

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Nuclear power plants –
Instrumentation and control important to safety – Management of ageing of
electrical cabling systems**

**Centrales nucléaires de puissance –
Instrumentation et contrôle-commande importants pour la sûreté – Gestion du
vieillissement des systèmes de câbles électriques**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62465:2010



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2010 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

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

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

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

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

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

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

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

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

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

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

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

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

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

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Nuclear power plants –
Instrumentation and control important to safety – Management of ageing of
electrical cabling systems**

**Centrales nucléaires de puissance –
Instrumentation et contrôle-commande importants pour la sûreté – Gestion du
vieillessement des systèmes de câbles électriques**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX



ICS 27.120.20

ISBN 978-2-88910-915-9

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	8
2 Normative references	8
3 Terms and definitions	8
4 Technical background.....	11
4.1 General.....	11
4.2 Cable types	11
4.3 Reasons for cable ageing management.....	12
4.4 Cable stressors	12
4.5 Cable testing techniques	13
5 Cable testing requirements.....	13
5.1 General.....	13
5.2 Test methods	14
5.3 Application of cable testing requirements	14
5.4 Test interval	14
5.5 Test location	14
5.6 Calibration of cable testing equipment.....	14
5.7 Test results	14
5.8 Validation of test methods	14
5.9 Software and test tool validation.....	15
5.10 Qualification of test personnel.....	15
6 Acceptable means for cable testing.....	15
7 Testing of end devices.....	15
8 Relationship between initial qualification and cable ageing management.....	16
9 Example of a nuclear power plant practice for cable ageing management.....	16
10 Cable testing for long-term operation.....	16
Annex A (informative) Typical components of an electrical cable	17
Annex B (informative) Cable testing techniques	20
Annex C (informative) Description of TDR test.....	22
Annex D (informative) Electrical measurement of NIS cables and detectors	26
Annex E (informative) Example of a nuclear power plant practice for cable ageing management.....	28
Bibliography.....	31
Figure A.1 – Example of cables covered by this International Standard.....	18
Figure C.1 – Principle of TDR test of an open cable.....	22
Figure C.2 – Principle of TDR test of a short cable.....	23
Figure C.3 – Simplified TDR traces for a cable with a passive load	23
Figure C.4 – TDR test setup	24
Figure C.5 – RTD cabling and corresponding TDR signature	25
Figure D.1 – I-V curve.....	27

Figure E.1 – Photo of baskets in which samples of 1E cables are deposited and placed in the plant for periodic removal and testing..... 29

Figure E.2 – Schematic of test interval for mechanical tests..... 30

Table 1 – Examples of stressors with potential to damage cables 13

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62465:2010

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**NUCLEAR POWER PLANTS –
INSTRUMENTATION AND CONTROL IMPORTANT TO SAFETY –
MANAGEMENT OF AGEING OF ELECTRICAL CABLING SYSTEMS**

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.

International Standard IEC 62465 has been prepared by subcommittee 45A: Instrumentation and control of nuclear facilities, of IEC technical committee 45: Nuclear instrumentation.

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

FDIS	Report on voting
45A/795/FDIS	45A/803/RVD

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

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

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

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62465:2010

INTRODUCTION

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

With the majority of nuclear power plants over 20 years old, the management of ageing of instrumentation and associated electrical cabling systems is currently a relevant topic, especially for those plants that have extended their operating licenses or are considering this option. This International Standard is intended to be used by operators of nuclear power plants (utilities), systems evaluators, and by licensors.

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

IEC 62465 is the third level IEC SC 45A document tackling the specific issue of management of ageing of electrical cabling systems in nuclear power plants for Instrumentation and Control (I&C) systems important to safety.

IEC 62342 is the second level chapeau standard of SC 45A covering the domain of the management of ageing of nuclear instrumentation systems used in nuclear power plants to perform functions important to safety. IEC 62342 is the introduction to a series of standards to be developed by IEC SC 45A covering the management of ageing of specific I&C systems or components such as electrical cabling systems (IEC 62465), sensors, and transmitters.

IEC 62465 is to be read in association with IEC 62342 and IEC 62096, which is the appropriate IEC SC 45A Technical Report that provides guidance on the decision for modernization when management of ageing techniques are no longer successful.

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

c) Recommendations and limitations regarding the application of this Standard

It is important to note that this International Standard establishes no additional functional requirements for safety systems. Ageing mechanisms have to be prevented and thus detected by performance measurements. Aspects for which special recommendations have been provided in this International Standard are:

- criteria for evaluation of ageing of electrical cabling systems in nuclear power plants;
- steps to be followed to establish cable testing requirements for an ageing management program for nuclear power plant electrical cabling systems; and
- relationship between on-going qualification analysis and ageing management programs with regards to electrical cabling systems.

It is recognized that testing and monitoring techniques used to evaluate the ageing condition of nuclear power plants' electrical cabling systems are continuing to develop at a rapid pace and that it is not possible for a standard such as IEC 62465 to include references to all modern technologies and techniques. However, a number of techniques have been mentioned within this International Standard and are described in Annexes B, C and D.

To ensure that this International Standard will continue to be relevant in future years, the emphasis has been placed on issues of principle, rather than specific technologies.

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

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

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

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

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

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

IEC 61513 refers to ISO as well as to IAEA 50-C-QA (now replaced by IAEA GS-R-3) for topics related to quality assurance (QA).

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

NUCLEAR POWER PLANTS – INSTRUMENTATION AND CONTROL IMPORTANT TO SAFETY – MANAGEMENT OF AGEING OF ELECTRICAL CABLING SYSTEMS

1 Scope

This International Standard provides strategies, technical requirements, and recommended practices for the management of normal ageing of cabling systems that are important to safety in nuclear power plants. The main requirements are presented in the body of this International Standard followed by a number of informative annexes with examples of cable testing techniques, procedures, and equipment that are available for the nuclear industry to use to ensure that ageing degradation will not impact plant safety.

This International Standard covers cables and their accessories (e.g., connectors) installed in nuclear power plants (inside and outside the containment). It provides requirements to perform cable testing for the purposes of predictive maintenance, troubleshooting, ageing management, and assurance of plant safety. It is concerned with Instrumentation and Control (I&C) cables, signal cables, and power cables of voltages less than 1 kV. More specifically, this International Standard focuses on in-situ testing techniques that have been established for determining problems in cable conductors (i.e., copper wire) and, to a lesser extent, on insulation material (i.e., polymer). It follows the IEC 62342 standard on “Management of Ageing” that was prepared to provide general guidelines for management of ageing of I&C components in nuclear power plants, including cables. It should be pointed out that cable testing technologies are evolving and new methods are becoming available that are not covered in this International Standard. More specifically, this International Standard covers typical cable testing methods that have been in use in the nuclear power industry over the last decade. It should also be pointed out that a single cable testing technique is unlikely to provide conclusive results, and a reliable diagnosis normally requires a combination of techniques.

2 Normative references

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

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

IEC/TR 62096, *Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – Guidance for the decision on modernization*

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

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

IEC/TR 62392, *Suitability of typical electrical insulating material (EIM) for polymer recycling*

3 Terms and definitions

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

3.1**accelerated ageing**

accelerated process designed to simulate an advanced life condition in a short period of time. It is the process of subjecting an equipment or a component to stress conditions in accordance with known measurable physical or chemical laws of degradation in order to render its physical and electrical properties similar to those it would have at an advanced age operating under expected operational conditions.

[IEC 60780]

3.2**ageing assessment**

evaluation of appropriate information for determining the effects of ageing on the current and future ability of systems, structures, and components to function within acceptance criteria in all operating conditions (e.g., in normal conditions and after design basis events)

3.3**ageing management**

engineering, operations, and maintenance actions to control within acceptable limits ageing degradation of structures, systems, or components

[IAEA Safety Glossary, 2007 edition]

3.4**cable deposit (cable depot)**

selection of cable samples placed inside a nuclear power plant for condition monitoring or removal for testing

3.5**cable indenter**

means for testing the indenter modulus of a cable's insulation or jacket material

3.6**cabling system**

system of cables, including the conductor, shielding, splices, insulation material, and the cable accessories (e.g., connectors)

3.7**Design Basis Accident****DBA**

accident conditions against which a facility is designed according to established design criteria, and for which the damage to the fuel and the release of radioactive material are kept within authorized limits

[IAEA Safety Glossary, 2007 edition]

3.8**environmental monitoring**

monitoring of severities of ambient environmental parameters (e.g., temperature and radiation dose)

3.9**environmental stress**

factor influencing at least one ageing mechanism of the cabling system which is not caused by the change of its physical state

3.10

equipment qualification

generation and maintenance of evidence to ensure that equipment will operate on demand, under specified service conditions, to meet system performance requirements

[IAEA Safety Glossary, 2007 edition]

3.11

high-stress area (hot spot)

limited part of cable subject to more severe environmental stress (irradiation, temperature, mechanical constraints). Areas often localized within a nuclear power plant where temperatures and/or radiation dose rates are higher than expected.

3.12

in-situ cable test

testing that is performed without removing the cabling system from its normal installed position in the plant

3.13

Insulation Resistance (IR) measurement

measurement of resistance between a conductor and ground or between any two electrical conductors

3.14

I-V curve

plot of the relationship between Current (I) and Voltage (V) for a neutron detector

3.15

LCR measurement

measurement of Inductance (L), Capacitance (C), and Resistance (R) of a cabling system

3.16

Loop Current Step Response (LCSR) test

method for measurement of response time of temperature sensors and for separating sensor problems from cable problems*

3.17

noise analysis technique

method for in-situ response time testing of sensors, detectors, and transmitters and for on-line detection of blockages, voids, and leaks in pressure sensing lines

[IEC 62385]

NOTE This method is also used to identify ageing degradation in sensors such as neutron detectors and can help separate sensor problems from cable problems.

3.18

Nuclear Instrumentation System

NIS

instrument chain used to measure neutron flux

3.19

qualified life

period for which a structure, system or component has been demonstrated, through testing, analysis or experience, to be capable of functioning within acceptance criteria during specific operating conditions while retaining the ability to perform its safety functions in a design basis accident or earthquake

[IAEA Safety Glossary, 2007 edition]

3.20

Resistance Temperature Detector

RTD

temperature sensor containing a sensing element made of platinum or other metals whose resistance changes with temperature

3.21

test interval

elapsed time between the initiation of identical tests on the same sensor and signal processing device, logic assembly or final actuation device

[IEC 60671]

3.22

Time Domain Reflectometry (TDR) test

method for locating faults along a cable, in the connector, and/or at the end device

4 Technical background

4.1 General

Cabling systems in nuclear power plants can suffer degradation due to ageing and shall require testing to ensure proper plant operation and safety. For example, cables can become dry and embrittled due to ageing and malfunction during plant operation or in accident and post-accident conditions. In a Loss-of-Coolant Accident (LOCA), cables are subjected to hot steam under high pressure and can malfunction if there is any insulation ageing, cracks, or other damage that can allow moisture to enter the cable. The combination of hot steam and high pressure is the dominating reason for possible cable malfunction in a LOCA especially because steam penetrates smaller cracks more easily than water. Ageing of cable insulation materials is covered in IEC 62392.

In addition to problems that can arise from cable insulation damage, there are problems due to cable conductors, connectors, or accessories. These problems can cause measurement errors, erratic signals, spikes, noise, and other anomalies that interfere not only with efficient operation and control of the plant but also with plant safety. This International Standard provides requirements and guidelines to identify these problems.

4.2 Cable types

Cables in nuclear power plants can typically be grouped into the following functional types:

- a) instrumentation and control cables (coaxial, triaxial, twisted pair, shielded),
- b) low voltage power cables (less than 1 kV),
- c) medium voltage power cables (e.g., less than 30 kV),
- d) general services cables (ground cables, communication cables, etc.).

The main focus of this International Standard is on I&C cables although many of the aspects considered here are also applicable to low voltage power cables, as they use similar materials and experience similar degradation mechanisms. For example, the methods described here are used for testing the control rod drive mechanism (CRDM) cables and other similar cables in nuclear power plants.

Instrumentation cables (including thermocouple extension wires) are normally low voltage (typically <1 kV). Typically, they are used for digital or analog transmission of sensor or instrument signals. Resistance temperature detectors, pressure transducers, and some thermocouple extension leads usually are of a shielded and twisted pair configuration (most thermocouple extension wires are made of mineral insulated cables). Radiation detection and neutron monitoring circuits often use coaxial or triaxial shielded configurations. Control cables

for auxiliary components such as control switches, valve operators, relays, and contactors are usually of a low voltage, low current type. They are often made of multi-conductor cables, with shielding for application near high voltage systems. Low voltage power cables (<1 kV) are used to supply power to low voltage auxiliary devices such as motors, motor control centres, heaters, and small transformers. These cables may be single conductor or multi-conductor and are usually unshielded.

Typically, a cable consists of four to eight components. For example, the main components for an I&C or a low voltage power cable are:

- conductor(s),
- electrical insulation or dielectric,
- shielding,
- outer jacket.

In some cables, particularly control and low voltage power cables, there may be a jacketing layer over the insulation on the individual conductors, providing fire retardance. This is usually referred to as a conductor jacket or inner jacket if it is present. In general, the term jacket would normally refer to the outer layer of the cable construction. Other components which may be present in a cable include:

- filler or bedding materials, which occupy the gaps between insulated conductors in multi-conductor (also known as multi-core) cables, to improve mechanical stability of the cable;
- tape wraps, which may provide additional electrical, mechanical or fire protection, or identify conductor groupings;
- armouring layers, which are sometimes used for mechanical protection under the outer jacket layer.

Annex A provides a description of a typical cable and the components that are normally involved in the testing activity covered in this International Standard.

4.3 Reasons for cable ageing management

Cable testing is performed in nuclear power plants for a number of reasons such as troubleshooting, to identify problems such as signal anomalies, to establish baseline measurements as a reference for predictive maintenance, and to evaluate cable ageing.

In recent years, cable ageing management has become more important for two main reasons. Firstly, some plants have obtained licence renewal to operate cables for an extended qualified life. Secondly, the nuclear power industry has recognized that there are limitations in cable qualification testing in the areas of pre-ageing and the use of models such as the Arrhenius law for assessing qualified life.

A challenge in management of ageing of cables and determination of problems is in detection of hot spots along a cable and how to locate the hot spot. Hot spots can occur due to radiation effects, electrical heating effects, ambient heat, and mechanical stress and there is no reliable in-situ technique to locate hot spots along a cable. In particular, cables are often in conduits and means such as visual inspections do not provide effective diagnostics of cable conditions.

