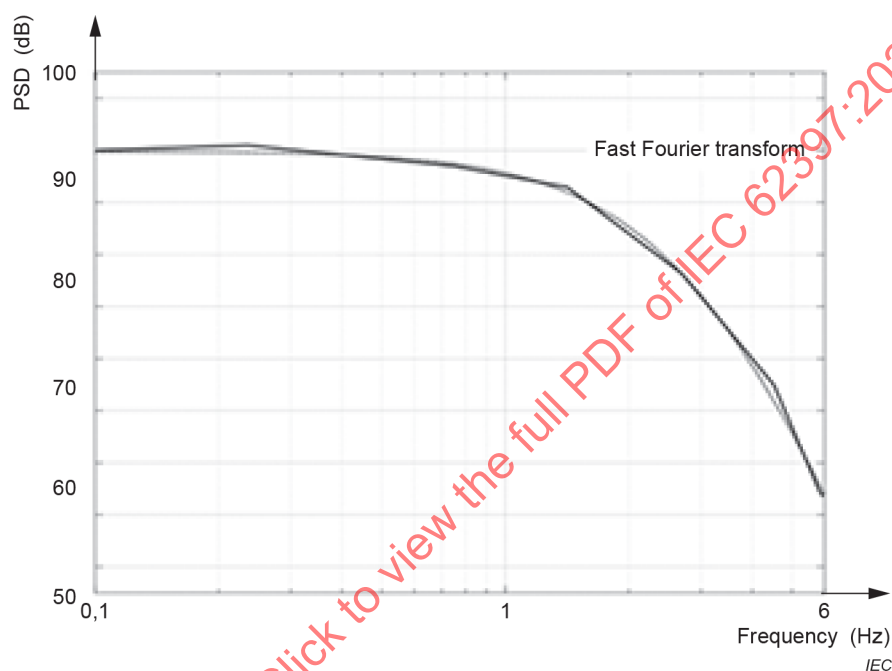
The analysis is based on the random fluctuation of the electrical signal around the direct value representing the operating point. Insofar as the noise of the electronics associated with the RTD is insignificant, these fluctuations represent the noise of the process filtered by the sensor. The noise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

If the noise of the process is stationary and white (constant power spectral density of the process in a wide band before the pass band of the sensor), the power spectrum of the output signal represents the modulus of the transfer function of the sensor. Thus, the method of analysis lies in working out an estimate of the transfer function of the sensor. This estimate can be made in the frequency domain (smoothing of the power spectrum examples are given in Figure A.2) or in the time domain when using an autoregressive model (AR model) given in Figure A.3.

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

The measurement is therefore accomplished in two stages:

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



**Figure A.2 – Power spectrum density (PSD) plot of a sensor
(smoothing of the power spectrum)**

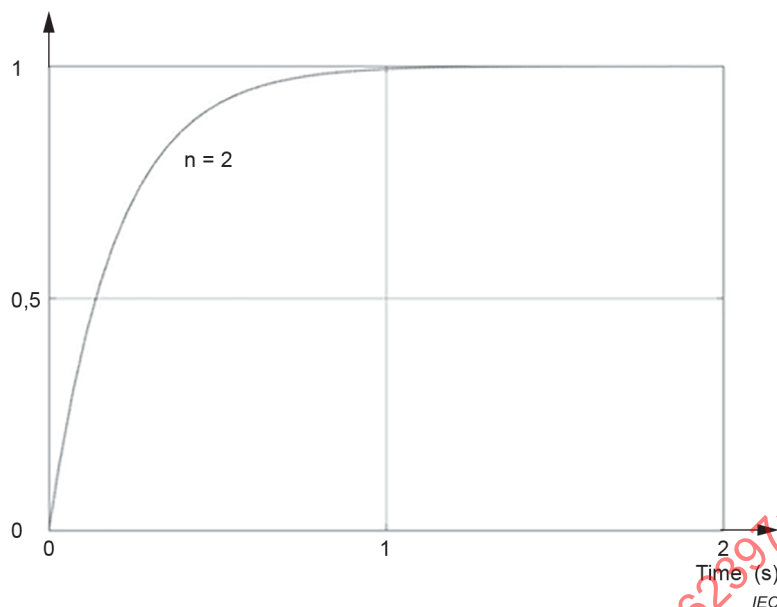


Figure A.3 – Power spectrum density (PSD) plot of a sensor (associated modal response)

b) Specific equipment of test

This test requires the use of specific equipment including:

- an isolation amplifier with DC signal component rejection;
- a device for signal processing including, for example, a computer with software to collect, store, and analyse the data.

c) Operations of test

The test includes the following operations:

- connection of the isolation amplifier to an available electrical connection point (the connection can be permanent in the case of a fixed equipment);
- analysis, signal processing, archiving of the results (approximate duration 15 min).

This test is carried out only when the reactor is at a steady state and at operating conditions with sufficient process fluctuations to drive the sensors.

A.3 Self-heating method (active method)

Like the LCSR method, self-heating test is an active method that involves applying electric current to the sensor to measure its self-heating index (SHI). The self-heating method does not provide the response time of a sensor. It provides an estimate of the sensor heat transfer capability. The test is not mandatory but is usually performed together with the LCSR test to produce a complete picture of a sensor heat transfer and dynamic characteristics. The self heating test is not a substitute for a LCSR or noise analysis test. It is a supplement to the LCSR test and may be used to qualitatively monitor for gross changes in a sensor response time.

a) Principle of the method

The self-heating test is a method for measuring the heat transfer characteristics of the resistance thermometer based on the physical basis that the temperature rise of the resistance thermometer caused by different internal heat generation rate in the steady state of the system is inversely proportional to the total heat transfer coefficient.

This method is normally made with the help of a Wheatstone bridge, the value of the current crossing through the RTD being of the order of a few milliamperes (e.g. 5 mA to 60 mA). And increase the value of the current when it is steady. The degradation of thermometer heat transfer can be characterized by the ratio of the resistance value change of thermal resistance thermometer to electric power generated by input current.

b) Relationship between response time and self-heating index

In the steady state, the electric power generated by the input current in the resistance thermometer is equal to the heat transferred from the thermometer to the object to be tested in unit time, which is expressed as:

$$Q = U \times A \times (t - T)$$

where

Q is the electric power generated by the input current;

U is the total heat transfer coefficient;

A is the heat transfer area;

t is the temperature of the thermometer;

T is the temperature of the medium.

For constant medium temperature:

$$\Delta Q = U \times A \times \Delta t$$

Then:

$$\frac{\Delta t}{\Delta Q} = \frac{1}{UA}$$

The response time of resistance thermometer τ may approximately be:

$$\tau = \frac{MC}{UA}$$

where:

M is the quality of the resistance thermometer;

C is the specific heat capacity.

Above derivation shows that, if the response time of a sensor changes by a large amount, its self-heating index ($\Delta t/\Delta Q$) may also change in proportion to the response time. Thus, measurement of SHI is a method for determining if an RTD has suffered a large change in response time.

c) Specific equipment of test

This test requires the use of specific equipment including:

- a Wheatstone bridge; the input current depends on the type of sensor and its operating temperature;
- a device for analysing the power dissipation of the thermometer when the current increases to steady state and the relationship between the power dissipation and thermometer. The analysis can be automated with the use of a computer.

d) Operations of test

The test includes the following operations:

- setting on test configuration of the assembly containing the sensor;
- disconnection of the sensor from the associated converter and connection to the test equipment;
- balancing of the Wheatstone bridge.

Add the lower DC current (e.g. 5 mA to 60 mA) signal to the resistor thermometer leads and record the stable resistance of the thermometer.

A.4 Instructions for the application of test

The response time of the resistance thermometer can be accurately measured by loop current step response method (LCSR). The LCSR method and the self-heating method both need to disconnect the resistance thermometer from the associated converter or cabinet, which will affect the normal function of reactor protection and control system. The self-heating method is a supplement to the LCSR method, and it is simple to calculate. The same equipment as LCSR can be used to determine the degradation of the response time via SHI, but SHI itself cannot provide the value of the response time. Although the measurement accuracy is not as high as that of LCSR, the noise analysis method can effectively detect the degradation of the response time of the resistance thermometer, and does not need to disconnect its normal wiring. The noise analysis method can be adopted during the normal operation of NPP, and multiple resistance thermometers spanning multiple protection channels can be tested simultaneously without removing them from service.

Bibliography

IEC 60050-300:2001, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 300: Electrical and electronic measurements and measuring instruments – Part 311: General terms relating to measurements – Part 312: General terms relating to electrical measurements – Part 313: Types of electrical measuring instruments – Part 314: Specific terms according to the type of instrument*

IEC60050-300:2001/AMD1:2015

IEC60050-300:2001/AMD2:2016

IEC60050-300:2001/AMD3:2017

IEC 60050-300:2001/AMD4:2020

IEC 60737:2010, *Nuclear power plants – Instrumentation important to safety – Temperature sensors (in-core and primary coolant circuit) – Characteristics and test methods*

IEC 61298-2, *Process measurement and control devices – General methods and procedures for evaluating performance – Part 2: Tests under reference conditions*

IEC 62342:2007, *Nuclear power plants – Instrumentation and control systems important to safety – Management of ageing*

IEC 62385:2007, *Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – Methods for assessing the performance of safety system instrument channels*

IEC 62765-2:2019, *Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – Management of ageing of sensors and transmitters – Part 2: Temperature sensors*

IAEA Nuclear Energy Series No. NP-T-1.1:2008, *On-Line Monitoring for Improving Performance of Nuclear Power Plants Part 1: Instrumentation Channel Monitoring*

IAEA Nuclear Energy Series No. NP-T-1.2:2008, *On-Line Monitoring for Improving Performance of Nuclear Power Plants Part 2: Process and Component Condition Monitoring and Diagnostics*

IAEA SSG-39:2016, *Design of Instrumentation and Control Systems for Nuclear Power Plant*

