

INTERNATIONAL STANDARD

**High-voltage switchgear and controlgear –
Part 211: Direct connection between power transformers and gas-insulated
metal-enclosed switchgear for rated voltages above 52 kV**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62271-211:2024



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2024 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.

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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, graphical symbols and the glossary. 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 22 500 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 25 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IECNORM.COM : Click to view the full text of IEC 6171-211:2024

INTERNATIONAL STANDARD

**High-voltage switchgear and controlgear –
Part 211: Direct connection between power transformers and gas-insulated
metal-enclosed switchgear for rated voltages above 52 kV**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

ICS 29.130.10

ISBN 978-2-8322-9578-6

Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.

CONTENTS

FOREWORD	4
1 Scope	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	8
4 Normal and special service conditions	10
4.1 Normal service conditions	10
4.2 Special service conditions	10
5 Ratings	10
5.1 General	10
5.2 Rated voltage (U_r)	10
5.3 Rated insulation level (U_d , U_p , U_s)	10
5.4 Rated frequency (f_r)	10
5.5 Rated continuous current (I_r)	11
5.6 Rated short-time withstand current (I_k) and rated thermal short-time current (I_{th})	11
5.7 Rated peak withstand current (I_p) and rated dynamic current (I_d)	11
5.8 Rated duration of short-circuit (t_k) and of thermal short-time current (t_{th})	11
6 Design and construction	11
6.1 Gas and vacuum tightness	11
6.2 Gas pressure for insulation of the bushing inside the gas-insulated switchgear (GIS) enclosure	12
6.3 Pressure withstands requirements	12
6.4 Standard dimensions and tolerances	12
6.4.1 General	12
6.4.2 Single-phase direct connection between oil-filled transformer and switchgear	13
6.4.3 Three-phase direct connection between oil-filled transformer and switchgear	13
6.4.4 Connection between gas-insulated transformer and switchgear	13
6.4.5 Transformer tolerances	13
6.4.6 Mounting of the transformer on its foundation	13
6.5 Limits of supply	13
6.6 Mechanical forces applied on the connection interface	15
6.7 Mechanical forces applied on the bushing flange	15
6.8 Horizontal and vertical displacement	17
6.9 Vibrations	17
7 Type tests	17
7.1 General	17
7.2 Dielectric tests	17
7.2.1 Dielectric tests of bushing	17
7.2.2 Dielectric tests of transformer connection in a single-phase enclosure	18
7.2.3 Dielectric tests of transformer connection in a three-phase enclosure	18
7.3 Cantilever loads withstand tests	18
7.4 Gas tightness tests	18
8 Routine tests	18

8.1	General.....	18
8.2	External pressure test of the bushing	18
8.3	Tightness tests	19
9	Guide to the selection of switchgear and controlgear (informative)	19
10	Information to be given with enquiries, tenders and orders (informative).....	19
11	Transport, storage, installation, operating instructions and maintenance.....	19
12	Safety.....	19
13	Environmental aspects	20
	Bibliography.....	25
	Figure 1 – Typical direct connection between power transformer and gas-insulated metal-enclosed switchgear.....	21
	Figure 2 – Standard dimensions for typical direct connection between power transformer and gas-insulated metal-enclosed switchgear	22
	Figure 3 – Transformer tolerances for a typical direct connection shown on the example of a three-phase power transformer connected to a single-phase gas-insulated metal-enclosed switchgear	23
	Figure 4 – Transformer tolerances for a typical direct connection shown on the example of a three-phase power transformer connected to a three-phase gas-insulated metal-enclosed switchgear up to 170 kV	24
	Table 1 – Moments and forces applied on the bushing flange and transformer.....	16

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –

Part 211: Direct connection between power transformers and gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated voltages above 52 kV

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) IEC draws attention to the possibility that the implementation of this document may involve the use of (a) patent(s). IEC takes no position concerning the evidence, validity or applicability of any claimed patent rights in respect thereof. As of the date of publication of this document, IEC had not received notice of (a) patent(s), which may be required to implement this document. However, implementers are cautioned that this may not represent the latest information, which may be obtained from the patent database available at <https://patents.iec.ch>. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

IEC 62271-211 has been prepared by subcommittee 17C: Assemblies, of IEC technical committee 17: High-voltage switchgear and controlgear. It is an International Standard.

This second edition cancels and replaces the first edition of IEC 62271-211:2014. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) re-numbering of clauses according to IEC 62271-1:2017,
- b) Clause 3: updating definition about bushing (3.1), updating some pressure definitions (3.6, 3.7, 3.8, 3.9), rewording definition about proctor density (3.11), new term very-fast-front overvoltage (3.12),

- c) Clause 5 (former clause 4): add a subclause 5.1 General, according to IEC 62271-1:2017 and IEC 62271-203:2022,
 - 1) subclause 5.5: new first paragraph, rewording second paragraph,
 - 2) subclause 5.8: modify the term "Rated duration of thermal short-time current" of the bushing,
- d) Clause 6 (former Clause 5): restructure and rewording of subclauses:
 - 1) 6.1 (former 5.3): requirements about gas and vacuum tightness of the transformer bushing
 - 2) 6.3 (former 5.2): harmonization with IEC 62271-203:2022 about typical maximum pressure in service for SF₆, other gases and gas mixtures,
 - 3) 6.4 (former 5.8), rewording
 - 4) 6.5 (former 5.1), some rewording and modification
 - 5) 6.6 (former 5.4), some rewording, updated references
 - 6) 6.7 (former 5.5), some rewording
 - 7) 6.8 (former 5.6), some rewording
 - 8) 6.9 (former 5.7), slight rewording,
- e) Clause 7 (former clause 6) type tests: some rewording and clarifications about references,
- f) Clause 8 (former clause 7) routine tests:
 - 1) 8.2 (former 7.2): add a paragraph about SF₆-mixtures and other gases than SF₆,
 - 2) 8.3 (former 7.3): update reference to relevant on-site test according to IEC 62271-203:2022,
- g) Clause 9 Guide to the selection of switchgear and controlgear (new): informative, to have a reference to IEC 62271-203:2022,
- h) Clause 11 (former 10): updated headline and updated reference according to IEC 62271-1:2017,
- i) new Clauses 12 Safety and 13 Environmental aspects: Adding of references to safety and environmental aspects,
- j) correction of errors in Corrigendum 2 of IEC 62271-211:2017,
- k) modified orientation of Figure 1 to Figure 4 for easier reading of the tables,

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

Draft	Report on voting
17C/935/FDIS	17C/945/RVD

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

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

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

A list of all parts in the IEC 62271 series, published under the general title *High-voltage switchgear and controlgear*, 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, or
- revised.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62271-211:2024

HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –

Part 211: Direct connection between power transformers and gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated voltages above 52 kV

1 Scope

This part of IEC 62271 is applicable to single- and three-phase direct connections between gas-insulated metal-enclosed switchgear (GIS) for rated voltages above 52 kV and transformer arrangements to establish electrical and mechanical interchange ability and to determine the limits of supply for the transformer connection.

Direct connections are immersed on one end in the transformer oil or insulating gas and on the other end in the insulating gas of the switchgear.

Transformer arrangements are single-phase transformers with single-phase enclosed arrangement, three-phase transformers with three single-phase enclosed arrangements or three-phase transformers with a three-phase enclosed arrangement with three transformer bushings.

The connection satisfies the requirements of IEC 62271-203 for gas-insulated metal-enclosed switchgear, IEC 60076 for power transformer and IEC 60137 for completely immersed bushings.

For the purpose of this document the term “switchgear” is used for “gas-insulated metal-enclosed switchgear and the term “transformer” is used for “power transformer”.

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 60076 (all parts), *Power transformers*

IEC 60076-1:2011, *Power transformers – Part 1: General*

IEC 60137:2017, *Insulated bushings for alternating voltages above 1 000 V*

IEC 61936-1:2021, *Power installations exceeding 1 kV AC and 1,5 kV DC – Part 1: AC*

IEC 62271-1:2017, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 1: Common specifications for alternating current switchgear and controlgear*
IEC 62271-1:2017/AMD1:2021

IEC 62271-203:2022, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 203: Gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated voltages above 52 kV*

IEC 62271-207:2023, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 207: Seismic qualification for gas-insulated switchgear assemblies, metal enclosed and solid-insulation enclosed switchgear for rated voltages above 1 kV*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 62271-1, as well as the following apply.

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

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

3.1

bushing

device that enables one or several conductors to pass through an enclosure and insulate the conductors from it

[SOURCE: IEC 60050-471:2007 [1]¹, 471-02-01, modified – "an enclosure" inserted after "pass through" and "a partition such as a wall or a tank" deleted. Notes 1 and 2 were deleted.]

3.2

completely immersed bushing

bushing, both ends of which are intended to be immersed in an insulating medium other than ambient air (e.g. oil or gas)

[SOURCE: IEC 60050-471:2007 [1], 471-02-04]

3.3

gas-insulated switchgear (GIS) enclosure

part of gas-insulated metal-enclosed switchgear retaining the insulating gas under the prescribed conditions necessary to maintain safely the highest insulation level, protecting the equipment against external influences and providing a high degree of protection to personnel

Note 1 to entry: The enclosure can be single-phase or three-phase.

[SOURCE: IEC 62271-203:2022, 3.103, modified – the acronym GIS has been added]

3.4

main circuit end terminal

part of the main circuit of a gas-insulated metal-enclosed switchgear forming part of the connection interface

[SOURCE: IEC 62271-209:2019 [2], 3.2]

3.5

transformer connection enclosure

part of the gas-insulated metal-enclosed switchgear which houses one end of a completely immersed bushing fitted on a power transformer and a main circuit end terminal

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

3.6

maximum external operating gas pressure

maximum pressure of the gaseous insulating medium in which the bushing is partially or completely immersed when in operation

Note 1 to entry: It is at least equal to the maximum pressure in the transformer connection enclosure of the GIS at the highest temperature that the gas used for insulation can reach under specified maximum service conditions.

Note 2 to entry: In case of gas-insulated transformers it is also the maximum insulating pressure of the gaseous insulating medium in which the end of the bushing is immersed into the power transformer, when in operation, the bushing-power transformer connection assembly carrying its rating continuous current at the maximum ambient temperature.

[SOURCE: IEC 60137:2017, 3.32 – modified: Note 1 to entry and Note 2 to entry were added]

3.7

enclosure design pressure

relative pressure used to determine the design of the enclosure

Note 1 to entry: It is at least equal to the maximum pressure in the enclosure at the highest temperature that the gas used for insulation can reach under specified maximum service conditions.

Note 2 to entry: The transient pressure occurring during and after a breaking operation (e.g. circuit-breaker) is not considered in the determination of the design pressure.

[SOURCE: IEC 62271-203:2022, 3.114]

3.8

filling pressure p_{re} for insulation

filling density ρ_{re} for insulation

pressure (in Pa), for insulation, referred to the standard atmospheric air conditions of +20 °C and 101,3 kPa (or density), which may be expressed in relative or absolute terms, to which the assembly is filled before being put into service

[SOURCE: IEC 62271-1:2017, 3.6.5.1, modified – deleted the terms "and/or switching", deleted "or automatically replenished"]

3.9

minimum functional pressure p_{me} for insulation

minimum functional density ρ_{me} for insulation

pressure (in Pa), for insulation, referred to the standard atmospheric air conditions of +20 °C and 101,3 kPa (or density), which may be expressed in relative or absolute terms, at which and above which the characteristics of the switchgear-power-transformer connection are maintained

[SOURCE: IEC 62271-1:2017, 3.6.5.5, modified – deleted the terms "and/or switching", added "the characteristics of the switchgear-power-transformer connection" deleted "rated characteristics of switchgear and controlgear"]

3.10

insulated junction

all parts which are needed to insulate between the transformer and the switchgear, including but not limited to the insulating flange

3.11

proctor density

highest dry density of a soil for a given compaction effort depending on the amount of water the soil contains during soil compaction of controlled magnitude according Proctor Standard test

Note 1 to entry: Proctor Standard test is defined in ASTM D-698 [3]. However, other tests methods exist providing similar information, but not always equivalent, like for example ISO 17892-2 [4], BS 1377-1 [5], UNE 103500 [6], NF P 94-093 [7] and DIN 18127 [8].

