

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Power transformers –
Part 25: Neutral grounding resistors**

**Transformateurs de puissance –
Partie 25: Résistances de mise à la terre du neutre**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60076-25:2023



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2023 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

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

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

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

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Power transformers –
Part 25: Neutral grounding resistors**

**Transformateurs de puissance –
Partie 25: Résistances de mise à la terre du neutre**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.180

ISBN 978-2-8322-6431-7

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

CONTENTS

FOREWORD.....	4
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	7
4 Service conditions	9
5 Ratings.....	9
5.1 Rated ambient temperature.....	9
5.2 Rated resistance (R)	9
5.3 Maximum resistance variation	9
5.4 Rated time	9
5.5 Rated voltage (U_r)	9
5.6 Rated insulation level.....	10
5.7 Rated short time current	10
5.8 Rated continuous current	10
5.9 Rated frequency	10
6 Rating plates (Nameplates)	11
6.1 General.....	11
6.2 Minimum information to be provided.....	11
7 Design and construction	11
7.1 General.....	11
7.2 Resistive elements.....	11
7.3 Resistive banks.....	12
7.4 Electrical connections	12
7.5 IN and OUT terminals	12
7.5.1 General	12
7.5.2 IN terminal.....	12
7.5.3 OUT terminal.....	12
7.6 Insulators.....	13
7.6.1 General	13
7.6.2 Insulators between resistive elements	13
7.6.3 Insulators between resistor banks and enclosure	13
7.6.4 Creepage distance.....	13
7.7 Enclosure	13
7.7.1 Protection against contact with live parts, ingress of solid foreign bodies and water	13
7.7.2 Design	13
7.7.3 Protection against corrosion	14
8 Tests	14
8.1 General.....	14
8.2 Test classifications	14
8.2.1 Routine tests	14
8.2.2 Type tests.....	14
8.2.3 Special tests	15
8.3 Test documentation	15
8.4 Routine tests.....	15
8.4.1 Visual inspection and dimensional verification	15

8.4.2	Rated resistance measurement.....	15
8.4.3	Power frequency withstand voltage test	15
8.4.4	Insulation resistance	16
8.5	Temperature rise tests	17
8.5.1	General	17
8.5.2	Continuous current duty.....	17
8.5.3	Rated time duty	17
8.5.4	Tolerances	18
8.5.5	Acceptance criteria	18
8.6	Special tests	18
8.6.1	Inductance measurement.....	18
8.6.2	Lightning impulse test.....	18
8.6.3	Mechanical design verification	18
8.6.4	Protection degree of enclosure	19
Annex A (informative)	Resistance variation	20
A.1	General.....	20
A.2	Material properties	20
A.3	Effect of NGR resistance variation	20
A.4	Rate of variation	21
A.5	Consecutive faults	22
A.6	Protection coordination	22
A.7	System capacitive charging current.....	22
A.8	Conclusion.....	22
Bibliography		23
Figure A.1	Ground fault protection settings example	21
Table 1	Rated insulation levels.....	10
Table 2	Maximum temperature rises above ambient for resistive elements.....	12
Table 3	Tests classifications	14
Table A.1	Resistance and current change with temperature rise	21

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

POWER TRANSFORMERS –**Part 25: Neutral grounding resistors****FOREWORD**

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

IEC 60076-25 has been prepared by IEC technical committee 14: Power transformers. It is an International Standard.

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

Draft	Report on voting
14/1097/FDIS	14/1101/RVD

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

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

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

A list of all parts in the IEC 60076 series, published under the general title *Power transformers*, can be found on the IEC website.

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60076-25:2023

POWER TRANSFORMERS –

Part 25: Neutral grounding resistors

1 Scope

This part of IEC 60076 applies to dry type natural air-cooled resistors, for neutral grounding of transformers and generators, in order to limit the earth fault current in power systems by means of metallic resistive elements.

For the purposes of this document, the resistor can be:

- used alone or in combination with other electrotechnical products not covered by this document, such as (but not limited to): a step-down single-phase transformer, an open triangle or zig-zag transformer (where the neutral point is not available) and a Petersen coil reactor (in order to increase active power contribution to the fault or reduce time constant for proper protection operation or both);
- designed, manufactured and verified on a one-off basis or fully standardized and manufactured in quantity.

Both terms "neutral grounding resistor" (NGR) and "neutral earthing resistor" (NER) can be used. However, for the purposes of this document and in order to avoid any confusion with "neutral earthing reactor" (NER), the term "neutral grounding resistor" (NGR) is used.

This document specifies:

- the characteristics of the NGR;
- the service conditions requirements for NGRs;
- the tests and test methods for confirming that these conditions have been met;
- the requirements relating to marking for NGRs.

Annex A provides guidance on how to consider the effect of resistance variation with temperature.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60060-1:2010, *High voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 60071-2, *Insulation co-ordination – Part 2: Application guidelines*

IEC 60076-3:2013, *Power transformers – Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air*

IEC 60076-3:2013/AMD1:2018

IEC 60529, *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*

IEC 60529/AMD1:1999

IEC 60529/AMD2:2013

3 Terms and definitions

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

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

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

3.1

NGR

neutral grounding resistor

neutral grounding device where the principal element is resistance

3.2

resistive element

unitary current carrying conductor, usually in the form of grids, plates, strips, ribbons or wires and which can have intermediate tapings

3.3

resistive bank

sub-assembly consisting of one or multiple resistive elements supported by the same structure

Note 1 to entry: One or multiple resistive banks form a complete NGR.

3.4

IN terminal

higher voltage terminal of the NGR, connected to the grounded equipment's neutral terminal

3.5

OUT terminal

lower voltage terminal of the NGR, connected to earth

3.6

rated short time current

I_{str}

value of the initial RMS current upon the application of the rated voltage

3.7

continuous current

I_r

steady state RMS value of current

3.8

extended time

period of time that is greater than the time required for the temperature rise to become constant but limited to 90 days of operation per year

3.9

highest voltage for equipment

U_m

highest RMS phase to neutral voltage for which the NGR is designed in respect of its insulation

3.10**power frequency withstand voltage** U_d

RMS value of sinusoidal power frequency voltage that the insulation of the NGR can withstand during tests made under specified conditions and for a specified duration

3.11**impulse withstand voltage** U_p

highest peak value of impulse voltage of specified form and polarity which does not cause breakdown of insulation under specified conditions

3.12**protective earthing terminal**

terminal connecting the NGR's enclosure to earth for protective purposes

3.13**working voltage** U_w

highest RMS value of the AC or DC voltage across any particular insulation which can occur when the equipment is supplied at rated voltage

3.14**temperature coefficient of resistance**

parameter describing the change in resistance relative to a given change in temperature

Note 1 to entry: The temperature coefficient of resistance is expressed by:

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1(\theta_2 - \theta_1)} \quad (1)$$

where

R_1 and R_2 are resistances, in Ω , at temperatures θ_1 and θ_2 , in $^{\circ}\text{C}$, respectively, and

α is the temperature coefficient of resistance, expressed in K^{-1} , for the temperature variation between θ_2 and θ_1 .

3.15**uniform insulation**

insulation of an NGR where all the active material have the same insulation level towards the enclosure

3.16**non-uniform insulation**

insulation level throughout the NGR construction that is graded based on the rated voltage at each part of the construction i.e. connections, banks and elements and where the OUT terminal is intended for direct connection to earth

3.17**duty cycle**

specified sequence of ratings, each of them having a different combination of rated time and rated current or voltage

4 Service conditions

Unless otherwise specified, NGRs conforming to this document are intended for use under the normal service conditions described in IEC 60076-1.