IAEA SSR-2/1:2016, *Safety of nuclear power plants: Design*

IAEA-TECDOC-1147:2000, *Management of ageing of I&C equipment in nuclear power plants*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	42
INTRODUCTION.....	46
1 Domaine d'application	48
2 Références normatives	48
3 Termes, définitions et abréviations	48
3.1 Termes et définitions	49
3.2 Abréviations.....	50
4 Exigences de conception et de construction	51
4.1 Généralités	51
4.2 Fiabilité.....	51
4.3 Matériaux.....	51
4.3.1 Généralités	51
4.3.2 Dose de rayonnement relative aux matériaux	51
4.3.3 Matériaux constitutifs de l'élément de résistance	52
4.3.4 Joints et adhésifs.....	52
4.4 Connexions.....	52
4.4.1 Type structurel.....	52
4.4.2 Connexion électrique	54
4.4.3 Connexion mécanique	55
4.5 Qualité de fabrication.....	57
4.6 Conditions ambiantes (exploitation normale et conditions accidentelles) et qualification	57
4.7 Performances des SR	57
4.7.1 Généralités	57
4.7.2 Exactitude	58
4.7.3 Etalonnage résistance-température	58
4.7.4 Erreur d'autoéchauffement.....	59
4.7.5 Temps de réponse thermique	59
4.7.6 Interchangeabilité	60
4.7.7 Résistance d'isolement électrique.....	60
4.7.8 Répétabilité (chocs thermiques).....	60
4.7.9 Vibrations	60
4.7.10 Essai vapeur.....	60
4.7.11 Cyclage thermique.....	61
4.7.12 Essai de tenue diélectrique.....	61
4.7.13 Essai hydraulique	61
4.7.14 Essai du temps de réponse <i>in situ</i>	61
4.8 Identification	61
4.9 Analyse des modes de défaillance et de leurs effets	62
5 Examen et essais	62
5.1 Généralités	62
5.2 Défaillance lors de l'examen et de l'essai	63
5.3 Rapports d'examen et d'essai	63
5.4 Méthode d'essai.....	63
5.4.1 Examen de l'assemblage et de l'aspect	63
5.4.2 Procédure d'étalonnage	63
5.4.3 Essai d'autoéchauffement.....	64

5.4.4	Temps de réponse thermique	64
5.4.5	Essai de résistance d'isolement.....	64
5.4.6	Essai de répétabilité (chocs thermiques).....	64
5.4.7	Essai de vibrations	65
5.4.8	Essai vapeur.....	65
5.4.9	Cyclage thermique.....	65
5.4.10	Essai de tenue diélectrique.....	65
5.4.11	Essai hydraulique	66
5.4.12	Essai du temps de réponse <i>in situ</i>	66
5.4.13	Essai d'étalonnage croisé	66
5.5	Essais de production.....	68
5.6	Essais de qualification	68
6	Documentation	69
Annexe A (informative)	Méthodes d'essai du temps de réponse <i>in situ</i>	71
A.1	Essai de réponse à un échelon par boucle de courant (REBC).....	71
A.2	Calcul du temps de réponse selon la méthode du bruit de température (méthode passive)	74
A.3	Méthode d'autoéchauffement (méthode active)	76
A.4	Instructions pour l'application de l'essai	78
Bibliographie.....		79
Figure 1	Forme et dimensions d'une SR.....	53
Figure 2	Installation d'une SR rigide (Type I)	53
Figure 3	Installation d'une SR rigide (Type II) à insertion longue.....	53
Figure 4	Installation d'une SR rigide (Type II) à insertion courte	54
Figure 5	Connexion d'une SR de Type A.....	55
Figure 6	Connexion d'une SR de Type B.....	56
Figure A.1	Transitoires obtenus lors de l'essai REBC et de l'essai d'immersion	73
Figure A.2	Courbe de densité spectrale de puissance (DSP) d'un capteur (lissage du spectre de puissance).....	75
Figure A.3	Courbe de densité spectrale de puissance (DSP) d'un capteur (réponse modale associée).....	76

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC 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, l'IEC – 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 l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications, l'IEC 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 l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 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 l'IEC, 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 l'IEC, 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 l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, 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 l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets.

L'IEC 62397 a été établie par le sous-comité 45A: Systèmes d'instrumentation, de contrôle-commande et d'alimentation électrique des installations nucléaires, du comité d'études 45 de l'IEC: Instrumentation nucléaire. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2007. Elle annule et remplace également la première édition de l'IEC 61224:1993. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- 1) les définitions, termes, références, méthodes d'essai, exigences d'essai et autres contenus de l'IEC 61224 ont été incorporés dans les articles et paragraphes correspondants de l'IEC 62397, notamment les méthodes d'essai du temps de réponse in situ;

- 2) le deuxième alinéa du domaine d'application a été déplacé en 4.1, et les "conditions spécifiques d'extension du dimensionnement" ont été ajoutées au texte;
- 3) les définitions des unités de température de l'EIT-90 ont été ajoutées;
- 4) des normes de référence ont été ajoutées, notamment l'IEC 60737:2010, l'IEC 60751:2022, l'IEC 62765-2:2019, l'IEC 62342:2007, l'IEC 62385:2007, l'IEC 61298-2 et l'IEC 60068-2;
- 5) la référence IEC 60780 a été remplacée par l'IEC/IEEE 60780-323:2016; la référence IEC 60980 a été remplacée par l'IEC/IEEE 60980-344:2020;
- 6) la définition obsolète du terme "exactitude (de mesure)" a été supprimée et les définitions des termes "étalonnage", "dérive" et "temps de réponse" ont été modifiées;
- 7) les termes "étalonnage croisé (validation croisée)", "indice d'autoéchauffement", "tolérance d'une SR", "gaine", "mesurage *in situ*" et leurs définitions, ainsi que quelques abréviations (par exemple, CNP) ont été ajoutés;
- 8) les valeurs de référence concernant le taux de défaillance, la dose de rayonnement, la résistance de contact et le taux de fuite, les conditions d'environnement et les conditions d'essai ont été supprimées en 4.2, 4.3.2, 4.4.2.2, 4.6 et 5.4.7;
- 9) le 4.3.1 a été clarifié;
- 10) en 4.3.2, les termes "dégradations causées par les neutrons rapides" et "rayonnements β " ont été ajoutés et l'exigence relative aux modifications des matériaux a été corrigée de manière à lire "ne doivent pas";
- 11) en 4.3.3, la description du platine a été remplacée par une exigence générale concernant les matériaux;
- 12) l'énoncé concernant les produits d'étanchéité et les éléments d'étanchéité plats a été supprimé;
- 13) les étiquettes relatives à la protection antipoussière, au ressort et au tube d'extension ont été ajoutées à la Figure 3 et à la Figure 4, et une coquille a été corrigée à la Figure 6;
- 14) une exigence relative à la configuration des connecteurs électriques qui fait référence à l'IEC 60751 a été ajoutée en 4.4.2.1;
- 15) l'exigence relative à la température assignée du connecteur de Type I a été modifiée en 4.4.2.2 et la définition du fabricant a été ajoutée dans la note de bas de page;
- 16) le type de connexion pour les SR fixées à l'intérieur de tuyaux a été ajouté et l'énoncé relatif à la force du ressort en 4.4.3.1 a été assoupli;
- 17) l'énoncé concernant le Type I et le Type II en 4.4 a été modifié;
- 18) en 4.5, le titre du paragraphe a été remplacé par "Qualité de fabrication" et des exigences complètes ont été ajoutées;
- 19) compte tenu de l'application des différents types de centrales nucléaires de puissance, le concept selon lequel l'utilisateur doit spécifier les exigences, la méthode d'essai et les critères d'acceptation des essais en fonction de l'application de la SR étudiée a été introduit en 4.6 et en 4.7;
- 20) les trois derniers alinéas du 4.6 ont été supprimés;
- 21) en 4.7, des exigences complètes ont été ajoutées pour les performances, et les exigences d'essai ont été déplacées vers un nouveau paragraphe 5.4 "Méthode d'essai";
- 22) dans la norme, "330 °C" a été remplacé par la température de fonctionnement (la plus élevée);
- 23) un nouveau paragraphe "4.7.1 Généralités" a été ajouté pour décrire les exigences générales, et l'exigence relative au mesurage du temps de réponse *in situ* a été reformulée;
- 24) en 4.7.3, la formule de Callendar pour la plage de températures comprise entre -200 °C et 0 °C a été ajoutée, les valeurs de tolérance sur la température ont été supprimées et une référence à l'IEC 60751 a été ajoutée;
- 25) en 4.7.4, des exigences complètes ont été ajoutées concernant l'"erreur d'autoéchauffement";

- 26) le titre du 4.7.5 a été remplacé par "temps de réponse thermique" et la définition du temps de réponse thermique a été supprimée;
- 27) en 4.7.8, 4.7.9, 4.7.10, 4.7.11 et 4.7.13, les exigences de performance ont été assouplies de manière à lire "il convient que", et l'exigence relative à l'essai vapeur qui s'applique uniquement aux SR utilisées en environnement vapeur a été assouplie;
- 28) l'"essai de résistance d'isolement après stockage" a été déplacé en 4.7.7 "Résistance d'isolement électrique", l'exigence a été réduite et la résistance d'isolement au-dessous de 200 °C a été remplacée par 10 MΩ;
- 29) le 4.7.12 "Essai de tenue diélectrique" et le 4.7.13 "Essai hydraulique" ont été ajoutés;
- 30) la description des essais de temps de réponse *in situ* a été révisée en 4.7.14;
- 31) des identifications ont été ajoutées en 4.8;
- 32) l'essai de perte d'isolement a été supprimé;
- 33) en 5.4.3, une référence à l'IEC 60751 a été ajoutée pour l'essai d'autoéchauffement;
- 34) en 5.4.7, le spectre de vibrations a été supprimé et une référence à l'IEC 60068-2-6 a été ajoutée pour l'essai de vibrations;
- 35) en 5.4.9, l'exigence relative à l'essai de cyclage thermique a été révisée de manière à être plus générale et une référence à l'IEC 60068-2-30 a été ajoutée;
- 36) le 5.4.13 "Essai d'étalonnage croisé" a été ajouté;
- 37) en 5.5, l'essai de tenue diélectrique et l'essai hydraulique ont été ajoutés en tant qu'essais de production, et une note précise que l'utilisateur peut spécifier l'exigence d'essai;
- 38) en 5.6, l'essai de tenue diélectrique et l'essai hydraulique ont été ajoutés comme essais de qualification, une note qui précise que l'utilisateur peut spécifier l'exigence d'essai et une référence à l'IEC/IEEE 60780-323 et à l'IEC/IEEE 60980-344 ou aux guides et réglementations nationaux pertinents ont été ajoutées;
- 39) le titre de l'Article 6 "Information technique demandée" a été remplacé par "Documentation", et "la stratégie de maintenance régulière" a été ajoutée à la spécification de performances;
- 40) l'Annexe A informative "Méthodes d'essai du temps de réponse *in situ*" a été ajoutée pour inclure les informations correspondantes de l'IEC 61224, les figures et les références croisées ont été mises à jour, et une référence aux 4.7.13 et 5.4.12 a été ajoutée;
- 41) les documents de l'AIEA ont été ajoutés à la bibliographie.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
45A/1447/FDIS	45A/1454/RVD

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

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/publications.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. A cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62397:2022

INTRODUCTION

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

La présente norme décrit les 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 de puissance (CNP). Ces SR peuvent être utilisées dans les systèmes d'instrumentation et de contrôle-commande (systèmes d'I&C) liés à la sûreté nucléaire et/ou dans les systèmes d'instrumentation non liés à la sûreté.

