

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**High-voltage switchgear and controlgear –
Part 207: Seismic qualification for gas-insulated switchgear assemblies for rated
voltages above 52 kV**

**Appareillage à haute tension –
Partie 207: Qualification sismique pour ensembles d'appareillages à isolation
gazeuse pour des niveaux de tension assignée supérieurs à 52 kV**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2012 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

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

Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
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 corrigenda or an amendment might have been published.

Useful links:

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables you 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It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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 on-line and also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) on-line.

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: csc@iec.ch.

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

Liens utiles:

Recherche de publications CEI - www.iec.ch/searchpub

La recherche avancée vous permet de trouver des publications CEI en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...).

Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

Just Published CEI - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) en ligne.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**High-voltage switchgear and controlgear –
Part 207: Seismic qualification for gas-insulated switchgear assemblies for rated
voltages above 52 kV**

**Appareillage à haute tension –
Partie 207: Qualification sismique pour ensembles d'appareillages à isolation
gazeuse pour des niveaux de tension assignée supérieurs à 52 kV**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.130.10

ISBN 978-2-88912-060-4

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

CONTENTS

FOREWORD.....	3
1 Scope.....	5
2 Normative references	5
3 Terms and definitions	5
4 Seismic qualification requirements	6
4.1 General.....	6
4.2 Qualification levels	6
5 Test procedures for qualification.....	6
5.1 General.....	6
5.2 Mounting	7
5.3 Measurements.....	7
5.4 Frequency range	7
5.5 Test severity	7
5.5.1 General	7
5.5.2 Parameters for time-history excitation.....	9
5.5.3 Test directions.....	9
5.5.4 Test sequence.....	9
6 Qualification by combined test and numerical analysis	10
6.1 General.....	10
6.2 Dynamic and functional data	11
6.3 Numerical analysis	11
6.3.1 General	11
6.3.2 Numerical analysis by the acceleration time-history method	11
6.3.3 Modal and spectrum analysis using the required response spectrum (RRS)	11
6.3.4 Static coefficient analysis	12
7 Evaluation of the seismic qualification	12
7.1 Combination of stresses	12
7.2 Acceptance criteria for the seismic waveform	13
7.3 Functional evaluation of the test results	13
7.4 Allowable stresses	13
8 Documentation	13
8.1 Information for seismic qualification.....	13
8.2 Test report	14
8.3 Analysis report	14
Annex A (normative) Characterisation of the test-set	15
Annex B (informative) Criteria for seismic adequacy of gas-insulated metal-enclosed switchgear	17
Bibliography.....	19
Figure 1 – Required response spectrum (RRS) for qualification level moderate	8
Figure 2 – Required response spectrum (RRS) for qualification level high	9
Figure A.1 – Monogram for the determination of equivalent damping ratio	16
Table 1 – Seismic qualification levels for switchgear assemblies – Horizontal severities	6

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –

**Part 207: Seismic qualification for gas-insulated
switchgear assemblies 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) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 62271-207 has been prepared by subcommittee 17C: High-voltage switchgear and controlgear assemblies, of IEC technical committee 17: Switchgear and controlgear.

This second edition of IEC 62271-207 cancels and replaces the first edition published in 2007. It constitutes a technical revision.

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

- modification of the minimum voltage rating from 72,5 kV to above 52 kV;
- harmonisation of qualification procedures for GIS with IEEE 693:2005 Annex A and P by modifying the response spectra;
- modification of the test procedures;
- addition of criteria of allowed stresses;

- addition of dynamic analysis CQC.

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

FDIS	Report on voting
17C/542/FDIS	17C/549/RVD

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

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

A list of all the parts in the IEC 62271 series, 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 publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

The contents of the corrigendum of January 2013 have been included in this copy.

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

HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –

Part 207: Seismic qualification for gas-insulated switchgear assemblies for rated voltages above 52 kV

1 Scope

This part of IEC 62271 applies to gas-insulated switchgear assemblies for alternating current of rated voltages above 52 kV for indoor and outdoor installations, including their supporting structure.

For switchgear devices, e.g. live tank circuit breakers, IEC/TR 62271-300 is applicable.

Guidance on interactions between the supporting structure and the soil / foundations is provided in Annex B.

The seismic qualification of the switchgear assemblies takes into account testing of typical switchgear assemblies combined with methods of analysis. Mutual interaction between directly mounted auxiliary and control equipment and switchgear assemblies are covered.

The seismic qualification of switchgear assemblies is only performed upon request.

2 Normative references

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

IEC 60068-2-47, *Environmental testing – Part 2-47: Tests – Mounting of specimens for vibration, impact and similar dynamic tests*

IEC 60068-2-57, *Environmental testing – Part 2-57: Tests – Test Ff: Vibration – Time-history method*

IEC 60068-3-3:1991, *Environmental testing – Part 3: Guidance – Seismic test methods for equipments*

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

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

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60068-3-3, IEC 62271-203 and IEC 62271-1 apply.

4 Seismic qualification requirements

4.1 General

The seismic qualification shall demonstrate the ability of the switchgear assemblies to withstand seismic stress. It may be proofed by test or by a combination of test and analysis.

No failure on the enclosure and the main circuits as well as on the control and auxiliary circuit, including the relevant supporting structures, shall occur.

For ductile material, minor permanent deformations are acceptable provided that they do not impair the functionality of the equipment. The equipment shall properly operate after the seismic event as defined in 7.2 and 7.3.

4.2 Qualification levels

The qualification has to be done on one of the recommended levels of Table 1. For vertical severities the direction factor is 0,5.

No qualification is required for low seismic level as far as construction practice and seismic construction practice comply with the state of the art.

Other qualification levels which consist in requirements from the customer that can be based on specific investigation at site or regulations in national standard, taking into account for example the type of soil, soil structure interaction, building response, and elevation may be used.

Table 1 – Seismic qualification levels for switchgear assemblies – Horizontal severities

Qualification level	Required response spectrum (RRS)	Zero period acceleration (ZPA) m/s ²
High	Figure 2	5
Moderate	Figure 1	2,5
Low	---	1

5 Test procedures for qualification

5.1 General

The test procedure for qualification of a test-set shall be in accordance with IEC 60068-3-3.

The qualification shall be carried out on a representative test-set.

NOTE 1 For GIS it is not possible to test a complete substation on a shake table, because of the size and weight. Numerical analysis is always needed to give information about the seismic qualification.

The seismic test needs to be carried out under the rated filling pressure of the GIS.

The rated filling pressure in the GIS is required to test under realistic situations. Nevertheless test laboratories for seismic testing need adequate safety measures. Test laboratories are available in USA, Europe and Japan.

During the seismic testing no operation of the circuit breaker is necessary.

NOTE 2 The circuit breaker operates much faster than any earthquake excitation and therefore a switching operation has no practical impact on the test result.

If the auxiliary and control equipment or other parts of the equipment are dynamically uncoupled, they may be qualified independently.

If a test-set cannot be tested with its supporting structure (e.g., due to its size), the dynamic contribution of the structure shall be determined by analysis and taken into account in the test.

The time-history test method is to be preferred, since it more closely simulates actual conditions, particularly if the behaviour of the test-set is not linear. The test method shall be in accordance with IEC 60068-2-57.

5.2 Mounting

The test-set shall be mounted as in service including dampers (if any).

The horizontal orientation of the test-set shall be in the direction of excitation acting along its two main orthogonal axes.

Any fixations or connections that are required only the convenience of testing must not affect the dynamic behaviour of the test-set.

The method of mounting of the test-set shall be documented and shall include a description of any interposing fixtures and connections. IEC 60068-2-47 provides guidance.

5.3 Measurements

Measurements shall be performed in accordance with IEC 60068-3-3 and shall include

- vibration motion of components where maximum deflections and significant relative displacements are expected;
- strains of critical elements (e.g. bushings, flanges, enclosures and support structures).

5.4 Frequency range

Frequency range shall be 0,5 Hz to 33 Hz. The frequency range is applied to the resonant frequency search test and the generation of artificial earthquake wave.