For installations at an altitude higher than 1 000 m, the required insulation level shall be corrected using the correction factor provided in IEC 60071-2.

5 Ratings

5.1 Rated ambient temperature

Unless otherwise specified, the rated ambient temperature shall be 20 °C.

5.2 Rated resistance (R)

The rated resistance is the specified resistance between the IN terminal and OUT terminal at the rated ambient temperature.

Unless otherwise stated, the tolerance of the rated resistance value is $\pm 10\%$.

5.3 Maximum resistance variation

The purchaser shall also specify the maximum allowable variation of resistance at the maximum temperature rise in per cent of rated resistance.

NOTE Certain applications such as high impedance grounding or sensitive networks can require a maximum variation as low as 10 % whereas others can accept a variation as high as 100 %. See Annex A for guidance.

5.4 Rated time

The rated time is the time the NGR shall withstand the rated voltage and the specified combination of rated short time current and rated continuous current.

The rated time shall be specified by the purchaser.

Typical rated times are 3 s, 5 s, 10 s, 30 s and 60 s, extended time or continuous.

If a duty cycle is to be considered it shall be detailed in the technical specification.

5.5 Rated voltage (U_r)

When the NGR is connected directly between the neutral point and the earth the rated voltage across the NGR is the phase to neutral voltage and is equal to the nominal system voltage for which the equipment is designed, divided by the square root of three.

$$U_r = \frac{U}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

In some specific cases, the rated voltage can be different, for example, for resistors installed on the low voltage side of a step-down transformer or for resistors installed in series or parallel to a neutral earthing reactor.

In the case of combined equipment, for example neutral grounding resistors and zig zag transformers, IEC 62271-1 applies.

NOTE Standard values of system voltages (U) are given in IEC 60071-1 for system voltages above 1 000 V and in IEC 60664-1 for system voltages below 1 000 V.

5.6 Rated insulation level

The rated voltage U_r as defined in 5.5 shall be the basis to determine the rated insulation level and clearance distances in air in Table 1 chosen as the next standard value of U_m equal to or higher than U_r .

Table 1 – Rated insulation levels

Highest voltage for equipment U_m kV (RMS value)	Rated short-duration power-frequency withstand voltage U_d kV (RMS value)	Rated lightning impulse withstand voltage U_p kV (peak value)	Minimum air clearance mm (IEC 60076-3:2013, Table 4), except for $U_m = 1\text{ kV}$
1,0	2,2	12	14
3,6	10	40	60
7,2	20	60	90
12	28	75	120
17,5	38	95	160
24	50	125	220
36	70	170	320
52	95	250	480
72,5	140	325	630
100	185	450	900
123	230	550	1 100
145	275	650	1 300
170	325	750	1 500
245	460	1 050	2 100

Other rated insulation levels according to national standards may be used if specified by the purchaser.

5.7 Rated short time current

The rated short time current shall be specified by the purchaser.

5.8 Rated continuous current

The rated continuous current shall be specified by the purchaser.

NOTE The rated continuous current, usually due to imbalances, is an additional rating to a resistor that has a rated time duty that is not continuous.

5.9 Rated frequency

The rated frequency shall be the system's frequency.

NOTE The standard values of the rated frequency are 50 Hz and 60 Hz.

6 Rating plates (Nameplates)

6.1 General

The NGR shall be provided with a rating plate, fitted in a visible position. It shall be fabricated with weatherproof materials and be able to withstand the NGR's enclosure temperature. The entries on the plate shall be indelibly marked (for example by etching, engraving or stamping).

6.2 Minimum information to be provided

- a) manufacturer's name;
- b) manufacturing location;
- c) year of manufacture;
- d) type designation or identification number or any other means of identification, making it possible to obtain relevant information from the manufacturer;
- e) number of this standard;
- f) rated resistance (R) at ambient temperature;
- g) maximum temperature rise;
- h) maximum change in resistance (%);
- i) ambient temperature;
- j) rated voltage (U_r);
- k) highest voltage for equipment (U_m);
- l) rated power frequency voltage (U_d);
- m) rated impulse withstand voltage (U_p);
- n) rated short time current (I_{str});
- o) rated continuous current (I_r);
- p) rated frequency (f_r);
- q) rated time (T);
- r) total mass;
- s) degree of protection.

7 Design and construction

7.1 General

The design and construction of the NGR shall consider the dielectric, thermal and mechanical effects of its operation and the environmental conditions.

7.2 Resistive elements

The design and materials of resistive elements shall withstand the NGR's operating temperature range, successive heating-cooling cycles and environmental stresses. The maximum temperature rises are given in Table 2.

Table 2 – Maximum temperature rises above ambient for resistive elements

Rated time	Maximum temperature rise K
Equal or less than 60 s	760
Extended time and less than 10 min	610
Continuous	385

The temperature rise is the difference between the temperature of the resistive elements at the end of the rated time and the ambient temperature.

NOTE The temperature rise limits given in Table 2 are absolute maximum values, the maximum applicable temperature rise can be lower depending on the resistive element design.

7.3 Resistive banks

Resistive banks shall have a design capable of withstanding the mechanical and thermal stresses likely to be encountered during operation.

Appropriate measures shall be taken as to preserve the electrical insulation between elements and between live parts and support structures and enclosures.

Insulation coordination shall be maintained under the effect of thermal expansion.

7.4 Electrical connections

The connections between resistive elements within the resistive banks shall be appropriate to ensure adequate current carrying capacity at all operating temperatures.

The connections between resistive elements of different banks and between elements and the IN and OUT terminals shall have designs capable of withstanding the thermal and mechanical stresses likely to be encountered within the enclosure.

7.5 IN and OUT terminals

7.5.1 General

The IN and OUT terminals shall be clearly marked and identified.

Insulation materials of wall bushings shall withstand the mechanical and thermal stresses likely to be encountered during operation.

7.5.2 IN terminal

The IN terminal shall be rated to the NGR's rated insulation level.

7.5.3 OUT terminal

The OUT terminal shall be insulated from the enclosure and from protective earthing terminal.

Unless otherwise specified the NGR shall have an OUT terminal insulated from the enclosure by a minimum U_m rating of 1 kV (according to Table 1).

7.6 Insulators

7.6.1 General

Insulators shall be able to withstand the mechanical and thermal stresses likely to be encountered during operation.

7.6.2 Insulators between resistive elements

Insulators between adjacent resistive elements and between resistive elements and any other part that are in direct contact with the element's surface shall be fabricated with materials capable of withstanding the NGR's operating temperature range and successive heating-cooling cycles.

7.6.3 Insulators between resistor banks and enclosure

Insulators between resistor banks and enclosure shall be coordinated with the NGR's rated insulation level.

7.6.4 Creepage distance

If a specific creepage distance is specified, the creepage distance calculation shall be based on the working voltage U_w .

NOTE 1 It is common practice to consider the internal insulation of an NGR whose enclosure has a degree of protection of IP23 or higher as indoor insulation.

NOTE 2 Considering that the insulators are not subject to the same environment load as the outdoor ones, it is common practice to have a lower creepage distance in indoor insulation.

7.7 Enclosure

7.7.1 Protection against contact with live parts, ingress of solid foreign bodies and water

The degree of protection provided by the NGR's enclosure against contact with live parts, ingress of solid foreign bodies and water is indicated by the IP code according to IEC 60529 and verified according to 8.6.4.