La présente norme est une fusion révisée des normes IEC 62397 et IEC 61224; elle a été établie en novembre 2019.

b) Positionnement de la présente norme dans la structure de la collection de normes du SC 45A de l'IEC

L'IEC 62397 n'est pas directement référencée par l'IEC 61513, mais est un document de troisième niveau du SC 45A qui couvre les SR.

Pour plus d'informations sur la structure de la collection des normes du SC 45A de l'IEC, voir le point d) de la présente introduction.

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

Aucune recommandation ou limite particulière n'a été établie concernant l'application de la présente norme.

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

La collection de normes établies par le SC 45A de l'IEC est structurée en quatre niveaux. Les documents de niveau supérieur dans la collection des normes établies par le SC 45A de l'IEC sont les normes IEC 61513 et IEC 63046.

La norme IEC 61513 établit les exigences générales relatives aux matériels et systèmes d'I&C utilisés pour réaliser des fonctions importantes pour la sûreté des centrales nucléaires de puissance. La norme IEC 63046 traite des exigences générales relatives aux systèmes d'alimentation électrique des centrales nucléaires de puissance; elle couvre les systèmes d'alimentation électrique y compris les alimentations des systèmes d'I&C.

Les normes IEC 61513 et IEC 63046 doivent être prises en compte ensemble et au même niveau. Les normes IEC 61513 et IEC 63046 structurent la collection de normes du SC 45A de l'IEC et forment un cadre complet qui établit les exigences générales relatives aux systèmes d'I&C et d'alimentation électrique des centrales nucléaires de puissance.

Les normes IEC 61513 et IEC 63046 font directement référence à d'autres normes du SC 45A de l'IEC qui établissent les exigences générales relatives à des sujets spécifiques, tels que la catégorisation des fonctions et le classement des systèmes, la qualification, la séparation des systèmes, la défense contre les défaillances de cause commune, la conception des salles de commande, la compatibilité électromagnétique, l'ingénierie des facteurs humains, la cybersécurité, les aspects logiciels et matériels relatifs aux systèmes numériques programmables, la coordination des exigences de sûreté et de sécurité, et la gestion du vieillissement. Il convient de considérer que ces normes, auxquelles il est fait référence à ce deuxième niveau, forment, avec les normes IEC 61513 et IEC 63046, un ensemble documentaire cohérent.

Au troisième niveau, les normes du SC 45A de l'IEC, qui ne sont généralement pas citées en référence directement par les normes IEC 61513 ou IEC 63046, traitent des exigences particulières de matériels particuliers, de méthodes techniques ou d'activités. Généralement, ces documents, qui font référence aux documents de deuxième niveau pour les exigences générales, peuvent être utilisés de façon isolée.

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

Les normes de la collection du SC 45A de l'IEC mettent en œuvre de manière systématique et décrivent les principes de sûreté et de sécurité et les aspects fondamentaux donnés dans les normes de sûreté de l'AIEA pertinentes pour les centrales nucléaires de puissance, ainsi que dans les documents pertinents de la collection de l'AIEA pour la sécurité nucléaire de puissance (NSS), en particulier avec le document d'exigences SSR-2/1 qui établit les exigences de sûreté relatives à la conception des centrales nucléaires de puissance, avec le guide de sûreté SSG-30 qui traite du classement de sûreté des structures, systèmes et composants des centrales nucléaires de puissance, avec le guide de sûreté SSG-39 qui traite de la conception des systèmes d'I&C des centrales nucléaires de puissance, avec le guide de sûreté SSG-34 qui traite de la conception des systèmes d'alimentation électrique des centrales nucléaires de puissance, avec le guide de sûreté SSG-51 qui traite de l'ingénierie des facteurs humains lors de la conception des centrales nucléaires de puissance et avec le guide de mise en œuvre NSS17 qui traite de la sécurité informatique pour les installations nucléaires. La terminologie et les définitions utilisées pour la sûreté et la sécurité dans les normes établies par le SC 45A sont conformes à celles utilisées par l'AIEA.

Les normes IEC 61513 et IEC 63046 ont adopté une présentation similaire à celle de la publication fondamentale de sécurité IEC 61508, avec un cycle de vie d'ensemble et un cycle de vie des systèmes. En ce qui concerne la sûreté nucléaire, les normes IEC 61513 et IEC 63046 donnent l'interprétation des exigences générales des parties 1, 2 et 4 de l'IEC 61508 pour le secteur nucléaire. Dans ce cadre, l'IEC 60880, l'IEC 62138 et l'IEC 62566 correspondent à la partie 3 de l'IEC 61508 pour le secteur nucléaire.

Les normes IEC 61513 et IEC 63046 font référence à la norme ISO 9001, ainsi qu'aux documents AIEA GSR partie 2 et AIEA GS-G-3.1 et AIEA GS-G-3.5 pour ce qui concerne l'assurance qualité.

Au second niveau, en ce qui concerne la sûreté nucléaire, la norme IEC 62645 est le document chapeau des normes du SC 45A de l'IEC portant sur la cybersécurité. Elle se fonde sur les principes pertinents de haut niveau et sur les concepts principaux des normes génériques de sûreté, en particulier l'ISO/IEC 27001 et l'ISO/IEC 27002; elle les adapte et les complète pour qu'ils deviennent pertinents pour le secteur nucléaire; elle est coordonnée étroitement avec la norme IEC 62443. Au second niveau, la norme IEC 60964 est le document chapeau des normes du SC 45A de l'IEC applicables aux salles de commande, la norme IEC 63351 est le document chapeau des normes du SC 45A de l'IEC applicables à l'ingénierie des facteurs humains et la norme IEC 62342 est le document chapeau des normes du SC 45A de l'IEC applicables à la gestion du vieillissement.

NOTE 1 On considère que pour la conception des systèmes d'I&C qui mettent en œuvre des fonctions de sûreté conventionnelle (par exemple pour couvrir la sécurité des travailleurs, la protection des biens, la prévention contre les risques chimiques, la prévention contre les risques liés au procédé énergétique), des normes nationales ou internationales sont appliquées.

NOTE 2 L'IEC TR 64000 décrit plus en détail la structure générale de la collection de normes du SC 45A de l'IEC, ainsi que ses relations avec les autres organismes de normalisation et normes.

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

1 Domaine d'application

Le présent document décrit les exigences relatives aux sondes à résistance (SR) qui s'appliquent pour leur utilisation dans les systèmes d'I&C importants pour la sûreté des centrales nucléaires de puissance. Les exigences relatives aux SR concernent la conception, les matériaux de construction, la fabrication, les essais, l'étalonnage, l'approvisionnement et le contrôle. Les SR utilisées pour des applications de sûreté dans des centrales nucléaires peuvent être classées en deux catégories: les SR directement immergées et les SR montées dans des doigts de gant. En outre, certaines SR présentent une conception spécifique qui ne peut pas être classée dans les catégories mentionnées ci-dessus. Toutefois, celles-ci sont également couvertes par les exigences établies dans le présent document.

Le présent document ne couvre pas la conception, le choix des matériaux, ni la fabrication des doigts de gant, des tubes guides, des câbles d'extension et des ponts de résistance ou transmetteurs de mesurage de la température qui peuvent être associés aux SR.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences 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).

IEC 60068-2-6:2007, *Essais d'environnement – Partie 2-6: Essais – Essai Fc: Vibrations (sinusoïdales)*

IEC 60068-2-30:2005, *Essais d'environnement – Partie 2-30: Essais – Essai Db: Essai cyclique de chaleur humide (cycle de 12 h + 12 h)*

IEC 60751:2022, *Thermomètres à résistance de platine et capteurs thermométriques de platine industriels*

IEC/IEEE 60780-323:2016, *Installations nucléaires – Equipements électriques importants pour la sûreté – Qualification*

IEC/IEEE 60980-344:2020, *Installations nucléaires – Equipements importants pour la sûreté – Qualification sismique*

3 Termes, définitions et abréviations

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

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>

3.1 Termes et définitions

3.1.1

étalonnage

ensemble des opérations qui établissent, en référence à des étalons, la relation qui existe, dans les conditions spécifiées, entre une indication et un résultat de mesure

Note 1 à l'article: Ce terme repose sur l'approche "incertitude".

Note 2 à l'article: La relation entre les indications et les résultats de mesures peut être donnée, en principe, dans un diagramme d'étalonnage.

3.1.2

étalonnage croisé

validation croisée

procédure d'intercomparaison des indications fournies par des appareils redondants (par exemple capteurs de température) pour identifier des capteurs hors tolérance, servant de moyen pour la vérification de l'étalonnage ou de l'identification des modifications d'étalonnage. Un terme plus approprié pour cette définition est la "validation croisée", mais le terme "étalonnage croisé" est le plus généralement utilisé

Note 1 à l'article: L'essai d'étalonnage des capteurs de température dans certaines CNP peut être différent de cette définition, essentiellement parce qu'un ajustage du canal de température pendant l'étalonnage croisé peut être admis dans les limites d'une valeur admissible prédéterminée.