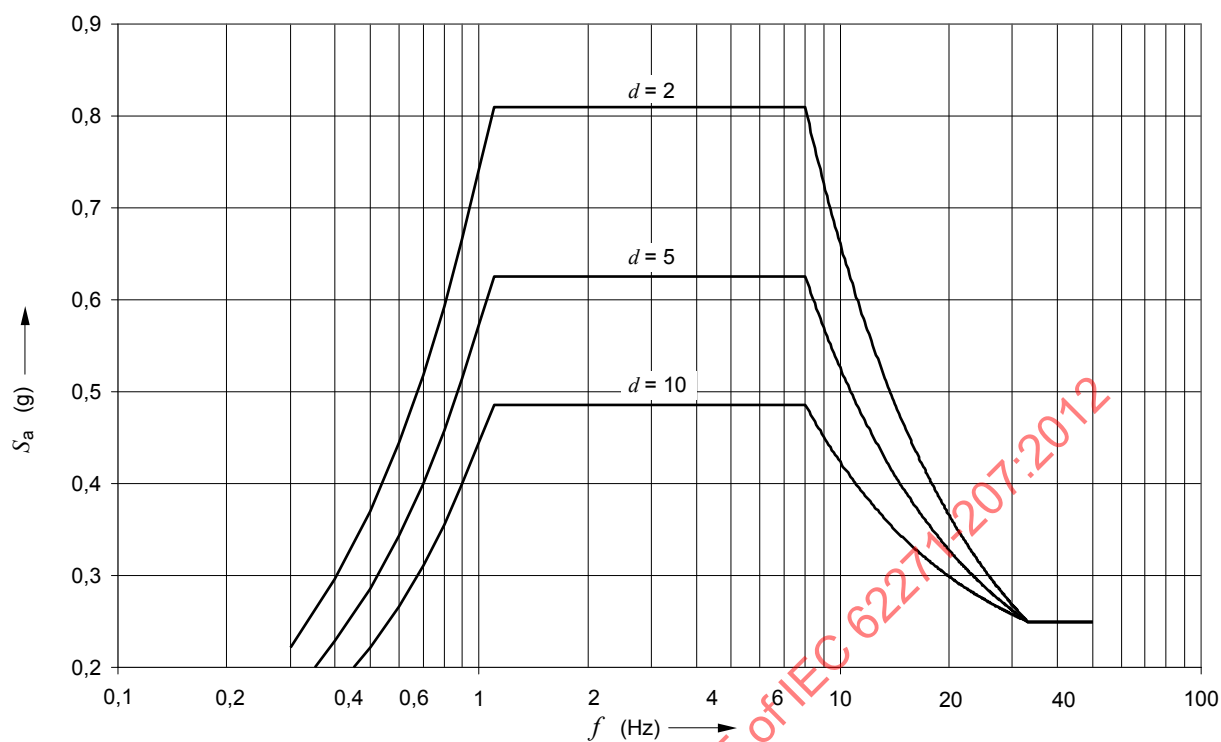
5.5 Test severity

5.5.1 General

The test severity shall be chosen in accordance with Clause 4.

The recommended required response spectra are given in Figures 1 and 2 for the different seismic qualification levels. The curves relate to 2 %, 5 %, 10 % of the switchgear assemblies. If damping factor is unknown, 2 % damping is applied.

Spectra for different damping values may be obtained by linear interpolation.



IEC 694/12

Spectral Accelerations, S_a (g), for Frequencies, f (Hz):

$$S_a = 0,572 \beta f \quad \text{for } 0,0 \leq f \leq 1,1$$

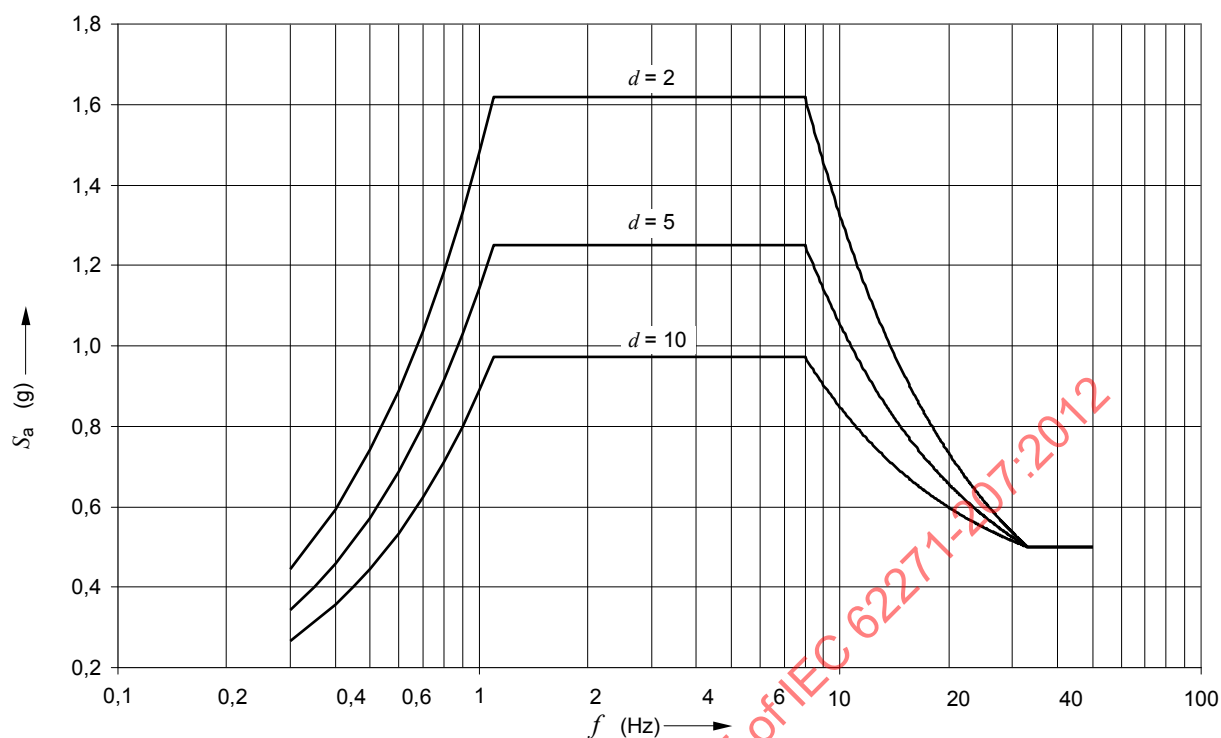
$$S_a = 0,625 \beta \quad \text{for } 1,1 \leq f \leq 8,0$$

$$S_a = (6,6 \beta - 2,64) / f - 0,2 \beta + 0,33 \quad \text{for } 8,0 \leq f \leq 33$$

$$S_a = 0,25 \quad \text{for } f > 33$$

$\beta = (3,21 - 0,68 \ln(d)) / 2,115$ 6, where d is the percent damping (2, 5, 10, etc.) and $d \leq 20$ %

Figure 1 – Required response spectrum (RRS) for qualification level moderate



Spectral Accelerations, S_a (g), for Frequencies, f (Hz):

$$S_a = 1,144 \beta f \quad \text{for } 0,0 \leq f \leq 1,1$$

$$S_a = 1,25 \beta \quad \text{for } 1,1 \leq f \leq 8,0$$

$$S_a = (13,2 \beta - 5,28) / f - 0,4 \beta + 0,66 \quad \text{for } 8,0 \leq f \leq 33$$

$$S_a = 0,5 \quad \text{for } f > 33$$

$\beta = (3,21 - 0,68 \ln(d)) / 2,1156$, where d is the percent damping (2, 5, 10, etc.) and $d \leq 20\%$

Figure 2 – Required response spectrum (RRS) for qualification level high

5.5.2 Parameters for time-history excitation

The total duration of the time-history shall be about 30 s, of which the strong part shall not be less than 20 s. The duration of strong part shall start when the time-history excitation first reaches 25 % of its maximum acceleration. It shall end when the time-history excitation drops below 25 % of its maximum acceleration for the last time.

5.5.3 Test directions

The test directions shall be chosen according to IEC 60068-3-3.

In some cases, the effect of the vertical acceleration results in negligible stresses and the vertical excitation may be omitted. In such cases justification for the omission of the vertical component shall be provided.

5.5.4 Test sequence

5.5.4.1 General

The test sequence shall be as follows:

- functional checks before testing;
- vibration response investigation (required to determine natural frequencies and damping ratios and/or for analysis);
- seismic qualification test;
- functional checks after testing.

5.5.4.2 Functional checks

Before and after the tests, the following operating characteristics or settings shall be recorded or evaluated (when applicable) at the rated supply voltage and at rated filling pressure for operation p_{rm} :

- a) closing time;
- b) opening time;
- c) time spread between units of one pole;
- d) time spread between poles (if multipole tested);
- e) gas and/or liquid tightness;
- f) resistance measurement of the main current path.

5.5.4.3 Vibration response investigation

The resonant frequency search test and the damping measurement test shall be carried out according to IEC 60068-3-3 over the frequency range stated in 5.4.

5.5.4.4 Seismic qualification test

The test shall be performed by applying one of the procedures stated in the flow charts of Annex A of IEC 60068-3-3:1991, depending on the test facilities.

The test shall be performed once at the level chosen in 4.2.

During the seismic test the following parameters shall be recorded:

- strains of critical elements (e.g. bushings, flanges, enclosures and support structures);
- deflection of components where significant displacements are expected;
- electrical continuity of the main circuit (if applicable);
- electrical continuity of the auxiliary and control circuit at the rated voltage;
- acceleration.

6 Qualification by combined test and numerical analysis

6.1 General

The method may be used

- to qualify switchgear assemblies already tested under different seismic conditions;
- to qualify switchgear assemblies similar to assemblies already tested but which include modifications influencing the dynamic behaviour (e.g. change or extension of the arrangement or in the mass of components);
- to qualify switchgear assemblies if their dynamic and functional data are known;
- to qualify switchgear assemblies which cannot be qualified by testing (e.g. because of their size, their weight or their complexity).