3.12

very-fast-front overvoltage

VFFO

transient overvoltage, usually unidirectional with time to peak $T_f \leq 0,1 \mu\text{s}$, and with or without superimposed oscillations at frequency $30 \text{ kHz} < f < 100 \text{ MHz}$

Note 1 to entry: Transient overvoltage generated by switching operations in GIS have a time to peak in a range of nanoseconds. They are usually named VFTO (very fast transients overvoltage) or related to the grounded encapsulation named as very-fast-front transient ground potential rises.

[SOURCE: IEC 60071-1:2019 [9], 3.17.2.3, modified – Note 1 to entry added]

4 Normal and special service conditions

4.1 Normal service conditions

Subclause 4.1 of IEC 62271-203:2022 is applicable.

4.2 Special service conditions

Subclause 4.2 of IEC 62271-203:2022 is applicable.

5 Ratings

5.1 General

When dimensioning a direct connection between a switchgear and a power-transformer the following rated values apply.

5.2 Rated voltage (U_r)

The rated voltage shall be the rated voltage of the switchgear, selected from the following standard values:

72,5 kV – 100 kV – 123 kV – 145 kV – 170 kV – 245 kV – 300 kV – 362 kV – 420 kV – 550 kV

NOTE Values 800 kV and higher are not considered because there is little experience at this time.

5.3 Rated insulation level (U_d , U_p , U_s)

The rated insulation level for the GIS part in the direct connection enclosure shall comply with the related rated voltage values given in the product standard IEC 62271-203. The rated insulation level for the transformer bushing shall be selected from the values given in the product standard IEC 60137.

NOTE Transformers can be tested at other insulation level values, according to their relevant standard.

The rated insulation level for a direct connection shall fulfil at least the requirements of IEC 62271-203.

5.4 Rated frequency (f_r)

Subclause 5.4 of IEC 62271-1:2017 is applicable.

5.5 Rated continuous current (I_r)

This rating defines the RMS value of the current the direct connection can carry continuously for its service conditions (see Clause 4).

The connection interface is shown in Figure 1 as parts 3 and 4. The dimensions of the connection interfaces shown in Figure 2 allow a maximum value of 3 150 A for the rated continuous current at normal service conditions i.e. maximum ambient temperature of 40 °C (see 4.1).

The contact surfaces of the connection interface shall be silver-coated, copper-coated or bare copper.

For the rated continuous current, the connection between switchgear and power transformer shall be designed so that the temperature of the transformer connection enclosure and the temperature of the connection interface do not exceed the values given in 7.5.6 of IEC 62271-1:2017.

5.6 Rated short-time withstand current (I_k) and rated thermal short-time current (I_{th})

For the rated short-time withstand current of the GIS part of the direct connection, 5.6 of IEC 62271-1:2017 applies; for the rated thermal short-time current of the bushing 4.3 of IEC 60137:2017 applies.

It is recommended to assign the same value for both short-time rated currents for GIS and bushing.

5.7 Rated peak withstand current (I_p) and rated dynamic current (I_d)

For the rated peak withstand current of the GIS part of the direct connection, 5.7 of IEC 62271-1:2017 applies; for the rated dynamic current of the bushing 4.4 of IEC 60137:2017 applies.

It is recommended to assign the same value for the rated peak withstand current for the GIS and the rated dynamic current for the bushing.

5.8 Rated duration of short-circuit (t_k) and of thermal short-time current (t_{th})

For the rated duration of the short-circuit current of the GIS part of the direct connection, 5.8 of IEC 62271-1:2017 applies; for the rated duration of the thermal short-time current of the bushing 4.3 of IEC 60137:2017 applies.

It is recommended to assign the same value for the rated duration of short-circuit for the GIS and the rated duration of the thermal short-time current for the bushing.

6 Design and construction

6.1 Gas and vacuum tightness

Subclause 6.16 of IEC 62271-203:2022 is applicable with the following addition:

For conditions up to the maximum external operating gas pressure inside the transformer connection enclosure of the GIS, the bushing shall minimize the gas insulated media diffusing into the transformer. The leak rate shall be equal or less than 10 Pa·cm³/s, see 9.10.3 of IEC 60137:2017.

The bushing shall prevent liquid insulating media entering from the transformer or the bushing into the GIS. Visual inspection is sufficient evidence, see 9.10.3. of IEC 60137:2017.

The bushing shall be capable of withstanding the vacuum conditions when the transformer connection enclosure is evacuated, as part of the gas filling process of the GIS and shall be capable of withstanding the vacuum conditions when the transformer is evacuated as part of its gas or oil filling process.

The relevant requirements and acceptance criteria for the bushing are described in 8.11 to 8.13 and 9.7 to 9.10 of IEC 60137:2017.

In the case of a gas-insulated transformer the gas compartment of the transformer shall be completely separated and managed independently from the switchgear.

6.2 Gas pressure for insulation of the bushing inside the gas-insulated switchgear (GIS) enclosure

The filling pressure p_{re} (or density) of any gas for insulating is assigned by the switchgear manufacturer.

The minimum functional pressure for insulation p_{me} , used to determine the design of the bushing insulation, shall be agreed between the switchgear manufacturer and the bushing manufacturer.

However, the minimum functional pressure for insulation p_{me} of the bushing inside the GIS enclosure shall be below or equal to the minimum functional pressure of GIS.

NOTE If SF₆ is used as the insulating gas, a minimum functional gas pressure for insulation of not more than 0,35 MPa (absolute) at 20 °C is commonly used to determine the bushing insulation.

6.3 Pressure withstands requirements

The bushing connected to the GIS shall be capable of withstanding the maximum pressure in service of the GIS. Typical maximum pressures in service are up to 1,1 MPa (absolute) for SF₆ and up to 1,5 MPa (absolute) for other gases and gas mixtures.

NOTE The former given value for SF₆ of "at least 0,85 MPa (absolute) at 20 °C" is approximately in correlation with a "typical maximum pressure in service of 1,1 MPa (absolute) for SF₆" at a maximum value of 80 °C at the outer surface of a metallic encapsulation, considering rated continuous current of 3 150 A and maximum ambient temperature of 40 °C. The above mentioned typical maximum pressure values were introduced in IEC 62271-203:2022.

The transformer connection enclosure and all pressurized connected parts of the GIS shall satisfy the requirements provided in 6.104 of IEC 62271-203:2022 for the design pressure determined by the switchgear manufacturer as specified in 6.104.2 of IEC 62271-203:2022.

The enclosure design pressure of the transformer connection enclosure may be lower than the gas pressure which is used to determine the mechanical strength of the bushing in a type test.

6.4 Standard dimensions and tolerances

6.4.1 General

Standard dimensions are specified to ensure compatibility between switchgear and transformer connections conforming to this document and agreement is required between the switchgear and transformer manufacturers.

6.4.2 Single-phase direct connection between oil-filled transformer and switchgear

Standard dimensions for single-phase transformer connection enclosures, main circuit end terminals, bushing end terminals and bushing flanges are shown in Figure 2.

6.4.3 Three-phase direct connection between oil-filled transformer and switchgear

The minimum dimensions of the three-phase direct connection between oil-filled transformer and switchgear are defined by the minimum phase-to-phase distance arising out of d_8 and the minimum phase to ground distance arising out of $d_3/2$ taking into account three single-phase bushings as specified in Figure 2.

Transformer tolerances for a typical direct connection of a three-phase power transformer connected to a single-phase gas-insulated metal enclosed switchgear are shown as an example in Figure 3, see also 6.4.5.

Three-phase direct connections are considered up to 170 kV with reference to Figure 4.

6.4.4 Connection between gas-insulated transformer and switchgear

In case of a gas insulated transformer, the standard dimensions of Figure 2 could be inappropriate. Therefore, the detailed dimensions of the direct connection between the gas insulated power transformer and the gas-insulated metal-enclosed switchgear will deviate. It is the responsibility of the switchgear manufacturer and the transformer manufacturer to define it. This connection can take place by using a partition rather than a bushing.

NOTE For direct connection between gas-insulated transformer and switchgear there is little experience currently.

6.4.5 Transformer tolerances

Tolerances shown in Figure 3 and Figure 4 are given for guidance as reference tolerances permitted after installation of the transformer ready for operation including the installed bushings.

6.4.6 Mounting of the transformer on its foundation

Transformers with direct connections shall be supplied with appropriate jacking pads for lifting and appropriate angles for the fixing of the transformer on its foundation; both facilities allowing a horizontal and vertical movement to adapt to the needs for the connection to the switchgear.

Care shall be taken for mounting the transformer on its foundation in order not to restrict the allowable operation tolerances in Figure 3 and Figure 4 when directly connected to a switchgear.

Transformers installed on rails usually do not comply with this requirement.

To comply with the requirement of a horizontal movement of the transformer during installation and not interfering with the installation process, either in indoor or outdoor, it is best practice in civil engineering for such purpose to apply anchor bolts in conjunction with the usage of corrugated permanent formwork.

6.5 Limits of supply

A typical direct connection is shown in Figure 1.

The limits of supply of the switchgear manufacturer and transformer manufacturer shall be according to Figure 1.

To minimize circulating currents between the switchgear and the transformer, bonding conductors according to IEC 61936-1 shall be provided by the switchgear manufacturer between the different single-phase switchgear enclosures; capable of carrying continuously the rated current of the transformer in normal operation. If circulating currents higher than 250 A are expected via the single-phase transformer connection enclosure, an insulated junction between the GIS and the transformer is necessary, see Figure 1 Part 9. This applies to the direct connection of three-phase and single-phase power transformers according to IEC 60076 series.

NOTE 1 The tank of a transformer is not designed to carry any considerable undefined continuous circulating currents. Practical experiences have shown that a load current of up to 1 250 A can be carried without additional precautions in the enclosure of the interface between the GIS and the transformer. This is due to the fact that approximately 80 % of the load current is carried by the bonding conductor of the switchgear, to be installed preferably at the end of the switchgear enclosure at the transformer. Thus, approximately 20 % of the load current, therefore up to 250 A, could generate continuous circulating currents in the transformer enclosure. The confirmation of the current value in the bonding conductor and through the transformer enclosure can be made by calculation.

NOTE 2 In case of higher circulating currents the user will clarify with the transformer manufacturer to confirm the maximum acceptable current via the transformer encapsulation to avoid the insulated junction, if possible.

An insulated junction may be also needed to achieve isolation between the transformer tank and the neighbouring earthed switchgear enclosures, and to achieve correct operation of the user's protection schemes for GIS and transformer faults.

The insulation level across the insulated junction shall be designed to withstand a power-frequency test voltage of 5 kV RMS, for 1 min.

To limit the very-fast-front transient ground potential rises which may occur when a switching device operates, non-linear resistors may be connected in parallel with the insulated junction. The number and the characteristics of the non-linear resistors shall be determined by the switchgear manufacturer. See [10].