[SOURCE: IEC 62385:2007, 3.6]

3.1.3

dérive

changement de l'indication d'un appareil de mesure, généralement lent, continu, pas nécessairement dans le même sens et non lié à un changement du mesurande

[SOURCE: IEC 60050-311:2001, 311-06-13]

3.1.4

mesurage *in situ*

mesurage des performances (étalonnage ou temps de réponse) d'une SR lorsque celle-ci demeure installée en configuration normale pour le service

3.1.5

tube de protection

matériau tubulaire utilisé pour protéger une ou plusieurs résistances sensibles et l'assemblage de fils internes contre l'impact environnemental

3.1.6

sonde à résistance

SR

détecteur généralement constitué d'un fût cylindrique en acier inoxydable qui protège une résistance en platine dont la résistance varie avec la température. Ce détecteur est placé dans le conduit qui contient 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 à l'article: Des dispositifs de montage ou des têtes de connexion peuvent être inclus. La résistance sensible à la température peut être en platine, en nickel-tungstène, en cuivre ou constituée d'autres métaux. Cependant, des capteurs en platine sont couramment utilisés dans les SR des CNP, c'est pourquoi le présent document fait référence aux thermomètres à résistance en platine.

Note 2 à l'article: Dans le présent document, le terme "capteur" décrit l'unité SR et l'ensemble de ses protections associées, par exemple le fût ou le doigt de gant. Pour la plupart des applications de mesurage de la température des fluides de procédé au sein d'une CNP, le capteur à résistance en platine est installé à l'intérieur d'un doigt de gant en acier inoxydable, lui-même fixé à un tuyau ou à une enceinte par des fils ou des soudures externes. Pour les mesurages de la température de l'air, un capteur direct peut être utilisé.

3.1.7

temps de réponse

temps mis par un composant pour atteindre un état de sortie prescrit à compter du moment où il reçoit un signal lui imposant de prendre cet état de sortie

Note 1 à l'article: Le temps de réponse thermique utilisé dans le présent document correspond au temps exigé pour que la sonde atteigne 63,2 % de la variation totale de la résistance à une variation en échelon de température.

[SOURCE: Glossaire de sûreté de l'AIEA, 2018]

3.1.8

erreur d'autoéchauffement

augmentation de la température indiquée due à la puissance dissipée par le capteur lors du mesurage

3.1.9

indice d'autoéchauffement

coefficient d'autoéchauffement

SHI

exprimé en °C/mW est caractéristique d'une résistance ou d'un thermomètre et il décrit l'accroissement de température de la résistance par unité de puissance dissipée. Ce coefficient est évalué dans des conditions de fonctionnement spécifiées de la résistance ou du thermomètre. Il convient que le milieu, ses conditions de débit et de température soient spécifiés

Note 1 à l'article: L'abréviation "SHI" est dérivée du terme anglais développé correspondant "self-heating index".

[SOURCE: IEC 60751:2008, 3.9]

3.1.10

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

[SOURCE: IEC 62385:2007, 3.19]

3.1.11

tolérance d'une SR

écart de température initial maximal admissible exprimé en °C par rapport aux valeurs nominales de température/résistance dans la SR

[SOURCE: IEC 62765-2:2019, 3.19]

3.2 Abréviations

HELB (High-Energy Line Break)	Rupture d'une tuyauterie vapeur principale
EIT-90	L'échelle internationale de température de 1990 (Les unités de température utilisées dans le présent document sont exprimées en fonction de l'échelle internationale de température de 1990)
REBC	Réponse à un échelon par boucle de courant
APRP	Accident de perte de réfrigérant primaire
EM&E	Équipement de mesure et d'essai
CNP	Centrale nucléaire de puissance
TRP	Thermomètre à résistance en platine
SR	Sonde à résistance
SHI (Self-Heating Index)	Indice d'autoéchauffement d'une SR
AQ	Assurance qualité

4 Exigences de conception et de construction

4.1 Généralités

Selon le procédé de fabrication, les qualifications et les applications, la construction interne des SR peut être différente. Pour les SR utilisées dans les CNP, il convient de définir la conception et la structure des SR en prenant en compte les conditions d'environnement dans lesquelles la sonde est utilisée en conditions d'exploitation normale et en conditions accidentelles de dimensionnement, et également de prendre en compte les conditions spécifiques d'extension du dimensionnement ainsi que les essais de qualification spécifiés par l'utilisateur¹.

La SR doit remplir ou dépasser les exigences spécifiées dans le présent document.

4.2 Fiabilité

La philosophie de conception des SR employées dans les CNP exige un dispositif capable de fonctionner correctement de façon continue dans les conditions de service assignées pendant sa durée de vie de conception spécifiée. La fiabilité exigée de la SR doit être déterminée à partir de la fiabilité globale spécifiée pour la fonction de mesurage de la température.

Il convient de définir les durées de vie de conception des SR qui sont intégrées à un système de sûreté. Les caractéristiques d'une SR qui sont nécessaires pour remplir des fonctions de sûreté doivent être assurées pendant toute la durée de vie de l'équipement, sauf pour les pièces dont la durée de vie de conception est courte et qui peuvent être remplacées périodiquement. Il convient d'assurer le maintien de ces caractéristiques par le biais de stratégies de maintenance et d'essai adéquates. Des dispositions doivent être prises afin de permettre le remplacement ou la réévaluation de la SR avant que celle-ci atteigne sa durée de vie de conception.

4.3 Matériaux

4.3.1 Généralités

A l'exception des pièces dont la durée de vie de conception est inférieure, tous les matériaux constitutifs de la SR doivent conserver leurs caractéristiques, attributs et paramètres de conception exigés pendant la durée de vie exigée de la SR.

4.3.2 Dose de rayonnement relative aux matériaux

La dose de rayonnement intégrée totale doit être déterminée à partir des conditions d'environnement hypothétiques en exploitation normale et des accidents hypothétiques.

En cas de rayonnements neutroniques à l'emplacement de la SR, la fluence des neutrons doit être prise en compte lors du choix de la conception et des matériaux de la SR. Les modifications des matériaux par activation ou les dégradations causées par les neutrons rapides ne doivent pas compromettre la fonction de sûreté de l'équipement. Certains appareils peuvent être exposés à des rayonnements bêta lors d'un accident grave. Les rayonnements bêta et gamma engendrent différents types de dommages.

¹ L'utilisateur est la partie ou la société qui utilise la SR dans une CNP pour mesurer la température dans un système lié ou non à la sûreté. Le terme "utilisateur" peut également désigner l'acheteur ou l'exploitant qui utilise la SR.

4.3.3 Matériaux constitutifs de l'élément de résistance

Outre leur conformité aux caractéristiques de température exigées (y compris l'exactitude, la répétabilité, le temps de réponse et la fiabilité), les matériaux constitutifs de l'élément de résistance doivent être choisis de manière à satisfaire aux exigences suivantes en ce qui concerne leurs propriétés:

- haute résistance à la corrosion et aux attaques chimiques;
- haute résistance aux dommages causés par les rayonnements;
- tenue et stabilité mécanique adéquates sur l'ensemble de la plage de températures et de la durée de vie de conception exigées.

Compte tenu de ses propriétés remarquables, l'élément de résistance peut être en platine. D'autres matériaux peuvent être utilisés si ces exigences sont respectées.

Le fil sensible doit être monté de façon à ne subir pratiquement aucune contrainte pour éviter que l'effet de jauge de contrainte n'entraîne des variations de la résistance. En outre, le thermomètre doit être fabriqué avec un élément résistif exempt de contaminants.

4.3.4 Joints et adhésifs

Une SR doit être hermétique. Pour une utilisation en environnement hostile, par exemple exposition à des températures élevées et/ou à des rayonnements, les SR peuvent être conçues sans faire appel à des matériaux organiques. L'étanchéité des raccordements isolants doit être soumise à des essais selon une procédure adéquate et éprouvée.

Tous les ciments, adhésifs ou joints utilisés à l'intérieur de l'appareil doivent être capables de supporter les conditions de service sans détérioration fonctionnelle ni dégazage. Les matériaux non métalliques utilisés pour les joints, la protection extérieure, etc. doivent être résistants à l'humidité et ininflammables. Ces matériaux non métalliques ne doivent pas permettre le développement de champignons et ne doivent pas se détériorer sous l'influence des environnements ambiants spécifiés dans les exigences de performances de la présente norme.

4.4 Connexions

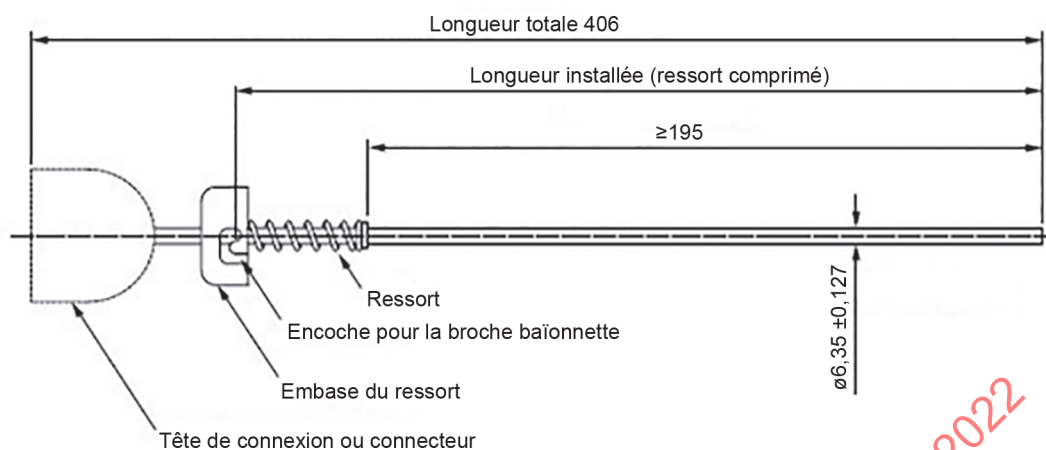
4.4.1 Type structurel

Les extrémités des fils conducteurs des SR doivent être équipées d'un joint hermétique qualifié.