6.2 Dynamic and functional data

Dynamic data (damping ratios, natural frequencies, stresses of critical elements as a function of input acceleration) for analysis shall be obtained by one of the following:

- a) a dynamic test of a similar test-set;
- b) a dynamic test at reduced test levels;
- c) determination of natural frequencies and damping ratios by other tests such as free oscillation tests or low level excitation (see Annex A).

Functional data may be obtained from a previous test performed on a similar test-set.

6.3 Numerical analysis

6.3.1 General

The general procedure is as follows:

- a) Mathematical model:

On the basis of technical information concerning the design characteristics of the substation, a three-dimensional model of the test-set shall be created. Such a model shall take into consideration the presence of actual compartments and of their supporting structures, and shall have sufficient sensitivity to describe the dynamic behaviour of the test-set in the frequency range being studied.

- b) Calibration of the model:

Using experimental data stated in 6.2, the mathematical model shall be calibrated in order to assess its dynamic characteristics. Considering the modularity of switchgear assemblies, the mathematical model implemented and calibrated for the test-set may be extended to a complete substation, provided that the right adaptations, related to the structural differences existing for the different modules, are considered;

- c) Response of the analysis:

The response, in the frequency range stated in 5.4, using either of the methods described in the following subclauses has to be determined. Other methods may be used if they are properly justified.

6.3.2 Numerical analysis by the acceleration time-history method

When the seismic analysis is carried out by the time-history method, the ground motion acceleration time-histories shall comply with the RRS (see Table 1). Two types of superimposition may generally be applied depending on the complexity of the analysis:

- a) separate calculation of the maximum responses due to each of the three components (x and y in the horizontal, and z in the vertical direction) of the earthquake motion. The effects of each single horizontal direction and the vertical direction shall be combined by taking the square root of the sum of the squares, i.e. $(x^2 + z^2)^{1/2}$ and $(y^2 + z^2)^{1/2}$. The greater of these two values is used for dimensioning the switchgear assemblies;
- b) simultaneous calculation of the maximum responses assuming one of the seismic horizontal directions and the vertical direction (x with z) and thereafter calculation with the other horizontal direction and the vertical direction (y with z). This means that after each time step of the calculation all values (forces, stresses) are superimposed algebraically. The greater of these two values is used for dimensioning the switchgear assemblies.

6.3.3 Modal and spectrum analysis using the required response spectrum (RRS)

When the dynamic analysis is carried out by the response spectrum method, the following shall apply:

The total response of all modes in any direction shall be determined by combining all modal response components acting in that direction using the SRSS¹ technique, except if the mode frequencies differ by less than 10 % of the lower mode. Then these closely spaced modes are added directly and these added modes and the remaining modes are added using the SRSS method. Alternatively, the total response in any direction may be determined by applying the CQC² technique to all modal response components acting in that direction. Sufficient modes shall be included to ensure an adequate representation of the equipment's dynamic response. The acceptance criteria for establishing sufficiency in a particular direction shall be that the cumulative participating mass of the modes considered shall be at least 90 % of the sum of effective masses of all modes. Should the mathematical model have several resonant frequencies above 33 Hz such that the attainment of the acceptance criteria in an orthogonal excitation direction is impractical (as may be the case with vertical ground acceleration of vertically stiff equipment), then the effects of the orthogonal inputs can be simulated as follows:

- a) determine the remaining effective mass in a given direction;
- b) for each component, apply a static force equal to the mass of the component multiplied by the percentage of mass missing, times the ZPA;
- c) calculate stresses, reactions, and so on using these forces;
- d) for each direction, combine stresses, reactions, and so on from the dynamic analysis with those from the analysis above using the SRSS.

The maximum values in the x and z direction, and in the y and z direction, are combined by taking the square root of the sum of the squares. The greater value of these two cases (x, z) or (y, z) is the dimensioning factor for the switchgear assemblies.

6.3.4 Static coefficient analysis

The static coefficient analysis allows a simpler technique in return for added conservatism. No determination of natural frequencies is made but, rather, the response spectrum of the switchgear assemblies is assumed to be the peak of the required response spectrum at a conservative and justifiable value of damping. The coefficient 1,5 shall be applied to static coefficient analysis.

The seismic forces on each part of the switchgear assemblies are obtained by multiplying the values of the mass, concentrated at its centre of gravity, and the acceleration.

The resulting force shall be distributed proportionally to the mass distribution.

The stress analysis may then be completed as stated in 7.1.

If the lowest resonant frequency of equipment is greater than 33 Hz, the equipment may be called rigid. A static analysis may be applied using the ZPA of the response spectrum and a static coefficient of 1,0.

7 Evaluation of the seismic qualification

7.1 Combination of stresses

The seismic stresses determined by test or analysis shall be combined algebraically with other service loads to determine the total withstand capability of the switchgear assemblies.

The probability of an earthquake of the recommended seismic qualification level occurring during the life-time of the switchgear assemblies is low, whilst the maximum seismic load in a

¹ Square Root of the Sum of Squares

² Complete Quadratic Combination

natural earthquake would only occur if the switchgear assemblies were excited at their natural frequencies with maximum acceleration. Since any excitation at natural frequencies will last for a few seconds at most, a combination of the utmost electrical and environmental service loads leads to unrealistic conservatism.

The following loads may be considered to occur additionally, if not otherwise specified:

- rated filling pressure for operation p_{rm} ;
- permanent loads (dead loads);
- thermal effects.

The combination of loads shall be effected by static analysis, applying the forces in the direction they occur.

7.2 Acceptance criteria for the seismic waveform

The seismic simulation waveform shall produce a test response spectrum which envelopes the required response spectrum (calculated at the same damping ratio). The peak acceleration shall be equal to or greater than the zero period acceleration. Also, the limitations of the test facility shall be considered to the extent permitted by 5.4. Further acceptance criteria for the seismic waveform are given in IEC 60068-2-57.

7.3 Functional evaluation of the test results

Functional results are normally obtained only by dynamic tests. These results may be extrapolated to obtain qualification by combination of tests and analysis. In particular,

- a) the main contacts shall remain in open or closed position during the seismic test;
- b) chatter of relays shall not cause the switching devices to operate;
- c) chatter of relays shall not provide wrong information of the status of the switchgear assemblies (position, alarm signals).

NOTE Normally, chatter of relays lasting less than 5 ms is considered to be acceptable.

- d) resetting of monitoring equipment is considered to be acceptable if the overall performance of the switchgear assemblies is not affected;
- e) no significant change shall occur in functional check recordings at the end of the test sequence compared with the initial ones (see 5.5.4.2);
- f) no cracking or buckling shall be found on the equipment and equipment supports.

7.4 Allowable stresses

The allowable stress of enclosures shall not exceed 100 % of the materials yield stress. For supporting structures made from ductile material, stresses greater 100 % yield stress and plastic deformation are acceptable if it does not impact the functionality of the equipment. For other material the allowable stress must remain within the limits for the exceptional load case given by established standards.

NOTE For instance components made of cast epoxy resins, ceramic material or glass may be stressed up to 100 % of their type test withstand bending moment, see IEC 62155; components made of composite material may be stressed up to their specified cantilever load (SCL) or specified mechanical load (SML), see IEC 62231 and IEC 61462 respectively.

8 Documentation

8.1 Information for seismic qualification

The following information is required for either analysis or testing of the switchgear assemblies:

- a) qualification level (see 4.2);
- b) details of structure and mounting (see 5.1 and 5.2);
- c) number and relative position of testing axes (see 5.2);

8.2 Test report

The test report shall contain the following items:

- a) switchgear assemblies identification file including structure and mounting details;
- b) test dates, recordings and videos;
- c) applicable standards;
- d) wave form of the time history;
- e) test facility
 - 1) location,
 - 2) test equipment description and calibration,
 - 3) accreditation of the test laboratory;
- f) test method and procedures;
- g) placement of strain gauge/acceleration sensors;
- h) pressure gauges;
- i) test data including functional data (see 5.5.4.2 and 6.2);
- j) results and conclusions;
- k) approved signature and date.

8.3 Analysis report

Analysis, which is included as a proof of performance, shall have a step-by-step presentation.

The analysis report shall contain the following items:

- a) general and global assumptions;
- b) software package used including version number;
- c) employed method (see Clause 6);
- d) switchgear assemblies identification file including structure and mounting details;
- e) information about required response spectra and qualification levels;
- f) natural frequencies and damping ratio;
- g) load combinations;
- h) results and conclusions;
- i) applicable standards.

Annex A (normative)

Characterisation of the test-set

A.1 Low-level excitation

A.1.1 General

The method exploits the application of a low-level excitation of the test-set for the determination of its natural response.

A.1.2 Test method

When portable exciter is used, experimenters must pay attention to the influence of the weight of portable exciters. With the test-set mounted to simulate the recommended service mounting conditions, a number of portable exciters are attached at the points on the test-set which will best excite its various modes of vibration.

