IEC 60143-1

Edition 5.1 2023-11
CONSOLIDATED VERSION

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

colour inside

Series capacitors for power systems – Part 1: General

Condensateurs série destinés à être installés sur des réseaux – Partie 1: Généralités

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

IEC 60143-1:2015-06+AMD1:2023-11 CSV(en-fr)

THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED
Copyright © 2023 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

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

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

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished
Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and once a month by email.

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch
Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

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

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

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

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished
Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et une fois par mois par email.

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch
Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

IEC 60143-1

Edition 5.1 2023-11
CONSOLIDATED VERSION

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

colour inside

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Series capacitors for power systems – Part 1: General

Condensateurs série destinés à être installés sur des réseaux – Partie 1: Généralités

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 31.060.70

ISBN 978-2-8322-7807-9

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.

® Registered trademark of the International Electrotechnical Commission
Marque déposée de la Commission Electrotechnique Internationale

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

IEC 60143-1

Edition 5.1 2023-11
CONSOLIDATED VERSION

REDLINE VERSION

VERSION REDLINE

colour inside

Series capacitors for power systems – Part 1: General

Condensateurs série destinés à être installés sur des réseaux – Partie 1: Généralités

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

IEC 60143-1:2015-06+AMD1:2023-11 CSV(en-fr)

CONTENTS

FOREWORD 6
1 Scope and object 8
2 Normative references 8
3 Terms and definitions 9
4 Service conditions 14
4.1 Normal service conditions 14
4.2 Ambient air temperature categories 15
4.3 Abnormal service conditions 15
4.4 Abnormal power system conditions 16
5 Quality requirements and tests 16
5.1 Test requirements for capacitor units 16
5.1.1 General 16
5.1.2 Test conditions 16
5.1.3 Voltage limits as established by overvoltage protector 16
5.1.4 Determination of protective level voltage U_{pl} and U_{lim} 18
5.2 Classification of tests 18
5.2.1 General 18
5.2.2 Routine tests 18
5.2.3 Type tests 18
5.2.4 Special test (ageing test) 19
5.3 Capacitance measurement (routine test) 19
5.3.1 Measuring procedure 19
5.3.2 Capacitance tolerance 20
5.4 Capacitor loss measurement (routine test) 20
5.4.1 Measuring procedure 20
5.4.2 Loss requirements 20
5.4.3 Losses in external fuses 21
5.5 Voltage test between terminals (routine test) 21
5.6 AC voltage test between terminals and container (routine test) 21
5.7 Test on internal discharge device (routine test) 21
5.8 Sealing test (routine test) 21
5.9 Thermal stability test (type test) 21
5.9.1 Measuring procedure 21
5.9.2 Capacitor loss measurement 23
5.10 AC voltage test between terminals and container (type test) 23
5.11 Lightning impulse voltage test between terminals and container (type test) 23
5.12 Cold duty test (type test) 24
5.13 Discharge current test (type test) 25
6 Insulation level 26
6.1 Insulation voltages 26
6.1.1 Standard values 26
6.1.2 Insulation to earth and between phases 26
6.1.3 Insulation levels for insulators and equipment on the platform 26
6.2 Creepage distance 33
6.3 Air clearances 34
7 Overloads, overvoltages and duty cycles 38

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

7.1 Currents ... 38
7.2 Transient overvoltages ... 38
7.3 Duty cycles ... 39
8 Safety requirements ... 39
8.1 Discharge device ... 39
8.2 Container connection ... 39
8.3 Protection of the environment ... 40
8.4 Other safety requirements ... 40
9 Markings and instruction books ... 40
9.1 Markings of the unit ... 40
9.1.1 Rating plate ... 40
9.1.2 Warning plate ... 41
9.2 Markings of the bank ... 41
9.2.1 Instruction sheet or rating plate ... 41
9.2.2 Warning plate ... 41
9.3 Instruction book ... 41
10 Guide for selection of ratings, installation and operation ... 42
10.1 General ... 42
10.2 Reactance per line, rated reactance per bank and number of modules per bank ... 42
10.2.1 Capacitive reactance per line ... 42
10.2.2 Number of series capacitor banks in a transmission line ... 43
10.2.3 Number of modules in a capacitor bank ... 43
10.2.4 Future requirements for series capacitors ... 44
10.3 Current ratings for the bank ... 44
10.3.1 General ... 44
10.3.2 Typical bank overload and swing current capabilities ... 45
10.3.3 Analysis to determine the continuous and emergency overload current rating ... 46
10.3.4 Analysis to determine the swing current rating ... 46
10.4 Overvoltage protection requirements ... 46
10.5 Voltage limitations during power system faults ... 47
10.5.1 General ... 47
10.5.2 Voltage limitation when the inductance between the primary overvoltage protector and the capacitors is not significant ... 47
10.5.3 Voltage limitation when the inductance between the primary overvoltage protector and the capacitors is significant ... 48
10.6 Protective and switching devices ... 48
10.6.1 Capacitor fusing ... 48
10.6.2 Other devices ... 48
10.6.3 Connection diagrams ... 49
10.7 Choice of insulation level ... 49
10.7.1 Normal cases ... 49
10.7.2 Altitude exceeding 1 000 m ... 49
10.8 Long line correction ... 50
10.9 Other application considerations ... 51
10.9.1 General ... 51
10.9.2 Ferro-resonance ... 51
10.9.3 Sub-synchronous resonance ... 51
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

10.9.4 Relay protection of the power system 51
10.9.5 Attenuation of carrier-frequency transmission 52
10.9.6 Non-transposed transmission lines 52
10.9.7 Power system harmonic currents 52
10.9.8 TRV across line circuit-breakers 52
10.9.9 Delayed line current zero crossing 53
10.9.10 Prolonged secondary arc current 53
Annex A (normative) Test requirements and application guide for external fuses and units to be externally fused 54
A.1 Overview 54
A.2 Purpose 54
A.3 Terms employed in Annex A 54
A.4 Performance requirements 54
A.5 Tests 55
A.5.1 Tests on fuses 55
A.5.2 Type tests on capacitor container 55
A.6 Guide for coordination of fuse protection 55
A.6.1 General 55
A.6.2 Protection sequence 55
A.7 Choice of fuses 56
A.7.1 General 56
A.7.2 Non current-limiting fuses 56
A.7.3 Current-limiting fuses 56
A.8 Information needed by the user of the fuses 56
Annex B (informative) Economic evaluation of series capacitor bank losses 57
Annex C (informative) Capacitor bank fusing and unit arrangement 58
C.1 General 58
C.2 Internally fused capacitor bank 58
C.3 Externally fused capacitor bank 58
C.4 Fuseless capacitor bank 59
Annex D (informative) Examples of typical connection diagrams for large series capacitor installations for transmission lines 61
Annex E (informative) Precautions to be taken to avoid pollution of the environment by polychlorinated biphenyls 62
Bibliography 63

Figure 1 – Typical nomenclature of a series capacitor installation 12
Figure 2 – Classification of overvoltage protection 17
Figure 3 – Time and amplitude limits for an overvoltage period waveform 25
Figure 4 – Air clearance versus a.c. power frequency withstand voltage 38
Figure 5 – Typical current-time profile of an inserted capacitor bank following the fault and clearing of parallel line 45
Figure C.1 – Typical connections between capacitor units in a segment or phase 59
Figure C.2 – Typical connections between elements within a capacitor unit 60
Figure D.1 – Diagrams for smaller banks 61

Table 1 – Letter symbols for upper limit of temperature range 15

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Table 2 – Ambient air temperature in thermal stability test 22
Table 3 – Standard insulation levels for range I (1 kV < U_m ≤ 245 kV) 29
Table 4 – Standard insulation levels for range II (U_m > 245 kV) *(1 of 2)* 30
Table 5 – Typical insulation levels for platform-to-ground insulators *(1 of 2)* 32
Table 6 – Specific creepage distances 34
Table 7 – Correlation between standard lightning impulse withstand voltages and minimum air clearances 36
Table 8 – Correlation between standard switching impulse withstand voltages and minimum phase-to-earth air clearances 37
Table 9 – Correlation between standard switching impulse withstand voltages and minimum phase-to-phase air clearances 37
Table 10 – Typical bank overload and swing current capabilities 45

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

INTERNATIONAL ÉLECTROTECHNICAL COMMISSION

SERIES CAPACITORS FOR POWER SYSTEMS –

Part 1: General

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.