The NGR's enclosure shall be suitably ventilated to dissipate the heat generated during operation.

NOTE The degree of protection IP 23 is considered as an optimum compromise between protection and ventilation for outdoor installation for most environments.

7.7.2 Design

7.7.2.1 Warning labels

Appropriate warning labels shall be installed, for example "HOT SURFACE" and "HIGH VOLTAGE" where they are visible and legible when the NGR is installed and operating. They shall be fabricated with weatherproof materials and be able to withstand the NGR's enclosure temperature.

7.7.2.2 Handling and lifting

The NGR's enclosure shall be provided with means to facilitate handling and lifting without compromising its designed voltage withstand capabilities or its degree of protection.

If the NGR's mass is above 25 kg, provision shall be made for mechanical lifting.

7.7.2.3 Protective earthing terminal

An NGR with an earthed metallic enclosure shall have at least one protective earthing terminal, with all non-current-carrying parts that are intended to operate at earth potential bonded to the earthing terminal and shall be clearly marked by the means of a protective earthing sign.

7.7.3 Protection against corrosion

Suitable protection measures against corrosion shall be used considering the high temperature likely to be encountered during an earth fault event.

If the customer has specific requirements for corrosion protection, they shall be added in the technical specification.

NOTE Typical corrosion protection measures for the enclosure are galvanization or the use of naturally corrosion resistant materials, such as stainless steel or aluminium for their good thermal withstand.

8 Tests

8.1 General

The tests listed in Table 3 are applicable to NGRs.

Table 3 – Tests classifications

Test	Routine	Type	Special
Visual inspection and dimensional verification	X		
Rated resistance measurement	X		
Power frequency withstand voltage test	X		
Insulation resistance measurement	X		
Temperature rise test		X	
Inductance measurement			X
Lightning impulse test			X
Mechanical design verification			X
Degrees of protection test			X

If accepted by the purchaser, the manufacturer can provide the result of the type or special test of a similar unit or both, together with a declaration stating the similarity between units and the justification of the applicability.

8.2 Test classifications

8.2.1 Routine tests

Routine verification is intended to detect faults in materials and workmanship and to ascertain the proper function of the manufactured NGR. The routine test shall be performed on every NGR. When required and with agreement of the purchaser some routine tests may be performed at different stages of assembly. The manufacturer shall provide test evidence for all stages.

8.2.2 Type tests

Type testing is intended to verify that the design of the resistor complies with the requirements of the purchaser and this document. It is carried out on a single unit of a specific rating and design.

8.2.3 Special tests

Special tests are performed only when explicitly requested by the purchaser. They are carried out on a single unit, usually the same on which the type tests are carried out, except if otherwise agreed with the manufacturer.

8.3 Test documentation

All test reports shall contain at a minimum the following information:

- manufacturer;
- unique identification (i.e. serial number);
- general arrangement drawing number reference and revision on date of tests;
- date of tests;
- rated parameters to be tested (i.e. resistance, power frequency voltage, etc.);
- applicable IEC test standard and related test parameters;
- acceptance criteria;
- measured value;
- ambient conditions;
- list of measurement instruments used with manufacturer name, type and serial number;
- temperature coefficient of resistance used for resistance measurement correction.

8.4 Routine tests

8.4.1 Visual inspection and dimensional verification

The construction of the resistor shall be inspected such that it complies with the approved technical documentation and the relevant points in this document. The following should be checked at a minimum:

- appropriate air gap clearances;
- labels, terminal markings and rating plates;
- the dimensions of enclosure and interface points match general arrangement drawing.

8.4.2 Rated resistance measurement

The overall resistance shall be measured to verify if it complies with the rated resistance (R) design value within its tolerance. The resistance shall be measured with direct current.

The measured value shall be corrected to the ambient temperature using the resistive element's temperature coefficient of resistance.

8.4.3 Power frequency withstand voltage test

8.4.3.1 General

A power frequency withstand voltage test shall be performed across each of the insulation layers mentioned in 8.4.3.2, 8.4.3.3 and 8.4.3.4.

The power frequency withstand voltage test shall be performed as described in IEC 60060-1:2010, 6.3.1.

8.4.3.2 Power frequency withstand voltage test within internal assembly

The test shall be performed between each live part of the bank and the bank supporting metallic structure.

The test voltage will be determined by the following relation:

Power frequency test voltage U_d

$$U_d = 2,25 \times U_w + 2 \text{ kV} \quad (3)$$

where

U_w is the working voltage across the insulation layer.

In case a functional insulation stage is short-circuited by equipotential bonding connections (in order to optimize electric potential differences), these connections shall be removed when testing that particular insulation stage.

8.4.3.3 Power frequency withstand voltage test between resistor banks

With the resistor banks disconnected from each other, the test shall be performed between support frames of two adjacent banks.

The test voltage shall be determined using Formula (3).

The procedure shall be repeated until all adjacent banks are tested.

8.4.3.4 Power frequency withstand voltage test on complete assembly

8.4.3.4.1 General

Depending on the insulation design across the resistor this test can be carried out in the most appropriate method of the following ones.

8.4.3.4.2 Uniform insulation

The test shall be performed between the active elements and the enclosure.

The test voltage shall be U_d .

Potential bonding links between the active elements and the enclosure shall be removed for the duration of these tests.

8.4.3.4.3 Non-uniform insulation

Links between resistor banks connected in series may be removed for the duration of these tests. The OUT terminal shall be disconnected.

The tests shall be performed between active elements of each bank and the enclosure.

The test voltage U_d shall be calculated according to Formula (3).

8.4.4 Insulation resistance

Insulation resistance shall be measured between the active part and the enclosure at a minimum of 1 000 V DC. This shall be done after the power frequency withstand voltage test described in 8.4.3.

The minimum acceptable value in factory conditions is 100 M Ω for resistors with U_m above 1 000 V and 10 M Ω for resistors with U_m up to 1 000 V.

Potential bonding links between the active elements and the enclosure, if any, shall be removed for the duration of these tests.

NOTE Insulation resistance measurement performed on site can vary due to environmental conditions.

8.5 Temperature rise tests

8.5.1 General

The temperature rise test (or heat run test) shall be performed in order to verify that the resistor elements temperature does not exceed the acceptable temperature in any point.

If the resistor is made of several identical units, each one in a separate enclosure with no thermal interferences among each other, it is permitted to perform the test on one unit only.

The temperature shall be measured using the direct measurement method of resistive elements, i.e., temperature sensors applied directly to the resistive elements.

It is acceptable to create holes in the enclosure in order to extract the thermocouples, provided that the installation of the temperature sensors does not affect the ventilation of the NGR.

Measurement point(s) shall be agreed between purchaser and manufacturer with the aim to include the closest point to the hot spot.

At least two measurement points shall be provided, one being placed at the top bank close to the centre.

NOTE 1 Thermocouples welded directly on the active element without additional mass is considered an appropriate measurement method.

NOTE 2 The certification body or test laboratory can give its advice on the position of the sensors.

8.5.2 Continuous current duty

Where applicable, the rated continuous current shall circulate in the resistor until the resistor elements temperature stabilizes. It is considered to have stabilized when three consecutive temperature readings at 10 min intervals do not vary by more than 3 K.

8.5.3 Rated time duty

The rated voltage shall be applied over the rated time.

If the rated time is specified as continuous, the voltage shall be applied until the resistive element's temperature stabilizes. It is considered to have stabilized when three consecutive temperature readings at 10 min intervals do not vary by more than 1 %.