According to this document two different locations (shown in Figure 1) are acceptable for the insulated junction

- a) location "A" between the flange of the transformer connection enclosure, part 6 in Figure 1, and the flange of the bushing, part 10 in Figure 1, or
- b) location "B" between the transformer connection enclosure, part 6 in Figure 1, and the next switchgear housing, part 14 in Figure 1.

If the insulated junction is needed, the standard dimensions in accordance with Clause 8 shall be kept.

Independent of the existence of an insulated junction, bonding conductors between the single-phase enclosures of the switchgear need to be provided by the switchgear manufacturer in accordance with IEC 61936-1 and IEC 62271-203.

Bonding conductors always need to be provided between single-phase enclosed direct connection arrangements of single-phase, two-phase or three-phase transformers.

Bonding conductors need not be provided for a three-phase transformer with a three-phase enclosed direct connection arrangement.

In the case of not having an insulated junction, bonding conductors shall be designed to limit the circulating current via the transformer tank to the permitted values as specified in this clause.

Both with and without an insulated junction the appropriate bonding connection shall be made at the end of the transformer connection enclosure towards the bushing, i.e. location marked "A" in Figure 1.

In case of location marked "B" in Figure 1 the bonding conductor shall be made at the end of the switchgear housing towards the bushing.

The transformer, including the bushing, shall be designed according to the relevant product standards to withstand very-fast-front overvoltage (VFFO) generated by the switchgear.

If an insulated junction is applied, its design shall be also able to withstand the same value of the very fast transient overvoltages generated by the switchgear.

NOTE 3 Alternatively to the insulating junction an insulating spacer can be used.

6.6 Mechanical forces applied on the connection interface

Normal loads, whose occurrence and level can be planned or predicted, applicable to bushings at the connection interface (parts 3 and 4 in Figure 1) are given in IEC 60137:2017, Table 1, level I (see cantilever operating loads); the minimum normal load however shall not be less than 2 kN, acting either transversely or axially to the connection interface. Table 1 of IEC 60137:2017 gives values for bushing installed up to 30° from the vertical.

If higher normal loads are to be expected at the connection interface, then the higher loads shall be selected from IEC 60137:2017, Table 1, Level II (heavy load).

For exceptional circumstances, whose probability of occurrence during lifetime of products is very small or accidental (e.g. short-circuit current or seismic loads), the cantilever test load level II of Table 1 in IEC 60137:2017 shall be used.

In case of seismic requirements as special service conditions according to subclause 4.2 of IEC 62271-203:2022, a seismic calculation shall be carried out to identify the location of mechanical reinforcements, see IEC 62271-207.

NOTE IEC 62271-207 covers seismic qualification requirements, test procedures for qualifications, qualification by combined tests and numerical analysis and evaluation of the seismic qualification.

It is the responsibility of the switchgear manufacturer to ensure that the seismic loads are not exceeding the specified load level II of Table 1 in IEC 60137:2017 or to agree with the bushing manufacturer that the bushing shall withstand the higher forces.

The selection of the appropriate bushing is under the responsibility of the transformer manufacturer considering the maximum occurring short circuit forces between phase and ground, respectively also between phases in the case of a three-phase enclosure at both ends of the bushing.

In the case of different rated withstand currents of the GIS in respect to those of the transformer, the higher rated withstand currents apply to calculate the mechanical forces to be supported by the connection interface.

6.7 Mechanical forces applied on the bushing flange

The flange of the bushing attached to the transformer connection enclosure is subjected in service, in addition to the maximum external operating gas pressure inside the transformer connection enclosure of the GIS, to the following loads:

- part of the weight of the switchgear not supported by the switchgear's own supporting structures;
- part of the wind load, if applicable, not supported by the switchgear's own supporting structures;
- expansion or contraction stresses due to the temperature variations of the transformer tank and the gas-insulated switchgear (GIS) enclosure.

These loads result in the simultaneous application, at the centre of the bushing flange, of:

- a bending moment M_0 ;
- a shearing force F_t ;
- a tensile or compressive force F_a .

The bushing flange and its connection to the transformer shall be capable of withstanding, in service, the values of M_0 , F_t and F_a specified in Table 1. The responsibility of an adequate design to cover these requirements is related to the transformer and bushing manufacturer.

The switchgear manufacturer is responsible to ensure that these values are not exceeded by the GIS, when the GIS is installed to the transformer connection.

For exceptional moments and forces, whose probability of occurrence during lifetime of products is very small or accidental (e.g. short-circuit current or seismic loads), the flange of the bushing shall be designed to withstand 200 % of the given moments and forces in Table 1.

NOTE 1 Forces on the transformer flange of the bushing imposed by switchgear enclosure as given in Table 1 are significantly higher than those forces imposed by outdoor immersed bushings in accordance with IEC 60137 of equivalent rating. These forces depend on the layout of the switchgear, with or without compensating elements on the switchgear or transformer side.

NOTE 2 The requirement concerning the ratio between normal and exceptional load is in accordance with the ratio of the operational and cantilever test loads in IEC 60137:2017, Table 1.

The precise evaluation of the above-mentioned thermal stresses of the transformer tank shall be based on the thermal expansion factor of the material of the transformer tank, taking into account the lowest occurring ambient temperature (i.e. transformer out of service) and the occurring average maximum temperature the transformer tank will have in operation (i.e. normally 90 °C at a reference temperature of 20 °C). The thermal expansion factor of the material of the transformer shall be considered for mild steel with 12×10^{-6} / K. Concerning the expansion-contraction of the transformer one cycle per day can be assumed.

NOTE 3 Variations of height or position due to draining the transformer oil and evacuating the transformer tank are not considered, assuming that the switchgear and the transformer are not connected to each other when these operations are performed.

Other possible expansion-contraction cycles, if any, shall be informed to the GIS manufacturer by the user.

Table 1 – Moments and forces applied on the bushing flange and transformer

Rated voltage kV	Bending moment M_0 kN m	Shearing force F_t kN	Tensile or compressive force F_a kN
72,5 to 100	5	7	4
123 to 170	10	10	5
245 to 300	20	14	7
362 to 550	40	20	10

For seismic requirements as special service conditions according to 4.2 of IEC 62271-203:2022, it is necessary to carry out seismic calculation to identify the location of mechanical reinforcements, see IEC 62271-207.

6.8 Horizontal and vertical displacement

Relative displacement between the foundations of the transformer and the switchgear shall be avoided by appropriate civil engineering design.

A maximum relative vertical settlement of 5 mm between switchgear and transformer foundation shall be considered in the design of a direct connection occurring during operation.

To obtain a maximum settlement of 5 mm between the switchgear and transformer foundation, depending on ground characteristics, a solution consists of compacting the ground below the transformer and switchgear foundations in order to achieve 100 % proctor density. Other more costly solution consists of having a common reinforced concrete foundation below both elements.

Relative displacements of the different foundations caused by seismic activity are not covered by this document. Relative turning or tilting of the foundations is excluded as well, since such is considered occurring only during seismic activity.

NOTE Most of the vertical settlement of a transformer foundation occurs during the first 2 weeks after filling with oil the transformer. Therefore, no connection to the switchgear during this period can avoid most of further relative vertical displacement.

6.9 Vibrations

The vibrations generated inside the energized transformer are transmitted by the oil and the tank wall of the transformer to the bushing rigidly fixed on this wall and to the switchgear. The switchgear manufacturer and the transformer manufacturer shall consider these vibrations. The transformer mainly generates vibrations at frequencies which are multiple of the network frequency.

7 Type tests

7.1 General

The testing of the bushing and the switchgear shall be performed in accordance with IEC 60137 and IEC 62271-203 respectively, with the following additions.

7.2 Dielectric tests

7.2.1 Dielectric tests of bushing

The dielectric type tests of the bushing shall be performed in an enclosure filled with insulating gas at the minimum functional pressure for insulation p_{me} , see 6.2.

If a shield is an integral part of the bushing design, it shall be mounted in its service position during the tests.

A cylindrical extension piece having a diameter equal to d_2 in Figure 2 may be attached to the exposed termination top for the tests, if required by the bushing manufacturer.

The bushing end shall be surrounded by an earthed metal cylinder, the diameter of which shall not exceed d_3 in Figure 2. The minimum length of the metal cylinder shall be in accordance with the dimension l_4 given in Figure 2.

To qualify single bushings for use in a three-phase encapsulated system (i.e. assembled on a common plate) calculations shall demonstrate that the dielectric withstand capability is equal or higher compared to a single-phase system. Phase-to-phase stress and phase-to-earth stress shall be considered.

7.2.2 Dielectric tests of transformer connection in a single-phase enclosure

The transformer connection enclosure and main circuit end terminal shall be subjected to the dielectric type tests. Dielectric type test may be performed without the bushing but with a test cylindrical extension piece having a diameter equal to d_2 in Figure 2.

The dielectric type tests shall be performed at the minimum functional pressure p_{me} , see 6.2.

7.2.3 Dielectric tests of transformer connection in a three-phase enclosure

If the calculation of a three-phase arrangement shows higher stresses than in a single-phase arrangement, the design shall be modified or the arrangement shall be type-tested. The calculation respectively type test results shall be available upon request.

7.3 Cantilever loads withstand tests

To demonstrate compliance with 6.6, the bushing shall be tested in accordance with 8.10 and Table 1 of IEC 60137:2017, applying the shown test loads, however with a minimum test load of 4 kN.

To demonstrate withstand to the bending moment specified in Table 1, an additional test shall be performed as follows.

The bushing shall be assembled as far as necessary for the test, but there shall not be any internal gas pressure. It shall be installed vertically with its transformer-side-flange rigidly fixed to a suitable device. The bushing end for gas immersion intended for connection to the switchgear shall be mounted in a tank as for normal operation, at ambient temperature. The tank shall be filled with an appropriate medium related to the maximum pressure in service, see 6.3 and a test load shall be applied to the tank giving a bending moment equal to two times M_0 in accordance with Table 1 at the switchgear side flange of the bushing, for 1 min. The shearing force applied should be equal to two times F_t as far as possible.

The acceptance criteria shall be as prescribed in 8.10.3 of IEC 60137:2017.

7.4 Gas tightness tests

The gas tightness test of the GIS compartment shall be performed in accordance with 7.8 of IEC 62271-203:2022.

It is not necessary to test the whole direct connection with enclosure and bushing. For example, the tightness test can be performed at a typical flange connection as a type test. If the sealing system applied for the connection between bushing and switchgear is identical with the one used in the switchgear, no additional type test is required.

8 Routine tests

8.1 General

The testing of the bushing and the switchgear shall be performed in accordance with IEC 60137:2017 and IEC 62271-203 respectively, with the following additions.

8.2 External pressure test of the bushing

This test shall be made before the gas tightness test. The bushing end for gas immersion shall be mounted in a tank as for normal operation, at ambient temperature. The tank shall be filled with gas or liquid, at the choice of the supplier, at a pressure of 1,15 MPa (relative), for 1 min to cover the later use of SF₆ in service.

For SF₆-mixtures and other gases than SF₆ used in service the pressure for this test shall be agreed between transformer and switchgear manufacturers.

The bushing shall be considered to have passed the test if there is no evidence of mechanical damage (e.g. deformation, rupture).

8.3 Tightness tests

The tightness of the equipment is routine tested according to the relevant product standards. As the assembly of the components is finally done at site, therefore only a tightness test for direct connection is done at site and related only to the sealing interfaces of the bushing to both neighboured compartments.

The test for the gas-filled compartment shall follow the on-site test as specified in 11.101.5 of IEC 62271-203:2022.