The data obtained from the monitoring instruments placed on the test-set may be used to analyse its dynamic performance.

A.1.3 Analysis

The frequency responses obtained from the test are used to determine the modal frequencies and damping ratios which shall be used in the dynamic analysis of the test-set stated in Clause 6. This method provides a greater degree of certainty in analysis since the analytical model is refined to reflect the measured natural frequencies and experimental damping ratios.

A.2 Free oscillation test

A.2.1 General

Free oscillation tests may be used for the identification of the dynamic behaviour of a test-set that can be modelled as a single degree of freedom system (e.g. the bushings).

A.2.2 Natural frequency determination

To determine the natural frequency (first vibration mode) the test-set, fully arranged for service, shall be fixed to a rigid foundation by the recommended means.

The arbitrary force magnitude shall be used when sufficient measuring deformation is obtained.

The arbitrary force shall be applied at the vicinity of gravity centre or at any place where the sufficient measuring deformation is obtained (such as free end of equipment).

A.2.3 Determination of the damping ratio by the logarithmic decrement method

To determine the damping ratio of the test-set, the same test may be used. A number of oscillations shall be recorded with suitable sensitivity and accuracy. Those oscillations are then used to determine the logarithmic decrement of the oscillations as a function of time. The equivalent damping ratio is determined using the monogram of Figure A.1, taken from the sequence of peaks in the recorded wave in that range of the record in which the logarithmic decrement appears most clear.

Alternatively, the following equation can be used to determine the damping ratio ζ :

$$\zeta = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\pi \cdot n}{\ln\left(\frac{Y_0}{Y_n}\right)} \right)^2}}$$

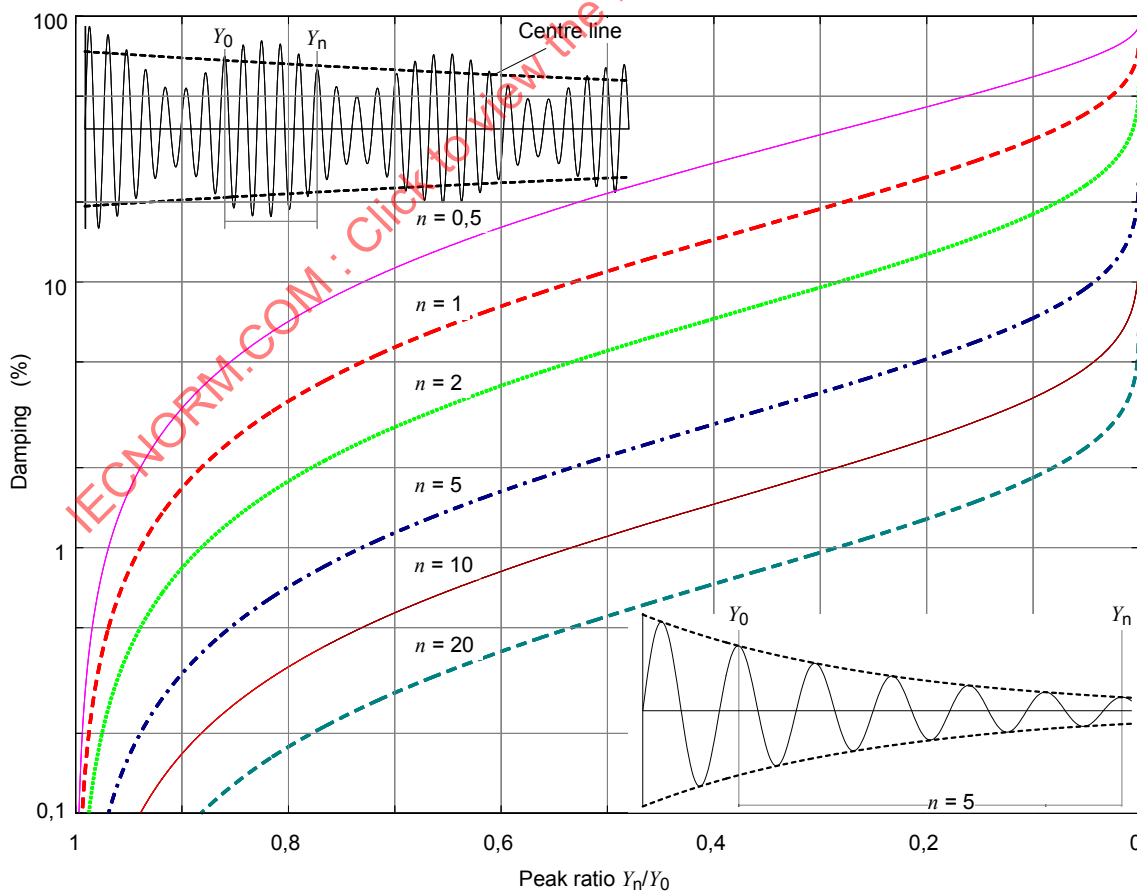
where

n is the number of oscillations;

Y_n/Y_0 is the peak ratio.

A.2.4 Special cases regarding the determination of natural frequencies and damping ratios

The test-set may consist of different elements and each of these elements may be susceptible to vibration. In this case, the tests described in A.2.2 and A.2.3 shall be carried out by applying tensile forces to each centre of gravity. The vibrations of each of these centres of gravity shall then be recorded together with the oscillation modes of the entire arrangement. Especially when elements of the arrangement show similar natural frequencies, resonances and beats in the oscillogram may further complicate the determination of damping ratios. When that happens, a centre line may be used in order to determine the damping ratio. The use of a centre line has been indicated in the sketch shown at the top of Figure A.1.



IEC 696/12

Figure A.1 – Monogram for the determination of equivalent damping ratio

Annex B (informative)

Criteria for seismic adequacy of gas-insulated metal-enclosed switchgear

B.1 General

By the regulations of this standard the seismic qualification of gas-insulated switchgear assemblies can be proved. Generally those assemblies are an integrated part of an environment to which they have effect and, in reverse, from which they are affected. The following clauses therefore are indicating how influences from soil, foundations and buildings should be regarded. Recommendations are made how to treat anchorage and bracings on switchgear structures and how to deal with the interconnection of adjacent equipment.

B.2 Soil-structure interaction

Soil-structure interaction occurs when the soil deforms due to the loading to the soil from the equipment-foundation system responding to an earthquake. The soil-foundation system may become a significant component in the dynamic properties of the equipment-foundations-soil system, which may increase or decrease the motion the equipment experiences during an earthquake. Soil-structure interaction occurs with certain combinations of equipment mass and size, foundation type and configuration, and soil properties. Transformers and liquid-filled reactors are especially susceptible to soil-structure interaction. The rocking motion of transformers can cause increased acceleration and displacement of components high in the equipment, such as bushings and lightning arresters. Soil-structure interaction is generally not considered in the design of substation equipment, unless specifically requested by the user. It increases where there are high accelerations, heavy equipment, high centres of gravity, or soft sites.

B.3 Elevation factor

The amplification of the ground acceleration resulting from the behaviour of buildings and structures shall be regarded. Where no information is available the amplification may be accounted for by means of an elevation factor. The recommended values are given in IEC 60068-3-3:1991, Table 4 but a relevant specification may prescribe other values for given site conditions.

B.4 Foundations

It is recommended that, as far as possible, all interconnected equipment be placed on a monolithic foundation to reduce differential movements due to the design earthquake. When interconnected equipment is not located on the same foundation, then the expected differential motions between equipment due to foundation motion shall be provided.

Consideration may be given to soil interaction on underground conduits entering and leaving through the foundations. If equipment is rigidly coupled to structural elements, such as walls or adjacent floors, the element response and relative motion may be taken into account.

B.5 Methods for anchoring equipment to foundations

It is strongly recommended that large equipment and equipment with large dimensions between anchor locations be anchored to steel members imbedded in and firmly attached to

structural elements in the concrete. Location and type of fixings may be shown on the manufacturer's drawing. All fixings shall be adequate for forces coming from a design earthquake. Exposed fixings may have a protective coating.

If bolts are used to anchor equipment, they shall be either cast in fresh concrete or fixed by means of well-tested chemical anchors for drilled holes in hardened concrete. The use of bolts or anchors that are placed in holes drilled in hardened concrete is not recommended. Bolts of mild, ductile steel are preferred.

Consideration may be given to any unequal distribution of dynamic earthquake loading on the anchor bolts (due to bolt hole tolerance, torque load or non-contact of nut). The torque value to which the anchor bolts are tightened, their size and location, shall be shown on the construction drawings. In addition, the strength and material specifications shall be provided.

All anchor systems shall be designed to accommodate torsion, shear and bending and axial loads and any combination thereof that is experienced during the design earthquake. Shear and tensile strength of that portion of the anchor system within the foundation may be greater than the strength of the bolt attaching to the equipment.