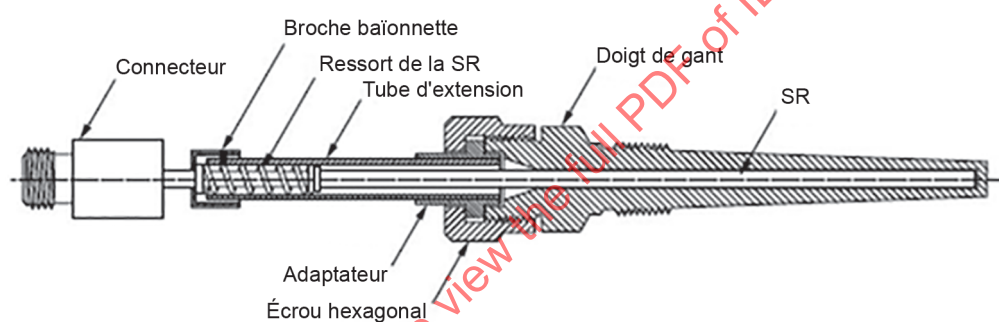
Deux types de connexions électriques sont couramment utilisés dans les CNP. La Figure 1 représente la forme et les dimensions générales d'une SR sans doigt de gant. La Figure 2 représente une SR rigide équipée d'un déconnecteur rapide, désignée sous l'appellation Type I (déconnexion rapide). La Figure 3 et la Figure 4 représentent des SR rigides sans déconnecteurs rapides; elles sont désignées sous l'appellation Type II (SR normale) à insertion longue et à insertion courte, respectivement. L'utilisateur peut spécifier d'autres formes de SR ou introduire des contraintes de construction pour des applications particulières.

Dans le cas d'un thermomètre à résistance avec connecteur, il convient que l'embase du ressort, qui fait partie de la protection antipoussière, recouvre complètement l'extrémité du tube d'extension.

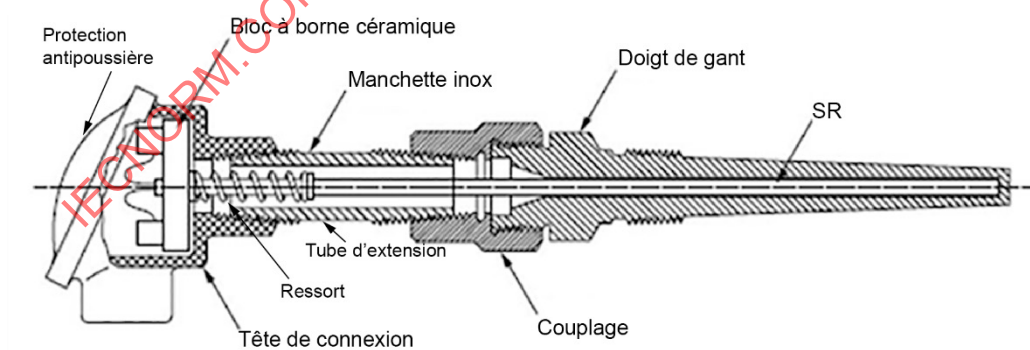
Dimensions en millimètres



IEC

Figure 1 – Forme et dimensions d'une SR

IEC

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

IEC

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

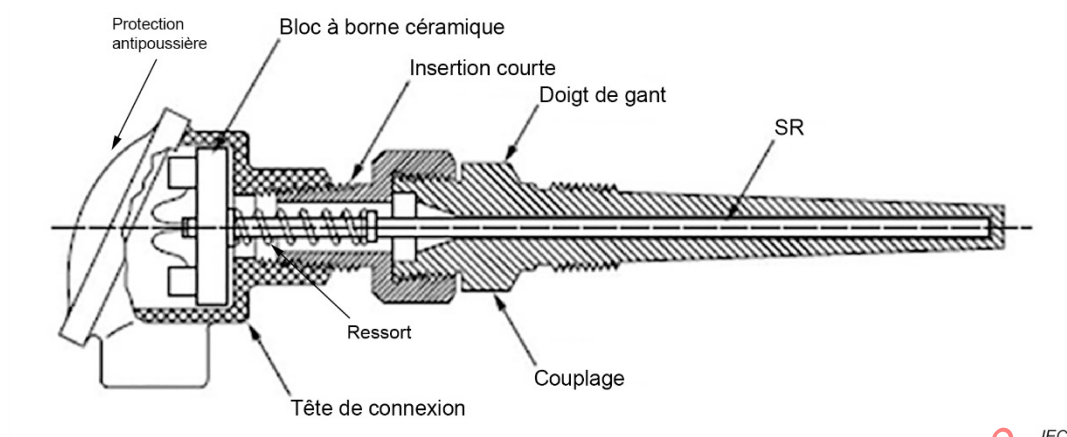


Figure 4 – Installation d'une SR rigide (Type II) à insertion courte

4.4.2 Connexion électrique

4.4.2.1 Généralités

Les connecteurs électriques des thermomètres à résistance doivent satisfaire aux exigences suivantes:

- la configuration des connecteurs électriques peut être à 3 fils ou 4 fils (voir l'IEC 60751 pour plus d'informations);
- les connecteurs électriques des thermomètres à résistance doivent avoir une étanchéité qualifiée;
- l'assemblage connecteur doit empêcher l'humidité de s'infiltrer, ce qui peut entraîner des courants de fuite et de ce fait dégrader le signal et fausser les indications de température. L'assemblage connecteur de câble doit également procurer la protection mécanique des connexions en empêchant les contraintes mécaniques de compromettre le circuit sous l'influence des infiltrations d'humidité ou d'occasionner une perte totale des connexions;
- la continuité des circuits électriques doit être maintenue en conditions d'exploitation normale et en conditions accidentelles.

4.4.2.2 Type de connexion

Deux types de connecteurs électriques sont couramment utilisés dans les thermomètres à résistance des centrales nucléaires de puissance:

Type I (déconnexion rapide, Figure 2)

La connexion électrique est réalisée au moyen de connecteurs multibroches. Le connecteur doit supporter les projections d'eau et être étanche à l'eau lorsque celui-ci est appairé. Il doit également satisfaire aux exigences relatives à la résistance d'isolement spécifiées en 4.7.7. La résistance de contact entre chaque broche du connecteur appairé doit être aussi faible que possible, et ne doit pas compromettre l'exactitude exigée du capteur complet (capteur et interface de connexion/connecteur). Lorsque les applications nécessitent une grande exactitude, l'utilisateur peut envisager d'utiliser un placage à l'or ou à l'argent pour les broches et prises du connecteur.

La température assignée du connecteur doit être conforme aux exigences de la centrale nucléaire de puissance à l'emplacement d'installation prévu. Pour un environnement hostile, il convient de prendre en compte une limite inférieure de 150 °C, ou la température accidentelle spécifiée par l'utilisateur. Sauf spécification contraire, le fabricant² doit fournir avec la SR le demi-connecteur appairé.

² Le fabricant est la partie ou l'entreprise qui fabrique la SR. Le terme "fabricant" peut aussi désigner le fournisseur ou le vendeur de la SR.

L'adaptateur et le tube d'extension doivent être fournis par le fabricant.

Les joints couramment suggérés pour le connecteur sont le verre/métal ou le céramique/métal. Le taux de fuite du connecteur doit être conforme aux exigences de la centrale nucléaire de puissance à l'emplacement d'installation prévu. Il convient que le taux de fuite soit suffisamment faible lorsqu'il est soumis à un essai à l'hélium à une pression différentielle atmosphérique.

Type II (SR normale, Figure 3 et Figure 4)

La connexion électrique est réalisée dans un boîtier métallique (tête de connexion) au moyen de bornes à vis. Le boîtier doit être étanche à l'eau et à la poussière lorsqu'il est fermé et doit permettre de retirer facilement la SR lorsqu'il est ouvert. Sauf spécification contraire de l'utilisateur, il convient de relier le couvercle amovible au corps à l'aide d'une chaîne résistante à la corrosion. La manchette et l'extension peuvent être spécifiées en fonction de l'application, ou être recommandées par le fabricant du capteur de température.

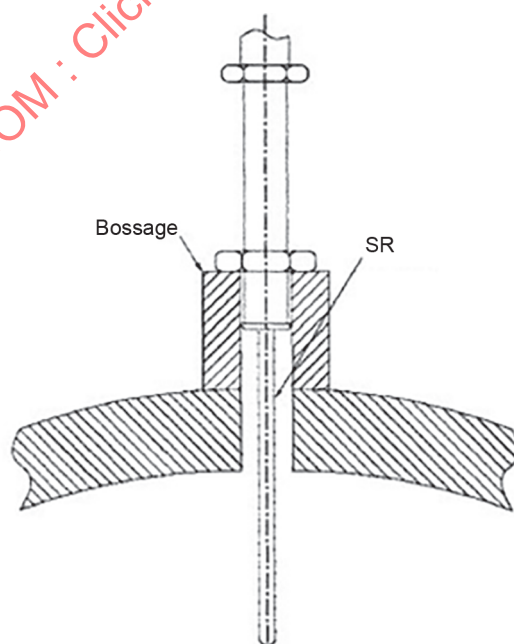
4.4.2.3 Fils conducteurs

La SR doit être utilisée comme un appareil à trois fils ou à quatre fils selon les exigences de conception et de performances. Les fils internes de la SR doivent en permanence être soutenus par un matériau isolant de telle façon que la SR constituée résiste aux vibrations, températures et rayonnements. Le matériau des fils conducteurs doit être choisi de manière à réduire le plus possible la résistance des fils.

4.4.3 Connexion mécanique

4.4.3.1 Type de connexion

Deux types de connexions mécaniques sont couramment utilisés pour les SR des CNP. Pour le Type A, la SR peut être connectée directement au bossage de la manière représentée à la Figure 5. Pour le Type B, la SR est connectée au bossage du tube à travers le doigt de gant de la manière représentée à Figure 6.