9 Guide to the selection of switchgear and controlgear (informative)

Clause 9 of IEC 62271-203:2022 is applicable

10 Information to be given with enquiries, tenders and orders (informative)

Refer to Clause 10 of IEC 62271-203:2022 and Clause 6 of IEC 60137:2017. In addition, the user should indicate whether an insulated junction is required between the transformer tank and the earthed switchgear enclosures.

For other than vertical direction of the bushing the reference axis for the dimensioning tolerances shown in Figure 3 and Figure 4 is applied accordingly.

The bushing manufacturer should provide a data sheet including additionally the minimum phase-to-phase distance and the minimum phase-to-earth distance for a three-phase arrangement.

11 Transport, storage, installation, operating instructions and maintenance

Clause 11 of IEC 62271-1:2017 is applicable.

The influence of residual moisture content of the bushing to the humidity of gas after assembly shall not exceed the requirements defined in 6.2 of IEC 62271-1:2017.

12 Safety

Clause 12 of IEC 62271-203:2022 is applicable for the GIS.

Clause 12 of IEC 60137:2017 is applicable for the bushing.

Annex G of IEC 60076-1:2011 is applicable for the transformer.

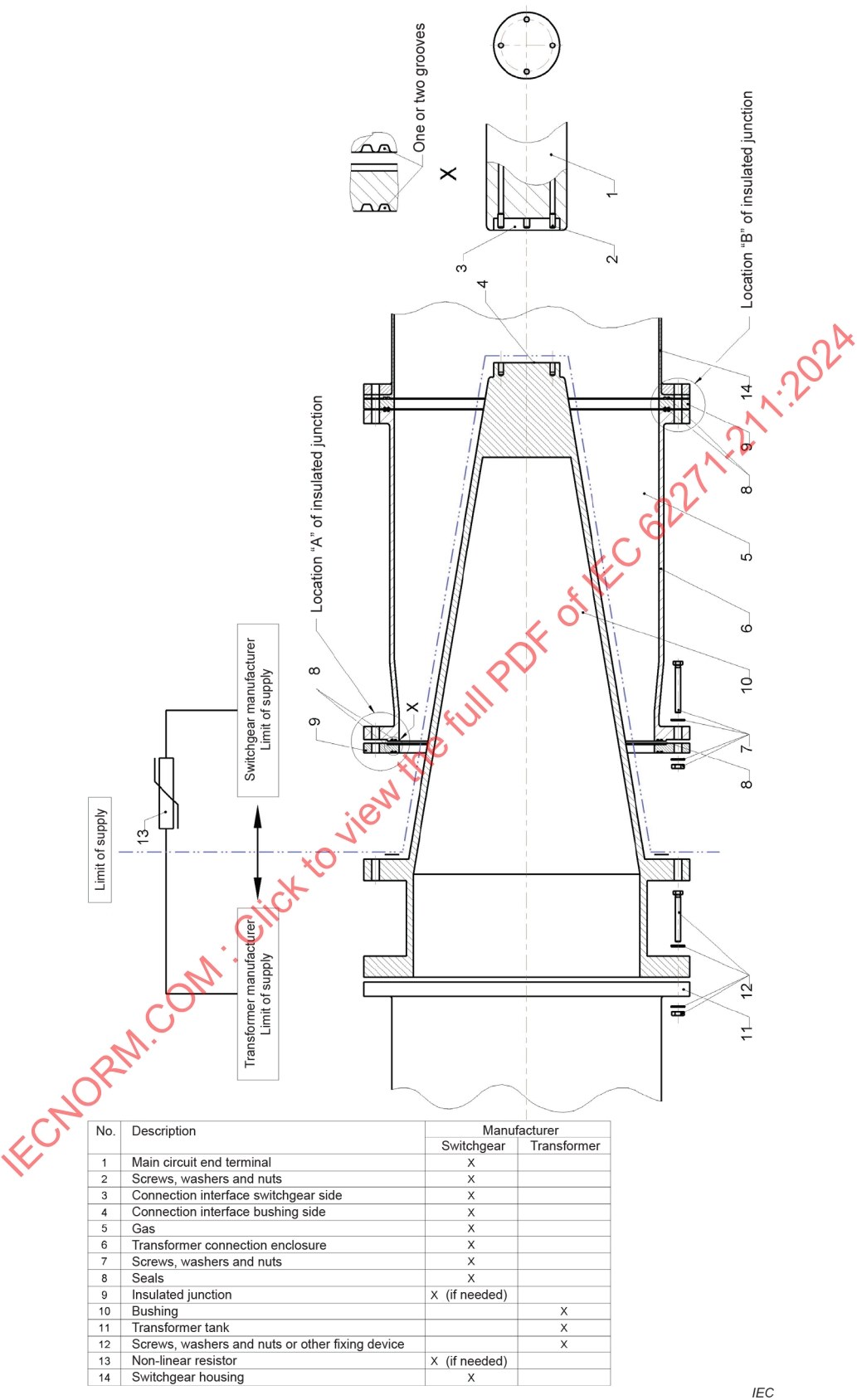
13 Environmental aspects

Clause 13 of IEC 62271-203:2022 is applicable for the GIS.

Clause 13 of IEC 60137:2017 is applicable for the bushing.

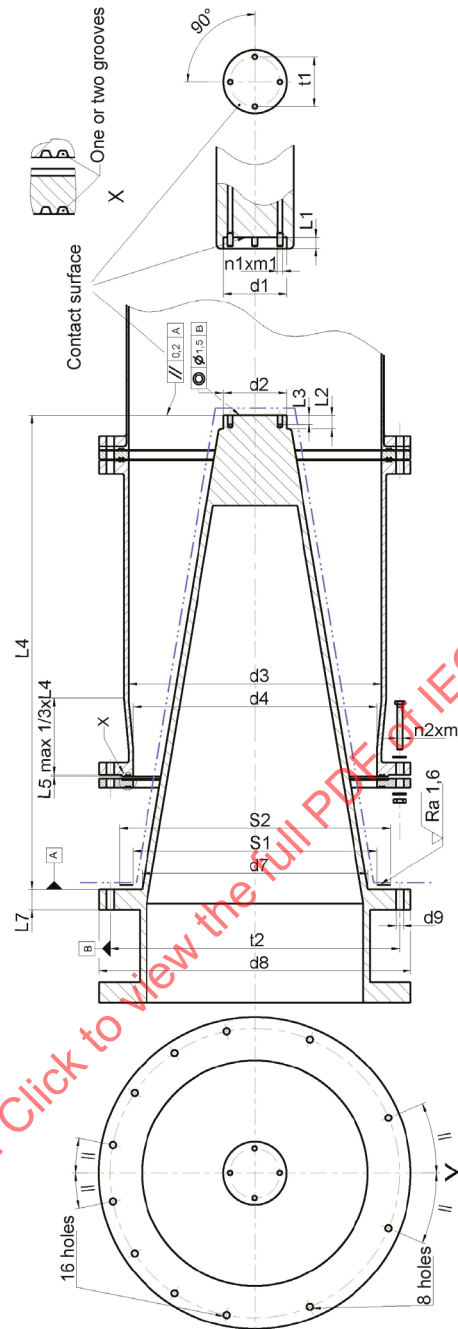
Annex G of IEC 60076-1:2011 is applicable for the transformer.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62271-211:2024



IEC

Figure 1 – Typical direct connection between power transformer and gas-insulated metal-enclosed switchgear



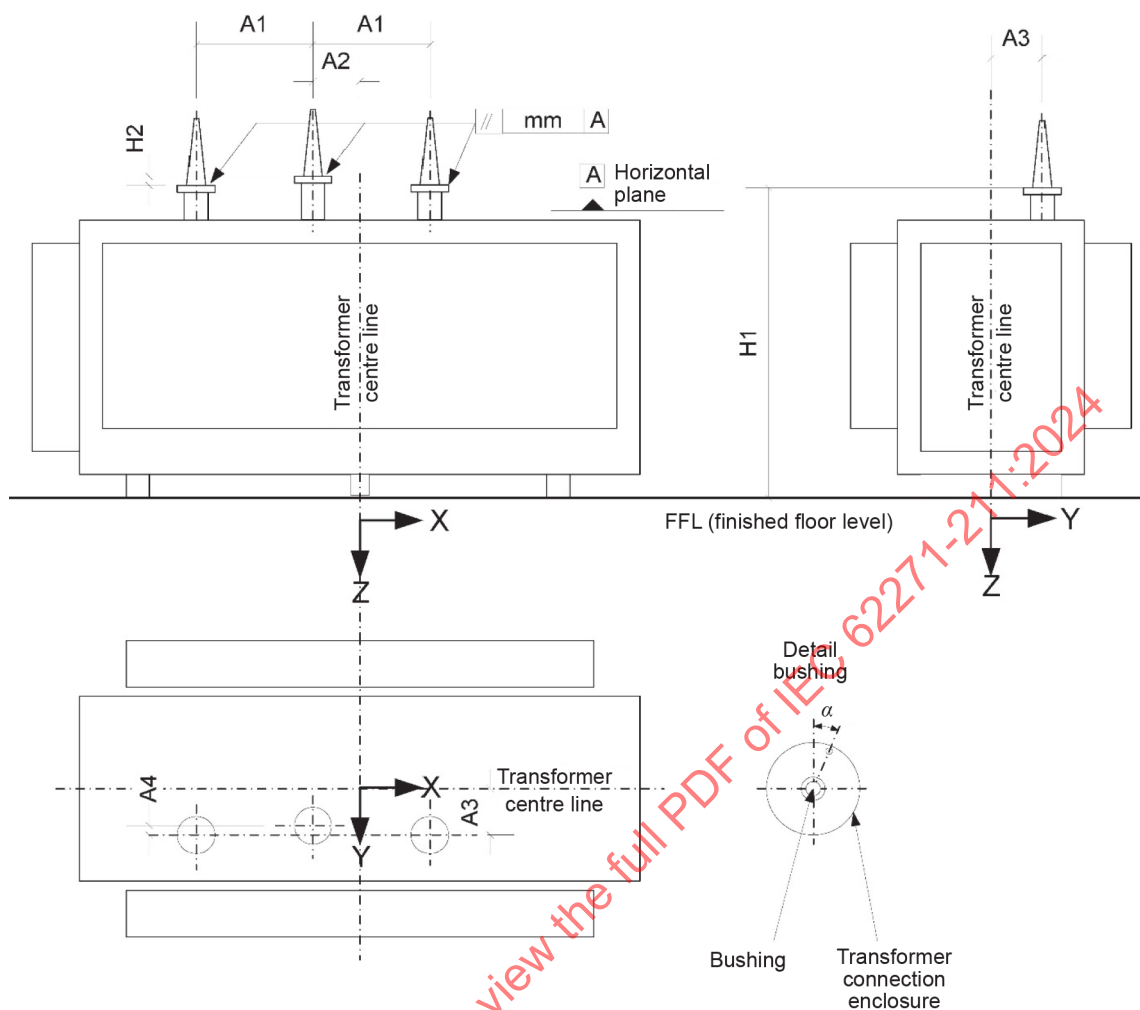
Rated voltage [kV]	Rated lightning impulse withstand voltage (peak value) [kV]	$\varnothing$ d1	$\varnothing$ d2	$\varnothing$ d3 min.	$\varnothing$ d4	$\varnothing$ d7 max.	$\varnothing$ d8 min.	$\varnothing$ d9	L1 max.	L2 min.	L3 min.	L4	L5 max. (note 2)	L7 max.	n1xm1 (note 1)	n2xm2 (note 1)	S1 max.	S2 min.	$\varnothing$ t1	$\varnothing$ t2
72.5 to 100	325 to 450	+0.5 100 0	0 99 -0.5	250	+3 200 0	196	315	16	25	30	20	+1 330 -1	3	25	4xM12	8xM12	200	260	+0.3 70 -0.3	285
123 to 170	550 to 750	+0.5 100 0	0 99 -0.5	300	+3 220 0	215	335	16	25	30	20	+1 520 -1	3	30	4xM12	8xM12	220	280	+0.3 70 -0.3	305
245 to 300	850 to 1 050	+0.5 140 0	0 139 -0.5	450	+5 450 0	440	565	16	25	30	25	+2 770 -2	3	40	4xM12	16xM12	450	510	+0.3 110 -0.3	535
362 to 550	1 175 to 1 550	+0.5 140 0	0 139 -0.5	540	+5 540 0	500	690	20	25	30	25	+2 1050 -2	3	45	4xM12	16xM16	540	600	+0.3 110 -0.3	640

IEC

The orientation of the fixing holes shall be in accordance with view Y.