B.6 Interconnection to adjacent equipment

All interconnections between equipment shall be adequate to accommodate all large relative motions.

Structurally and dynamically dissimilar equipment may experience large relative displacements. Interconnections shall be long and flexible enough to allow these displacements to occur without causing damage. Particular attention shall be paid to brittle non-ductile parts such as ceramic bushings and insulators. In no circumstances shall electrical or structural interconnections abruptly stiffen leading to increased motion and strain. Such nonlinearities develop large impact forces. The changing dynamic characteristic between sections or equipment shall be considered.

B.7 Use of bracings on switchgear structure

Stiffening the equipment may increase some of its natural frequencies, raising them out of the critical range of earthquake energy. Diagonal cross-bracing and axial load-carrying members can be used to stiffen or strengthen equipment. Where bracing is employed, particular attention should be paid to the following aspects:

- bolted joints are recommended throughout the structure so as to increase the effective damping at high force levels;
- information concerning the correct torque for all bolts shall be supplied, thus ensuring the assemblies will behave dynamically as intended;
- if part of the structure is to be supplied by the user, then the manufacturer or user, or both, shall supply the necessary information so that the static and dynamic characteristics and foundation requirements can be easily determined.

The following basic requirements on the bracing should be taken into account:

- the bracing shall be substantially stiffer than the structure it reinforces so as to be effective;
- the bracing shall not buckle or exhibit a sharply nonlinear behaviour. In particular, any abrupt stiffening under any circumstance is to be avoided;
- permanent deformation in the bracing after a design earthquake is acceptable provided that it does not impair normal functioning of the GIS.

Bibliography

- [1] IEC 61462, *Composite hollow insulators – Pressurized and unpressurized insulators for use in electrical equipment with rated voltage greater than 1 000 V – Definitions, test methods, acceptance criteria and design recommendations*
- [2] IEC/TS 61463, *Bushings – Seismic qualification*
- [3] IEC 62155, *Hollow pressurized and unpressurized ceramic and glass insulators for use in electrical equipment with rated voltages greater than 1 000 V*
- [4] IEC 62231, *Composite station post insulators for substations with a.c voltages greater than 1 000 V up to 245 kV – Definitions, test methods and acceptance criteria*
- [5] IEC/TR 62271-300, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 300: Seismic qualification of alternating current circuit-breakers*
- [6] IEEE 693:2005, *IEEE Recommended Practices for Seismic Design of Substations*
- [7] IEEE C37.122:1993, *IEEE Standard for Gas-Insulated Substations*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62271-207:2012

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	21
1 Domaine d'application	23
2 Références normatives	23
3 Termes et définitions	23
4 Exigences pour la qualification sismique	24
4.1 Généralités	24
4.2 Niveaux de qualification	24
5 Procédures d'essai pour la qualification	24
5.1 Généralités	24
5.2 Montage	25
5.3 Mesures	25
5.4 Gamme de fréquences	25
5.5 Sévérité de l'essai	25
5.5.1 Généralités	25
5.5.2 Paramètres pour l'excitation par accélérogramme	27
5.5.3 Axes d'essais	27
5.5.4 Séquence d'essais	28
6 Qualification par combinaison d'essais et d'analyses numériques	28
6.1 Généralités	28
6.2 Données dynamiques et fonctionnelles	29
6.3 Analyse numérique	29
6.3.1 Généralités	29
6.3.2 Méthode de calcul numérique par accélérogramme	29
6.3.3 Analyse modale et spectrale à l'aide de spectres de réponse spécifiés (RRS)	30
6.3.4 Calcul au moyen du coefficient statique	30
7 Evaluation de la qualification sismique	31
7.1 Combinaison des contraintes	31
7.2 Critères d'acceptation pour la forme d'onde sismique	31
7.3 Evaluation fonctionnelle des résultats d'essai	31
7.4 Contraintes admissibles	32
8 Documentation	32
8.1 Renseignements pour la qualification sismique	32
8.2 Rapport d'essai	32
8.3 Rapport de calculs	32
Annexe A (normative) Caractérisation du spécimen d'essai	34
Annexe B (informative) Critères pour la tenue sismique des appareillages sous enveloppe métallique à isolation gazeuse	37
Bibliographie	40
Figure 1 – Spectre de réponse spécifié (RRS) pour le niveau de qualification modéré	26
Figure 2 – Spectre de réponse spécifié (RRS) pour le niveau de qualification élevé	27
Figure A.1 – Abaque pour la détermination d'un facteur d'amortissement équivalent	36
Tableau 1 – Niveaux de qualification sismique pour les ensembles d'appareillages – Degrés de sévérité horizontale	24

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

APPAREILLAGE À HAUTE TENSION –

**Partie 207: Qualification sismique pour ensembles
d'appareillages à isolation gazeuse pour des
niveaux de tension assignée supérieurs à 52 kV**

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 62271-207 a été établie par le sous-comité 17C: Ensembles d'appareillages à haute tension, du comité d'études 17 de la CEI: Appareillage.

Cette deuxième édition de la CEI 62271-207 annule et remplace la première édition publiée en 2007. Elle constitue une révision technique.

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

- modification de la tension assignée minimale, passant d'une valeur de 72,5 kV à une valeur supérieure à 52 kV;

- harmonisation des procédures de qualification pour ensembles d'appareillage à isolation gazeuse avec les Annexes A et P de l'IEEE 693:2005 en modifiant les spectres de réponse;
- modification des procédures d'essai;
- ajout de critères des contraintes autorisées;
- ajout d'une analyse dynamique CQC.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
17C/542/FDIS	17C/549/RVD

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

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

Une liste de toutes les parties de la série CEI 62271, regroupées sous le titre général *Appareillage à haute tension*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

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

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

Le contenu du corrigendum de janvier 2013 a été pris en considération dans cet exemplaire.

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

APPAREILLAGE À HAUTE TENSION –

Partie 207: Qualification sismique pour ensembles d'appareillages à isolation gazeuse pour des niveaux de tension assignée supérieurs à 52 kV

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 62271 s'applique aux ensembles d'appareillages à isolation gazeuse à courant alternatif de tension assignée supérieure à 52 kV, installés à l'intérieur ou à l'extérieur, en incluant leurs châssis-supports.

Pour des dispositifs d'appareillages, comme par exemple des disjoncteurs à cuve sous tension, la CEI/TR 62271-300 est applicable.

Des lignes directrices sur les interactions entre le châssis-support et le sol / les fondations sont fournies dans l'Annexe B.

La qualification sismique des ensembles d'appareillages prend en compte les essais des ensembles d'appareillages typiques combinés avec les méthodes d'analyse. L'interaction mutuelle entre l'équipement auxiliaire et de commande monté directement et les ensembles d'appareillages est couverte.

La qualification sismique des ensembles d'appareillages n'est effectuée que sur demande.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60068-2-47, *Essais d'environnement – Partie 2-47: Essais – Fixation de spécimens pour essais de vibrations, d'impacts et autres essais dynamiques*

CEI 60068-2-57, *Essais d'environnement – Partie 2-57: Essais – Essai Ff: Vibrations – Méthode par accélérogrammes*

CEI 60068-3-3:1991, *Essais d'environnement – Partie 3: Guide – Méthodes d'essais sismiques applicables aux matériels*

CEI 62271-1, *Appareillage à haute tension – Partie 1: Spécifications communes*

CEI 62271-203, *Appareillage à haute tension – Partie 203: Appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse de tensions assignées supérieures à 52 kV*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans la CEI 60068-3-3, la CEI 62271-203 et la CEI 62271-1 s'appliquent.

4 Exigences pour la qualification sismique

4.1 Généralités

La qualification sismique doit démontrer l'aptitude des ensembles d'appareillages à supporter des contraintes sismiques. Elle peut être vérifiée par un essai ou par une combinaison d'essais et d'analyse.

Aucune défaillance de l'enveloppe et des circuits principaux, ainsi que des circuits auxiliaires et de commande, y compris des châssis supports pertinents, ne doit se produire.

Pour le matériau ductile, des déformations permanentes mineures sont acceptées à condition qu'elles n'aient pas d'incidence sur le fonctionnement de l'équipement. L'équipement doit fonctionner correctement après le séisme, comme indiqué en 7.2 et en 7.3.

4.2 Niveaux de qualification

La qualification doit être effectuée sur l'un des niveaux recommandés du Tableau 1. Pour les degrés de sévérité verticale, le facteur de direction est 0,5.

Aucune qualification n'est exigée pour un niveau sismique faible, pour autant que la pratique de construction et la pratique de construction antisismique soient conformes aux pratiques les plus récentes.

Il est possible d'utiliser d'autres niveaux de qualification provenant d'exigences client pouvant être fondées sur une recherche spécifique sur le site ou des règlements dans une norme nationale, prenant par exemple en compte le type de sol, l'interaction entre sol et structure, la réponse du bâtiment, et son élévation.