IEC

Figure 5 – Connexion d'une SR de Type A

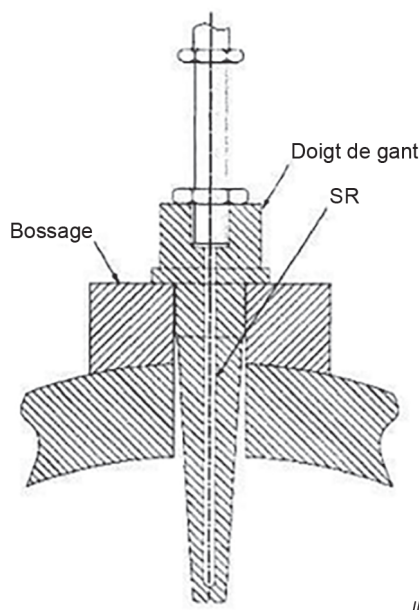


Figure 6 – Connexion d'une SR de Type B

L'utilisateur doit s'assurer que la SR est compatible avec la conception du doigt de gant, de la tête de connexion, du tube guide d'extension et des raccords d'extrémité.

NOTE Le tube guide n'est pas couvert par le présent document.

Le concepteur doit calculer la force du ressort nécessaire pour assurer un contact mécanique acceptable entre la SR et le doigt de gant. Une force de ressort de l'ordre de 1 100 kN/m² est recommandée selon les pratiques antérieures.

Si des dispositifs de fixation, tels que des vis, broches, boulons ou dispositifs analogues, sont utilisés, ceux-ci doivent être mis en œuvre de manière à éviter des pertes d'étanchéité. Ces éléments, lors de leur démontage ou de leur réglage, ne doivent pas être dessertis, martelés, empilés, voire déformés de manière permanente.

4.4.3.2 Méthodes d'essais non destructifs

Après le soudage, toutes les soudures doivent être soumises à des essais non destructifs. Toutes les soudures doivent être soumises à l'un des examens suivants:

a) Examen par rayons X

Il convient de considérer comme un motif de rejet tout signe de dommage des composants sous les soudures, ainsi que toute observation de bulles, craquelures, retraits, ou de fusion incomplète de la soudure.

b) Examen par ressuage

Le fabricant et l'utilisateur doivent fixer par accord la procédure d'examen par ressuage, ainsi que les matériaux de ressuage employés. Le personnel impliqué dans les examens par ressuage doit avoir fait l'objet d'une qualification documentée, normalisée par un organisme réglementaire reconnu.

L'emploi de produits de ressuage halogénés ou de produits de ressuage qui contiennent des matériaux halogénés n'est pas recommandé. En outre, tous les consommables destinés aux examens par ressuage (tels que les révélateurs et les produits de nettoyage) doivent avoir une teneur réduite en halogène et en soufre quelle que soit leur utilisation finale et conformément aux exigences de l'utilisateur.

4.5 Qualité de fabrication

La qualité de fabrication d'une SR doit être conforme aux bonnes pratiques d'ingénierie et de fabrication en vigueur dans le secteur nucléaire. Il convient qu'une SR et son assemblage atteignent un haut degré d'excellence afin d'assurer un fonctionnement et une durée de vie satisfaisants conformément aux dispositions établies dans le présent document.

La qualité d'assemblage du thermomètre à résistance doit satisfaire aux exigences suivantes:

- a) toutes les pièces sont assemblées correctement, de manière fiable et sans défauts;
- b) aucun court-circuit ni circuit ouvert n'ont été observés.

Le fabricant doit s'assurer que les exigences du présent document sont remplies et que l'ensemble des essais et examens du présent document ont été effectués.

Outre l'exigence susmentionnée, le fabricant doit effectuer les analyses, examens, essais et autres travaux jugés nécessaires pour s'assurer que les thermomètres à résistance peuvent satisfaire aux exigences du présent document.

4.6 Conditions ambiantes (exploitation normale et conditions accidentelles) et qualification

Il convient de définir les conditions d'exploitation types d'une centrale nucléaire de puissance en tenant compte des aspects suivants, ainsi que des paramètres spécifiques qui dépendent de l'environnement dans lequel est utilisée la SR:

- a) température maximale;
- b) durée de vie de conception de la centrale;
- c) exposition aux rayonnements:
 - débit (exploitation normale);
 - débit (condition accidentelle);
 - dose intégrée totale;
- d) environnement eau/vapeur en exploitation normale et en conditions accidentelles:
 - température;
 - humidité;
 - contaminants;
 - vapeur saturée.

Selon l'application de la SR étudiée et la conception du réacteur, l'utilisateur peut spécifier des conditions différentes de celles répertoriées ci-dessus.

4.7 Performances des SR

4.7.1 Généralités

Les critères d'acceptation des performances d'une SR sont indiqués dans le présent paragraphe et les essais de performances correspondants sont décrits en 5.4.

Les performances principales d'une SR se caractérisent par son exactitude et son temps de réponse. Il convient d'établir les performances de la SR en s'appuyant sur des méthodes d'étalonnage formelles, répétables et traçables dans des conditions de laboratoire. L'exactitude de la SR doit être établie par étalonnage à l'aide d'un étalon connu.

Le temps de réponse peut être mesuré selon la méthode de l'essai d'immersion. Après installation dans une centrale, le temps de réponse de la SR n'est pas le même que celui mesuré lors de l'essai d'immersion en laboratoire; il varie sous l'influence du débit et de la température du procédé et de la pression extérieure plus faible. Par conséquent, si une centrale doit mesurer le temps de réponse de la SR, l'essai de mesure du temps de réponse doit être effectué *in situ* à l'aide d'une méthode approuvée, comme l'essai de réponse à un échelon par boucle de courant (REBC). Autrement dit, le mesurage du temps de réponse doit être réalisé lorsque la SR est installée dans son doigt de gant sur site, et lorsque la centrale fonctionne à la température, à la pression et au débit normaux ou dans des conditions proches de celles-ci.

Chaque SR doit satisfaire aux exigences de performances définies dans le présent paragraphe. La configuration de l'équipement lors des essais doit correspondre à la configuration installée sur le site.

4.7.2 Exactitude

En conditions d'exploitation normale et en conditions accidentelles, l'erreur imputée au mesurage de la SR doit être limitée à 0,25 °C (pour les températures comprises entre 0 °C et 100 °C) ou à 0,25 % (pour les températures supérieures à 100 °C) de la température mesurée. Cette erreur comprend les contributions relatives à l'étalonnage résistance-température, à l'autoéchauffement, à la dérive et à la conduction vapeur, mais n'intègre pas les contributions relatives aux extensions de câblage de terrain ni aux ponts ou transmetteurs de mesurage de température. La dérive maximale ne doit pas être supérieure à 0,2 % de la valeur pleine échelle par an.

Selon l'application de la SR étudiée et la conception du réacteur, l'utilisateur peut spécifier des exigences d'exactitude différentes des valeurs répertoriées ci-dessus, si la valeur est justifiée sur le plan technique.

4.7.3 Etalonnage résistance-température

L'évolution de la résistivité en fonction de la température du platine suit une relation explicite qui peut être exprimée à l'aide d'une formule mathématique simple. Pour un thermomètre à résistance en platine, la résistance à une température donnée peut être représentée par la formule de Callendar suivante.

$$R_t = R_0[1 + At + Bt^2 + C(t - 100 \text{ °C}) t^3]$$

Pour la plage de 0 °C à 850 °C:

$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2)$$

où

R_t est la résistance du thermomètre à la température t ;

R_0 est la résistance du thermomètre à 0 °C;

A, B, C sont des constantes qui dépendent des caractéristiques du fil de platine; (les constantes A, B et C peuvent être définies comme $A = \alpha (1 + \delta/100)$; $B = -\alpha\delta/10^4$; $C = -4,183 \times 10^{-12} \text{ °C}^{-4}$);

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

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

(Il convient que les constantes alpha et delta soient fournies par le fabricant ou qu'elles soient définies par l'utilisateur.)

Il convient que la pureté du fil de platine et le respect du critère relatif à l'absence de contraintes dans la construction de l'élément de la SR donnent pour la constante alpha une valeur supérieure ou égale à $0,00385 \Omega/(\Omega \text{ } ^\circ\text{C})$. La résistance nominale de l'élément de la SR à $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ peut être de 100Ω ou de 200Ω , cette valeur pouvant être définie par le fabricant; il convient que l'utilisateur soit en mesure de choisir une SR spécifique en fonction des conditions particulières de son application dans la CNP et de sa résistance nominale. Une table de référence de la relation résistance-température, qui couvre la plage comprise entre la température de fonctionnement la plus basse et la température de fonctionnement la plus élevée pour les CNP par intervalles de $1 \text{ } ^\circ\text{C}$, doit être fournie.

La résistance doit être mesurée au niveau de la tête de connexion. Les tolérances de fabrication de la SR peuvent faire référence au 5.2.3.1 de l'IEC 60751:2022. Il convient d'étalonner chaque SR avant l'installation dans la centrale afin qu'elles remplissent les exigences d'exactitude du 4.7.2.

Pour certaines applications, et lorsque cela est spécifiquement exigé dans les spécifications de l'application, une table d'étalonnage spécifique de la relation résistance-température doit être fournie. Celle-ci doit être établie conformément à la procédure décrite dans la procédure d'étalonnage (voir 5.4.2). Une table d'étalonnage doit être fournie pour chaque type d'élément de résistance.

4.7.4 Erreur d'autoéchauffement

L'erreur d'autoéchauffement est définie comme l'augmentation de la température indiquée due à la puissance dissipée par le capteur. Il convient d'appliquer le principe de la méthode d'essai suivante pour évaluer l'erreur d'autoéchauffement.

Lorsque l'essai d'autoéchauffement est effectué sur les thermomètres à résistance, il convient que le capteur soit capable de dissiper 10 mW sans entraîner une augmentation de la température indiquée de plus de $0,2 \text{ } ^\circ\text{C}$, ce qui correspond à un Indice d'autoéchauffement (SHI) de $0,02 \text{ } ^\circ\text{C/mW}$. Pour un élément en platine de la SR de 200Ω dont le coefficient de température est de $\sim 0,0039 (\Omega/^\circ\text{C})$, l'indice SHI correspond à $15,6 \Omega/\text{W}$. Pour un élément en platine de la SR de 100Ω , cette valeur est de $7,8 \Omega/\text{W}$.