This consolidated version of the official IEC Standard and its amendment has been prepared for user convenience.

IEC 60143-1 edition 5.1 contains the fifth edition (2015-06) [documents 33/578/FDIS and 33/580/RVD], its corrigendum (2017-04), and its amendment 1 (2023-11) [documents 33/690/CDV and 33/693/RVC].

In this Redline version, a vertical line in the margin shows where the technical content is modified by amendment 1. Additions are in green text, deletions are in strikethrough red text. A separate Final version with all changes accepted is available in this publication.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

International Standard IEC 60143-1 has been prepared by IEC technical committee 33: Power capacitors and their applications.

This fifth edition constitutes a technical revision.

The main change with respect to the previous edition is that the endurance test has been replaced by an ageing test because voltage cycling is already performed in the cold duty test. The guide section has been expanded regarding long line correction and altitude correction. In addition the insulation tables and references to other standards have been updated.

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

A list of all parts in the IEC 60143 series, published under the general title *Series capacitors for power systems*, can be found on the IEC website.

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

SERIES CAPACITORS FOR POWER SYSTEMS –

Part 1: General

1 Scope and object

This part of IEC 60143 applies both to capacitor units and capacitor banks intended to be used connected in series with an a.c. transmission or distribution line or circuit forming part of an a.c. power system having a frequency of 15 Hz to 60 Hz.

The primary focus of this standard is on transmission application.

The series capacitor units and banks are usually intended for high-voltage power systems. This standard is applicable to the complete voltage range.

This standard does not apply to capacitors of the self-healing metallized dielectric type.

The following capacitors, even if connected in series with a circuit, are excluded from this standard:

– capacitors for inductive heat-generating plants (IEC 60110-1);
– capacitors for motor applications and the like (IEC 60252 (all parts));
– capacitors to be used in power electronics circuits (IEC 61071);
– capacitors for discharge lamps (IEC 61048 and IEC 61049).

For standard types of accessories such as insulators, switches, instrument transformers, external fuses, etc. see the pertinent IEC standard.

NOTE 1 Additional requirements for capacitors to be protected by internal fuses, as well as the requirements for internal fuses, are found in IEC 60143-3. See also Annex C.

NOTE 2 Additional requirements for capacitors to be protected by external fuses, as well as the requirements for external fuses, are found in Annex A and Annex C.

NOTE 3 A separate standard for series capacitor accessories (spark-gaps, varistors, discharge reactors, current-limiting damping reactors, damping resistors, circuit-breakers, etc.), IEC 60143-2, has been revised and was completed in 2012. A separate standard for internal fuses for series capacitors, IEC 60143-3 has been revised and was completed in 2013.

NOTE 4 Some information regarding fuseless capacitor units and fuseless capacitor banks is found in Annex C.

The object of this standard is:

– to formulate uniform rules regarding performance, testing and rating;
– to formulate specific safety rules;
– to serve as a guide for installation and operation.

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.

NOTE If there is a conflict between this standard and a standard listed below, the text of IEC 60143-1 prevails.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

IEC 60050 (all parts), *International Electrotechnical Vocabulary* (available at www.electropedia.org)

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

IEC 60071-1:2006, *Insulation co-ordination – Part 1: Definitions, principles and rules*

IEC 60071-2:1996, *Insulation co-ordination – Part 2: Application guide*

IEC 60143-2:2012, *Series capacitors for power systems – Part 2: Protective equipment for series capacitor banks*

IEC 60143-3:1998, *Series capacitors for power systems – Part 3: Internal fuses*

IEC 60143-4: 2010 *Series capacitors for power systems – Part 4: Thyristor controlled series capacitors*

IEC 60549:2013, *High-voltage fuses for the external protection of shunt capacitors*

IEC 60871-1: 2014 Shunt capacitors for a.c power systems having a rated voltage above 1000V – Part 1: General

IEC 62271-1:2007, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 1: Common specifications*

IEEE Std. 693:1997, *IEEE Recommended Practice for Seismic Design of Substations*

3 Terms and definitions

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

3.1
ambient air temperature (for capacitors)
temperature of air at the proposed location of the capacitor installation

3.2
bypass switch
device such as a switch or circuit-breaker used in parallel with a series capacitor and its overvoltage protector to shunt line current for some specified time or continuously

Note 1 to entry: This device shall also have the capability of bypassing the capacitor during specified power system fault conditions. The operation of the device is initiated by the capacitor bank control, remote control or by an operator. The device may be mounted on the platform or on the ground near the platform. Besides bypassing the capacitor, this device shall also have the capability of inserting the capacitor into a circuit carrying a specified level of current.

3.3
capacitor
word used when it is not necessary to distinguish between the different meanings of the words capacitor unit and the assembly of capacitors associated with a segment

3.4
capacitor unit
unit
assembly of one or more capacitor elements in the same container with terminals brought out

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-04]

3.5
(capacitor) element
device consisting essentially of two electrodes separated by a dielectric

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-03]

3.6
capacitor losses
active power dissipated in the capacitor

Note 1 to entry: All loss-producing components should be included. For a unit, this includes losses from the dielectric, discharge device, internal fuses (if applicable) and internal connections. For the bank, this includes losses from the units, external fuses (if applicable) and busbars. See Annex B for additional discussion.

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-04-10]

3.7
cooling air temperature
temperature of cooling air measured at the hottest position in the capacitor assembly of a segment, under rated current and steady-state conditions, midway between two units

Note 1 to entry: If only one unit is involved, it is the temperature measured at a point approximately 0,1 m away from the capacitor container and at two-thirds of the height from its base.

3.8
degree of compensation
k
degree of series compensation, k (of a line section) is

$$k = 100\ (X_c / X_L)\ \%$$

where

X_c is the capacitive reactance of the series capacitor;

X_L is the total positive sequence inductive reactance of the transmission line section on which the series capacitor is applied.

3.9
discharge device (of a capacitor)
device connected across the terminals of the capacitor or built into the capacitor unit, capable of reducing the residual voltage across the capacitor effectively to zero after the capacitor has been disconnected from the supply

Note 1 to entry: Further requirements on the size of the discharge device are found in 8.1.

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-03-15, modified (modified definition, addition of Note 1 to entry)]

3.10
external fuse (of a capacitor)
fuse connected in series with a capacitor unit or with a group of parallel units

3.11
fuseless capacitor bank
capacitor bank without any fuses, internal or external, constructed of parallel strings of capacitor units. Each string consists of capacitor units connected in series

Note 1 to entry: See Annex C for an explanation of “string”.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

3.12
highest voltage of a three-phase system
highest r.m.s. phase-to-phase voltage which occurs under normal operating conditions at any time and at any point of the system

Note 1 to entry: It excludes voltage transients (such as those due to system switching) and temporary voltage variations due to abnormal system conditions (such as due to faults or sudden disconnection of large loads).

3.13
highest voltage for equipment
U_m
highest r.m.s. value of phase-to-phase voltage for which the equipment is designed in respect of its insulation as well as other characteristics which relate to this voltage in the relevant equipment standards

Note 1 to entry: This voltage is the maximum value of the highest voltage of the system for which the equipment may be used.