If the test is performed on one enclosure out of multiple ones, the voltage to be applied during the test shall be the rated voltage divided by the number of enclosures connected in series.

If the rated voltage exceeds the laboratory limitations, the resistor connections can be arranged in order to have the pro rata of the rated voltage applied on each bank provided that the energy injected in the resistor is the same.

For non-continuous rated time, if the initial power to be supplied to the resistor exceeds 50 MW, it is permitted to perform the test on a scaled down prototype having the following aspects identical to the original resistor: resistive banks, enclosure volume to resistive banks number ratio, protection degree and ventilation openings cross-section to resistive banks number ratio. The prototype shall be agreed between the purchaser and manufacturer.

The temperature shall be monitored even after the removal of the applied voltage, until it starts decreasing. This is to ensure that the maximum temperature is recorded.

8.5.4 Tolerances

The tolerance on the voltage is $\pm 5\%$. The tolerance is not applicable to the switching time that has a duration of a few milliseconds.

The tolerance on the current is $\pm 5\%$.

The tolerance shall be applied to the quantity kept at a constant value; the other quantity being determined by Ohm's law.

The tolerance on the testing time is -0% , $+5\%$.

8.5.5 Acceptance criteria

The temperature rise test is considered successful if:

- the maximum temperature measured of the elements did not exceed the sum of the ambient temperature during the test and the maximum temperature rise defined in Table 2,
- the resistor passes the routine testing procedures in 8.4.1, 8.4.2, 8.4.3.2, 8.4.3.4, 8.4.4 and,
- the resistance variation does not exceed the maximum acceptable value according to 5.2, and
- there is no visual breakage or deterioration.

If a rated continuous current and a limited rated time (e.g. 10 s) are specified together, the temperature rise of the two loads shall be considered and the sum of the temperature rise of both loads taken separately shall not exceed the limited rated time duty maximum temperature rise as defined in Table 2. It is also allowed to preheat the resistor to the temperature recorded after the continuous current duty and then perform the limited rated time test.

If more complex duty cycles are specified, the purchaser and manufacturer shall agree on the test sequence and acceptance criteria.

8.6 Special tests

8.6.1 Inductance measurement

If required by the purchaser, the inductance shall be measured at 1 kHz.

8.6.2 Lightning impulse test

The test is applicable only to NGRs having a uniform insulation. The test shall be performed between the IN terminal and enclosure following IEC 60060-1.

8.6.3 Mechanical design verification

If required by the purchaser, the mechanical withstand of the NGR to environmental conditions may be verified. The verification method shall be agreed between the purchaser and the manufacturer.

8.6.4 Protection degree of enclosure

If required by the purchaser, the complete, or partial, protection degree test may be performed following IEC 60529.

With reference to IEC 60529:1989, 13.4 and IEC 60529:1989/AMD1:1999, 13.4, the enclosure shall be considered as category 2 if ventilation openings are present.

With regards to IEC 60529:1989, 13.5.2, the acceptance condition shall be agreed in advance between the manufacturer and the purchaser considering the pollution environment to which the NGR will be subjected.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60076-25:2023

Annex A (informative)

Resistance variation

A.1 General

This Annex A provides guidance on factors that can impact the variation of the resistance of an NGR during an earth fault. It also provides advice on how to accommodate the variation of resistance in the system protection scheme.

A.2 Material properties

A wide range of materials can be used in the manufacture of NGR elements. The majority of materials used are metallic and have a positive temperature coefficient of resistivity. The temperature coefficient of resistivity is the property that causes the resistance to increase with temperature.

The temperature coefficient of resistivity is not the only material property that can require to be considered when designing a resistor. Depending on the location of the NGR it can be necessary to also consider the corrosion resistance of the material. Examples of environments that can require additional corrosion protection measures to be taken include coastal areas impacted by windblown salt sea spray, offshore facilities, and areas exposed to high concentrations of hydrogen sulphide (H₂S) and sulphur dioxide (SO₂).

A.3 Effect of NGR resistance variation

The NGR resistance changes to some extent with temperature. The change may be calculated from the average temperature coefficient of resistivity of the alloy used.

From the temperature coefficient of resistance defined in 3.14:

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1(\theta_2 - \theta_1)}$$

then the final resistance value can be calculated as:

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(\theta_2 - \theta_1)]$$

The temperature coefficient of resistance is a property of the alloy used to manufacture the resistor elements. This data is readily available from steel mills or manufacturers. Some typical alloys that can be used in neutral grounding resistors and their corresponding temperature coefficient of resistivity is shown in Table A.1.

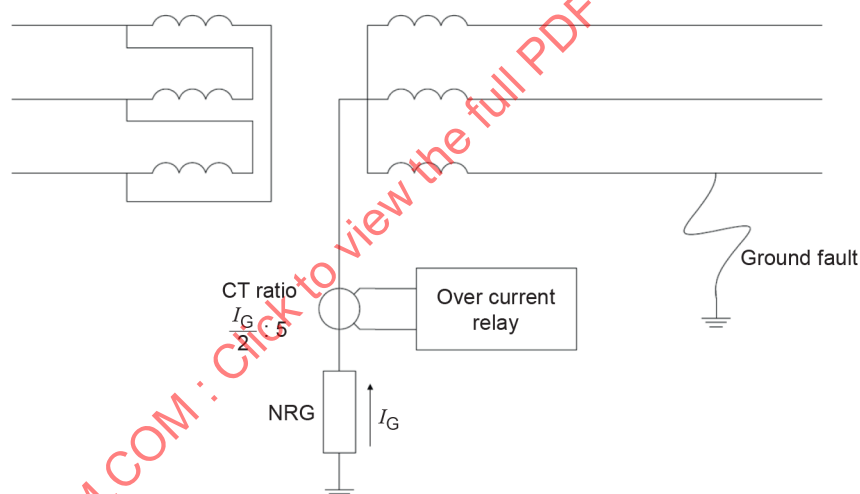
For a temperature rise of 760 K and 400 K the final resistance values and their corresponding currents can be calculated as reported in Table A.1 for an NGR rated $U_r = 8\,000\text{ V}$, $R_1 = 20\ \Omega$ and $t = 10\text{ s}$.

Table A.1 – Resistance and current change with temperature rise

Alloy	Initial fault current, I_0 and R_1 at $t = 0$ s	Temperature rise 760 K		Temperature rise 400 K	
		α with 760 K rise from 20 °C ambient	final fault current and R_2 at $t = 10$ s	α with 400 K rise from 20 °C ambient	final fault current and R_2 at $t = 10$ s
Alloy 1	400 A; 20 Ω	0,001 4	194 A; 41,3 Ω	0,001 5	250 A; 32 Ω
Alloy 2	400 A; 20 Ω	0,000 9	238 A; 33,7 Ω	0,001 0	286 A; 28 Ω
Alloy 3	400 A; 20 Ω	0,000 3	326 A; 24,6 Ω	0,000 4	345 A; 23,2 Ω

Alloys 1, 2, 3 and their associated α values are selected arbitrarily as examples to demonstrate the effect of temperature and resistance rise only.

Ground fault clearance requires that the ground-fault current is large enough to positively actuate the applied ground-fault relay. One method of detecting the presence of a ground fault uses an overcurrent relay. This method is presented in Figure A.1, when a ground fault occurs, the neutral potential is raised to approximately line-to-neutral voltage, resulting in current flow through the resistor. A typical turns ratio for the current transformer is indicated. Upon indication that a ground fault has occurred, action would be initiated to disconnect the transformer from the secondary circuit.