According to the switchgear manufacturer's practice, a recess up to 3 mm may be provided or not.

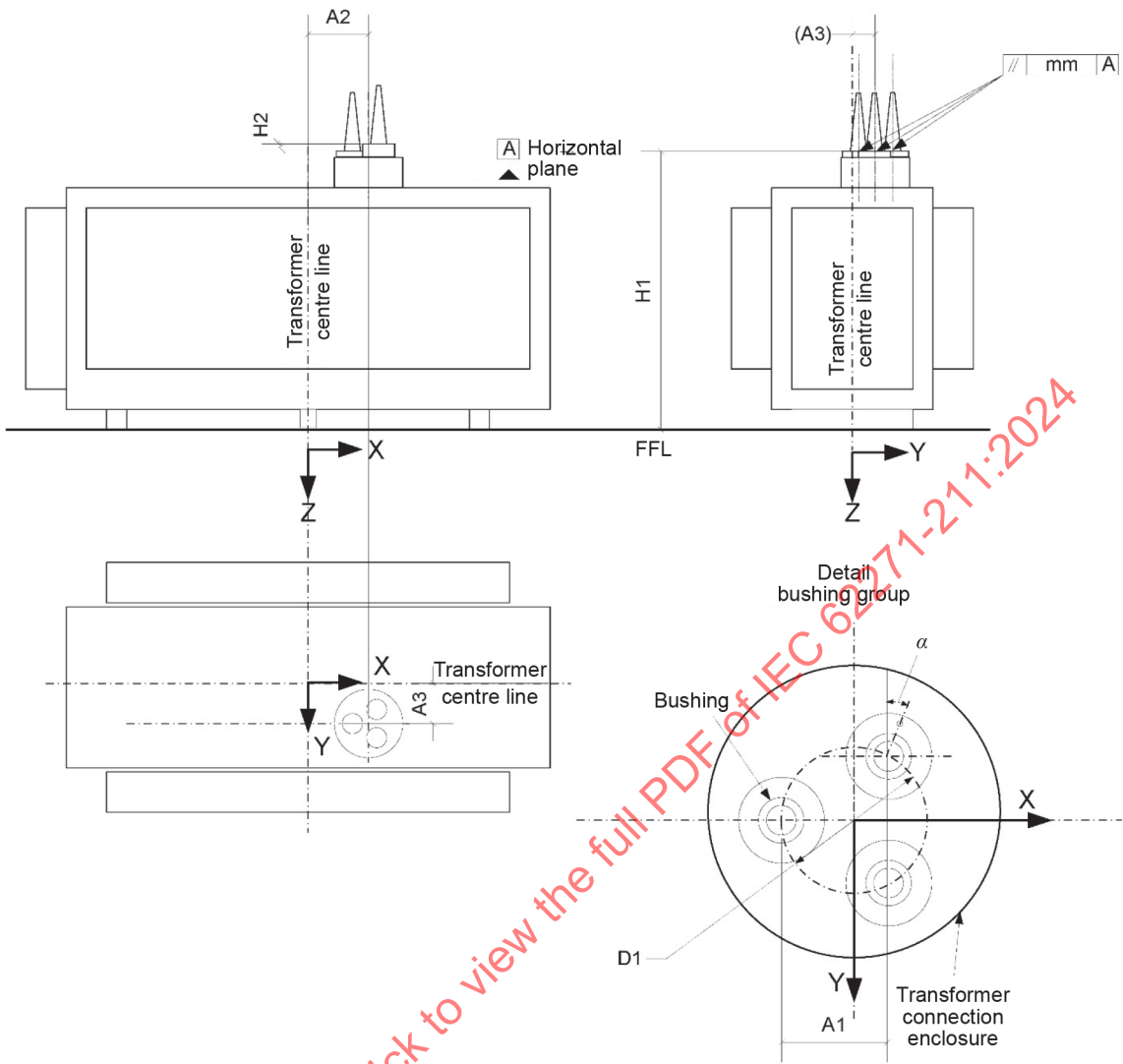
Figure 2 – Standard dimensions for typical direct connection between power transformer and gas-insulated metal-enclosed switchgear



	Parallelism of bushing flange in relation to a common horizontal plane	Phase distance of centre line of transformer bushing	Distance between centre lines of transformer and bushing group in x-direction	Distance between centre lines of transformer and bushing group in y-direction	Distance between centre lines of bushings in y-direction	Height of flanges of bushings	Vertical distance among bushings	Misalignment of hole circle
	A [mm]	A1 [mm]	A2 [mm]	A3 [mm]	A4 [mm]	H1 [mm]	H2 [mm]	alpha [°]
Tolerance	± 4	± 6	± 2	± 5	± 4	± 4 ($H1 \leq 4\,000$) ± 8 ($H1 > 4\,000$)	± 2 ($H1 \leq 4\,000$) ± 4 ($H1 > 4\,000$)	$\pm 0,1$

IEC

Figure 3 – Transformer tolerances for a typical direct connection shown on the example of a three-phase power transformer connected to a single-phase gas-insulated metal-enclosed switchgear



	Parallelism of bushing flange in relation to a common horizontal plane	Phase distance of centre line of transformer bushing	Distance between centre lines of transformer and bushing group in x-direction	Distance between centre lines of transformer and bushing group in y-direction	Height of flanges of bushings	Vertical distance among bushings	Pitch diameter	Misalignment of hole circle
	A [mm]	A1 [mm]	A2 [mm]	A3 [mm]	H1 [mm]	H2 [mm]	D1 [mm]	alpha [°]
Tolerance	± 1	± 1	± 2	± 5	± 4 (H1 ≤ 4 000) ± 8 (H1 > 4 000)	± 1	± 1	± 0,1

IEC

Figure 4 – Transformer tolerances for a typical direct connection shown on the example of a three-phase power transformer connected to a three-phase gas-insulated metal-enclosed switchgear up to 170 kV

Bibliography

- [1] IEC 60050-471:2007, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 471: Insulators*
IEC 60050-471:2007/AMD1:2015
 - [2] IEC 62271-209:2019, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 209: Cable connections for gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated voltages above 52 kV – Fluid-filled and extruded insulation cables – Fluid-filled and dry-type cable terminations*
IEC 62271-209:2019/AMD1:2022
 - [3] ASTM-D698:2021, *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³))*
 - [4] ISO 17892-2:2014, *Geotechnical investigation and testing – Laboratory testing of soil – Part 2: Determination of bulk density*
 - [5] BS 1377-1:2016, *Methods of test for soils for civil engineering purposes. General requirements and sample preparation*
 - [6] UNE 103500:1994, *Geotechnic, Compaction Test, Standard Proctor*
 - [7] NF P94-093:2014, *Soils: investigation and testing – Determination of the compaction characteristics of a soil – Standard Proctor Test – Modified Proctor Test*
 - [8] DIN 18127:2012, *Soil, investigation and testing – Proctor-test*
 - [9] IEC 60071-1:2019, *Insulation co-ordination – Part 1: Definitions, principles and rules*
 - [10] Report of CIGRE WG 23-10: ELECTRA 151, December 1993, *Earthing of GIS – An application guide*
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	28
1 Domaine d'application	31
2 Références normatives	31
3 Termes et définitions	32
4 Conditions normales et spéciales de service.....	34
4.1 Conditions normales de service	34
4.2 Conditions spéciales de service	34
5 Caractéristiques assignées.....	34
5.1 Généralités	34
5.2 Tension assignée (U_r).....	34
5.3 Niveau d'isolement assigné (U_d , U_p , U_s)	35
5.4 Fréquence assignée (f_r)	35
5.5 Courant permanent assigné (I_r)	35
5.6 Courant de courte durée admissible assigné (I_k) et courant de courte durée thermique assigné (I_{th})	35
5.7 Valeur de crête du courant admissible assigné (I_p) et courant dynamique assigné (I_d)	35
5.8 Durée de court-circuit assignée (t_k) et durée assignée du courant de courte durée thermique (t_{th})	36
6 Conception et construction	36
6.1 Étanchéité au gaz et au vide	36
6.2 Pression du gaz pour l'isolement de la traversée à l'intérieur de l'enveloppe de l'appareillage de commutation à isolation gazeuse (GIS).....	36
6.3 Exigences relatives à la tenue à la pression.....	37
6.4 Dimensions normalisées et tolérances	37
6.4.1 Généralités	37
6.4.2 Raccordement direct monophasé entre le transformateur immergé dans l'huile et l'appareillage	37
6.4.3 Raccordement direct triphasé entre le transformateur immergé dans l'huile et l'appareillage	37
6.4.4 Raccordement entre le transformateur à isolation gazeuse et l'appareillage	37
6.4.5 Tolérances du transformateur	38
6.4.6 Montage du transformateur sur sa fondation	38
6.5 Limites d'alimentation	38
6.6 Forces mécaniques appliquées à l'interface de raccordement	40
6.7 Forces mécaniques appliquées à la bride de traversée	40
6.8 Déplacement horizontal et vertical	42
6.9 Vibrations	42
7 Essais de type	42
7.1 Généralités	42
7.2 Essais diélectriques	42
7.2.1 Essais diélectriques de la traversée.....	42
7.2.2 Essais diélectriques du raccordement du transformateur dans une enveloppe monophasée	43

7.2.3	Essais diélectriques du raccordement du transformateur dans une enveloppe triphasée	43
7.3	Essais de tenue aux charges mécaniques.....	43
7.4	Essais d'étanchéité au gaz.....	43
8	Essais individuels de série	44
8.1	Généralités	44
8.2	Essai de pression externe de la traversée.....	44
8.3	Essais d'étanchéité	44
9	Guide pour le choix de l'appareillage (informatif)	44
10	Renseignements à donner dans les appels d'offres, les soumissions et les commandes (informatif)	44
11	Transport, stockage, installation, instructions de fonctionnement et maintenance.....	45
12	Sécurité.....	45
13	Aspects liés à l'environnement.....	45
	Bibliographie.....	50
	Figure 1 – Raccordement direct type entre le transformateur de puissance et l'appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse	46
	Figure 2 – Dimensions normalisées pour le raccordement direct type entre le transformateur de puissance et l'appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse	47
	Figure 3 – Tolérances du transformateur pour un raccordement direct type représenté par l'exemple d'un transformateur de puissance triphasé raccordé à un appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse monophasé	48
	Figure 4 – Tolérances du transformateur pour un raccordement direct type représenté par l'exemple d'un transformateur de puissance triphasé raccordé à un appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse triphasé allant jusqu'à 170 kV	49
	Tableau 1 – Moments et forces appliqués à la bride de traversée et au transformateur.....	41

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

APPAREILLAGE À HAUTE TENSION –

Partie 211: Raccordements directs entre transformateurs de puissance et appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse de tensions assignées supérieures à 52 kV

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. À 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'IEC attire l'attention sur le fait que la mise en application du présent document peut entraîner l'utilisation d'un ou de plusieurs brevets. L'IEC ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à l'applicabilité de tout droit de brevet revendiqué à cet égard. À la date de publication du présent document, l'IEC n'avait pas reçu notification qu'un ou plusieurs brevets pouvaient être nécessaires à sa mise en application. Toutefois, il y a lieu d'avertir les responsables de la mise en application du présent document que des informations plus récentes sont susceptibles de figurer dans la base de données de brevets, disponible à l'adresse <https://patents.iec.ch>. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets.