[SOURCE: IEC 60050-604:1987, 604-03-01]

3.14
insulation level
U_i
non-simultaneous combination of test voltages (power-frequency (U_{ipf}) or switching impulse, and lightning impulse) which characterizes the insulation of the capacitor with regard to its capability of withstanding the electric stresses between terminals and earth, between phases and between terminals and metalwork (e.g. platform) not at earth potential

3.15
internal fuse of a capacitor
fuse connected inside a capacitor unit, in series with an element or group of elements

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-03-16]

3.16
limiting voltage
U_{lim}
maximum peak of the power frequency voltage occurring between capacitor unit terminals immediately before or during operation of the overvoltage protector, divided by $\sqrt{2}$

SEE: 5.1.4

Note 1 to entry: This voltage appears either during conduction of the varistor or immediately before ignition of the spark gap.

3.17
line terminal
terminal to be connected to the power system

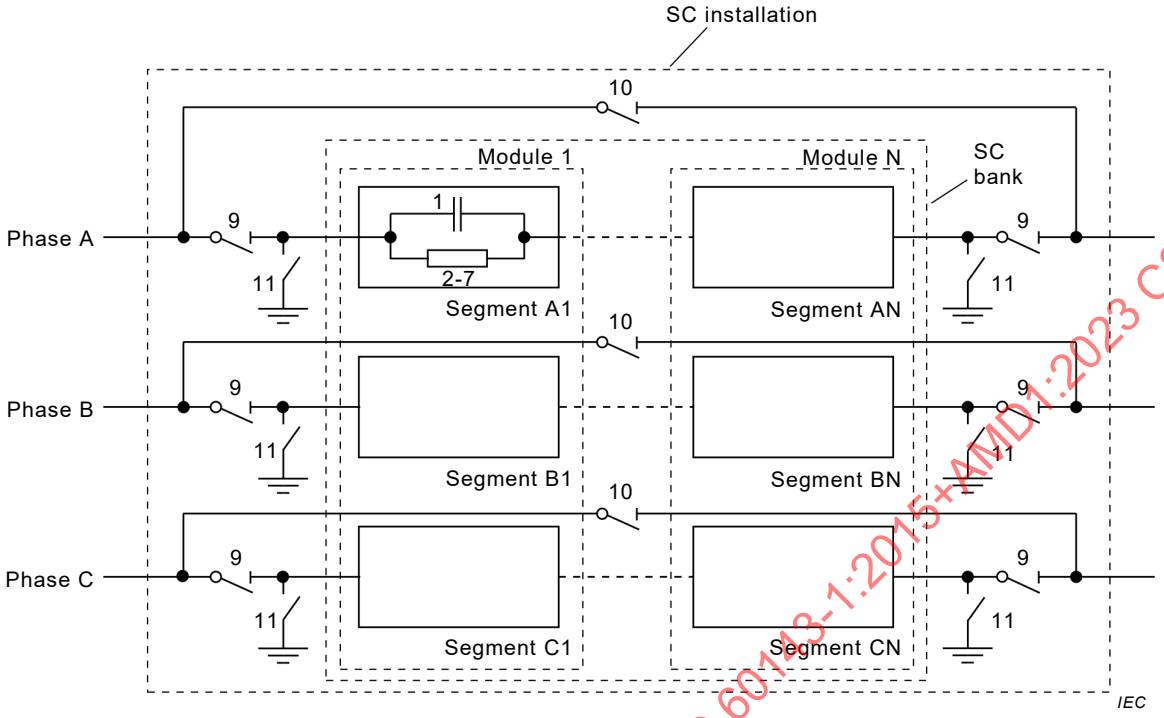
[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-03-01, modified (modified definition)]

3.18
module (of a series capacitor)
switchable step of a series capacitor consisting of identical segments in each phase (see Figure 1), which furthermore are also equipped with provisions for a common operation of the bypass switch of each of these segments

Note 1 to entry: The bypass switch of a module is normally operated on a three-phase basis. However, in some applications for protection purposes, the bypass switch may be required to temporarily operate on an individual phase basis.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Note 2 to entry: Figure 1 shows a typical nomenclature of a series capacitor installation.



Key

1 assembly of capacitor units

2-7 main protective equipment (Figure 2c) and Annex D)

9 isolating disconnector

10 bypass disconnector

11 earth switch

NOTE 1 A SC Installation includes a SC Bank plus 9, 10 and 11.

NOTE 2 Most series capacitors are configured with a single module, unless the reactance and current requirements result in a voltage across the bank that is impractical for the supplier to achieve with one module. Normally each module has its own bypass switch, but a common bypass switch may be used for more than one module. See clause 10.2.3 for additional details.

Figure 1 – Typical nomenclature of a series capacitor installation

3.19
overvoltage protector (of a series capacitor)
quick-acting device (usually MOV or a self triggered spark gap) which limits the voltage across the capacitor to a permissible value when that value would otherwise be exceeded as a result of a circuit fault or other abnormal power system conditions

3.20
power frequency withstand voltage
U_{ipf}
wet power frequency withstand voltage of bushings and insulators

3.21
protective level
U_{pl}
magnitude of the maximum peak of the power frequency voltage appearing across the overvoltage protector during a power system fault

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Note 1 to entry: The protective level may be expressed in terms of the actual peak voltage across a segment or in terms of the per unit of the peak of the rated voltage across the capacitor (see 5.1.4, 10.4 and 10.5). This voltage appears either during conduction of the varistor or immediately before ignition of the spark gap.

3.22
rated capacitance (of a capacitor)
C_N
capacitance value for which the capacitor has been designed

3.23
rated current of a capacitor
I_N
r.m.s. value of the alternating current for which the capacitor has been designed

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-13]

3.24
rated frequency (of a capacitor)
f_N
frequency of the system in which the capacitor is intended to be used

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-14, modified (modified definition)]

3.25
rated output (of a capacitor)
Q_N
reactive power derived from rated reactance and rated current

Note 1 to entry: For the bank, the rated three-phase reactive power rating in Mvar (Q_N) is defined by the equation:

$$Q_N = 3 \times I^2_N \times X_N$$

where

I_N is the rated current, in kA;

X_N is the rated reactance, in Ω.

3.26
rated reactance (of capacitor)
X_N
reactance of each phase of the series capacitor at rated frequency and 20 °C dielectric temperature

3.27
rated voltage (of the bank)
power system phase-to-phase voltage for which the phase-to-ground insulation system is designed

3.28
rated voltage (of a capacitor)
U_N
r.m.s. value of the voltage between the terminals, derived from rated reactance and rated current $U_N = X_N \times I_N$

3.29
residual voltage (of a capacitor)
voltage remaining between terminals of a capacitor at a given time following disconnection of the supply

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

3.30
segment (of a series capacitor)
single-phase assembly of groups of capacitors which has its own voltage-limiting devices and relays to protect the capacitors from overvoltages and overloads

SEE: Figure 1

Note 1 to entry: Segments are not normally separated by isolating disconnectors. More than one segment can be on the same insulated platform.

3.31
series capacitor bank (or bank)
three-phase assembly of capacitors with the associated protection and insulated support structure

Note 1 to entry: The bank may include one or more modules (see Figure 1).

3.32
series capacitor installation
series capacitor bank and its accessories including the bypass and isolating disconnectors

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-07, modified (addition of "including the bypass and isolating connectors")]

3.33
steady-state condition
thermal equilibrium attained by the capacitor at constant output and at constant ambient air temperature

3.34
sub-segment
portion of a segment that includes a single-phase assembly of capacitor units an an associated protective device, discharge current limiting an damping equipment, and selected protection and control functions, but does not have a dedicated by-pass switch

3.35
tangent of loss angle (of a capacitor)
tan δ
ratio between the equivalent series resistance and the capacitive reactance of a capacitor at specified sinusoidal alternating voltage and frequency

Note 1 to entry: Tangent of loss angle can also be expressed as the capacitor losses divided by the reactive power of the capacitor.

3.36
varistor coordinating current
magnitude of the maximum peak of power frequency varistor current associated with the protective level

Note 1 to entry: The varistor coordinating current waveform is considered to have a virtual front time of 30 to 50 µs. The tail of the waveform is not significant in establishing the protective level voltage.