4.4 Cable stressors

Ageing and degradation of cables results from long-term exposure to radiation, heat, humidity, vibration, and other environmental stressors that exist in nuclear power plants. These also include lubricants, chemicals, or contaminants that a cable may come into contact with in a plant. Also, there are internal stressors such as ohmic heating from the passage of electric currents in the cable. Both the cable insulation material and the conductor are affected by ageing. Table 1 shows examples of ageing stressors with potential to damage cables. Furthermore, mechanical stressors such as bending, squeezing, vibration, or a combination of

these effects with other environmental stressors (synergism), can alter the ageing characteristics of cables.

4.5 Cable testing techniques

To guard against the adverse consequences of cable ageing and degradation, periodic testing and condition monitoring of cables should be performed in nuclear power plants especially for those cables that are important to safety. For this purpose, numerous techniques have been developed to measure ageing effects in cables and to identify effective cable maintenance techniques. In Annexes B, C, and D of this International Standard, examples of basic testing techniques for cables are described. These and other techniques which can meet the requirements of this International Standard may be used to ensure reliable cable service and protect the safety of nuclear plants against consequences of cable degradation and ageing.

NOTE This International Standard provides methods for assessing cable systems, including connectors and end devices. Methods for assessing ageing degradation of cable insulation are covered in IEC 62392.

Table 1 – Examples of stressors with potential to damage cables

Ageing stressor	Affected component	Consequence
Corrosion/oxidation	Conductor	Increased resistance and self-heating
	Connector	Increased resistance and self-heating
Vibration	Conductor	Increased resistance, reduced strength
	Connector	Reduced strength, reduced connection quality
	Insulation	Formation of cracks, reduced insulation resistance (IR) when subjected to humidity, loss of material
Heat and ionising radiation	Insulation	Changes in mechanical properties, changes in flammability characteristics, loss of additives (plasticisers, anti-oxidants, etc.)
Moisture/water	Insulation and conductor	Acceleration of the effects of radiation and thermal ageing, deterioration of cable material, shorting and shunting effects if moisture enters the cable, reduction of IR, swelling
Lubricants, contaminants	Insulation material and connector	Deterioration of insulation material

5 Cable testing requirements

5.1 General

The control and safety systems of nuclear power plants depend on reliability of cables in operational conditions. Therefore, the performance of cables especially those having safety relevance, shall be verified periodically during the plant life time. This is of particular concern for cables supporting safety functions and cables whose failure could impact qualified equipment and have consequences on plant safety.

This clause gives requirements for in-situ testing to verify that electrical cabling systems provide reliable service and to ensure safety.

5.2 Test methods

Test methods such as those described in the annexes of this International Standard have been developed and used in nuclear power plants. These methods include in-situ test methods which can be used while the plant is operating as well as methods for testing cable samples. Any method for testing of safety-related cables shall be validated according to 5.8 of this International Standard.

5.3 Application of cable testing requirements

This International Standard is applicable to instrumentation cable systems supplying temperature, pressure (including level and flow), and neutron flux data. It is also useful for cable systems supplying power to Control Rod Drive Mechanisms (CRDMs), rod position indicators, motors, heater coils, Solenoid Operated Valves (SOVs), Motor Operated Valves (MOVs), and similar components. Cables used with test sensors such as accelerometers, humidity sensors, and the like may also be tested using the techniques described here.

5.4 Test interval

Test intervals shall be established to detect unacceptable performance. The following factors should be considered in determining the test interval:

- cable age,
- cable type,
- cable material,
- manufacturer's recommendation and other industry standards,
- margin between measured performance characteristics and desired performance,
- rate-of-change of performance characteristics with time,
- cable failure rates and target reliability.

5.5 Test location

Testing should be performed in-situ to the extent possible. Cable removal for testing is not acceptable except for representative cables from cable deposits.

5.6 Calibration of cable testing equipment

Cable testing equipment shall have valid calibration traceable to national standards. Written procedures shall be used to perform the calibration, and the results of the calibration shall be documented.

5.7 Test results

Cable testing results shall be compared to the allowable performance limits if available. If the results are found to exceed the limit, or the rate of change in the performance characteristics is such that the allowable performance limits may be exceeded prior to the next test, action shall be taken to address the problem.

5.8 Validation of test methods

Cable testing methods shall be validated to ensure that cable testing results correlate well to the conditions of the cable. Validation of test methods using laboratory tests require several preliminary phases to ensure that they are representative and reproducible measures of the laboratory tests. This validation shall be documented and should address the following considerations:

- a) Test set-up definition:

- definition of a set of test cases (cable types, defect types, various lengths, junctions, etc.),
 - identification of defects to be diagnosed (a complete list should be written),
 - laboratory characterization of the various cables and other devices (junctions, connectors, loads) with and without defects,
 - characterization of environmental ageing (e.g., radiation and temperature) and its consequences on the test methods.
- b) Comparison of test method with suitable laboratory tests, in-situ tests, or both types of tests to establish the validity of the method.
- c) Theoretical justification for the test method.
- d) The assumptions made and conditions used to ensure that the validity of the test method has been established.

5.9 Software and test tool validation

Any software used for data acquisition, data qualification, or data analysis for cable testing shall be designed and developed using a systematic approach according to accepted industry standards for software development for nuclear power plants. All software packages shall go through comprehensive Verification and Validation (V&V) testing. The basis for the V&V tests and the results of the V&V work shall be documented. Also, any tools that are used for the tests described here shall be qualified by a systematic Quality Assurance (QA) program to ensure that they perform their function properly.

5.10 Qualification of test personnel

Testing to verify the performance of nuclear power plant cables shall be performed by personnel who have been properly trained in cable testing. The training of the test personnel shall be documented and updated periodically. Examples of training topics to qualify the test personnel are:

- principles of cable testing,
- equipment for cable testing,
- training on data acquisition and data analysis software,
- interpretation and documentation of cable testing results.

6 Acceptable means for cable testing

Annexes B and C provide examples of methods that can be used for cable testing in nuclear power plants. These and other methods can be used for cable testing in nuclear power plants provided that they meet the requirements of this International Standard and are validated according to the validation criterion identified in this International Standard for the methods, software, and equipment that are used to conduct the tests.

7 Testing of end devices

I&C cables often end with sensors such as a Resistance Temperature Detector (RTD), pressure transmitter, or neutron detector. Therefore, means shall be established to distinguish problems in cable systems from problems in end devices. For example, the Loop Current Step Response (LCSR) technique which is normally used for in-situ response time testing of RTDs, has also proven useful in separating cable problems from RTD problems. For other sensors such as neutron detectors and pressure transmitters, the noise analysis technique is used to identify sensor anomalies. For a description of the noise analysis technique or the LCSR method, refer to IEC 62385. The LCSR and noise analysis are examples of techniques that can be used to distinguish between sensor problems and cable problems. There are other methods that have been used or are under development.

Annex D provides a summary of a particular set of cable testing techniques that can be used together with the noise analysis technique to establish the ageing condition of Nuclear Instrumentation Systems (NIS) in nuclear power plants. This procedure is used in nuclear power plants to avoid premature replacement of neutron detectors or other NIS components.

8 Relationship between initial qualification and cable ageing management

Cables for nuclear power plant applications that affect safety are normally qualified using existing standards (e.g., IEC 60780, Qualification). The initial qualification activities are often aimed at determining the accident survivability and reliability of the cables throughout their life and the life of the plant, especially in post-accident conditions. Although very useful, equipment qualification tests do not by themselves guarantee reliable cable service for the life of the cable or the plant. As such, periodic cable testing, cable condition monitoring, and other means, as outlined in this International Standard, should be implemented to ensure plant safety. For more information on this aspect, refer to IAEA TECDOC 1188.

9 Example of a nuclear power plant practice for cable ageing management

Annex E provides an example of a nuclear power plant's cable ageing management program, which makes use of visual inspection, in-situ tests on cable systems in the plant, and condition monitoring of cable insulation materials from a deposit. Such programs shall be implemented in nuclear power plants especially for long life operations beyond the original license of the plant.

10 Cable testing for long-term operation

Nuclear power plant operating licenses are being extended to allow continued operation to 60 years and discussions have been carried out for long life operation to 80 or more years. Obviously, for long life operation to 80 or more years, many components are replaced including small components such as pumps, valves, sensors, and transmitters or large components such as steam generators, or even the reactor vessel. However, wholesale cable replacement is rather problematic and normally avoided if there is any alternative. Cable testing and cable condition monitoring using methods such as those described here can provide the alternative or help determine which cables must be replaced based on cable testing results, trending of these results, and condition monitoring data.

Annex A (informative)

Typical components of an electrical cable

Electrical cables for industrial applications typically consist of the following components (Figure A.1):

- **Conductors**

Copper, aluminium, nickel, gold, and silver conduct electricity well and can be used in cables. Among these, copper is the most commonly used material for cables because of its excellent conductivity and reasonable cost.

Cable conductors are typically made of stranded wires for flexibility or solid wires for strength.

- **Insulation**

Cable conductors are typically insulated with a dielectric material that is highly resistive to the flow of electrical currents. Furthermore, cable insulation material should be resistant to water, chemicals, abrasion, and heat, and retard flames in case of fire. There is a wide range of polymeric materials used for cable insulation. These include polyvinylchloride (PVC) compounds, polyethylene compounds, and elastomers.

- **Shielding**

Shielding is used in constructing cables to provide a level of immunity to noise and electromagnetic/radio frequency interferences (EMI/RFI). Cables can have foil shielding and/or braided shielding. Foil shields are typically made of a thin layer of aluminium bonded to a polyester film. A drain wire is sometimes used in conjunction with the foil shield to connect the shield to ground. Braided shields are usually made of copper or aluminium.

- **Jacket**

An overall jacket is used to cover cables and to provide physical protection and mechanical strength. The jacket material for a cable is usually selected based on the environment in which the cable is used. Typically, cable jackets are made of similar materials to those used as cable insulation/dielectric.

Examples of cables that are covered by this International Standard are shown in Figure A.1.

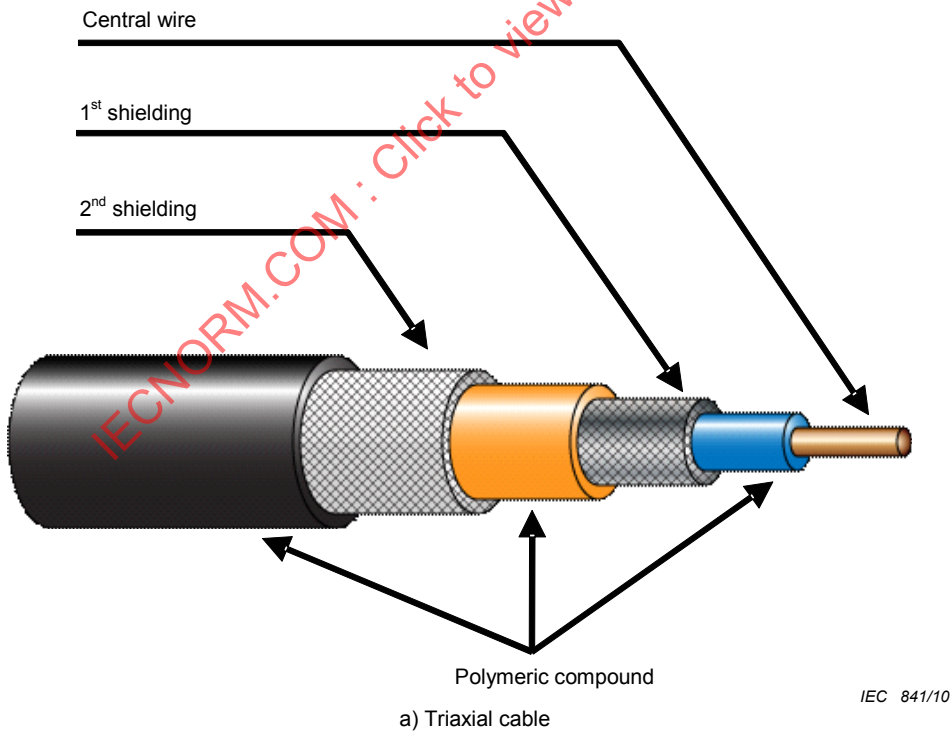
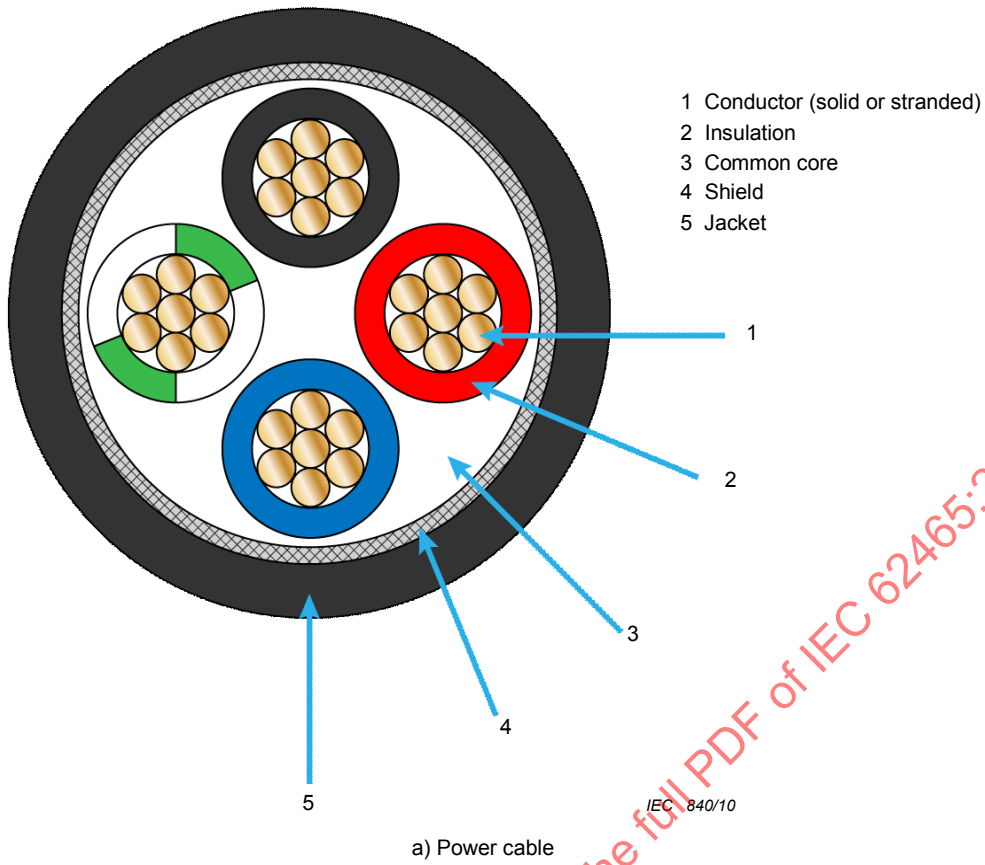
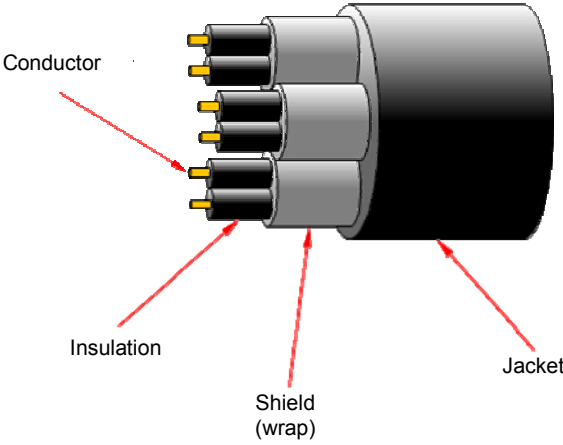
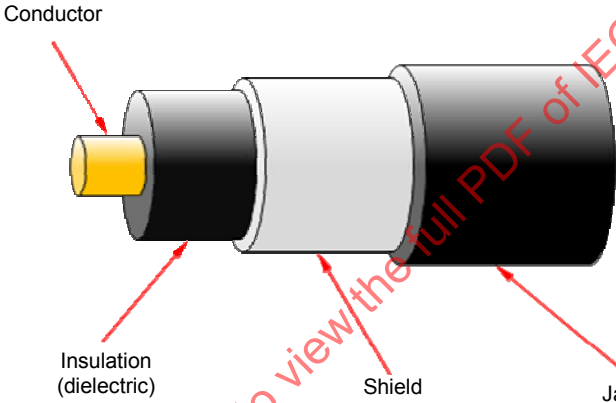