IEC

Figure A.1 – Ground fault protection settings example

As shown in Figure A.1, the CT ratio is generally selected to be one half the short time current rating of the resistor.

For protection through an NGR, the user shall observe:

- CT rating and location;
- resistor alloy material and design details such as maximum temperature rise and associated maximum resistance rise;
- relay settings.

A.4 Rate of variation

Although the variation in resistance of a short time rated NGR (e.g. 10 s rated) is not linear over the rated time, for the purpose of relay coordination it can be approximated as linear.

The rate of increase in temperature of a continuous rated time NGR can vary depending on several factors, particularly the amount of ventilation and the resistive element technology of the selected design. It is the combination of the rate of increase in temperature and the temperature coefficient of resistivity that dictates the overall variation in resistance. If the rate of increase of resistance of an NGR is required as part of the system protection scheme design, it is recommended to request this information from the manufacturer.

A.5 Consecutive faults

Modern electrical protection is generally capable of detecting an earth fault and isolating the supply within a time period much less than the time rating of an NGR. Despite this, it can be necessary to consider the impact that consecutive earth faults can have on the temperature rise of the NGR and therefore the increase in resistance.

The rate of cooling during short time periods between faults will vary depending on the thermal time constant of the selected design. In these situations, the total temperature rise can be estimated based on the total earth fault time period whether it is due to a single earth fault, or several separate faults over a short space of time. This can require to be considered when assessing the increase in resistance of a short time rated NGR. The impact on NGRs whose rated time is 30 s or higher is likely to be less significant because their increase in temperature, and therefore resistance is slower.

NOTE For example, a 10 s rated NGR typically allows for consecutive earth faults of smaller duration.

A.6 Protection coordination

The design of the earth fault protection system should consider the expected increase in resistance of the NGR during an earth fault. The protection system should reliably detect an earth fault when the NGR resistance is at the maximum expected level.

A.7 System capacitive charging current

For high impedance earthing, the zero-sequence earth fault current should not be less than the system capacitive charging current in order to maintain appropriate insulation coordination and limit transient over voltages. The impact of any increase in resistance of the NGR on the earth fault current should be considered.

A.8 Conclusion

It is the purchaser's responsibility to decide if and which limit of variation shall be specified, taking into consideration their individual network requirements and all of the technical requirements detailed in this document. The examples below provide some guidance, however are not intended to cover all scenarios. The purchaser may also specify a maximum resistance variation outside the suggested ranges if it is considered appropriate to do so.

- Networks where the fault current is limited within a range of 5 A to 20 A for personnel protection purposes. In this example the purchaser may elect to specify a maximum variation in the range of 10 % to 20 %.
- Networks subject to numerous consecutive faults where sensitivity, stability and reliability of the protection coordination is of significant importance. In this example the purchaser may elect to specify a maximum variation of 50 %.
- Networks that are not impacted by numerous consecutive faults, where the stability and reliability are dealt with in another manner. In this example the purchaser may elect to state that there is no specific requirement regarding the variation of resistance and that a maximum variation of up to 100 % is acceptable.

Bibliography

IEC 60068-3-3, *Environmental testing – Part 3-3: Supporting documentation and guidance – Seismic test methods for equipment*

IEC 60071-1, *Insulation co-ordination – Part 1: Definitions, principles and rules*

IEC 60076-1, *Power transformers – Part 1: General*

IEC 60664-1, *Insulation coordination for equipment within low-voltage supply systems – Part 1: Principles, requirements and tests*

IEC 62271-1, *High voltage switchgear and controlgear – Part 1: Common specifications for alternating current switchgear and controlgear*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60076-25:2023

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	26
1 Domaine d'application	28
2 Références normatives	28
3 Termes et définitions	29
4 Conditions de service	31
5 Caractéristiques assignées	31
5.1 Température ambiante assignée	31
5.2 Résistance assignée (R)	31
5.3 Variation maximale de la résistance	31
5.4 Durée assignée	31
5.5 Tension assignée (U_r)	31
5.6 Niveau d'isolement assigné	32
5.7 Courant de courte durée assigné	32
5.8 Courant continu assigné	32
5.9 Fréquence assignée	33
6 Plaques signalétiques	33
6.1 Généralités	33
6.2 Informations minimales à fournir	33
7 Conception et construction	33
7.1 Généralités	33
7.2 Éléments résistifs	33
7.3 Groupes résistifs	34
7.4 Connexions électriques	34
7.5 Bornes IN et OUT	34
7.5.1 Généralités	34
7.5.2 Borne IN	34
7.5.3 Borne OUT	34
7.6 Isolateurs	35
7.6.1 Généralités	35
7.6.2 Isolateurs entre les éléments résistifs	35
7.6.3 Isolateurs entre les groupes de résistances et l'enveloppe	35
7.6.4 Ligne de fuite	35
7.7 Enveloppe	35
7.7.1 Protection contre le contact avec des parties sous tension et contre la pénétration de corps étrangers solides et d'eau	35
7.7.2 Conception	35
7.7.3 Protection contre la corrosion	36
8 Essais	36
8.1 Généralités	36
8.2 Catégories d'essais	36
8.2.1 Essais individuels de série	36
8.2.2 Essais de type	37
8.2.3 Essais spéciaux	37
8.3 Documentation d'essai	37
8.4 Essais individuels de série	37
8.4.1 Examen visuel et vérification dimensionnelle	37

8.4.2	Mesurage de la résistance assignée	37
8.4.3	Essai de tension de tenue à fréquence industrielle	38
8.4.4	Résistance d'isolement	39
8.5	Essais d'échauffement	39
8.5.1	Généralités	39
8.5.2	Service en courant continu	39
8.5.3	Durée de service assignée	40
8.5.4	Tolérances	40
8.5.5	Critères d'acceptation	40
8.6	Essais spéciaux	41
8.6.1	Mesurage de l'inductance	41
8.6.2	Essai de tenue aux chocs de foudre	41
8.6.3	Vérification de la conception mécanique	41
8.6.4	Degré de protection procuré par l'enveloppe	41
Annexe A (informative)	Variation de la résistance	42
A.1	Généralités	42
A.2	Propriétés des matériaux	42
A.3	Effet de la variation de la résistance de la MALT	42
A.4	Taux de variation	44
A.5	Défauts consécutifs	44
A.6	Coordination de la protection	44
A.7	Courant de charge capacitif du réseau	44
A.8	Conclusion	45
Bibliographie		46
Figure A.1	– Exemple de paramètres de protection contre les défauts à la terre	43
Tableau 1	– Niveaux d'isolement assignés	32
Tableau 2	– Échauffements maximaux des éléments résistifs au-dessus de la température ambiante	34
Tableau 3	– Catégories d'essais	36
Tableau A.1	– Variation de la résistance et du courant sous l'effet de l'échauffement	43

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

Partie 25: Résistances de mise à la terre du neutre

AVANT-PROPOS

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

L'IEC 60076-25 a été établie par le comité d'études 14 de l'IEC: Transformateurs de puissance. Il s'agit d'une Norme internationale.

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

Projet	Rapport de vote
14/1097/FDIS	14/1101/RVD

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

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

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60076, publiées sous le titre général *Transformateurs de puissance*, se trouve sur le site web de l'IEC.