4 Service conditions

4.1 Normal service conditions

Series capacitor banks shall be suitable for operation at their specified current, voltage, and frequency ratings and specified fault sequences under the following conditions:

a) The elevation does not exceed 1 000 m above sea level.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

b) The indoor and outdoor ambient temperatures are within the limits specified by the purchaser.

c) The ice load does not exceed 19 mm (if applicable).

d) Wind velocities are no greater than 128 km/h.

e) The horizontal seismic acceleration (if applicable) of the equipment does not exceed 0,2 g and the vertical acceleration does not exceed 0,16 g when applied simultaneously at the base of the support insulators. For the purposes of this requirement, the values of acceleration are static.

NOTE This is the "low seismic qualification level" defined in IEEE Std. 693. The seismic acceleration and the maximum wind do not have to be considered to occur simultaneously.

f) The snow depth (if applicable) does not exceed the height of the foundations for the platform support insulators. (A typical maximum height is 1 m.)

g) The solar radiation does not exceed 1 000 W/m^2.

4.2 Ambient air temperature categories

Capacitors are classified in temperature categories, each category being specified by one number followed by one letter. The number represents the lowest ambient air temperature at which the capacitor may operate. The letter represents the upper limit of temperature variation range, having the maximum value specified in Table 1.

Table 1 – Letter symbols for upper limit of temperature range

Symbol	Ambient air temperature °C		
	Maximum	Highest mean over any period of	
		24 h	1 year
A	40	30	20
B	45	35	25
C	50	40	30
D	55	45	35

The temperature categories cover a total temperature range from –50 °C to +55 °C. The lowest ambient air temperature at which the capacitor may be operated should be chosen from the five preferred values +5 °C, –5 °C, –25 °C, –40 °C and –50 °C.

Any combination of minimum and maximum values can be chosen for the standard temperature category of a capacitor, for example –40/A or –5/C.

Table 1 is based on service conditions in which the capacitor does not influence the ambient air temperature (e.g. outdoor installations). If the capacitor influences the air temperature, the ventilation and/or choice of capacitor shall be such that the limits of Table 1 are maintained. The cooling air temperatures in such installations shall not exceed the temperature limits of Table 1 by more than 5 °C.

NOTE The temperature values according to Table 1 can be found in the meteorological temperature tables covering the installation site.

4.3 Abnormal service conditions

The application of series capacitor banks at other than the normal service conditions shall be considered as special and shall be identified in the purchaser's specification. Examples of such conditions are as follows:

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

a) Service conditions other than those listed in 4.1.

b) Exposure to excessively abrasive and conducting dust.

c) Exposure to salt, damaging fumes, or vapors.

d) Swarming insects.

e) Flocking birds.

f) Conditions requiring over-insulation or extra leakage distance on insulators.

g) Seismic accelerations at the “moderate or high seismic qualification levels” as defined in IEEE Std. 693.

4.4 Abnormal power system conditions

Abnormal power system conditions include:

a) Continuous harmonic currents in the power system.

b) The transmission line on which the series capacitor bank is located does not have phase transpositions so the reactances of each phase of the line are not approximately equal.

5 Quality requirements and tests

5.1 Test requirements for capacitor units

5.1.1 General

This clause gives the test requirements for capacitor units.

NOTE Test requirements for other equipment are found in IEC 60143-2, IEC 60143-3, IEC 60143-4 and Annex A of this standard.

Supporting insulators, switches, instrument transformers, external fuses, etc., shall be in accordance with the pertinent IEC standard.

5.1.2 Test conditions

Unless otherwise specified for a particular test or measurement, the temperature of the capacitor dielectric shall be in the range +5 °C to +35 °C. When a correction has to be applied, the reference temperature to be used is +20 °C, unless otherwise agreed between the manufacturer and the purchaser. It may be assumed that the dielectric temperature of the capacitor unit is the same as the ambient air temperature, provided that the capacitor has been left in an non-energized state in a constant ambient air temperature for an adequate period.

The a.c. tests and measurements shall be carried out at a frequency of 50 Hz or 60 Hz irrespective of the rated frequency of the capacitor unless otherwise specified.

5.1.3 Voltage limits as established by overvoltage protector

5.1.3.1 General

a) Purpose

The overvoltage protector is a quick-acting device which limits the instantaneous voltage across the series capacitor to a permissible value when that value would otherwise be exceeded as a result of a power-system fault or other abnormal network condition.

b) Classification

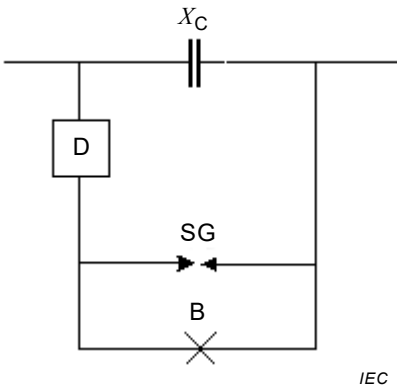
Three common alternatives are listed below (see Figure 2):

– single protective spark gap (type K1), see Figure 2a)

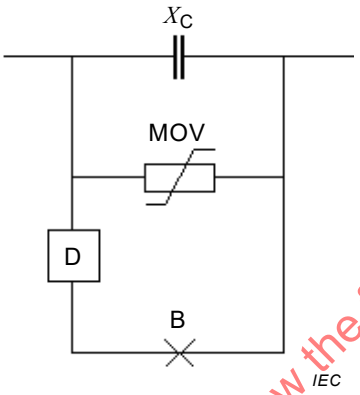
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

– varistor (gapless) (type M1), see Figure 2b)
– varistor with bypass gap (type M2), see Figure 2c)

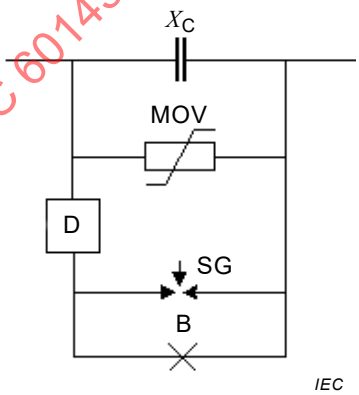
NOTE If the sparkover voltage of an overvoltage protector is dependent on air density, U_{pl} is understood to correspond to the conditions resulting in the highest sparkover voltage, i.e. to the highest air pressure and the lowest temperature. Also, the tolerance on sparkover voltage to be taken into account when determining U_{pl}.



2a) Single gap (type K1)



2b) MOV (type M1)



2c) MOV + bypass gap (type M2)

Figure 2 – Classification of overvoltage protection

5.1.3.2 Type K overvoltage protector

When the gap sparks over due to an excessive line current caused by a fault in the system, an arc is sustained until de-energizing the line or closing a bypass switch.

During arcing of the gap, the capacitor is exposed to one voltage peak whose value shall not exceed U_{pl}. The capacitor is subjected to a transient discharge once only at every operation of the gap.

5.1.3.3 Type M overvoltage protector

The varistor is permanently connected across the capacitor terminals. When the bank is operated at normal load current, a given but very low current passes through the varistor.

In the case of a fault external to the line concerned, the series capacitor becomes automatically reinserted when the fault is disconnected. Even during such a fault the series capacitor exerts a certain compensating effect. For this reason, in many cases, the U_{pl} chosen with Type M can be lower than with Type K overvoltage protectors. On the other hand,

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

in the event of a short-circuit at the compensated line itself, the circuit-breakers at the ends of the line will be opened.

The varistor shall be designed to withstand the thermal stresses occurring during the overload conditions and during the system swing according to 10.3, and those of the maximum line fault current.

In the event of prolonged duration of an external fault, e.g. due to malfunction of the line protection, the varistor may become thermally overloaded. Also short-circuits at the compensated line may imply such high currents that it is not economical to dimension the varistor accordingly. In order to protect the varistor in such cases, it may be bypassed by a switch or a forced, triggered spark-gap.