Tableau 1 – Niveaux de qualification sismique pour les ensembles d'appareillages – Degrés de sévérité horizontale

Niveau de qualification	Spectre de réponse spécifié (RRS) ¹	Accélération à période nulle (ZPA) ² m/s ²
Élevé	Figure 2	5
Modéré	Figure 1	2,5
Faible	---	1

5 Procédures d'essai pour la qualification

5.1 Généralités

Les procédures d'essai pour la qualification d'un spécimen d'essai doivent être conformes à la CEI 60068-3-3.

La qualification doit être effectuée sur un spécimen d'essai représentatif

NOTE 1 Pour un ensemble d'appareillages à isolation gazeuse, il n'est pas possible de tester une sous-station complète sur une table vibrante, à cause de sa taille et de son poids. Une analyse numérique est toujours nécessaire pour fournir des informations sur la qualification sismique.

¹ RRS = *Required Response Spectrum*.

² ZPA = *Zero Period Acceleration*.

L'essai sismique doit être effectué à la pression de remplissage assignée du PSEM.

La pression de remplissage assignée de l'ensemble d'appareillages à isolation gazeuse est exigée pour faire des essais dans des conditions réalistes. Cependant, les laboratoires d'essais sismiques doivent prendre des mesures de sécurité adéquates. Des laboratoires d'essais sont disponibles aux USA, en Europe et au Japon.

Les manœuvres du disjoncteur ne sont pas nécessaires lors de l'essai sismique.

NOTE 2 Les manœuvres de disjoncteur étant beaucoup plus rapides qu'une excitation sismique, une manœuvre d'ouverture n'a pas d'impact pratique sur les résultats d'essais.

Si les équipements auxiliaires et de commande ou d'autres parties de l'équipement sont dynamiquement désaccouplés, il est admis qu'ils soient qualifiés indépendamment.

Si un spécimen d'essai ne peut être soumis à l'essai avec son propre châssis-support (par exemple à cause de sa taille), l'influence dynamique du châssis doit être déterminée par analyse et prise en compte dans l'essai.

La méthode d'essai de l'accélérogramme est à préférer puisqu'elle simule plus précisément les conditions réelles, particulièrement si le comportement du spécimen d'essai n'est pas linéaire. La méthode d'essai doit être en accord avec la CEI 60068-2-57.

5.2 Montage

Le spécimen d'essai doit être monté comme en service, avec ses amortisseurs (le cas échéant).

L'orientation horizontale du spécimen d'essai doit être telle que l'axe d'excitation agisse selon ses deux axes orthogonaux principaux.

Aucune fixation ou connexion nécessaire seulement pour l'essai ne doit affecter le comportement dynamique du spécimen d'essai.

La méthode de montage du spécimen d'essai doit être décrite en détails et doit comprendre une description de toutes les fixations et de tous les raccords d'interface. La CEI 60068-2-47 fournira les indications.

5.3 Mesures

Les mesures doivent être effectuées conformément à la CEI 60068-3-3, et doivent comprendre les éléments suivants:

- les mouvements vibratoires des composants où les déviations maximales et les déplacements relatifs significatifs sont attendus;
- les déformations de composants critiques (par exemple traversées, brides, enveloppes et châssis-supports).

5.4 Gamme de fréquences

La gamme de fréquences doit être comprise entre 0,5 Hz et 33 Hz. La gamme de fréquences est appliquée à la recherche de la fréquence de résonance et à la génération d'une vague de tremblement de terre artificielle.

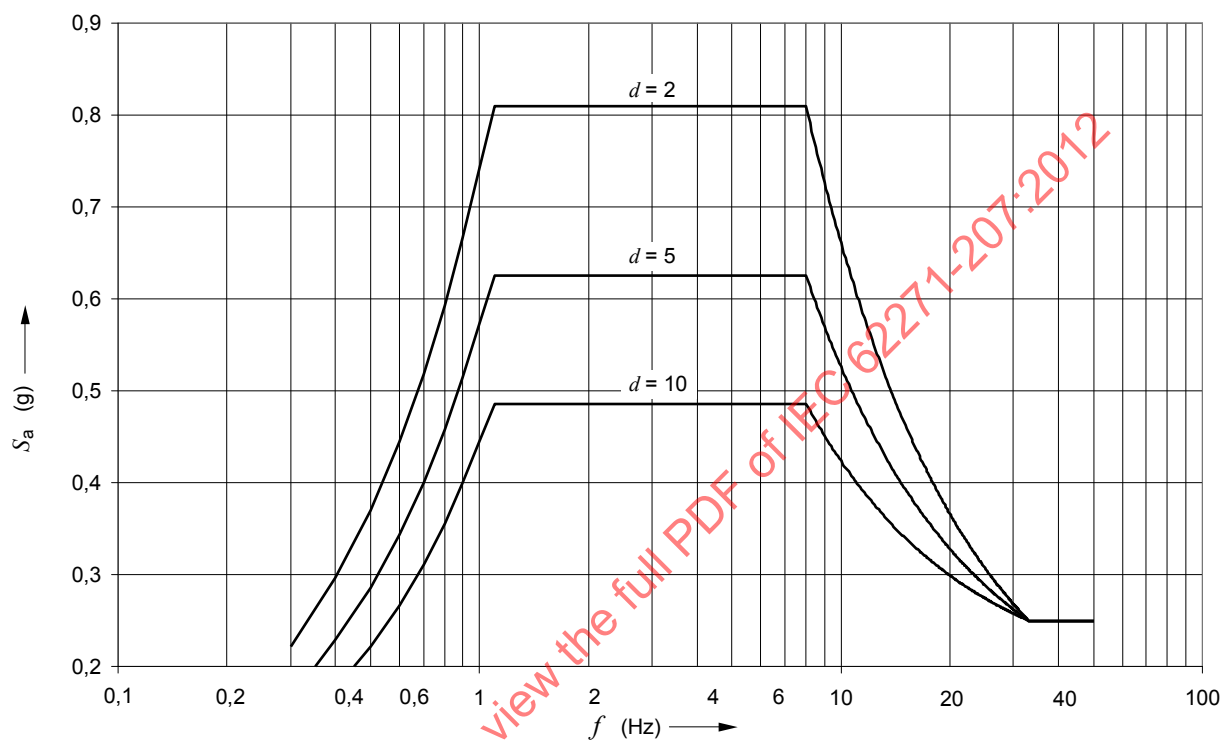
5.5 Sévérité de l'essai

5.5.1 Généralités

La sévérité de l'essai doit être choisie conformément à l'Article 4.

Les spectres de réponse spécifiés recommandés sont donnés aux Figures 1 et 2 pour les différents niveaux de qualification sismique. Les courbes se rapportent à des valeurs de 2 %, 5 % et 10 % des ensembles d'appareillages. Si le facteur d'amortissement est inconnu, un amortissement de 2 % est appliqué.

Les spectres pour des valeurs différentes d'amortissement peuvent être obtenus par interpolation linéaire.



IEC 694/12

Accélérations spectrales, S_a (g), pour des Fréquences, f (Hz):

$$S_a = 0,572 \beta f \quad \text{pour } 0,0 \leq f \leq 1,1$$

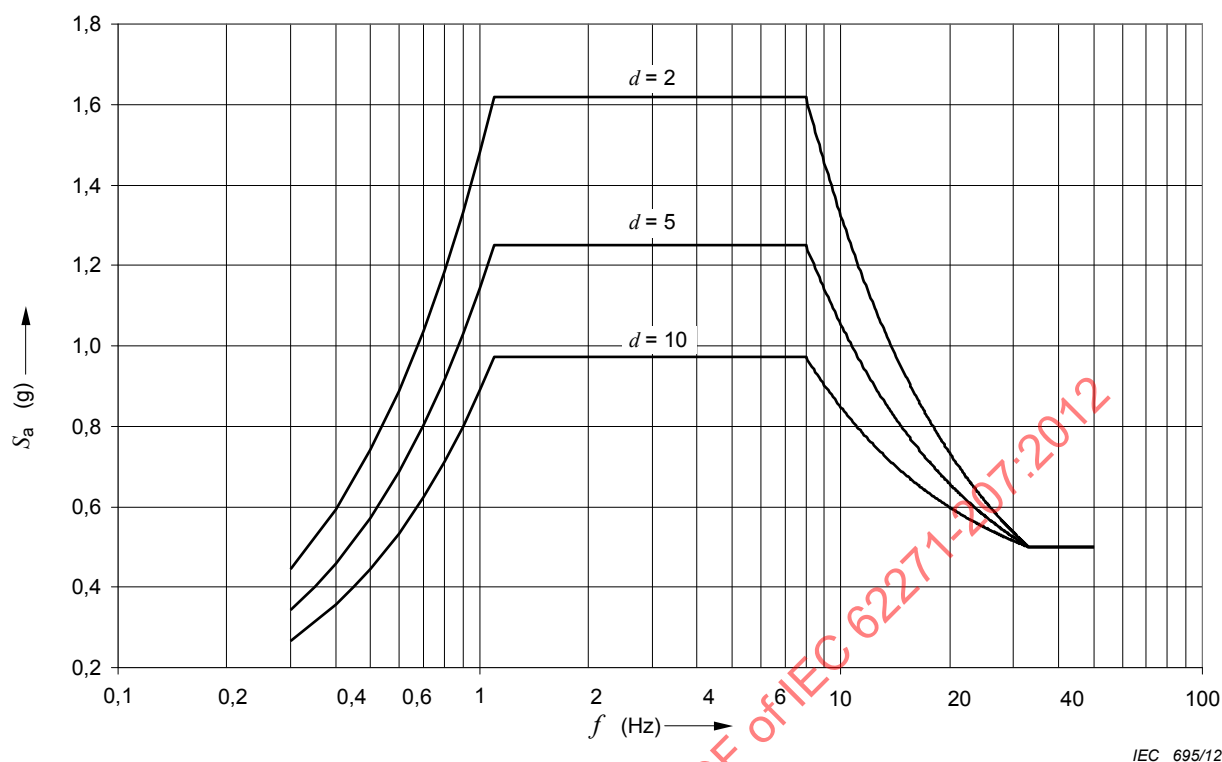
$$S_a = 0,625 \beta \quad \text{pour } 1,1 \leq f \leq 8,0$$