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60076-25:2023

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

Partie 25: Résistances de mise à la terre du neutre

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60076 s'applique aux résistances de type sec refroidies par air naturel pour la mise à la terre (MALT) du neutre des transformateurs et des générateurs dans le but de limiter le courant de défaut à la terre dans les réseaux d'énergie au moyen d'éléments résistifs métalliques.

Pour les besoins du présent document, la résistance peut être:

- utilisée seule ou avec d'autres produits électrotechniques non couverts par le présent document, notamment: un transformateur abaisseur monophasé, un transformateur en triangle ouvert ou en zigzag (où le point neutre n'est pas disponible) et une bobine Petersen (afin d'augmenter la contribution de la puissance active au défaut et/ou de réduire la constante de temps pour améliorer la protection);
- conçue, fabriquée et vérifiée à l'unité ou entièrement normalisée et fabriquée en quantité.

En anglais, les deux termes "neutral grounding resistor" (NGR) et "neutral earthing resistor" (NER) peuvent être utilisés pour désigner la résistance de mise à la terre du neutre (MALT). Toutefois, pour les besoins du présent document et afin d'éviter toute confusion avec la "réactance de mise à la terre du neutre" (NER, *Neutral Earthing Reactor*), le terme "neutral grounding resistor" (NGR) est utilisé.

Le présent document spécifie:

- les caractéristiques de la MALT;
- les exigences de conditions de service des MALT;
- les essais et les méthodes d'essai pour confirmer que ces conditions ont été remplies;
- les exigences relatives au marquage des MALT.

L'Annexe A fournit des recommandations pour prendre en compte l'impact de la température sur la variation de la résistance.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60060-1:2010, *Techniques des essais à haute tension – Partie 1: Définitions et exigences générales*

IEC 60071-2, *Coordination de l'isolement – Partie 2: Lignes directrices en matière d'application*

IEC 60076-3:2013, *Transformateurs de puissance – Partie 3: Niveaux d'isolement, essais diélectriques et distances d'isolement dans l'air*

IEC 60076-3:2013/AMD1:2018

IEC 60529, *Degrés de protection procurés par les enveloppes (Code IP)*

IEC 60529/AMD1:1999

IEC 60529/AMD2:2013

3 Termes et définitions

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

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

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

3.1

MALT

résistance de mise à la terre du neutre

dispositif de mise à la terre du neutre dont l'élément principal est la résistance

3.2

élément résistif

conducteur de courant unitaire, généralement sous forme de grilles, de plaques, de bandes, de rubans ou de fils, qui peut également disposer de prises intermédiaires

3.3

groupe résistif

sous-ensemble composé d'un ou de plusieurs éléments résistifs supportés par la même structure

Note 1 à l'article: Un ou plusieurs groupes résistifs forment une MALT complète.

3.4

borne IN

borne de plus haute tension de la MALT, reliée à la borne de neutre du matériel mis à la terre

3.5

borne OUT

borne de plus basse tension de la MALT, reliée à la terre

3.6

courant de courte durée assigné

I_{str}

valeur du courant efficace initial à l'application de la tension assignée

3.7

courant continu

I_r

valeur efficace du courant en régime établi

3.8

durée étendue

période supérieure à la durée exigée pour que l'échauffement devienne constant, mais limitée à 90 jours de fonctionnement par an

3.9

tension la plus élevée pour le matériel

U_m

tension efficace la plus élevée entre phase et neutre pour laquelle la MALT est conçue en ce qui concerne son isolement

3.10

tension de tenue à fréquence industrielle

U_d

valeur efficace de la tension sinusoïdale à fréquence industrielle que l'isolement de la MALT peut supporter lors d'essais effectués dans des conditions spécifiées et pendant une durée spécifiée

3.11

tension de tenue aux chocs

U_p

valeur de crête la plus élevée de la tension de choc de forme et de polarité spécifiées qui ne provoque pas de claquage de l'isolation dans des conditions spécifiées

3.12

borne de mise à la terre de protection

borne qui relie l'enveloppe de la MALT à la terre à des fins de protection

3.13

tension de service

U_w

valeur efficace la plus élevée de la tension en courant alternatif ou en courant continu sur une isolation particulière qui peut se produire lorsque le matériel est alimenté à la tension assignée

3.14

coefficient de température de la résistance

paramètre qui décrit la variation de la résistance par rapport à une variation de température donnée

Note 1 à l'article: Le coefficient de température de la résistance est exprimé par:

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1(\theta_2 - \theta_1)} \quad (1)$$

où

R_1 et R_2 sont les résistances, en Ω , aux températures θ_1 et θ_2 , en $^{\circ}\text{C}$, respectivement; et

α est le coefficient de température de la résistance, exprimé en K^{-1} , relatif à la variation de température entre θ_2 et θ_1 .

3.15

isolation uniforme

isolation d'une MALT dans laquelle tout le matériau actif présente le même niveau d'isolement par rapport à l'enveloppe

3.16

isolation non uniforme

niveau d'isolement à travers la construction de la MALT qui est classé en fonction de la tension assignée de chaque partie de la construction, à savoir les connexions, les groupes et les éléments et l'emplacement auquel la borne OUT est destinée à être reliée directement à la terre

3.17**cycle de service**

séquence spécifiée de conditions assignées, chacune étant caractérisée par une combinaison différente de durée assignée et de courant assigné ou tension assignée

4 Conditions de service

Sauf spécification contraire, les MALT conformes au présent document sont prévues pour être utilisées dans les conditions normales de service décrites dans l'IEC 60076-1.

Pour les installations situées à une altitude supérieure à 1 000 m, le niveau d'isolement assigné doit être corrigé à l'aide du facteur de correction indiqué dans l'IEC 60071-2.

5 Caractéristiques assignées**5.1 Température ambiante assignée**

Sauf spécification contraire, la température ambiante assignée doit être de 20 °C.

5.2 Résistance assignée (R)

La résistance assignée est la résistance spécifiée entre la borne IN et la borne OUT à la température ambiante assignée.

Sauf indication contraire, la tolérance sur la valeur de la résistance assignée est de ± 10 %.

5.3 Variation maximale de la résistance

L'acheteur doit également spécifier la variation maximale admissible de la résistance à l'échauffement maximal, en pourcentage de la résistance assignée.

NOTE Certaines applications telles que la mise à la terre à haute impédance ou les réseaux sensibles peuvent exiger une variation maximale aussi faible que 10 %, tandis que d'autres peuvent accepter une variation aussi élevée que 100 %. Pour des recommandations, voir l'Annexe A.

5.4 Durée assignée

La durée assignée correspond à la durée pendant laquelle la MALT doit supporter la tension assignée et la combinaison spécifiée de courant de courte durée assigné et courant continu assigné.

La durée assignée doit être spécifiée par l'acheteur.

Les durées assignées types sont de 3 s, 5 s, 10 s, 30 s et 60 s, durée étendue ou continue.

Si un cycle de service doit être pris en compte, il doit être décrit dans la spécification technique.

5.5 Tension assignée (U_r)

Lorsque la MALT est reliée directement entre le point neutre et la terre, la tension assignée aux bornes de la MALT est la tension phase-neutre et est égale à la tension nominale du réseau pour laquelle le matériel est conçu, divisée par la racine carrée de trois.

$$U_r = \frac{U}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

Dans certains cas spécifiques, la tension assignée peut être différente, par exemple pour les résistances installées du côté basse tension d'un transformateur abaisseur ou pour les résistances installées en série/en parallèle d'une réactance de mise à la terre du neutre.

En cas de matériels combinés, par exemple une résistance de mise à la terre du neutre et un transformateur en zigzag, l'IEC 62271-1 s'applique.