L'IEC 62271-211 a été établie par le sous-comité 17C: Ensembles, du comité d'études 17 de l'IEC: Appareillage haute tension. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette seconde édition annule et remplace la première édition de l'IEC 62271-211:2014. Cette édition constitue une révision technique.

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

- a) renumérotation des articles selon l'IEC 62271-1:2017;
- b) Article 3: mise à jour de la définition de la traversée (3.1), mise à jour de certaines définitions relatives à la pression (3.6, 3.7, 3.8, 3.9), reformulation de la définition de la densité proctor (3.11), nouveau terme surtension à front très rapide (3.12);
- c) Article 5 (ancien Article 4): ajout d'un 5.1 Généralités, conformément à l'IEC 62271-1:2017 et l'IEC 62271-203:2022;
 - 1) 5.5: nouveau premier alinéa, reformulation du deuxième alinéa;
 - 2) 5.8: modification du terme "durée assignée du courant de courte durée thermique" de la traversée;
- d) Article 6 (ancien Article 7): restructuration et reformulation des paragraphes:
 - 1) 6.1 (ancien 5.3): exigences concernant l'étanchéité du gaz et du vide de la traversée du transformateur;
 - 2) 6.3 (ancien 5.2): harmonisation avec l'IEC 62271-203:2022 en ce qui concerne la pression maximale type en service pour le SF₆, d'autres gaz et les mélanges de gaz;
 - 3) 6.4 (ancien 5.8): reformulation;
 - 4) 6.5 (ancien 5.1): reformulation partielle et modification;
 - 5) 6.6 (ancien 5.4): reformulation partielle, mise à jour de références;
 - 6) 6.7 (ancien 5.5): reformulation partielle;
 - 7) 6.8 (ancien 5.6): reformulation partielle;
 - 8) 6.9 (ancien 5.7): légère reformulation;
- e) Article 7 (ancien Article 6), essais de type: reformulation partielle et clarifications des références;
- f) Article 8 (ancien Article 7), essais individuels de série:
 - 1) 8.2 (ancien 7.2): ajout d'un alinéa concernant les mélanges de SF₆ et d'autres gaz que le SF₆;
 - 2) 8.3 (ancien 7.3): mise à jour de la référence pour l'essai sur site applicable selon l'IEC 62271-203:2022;
- g) Article 9 Guide pour le choix de l'appareillage (nouveau): informatif, à des fins de référence à l'IEC 62271-203:2022;
- h) Article 11 (ancien Article 10): mise à jour du titre et mise à jour de la référence conformément à l'IEC 62271-1:2017;
- i) nouveaux Articles 12 Sécurité et 13 Aspects liés à l'environnement: ajout de références à la sécurité et aux aspects liés à l'environnement;
- j) correction d'erreurs dans le Corrigendum 2 de l'IEC 62271-211:2017;
- k) modification de l'orientation des Figures 1 à 4 afin de faciliter la lecture des tableaux.

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

Projet	Rapport de vote
17C/935/FDIS	17C/945/RVD

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

La version française de la norme n'a pas été soumise au vote.

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

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62271, publiées sous le titre général *Appareillage à haute tension*, 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. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé, ou
- révisé.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62271-211:2024

APPAREILLAGE À HAUTE TENSION –

Partie 211: Raccordements directs entre transformateurs de puissance et appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse de tensions assignées supérieures à 52 kV

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62271 s'applique aux raccordements directs monophasés et triphasés entre l'appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse (GIS) pour des tensions assignées supérieures à 52 kV et des dispositions de transformateurs pour établir des possibilités d'échanges électriques et mécaniques et pour déterminer les limites d'alimentation pour le raccordement du transformateur.

Les raccordements directs sont immergés à une extrémité dans l'huile ou le gaz isolant du transformateur et à l'autre extrémité dans le gaz isolant de l'appareillage.

Les transformateurs sont agencés sous forme de transformateurs monophasés avec un agencement sous enveloppe monophasé, de transformateurs triphasés avec trois agencements sous enveloppe monophasés, ou de transformateurs triphasés avec un agencement sous enveloppe triphasé avec trois traversées de transformateur.

Le raccordement satisfait aux exigences de l'IEC 62271-203 pour l'appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse, de l'IEC 60076 pour le transformateur de puissance et de l'IEC 60137 pour les traversées immergées totalement.

Pour les besoins du présent document, le terme "appareillage" est utilisé pour "appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse" et le terme "transformateur" est utilisé pour "transformateur de puissance".

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 60076 (toutes les parties), *Transformateurs de puissance*

IEC 60076-1:2011, *Transformateurs de puissance – Partie 1: Généralités*

IEC 60137:2017, *Traversées isolées pour tensions alternatives supérieures à 1 000 V*

IEC 61936-1:2021, *Installations électriques de puissance de tension supérieure à 1 kV en courant alternatif et 1,5 kV en courant continu – Partie 1: Courant alternatif*

IEC 62271-1:2017, *Appareillage à haute tension – Partie 1: Spécifications communes pour appareillage à courant alternatif*
IEC 62271-1:2017/AMD1:2021

IEC 62271-203:2022, *Appareillage à haute tension – Partie 203: Appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse pour courant alternatif pour tensions assignées supérieures à 52 kV*

IEC 62271-207:2023, *Appareillage à haute tension – Partie 207: Qualification sismique pour les ensembles d'appareillages à isolation gazeuse, appareillage sous enveloppe métallique et sous enveloppe à isolation solide pour des tensions assignées supérieures à 1 kV*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC 62271-1 ainsi que les suivants s'appliquent.

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

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

3.1

traversée

dispositif servant à faire passer un ou plusieurs conducteurs à travers une enveloppe, en isolant le(s) conducteur(s) de cette enveloppe

[SOURCE: IEC 60050-471:2007 [1]¹, 471-02-01, modifié – "une enveloppe" a été inséré après "à travers" et "une paroi, telle qu'un mur ou une cuve" a été supprimé. Les Notes 1 et 2 ont été supprimées.]

3.2

traversée immergée totalement

traversée dont les deux extrémités sont destinées à l'immersion dans des milieux isolants autres que l'air (par exemple, huile ou gaz)

[SOURCE: IEC 60050-471:2007 [1], 471-02-04]

3.3

enveloppe de l'appareillage de commutation à isolation gazeuse

partie d'un appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse qui contient le gaz isolant dans les conditions prescrites nécessaires pour conserver avec sûreté le niveau d'isolement le plus élevé, qui protège l'équipement contre les effets extérieurs et qui procure un haut degré de protection pour les personnes

Note 1 à l'article: L'enveloppe peut être monophasée ou triphasée.

[SOURCE: IEC 62271-203:2022, 3.103]

3.4

borne d'extrémité du circuit principal

partie du circuit principal de l'appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse faisant partie de l'interface de raccordement

[SOURCE: IEC 62271-209:2019 [2], 3.2]

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

3.5

enveloppe de raccordement du transformateur

partie de l'appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse qui loge une extrémité d'une traversée immergée totalement installée sur un transformateur de puissance et une borne d'extrémité du circuit principal

3.6

pression maximale externe de service du gaz

pression maximale du milieu gazeux isolant dans lequel la traversée est immergée partiellement ou totalement lorsqu'elle est en service

Note 1 à l'article: Elle est au moins égale à la pression maximale de l'enveloppe de raccordement du transformateur du GIS à la température la plus élevée que le gaz utilisé pour l'isolation peut atteindre dans des conditions de service maximales spécifiées.

Note 2 à l'article: Dans le cas des transformateurs à isolation gazeuse, il s'agit également de la pression maximale d'isolement du milieu gazeux isolant dans lequel l'extrémité de la traversée est immergée dans le transformateur de puissance lorsqu'elle est en service, l'ensemble de raccordement traversée/transformateur de puissance transportant son courant permanent assigné à la température ambiante maximale.

[SOURCE: IEC 60137:2017, 3.32, modifié – La Note 1 à l'article et la Note 2 à l'article ont été ajoutées.]

3.7

pression de calcul de l'enveloppe

pression relative utilisée pour déterminer la conception de l'enveloppe

Note 1 à l'article: Elle est au moins égale à la pression maximale de l'enveloppe à la température la plus élevée que le gaz utilisé pour l'isolation peut atteindre dans des conditions de service maximales spécifiées.

Note 2 à l'article: La pression transitoire qui apparaît pendant et après une manœuvre de coupure (par exemple, d'un disjoncteur) n'est pas prise en considération pour la détermination de la pression de calcul.

[SOURCE: IEC 62271-203:2022, 3.114]

3.8

pression p_{re} de remplissage pour l'isolement

masse volumique ρ_{re} de remplissage pour l'isolement

pression (en Pa), pour l'isolement, rapportée aux conditions atmosphériques normales de +20 °C et de 101,3 kPa (ou masse volumique), pouvant être exprimée de façon relative ou absolue, à laquelle le compartiment est rempli avant la mise en service

[SOURCE: IEC 62271-1:2017, 3.6.5.1, modifié – Les termes "et/ou la coupure" et "ou rempli de nouveau automatiquement" ont été supprimés.]

3.9

pression p_{me} minimale de fonctionnement pour l'isolement

masse volumique ρ_{me} minimale de fonctionnement pour l'isolement

pression (en Pa), pour l'isolement, rapportée aux conditions atmosphériques normales de +20 °C et de 101,3 kPa (ou masse volumique), pouvant être exprimée de façon relative ou absolue, à laquelle et au-dessus de laquelle les caractéristiques du raccordement appareillage/transformateur de puissance sont conservées

[SOURCE: IEC 62271-1:2017, 3.6.5.5, modifié – Les termes "et/ou la coupure" ont été supprimés, "caractéristiques du raccordement appareillage/transformateur de puissance" a été ajouté et "caractéristiques assignées de l'appareillage" a été supprimé.]

3.10

jonction isolée

toutes les pièces nécessaires pour isoler le transformateur de l'appareillage, y compris, entre autres, la bride d'isolement

3.11

densité proctor

densité sèche la plus élevée d'un sol pour un effort de compactage donné, qui dépend de la quantité d'eau renfermée dans le sol durant un compactage du sol d'une grandeur contrôlée selon l'essai Proctor Standard

Note 1 à l'article: L'essai Proctor Standard est défini dans l'ASTM D-698 [3]. Cependant, il existe d'autres méthodes d'essai qui fournissent des informations similaires, mais pas toujours équivalentes, par exemple l'ISO 17892-2 [4], la BS 1377-1 [5], l'UNE 103500 [6], la NF P 94-093 [7] et la DIN 18127 [8].