Figure A.1 – Example of Cables Covered by this International Standard



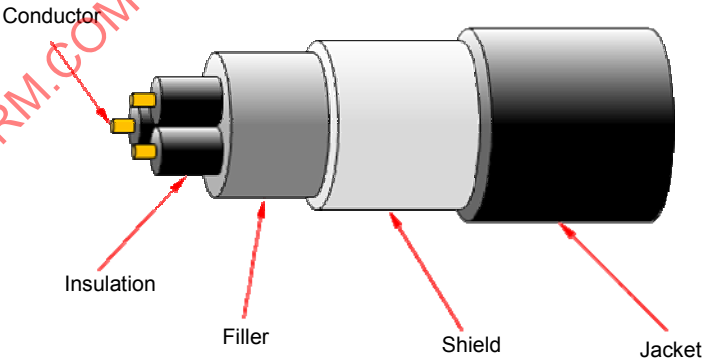
IEC 842/10

c) Twisted pair shielded instrumentation cable



IEC 843/10

d) Co-axial instrumentation cable



IEC 844/10

e) Multiconductor (also known as multi-core cables) shielded control cable

Figure A.1 (Continued)

Annex B (informative)

Cable testing techniques

B.1 General

There are passive techniques for cable testing and maintenance as well as active techniques. A few examples of these techniques are described below.

B.2 Passive techniques

The classical “look, feel, and smell” method of passive maintenance provides effective tools for detecting cable problems. These tools may be implemented through a number of simple procedures, including the following:

- **Visual or physical inspection:** inspect the cable for cracks, examine the texture, and determine changes in color. Baseline information and experience is often crucial in detecting problems by visual and physical inspections.
- **Size:** inspect the cable for swelling, shrinkage, and deformation.
- **Cleaning:** remove dirt, lubricants, solvents, or any extraneous chemicals.
- **Environmental monitoring:** monitor the ambient conditions around the cable such as temperature, humidity, radiation, or vibration.
- **Thermography:** perform thermography to locate hot spots in cables, connectors, and other components of a wiring system. This method is often useful at terminations (e.g., switchboards).
- **Behaviour during plant operation:** signal anomalies, spikes, and the like during plant operation often provide clues as to cable problems.

B.3 Active techniques

There is an array of active testing and maintenance techniques for cables, including electrical tests, mechanical tests, and chemical tests. A review of some of the basic electrical techniques is presented in this clause. Descriptions of mechanical and chemical tests that can be used for condition monitoring of cable insulation materials are provided in other IEC standards.

Electrical tests of cables are used to verify the condition of conductors, connectors and to a lesser extent, the cable insulation material. A few examples of electrical tests are:

- a) DC resistance, AC impedance, and Insulation Resistance (IR) measurements. Included in these measurements are Capacitance (C), Inductance (L), and Resistance (R) measurements. These three measurements can all be performed using the same piece of equipment, referred to as an LCR meter. In IR measurements of cables that are older than 25 years old, the applied test voltage should not exceed more than 10 % above the normal operating voltage as higher voltages may damage the cable. It should also be pointed out that IR measurements normally provide “go” or “no go” results as opposed to degradation assessment although trending of IR results are recommended and actions should be taken if IR values trend below acceptable limits.
- b) Time Domain Reflectometry (TDR) test. This test is used to identify the location of problems along a cable. It is the most popular and effective cable testing technique today. As such, this method is described in detail in Annex C.

c) Polarization Index (PI) measurements. PI is the ratio of two IR measurements. IR measurements often change depending on how long the measurement voltage is applied (e.g., 30 s, 1 min, 10 min, etc.). PI is the ratio of the IR measurement at 10 min to the IR measurement at 1 min.

d) Other ratios:

Insulation resistance ratios. Measuring current flow through a dielectric at different time intervals allows for the calculation of a temperature independent ratio called the Polarization Index (PI). IEEE Standard 62-1978 defines PI as the ratio of the insulation resistance value measured at 10 min to the insulation resistance value measured at 1 min. Other indicators of polarization are used such as Polarization Ratio (PR) which is the ratio of the insulation resistance at 3 min to the insulation resistance at 15 s, and the Dielectric Absorption Ratio (DAR) which is the ratio of the insulation resistance at 60 s to the insulation resistance at 30 s.

Low ratios (<1,0) associated with a low resistance sometimes indicates parallel paths through the insulating material. The most usual cause of this sort of degradation is microscopic absorption of water which allows for increased ionic concentrations and greater mobility of the dielectric's atoms.

Another parameter can also be measured to characterize the condition of a cable. This is called Dielectric Absorption Ratio (DAR). Like PI, it is the ratio of two IR measurements, one over a 60 s interval and another over a 30 s interval. The following table identifies the condition of a cable insulation material based on values of PI and DAR.

<u>Condition of cable insulation</u>	<u>DAR (60/30 s ratio)</u>	<u>PI (10/1 min ratio)</u>
Excellent	> 1,6	> 4
Good	1,4 – 1,6	2-4
Suspect	1,0 – 1,3	1-2

It should be pointed out that reliable IR measurements are often difficult and PI and DAR measurements may not always be very reliable.

Several new electrical methods (distributed electrical measurement methods) have been recently proposed that could also be used, such as Frequency Domain Reflectometry (FDR), Time-Frequency Domain Reflectometry (TFDR), and Line Impedance Resonance Analysis (LIRA). These methods are currently under evaluation for use as cable condition monitoring methods.

B.4 Importance of baseline measurements

The correlation between the results of electrical testing of cables and the condition of cables is not always very strong and the interpretation of cable testing results is not always easy. More specifically, small changes in the results of cable testing may or may not be indicative of any degradation in the cable material. Similarly, small cable degradations may not affect cable properties that can be measured using the methods described here. For these reasons, baseline measurements and experience are usually important for interpretation of cable testing results using electrical methods.

Annex C (informative)

Description of TDR test

Time Domain Reflectometry (TDR) is one example of a technique that may be used for testing of cable systems. The TDR method provides diagnostic information about the cable conductor, connector and, to a certain extent, insulation material. It can also provide diagnostics about passive devices at the end of a cable. For example, TDR tests are used to identify open leads, moisture, and other problems in RTDs. The TDR test involves sending an electrical signal through the cable and measuring its reflection to identify the location of any impedance change along the cable and the end device (load). It should be pointed out that the TDR technique is often very effective for detecting local and significant defects but not as effective for determining the degree of ageing of cable insulation materials or determining minor anomalies.

The TDR test is best described in terms of signal transmission through a cable. To perform the TDR tests, a signal is sent from one end of the cable to the other, and its reflection is monitored at the origin. If the cable is open at the end (i.e., end resistance is infinite), then the signal will be reflected, doubling up on itself at the original point (Figure C.1). Using the speed of signal transmission in the cable, the length of the cable can be calculated. In addition to the cable's end point, any significant change in impedance along the cable will cause a reflection that will appear on the TDR trace as a peak or valley whose amplitude depends on the cable impedance characteristics.

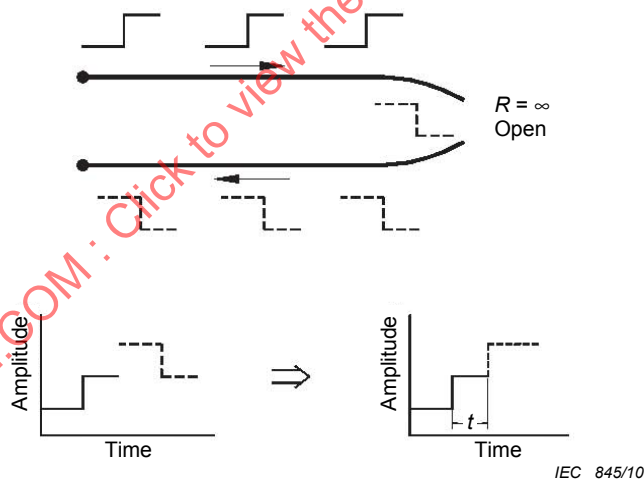


Figure C.1 – Principle of TDR test of an open cable

If the above experiment is repeated with a cable that is shorted at the end, the outcome would be similar to that shown in Figure C.2. A short at the end of a cable represents zero resistance and is like the cable in the above illustration whose end is opened when the test wave reaches the end. In this case, the reflection is a drop in the output as shown in Figure C.2.

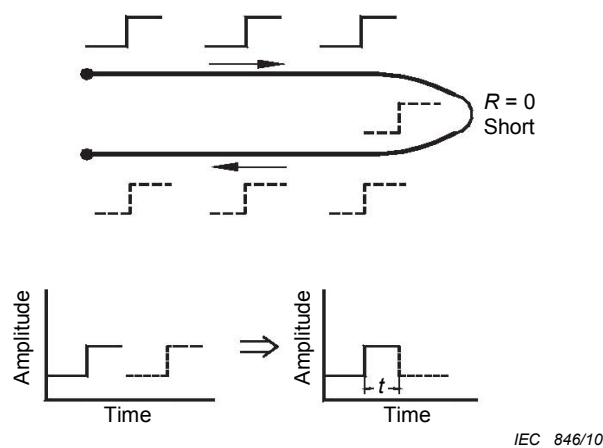


Figure C.2 – Principle of TDR test of a short cable

If the end of the cable is neither a short nor an open circuit, then a simplified TDR trace of this event should look like the one shown in Figure C.3 for a passive load at the end of the cable. Depending on the impedance of the load, the TDR trace representing the end of the cable may step up or step down as shown in Figure C.3. Note that in these illustrations some details have been omitted to facilitate the understanding of the TDR concept.

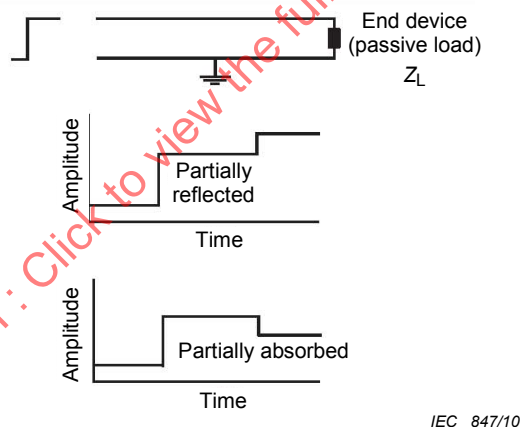


Figure C.3 – Simplified TDR traces for a cable with a passive load

The TDR test is typically performed using a pulse generator and a recorder or oscilloscope (Figure C.4). An important application of the TDR test is in locating problems along instrumentation circuits such as RTDs. For example, if a problem is identified at the output of an RTD, the TDR test can be used to determine whether the problem is in the RTD itself or in the cables. Figure C.5 shows a typical RTD circuit in a nuclear power plant and the results of a TDR test of this circuit. The RTD in this example is a three-wire sensor located in the field approximately 250 m away from the process instrumentation cabinets. The peaks in the TDR trace occur at each location along the circuit where there is a significant change in impedance. At the end of the cable, the trace for the RTD's compensating leads (wires 1 and 2) drops as expected, representing a short, while the trace for the RTD element (wires 2 and 3) shows only a slight change because an RTD element is neither a short nor an open.