5.1.4 Determination of protective level voltage U_{pl} and U_{lim}

The value of a test voltage (U_t) between terminals depends on the type of the overvoltage protector and its protective level voltage U_{pl} (see 5.1.3).

The limiting voltage U_{lim} (kV r.m.s.) for the capacitor unit is related to the protective level voltage of the actual phase or segment U_{pl} (kV peak) according to equation (1).

$$U_{lim} = U_{pl} \big/ (s \times \sqrt{2}) \tag{1}$$

where s is the number of capacitor units in series which spans U_{pl}.

Further clarifications are given in 10.4 and 10.5.

5.2 Classification of tests

5.2.1 General

Tests on equipment that constitute the capacitor bank are designated as routine tests, type tests and special tests. Additional tests are typically performed after the bank is installed. These tests are discussed in IEC 60143-2.

5.2.2 Routine tests

a) Capacitance measurement (see 5.3)
b) Capacitor loss measurement (see 5.4)
c) Voltage test between terminals (see 5.5)
d) AC voltage test between terminals and container (see 5.6)
e) Test on internal discharge device (see 5.7)
f) Sealing test (see 5.8)
g) Discharge test of internal fuses (see 3.1.2 of IEC 60143-3).

The test sequence is not necessarily that indicated above.

The routine tests shall be carried out by the manufacturer on every capacitor unit before delivery.

5.2.3 Type tests

a) Thermal stability test (see 5.9)

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

b) AC voltage test between terminals and container (see 5.10)

c) Lightning impulse voltage test between terminals and container (see 5.11).

d) Cold duty test (see 5.12)

e) Discharge current test (see 5.13).

The type tests are carried out in order to ensure that the capacitor unit complies with the contractual characteristics and with the operational requirements as specified in this standard.

It is not essential that all type tests are carried out on the same capacitor unit.

The above list of type tests does not indicate any test sequence.

Unless otherwise specified, every capacitor sample to which a type test will be applied shall have first withstood satisfactorily the application of all the routine tests.

When a type test has previously been successfully performed on equipment of similar design at stress or duty levels that are equal to or greater than that required for the specific application, then the manufacturer does not have to repeat the test if a written report describing the previous test is provided. The manufacturer shall also provide an explanation of how the previous test satisfies the requirements for the specific application.

New type tests shall be performed for a specific project, only if the equipment design is new or if a critical manufacturing process is new, or if it is to be applied at a higher stress or duty level than previously tested designs or if specifically contracted by the purchaser.

5.2.4 Special test (ageing test)

The special test consists of an ageing test which is to be made according to 4 of IEC TS 60871-2:2014.

The ageing test shall be carried out only after a contractual agreement between the manufacturer and purchaser.

5.3 Capacitance measurement (routine test)

5.3.1 Measuring procedure

The capacitance of each capacitor unit shall be measured at 0,9 to 1,1 times the rated voltage, using a method that excludes errors due to harmonics. Measurement at another voltage is permitted, provided that an appropriate correction factor is agreed upon between the manufacturer and purchaser.

The accuracy of the measuring method shall be such that the tolerances according to 5.3.2 can be respected. The repeatability of the measuring method shall be such that a punctured element or an operated internal fuse can be detected.

The final capacitance measurement shall be carried out after the voltage test (see 5.5). In order to reveal any change in capacitance, e.g. due to puncture of an element, or failure of an internal fuse, a preliminary capacitance measurement shall be made before the other voltage routine tests. This preliminary measurement shall be performed with a voltage not higher than 0,15 U_N.

The manufacturer shall, on agreement, provide curves or tables showing:

– the capacitance in steady-state condition at rated output as a function of ambient air temperature within the temperature category;

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

– the capacitance as a function of the dielectric temperature within the temperature category.

5.3.2 Capacitance tolerance

The tolerances refer to capacitance values measured at 0,9 to 1,1 times the rated voltage under the conditions of 5.3.1.

The capacitance at reference temperature (see 5.1.2) shall not differ from the rated capacitance by more than:

– ±7,5 % for units;
– ±5,0 % for banks with a rated output less than 30 Mvar;
– ±3,0 % for banks with a rated output of 30 Mvar or more.

Furthermore, the capacitance shall not differ by more than:

– 3,0 % between any two phases or segments within the same module with a bank rated output less than 30 Mvar;
– 1,0 % between any two phases or segments within the same module with a bank rated output of 30 Mvar or more.

Closer tolerances may be required for capacitors in more critical applications.

The manufacturer shall organize the assembly of the capacitor units.

5.4 Capacitor loss measurement (routine test)

5.4.1 Measuring procedure

The capacitor losses (or tan δ) shall be measured at 0,9 to 1,1 times rated voltage using a method that excludes errors due to harmonics.

The measuring equipment should be calibrated according to IEC 60996 or to another method that will give the same or an improved accuracy.

The tangent of loss angle of impregnated low-loss dielectrics decreases considerably during the first hours of initial energization. This decrease is not correlated to the tan δ variation with temperature. The initial tan δ may vary also between identical units manufactured simultaneously. The final “stabilized” values are, however, usually within close limits. The tan δ measured initially at the routine test should be regarded as a rough indication only. For contractual purposes, only measurements of units should be used which have undergone the thermal stability test before or, alternatively, units may be conditioned according to manufacturers’ practice.

5.4.2 Loss requirements

The capacitor losses refer to values measured under the conditions of 5.4.1.

The requirements regarding capacitor losses may be agreed upon between the manufacturer and purchaser.

Further information regarding capacitor losses are given in Annex B.

The manufacturer should, by agreement, provide curves or tables showing the stabilized capacitor losses (or tan δ) under steady-state condition at rated output as a function of ambient air temperature within the temperature category.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

5.4.3 Losses in external fuses

Losses in external fuses shall be calculated using the nominal a.c. resistance (specified by the fuse manufacturer at 20 °C) times the square of rated capacitor current.

5.5 Voltage test between terminals (routine test)

The capacitor units shall be subjected to a d.c. test at 1,7 U_{lim} (1,2 × $\sqrt{2}$ × U_{lim}) for overvoltage protectors Type K and M. The test voltage value shall not be less than 4,3 U_N. The duration of the test shall be 10 s.

During the test, neither puncture nor flashover shall occur.

If the capacitors are to be retested, a voltage of 75 % of U_t is recommended for the re-test.

5.6 AC voltage test between terminals and container (routine test)

Capacitor units having both terminals insulated from the container shall be subjected for 10 s to an a.c. voltage test applied between the terminals (joined together) and the container. The value of the test voltage shall be chosen according to 6.1.3.2.

During the test, neither puncture nor flashover shall occur.

The test shall be performed even if one of the terminals in service is intended to be connected to the container.

Units having one terminal permanently connected to the container shall not be subjected to this test.

5.7 Test on internal discharge device (routine test)

The resistance of the internal discharge device, if any, shall be checked by a measurement. The method may be selected by the manufacturer.

The test shall be made after the voltage test of 5.5.

5.8 Sealing test (routine test)

The unit (in non-painted state) shall be exposed to a test that will effectively detect any leak of the container and bushing(s). The test procedure is left to the manufacturer, who shall describe the test method concerned.

If no procedure is stated by the manufacturer the following test procedure shall apply:

Non-energized capacitor units shall be heated throughout so that, for at least 2 h, all parts reach a temperature not less than 20 °C above the maximum value in Table 1. No leakage shall occur. It is recommended that a suitable leakage indicator should be used.

5.9 Thermal stability test (type test)

5.9.1 Measuring procedure

The capacitor unit subjected to the test shall be placed between two barrier units with the same rating and energized at the same voltage as the test capacitor. The barrier units shall have almost the same container dimensions as the unit under test. Alternatively, two dummy capacitors both containing resistors may be used as barrier units. Dissipation in the resistors shall be adjusted to such a value that the case temperatures of the dummy capacitors are

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

equal to or higher than those of the test capacitor. The temperature of the units shall be measured at "equal" spots which shall not be exposed to direct heat radiation from another unit. The separation between the units shall be equal to or less than the normal spacing. The assembly shall be placed in still air, in a heated enclosure, in the most unfavourable thermal position according to the manufacturer's instructions for mounting on site.