3.12

surtension à front très rapide

VFFO

surtension transitoire, généralement unidirectionnelle, de durée jusqu'à la valeur de crête $T_f \leq 0,1 \mu\text{s}$, et avec ou sans oscillations superposées de fréquence $30 \text{ kHz} < f < 100 \text{ MHz}$

Note 1 à l'article: Les surtensions transitoires générées par les opérations de commutation à l'intérieur du GIS possèdent une durée jusqu'à la valeur de crête de l'ordre des nanosecondes. Elles sont généralement désignées sous l'appellation "transitoires très rapides" ou VFTO (very fast transients overvoltage) ou associées à l'encapsulation mise à la terre en cas d'élévations transitoires à fronts très rapides du potentiel de terre.

Note 2 à l'article: L'abréviation "VFFO" est dérivée du terme anglais développé correspondant "very-fast-front overvoltage".

[SOURCE: IEC 60071-1:2019 [9], 3.17.2.3, modifié – La Note 1 à l'article et la Note 2 à l'article ont été ajoutées.]

4 Conditions normales et spéciales de service

4.1 Conditions normales de service

Le 4.1 de l'IEC 62271-203:2022 s'applique.

4.2 Conditions spéciales de service

Le 4.2 de l'IEC 62271-203:2022 s'applique.

5 Caractéristiques assignées

5.1 Généralités

Lors du dimensionnement d'un raccordement direct entre un appareillage et un transformateur de puissance, les valeurs assignées suivantes s'appliquent.

5.2 Tension assignée (U_r)

La tension assignée doit être la tension assignée de l'appareillage, choisie parmi les valeurs normalisées suivantes:

72,5 kV – 100 kV – 123 kV – 145 kV – 170 kV – 245 kV – 300 kV – 362 kV – 420 kV – 550 kV

NOTE Les valeurs supérieures ou égales à 800 kV ne sont pas prises en considération en raison du peu d'expérience disponible pour le moment.

5.3 Niveau d'isolement assigné (U_d , U_p , U_s)

Le niveau d'isolement assigné pour la partie GIS de l'enveloppe de raccordement direct doit être choisi parmi les valeurs de tension assignée correspondantes données dans la norme de produit IEC 62271-203. Le niveau d'isolement assigné pour la traversée de transformateur doit être choisi parmi les valeurs données dans la norme de produit IEC 60137.

NOTE Les transformateurs peuvent être soumis aux essais à des valeurs de niveau d'isolement différentes, selon la norme applicable.

Le niveau d'isolement assigné pour un raccordement direct doit satisfaire au minimum aux exigences de l'IEC 62271-203.

5.4 Fréquence assignée (f_r)

Le 5.4 de l'IEC 62271-1:2017 s'applique.

5.5 Courant permanent assigné (I_r)

Cette caractéristique assignée définit la valeur efficace du courant que le raccordement direct peut transporter de manière continue pour ses conditions de service (voir l'Article 4).

L'interface de raccordement est représentée sur la Figure 1 par les éléments 3 et 4. Les dimensions des interfaces de raccordement représentées sur la Figure 2 admettent une valeur maximale de 3 150 A pour le courant permanent assigné dans des conditions normales de service, c'est-à-dire à une température ambiante maximale de 40 °C (voir le 4.1).

Les surfaces de contact de l'interface de raccordement doivent être plaquées argent ou plaquées cuivre, ou être en cuivre nu.

Pour le courant permanent assigné, le raccordement entre l'appareillage et le transformateur de puissance doit être conçu de telle manière que la température de l'enveloppe de raccordement du transformateur et la température de l'interface de raccordement ne dépassent pas les valeurs indiquées en 7.5.6 de l'IEC 62271-1:2017.

5.6 Courant de courte durée admissible assigné (I_k) et courant de courte durée thermique assigné (I_{th})

Pour le courant de courte durée admissible assigné de la partie GIS du raccordement direct, le 5.6 de l'IEC 62271-1:2017 s'applique; pour le courant de courte durée thermique assigné de la traversée, le 4.3 de l'IEC 60137:2017 s'applique.

Il est recommandé d'attribuer la même valeur aux courants de courte durée assignés pour le GIS et la traversée.

5.7 Valeur de crête du courant admissible assigné (I_p) et courant dynamique assigné (I_d)

Pour la valeur de crête du courant admissible assigné de la partie GIS du raccordement direct, le 5.7 de l'IEC 62271-1:2017 s'applique; pour le courant dynamique assigné de la traversée, le 4.4 de l'IEC 60137:2017 s'applique.

Il est recommandé d'utiliser la même valeur pour la valeur de crête du courant admissible assigné du GIS et le courant dynamique assigné de la traversée.

5.8 Durée de court-circuit assignée (t_k) et durée assignée du courant de courte durée thermique (t_{th})

Pour la durée de court-circuit assignée de la partie GIS du raccordement direct, le 5.8 de l'IEC 62271-1:2017 s'applique; pour la durée assignée du courant de courte durée thermique de la traversée, le 4.3 de l'IEC 60137:2017 s'applique.

Il est recommandé d'utiliser la même valeur pour la durée de court-circuit assignée du GIS et la durée assignée du courant de courte durée thermique de la traversée.

6 Conception et construction

6.1 Étanchéité au gaz et au vide

Le 6.16 de l'IEC 62271-203:2022 s'applique, avec l'ajout suivant:

Pour les conditions jusqu'à la pression maximale externe de service du gaz à l'intérieur de l'enveloppe de raccordement du transformateur du GIS, la traversée doit réduire le plus possible la diffusion du milieu gazeux isolant dans le transformateur. Le taux de fuite doit être inférieur ou égal à $10 \text{ Pa} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$ (voir le 9.10.3 de l'IEC 60137:2017).

La traversée doit empêcher la pénétration du milieu liquide isolant du transformateur ou de la traversée dans le GIS. Un examen visuel constitue une preuve suffisante (voir le 9.10.3 de l'IEC 60137:2017).

La traversée doit être capable de supporter les conditions de vide lorsque l'enveloppe de raccordement du transformateur est évacuée, dans le cadre du processus de remplissage de gaz du GIS, et doit être capable de supporter les conditions de vide lorsque le transformateur est évacué dans le cadre de son processus de remplissage de gaz ou d'huile.

Les exigences et les critères d'acceptation applicables à la traversée sont décrits dans les 8.11 à 8.13 et dans les 9.7 à 9.10 de l'IEC 60137:2017.

Dans le cas d'un transformateur à isolation gazeuse, le compartiment de gaz du transformateur doit être complètement séparé et géré indépendamment de l'appareillage.

6.2 Pression du gaz pour l'isolement de la traversée à l'intérieur de l'enveloppe de l'appareillage de commutation à isolation gazeuse (GIS)

La pression p_{re} (ou masse volumique) de remplissage de tout gaz utilisé pour l'isolement est assignée par le fabricant de l'appareillage.

La pression p_{me} minimale de fonctionnement pour l'isolement, utilisée pour déterminer la conception de l'isolation de la traversée, doit être fixée par accord entre le fabricant de l'appareillage et le fabricant de la traversée.

Cependant, la pression p_{me} minimale de fonctionnement pour l'isolement de la traversée à l'intérieur de l'enveloppe du GIS doit être inférieure ou égale à la pression minimale de fonctionnement du GIS.

NOTE Si du SF_6 est utilisé comme gaz isolant, une pression gazeuse minimale de fonctionnement pour l'isolement inférieure ou égale à 0,35 MPa (absolue) à 20 °C est généralement utilisée pour déterminer l'isolement de la traversée.

6.3 Exigences relatives à la tenue à la pression

La traversée connectée au GIS doit être capable de supporter la pression maximale en service du GIS. Les pressions maximales types en service vont jusqu'à 1,1 MPa (absolue) pour le SF₆ et jusqu'à 1,5 MPa (absolue) pour d'autres gaz et pour les mélanges de gaz.

NOTE La valeur précédemment donnée pour le SF₆ "d'au moins 0,85 MPa (absolue) à 20 °C" est approximativement corrélée à une "pression maximale type en service de 1,1 MPa (absolue) pour le SF₆" à une valeur maximale de 80 °C sur la surface externe d'une encapsulation métallique, en prenant en compte un courant permanent assigné de 3 150 A et une température ambiante maximale de 40 °C. Les valeurs de pression maximale types susmentionnées ont été adoptées dans l'IEC 62271-203:2022.

L'enveloppe de raccordement du transformateur et toutes les parties connectées à surpression interne du GIS doivent satisfaire aux exigences indiquées en 6.104 de l'IEC 62271-203:2022 pour la pression de calcul déterminée par le fabricant de l'appareillage, comme cela est spécifié en 6.104.2 de l'IEC 62271-203:2022.

La pression de calcul de l'enveloppe de raccordement du transformateur peut être inférieure à la pression gazeuse qui est utilisée pour déterminer la résistance mécanique de la traversée lors d'un essai de type.

6.4 Dimensions normalisées et tolérances

6.4.1 Généralités

Des dimensions normalisées sont spécifiées pour assurer la compatibilité entre les appareillages et les raccordements de transformateur conformes au présent document; un accord est exigé entre le fabricant de l'appareillage et le fabricant du transformateur.

6.4.2 Raccordement direct monophasé entre le transformateur immergé dans l'huile et l'appareillage

Les dimensions normalisées pour les enveloppes de raccordement de transformateur monophasées, les bornes d'extrémité de circuit principal, les bornes d'extrémité de traversée et les brides de traversée sont représentées sur la Figure 2.

6.4.3 Raccordement direct triphasé entre le transformateur immergé dans l'huile et l'appareillage

Les dimensions minimales du raccordement direct triphasé entre le transformateur immergé dans l'huile et l'appareillage sont définies par la distance minimale de phase à phase indiquée par d_8 et la distance minimale entre phase et terre indiquée par $d_3/2$, en tenant compte des trois traversées monophasées spécifiées sur la Figure 2.

Les tolérances du transformateur pour un raccordement direct type d'un transformateur de puissance triphasé raccordé à un appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse monophasé sont représentées à titre d'exemple à la Figure 3, voir aussi le 6.4.5.

Les raccordements directs triphasés sont pris en compte jusqu'à 170 kV, selon la Figure 4.

6.4.4 Raccordement entre le transformateur à isolation gazeuse et l'appareillage

Dans le cas d'un transformateur à isolation gazeuse, les dimensions normalisées de la Figure 2 peuvent ne pas être appropriées. Par conséquent, les dimensions détaillées du raccordement direct entre le transformateur de puissance à isolation gazeuse et l'appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse diffèrent. Il revient au fabricant de l'appareillage et au fabricant du transformateur de les définir. Ce raccordement peut être effectué au moyen d'une cloison plutôt qu'au moyen d'une traversée.

NOTE Pour le raccordement direct entre le transformateur à isolation gazeuse et l'appareillage, il existe actuellement peu d'expérience.

6.4.5 Tolérances du transformateur

Les tolérances indiquées sur la Figure 3 et la Figure 4 sont données à titre de recommandation comme les tolérances de référence admises après installation du transformateur, celui-ci étant prêt à fonctionner et les traversées étant installées.

6.4.6 Montage du transformateur sur sa fondation

Les transformateurs à raccordement direct doivent être équipés d'appuis pour vérin appropriés, pour le levage du transformateur, et d'angles appropriés pour la fixation du transformateur sur sa fondation; ces deux éléments facilitent le mouvement horizontal et vertical pour répondre aux besoins du raccordement à l'appareillage.

Des précautions doivent être prises lors du montage du transformateur sur sa fondation pour ne pas restreindre les tolérances de fonctionnement admissibles indiquées sur la Figure 3 et la Figure 4 en cas de raccordement direct à un appareillage.

Les transformateurs installés sur des rails ne satisfont généralement pas à cette exigence.