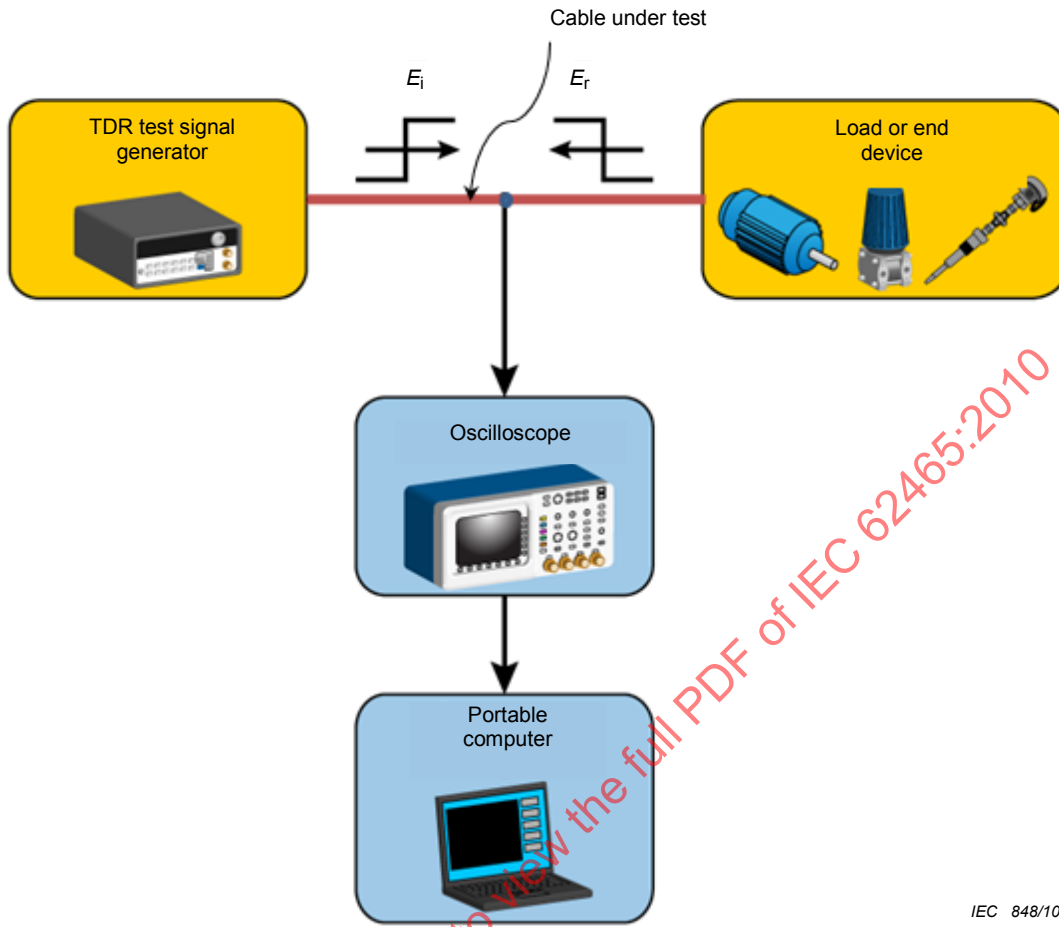


Figure C.4 – TDR test setup

IEC 848/10

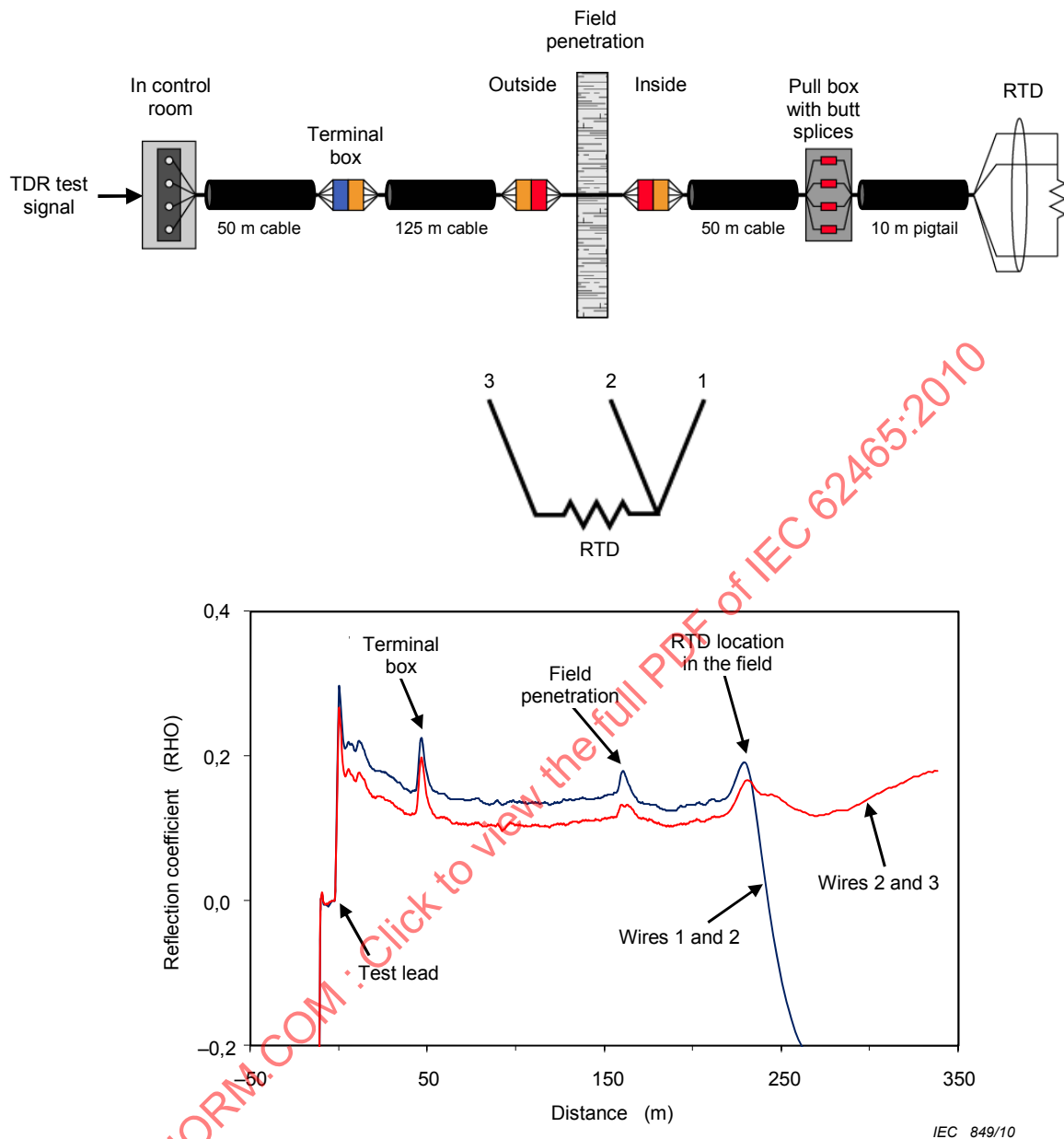


Figure C.5 – RTD cabling and corresponding TDR signature

The distance to a fault or impedance change in a TDR trace is calculated by multiplying the signal transmission time (measured in the TDR test) by the speed of signal transmission in the cable. The speed of signal transmission in a cable is typically equal to the speed of light in a vacuum (3×10^8 m/s) multiplied by a cable factor that typically ranges from 0,6 to 0,8, depending on the cable. If the signal transmission speed is not accurately known, it can be easily identified by performing a TDR test on a sample of the cable with a known length.

NOTE TDR traces on their own are not always useful but a 'fingerprint' of a circuit that can be used for comparison with repeat tests in the future is useful to trend changes that may indicate degradation of the cable system.

Annex D (informative)

Electrical measurement of NIS cables and detectors

Neutron instrumentation systems (NIS) in nuclear power plants often fail due to problems in their cabling system. Therefore, methods have been developed for testing of NIS cables. Some examples are described in this annex.

- **I-V curve comparisons.** I-V curves are produced by applying increasing, incremental voltages to the NIS under test while measuring the detector leakage current. When incremental voltages (e.g., in increments up to 1 000 V d.c. or more), are applied and the current from the NIS is measured and plotted, an I-V curve similar to the one shown in Figure D.1 is produced. The I-V curves can be inter-compared and trended to identify detector degradation. The curves are used to trend the “gas volume” sensitivity of the detectors to determine such problems as ceramic seal failure (leak).
- **High voltage perturbation testing.** In addition to the noise analysis method described in IEC 62385 for determining the response time of the detector-cable system, which is a passive test, another test, the high-voltage perturbation test, may be used to determine the response time of the detector-cable system. This test can be performed while the plant is operating in conjunction with noise analysis testing. The test involves the study of the neutron detector’s response to the fast application of bias voltage from an initial condition where no bias voltage was present. This test is not passive and will require removing the detector from service for the testing. Since monitoring for any systematic and progressive degradation in the dynamic performance of the detector may indicate repair or replacement of the sensor is needed, a systematic and periodic evaluation of the response time should be a part of the test program using noise analysis, high-voltage perturbation testing, or both.

For this test method to be successful in predictive maintenance, a set of baseline tests should be performed on known “good” detector-cable systems.

- **TDR testing.** TDR measurements are normally performed on cables to identify and locate impedance problems along the circuit from the test point at the instrument cabinets to the detector.

As problems such as loose connections, moisture, and cracks develop in the cable conductors, connectors, or on the cable insulation/jacket material, the impedance of the cable system may be affected. TDR measurements are the most useful for identifying not only the location of an impedance change but also the magnitude of the change. Comparison with baseline data is extremely important for making these determinations.

The TDR test involves sending a test pulse through the cable and measuring its reflection as a function of time or distance. The pulse has no significant power that might damage the cable or the detector, and the test has been used extensively for the evaluation of NIS cables and detectors in nuclear power plants.

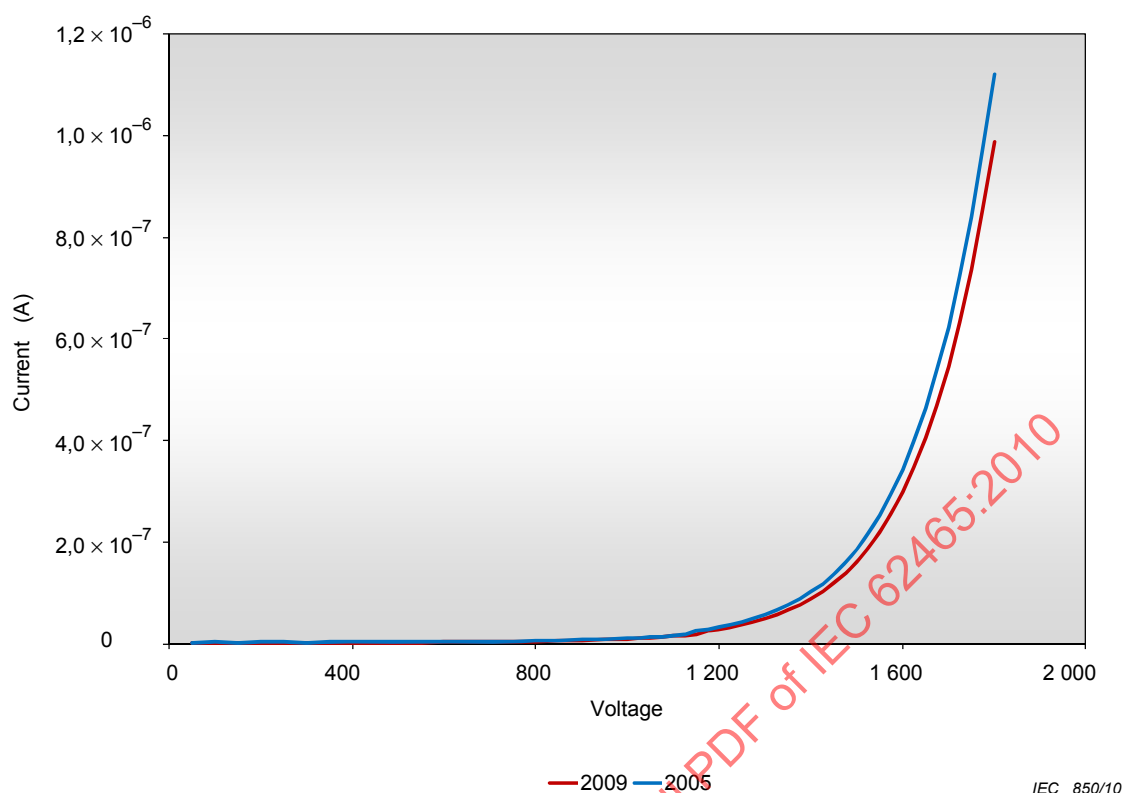


Figure D.1 – I-V curve

- **Signal leakage TDR testing (reverse TDR).** This testing involves applying a TDR signal to the shield of an NIS cable to identify where high frequency EMI/RFI may be coupled into the cable. Coupling of noise interference will occur along the cable at points where discontinuities occur in the cable system. In a typical NIS cable, the points of discontinuity are usually found in connection points as a result of loose or degraded connectors. This testing is particularly useful for troubleshooting noisy NIS cables. The test is sometimes referred to as reversed TDR.
- **Bulk electrical testing.** Bulk electrical measurements including inductance (L), capacitance (C), and resistance (R) measurements using a single piece of equipment referred to as the LCR system, can be made on each of the NIS detectors and cables.

In addition to providing cables/connector troubleshooting, LCR measurements will complement TDR tests to determine the root cause of an impedance problem. For example, the LCR measurement can detect problems such as moisture or loose connections. TDR tests, on the other hand, help to locate the problem. Used in conjunction, these two tests provide an overall picture of the cable condition as well as information to expedite the repair of any problems.

It should be pointed out that although LCR testing is useful in most cable testing, for NIS testing, only capacitance measurements are meaningful.

Annex E (informative)

Example of a nuclear power plant practice for cable ageing management

E.1 General

This annex provides an example of a nuclear power plant which has implemented a comprehensive cable ageing management program that covers a variety of safety system cables. The ageing management program at this plant covers both the cable conductor and the cable insulation material. For testing the conductor, electrical measurements are used, and for testing the insulation material, cable deposits are used and the tests are performed using mechanical techniques.

E.2 Visual inspection

The visual inspection of cables at the example plant includes the following activities:

- a) Walk through
 - 1) Cable: examination of the surface condition, contamination, hotspots, damage, discoloration, embrittlement.
 - 2) Cable tray: check condition of grounding-connections, look for damage, open covers, tray fixings (seismic stability/performance), contamination.
 - 3) Cable feed-through at terminal boxes, equipment and penetrations: surface condition, contamination, discoloration, embrittlement.
 - 4) Heat shrink tubes: surface condition, contamination, color changes.
- b) Connection tests
 - 1) Re-torque of connecting screws (power bars and I&C screw connections/terminals): safe contact.
 - 2) Pull test of I&C wires by terminals: safe contact.
- c) Infrared measurement of energized cable for identification and location of hot spots

E.3 Electrical techniques

The following electrical tests are used at the example plant on a periodic basis for testing of the conductor and/or the insulation material of installed cables:

- a) TDR
- b) Insulation resistance (using 500 V_{dc})
- c) Voltage test

E.4 Mechanical techniques

Elongation at break is the method of choice at the example plant for mechanical testing of cable insulation material. The test is performed on naturally aged samples removed from cable deposits (see Figure E.1).



IEC 851/10

Figure E.1 – Photo of baskets in which samples of 1E cables are deposited and placed in the plant for periodic removal and testing

The goal of this test is to record the progress of the changes in mechanical properties (hardening, embrittlement, etc.) of the insulation material of cables which have been exposed to real ageing conditions in the plant (e.g., temperature, radiation, humidity, etc.). To measure elongation at break, test samples are prepared in advance in baskets as shown in Figure E.1. The baskets are placed in harsh environments in the plant (inside containment, behind steam generators, etc.). Every basket contains a test lot for one periodic test series. A test series envelops all cable types which are installed inside containment. To simulate the condition of older cables which were installed before the ageing management program began, samples were pre-aged (radiation and thermal) to simulate the in-service time before the tests started. To accomplish this, ageing temperature and dose-rate are set low enough to simulate the service time of the installed cables. For example, a dose rate of 3 Sv/h and ageing temperature of between 70 °C and 80 °C is used.