The ambient air temperature shall be maintained at the appropriate value shown in Table 2 (tolerance ±2 °C). It shall be checked by means of a thermometer having a thermal time constant of approximately 1 h. This thermometer shall be shielded so that it is exposed to the minimum possible thermal radiation from the energized sample and the energized barrier units.

Table 2 – Ambient air temperature in thermal stability test

Symbol	Temperature °C
A	40
B	45
C	50
D	55

The test capacitor shall be subjected to an a.c. voltage of substantially sinusoidal form for a period of at least 48 h. The magnitude of the voltage shall be kept constant throughout the test. Its value shall be derived from the measured capacitance (see 5.3.1) to give a calculated output of the capacitor equal to 1,44 times the rated output. The test value 1,44 Q_N is related to the 8 h overload current 1,1 I_N according to 7.1. If this 8 h overcurrent has been increased, the factor 1,44 shall be correspondingly increased in square (see also 10.3.2).

During the last 6 h, the temperature of the container shall be measured at least four times. Throughout this period of 6 h, the temperature rise shall not increase by more than 1 K. Should a greater change be observed, the test may be continued until the above requirement is met for four consecutive measurements during a subsequent 6 h period.

Before and after the test, the capacitance shall be measured (see 5.3.1) within the temperature range according to 5.1.2 and the two measurements shall be corrected to the same dielectric temperature.

The difference between the two measurements shall be less than that which would correspond to a puncture of an element or which would initiate operation of an internal fuse. When interpreting the results of the measurements, the following factors shall be taken into account:

– the repeatability of the measurements;

– the fact that internal change in dielectric may cause a small change of capacitance, without puncture of any element or operation of an internal fuse having occurred. When checking whether the temperature conditions are satisfactory, voltage fluctuation, frequency and ambient air temperature during the test should be taken into account. For this reason, it is advisable to plot these parameters and the temperature rise of the container as a function of time.

Units intended for 60 Hz installation may be tested with 50 Hz and vice versa, provided that the specified output is applied. For units rated below 50 Hz, the test conditions should be agreed between the manufacturer and purchaser.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

5.9.2 Capacitor loss measurement

The capacitor losses (or tan δ) shall be measured at the end of the thermal stability test. The measuring voltage shall be that of the thermal stability test. Otherwise subclause 5.4.1 applies.

The value of tan δ measured shall not exceed the value declared by the manufacturer or the value agreed upon between the manufacturer and purchaser.

5.10 AC voltage test between terminals and container (type test)

Capacitor units having both terminals insulated from the container shall be subjected to a test voltage applied for 1 min between the terminals joined together and the container. The value of the test voltage shall be chosen according to 6.1.3.2.

Units having one terminal permanently connected to the container shall also be subjected to a 1 min a.c. voltage test between the terminals to check the adequacy of the insulation to container. The test voltage is proportional to the rated voltage and is calculated according to 6.1.3.3. Whenever the voltage of this test exceeds the dielectric test requirement, the test unit's dielectric composition may be modified, for example by increasing the number of elements in series, to avoid dielectric failure. However, the insulation to container shall not be changed. Alternatively, this test may be completed, using a similar unit with two isolated terminals having the same insulation to the container.

The test is dry for units to be used indoors. For units to be used outdoors, it is performed in artificial rain (IEC 60060-1). The position of the bushings when subjected to a test in artificial rain shall correspond to their position in service.

During the test, neither puncture nor flashover shall occur.

Units intended for outdoor installation may be subjected to a dry test only if the manufacturer can supply a separate type test report showing that the bushings will withstand the wet test voltage for 1 min. The position of the bushing in this separate type test should correspond to the service position.

5.11 Lightning impulse voltage test between terminals and container (type test)

This test is applicable only to units having all terminals insulated from the container, and with the containers connected to earth (ground).

The lightning impulse test shall be made in accordance with IEC 60060-1 but with a waveform of 1,2/50 µs to 5/50 µs having a crest value corresponding to the insulation level of the unit according to 6.1.1.

Fifteen impulses of positive polarity followed by 15 impulses of negative polarity shall be applied between bushings joined together and the container. After the change of polarity, it is permissible to apply some impulses of lower amplitude before the application of the test impulses.

The capacitor is considered to have passed the test if

– no internal puncture has occurred,
– not more than two external flashovers occurred at each polarity,
– the waveshape has revealed no irregularities or no significant deviation from recordings at reduced test voltage.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

5.12 Cold duty test (type test)

The objective of this test is to demonstrate that the capacitors of the bank can withstand an overvoltage at the protective level followed by an overcurrent condition with the capacitors initially at the lowest ambient temperature.

The voltages applied during this test shall be at power frequency and the waveform substantially sinusoidal. The test circuit shall be suitably damped to reduce transients that exceed the prescribed power frequency voltages.

The cold duty test may be performed on either a standard unit or on a special unit having the characteristics described in IEC 60871-1, sub-clauses 16.5.2 and 16.5.3.

To prepare for the test, the test unit shall be placed in a refrigerator and the unit cooled until the dielectric temperature is equal to or lower than the lowest temperature of the temperature category.

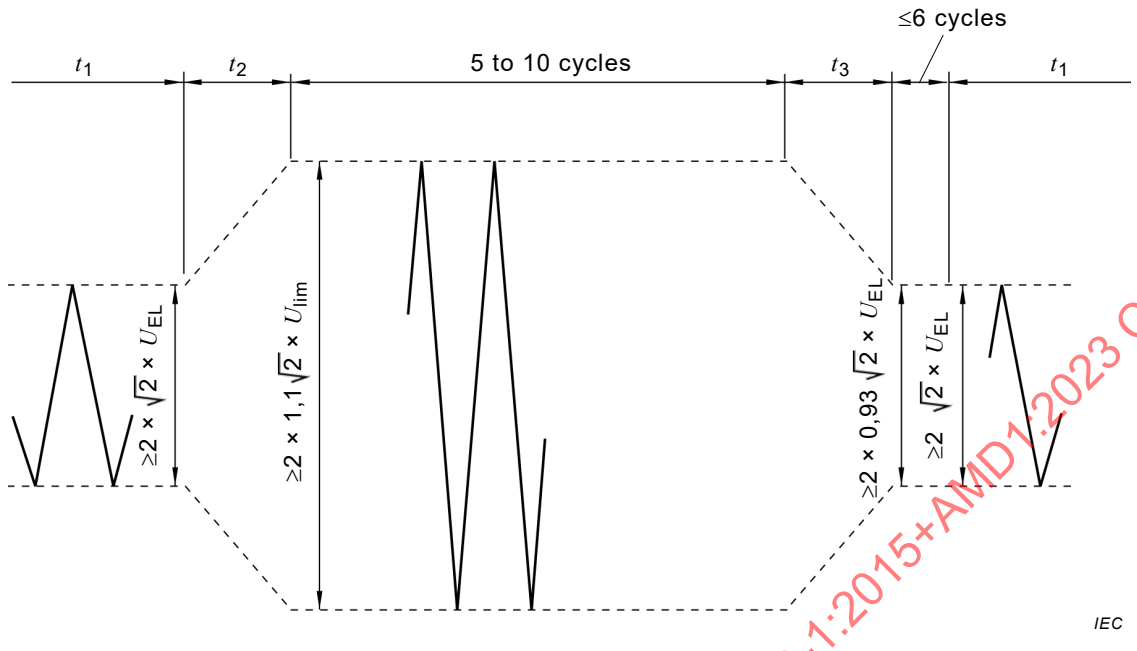
Within 10 min after being removed from the refrigerator, the unit shall be exposed to U_{EL} (between terminals) for 30 s. Thereafter, an overvoltage of 1,1 U_{lim} (but at least 2,25 U_N) shall be applied without any voltage interruption for a period of 5 to 10 cycles. After this the overvoltage of U_{EL} is maintained again without any voltage interruption (Figure 3) for an interval of 1,5 min to 2 min. Then another equal overvoltage sequence shall be applied, and so on until 50 power frequency overvoltage periods of 1,1 U_{lim} followed by U_{EL} have been applied (see Figure 3).