Pour satisfaire à l'exigence d'un mouvement horizontal du transformateur durant l'installation et ne pas perturber le processus d'installation, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur, il existe une bonne pratique en génie civil qui consiste à mettre en place des boulons d'ancrage tout en utilisant un coffrage permanent ondulé.

6.5 Limites d'alimentation

Un raccordement direct type est représenté sur la Figure 1.

Les limites d'alimentation du fabricant de l'appareillage et du fabricant du transformateur doivent être conformes à la Figure 1.

Pour réduire le plus possible les courants de circulation entre l'appareillage et le transformateur, des conducteurs d'équipotentialité selon l'IEC 61936-1 doivent être mis en place par le fabricant de l'appareillage entre les différentes enveloppes d'appareillage monophasées, lesquels conducteurs doivent être capables de transporter le courant assigné du transformateur de manière continue en fonctionnement normal. Si des courants de circulation supérieurs à 250 A sont à prévoir dans l'enveloppe de raccordement du transformateur monophasé, une jonction isolée est nécessaire entre le GIS et le transformateur (voir la Figure 1, élément 9). Cela s'applique pour le raccordement direct des transformateurs de puissance triphasés et monophasés selon la série IEC 60076.

NOTE 1 La cuve d'un transformateur n'est pas conçue pour transporter des courants de circulation permanents importants et indéfinis. Des expériences pratiques ont démontré qu'un courant de charge inférieur ou égal à 1 250 A peut être transporté sans précautions supplémentaires dans l'enveloppe de l'interface entre le GIS et le transformateur. Cela est dû au fait qu'environ 80 % du courant de charge est transporté par le conducteur d'équipotentialité de l'appareillage, à installer de préférence à l'extrémité de l'enveloppe de l'appareillage au niveau du transformateur. Par conséquent, environ 20 % du courant de charge, soit un courant inférieur ou égal à 250 A, est susceptible de générer des courants de circulation permanents dans l'enveloppe du transformateur. La confirmation de la valeur du courant dans le conducteur d'équipotentialité et à travers l'enveloppe du transformateur peut être obtenue par un calcul.

NOTE 2 En cas de courants de circulation plus élevés, l'utilisateur s'entend avec le fabricant du transformateur pour confirmer le courant maximal acceptable à travers l'encapsulation du transformateur pour éviter la jonction isolée, dans la mesure du possible.

Une jonction isolée peut également être nécessaire pour réaliser une isolation entre la cuve du transformateur et les enveloppes d'appareillage voisines reliées à la terre, et pour réaliser le bon fonctionnement des schémas de protection de l'utilisateur pour les défauts du GIS et du transformateur.

Le niveau d'isolement de part et d'autre de la jonction isolée doit être calculé pour permettre de supporter une tension d'essai à fréquence industrielle de 5 kV en valeur efficace pendant 1 min.

Pour limiter les élévations transitoires à fronts très rapides du potentiel de terre qui peuvent se produire lorsqu'un dispositif de commutation fonctionne, des résistances non linéaires peuvent être connectées en parallèle à la jonction isolée. Le nombre de résistances non linéaires et leurs caractéristiques doivent être déterminés par le fabricant de l'appareillage. Voir [10].

Selon le présent document, deux emplacements différents (représentés sur la Figure 1) sont acceptables pour la jonction isolée

- a) emplacement "A" entre la bride de l'enveloppe de raccordement du transformateur, élément 6 de la Figure 1, et la bride de la traversée, élément 10 de la Figure 1, ou
- b) emplacement "B" entre l'enveloppe de raccordement du transformateur, élément 6 de la Figure 1, et l'enceinte d'appareillage suivante, élément 14 de la Figure 1

Si la jonction isolée est nécessaire, les dimensions normalisées de l'Article 8 doivent être respectées.

Indépendamment de l'existence d'une jonction isolée, il est nécessaire que le fabricant de l'appareillage mette en place des conducteurs d'équipotentialité entre les enveloppes monophasées de l'appareillage, conformément à l'IEC 61936-1 et l'IEC 62271-203.

Il est toujours nécessaire de mettre en place des conducteurs d'équipotentialité entre les agencements à raccordement direct monophasés sous enveloppe des transformateurs monophasés, biphasés ou triphasés.

Il n'est pas nécessaire de mettre en place des conducteurs d'équipotentialité sur un transformateur triphasé avec un agencement à raccordement direct triphasé sous enveloppe.

S'il n'y a pas de jonction isolée, les conducteurs d'équipotentialité doivent être conçus de façon à limiter le courant de circulation à travers la cuve du transformateur aux valeurs admissibles, comme cela est spécifié dans le présent article.

Avec et sans jonction isolée, la connexion d'équipotentialité appropriée doit être effectuée à l'extrémité de l'enveloppe de raccordement du transformateur en direction de la traversée, c'est-à-dire à l'emplacement marqué "A" sur la Figure 1.

Dans le cas de l'emplacement marqué "B" sur la Figure 1, le conducteur d'équipotentialité doit être placé à l'extrémité de l'enceinte de l'appareillage en direction de la traversée.

Le transformateur, traversée comprise, doit être conçu conformément aux normes de produit applicables pour supporter les surtensions à front très rapide (VFFO) générées par l'appareillage.

Si une jonction isolée est appliquée, elle doit également être conçue pour supporter les mêmes valeurs de surtensions transitoires très rapides générées par l'appareillage.

NOTE 3 En lieu et place de la jonction isolée, une entretoise d'isolement peut être utilisée.

6.6 Forces mécaniques appliquées à l'interface de raccordement

Les charges normales, dont l'occurrence et le niveau peuvent être planifiés ou prévus, applicables aux traversées au niveau de l'interface de raccordement (éléments 3 et 4 de la Figure 1) sont données dans l'IEC 60137:2017, Tableau 1, niveau I (voir les charges de flexion de service); la charge normale minimale, qui agit soit transversalement soit axialement par rapport à l'interface de raccordement, ne doit cependant pas être inférieure à 2 kN. Le Tableau 1 de l'IEC 60137:2017 donne les valeurs pour la traversée installée jusqu'à 30° par rapport à la verticale.

Si des charges normales plus élevées sont à prévoir au niveau de l'interface de raccordement, les charges plus élevées doivent être choisies dans l'IEC 60137:2017, Tableau 1, niveau II (charge élevée).

Pour les circonstances exceptionnelles, dont la probabilité d'occurrence au cours du cycle de vie des produits est très faible ou accidentelle (par exemple, courants de court-circuit ou charges sismiques), le niveau de charge d'essai de flexion II du Tableau 1 de l'IEC 60137:2017 doit être utilisé.

En cas d'exigences sismiques, comme des conditions spéciales de service selon le 4.2 de l'IEC 62271-203:2022, un calcul sismique doit être effectué afin d'identifier l'emplacement des renforts mécaniques; voir l'IEC 62271-207.

NOTE L'IEC 62271-207 couvre les exigences pour la qualification sismique, les procédures d'essai pour les qualifications, la qualification par combinaison d'essais et d'analyses numériques, et l'évaluation de la qualification sismique.

Il incombe au fabricant de l'appareillage de s'assurer que les charges sismiques ne dépassent pas le niveau de charge spécifié II du Tableau 1 de l'IEC 60137:2017, ou de fixer avec le fabricant de la traversée des forces plus élevées que la traversée doit supporter.

Le choix de la traversée appropriée est de la responsabilité du fabricant du transformateur, compte tenu des forces de court-circuit maximales effectives entre phase et terre ainsi qu'entre les phases respectives dans le cas d'une enveloppe triphasée aux deux extrémités de la traversée.

En cas de courants admissibles assignés différents pour le GIS et le transformateur, les courants admissibles assignés les plus élevés s'appliquent pour calculer les forces mécaniques que l'interface de raccordement doit supporter.

6.7 Forces mécaniques appliquées à la bride de traversée

Outre la pression maximale externe de service du gaz à l'intérieur de l'enveloppe de raccordement du transformateur du GIS, la bride de la traversée fixée à l'enveloppe de raccordement du transformateur est soumise, en service, aux charges normales suivantes:

- la partie du poids de l'appareillage non supportée par les propres structures de support de l'appareillage;
- la partie de la force du vent, le cas échéant, non supportée par les propres structures de support de l'appareillage;
- les contraintes de dilatation ou de contraction dues aux variations de température de la cuve du transformateur et de l'enveloppe de l'appareillage de commutation à isolation gazeuse (GIS).

Ces charges ont pour effet l'application simultanée, au centre de la bride de la traversée:

- d'un moment de courbure M_0 ;
- d'une force de cisaillement F_t ;
- d'une force de tension ou de compression F_a .

La bride de la traversée et son raccordement au transformateur doivent être capables de supporter, en service, les valeurs de M_0 , F_t et F_a spécifiées dans le Tableau 1. La responsabilité d'une conception adéquate qui satisfait à ces exigences relève du fabricant du transformateur et du fabricant de la traversée.

Le fabricant de l'appareillage a la responsabilité de s'assurer que le GIS ne dépasse pas ces valeurs lorsque celui-ci est installé au raccordement du transformateur.

Pour les forces et moments exceptionnels, dont la probabilité d'occurrence au cours du cycle de vie des produits est très faible ou accidentelle (par exemple, courants de court-circuit ou charges sismiques), la bride de la traversée doit être conçue pour supporter 200 % des moments et forces indiqués dans le Tableau 1.

NOTE 1 Les forces appliquées sur la bride de transformateur de la traversée, imposées par l'enveloppe de l'appareillage comme cela est indiqué dans le Tableau 1, sont sensiblement plus élevées que les forces imposées par les traversées immergées d'extérieur selon l'IEC 60137 de caractéristique assignée équivalente. Ces forces dépendent de la disposition de l'appareillage, avec ou sans éléments de compensation sur le côté appareillage ou transformateur.

NOTE 2 L'exigence concernant le rapport entre charge normale et charge exceptionnelle est conforme au rapport des charges de service et des charges d'essai de flexion de l'IEC 60137:2017, Tableau 1.

L'évaluation précise des contraintes thermiques susmentionnées de la cuve du transformateur doit être fondée sur le facteur de dilatation thermique du matériau de la cuve du transformateur, en prenant en compte la température ambiante la plus basse effective (c'est-à-dire transformateur hors service) et la température maximale moyenne effective que la cuve du transformateur connaît en fonctionnement (c'est-à-dire normalement 90 °C à une température de référence de 20 °C). Le facteur de dilatation thermique du matériau du transformateur doit être pris en considération pour l'acier doux avec une valeur de 12×10^{-6} / K. Concernant la dilatation et la contraction du transformateur, l'hypothèse d'un cycle par jour peut être retenue.

NOTE 3 Les variations de hauteur ou de position dues à la vidange de l'huile du transformateur et à l'évacuation de la cuve du transformateur ne sont pas prises en considération, l'appareillage et le transformateur n'étant par hypothèse pas connectés l'un à l'autre lorsque ces opérations sont effectuées.

D'autres cycles de dilatation-contraction possibles, le cas échéant, doivent être indiqués au fabricant du GIS par l'utilisateur.

Tableau 1 – Moments et forces appliqués à la bride de traversée et au transformateur

Tension assignée	Moment de courbure M_0	Force de cisaillement F_t	Force de tension ou de compression F_a
kV	kN m	kN	kN
72,5 à 100	5	7	4
123 à 170	10	10	5
245 à 300	20	14	7
362 à 550	40	20	10

Pour les exigences sismiques, comme des conditions spéciales de service selon le 4.2 de l'IEC 62271-203:2022, il est nécessaire d'effectuer un calcul sismique afin d'identifier l'emplacement des renforts mécaniques; voir l'IEC 62271-207.