The limit for accident survivability of cables has been determined by the plant as 50 % absolute elongation at break ($\geq 50\%$). When this limit is reached, the following actions are taken:

- Repeat the LOCA test with a pre-aged cable from the cable basket.
- Compare the results with results from original qualification test (LOCA test).
- Schedule a replacement programme for the cables as needed.

If the elongation at break is near 50 %, cable samples for a LOCA test are tested to verify the LOCA capability of the installed cable in the plant, and to estimate the residual qualified life. For this, the cable length should not be shorter than 2 m and cable ends should be sealed with a shrinking cap to prevent the impact of air under the jacket.

Plant cables are tested every five years and if significant changes are identified, the test interval is reduced (Figure E.2). If the elongation at break has reduced to 100 % absolute, the test interval is reduced to 2 years. It should be mentioned that the cables at the example plant are mostly EPR (Ethylene-Propylene-Rubber) and EPDM (Ethylene-Propylene-Diene-Monomer).

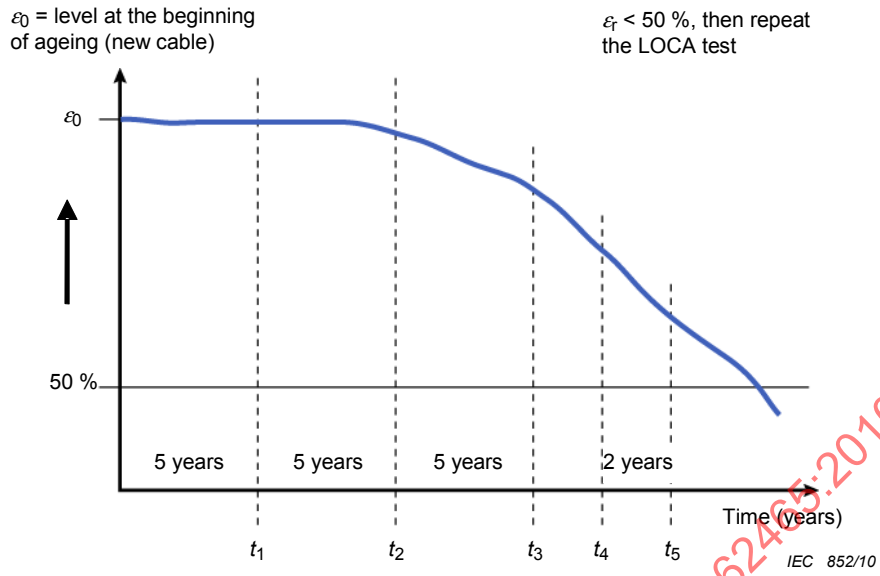


Figure E.2 – Schematic of test interval for mechanical tests

Bibliography

IEC 60544-5, *Electrical insulating materials – Determination of the effects of ionizing radiation – Part 5: Procedures for assessment of ageing in service*

IEC 60671, *Nuclear power plants – Instrumentation and control systems important to safety – Surveillance testing*

IEC 61244-3, *Long-term radiation ageing in polymers – Part 3: Procedures for in-service monitoring of low-voltage cable materials*

G.J. Toman and R.F. Gazdzinski, *Results of indenter testing of in-plant and artificially aged cable specimens*. *Electrical Insulation*, 1994, Conference Record of the 1994 IEEE International Symposium, June 5-8, 2004, Pages: 372 – 375.

H.R. Gnerlich, *Cable testing and cable fault locating with minimum risk to good cable*. *Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*, 1989 Annual Report, Pages: 265 – 271.

S. Boggs and J. Densley, *Fundamentals of partial discharge in the context of field cable testing*. *Electrical Insulation Magazine*, Sept.-Oct. 2000, Volume: 16, Issue: 5, Pages: 13 – 18.

M.J. Gouge, J.A. Demko, P.W. Fisher, C.A. Foster, J.W. Lue, J.P. Stovall, U. Sinha, J. Armstrong, R.L. Hughey, D. Lindsay, and J. Tolbert, *Development and testing of HTS cables and terminations at ORNL*. *Applied Superconductivity*, March 2001, Volume: 11, Issue: 1, Part 2, Pages: 2351 – 2354.

G. Cerri, R. De Leo, V.M. Primiana, S. Pennesi, P. Russo, *Electromagnetic characterization of faults on coaxial cable shields*. *Electromagnetic Compatibility*, 2004. Volume: 3 Pages: 931 – 935.

Hashemian, H.M., "Sensor Performance and Reliability." Book published by ISA—The International Society of Automation, 2005.

IAEA TECDOC-1188, *Assessment and management of ageing of major nuclear power plant components important to safety: In-containment instrumentation and control cables, Volume I*. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, December 2000.

K. Spång, *Ageing of electrical components in nuclear power plants, relationships between mechanical and chemical degradation after artificial ageing and dielectric behaviour during LOCA*. SKI Technical Report 97:40, Swedish Nuclear Power Inspectorate, Stockholm, 1997.

Electric Power Research Institute, *Cable ageing management programme for D.C. Cook nuclear plants Units 1 and 2*. Rep. EPRI TR-106687, Palo Alto, CA, 1996.

American Society for Testing of Materials, *Standard test method for oxidation induction time of polyolefins by Differential Scanning Calorimetry*. ASTM D3895, West Conshohocken, PA.

S.G. Burnay, *Round-robin testing of cable materials (IAEA co-ordinated research programmes 2)*. AEA Technology Report AEAT-3631 Issue 2, 1999.

K.T. Gillen, M. Celina, R.L. Clough, *Density measurements as a condition monitoring approaching for following the ageing of nuclear power plant cable materials*. EPRI Cable Condition Monitoring Working Group Meeting, Newton, USA, April 1999.

S.G. Burnay and J. Dawson, Reverse temperature effect during radiation ageing of XLPE cable insulation material. Proc. of Int. Conf. on Ageing Studies and Lifetime Extension of Materials. Oxford, 1999 Kluwer/Plenum Press, London.

Hashemian, H.M., "Maintenance of Process Instrumentation in Nuclear Power Plants." Book published by Springer-Verlag, 2006.

J.F. Calmet, S. Bousquet, *Irradiation ageing of CSPE/EPR control command electric cables. Correlation between mechanical properties and oxidation.* IPEN/DES/SAMS, Radiation Physics and Chemistry. Volume 63, Issues 3-6, March 2002, Pages 235-239.

U.S. Nuclear Regulatory Commission, *Proceedings of the International Conference on Wire System Ageing*, NUREG/CP-0179, Washington, D.C. (November 2002).

Gazdzinski, et al., *Ageing Management Guidelines for Commercial Nuclear Power Plants – Electrical Cable and Termination*, Sandia National Laboratories, SAND96-0344 (September 1996).

U.S. Nuclear Regulatory Commission, *Advanced Instrumentation and Maintenance Technologies for Nuclear Power Plants*, NUREG/CR-5501 (August 1998).

IAEA TECDOC-1147, *Management of Ageing of I&C Equipment in Nuclear Power Plants*, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria (2000).

IAEA TECDOC-1402, *Management of Life Cycle and Ageing at Nuclear Power Plants: Improved I&C Maintenance*, Vienna, Austria, August 2004.

Hashemian, H.M., "Maintenance of Cables in Industrial Processes." Presented at MARCON 2005, Maintenance and Reliability Conference, Knoxville, TN (May 3-6, 2005).

Fantoni, P.F., Toman, G.J., Cano, J.C., *Condition Monitoring of Electrical Cables Using Line Resonance Analysis (LIRA)*, Sixth American Nuclear Society International Topical Meeting on Nuclear Plant Instrumentation, Control, and Human-Machine Interface Technologies NPIC & HMIT 2009, Knoxville, Tennessee, April 2009.

U.S. Nuclear Regulatory Commission, "Qualification of Safety-Related Cables and Field Splices for Nuclear Power Plants", Regulatory Guide 1.211, April 2009, Washington, D.C., USA.

IEEE 1205-2000, "IEEE Guide for Assessing, Monitoring, and Mitigating Ageing Effects of Class IE Equipment Used in Nuclear Power Plants." Institute of Electrical and Electronics Engineers, Piscataway, N.J. USA.

IEEE Standard 383-2003, "IEEE Standard for Qualifying Class 1E Electrical Cables and Field Splices for Nuclear Power Generating Stations", Institute of Electrical and Electronics Engineers, Piscataway, N.J. USA.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62465:2010

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	36
INTRODUCTION.....	38
1 Domaine d'application	40
2 Références normatives.....	40
3 Termes et définitions	41
4 Contexte technique.....	43
4.1 Généralités.....	43
4.2 Types de câble.....	44
4.3 Origine de la gestion du vieillissement des câbles.....	45
4.4 Facteurs de contrainte des câbles.....	45
4.5 Techniques de test des câbles	45
5 Exigences relatives aux essais des câbles	46
5.1 Généralités.....	46
5.2 Méthodes d'essai	46
5.3 Application des exigences relatives aux essais des câbles.....	46
5.4 Intervalle entre essais	47
5.5 Localisation des essais	47
5.6 Etalonnage des équipements d'essai des câbles.....	47
5.7 Résultats d'essai.....	47
5.8 Validation des méthodes d'essai	47
5.9 Validation des outils logiciels et des outils d'essai.....	48
5.10 Qualification du personnel d'essai.....	48
6 Moyens acceptables pour tester les câbles.....	48
7 Test des dispositifs terminaux.....	48
8 Relations entre la qualification initiale et la gestion du vieillissement des câbles	49
9 Exemple pratique de la gestion du vieillissement en centrale nucléaire	49
10 Tests de câbles pour l'exploitation à long terme	49
Annexe A (informative) Composants classiques d'un câble électrique.....	50
Annexe B (informative) Techniques d'essai des câbles	53
Annexe C (informative) Description de l'essai temporel de réflectométrie	55
Annexe D (informative) Mesures électriques pour les câbles et détecteurs d'un système d'instrumentation nucléaire	59
Annexe E (informative) Exemple pratique de gestion du vieillissement des câbles en centrale nucléaire	61
Bibliographie.....	64
Figure A.1 – Exemples de câbles couverts par la présente norme.....	51
Figure C.1 – Principe de l'ETR sur un câble ouvert.....	55
Figure C.2 – Principe d'un ETR sur un câble court-circuité	56
Figure C.3 – Tracé ETR simplifié pour un câble muni d'une charge passive.....	56
Figure C.4 – Mise en œuvre d'un ETR	57
Figure C.5 – Câblage de la SR et signature de l'ETR correspondant.....	58
Figure D.1 – Courbe IU.....	60

Figure E.1 – Photo des paniers dans lesquels des échantillons de câbles 1E ont été déposés et placés sur l’installation pour être prélevés périodiquement à des fins d’essais	62
Figure E.2 – Schéma d’évolution des intervalles entre essais mécaniques.....	63
Tableau 1 – Exemples de facteurs de contraintes pouvant endommager les câbles	46

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62465:2010

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CENTRALES NUCLÉAIRES DE PUISSANCE – INSTRUMENTATION ET CONTRÔLE-COMMANDE IMPORTANTES POUR LA SÛRETÉ – GESTION DU VIEILLISSEMENT DES SYSTÈMES DE CÂBLES ÉLECTRIQUES

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI 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 la CEI. La CEI 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 la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 62465 a été établie par le sous-comité 45A: Instrumentation et contrôle-commande des installations nucléaires, du comité d'études 45 de la CEI: Instrumentation nucléaire.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
45A/795/FDIS	45A/803/RVD

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

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

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

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62465:2010

INTRODUCTION

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

Avec la majorité des centrales nucléaires qui ont aujourd'hui plus de 20 ans, la gestion du vieillissement de l'instrumentation et des systèmes de câbles électriques associés est une question pertinente, et ceci plus particulièrement pour les centrales qui ont obtenu une extension de leur autorisation de fonctionner ou qui envisagent cette possibilité. L'objectif de la présente norme est d'être utilisée par les exploitants de centrales nucléaires, les entités en charge de l'évaluation des systèmes et par les entités en charge de délivrer les autorisations.

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

La CEI 62465 est le document du SC 45A de la CEI de troisième niveau qui traite du problème particulier de la gestion du vieillissement des systèmes de câbles électriques dans les centrales nucléaires de puissance pour l'instrumentation et le contrôle-commande (I&C) importants pour la sûreté.

La CEI 62342 est le document générique du SC 45A de la CEI de deuxième niveau qui couvre le domaine de la gestion du vieillissement des systèmes utilisés dans les centrales nucléaires pour assurer les fonctions importantes pour la sûreté. La CEI 62342 est l'introduction d'une série de normes du SC 45A de la CEI qui couvriront à terme la gestion du vieillissement des systèmes d'I&C ou des composants particuliers tels que les systèmes de câbles électriques (CEI 62465), les capteurs, et les transmetteurs.

La CEI 62465 doit être lue avec la CEI 62342 et la CEI 62096, qui est le rapport technique ad hoc fournissant des recommandations pour ce qui concerne les décisions relatives à la modernisation lorsque les techniques de gestion du vieillissement ne sont plus suffisantes.

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

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

Il est important de noter que la présente norme n'établit pas d'exigence fonctionnelle supplémentaire pour les systèmes de sûreté. On doit se prémunir contre les mécanismes de vieillissement et donc les détecter en réalisant des mesures. La présente norme fournit des recommandations particulières pour les aspects suivants :

- les critères d'évaluation du vieillissement des systèmes de câbles électriques utilisés dans les centrales nucléaires;
- les étapes devant être suivies pour établir les exigences relatives à l'essai des câbles dans un programme de gestion du vieillissement des systèmes de câbles électriques des centrales nucléaires; et
- les relations entre l'analyse de la qualification progressive et les programmes de gestion du vieillissement en ce qui concerne les systèmes de câbles électriques.

Il est reconnu que les techniques de surveillance et d'essai utilisées pour évaluer les conditions de vieillissement des systèmes de câbles électriques des centrales nucléaires continuent à se développer rapidement et qu'il n'est pas possible pour une norme telle que celle-ci de contenir les références de toutes les techniques et technologies modernes disponibles. Cependant un certain nombre de techniques sont citées dans cette norme et sont décrites dans les Annexes B, C et D.

Afin d'assurer la pertinence de cette norme pour les années à venir, l'accent est mis sur les questions de principe plutôt que sur les technologies particulières.

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

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

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

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

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

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

La CEI 61513 fait référence aux normes ISO ainsi qu'au document AIEA 50-C-QA (remplacé depuis par le document AIEA GS-R-3) pour ce qui concerne l'assurance qualité.