After the last overvoltage period at 1,1 U_{lim}, a voltage of U_{EL} shall be maintained for a time of 30 min.

The magnitude of U_{EL} shall be either 1,2 U_N or the voltage corresponding to the maximum 30 min overload condition following system disturbances (see Clause 7 and 10.3.1) whichever is higher.

Before and after the test, the capacitance shall be measured according to 5.3.1 and the two measurements shall be corrected to the same dielectric temperature (see 5.1.2). There shall be no significant change of capacitance for these measurements and, in any case, it shall be less than the change corresponding to the puncture of an element or the operation of an internal fuse. When interpreting the results of the measurements, the factors stated in 5.9.1 shall be taken into account.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV



The time t_1 is the interval of 1,5 min to 2 min between two consecutive overvoltage applications. The times t_2 and t_3 depend on the test circuit parameters and should be as short as possible.

Figure 3 – Time and amplitude limits for an overvoltage period waveform

5.13 Discharge current test (type test)

This test includes discharges with two different sets of parameters. The first test is intended to demonstrate that the units can withstand the stresses that may occur during the rare instance of a flashover that bypasses the damping circuit. The second test is intended to demonstrate that the units can withstand the discharge current associated with operation of the gap or closure of the bypass switch.

NOTE The discharge frequency should approximate that of the application.

For the first test, the capacitor unit shall be charged to a d.c. voltage of $\sqrt{2}\,U_{lim}$ and then discharged once through a circuit having an impedance as low as possible. The discharge circuit may be implemented with a small fuse wire or a shorting switch.

For the second test, the same unit shall then be charged to a d.c. voltage of 1,6 U_{lim} (1,1 × $\sqrt{2}\,U_{lim}$) and discharged through a circuit which satisfies the following conditions:

– the peak value of the discharge current shall be not less than 110 % of that resulting from conduction of the gap or the closure of the bypass switch;
– the I^2t of the discharge current shall be at least 10 % more than that associated with the conduction of the gap or the closure of the bypass switch (see IEC 60143-2).

This discharge shall be repeated 10 times at intervals of less than 20 s. Within 10 min after the last discharge, the unit shall be subjected to a voltage test between terminals according to 5.5.

Before and after the test, the capacitance shall be measured according to 5.3.1 and the two measurements shall be corrected to the same dielectric temperature (see 5.1.2). There shall be no significant change of capacitance at these measurements and, in any case, it shall be less than the change corresponding to the puncture of an element or to the operation of an internal fuse. When interpreting the results of the measurements, the factors stated in 5.9.1 shall be taken into account.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

6 Insulation level

6.1 Insulation voltages

6.1.1 Standard values

The insulation withstand voltages of the capacitor units and of the capacitor installation shall be chosen from the standard values prescribed in IEC 60071-1 and IEC 60071-2.

The standardized values of the highest voltage for equipment are divided into two ranges:

a) **Range I:** Above 1 kV to 245 kV included. This range covers both transmission and distribution systems. The different operational aspects, therefore, shall be taken into account in the selection of the rated insulation level of the equipment.

b) **Range II:** Above 245 kV. This range covers mainly transmission systems. The association of standard withstand voltages with the highest voltage for equipment has been standardized to benefit from the experience gained from the operation of systems designed according to IEC standards and to enhance standardization.

Standard withstand voltages are associated with the highest voltage for equipment according to Table 3 for range I and Table 4 for range II.

The purchaser shall specify which of the alternative test voltages shall be applied.

NOTE In North America other values of U_m and of rated withstand voltages are in use. Table 5 contains such values which, however, do not constitute IEC standard insulation levels.

6.1.2 Insulation to earth and between phases

The test voltages shall be selected among the standard values in accordance with 6.1.1.

For installations at altitudes exceeding 1 000 m, an increased insulation may be required.

NOTE The insulation level to earth applies not only to the platform insulators, but also to other series capacitor equipment between phase and earth such as ground mounted bypass switch, communication insulator, disconnectors etc.

6.1.3 Insulation levels for insulators and equipment on the platform

6.1.3.1 General requirements

The insulation levels for insulators and series capacitor equipment mounted on the supporting platform are in reference to the platform.

For installations at altitudes exceeding 1 000 m, higher insulation levels may be required.

The insulation level of the insulators and equipment on the platform shall be selected based on the protective level established by the overvoltage protector using equation (2) below. The equation applies to the insulation across the entire segment using the protective level of that segment. It also applies to the insulation within the segment using the pro-rated protective level across that part of the segment.

$$U_{ipf} \geq 1{,}2\, U_{pl} \big/ \sqrt{2} \qquad (2)$$

where

U_{ipf} is the power frequency withstand voltage (r.m.s.);

U_{pl} is the peak voltage magnitude of the protective level.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

The required power frequency withstand voltage is derived from the protective level. A standard insulation level is then selected from Table 3 or table 5 by comparing the short time power frequency withstand voltage stated in the table with the required value. The first column in the tables (highest voltage for equipment) shall not be used to select a standard insulation level.

6.1.3.2 Capacitor units

Capacitor units mounted on insulated platforms, or otherwise insulated from earth, shall withstand the power frequency voltage between terminals and container according to equations (3) or (4). The higher value according to equations (3) or (4) shall apply.

$$U_{\text{ipf(n)}} \geq U_{\text{ipf}} \times n/s \tag{3}$$

$$U_{\text{ipf(n)}} \geq 2{,}5 \times n \times U_{\text{N}} \tag{4}$$

where

U_{N} is the rated voltage of the capacitor unit;

s is the total number of capacitor units in series of the actual segment;

n is the number of capacitor units in series relative to the metal rack to which the containers are connected (e.g. if six units are series connected in one rack with the centre point connected to the rack, n = 3) .

Capacitor units having their containers connected to earth shall withstand full insulation according to 6.1.1 between terminals and container.

NOTE The equations for $U_{\text{ipf(n)}}$ above refer to the insulation between terminals and container of the capacitor unit. The equations do not apply to the test voltage of the capacitor dielectric, for which the equations in Clause 5 apply.

6.1.3.3 Capacitor racks

Any inter-rack insulation, e.g. support insulators between racks, shall withstand the power frequency withstand voltage according to equations (3) and (4). The higher value according to equations (3) or (4) shall apply. In this case n corresponds to the number of units which span across the insulation in question.

6.1.3.4 Support insulators and other equipment on the platform

The insulation levels for equipment mounted on the platform shall be selected according to the procedure outlined in 6.1.3.1 and by applying equation (2) and (3), if not otherwise stated in the subclauses below. In this case n corresponds to the number of capacitor units which span across the insulation in question.

a) Bus insulators

The insulation class of the insulators supporting the different buses on the platform shall be selected based on the above relationship. The insulator voltage class is determined by selecting an insulator with an equivalent or greater power frequency withstand voltage in accordance with Table 3. In this process the left column of the table is not used.

b) Equipment insulators

In general, the power frequency insulation level of the equipment on the platform shall be established by equation (3) and by applying the procedure described for bus insulators, with some exceptions.

c) Bypass switch

The insulation level across the interrupter of the bypass switch shall be based on the relationships defined above.

d) Varistor

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

The enclosure of the varistor shall have a power frequency wet withstand voltage based on the above equation. It is not required that the specific level selected be a standard value from Table 3.

e) Bypass gap

The insulators used in the bypass gap shall be based on the relationships defined above, taking into account the portion of the segment voltage to which the bypass gap is exposed. Intermediate assemblies can experience high transients during the normal breakdown process and shall be designed for these conditions. In addition, the withstand level of the power gap and any trigger circuit shall be coordinated to withstand all system disturbances without breaking under power system conditions for which they are inappropriate.

f) Discharge current limiting and damping equipment

The insulators used to support the discharge current limiting circuit from the platform shall be based on the relationships defined above, taking into account the portion of the segment voltage to which these insulators are exposed.