$$S_a = (6,6 \beta - 2,64) / f - 0,2 \beta + 0,33 \quad \text{pour } 8,0 \leq f \leq 33$$

$$S_a = 0,25 \quad \text{pour } f > 33$$

$\beta = (3,21 - 0,68 \ln(d)) / 2,1156$, où d est le pourcentage d'amortissement (2, 5, 10, etc.) et $d \leq 20$ %

Figure 1 – Spectre de réponse spécifié (RRS) pour le niveau de qualification modéré



Accélérations spectrales, S_a (g), pour des Fréquences, f (Hz):

$$S_a = 1,144 \beta f \quad \text{pour } 0,0 \leq f \leq 1,1$$

$$S_a = 1,25 \beta \quad \text{pour } 1,1 \leq f \leq 8,0$$

$$S_a = (13,2 \beta - 5,28) / f - 0,4 \beta + 0,66 \quad \text{pour } 8,0 \leq f \leq 33$$

$$S_a = 0,5 \quad \text{pour } f > 33$$

$\beta = (3,21 - 0,68 \ln(d)) / 2,115$, où d est le pourcentage d'amortissement (2, 5, 10, etc.) et $d \leq 20$ %

Figure 2 – Spectre de réponse spécifié (RRS) pour le niveau de qualification élevé

5.5.2 Paramètres pour l'excitation par accélérogramme

La durée totale de l'accélérogramme doit être de 30 s environ, et sa partie forte doit durer au moins 20 s. La durée de la partie forte doit débuter au moment où l'excitation par accélérogramme atteint en premier 25 % de son accélération maximale. Elle doit être terminée lorsque l'excitation par accélérogramme chute en dessous de 25 % de son accélération maximale pour la dernière fois.

5.5.3 Axes d'essais

Les axes d'essais doivent être choisis conformément à la CEI 60068-3-3.

Dans certains cas, l'accélération verticale n'engendre que des contraintes négligeables et l'excitation verticale peut être omise. Dans ces cas, une justification pour l'omission de la composante verticale doit être fournie.

5.5.4 Séquence d'essais

5.5.4.1 Généralités

La séquence d'essais doit être la suivante:

- vérifications fonctionnelles avant les essais;
- recherche de la réponse vibratoire (nécessaire à la détermination des fréquences propres, des facteurs d'amortissement et/ou pour les analyses);
- essai de qualification sismique;
- vérifications fonctionnelles après les essais.

5.5.4.2 Vérifications fonctionnelles

Les caractéristiques fonctionnelles ou les réglages suivants doivent être relevés ou évalués (quand cela s'applique) avant et après les essais à la tension assignée d'alimentation et à la pression p_{rm} assignée de remplissage pour la manœuvre:

- a) durée de fermeture;
- b) durée d'ouverture;
- c) écart de simultanéité entre chambres de coupure d'un pôle;
- d) écart de simultanéité entre les pôles (dans le cas d'essais multipolaires);
- e) étanchéité aux gaz et/ou aux liquides;
- f) mesure de la résistance du chemin de courant principal.

5.5.4.3 Recherche de la réponse vibratoire

La recherche de la fréquence de résonance et l'essai de mesure de l'amortissement doivent être effectués conformément à la CEI 60068-3-3 sur la gamme de fréquences spécifiée en 5.4.

5.5.4.4 Essai de qualification sismique

L'essai doit être effectué en appliquant une procédure choisie dans les diagrammes de l'Annexe A de la CEI 60068-3-3:1991, selon les moyens d'essais.

L'essai est effectué une fois au niveau choisi de 4.2.

Pendant l'essai sismique, les paramètres suivants doivent être enregistrés:

- contraintes des éléments critiques (par exemple traversées, brides, enveloppes et châssis-supports);
- flexion des composants là où des déplacements significatifs sont attendus;
- continuité électrique du circuit principal (si cela s'applique);
- continuité électrique des circuits auxiliaires et de commande à la tension assignée;
- accélération.

6 Qualification par combinaison d'essais et d'analyses numériques

6.1 Généralités

Cette méthode peut être utilisée dans les cas suivants:

- pour qualifier des ensembles d'appareillages déjà soumis à des essais dans différentes conditions sismiques;

- pour qualifier des ensembles d'appareillages similaires à d'autres ensembles déjà soumis à l'essai mais qui ont subi des modifications influençant leur comportement dynamique (par exemple changement ou extension de l'agencement ou de la masse des composants);
- pour qualifier des ensembles d'appareillages dont les données dynamiques et fonctionnelles sont connues;
- pour qualifier des ensembles d'appareillages qui ne peuvent l'être par des essais (par exemple à cause de leur taille, de leur poids ou de leur complexité).

6.2 Données dynamiques et fonctionnelles

Les données dynamiques pour le calcul (facteurs d'amortissement, fréquences propres, contraintes des éléments critiques en fonction de l'accélération appliquée) doivent être fournies par l'une des méthodes suivantes:

- a) l'essai dynamique d'un spécimen d'essai semblable;
- b) un essai dynamique à un niveau d'essai inférieur;
- c) la détermination des fréquences propres et des facteurs d'amortissement par d'autres essais tels que les essais d'oscillation libre (aussi appelés essais de lâcher statique) ou des essais d'excitation à bas niveau (voir Annexe A).

Les données fonctionnelles peuvent être fournies par un essai effectué précédemment sur un spécimen d'essai similaire.

6.3 Analyse numérique

6.3.1 Généralités

La procédure générale est la suivante:

- a) Modèle mathématique:

Sur la base d'informations techniques concernant les caractéristiques de conception d'une sous-station un modèle tridimensionnel du spécimen d'essai doit être réalisé. Un tel modèle doit prendre en compte la présence de compartiments réels et de leurs châssis-supports, et doit avoir une précision suffisante pour décrire le comportement dynamique du spécimen d'essai dans la gamme de fréquences étudiée.

- b) Étalonnage du modèle:

À l'aide des données expérimentales indiquées en 6.2, le modèle mathématique doit être étalonné en vue de déterminer ses caractéristiques dynamiques. Du fait de la modularité des ensembles d'appareillages, le modèle mathématique réalisé et étalonné du spécimen d'essai peut être étendu à la sous-station complète, si on précise que les bonnes adaptations, relatives aux différences structurelles existantes des différents modules, sont étudiées.

- c) Réponse de l'analyse:

La réponse, dans la plage de fréquences indiquée au 5.4, doit être déterminée à l'aide de l'une des méthodes décrites dans les paragraphes suivants. D'autres méthodes peuvent être utilisées si elles sont correctement justifiées.

6.3.2 Méthode de calcul numérique par accélérogramme

Lorsque l'analyse sismique est effectuée à l'aide de la méthode de calcul par accélérogramme, les accélérogrammes représentant le mouvement du sol doivent être conformes aux spectres de réponse spécifiés (voir Tableau 1). Deux types de superpositions peuvent généralement être effectués selon la complexité du calcul:

- a) calcul séparé des réponses maximales à chacune des trois composantes (x et y dans le plan horizontal, et z dans l'axe vertical) du mouvement sismique. La réponse à chaque composante horizontale doit être combinée à la réponse dans l'axe vertical en prenant la

racine carrée de la somme quadratique, c'est-à-dire $(x^2 + z^2)^{1/2}$ et $(y^2 + z^2)^{1/2}$. La plus grande de ces deux valeurs est utilisée pour dimensionner les ensembles d'appareillages;

- b) calcul simultané des réponses maximales en supposant l'un des axes sismiques horizontaux et l'axe vertical (x avec z) puis calcul avec l'autre axe horizontal et l'autre axe vertical (y avec z). Cela signifie qu'à chaque pas de calcul toutes les valeurs (forces, contraintes) sont combinées algébriquement. La plus grande de ces deux valeurs est utilisée pour dimensionner les ensembles d'appareillages.