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

CENTRALES NUCLÉAIRES DE PUISSANCE – INSTRUMENTATION ET CONTRÔLE-COMMANDE IMPORTANTES POUR LA SÛRETÉ – GESTION DU VIEILLISSEMENT DES SYSTÈMES DE CÂBLES ÉLECTRIQUES

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale fournit des stratégies, des exigences techniques et des pratiques recommandées pour la gestion du vieillissement normal des systèmes de câbles qui sont importants pour la sûreté en centrale nucléaire. Les exigences principales sont présentées dans le corps de la norme qui est suivi d'un certain nombre d'annexes informatives présentant des exemples de techniques, de procédures et de matériels pour l'essai des câbles qui sont disponibles pour garantir à l'industrie nucléaire que les dégradations liées au vieillissement n'impactent pas la sûreté des installations.

La présente norme couvre les câbles et leurs accessoires (par exemple les connecteurs) installés dans les centrales nucléaires (dans et hors de l'enceinte de confinement). Elle fournit les exigences pour réaliser les essais des câbles dans un but de maintenance préventive, de dépannage, de gestion du vieillissement, et de garantie de la sûreté de l'installation. Elle concerne les câbles d'instrumentation et de contrôle-commande (I&C), les câbles de signal et les câbles de puissance pour une tension inférieure à 1 kV. De plus cette norme se focalise sur les techniques d'essai sur site qui ont été mises au point pour déterminer les problèmes portant sur les conducteurs des câbles (par exemple fil de cuivre) et, dans une moindre mesure, sur les matériaux d'isolation (par exemple les polymères). Elle est cohérente avec la norme CEI 62342 relative à la gestion du vieillissement qui a été développée pour donner des recommandations générales pour la gestion du vieillissement des composants d'I&C utilisés dans les centrales nucléaires, y compris les câbles. Il convient de signaler que les techniques d'essai des câbles sont en train d'évoluer et que de nouvelles méthodes qui ne sont pas couvertes par cette norme vont être disponibles. Plus particulièrement, la présente norme couvre des méthodes classiques d'essai de câbles qui ont déjà été utilisées par l'industrie de énergétique nucléaire au cours des dix dernières années. Il convient de signaler qu'une technique unique d'essai de câbles n'est potentiellement pas capable de fournir un résultat suffisant, ainsi l'établissement d'un diagnostic fiable requiert normalement, une combinaison de techniques.

2 Références normatives

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

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

CEI/TR 62096, *Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation et contrôle-commande importants pour la sûreté – Guide pour décider d'une modernisation*

CEI 62342, *Centrales nucléaires de puissance – Systèmes d'instrumentation et de contrôle-commande importants pour la sûreté – Gestion du vieillissement*

CEI 62385, *Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation et contrôle-commande importants pour la sûreté – Méthodes d'évaluation des performances des chaînes d'instrumentation des systèmes de sûreté*

CEI/TR 62392, *Suitability of typical electrical insulating material (EIM) for polymer recycling* (disponible en anglais seulement)

3 Termes et définitions

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

3.1

vieillissement accéléré

processus accéléré destiné à simuler un fonctionnement de longue durée en une courte période de temps. Ce processus qui consiste à soumettre un équipement ou un composant à des contraintes compatibles avec des lois connues de dégradation mesurable, physique et chimique, a pour but d'obtenir des propriétés physiques et électriques identiques à celles qu'ils auraient eues à l'issue d'une longue utilisation dans des conditions de fonctionnement normal

[CEI 60780]

3.2

évaluation du vieillissement

évaluation des informations pertinentes pour déterminer les effets du vieillissement sur les capacités courantes et futures des systèmes, structures et composant pour fonctionner conformément aux critères de réception dans toutes les conditions opérationnelles (par exemple en conditions normales et après des événements de dimensionnement)

3.3

gestion du vieillissement

mesures d'ingénierie, d'exploitation et de maintenance visant à contenir la dégradation due au vieillissement des structures, systèmes et composants dans des limites acceptables

[Glossaire de sûreté de l'AIEA, édition 2007]

3.4

dépôt de câbles

sélection d'échantillons de câble placés dans la centrale nucléaire de puissance à des fins de surveillance des conditions d'ambiance ou pour être retirés pour réaliser des essais

3.5

entaille-câble

moyen d'essai pour tester le coefficient d'entaille dans le matériau d'isolement ou le revêtement du câble

3.6

système de câbles

système de câbles comprenant le conducteur, le blindage, les épissures, le matériau isolant et les accessoires relatifs au câble (par exemple les connecteurs)

3.7

accident de dimensionnement

ADD

conditions accidentelles auxquelles une installation nucléaire est conçue pour résister conformément à des critères de conception spécifiés et dans lesquelles l'endommagement du combustible et les rejets de matières radioactives sont maintenus en dessous des limites autorisées

[Glossaire de sûreté de l'AIEA, édition 2007]

3.8

surveillance des conditions d'ambiance

surveillance du niveau des paramètres relatifs à l'environnement ambiant (par exemple température et dose de rayonnements)

3.9

contrainte environnementale

facteur ayant une influence au niveau d'au moins un des mécanismes de vieillissement concernant le système de câble qui n'est pas lié à une modification de son état physique

3.10

qualification d'équipement

production et conservation des preuves que l'équipement fonctionnera sur commande, dans les conditions de service spécifiées, pour répondre aux impératifs de performance du système

[Glossaire de sûreté de l'AIEA, édition 2007]

3.11

zone de contrainte élevée (point chaud)

partie limitée du câble sujette à des contraintes environnementales plus sévères (irradiation, température, contraintes mécaniques). Zones souvent localisées dans la centrale nucléaire où des températures et/ou des niveaux de dose de rayonnement sont plus élevés que les prévisions faites

3.12

essai de câble sur site

essai réalisé sans retrait du système de câble de son lieu d'installation courant dans la centrale

3.13

mesure de la résistance d'isolement

mesure de la résistance entre le conducteur et la terre ou entre deux conducteurs électriques

3.14

courbe IU

tracé représentant la relation entre l'intensité (I) et la tension (U) pour un détecteur neutronique

3.15

mesure LCR

mesure de l'inductance (L), de capacité (C), et de résistance (R) d'un système de câbles

3.16

Essai par Echelon de Chauffage par Boucle de Courant (ECBC)

méthode de mesure du temps de réponse des capteurs de température qui permet de trier les problèmes liés aux câbles de ceux du capteur

3.17

technique d'analyse de bruit

méthode de test in-situ du temps de réponse des capteurs, détecteurs et transmetteurs pour la détection en ligne sur les lignes d'instrumentation de pression, des restrictions, des vides et des fuites.

[CEI 62385]

NOTE Cette méthode est aussi utilisée pour identifier les dégradations liées au vieillissement des capteurs tels que les capteurs neutroniques et elle peut permettre de faire le tri entre les problèmes capteur et les problèmes liés aux câbles.

3.18

système d'instrumentation nucléaire

chaîne d'instrumentation utilisée pour mesurer le flux neutronique

3.19

durée de vie certifiée

période pour laquelle il a été démontré, par des essais, l'analyse ou l'expérience qu'une structure, un système ou un composant est capable de fonctionner dans les limites des critères d'acceptation dans des conditions de fonctionnement spécifiques tout en restant à même de remplir ses fonctions de sûreté en cas d'accident de dimensionnement ou de séisme

[Glossaire de sûreté de l'AIEA, édition 2007]

3.20

Sonde à résistance

SR

détecteur contenant une résistance en platine ou autre métal dont la résistance varie avec la température

3.21

intervalle entre essai

laps de temps qui s'écoule entre les débuts d'essais identiques sur le même capteur, un même dispositif de traitement du signal, ou logique ou un même ensemble actionneur terminal

[CEI 60671]

3.22

essai temporel de réflectométrie

ETR

méthode permettant de localiser les défauts sur le câble, dans le connecteur et/ou aux extrémités du dispositif

4 Contexte technique

4.1 Généralités

Les systèmes de câbles des centrales nucléaires peuvent présenter des dégradations dues au vieillissement qui doivent nécessiter des tests pour garantir un fonctionnement correct de l'installation et sa sûreté. Par exemple, des câbles peuvent se dessécher et s'effriter du fait du vieillissement et entraîner des dysfonctionnements pendant le fonctionnement de l'installation ou en conditions accidentelles ou post-accidentelles. Lors d'APRP (Accident de Perte du Réfrigérant Primaire), les câbles sont soumis aux jets de vapeur vive à haute pression et ceci peut entraîner des dysfonctionnements s'il y a des fissures dans l'isolant dues au vieillissement ou tout autre dommage qui puisse permettre une pénétration de l'humidité dans le câble. La combinaison de la vapeur vive et des pressions élevées est une des causes majeures de dysfonctionnement potentiel des câbles dans le cas d'un APRP, ceci est dû plus particulièrement au fait que la vapeur pénètre plus facilement dans les petites fissures que l'eau à l'état liquide. Le vieillissement de l'isolant des câbles est couvert par la CEI 62392.

En plus des problèmes qui peuvent survenir du fait de l'endommagement de l'isolant des câbles, il existe des problèmes liés aux conducteurs des câbles, aux connecteurs ou aux accessoires. Ces problèmes peuvent entraîner des erreurs de mesure, des signaux erratiques, des pics de signaux, du bruit et d'autres anomalies interférant non seulement avec le pilotage et l'exploitation de l'installation mais aussi avec la sûreté de l'installation. La présente norme établit des exigences et des recommandations portant sur l'identification de ces problèmes.

4.2 Types de câble

Les câbles des centrales nucléaires de puissance appartiennent généralement aux types fonctionnels suivant:

- a) câbles d'instrumentation et de contrôle-commande (coaxial, triaxial, torsadé, blindé),
- b) câbles d'alimentation basse tension (inférieure à 1 kV),
- c) câbles d'alimentation moyenne tension (par exemple inférieure à 30 kV),
- d) câbles pour les services généraux (câbles de terre, câbles téléphonique, etc.).

Cette norme porte principalement sur les câbles d'I&C bien que la plupart des éléments pris en considération ici soient aussi applicables aux câbles d'alimentation basse tension, car ils utilisent des matériaux similaires et sont sensibles aux mêmes mécanismes de dégradation. Par exemple, les méthodes décrites ici sont utilisées pour tester les câbles des mécanismes de commande de grappes ou des câbles similaires de la centrale.

Les câbles d'instrumentation (y compris les câbles de prolongation des thermocouples) sont généralement de type câbles basse tension (normalement <1 kV). Généralement, ils sont utilisés pour la transmission digitale ou analogique des signaux des capteurs ou autres appareils. Les câbles des sondes à résistance, des transmetteurs de pression et de certains thermocouples sont généralement constitués de paires torsadées blindées (la plupart des câbles de thermocouples sont réalisés à l'aide de câbles à isolant minéral). Les circuits de surveillance neutronique et de détection des rayonnements utilisent souvent des liaisons coaxiales ou triaxiales blindées. Les câbles contrôle des composants auxiliaires tels que les disjoncteurs de commande, les cellules de vanne, les relais et les contacteurs sont habituellement du type basse tension et faible intensité. Ils sont souvent réalisés à l'aide de câbles multi conducteurs, avec blindage s'ils sont utilisés à proximité de systèmes haute tension. Des câbles d'alimentation basse tension (<1 kV) sont utilisés pour alimenter les appareils auxiliaires basse tension tels que les moteurs, les armoires de démarrage, les éléments chauffant et les petits transformateurs. Ces câbles peuvent être mono ou multi conducteur et ils ne sont habituellement pas blindés.

Généralement, un câble comprend de quatre à huit composants. Par exemple, les composants principaux pour les câbles d'alimentation basse tension ou pour les câbles d'I&C sont:

- le(s) conducteur(s),
- l'isolant électrique ou diélectrique,
- le blindage,
- le revêtement extérieur.

Certains câbles, en particulier les câbles d'alimentation basse tension et ceux d'I&C, peuvent avoir un revêtement sur l'isolant pour chaque conducteur individuel, pour retarder la propagation des flammes. Il est habituellement appelé le revêtement du conducteur ou le revêtement interne, s'il est présent. En général le terme de revêtement devrait normalement désigner la couche externe constitutive du câble. On peut trouver d'autres composants dans un câble:

- matériaux de remplissage ou d'enrobage, qui occupe l'espace entre les conducteurs isolés dans les câbles multi conducteurs afin d'en améliorer la stabilité mécanique,
- enroulement d'une bande qui peut fournir une protection au feu, mécanique ou électrique supplémentaire ou bien qui permet d'identifier des ensembles de conducteurs,
- couches armées, parfois utilisées pour la protection mécanique sous la couche de revêtement extérieur.

L'Annexe A présente une description des câbles courants et des composants qui sont généralement pris en compte dans les activités de test couvertes par cette norme.

4.3 Origine de la gestion du vieillissement des câbles

Les tests des câbles sont réalisés en centrale nucléaire pour un certain nombre de raisons telles que le dépannage, pour identifier des problèmes comme les signaux anormaux, pour établir des références de mesure à des fins de maintenance prédictive, et pour évaluer le vieillissement des câbles.

Ces dernières années, la gestion du vieillissement des câbles a pris de l'importance principalement pour deux raisons. Tout d'abord, certaines installations ont obtenu un renouvellement de licence qui couvre l'utilisation de câbles sur une durée de vie certifiée étendue. Ensuite, l'industrie énergétique nucléaire a reconnu les limites des essais de qualification des câbles dans le domaine du pré-vieillissement et de l'utilisation de modèles tels que la loi d'Arrhenius pour l'évaluation de la durée de vie certifiée.

La détection des points chauds et leurs localisations le long des câbles constituent un défi pour la gestion du vieillissement des câbles et la détermination des problèmes. L'origine des points chauds est principalement due aux effets des rayonnements, de l'échauffement électrique, de la chaleur ambiante et des contraintes mécaniques et il n'y a pas de techniques éprouvées de détection sur site pour localiser les points chauds le long du câble. En particulier les câbles sont souvent placés dans des gaines et les moyens tels que l'inspection visuelle ne peuvent pas permettre efficacement de faire un diagnostic de l'état du câble.

4.4 Facteurs de contrainte des câbles

Le vieillissement et la dégradation des câbles résultent d'une longue exposition aux rayonnements, à la température, à l'humidité, aux vibrations et à d'autres contraintes d'environnement qui existent en centrale nucléaire. Ceci comprend les lubrifiants, les produits chimiques, ou les produits de contamination qui peuvent entrer en contact avec les câbles dans une centrale nucléaire. De plus, il y a des facteurs de contrainte internes tels que l'effet joule dû à la présence de courants électriques dans le câble. Le matériau isolant du câble comme le conducteur sont sujet au vieillissement. Le Tableau 1 présente des exemples de facteurs de contrainte qui potentiellement peuvent endommager les câbles. De plus les courbures, les pincements, les vibrations ou une combinaison de ces effets avec d'autres facteurs de contrainte liés à l'environnement (synergie) peuvent modifier les caractéristiques de vieillissement des câbles.