Voir le 5.4.3 pour les exigences d'essai complètes.

4.7.5 Temps de réponse thermique

Pour les applications dans une CNP, les exigences de temps de réponse dépendent des fonctions à réaliser. Généralement, deux types de SR sont utilisés: les SR à temps de réponse court et les SR à temps de réponse normal.

La procédure d'essai et les exigences doivent être définies conformément aux besoins fonctionnels (voir 5.4.4 et 5.4.5 pour plus d'informations).

Sauf spécification contraire, le temps pour atteindre $63,2 \%$ de la variation en échelon de température ne doit pas dépasser les exigences indiquées dans la spécification technique de la centrale, qui sont généralement d'environ 4 s pour les SR à temps de réponse court montées dans un doigt de gant. Dans le cas des SR à temps de réponse normal, les exigences ne sont généralement pas aussi rigoureuses.

Pour obtenir le temps de réponse en laboratoire d'une SR, l'utilisateur peut utiliser la méthode d'essai d'immersion (voir 5.4.4 pour plus d'informations).

Pour déterminer le temps de réponse *in situ* d'une SR, l'utilisateur peut exiger de soumettre le temps de réponse *in situ* à un essai selon la méthode de réponse à un échelon par boucle de courant (REBC). La méthode REBC peut être utilisée pour vérifier que la SR est correctement installée dans le doigt de gant, mesurer le temps de réponse de la SR en conditions d'attente à chaud sous-critiques et mesurer le temps de réponse *in situ* de la SR en conditions d'exploitation normale (voir 5.4.12 pour plus d'informations).

4.7.6 Interchangeabilité

Les capteurs fabriqués selon les mêmes spécifications doivent être interchangeables avec d'autres capteurs du même type, en tenant compte des tolérances indiquées pour l'étalonnage résistance-température (voir 4.7.8).

4.7.7 Résistance d'isolement électrique

Il convient que la SR remplisse les critères d'acceptation de l'essai de résistance d'isolement électrique en conditions atmosphériques sèches spécifiés ci-dessous:

- a) il convient que la résistance d'isolement électrique de l'élément de sonde ne soit pas inférieure à 100 MΩ à la température ambiante;
- b) il convient que la résistance d'isolement électrique de l'élément de sonde soit d'au moins 10 MΩ à une température supérieure ou égale à 200 °C.

Pour les besoins des essais de qualification spécifiés en 5.6, la résistance d'isolement doit être surveillée de façon continue pendant le refroidissement de l'élément, lorsque celui-ci passe de la température de fonctionnement la plus élevée à la température ambiante. Toute chute de la résistance d'isolement au-dessous des limites fixées doit entraîner la disqualification de celle-ci.

Chaque SR fabriquée doit être stockée en intérieur dans un environnement contrôlé.

Selon l'application de la SR étudiée, l'utilisateur doit spécifier les critères d'acceptation de la résistance d'isolement électrique pour chaque phase de la séquence d'essais de qualification de l'équipement.

4.7.8 Répétabilité (chocs thermiques)

Après l'essai de répétabilité, la résistance d'isolement du capteur doit être vérifiée et ce dernier doit être étalonné à 0 °C et à 100 °C. Il convient que la résistance d'isolement soit d'au moins 100 MΩ, et il convient que les chocs thermiques ne fassent pas varier l'étalonnage résistance-température de plus de 0,1 °C à 0 °C ou 0,15 °C à 100 °C.

Voir le 5.4.6 pour les exigences d'essai complètes. Selon l'application de la SR étudiée, l'utilisateur peut également spécifier les exigences, la méthode d'essai (températures) et les critères d'acceptation de l'essai de répétabilité.

4.7.9 Vibrations

Après l'essai de vibrations, il convient que la SR remplisse les critères d'acceptation suivants:

- a) aucun court-circuit ni circuit ouvert n'ont été observés;
- b) l'étalonnage à 0 °C n'a pas varié de plus de 0,1 °C;
- c) l'étalonnage à 100 °C n'a pas varié de plus de 0,15 °C;
- d) le capteur satisfait aux exigences de résistance d'isolement électrique (voir 4.7.7).

Voir le 5.4.7 pour les exigences d'essai complètes. Selon l'application et les besoins fonctionnels, l'utilisateur peut également spécifier l'essai, ainsi que les exigences et les critères d'acceptation associés.

4.7.10 Essai vapeur

Les SR utilisées en environnement vapeur doivent être soumises à un essai vapeur. Après l'essai vapeur, il convient que la SR remplisse les critères d'acceptation suivants:

- a) il convient que la résistance d'isolement des thermomètres à résistance soit supérieure à 100 MΩ;
- b) il convient que chaque capteur soit étalonné à 0 °C et soit conforme aux exigences du 5.4.2.

Voir le 5.4.8 pour les exigences d'essai complètes.

4.7.11 Cyclage thermique

Après l'essai de cyclage thermique, il convient que la SR remplisse les critères d'acceptation suivants:

- a) il convient que l'erreur absolue sur la température convertie par la résistance mesurée à 0 °C et à 100 °C ne soit pas supérieure à 0,1 °C;
- b) il convient que la résistance d'isolement des thermomètres à résistance soit supérieure à 10 MΩ lorsque la température est inférieure ou égale à 200 °C en conditions atmosphériques sèches.

Voir le 5.4.9 pour les exigences d'essai complètes. Selon l'application et les besoins fonctionnels, l'utilisateur peut également spécifier l'essai, ainsi que les exigences et les critères d'acceptation associés.

4.7.12 Essai de tenue diélectrique

La SR doit résister à une surtension en courant continu/alternatif appliquée entre les fils de la SR et le boîtier.

Voir le 5.4.10 pour les exigences d'essai complètes.

4.7.13 Essai hydraulique

Pendant ou après l'essai hydraulique, il convient que la SR remplisse les critères d'acceptation suivants:

- a) il convient de n'observer aucune fuite du thermomètre (sans doigt de gant) ou du doigt de gant lors de l'essai hydraulique;
- b) après l'essai hydraulique, il convient que la résistance d'isolement des thermomètres soit supérieure à 100 MΩ en conditions atmosphériques sèches, et il convient que l'erreur absolue sur la température convertie par la résistance mesurée à 0 °C et à 100 °C ne soit pas supérieure à 0,1 °C.

Voir le 5.4.11 pour les exigences d'essai complètes.

4.7.14 Essai du temps de réponse *in situ*

Le temps de réponse d'une SR dépend des conditions d'installation et du procédé. Par conséquent, les spécifications de temps de réponse du fabricant qui reposent normalement sur des essais d'immersion en laboratoire ne sont pas identiques au temps de réponse de la SR obtenu après installation dans la centrale. Cela s'applique particulièrement aux SR qui sont montées dans un doigt de gant. Si une SR est soumise à l'essai en laboratoire dans un doigt de gant d'essai, mais que celle-ci est montée dans un doigt de gant différent dans la centrale, son temps de réponse peut être complètement différent. Le temps de réponse de la SR est modifié par le jeu entre la SR et le doigt de gant, le débit, la température et la pression du procédé. Par conséquent, le temps de réponse *in situ* des SR ne peut être déterminé que par des essais *in situ* avec la SR installée dans son doigt de gant sur site et lorsque la centrale est dans des conditions d'exploitation normale ou dans des conditions proches de celles-ci.

Voir le 5.4.12 pour les exigences d'essai complètes. L'Annexe A décrit trois méthodes pour l'essai du temps de réponse *in situ*.

4.8 Identification

Il convient d'identifier chaque appareil à l'aide des informations suivantes:

- identité ou nom du fabricant;
- modèle et/ou numéro de série du fabricant;

- numéro(s) d'identification de l'utilisateur;
- nombre de résistances;
- configuration des fils de connexion;
- classe de tolérance;
- plage de températures de validité.

L'étiquetage doit être conforme aux spécifications fournies par la centrale nucléaire de puissance. L'électrogravure peut être une méthode appropriée pour l'étiquetage de l'appareil.

4.9 Analyse des modes de défaillance et de leurs effets

Chaque composant de la SR peut subir une défaillance selon plusieurs façons, appelées modes de défaillance potentiels.

Le fabricant et l'utilisateur doivent identifier et évaluer l'ensemble des modes de défaillance significatifs, ainsi que leurs effets sur la SR et son fonctionnement.

L'évaluation et l'analyse doivent porter sur les aspects suivants:

- les causes de défaillance les plus probables;
- les caractéristiques de conception prévues pour empêcher une défaillance;
- les caractéristiques prévues pour limiter les conséquences d'une défaillance;
- comment détecter une dégradation avant la défaillance;
- comment détecter qu'une défaillance est survenue.

5 Examen et essais

5.1 Généralités

Des essais doivent être effectués afin de démontrer la conformité des SR aux exigences du présent document.

Chaque SR fabriquée doit être soumise à un essai de série de production conformément au 5.5.

Les essais de qualification (essais de type) doivent être réalisés sur des échantillons qui correspondent à chaque conception particulière et à chaque gamme de SR. Le domaine d'application des essais de qualification (essais de type) est spécifié en 5.6.

En plus des essais de qualification répertoriés en 5.6, l'utilisateur peut spécifier des essais de qualification d'environnement et/ou des essais de qualification sismique supplémentaires pour les SR destinées à être utilisées dans des conditions d'environnement hostiles, en conditions d'exploitation normale ou en conditions accidentelles de la centrale. L'utilisateur et le fabricant doivent effectuer une revue de la séquence et du contenu de chaque essai. L'objectif des essais de qualification est de démontrer que la SR assure sa fonction de sûreté en conditions d'exploitation normale et en conditions accidentelles de la centrale.

Le fabricant doit effectuer l'ensemble des essais individuels de série ainsi que l'ensemble des examens nécessaires pour s'assurer que les matériaux, la qualité de fabrication et le fonctionnement respectent le degré d'excellence exigé par le présent document et également démontrer que l'équipement fourni est étalonné et fonctionne conformément aux exigences spécifiées dans le présent document.