NOTE Les valeurs normales des tensions du réseau (U) sont données dans l'IEC 60071-1 pour les tensions du réseau supérieures à 1 000 V et dans l'IEC 60664-1 pour les tensions du réseau inférieures à 1 000 V.

5.6 Niveau d'isolement assigné

La tension assignée U_r définie au 5.5 doit servir de base pour déterminer le niveau d'isolement assigné et les distances d'isolement dans l'air selon le Tableau 1; elle est choisie comme la valeur normale suivante de U_m supérieure ou égale à U_r .

Tableau 1 – Niveaux d'isolement assignés

Tension la plus élevée pour le matériel U_m kV (valeur efficace)	Tension de tenue assignée de courte durée à fréquence industrielle U_d kV (valeur efficace)	Tension de tenue assignée aux chocs de foudre U_p kV (valeur de crête)	Distance d'isolement minimale dans l'air mm (IEC 60076-3:2013, Tableau 4), sauf pour $U_m = 1$ kV
1,0	2,2	12	14
3,6	10	40	60
7,2	20	60	90
12	28	75	120
17,5	38	95	160
24	50	125	220
36	70	170	320
52	95	250	480
72,5	140	325	630
100	185	450	900
123	230	550	1 100
145	275	650	1 300
170	325	750	1 500
245	460	1 050	2 100

Si cela est spécifié par l'acheteur, il est permis d'utiliser d'autres niveaux d'isolement assignés selon des normes nationales.

5.7 Courant de courte durée assigné

Le courant de courte durée assigné doit être spécifié par l'acheteur.

5.8 Courant continu assigné

Le courant continu assigné doit être spécifié par l'acheteur.

NOTE Le courant continu assigné, généralement dû à des déséquilibres, est une caractéristique assignée supplémentaire d'une résistance dont la durée de service assignée n'est pas continue.

5.9 Fréquence assignée

La fréquence assignée doit être la fréquence du réseau.

NOTE Les valeurs normales de la fréquence assignée sont 50 Hz et 60 Hz.

6 Plaques signalétiques

6.1 Généralités

La MALT doit être équipée d'une plaque signalétique, placée dans une position visible. Elle doit être fabriquée dans des matériaux résistants aux intempéries et doit être capable de supporter la température de l'enveloppe de la MALT. Les inscriptions doivent être marquées de manière indélébile (par exemple, par gravure ou estampage).

6.2 Informations minimales à fournir

- a) nom du fabricant;
- b) lieu de fabrication;
- c) année de fabrication;
- d) désignation de type ou numéro d'identification, ou tout autre moyen d'identification qui permet d'obtenir les informations pertinentes auprès du fabricant;
- e) numéro de la présente norme;
- f) résistance assignée (R) à température ambiante;
- g) échauffement maximal;
- h) variation maximale de la résistance (%);
- i) température ambiante;
- j) tension assignée (U_r);
- k) tension la plus élevée pour le matériel (U_m);
- l) tension assignée à fréquence industrielle (U_d);
- m) tension de tenue assignée aux chocs (U_p);
- n) courant de courte durée assigné (I_{str});
- o) courant continu assigné (I_r);
- p) fréquence assignée (f_r);
- q) durée assignée (T);
- r) masse totale;
- s) degré de protection.

7 Conception et construction

7.1 Généralités

La conception et la construction de la MALT doivent tenir compte des effets diélectriques, thermiques et mécaniques de son fonctionnement et des conditions d'environnement.

7.2 Éléments résistifs

La conception et les matériaux des éléments résistifs doivent supporter la plage de températures de fonctionnement de la MALT, les cycles d'échauffement-refroidissement successifs et les contraintes d'environnement. Les échauffements maximaux sont donnés dans le Tableau 2.

Tableau 2 – Échauffements maximaux des éléments résistifs au-dessus de la température ambiante

Durée assignée	Échauffement maximal K
Inférieure ou égale à 60 s	760
Durée étendue Inférieure à 10 min	610
Continue	385

L'échauffement est la différence entre la température des éléments résistifs à la fin de la durée assignée et la température ambiante.

NOTE Les limites d'échauffement indiquées dans le Tableau 2 sont des valeurs maximales absolues; l'échauffement maximal applicable peut être inférieur selon la conception de l'élément résistif.

7.3 Groupes résistifs

Les groupes résistifs doivent avoir une conception capable de supporter les contraintes mécaniques et thermiques susceptibles d'être rencontrées lors de leur fonctionnement.

Des mesures appropriées doivent être prises pour préserver l'isolation électrique entre les éléments et entre les parties sous tension et les structures de support et les enveloppes.

La coordination de l'isolement doit être maintenue sous l'effet de la dilatation thermique.

7.4 Connexions électriques

Les connexions entre les éléments résistifs au sein des groupes résistifs doivent être appropriées, afin d'assurer un courant maximal admissible adéquat à toutes les températures de fonctionnement.

Les connexions entre les éléments résistifs de différents groupes et entre les éléments et les bornes IN et OUT doivent avoir des conceptions capables de supporter les contraintes thermiques et mécaniques susceptibles d'être rencontrées à l'intérieur de l'enveloppe.

7.5 Bornes IN et OUT

7.5.1 Généralités

Les bornes IN et OUT doivent être clairement marquées et identifiées.

Les matériaux isolants des traversées murales doivent supporter les contraintes mécaniques et thermiques susceptibles d'être rencontrées lors du fonctionnement.

7.5.2 Borne IN

La borne IN doit être assignée au niveau d'isolement assigné de la MALT.

7.5.3 Borne OUT

La borne OUT doit être isolée de l'enveloppe et de sa borne de mise à la terre de protection.

Sauf spécification contraire, la MALT doit avoir une borne OUT isolée de l'enveloppe par une tension U_m minimale assignée de 1 kV (selon le Tableau 1).

7.6 Isolateurs

7.6.1 Généralités

Les isolateurs doivent être capables de supporter les contraintes mécaniques et thermiques susceptibles d'être rencontrées pendant le fonctionnement.

7.6.2 Isolateurs entre les éléments résistifs

Les isolateurs entre les éléments résistifs adjacents et entre les éléments résistifs et toute autre partie en contact direct avec la surface de l'élément doivent être fabriqués dans des matériaux capables de supporter la plage de températures de fonctionnement de la MALT et les cycles d'échauffement-refroidissement successifs.

7.6.3 Isolateurs entre les groupes de résistances et l'enveloppe

Les isolateurs entre les groupes de résistances et l'enveloppe doivent être coordonnés avec le niveau d'isolement assigné de la MALT.

7.6.4 Ligne de fuite

Si une ligne de fuite spécifique est indiquée, le calcul de la ligne de fuite doit être fondé sur la tension de service U_w .

NOTE 1 L'isolation interne d'une MALT dont l'enveloppe procure un degré de protection IP23 ou supérieur est couramment considérée comme une isolation intérieure.

NOTE 2 Étant donné que les isolateurs ne sont pas soumis à la même charge d'environnement que les isolateurs extérieurs, il est courant d'avoir une ligne de fuite inférieure dans l'isolation intérieure.

7.7 Enveloppe

7.7.1 Protection contre le contact avec des parties sous tension et contre la pénétration de corps étrangers solides et d'eau

Le degré de protection procuré par l'enveloppe de la MALT contre le contact avec des parties sous tension et contre la pénétration de corps étrangers solides et d'eau est indiqué par le code IP selon l'IEC 60529 et vérifié conformément au 8.6.4.