4.5 Techniques de test des câbles

Pour se prémunir des conséquences négatives liées au vieillissement des câbles et des dégradations, il convient de réaliser des tests périodiques et de surveiller les conditions d'ambiance qui règnent dans la centrale nucléaire et ceci particulièrement pour les câbles importants pour la sûreté. Pour cela, de nombreuses techniques ont été développées afin de mesurer les effets du vieillissement sur les câbles et pour juger des méthodes efficaces de maintenance des câbles. Des exemples de techniques classiques de test des câbles sont fournis dans les Annexes B, C et D de la présente norme. Ces techniques et d'autres qui peuvent permettre de satisfaire aux exigences de la présente norme peuvent être utilisées pour garantir la fiabilité du service rendu par les câbles ainsi que la sûreté des centrales nucléaires, menacées par les conséquences de la dégradation des câbles et leur vieillissement.

NOTE La présente norme indique des méthodes pour l'évaluation des systèmes de câbles, y compris des connecteurs et des dispositifs terminaux. Les méthodes d'évaluation du vieillissement de l'isolant des câbles sont couvertes par la CEI 62392.

Tableau 1 – Exemples de facteurs de contraintes pouvant endommager les câbles

Facteurs de contrainte liés au vieillissement	Composant concerné	Conséquence
Corrosion/oxydation	Conducteur	Augmentation de la résistance et auto échauffement
	Connecteur	Augmentation de la résistance et auto échauffement
Vibration	Conducteur	Augmentation de la résistance et robustesse mécanique affaiblie
	Connecteur	Robustesse mécanique affaiblie et qualité du contact réduite
	Isolant	Formation de fissures, réduction de la résistance d'isolement en cas de présence d'humidité, perte de matière
Température et rayonnement ionisant	Isolant	Modification des propriétés mécaniques, modifications des caractéristiques d'inflammabilité, disparition des additifs (liés à la plasticité, anti-oxydant, etc.)
Humidité/eau	Isolant et conducteur	Accélération des effets de vieillissement liés aux rayonnements et à la température, détérioration des matériaux constitutifs des câbles, effets de shunt et de court circuit si l'humidité pénètre le câble, diminution de la résistance d'isolement, gonflement.
Lubrifiants, produits contaminants	Matériau isolant et connecteur	Détérioration du matériau isolant

5 Exigences relatives aux essais des câbles

5.1 Généralités

Les systèmes de commande et de sûreté des centrales nucléaires de puissance reposent sur la fiabilité des câbles placés en conditions opérationnelles. Aussi, les performances des câbles, en particulier ceux ayant un rôle de sûreté, doivent être vérifiées périodiquement au cours de la durée de vie de l'installation. Ceci est particulièrement important pour les câbles supports de fonctions de sûreté et les câbles dont les défaillances pourraient avoir un impact sur les équipements qualifiés et des conséquences sur la sûreté de l'installation.

Le présent article fournit des exigences pour les essais sur site permettant de vérifier que les systèmes de câbles électriques assurent un service fiable et garantissent la sûreté.

5.2 Méthodes d'essai

Des méthodes d'essai telles que celles décrites dans les annexes de la présente norme ont été développées et sont utilisées en centrale nucléaire. Ces méthodes comprennent les méthodes sur-site qui peuvent être utilisées installation en fonctionnement ainsi que les méthodes d'essai sur des échantillons de câble. Toutes les méthodes d'essai des câbles liés à la sûreté doivent être validées conformément en 5.8 de la présente norme.

5.3 Application des exigences relatives aux essais des câbles

La présente norme est applicable aux systèmes de câbles de l'instrumentation assurant la production des données relatives à la température, à la pression (y compris les niveaux et les débits) et au flux neutronique. Elle est aussi utile pour ce qui concerne les systèmes de câbles d'alimentation des mécanismes de grappe, d'indicateurs de position de grappe, des

moteurs, des bobines de chauffage, des électrovannes, des vannes motorisées et tous les dispositifs analogues. Les câbles utilisés avec des capteurs d'essai, tels que les accéléromètres, les capteurs d'humidité et autres, peuvent aussi être testés en utilisant les techniques décrites ici.

5.4 Intervalle entre essais

Les intervalles entre essais doivent être déterminés pour détecter les performances inacceptables. Il convient de considérer les facteurs suivant pour déterminer l'intervalle entre essais:

- age du câble,
- type de câble,
- matériaux constitutifs des câbles,
- recommandations des fabricants et autres normes industrielles,
- marges existant entre les performances mesurées et les performances souhaitées,
- vitesse d'évolution des caractéristiques de performance,
- taux de défaillance des câbles et objectifs de fiabilité.

5.5 Localisation des essais

Il convient de réaliser les essais autant que possible sur site. Le retrait des câbles pour les essais n'est pas acceptable, sauf pour l'échantillon représentatif qui peut être retiré du dépôt de câbles.

5.6 Etalonnage des équipements d'essai des câbles

L'étalonnage des équipements d'essai des câbles doit être valide conformément aux normes nationales. Des procédures écrites doivent être utilisées pour réaliser l'étalonnage et les résultats d'étalonnage doivent être documentés.

5.7 Résultats d'essai

Les résultats d'essais des câbles doivent être comparés aux limites de performance autorisées le cas échéant. Si on découvre que les résultats dépassent la limite, ou si la vitesse d'évolution des caractéristiques des performances est telle que les limites de performance autorisées peuvent être dépassées lors de l'essai suivant, on doit déclencher les actions nécessaires pour prendre en compte le problème.

5.8 Validation des méthodes d'essai

Les méthodes d'essai des câbles doivent être validées pour garantir que les résultats d'essai des câbles représentent bien l'état des câbles. La validation des méthodes d'essai utilisant des essais en laboratoire nécessite plusieurs étapes préliminaires afin de s'assurer que ce sont des mesures représentatives et reproductibles des essais de laboratoire. Cette validation doit être documentée et il convient de prendre en compte les considérations suivantes:

a) Définition des conditions de début d'essai

- définition d'un ensemble de cas d'essai (types de câble, types de défaut, différentes longueurs, jonctions, etc.),
- identification des défauts à diagnostiquer (il convient d'en écrire la liste complète),
- caractérisation en laboratoire des différents câbles et autres dispositifs (jonctions, connecteurs, charges) avec et sans défaut,
- caractérisation de l'ambiance de vieillissement (par exemple radiation et température) ainsi que des conséquences sur les méthodes d'essai.

- b) Comparaison de la méthode d'essai à des essais de laboratoire appropriés, essais sur site, ou les deux type d'essais en simultanés pour établir la validité de la méthode.
- c) Justification théorique de la méthode d'essai.
- d) Hypothèses faites et conditions employées pour garantir que la validité de la méthode d'essai est établie.

5.9 Validation des outils logiciels et des outils d'essai

Tous les logiciels utilisés pour l'acquisition des données, la qualification des données ou l'analyse des données lors de l'essai des câbles doivent être conçus et développés en utilisant une approche systématique conformément aux normes industrielles reconnues pertinentes pour le développement des logiciels employés pour les centrales nucléaires. Tous les ensembles logiciels doivent faire l'objet d'une série d'essais de Vérification et de Validation (V&V) complète. La base de ces essais de V&V et les résultats des activités de V&V doivent être documentés. De plus, tous les outils qui ont été utilisés pour les essais décrits ici doivent être qualifiés dans le cadre d'un programme systématique d'Assurance Qualité (AQ) pour garantir qu'ils assurent leurs fonctions correctement.

5.10 Qualification du personnel d'essai

Les essais de vérification des performances des câbles utilisés en centrale nucléaire doivent être réalisés par du personnel correctement formé aux tests des câbles. La formation du personnel d'essai doit être documentée et doit faire l'objet d'une mise à jour périodique. Des exemples de sujets de formation pour qualifier le personnel sont les suivants:

- principes régissant les essais de câbles,
- matériel pour tester les câbles,
- formation aux logiciels d'acquisition et d'analyse de données,
- documentation et interprétation des résultats d'essai des câbles.

6 Moyens acceptables pour tester les câbles

Les Annexes B et C fournissent des exemples de méthodes qui peuvent être utilisées pour tester des câbles en centrale nucléaire. Ces méthodes et d'autres peuvent être utilisées pour tester les câbles en centrale nucléaire si elles satisfont aux exigences de cette norme et sont validées conformément aux critères de validation identifiés dans la présente norme pour les méthodes, les logiciels, les matériels qui sont utilisés pour réaliser les essais.

7 Test des dispositifs terminaux

A l'extrémité des câbles d'I&C on trouve souvent des capteurs, tels que des sondes à résistance, des transmetteurs de pression, ou des détecteurs neutroniques. Ainsi on doit avoir les moyens de distinguer les problèmes liés aux câbles des problèmes liés aux dispositifs terminaux. Par exemple, la technique par Echelon de Chauffage par Boucle de Courant (ECBC) qui est normalement utilisée pour les essais de temps de réponse sur site des sondes à résistance, s'est aussi révélée être utile pour séparer les problèmes liés aux câbles de ceux propres aux sondes à résistance. Pour d'autres détecteurs, tels que les détecteurs neutroniques, les transmetteurs de pression, la technique d'analyse de bruit est utilisée pour identifier les anomalies du capteur. On trouve la description de la technique de l'analyse de bruit ou de la méthode ECBC dans la CEI 62385. Les analyses ECBC ou du bruit sont des exemples de techniques qui peuvent être utilisées pour distinguer entre les problèmes liés aux capteurs et ceux liés aux câbles. D'autres méthodes ont été utilisées ou sont en développement.

L'Annexe D fournit un résumé sur un ensemble de techniques d'essai de câbles qui peuvent être utilisées avec la technique d'analyse du bruit pour juger de l'état de vieillissement des systèmes d'instrumentation nucléaire des centrales nucléaires. Cette procédure est utilisée

en centrale nucléaire pour éviter les remplacements prématurés de détecteurs neutroniques ou d'autres composants du système d'instrumentation nucléaire.

8 Relations entre la qualification initiale et la gestion du vieillissement des câbles

Les câbles utilisés en centrale nucléaire qui ont un impact sur la sûreté sont normalement qualifiés sur la base des normes existante (par exemple CEI 60780, qualification). Les activités de qualification initiale ont souvent pour but de déterminer la tenue aux accidents et la fiabilité des câbles durant leur vie et celle de la centrale nucléaire, et particulièrement en conditions post accidentelles. Bien que très utiles, les essais de qualification des matériels ne garantissent pas en eux-mêmes la fiabilité de service des câbles pour la durée de vie des câbles ou la durée de vie de la centrale. Ainsi, il convient comme indiqué dans cette norme de mettre en œuvre une surveillance périodique des câbles, une surveillance de l'environnement pour les câbles et d'autres moyens pour assurer la sûreté de la centrale. Pour plus d'information sur ces aspects voir le rapport technique AIEA TECDOC 1188.

9 Exemple pratique de la gestion du vieillissement en centrale nucléaire

L'Annexe E fournit un exemple de programme de gestion du vieillissement des câbles en centrale nucléaire qui comprend l'inspection visuelle, des essais sur site sur les systèmes de câbles dans la centrale et la surveillance de l'état de l'isolant des câbles avec un dépôt de câbles. De tels programmes doivent être mis en place dans les centrales nucléaires en particulier pour une exploitation en extension de la durée de vie à l'origine prévue par autorisation.

10 Tests de câbles pour l'exploitation à long terme

Les autorisations d'exploitation des centrales nucléaires font l'objet d'extension pour permettre celle-ci jusqu'à 60 ans et des discussions ont eu lieu pour étendre celle-ci à 80 ans et même plus. Evidemment, pour une exploitation pendant 80 ans et même au-delà, plusieurs composants doivent être remplacés, y compris des petits composants, tels que des pompes, des vannes, des capteurs, des transmetteurs ou des gros composants tels que des générateurs de vapeur ou même des cuves de réacteur. Cependant, le remplacement global des câbles est plutôt problématique et on essaie normalement de l'éviter en utilisant d'autres solutions. Les méthodes de tests des câbles et de surveillance de leur état telles que celles décrites ici sont des solutions alternatives ou permettent de déterminer quel câble doit être remplacé à partir des résultats de test des câbles ou des tendances d'évolution de ces résultats, ainsi que des données relatives à la surveillance de leur état.

Annexe A (informative)

Composants classiques d'un câble électrique

Les câbles électriques utilisés pour les applications industrielles comprennent généralement les composants suivants (Figure A.1):

- **Conducteurs**

Le cuivre, l'aluminium, le nickel, l'or et l'argent sont de bons conducteurs électriques et peuvent être utilisés pour les câbles. Parmi ceux-ci, le cuivre est le matériau le plus communément utilisé pour les câbles du fait de son excellente conductivité et de son coût raisonnable.

Les conducteurs de câbles sont généralement constitués de plusieurs brins pour des raisons de flexibilité et d'un seul brin pour la rigidité.

- **Isolation**

Les conducteurs de câbles sont généralement isolés avec des matériaux diélectriques qui présentent une résistivité élevée aux courants électriques. De plus, il convient que le matériau isolant du câble soit résistant à l'eau, aux produits chimiques, à l'abrasion, à la chaleur et limite la propagation de la flamme en cas d'incendie. De nombreux matériaux polymère peuvent être utilisés pour l'isolation des câbles. Ceci comprend les composants en polychlorure de vinyle (PVC), les composants en polyéthylène, et les élastomères.