Toutes les procédures d'examen et d'essai, les appareils d'étalonnage et les certificats des appareils d'étalonnage doivent être soumis à l'accord de l'utilisateur avant le début de la fabrication.

5.2 Défaillance lors de l'examen et de l'essai

En cas de défaillance d'une unité ou de l'un de ses composants, il convient que l'utilisateur et/ou le fabricant procèdent à une analyse des modes de défaillance ou à une analyse des causes premières afin de satisfaire aux exigences d'examen et d'essai spécifiées dans le présent document.

5.3 Rapports d'examen et d'essai

Les rapports d'examen et d'essai, y compris les rapports de production et de qualification, doivent être conservés pendant la durée de vie de la centrale ou pendant la durée d'exploitation de la sonde (SR), selon le cas.

5.4 Méthode d'essai

5.4.1 Examen de l'assemblage et de l'aspect

Il convient de vérifier la structure générale, l'aspect et l'assemblage de la SR et du doigt de gant avant d'engager l'essai. L'examen de l'assemblage et de l'aspect doit comprendre les éléments suivants:

- a) vérifier la qualité d'assemblage du thermomètre à résistance par un examen visuel;
- b) vérifier la conformité des connexions électriques et mécaniques;
- c) vérifier les dimensions du thermomètre à résistance et du doigt de gant, qui doivent être conformes aux plans de conception;
- d) une méthode d'examen visuel peut être utilisée afin d'effectuer un contrôle qualitatif de l'aspect du thermomètre à résistance. Il convient de n'observer aucune indentation ni égratignure ou autres défauts d'aspect;
- e) vérifier l'identification du thermomètre à résistance, qui doit comporter les informations exigées par le présent document;
- f) vérifier le thermomètre à résistance à l'aide d'un multimètre étalonné ou d'un autre instrument approprié. Il convient de n'observer aucun court-circuit ni circuit ouvert;
- g) vérifier la rectitude axiale de la SR. Il convient qu'il n'y ait pas de courbure sur sa longueur, ce qui peut compromettre son installation dans un doigt de gant. Pour ce faire, un examen visuel ou un mesurage du rayon de courbure (qui doit être égal à zéro) peut être effectué.

5.4.2 Procédure d'étalonnage

Au minimum, l'étalonnage doit être effectué aux températures suivantes:

- a) A 0 °C

Le thermomètre à résistance normale et le thermomètre à résistance étalonné doivent être immergés dans un bain de glace bien agité, maintenu à une température de $0\text{ °C} \pm 0,02\text{ °C}$. Enregistrer la valeur de la résistance lorsque la lecture est stable, puis calculer l'erreur du thermomètre à résistance étalonné à 0 °C. Il convient que la précision de la valeur de la résistance soit limitée à $\pm 0,015\%$.

- b) A 100 °C et à la température de fonctionnement spécifiée par l'utilisateur

Le capteur doit être immergé dans un bain d'huile de silicone, ou d'un autre fluide approprié, recommandé par une autre norme, qui est directement traçable par rapport à une température normalisée approuvée. Enregistrer la valeur de la résistance lorsque la lecture est stable, puis calculer l'erreur du thermomètre à résistance étalonné à 100 °C, ainsi qu'à la température de fonctionnement la plus élevée ou à la température spécifiée par l'utilisateur. Le capteur doit être suffisamment immergé pour que l'erreur de conduction du corps ne soit pas significative.

La température du bain doit être à 1 °C près celle souhaitée pour l'étalonnage lorsque la lecture de la résistance est effectuée.

La stabilité de la température du bain ainsi que l'incertitude associée doivent être établies, et l'effet lié à l'hétérogénéité ou à la stabilité de la température résiduelle du bain doit être pris en compte pour calculer l'exactitude globale du processus d'étalonnage de la SR.

5.4.3 Essai d'autoéchauffement

La méthode d'essai peut faire référence à l'IEC 60751.

Mesurer la valeur de la résistance stabilisée de la SR. Ce processus peut être répété avec plusieurs puissances de dissipation afin d'obtenir des valeurs des résistances stabilisées supplémentaires de la SR et de pouvoir les comparer à la puissance de dissipation. Cette courbe est appelée courbe d'autoéchauffement; il convient normalement que celle-ci soit une ligne droite. Une ligne droite peut être ajustée sur la courbe d'autoéchauffement; la pente de cette ligne est alors calculée et représente l'indice d'autoéchauffement (SHI) de la SR, qui est exprimé en unités de °C par mW.

L'indice d'autoéchauffement est une indication de la performance dynamique de la SR et peut être associé au résultat d'essai REBC afin d'évaluer la dégradation du temps de réponse. L'indice d'autoéchauffement n'est pas directement lié au temps de réponse de la SR, même si l'indice SHI d'une SR augmente et diminue à mesure que le temps de réponse *in situ* augmente et diminue.

5.4.4 Temps de réponse thermique

Pour déterminer le temps de réponse, une condition d'essai type consiste à immerger rapidement le détecteur à $20\text{ °C} \pm 2,5\text{ °C}$ dans un bain d'eau qui circule à $1\text{ m/s} \pm 0,15\text{ m/s}$ et à $75\text{ °C} \pm 2,5\text{ °C}$. La mesure du thermomètre à résistance doit atteindre sa valeur finale dans un délai inférieur à 1/10 du temps de réponse. Pendant l'essai, la partie sensible du thermomètre à résistance mesuré doit être située au centre du canal d'écoulement pour l'essai. L'axe longitudinal du thermomètre doit être situé dans le plan perpendiculaire au sens d'écoulement du fluide. La largeur du canal d'écoulement ne doit pas être inférieure à 10 fois le diamètre du thermomètre à résistance mesuré.

Le temps de réponse enregistré doit être la moyenne d'au moins trois résultats du même essai, et l'écart de chaque résultat par rapport à la valeur moyenne doit être compris dans la plage de $\pm 10\%$.

Si l'utilisateur a spécifié le temps de réponse, l'essai doit être effectué conformément aux exigences de la spécification.

5.4.5 Essai de résistance d'isolement

L'essai doit être réalisé en appliquant une tension continue d'au moins 100 V entre les fils de la SR et le boîtier en conditions atmosphériques sèches. Il convient que la durée de l'essai soit supérieure à 60 s (1 min).

5.4.6 Essai de répétabilité (chocs thermiques)

Le capteur doit être immergé successivement dans des bains à 0 °C , à la température de fonctionnement la plus élevée, puis de nouveau à 0 °C , pendant 25 cycles. Chaque changement de bain doit se faire en moins de 5 s, et le capteur doit rester immergé au minimum 60 s avant chaque changement. Le capteur peut être monté dans le doigt de gant à utiliser pour cet essai, mais celui-ci doit se stabiliser à chaque température pendant une période minimale de 1 min. Après cet essai, la résistance d'isolement du capteur doit être vérifiée, puis le capteur doit être étalonné à 0 °C et à 100 °C .

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

5.4.7 Essai de vibrations

La SR doit remplir les critères d'acceptation de l'essai d'endurance mécanique (vibrations). Les méthodes d'essai doivent être conformes à l'IEC 60068-2-6. Il convient de définir les conditions d'essai (plage de fréquences, durée d'un cycle de balayage, type de balayage de fréquence, niveau de vibrations et durée de l'essai) ainsi que les critères d'acceptation associés en tenant compte des conditions et de l'application des mesurages de température.

Le capteur doit être monté dans une configuration semblable à celle de son installation dans une CNP; en particulier, la tension des ressorts doit être identique à celle de l'installation. Le capteur est alors soumis à des vibrations suivant deux axes et en deux séquences: une perpendiculaire et une autre parallèle à l'axe longitudinal du capteur. Lors de la réalisation des essais de vibrations, l'effet de la structure de support de la SR doit être pris en compte.

Cet essai de vibrations n'est pas destiné à remplacer un essai de qualification sismique qui peut être demandé par l'utilisateur. Si la SR doit faire l'objet d'un mesurage de température pendant ou après un événement sismique, voir l'IEC/IEEE 60980-344.

5.4.8 Essai vapeur

Cet essai doit être effectué sur l'assemblage complet de la SR, par exemple avec le déconnecteur rapide pour une conception de Type I et avec le boîtier métallique pour une conception de Type II.

La SR doit être soumise à cet essai afin de démontrer qu'elle présente une résistance d'isolement satisfaisante, puis est ensuite exposée à de la vapeur saturée à une pression de $101 \text{ kPa} \pm 2,0 \text{ kPa}$ pendant 2 h. A l'issue de l'essai vapeur, la SR doit être retirée de la chambre d'essai et les broches des connecteurs doivent être séchées. En conditions ambiantes normales, la résistance d'isolement (fils contre boîtier) et l'exactitude doivent être mesurées, et un essai d'étalonnage à 0°C doit être effectué.

5.4.9 Cyclage thermique

La plage de températures et le nombre de cycles doivent être fixés par accord dans le cadre de la spécification de l'essai, en tenant compte de l'application particulière et de la durée de vie exigée de la SR.

Une plage de températures type peut être comprise entre la température ambiante et la température de fonctionnement la plus élevée en exploitation normale, et le nombre de cycles peut être égal à 100.

La vitesse du cycle peut être choisie librement; la seule exigence concerne la stabilisation du capteur à chaque température. L'étalonnage à 0°C et à 100°C ainsi que la résistance d'isolement doivent être vérifiés avant et après l'essai.

L'essai de cyclage thermique peut être effectué conformément à l'IEC 60068-2-30 si l'utilisateur l'exige. L'utilisateur doit spécifier le couple des valeurs suivantes: température et nombre de cycles.

5.4.10 Essai de tenue diélectrique

La SR doit être soumise à une tension en courant alternatif ou en courant continu, appliquée entre les fils de la SR et le boîtier, de 100 V en courant alternatif (50 Hz/60 Hz) ou de 140 V en courant continu, pendant une durée de 60 s. Aucun claquage diélectrique ne doit se produire. Le claquage peut être identifié par une forte augmentation du courant en peu de temps ou par un dépassement de la limite de courant de 3 mA.