6.3.3 Analyse modale et spectrale à l'aide de spectres de réponse spécifiés (RRS)

Lorsque l'analyse dynamique est effectuée par la méthode des spectres de réponse, les éléments ci-après doivent s'appliquer.

La réponse totale de tous les modes dans tous les axes doit être déterminée en combinant toutes les composantes des réponses modales agissant dans cet axe au moyen de la technique SRSS³ sauf si les fréquences de modes diffèrent de moins de 10 % du mode inférieur. Ensuite, ces modes rapprochés sont ajoutés directement et les modes résultants ainsi que les modes restants sont ajoutés à l'aide de la méthode SRSS. En alternative, la réponse totale dans tous les axes peut être déterminée en appliquant la technique CQC⁴ à toutes les composantes des réponses modales agissant dans cet axe. Un nombre suffisant de modes doit être inclus pour garantir une représentation adéquate de la réponse dynamique de l'équipement. Les critères d'acceptation en vue d'établir une suffisance dans un axe particulier doivent résider dans le fait que la masse participante cumulative des modes considérés doit représenter au moins 90 % de la somme des masses effectives de tous les modes. Si le modèle mathématique comporte plusieurs fréquences de résonance au-dessus de 33 Hz de telle sorte que l'atteinte des critères d'acceptation dans un axe d'excitation orthogonal n'est pas possible (comme cela peut être le cas avec l'accélération verticale du sol pour l'équipement rigide vertical), alors les effets des données d'entrées orthogonales peuvent être simulés de la façon suivante:

- a) déterminer la masse effective restante dans un axe donné;
- b) pour chaque composante, appliquer une force statique égale à la masse du composant multiplié par le pourcentage de masse manquante, multiplié par la ZPA⁵;
- c) calculer les contraintes, les réactions, et ainsi de suite au moyen de ces forces;
- d) pour chaque axe, combiner les contraintes, les réactions, et ainsi de suite, à partir de l'analyse dynamique avec celles de l'analyse ci-dessus à l'aide du SRSS.

Les valeurs maximales dans le plan x et z , et dans le plan y et z , sont combinées en prenant la racine carrée de la somme des carrés. La plus grande valeur des deux cas, à savoir plan (x, z) ou (y, z) , correspond au facteur de dimensionnement des ensembles d'appareillages.

6.3.4 Calcul au moyen du coefficient statique

Le calcul au moyen du coefficient statique permet une technique plus simple mais conduit à un surdimensionnement. Aucune recherche des fréquences propres n'est effectuée, mais on suppose que le spectre de réponse des ensembles d'appareillages est la valeur maximale du spectre de réponse requis à une valeur sûre et vérifiable de l'amortissement. Le coefficient de 1,5 doit être appliqué au calcul au moyen du coefficient statique.

Les efforts sismiques sur chaque partie des ensembles d'appareillages sont obtenus en multipliant la valeur de la masse, concentrée à son centre de gravité, par l'accélération.

La force résultante doit être répartie proportionnellement à la répartition des masses.

³ SRSS = Square Root of the Sum of Squares.

⁴ CQC = Complete Quadratic Combination.

⁵ ZPA = Zero Period Acceleration (accélération à période nulle).

Le calcul des contraintes peut alors être poursuivi, comme indiqué en 7.1.

Si la fréquence de résonance la plus faible de l'équipement est supérieure à 33 Hz, l'équipement peut être considéré comme rigide. Une analyse statique peut être appliquée en utilisant la ZPA du spectre de réponse et un coefficient statique de 1,0.

7 Evaluation de la qualification sismique

7.1 Combinaison des contraintes

Les contraintes sismiques déterminées par essai ou par calcul doivent être combinées algébriquement à d'autres contraintes de service pour déterminer l'aptitude des ensembles d'appareillages à supporter la contrainte totale.

La probabilité d'apparition pendant la vie des ensembles d'appareillages, d'un séisme au niveau de qualification recommandé est faible, et la contrainte sismique maximale d'un séisme naturel ne s'appliquerait que si les ensembles d'appareillages étaient excités à leurs fréquences propres avec une accélération maximale. Comme chaque excitation aux différents modes propres ne dure que quelques secondes, la combinaison des chargements électriques et environnementaux extrêmes de service conduirait à un conservatisme irréaliste.

Sauf spécification particulière contraire, on considère que les contraintes suivantes sont susceptibles de s'appliquer en plus:

- pression interne assignée de fonctionnement p_{rm} ;
- charges permanentes (poids morts);
- effets thermiques.

La combinaison des contraintes doit être effectuée par calcul statique, en appliquant les forces dans la direction où elles s'exercent.

7.2 Critères d'acceptation pour la forme d'onde sismique

La forme d'onde de simulation sismique doit produire un spectre de réponse d'essai enveloppant le spectre de réponse spécifié (calculé avec le même facteur d'amortissement). L'accélération de crête doit être supérieure ou égale à l'accélération de période nulle. De même, les limitations d'une installation d'essais doivent être considérées à un degré autorisé par 5.4. D'autres critères d'acceptation pour la forme d'onde sismique sont donnés dans la CEI 60068-2-57.

7.3 Evaluation fonctionnelle des résultats d'essai

Les résultats fonctionnels ne sont normalement acquis que par des essais dynamiques. Ces résultats peuvent être extrapolés pour obtenir une qualification par combinaison d'essais et de calculs. En particulier,

- a) les contacts principaux doivent rester en position ouverte ou fermée pendant l'essai sismique;
- b) le battement des relais ne doit pas provoquer le fonctionnement des dispositifs de coupure;
- c) le battement des relais ne doit pas donner une indication incorrecte de l'état des ensembles d'appareillages (position, signaux d'alarme);

NOTE Normalement, le battement des relais pendant moins de 5 ms est considéré comme acceptable.

- d) la reprise du réglage des appareils de surveillance est considérée comme acceptable si le fonctionnement global des ensembles d'appareillages n'en est pas affecté;
- e) en principe, aucune différence significative ne doit apparaître entre les vérifications fonctionnelles effectuées au début et à la fin de la séquence d'essais (voir 5.5.4.2);

- f) aucune fissure ou déformation ne doit être présente sur les équipements et leurs supports.

7.4 Contraintes admissibles

La contrainte admissible des enveloppes ne doit pas dépasser 100 % de la contrainte à la limite élastique des matériaux. Pour les châssis supports en matériau ductile, les contraintes supérieures à 100 % de la contrainte à la limite élastique et la déformation plastique sont acceptables si cela n'a pas d'incidence sur le fonctionnement de l'équipement. Pour tout autre matériau, la contrainte admissible doit demeurer dans les limites du cas de charges exceptionnelles indiquées dans une norme reconnue.

NOTE Par exemple, les composants en résines époxydes moulées, matériau céramique ou verre peuvent être soumis à une contrainte pouvant atteindre 100 % du moment de tenue à la flexion de l'essai de type les concernant, voir la CEI 62155; les composants en matériau composite peuvent subir une contrainte atteignant la charge de flexion spécifiée (CFS) ou la charge mécanique spécifiée (CMS), voir respectivement la CEI 62231 et la CEI 61462.

8 Documentation

8.1 Renseignements pour la qualification sismique

Les renseignements suivants sont nécessaires aussi bien pour le calcul que pour l'essai des ensembles d'appareillages:

- a) niveau de qualification (voir 4.2);
- b) détails de structure et de montage (voir 5.1 et 5.2);
- c) nombre et positions relatives des axes d'essai (voir 5.2).

8.2 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit comprendre les éléments suivants:

- a) le dossier d'identification des ensembles d'appareillages, y compris les détails de structure et de montage;
- b) les dates d'essais, les enregistrements et vidéos des essais;
- c) les normes applicables;
- d) la forme d'onde de l'accélérogramme;
- e) l'installation d'essais
 - 1) emplacement,
 - 2) description de l'équipement d'essai et son étalonnage,
 - 3) accréditation du laboratoire d'essais;
- f) la méthode et les procédures d'essais;
- g) le placement des capteurs d'accélération et des jauges de contraintes;
- h) les manomètres;
- i) les données d'essais comprenant les données fonctionnelles (voir 5.5.4.2 et 6.2);
- j) les résultats et les conclusions;
- k) la signature agréée et la date.

8.3 Rapport de calculs

Une démonstration de tenue comprenant des calculs doit être présentée pas à pas.

Le rapport d'analyse doit comprendre les éléments suivants:

- a) les hypothèses générales et globales;
- b) le progiciel utilisé, y compris son numéro de version;
- c) la méthode employée (voir l'Article 6);
- d) le dossier d'identification des ensembles d'appareillages, y compris les détails de structure et de montage;
- e) les informations liées aux spectres de réponse exigés et aux niveaux de qualification;
- f) les fréquences propres et le facteur d'amortissement;
- g) les combinaisons de cas de charges;
- h) les résultats et les conclusions;
- i) les normes applicables.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62271-207:2012