L'enveloppe de la MALT doit être ventilée de manière adéquate afin de dissiper la chaleur générée lors du fonctionnement.

NOTE Le degré de protection IP23 est considéré comme un compromis optimal entre la protection et la ventilation pour l'installation à l'extérieur dans la plupart des environnements.

7.7.2 Conception

7.7.2.1 Étiquettes d'avertissement

Des étiquettes d'avertissement appropriées doivent être apposées, par exemple "SURFACE CHAUDE" et "HAUTE TENSION", à un emplacement où elles sont visibles et lisibles lorsque la MALT est installée et en fonctionnement. Elles doivent être fabriquées dans des matériaux résistants aux intempéries et doivent être capables de supporter la température de l'enveloppe de la MALT.

7.7.2.2 Manutention et levage

L'enveloppe de la MALT doit être équipée de moyens pour faciliter la manutention et le levage sans compromettre ses capacités de tenue en tension prévues ni son degré de protection.

Si la masse de la MALT est supérieure à 25 kg, des dispositions doivent être prises pour le levage mécanique.

7.7.2.3 Borne de mise à la terre de protection

Une MALT avec une enveloppe métallique mise à la terre doit avoir au moins une borne de mise à la terre de protection, toutes les parties non conductrices prévues pour fonctionner au potentiel de terre étant reliées à la borne de mise à la terre, et doit être clairement marquée au moyen d'un symbole de mise à la terre de protection.

7.7.3 Protection contre la corrosion

Des mesures de protection appropriées contre la corrosion doivent être utilisées, en fonction de la température élevée susceptible d'être rencontrée en cas de défaut à la terre.

Si le client a des exigences spécifiques concernant la protection contre la corrosion, elles doivent être ajoutées dans la spécification technique.

NOTE Les mesures de protection types contre la corrosion de l'enveloppe sont la galvanisation ou l'utilisation de matériaux naturellement résistants à la corrosion, tels que l'acier inoxydable ou l'aluminium, pour leur bonne résistance thermique.

8 Essais

8.1 Généralités

Les essais répertoriés dans le Tableau 3 s'appliquent à la MALT.

Tableau 3 – Catégories d'essais

Essai	Essai individuel de série	Essai de type	Essai spécial
Examen visuel et vérification dimensionnelle	X		
Mesurage de la résistance assignée	X		
Essai de tension de tenue à fréquence industrielle	X		
Mesurage de la résistance d'isolement	X		
Essai d'échauffement		X	
Mesurage de l'inductance			X
Essai de tenue aux chocs de foudre			X
Vérification de la conception mécanique			X
Essai des degrés de protection			X

Si l'acheteur l'approuve, le fabricant peut fournir le résultat de l'essai de type et/ou de l'essai spécial d'une unité similaire, avec une déclaration indiquant les similitudes entre les unités et la justification de leur applicabilité.

8.2 Catégories d'essais

8.2.1 Essais individuels de série

Les vérifications individuelles de série visent à détecter des défauts dans les matériaux et la qualité d'exécution et à vérifier la fonction correcte de la MALT fabriquée. L'essai individuel de série doit être effectué sur chaque MALT. Lorsque cela est exigé et avec l'accord de l'acheteur, certains essais individuels de série peuvent être effectués à différentes étapes de l'assemblage. Le fabricant doit fournir une preuve d'essai pour toutes les étapes.

8.2.2 Essais de type

Les essais de type visent à vérifier que la conception de la résistance satisfait aux exigences de l'acheteur et du présent document. Ils sont réalisés sur une seule unité de caractéristiques assignées et de conception spécifiques.

8.2.3 Essais spéciaux

Les essais spéciaux ne sont effectués qu'à la demande expresse de l'acheteur. Ils sont réalisés sur une seule unité, généralement la même que celle sur laquelle sont réalisés les essais de type, sauf accord contraire avec le fabricant.

8.3 Documentation d'essai

Tous les rapports d'essai doivent contenir au minimum les informations suivantes.

- fabricant;
- identification unique (c'est-à-dire numéro de série);
- référence au numéro de plan de disposition générale et révision à la date des essais;
- date des essais;
- paramètres assignés à vérifier (à savoir résistance, tension à fréquence industrielle, etc.);
- norme d'essai IEC applicable et paramètres d'essai associés;
- critères d'acceptation;
- valeur mesurée;
- conditions ambiantes;
- liste des instruments de mesure utilisés avec le nom du fabricant, type et numéro de série;
- coefficient de température de la résistance utilisé pour la correction des mesures de résistance.

8.4 Essais individuels de série

8.4.1 Examen visuel et vérification dimensionnelle

La construction de la résistance doit être examinée de manière à satisfaire à la documentation technique approuvée et aux points pertinents du présent document. Il convient de vérifier au minimum les éléments suivants:

- les distances d'isolement dans l'air appropriées;
- les étiquettes, les marquages des bornes et les plaques signalétiques;
- les dimensions de l'enveloppe et les points d'interface correspondent au plan de disposition générale.

8.4.2 Mesurage de la résistance assignée

La résistance globale doit être mesurée afin de vérifier qu'elle est conforme à la valeur de conception de la résistance assignée (R) dans les limites de sa tolérance. La résistance doit être mesurée avec un courant continu.

La valeur mesurée doit être corrigée à la température ambiante en utilisant le coefficient de température de la résistance de l'élément résistif.

8.4.3 Essai de tension de tenue à fréquence industrielle

8.4.3.1 Généralités

Un essai de tension de tenue à fréquence industrielle doit être effectué sur chacune des couches d'isolation indiquées au 8.4.3.2, au 8.4.3.3 et au 8.4.3.4.

L'essai de tension de tenue à fréquence industrielle doit être effectué, comme cela est décrit au 6.3.1 de l'IEC 60060-1:2010.

8.4.3.2 Essai de tension de tenue à fréquence industrielle dans l'assemblage interne

L'essai doit être réalisé entre chaque partie sous tension du groupe et la structure métallique de support du groupe.

La tension d'essai est déterminée par la relation suivante:

Tension d'essai à fréquence industrielle U_d

$$U_d = 2,25 \times U_w + 2 \text{ kV} \quad (3)$$

où

U_w est la tension de service sur la couche d'isolation.

Lorsqu'une couche d'isolation fonctionnelle est court-circuitée par des connexions à liaison équipotentielle (afin d'optimiser les différences de potentiel électrique), ces connexions doivent être retirées lors des essais effectués sur cette couche d'isolation spécifique.

8.4.3.3 Essai de tension de tenue à fréquence industrielle entre les groupes de résistances

Les groupes de résistances étant déconnectés les uns des autres, l'essai doit être réalisé entre les cadres de support de deux groupes adjacents.

La tension d'essai doit être déterminée à l'aide de la Formule (3).

La procédure doit être répétée jusqu'à ce que tous les groupes adjacents aient été soumis à l'essai.

8.4.3.4 Essai de tension de tenue à fréquence industrielle sur l'assemblage complet

8.4.3.4.1 Généralités

Selon la conception de l'isolation de la résistance, cet essai peut être réalisé en retenant la méthode la plus appropriée parmi les suivantes.

8.4.3.4.2 Isolation uniforme

L'essai doit être réalisé entre les éléments actifs et l'enveloppe.

La tension d'essai doit être U_d .

Les éléments de liaison potentielle entre les éléments actifs et l'enveloppe doivent être retirés pendant la durée de ces essais.