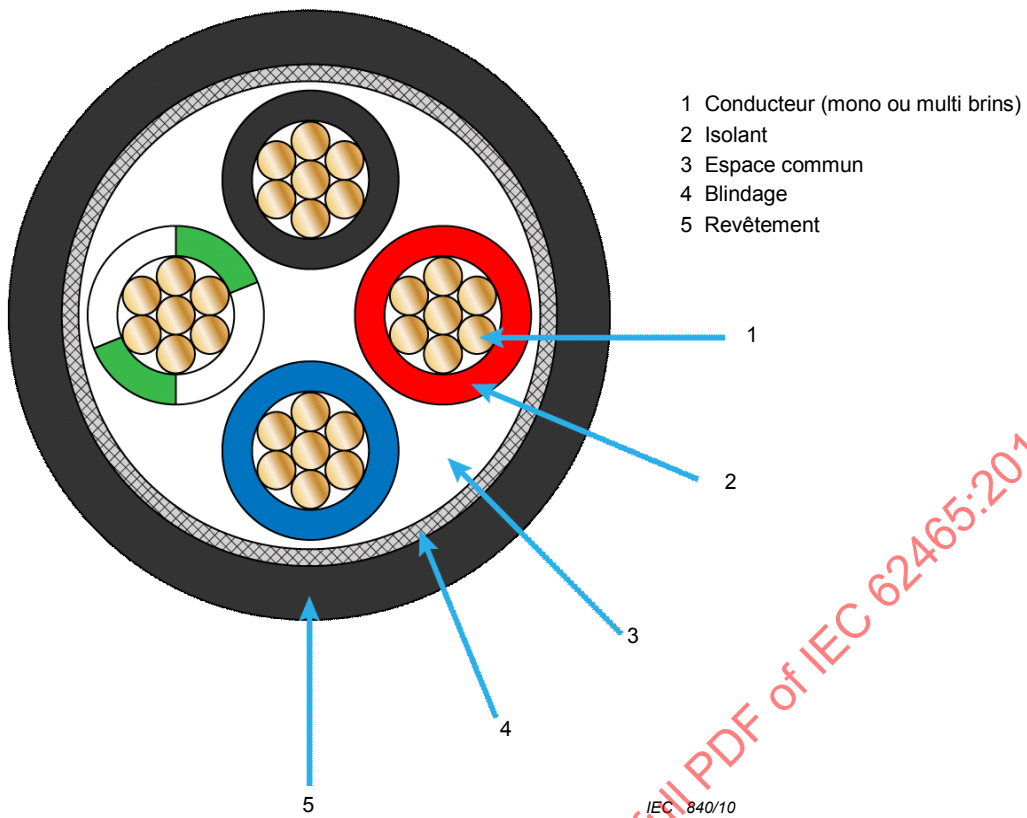
- **Blindage**

Le blindage est utilisé dans la fabrication des câbles pour assurer un niveau d'immunité au bruit et aux interférences avec les fréquences radio et électromagnétiques (IME/IFR). Le blindage des câbles peut être réalisé par une feuille et/ou une tresse. Les blindages par feuille sont généralement réalisés à l'aide d'une fine couche d'aluminium déposée sur un film polyester. Un fil de masse est parfois utilisé en plus du blindage par feuille pour relier le blindage à la terre. Les blindages par tresse sont généralement faits de cuivre ou d'aluminium.

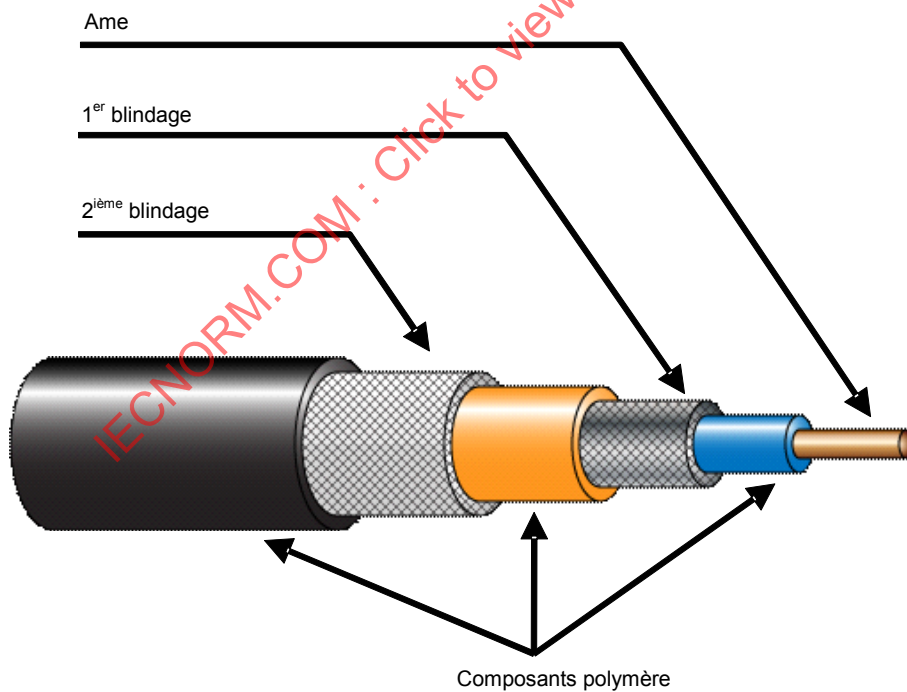
- **Revêtement**

Une couche de revêtement est utilisée pour recouvrir les câbles et pour assurer une protection physique et une robustesse mécanique. Le matériau du revêtement pour un câble est habituellement choisi en fonction de l'ambiance dans laquelle sera utilisé le câble. Généralement, les revêtements de câbles sont faits de matériaux comparables à ceux utilisés pour l'isolement ou pour la tenue diélectrique.

Des exemples de câbles couverts par la présente norme sont présentés dans la Figure A.1.



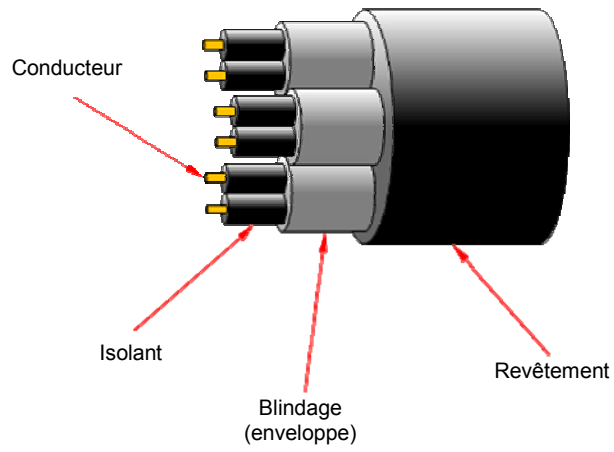
a) Câble de puissance



a) Câble triaxial

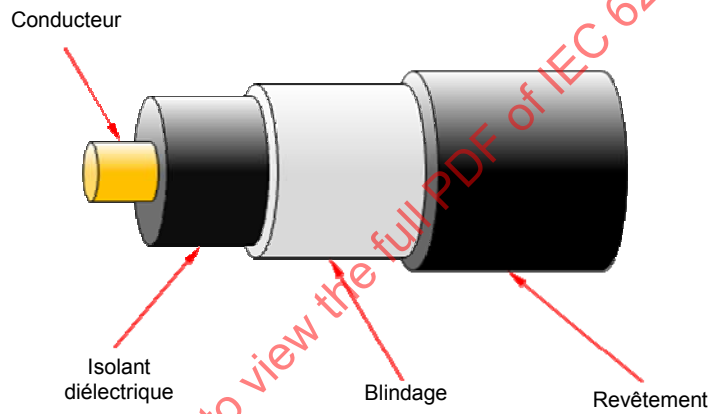
IEC 841/10

Figure A.1 – Exemples de câbles couverts par la présente norme



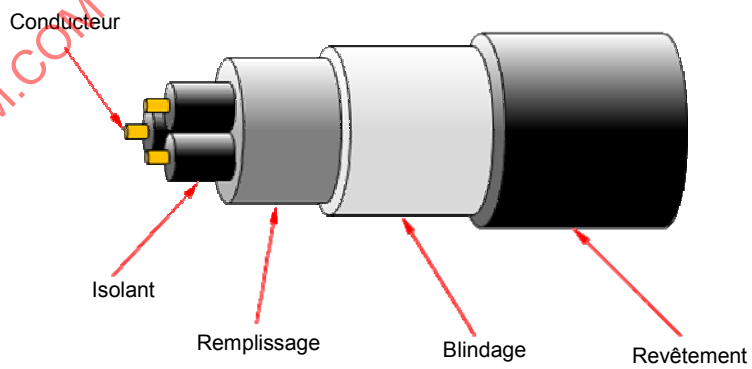
IEC 842/10

c) Câble d'instrumentation en paire torsadée



IEC 843/10

d) Câble d'instrumentation co-axial



IEC 844/10

e) Câble de contrôle blindé multiconducteurs (aussi appelé câble multicœur)

Figure A.1 (Suite)

Annexe B (informative)

Techniques d'essai des câbles

B.1 Généralités

Il existe des techniques d'essai et de maintenance de câbles passives et actives. Quelques exemples de ces techniques sont fournis ci-dessous.

B.2 Techniques passives

Les méthodes classiques basées sur la vue, le toucher et l'odorat sont des outils efficaces pour détecter les problèmes de câble. Ces outils peuvent être mis en œuvre par des procédures simples, comprenant les suivantes:

- **Inspection physique ou visuelle:** inspection des câbles à la recherche de fissures, examen de la texture et identification des changements de couleurs. Des informations de base ainsi que l'expérience sont souvent cruciales pour la détection des problèmes par inspection physique et visuelle.
- **Taille:** inspection du câble pour identifier les gonflements, les rétrécissements et les déformations.
- **Nettoyage:** enlèvement des salissures, des lubrifiants, des solvants ou des produits chimiques étrangers.
- **Surveillance de l'environnement:** surveillance des conditions d'environnement du câble telles que la température, l'humidité, les rayonnements ou les vibrations.
- **Thermographie:** utilisation de la thermographie pour localiser les points chauds sur les câbles, les connecteurs et les composants du système de câblage. Cette méthode est souvent utile aux extrémités des câbles (par exemple dans les tableaux électriques).
- **Comportement durant le fonctionnement de la centrale:** signaux anormaux, pics et autres phénomènes, fournissent alors que la centrale fonctionne, des indices sur des problèmes.

B.3 Techniques actives

Il y a tout un panel de techniques d'essai et de maintenance actives des câbles, y compris les essais électriques, les essais mécaniques et les essais chimiques. Cet article propose une revue de certaines techniques électriques de base. Les descriptions des essais chimiques ou mécaniques qui peuvent être utilisés pour la surveillance de l'environnement des matériaux isolants des câbles sont fournies par d'autres normes CEI.

Les essais électriques des câbles sont utilisés pour vérifier l'état des conducteurs, des connecteurs et dans une moindre mesure, des matériaux isolant les câbles. Quelques exemples d'essais électriques sont fournis ci-dessous:

- a) mesures de résistance en courant continu, d'impédance en courant alternatif, et de résistance d'isolement. Ces mesures comprennent les mesures de la capacité (C), de l'inductance (L), et de la résistance (R). Ces trois mesures peuvent être réalisées en utilisant le même type de matériel, qui s'appelle un banc de mesure LCR. Pour les mesures de résistance d'isolement des câbles de plus de 25 ans, il convient que la tension d'essai appliquée ne dépasse pas de plus de 10 % la tension nominale de service car des tensions supérieures pourraient endommager le câble. Il convient de signaler que les mesures de résistance d'isolement fournissent des résultats de type « apte au service » « inapte au service » contrairement aux évaluations des dégradations, bien que

la prise en compte de la tendance d'évolution des résultats d'IR soit recommandée et qu'il convient de prendre des mesures si les valeurs de tendance d'évolution des résultats d'IR se situent sous les limites acceptables.

- b) Essai temporel de réflectométrie (ETR). Cet essai est utilisé pour localiser les problèmes sur le câble. Aujourd'hui c'est la plus efficace et la plus courante des techniques. C'est pour cela que cette méthode est décrite en détails dans l'Annexe C.
- c) Mesures d'index de polarisation (IP). IP est le rapport de deux mesures de résistance d'isolement. Les mesures d'isolement varient souvent suivant la durée d'application de la tension de mesure (par exemple 30 s, 1 min, 10 min, etc.). IP est le rapport de la mesure de résistance d'isolement à 10 min par rapport à celle à 1 min.
- d) Autres rapports:

Rapport des résistance d'isolement. La mesure diélectrique des débits de courant à différents moments permet de calculer un rapport indépendant de température appelé Index de Polarisation (IP). La norme IEEE 62-1978 définit l'IP comme le rapport de la valeur de la résistance d'isolement mesurée à 10 min par rapport à celle mesurée à 1 min. D'autres indicateurs de polarisation sont utilisés comme le Rapport de Polarisation (RP), qui est le rapport de la résistance d'isolement à 3 min par rapport à celle mesurée à 15 s, et le Rapport d'Absorption Diélectrique (RAD) qui est le rapport de la résistance d'isolement à 60 s par rapport à celle à 30 s.

Des rapports faibles (<0,1) associés à des résistances faibles indiquent parfois des brèches au niveau des matériaux isolants. La cause la plus fréquente de ce genre de dégradation est l'absorption microscopique d'eau qui entraînent des concentrations ioniques et une plus grande mobilité diélectrique des atomes.

Un autre paramètre peut être mesuré pour caractériser l'état du câble. Celui ci est appelé Rapport d'Absorption Diélectrique (RAD). Comme pour l'index de polarisation, il est le rapport de deux mesures de résistance d'isolement une sur un intervalle de 60 secondes et une autre sur un intervalle de 30 s. Le tableau suivant permet d'identifier l'état du matériau isolant du câble à partir des valeurs de IP et de RAD.

Etat de l'isolant du câble	<u>RAD (Rapport 60/30 s)</u>	<u>IP (Rapport 10/1 min)</u>
Excellent	> 1,6	> 4
Bon	1,4 – 1,6	2-4
Suspect	1,0 – 1,3	1-2

Il convient de noter que les mesures de résistance d'isolement sont souvent difficiles à réaliser et que les mesures de RAD et de IP peuvent ne pas être très fiables.

Plusieurs méthodes d'essais électriques nouvelles (méthodes de mesures électriques réparties) ont été récemment mises au point et proposées, telles que l'essai de réflectométrie dans le domaine des fréquences (RDF) et l'essai de réflectométrie dans les domaines temporel et des fréquences (RDTF), et l'analyse de résonance de l'impédance de la ligne (ARIL). Ces méthodes sont en cours d'évaluation en vue de servir comme méthodes de surveillance de l'état des câbles.

B.4 Importance des mesures de base

La corrélation entre les résultats des essais électriques réalisés sur les câbles et l'état des câbles est souvent fragile et l'interprétation des résultats des essais réalisés sur les câbles n'est pas toujours facile. Plus particulièrement, de petites variations dans les résultats des essais réalisés sur les câbles peuvent être ou ne pas être indicatives de dégradation des matériaux composant le câble. De la même façon, de petites dégradations peuvent être négligées pour ce qui concerne les propriétés du câble qui peuvent être évaluées en utilisant les méthodes décrites ici. Pour ces raisons, les mesures et les expérimentations de base sont habituellement importantes pour l'interprétation des résultats des essais électriques réalisés sur des câbles.