The insulation level across the discharge current limiting circuit shall be selected based on instantaneous voltage appearing across the circuit when the bypass gap sparks over or the bypass switch closes. The power frequency withstand of the required insulation class shall be at least $1{,}2/\sqrt{2}$ times this instantaneous voltage. The LIWL (lightning impulse withstand level) (BIL) (basic lightning impulse insulation level) of the circuit is then selected from the tables. However it must be recognized that the voltage that appears across the circuit when the bypass gap conducts or the bypass switch closes is of a much higher frequency than 50 Hz or 60 Hz and that the duration is very brief. At 50 Hz or 60 Hz, the magnitude of impedance of the circuit is usually very small, making it virtually impossible to perform a power frequency voltage withstand test at the selected level. On the other hand, the circuit can be easily tested with an impulse. As a result, the primary focus of the insulation across the circuit is its LIWL (BIL).

g) Current transformers and optical current transducers

The insulation level of the current transformers and the optical current transducers shall be based on the relationships defined above.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Table 3 – Standard insulation levels for range I (1 kV < U_m ≤ 245 kV)

(reproduced from IEC 60071-1:2006, Table 2)

Highest voltage for equiment (U_m) kV (r.m.s. value)	Standard rated short-duration power-frequency withstand voltage kV (r.m.s. value)	Standard rated lightning impulse withstand voltage kV (peak value)
3,6	10	20 40
7,2	20	40 60
12	28	60 75 95
17,5 [a]	38	75 95
24	50	95 125 145
36	70	145 170
52 [a]	95	250
72,5	140	325
100 [b]	(150)	(380)
	185	450
123	(185)	(450)
	230	550
145	(185)	(450)
	230	550
	275	650
170 [a]	(230)	(550)
	275	650
	325	750
245	(275)	(650)
	(325)	(750)
	360	850
	395	950
	460	1 050

NOTE If values in brackets are considered insufficient to prove that the required phase-to-phase withstand voltages are met, additional phase-to-phase withstand voltage tests are needed.

[a] These U_m are non preferred values in IEC 60038 and thus no most frequently combinations standardized in apparatus standards are given.

[b] This U_m value is not mentioned in IEC 60038 but it has been introduced in range I in some apparatus standards.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Table 4 – Standard insulation levels for range II (U_m > 245 kV) *(1 of 2)*

(reproduced from IEC 60071-1:2006, Table 3)

Highest voltage for equipment U_m kV (r.m.s. value)	Standard rated switching impulse withstand voltage			Standard rated lightning impulse withstand voltage [b] kV (peak value)
	Longitudinal insulation [a] kV (peak value)	Phase-to-earth kV (peak value)	Phase-to-phase (ratio to the phase-to-earth peak value)	
300 [c]	750	750	1,50	850
				950
	750	850	1,50	950
				1 050
362	850	850	1,50	950
				1 050
	850	950	1,50	1 050
				1 175
420	850	850	1,60	1 050
				1 175
	950	950	1,50	1 175
				1 300
	950	1050	1,50	1 300
				1 425
550	950	950	1,70	1 175
				1 300
	950	1 050	1,60	1 300
				1 425
	950 1 050	1 175	1,50	1 425
				1 550
800	1 175	1 300	1,70	1 675
				1 800
	1 175	1 425	1,70	1 800
				1 950
	1 175 1 300	1 550	1,60	1 950
				2 100
1 100	–	1 425 [d]	–	1 950
				2 100
	1 425	1 550	1,70	2 100
				2 250
	1 550	1 675	1,65	2 250
				2 400
	1 675	1 800	1,6	2 400
				2 550

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Table 4 *(2 of 2)*

Highest voltage for equipment U_m kV (r.m.s. value)	Standard rated switching impulse withstand voltage			Standard rated lightning impulse withstand voltage [b] kV (peak value)
	Longitudinal insulation [a] kV (peak value)	Phase-to-earth kV (peak value)	Phase-to-phase (ratio to the phase-to-earth peak value)	
1 200	1 550	1 675	1,70	2 100
				2 250
	1 675	1 800	1,65	2 250
				2 400
	1 800	1 950	1,60	2 550
				2 700

[a] Value of the impulse voltage component of the relevant combined test while the peak value of the power-frequency component of opposite polarity is $U_m \times \sqrt{2} / \sqrt{3}$.

[b] These values apply as for phase-to-earth and phase-to-phase insulation as well; for longitudinal insulation they apply as the standard rated lightning impulse component of the combined standard rated withstand voltage, while the peak value of the power-frequency component of opposite polarity is $0{,}7 \times U_m \times \sqrt{2} / \sqrt{3}$.

[c] This U_m is a non-preferred value in IEC 60038.

[d] This value is only applicable to the phase-to-earth insulation of single phase equipment not exposed to air.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Table 5 – Typical insulation levels for platform-to-ground insulators *(1 of 2)*

(insulation levels based on IEEE Standard C62.82.1-2010)

Maximum system voltage (phase-to-phase) V_m kV, rms	Basic lightning impulse insulation level (phase-to-ground) BIL kV, crest	Low-frequency, short-duration withstand voltage[a] (phase-to-ground) kV, rms
15	95 110	34
26.2	125 150	40 50
36.2	150 200	50 70
48.3	250	95
72.5	250 350	95 140
121	350 450 550	140 185 230
145	450 550 650	185 230 275
169	550 650 750	230 275 325
242	650 750 825 900 975 1050	275 325 360 395 480

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Table 5 *(2 of 2)*

Maximum system voltage (phase-to-phase) V_m kV, rms	Basic lightning impulse insulation level (phase-to-ground) BIL kV, peak	Basic switching impulse insulation level[a] (phase-to-ground) BSL kV, peak
362	900 975 1050 1175 1300	650 750 825 900 975 1050
420	1050 1175 1300 1425	850 950 1050
550	1300 1425 1550 1675 1800	1175 1300 1425 1550
800	1800 1925 2050	1300 1425 1550 1675 1800
1200	2100 2250 2400 2550 2700	1675 1800 1950

[a] See specific BIL/BSL relationship in relevant apparatus standard. Preferred values are provided in 4.6.

6.2 Creepage distance

The recommendations given in Table 1 of IEC 60071-2:1996 shall apply. The purchaser shall specify which one of the pollution levels, or specific creepage distance, shall be applicable.

In Table 6, specific creepage distances are given for the different pollution levels according to Table 1 of IEC 60071-2:1996. (For more detailed description of the pollution levels, see IEC 60071-2.) The creepage distance is calculated by multiplying the general nominal specific creepage distance in the fourth column with the rated voltage across the insulation in question. The values in Table 6, column 4 are generally applicable for any voltage, i.e. phase-phase, phase-earth or any voltages within a phase segment.

If the 30 min overload current (I_{30}) exceeds 1,35 pu, the creepage distances shall be increased linearly in proportion to (I_{30}/1,35 pu).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Table 6 – Specific creepage distances

Pollution level	Examples of environments (further details in IEC 60071-2:1996, Table 1)	Minimum nominal specific creepage distance according to (IEC 60071-2:1996, Table 1) mm/kV	General nominal specific creepage distance mm/kV
I Light	No or low density of industries or houses Agriculture or mountain areas Locations at least 10 km to 20 km from the sea	16	28
II Medium	Industries not producing particularly polluting smoke High density of houses and/or industries but subjected to frequent winds and/or rainfall Wind from the sea but not too close to the coasts	20	35
III Heavy	High density of industries and suburbs of large cities, producing pollution Areas close to the sea	25	44
IV Very heavy	Industrial smoke producing conductive deposits Areas very close to the sea and exposed to sea-spray (salt) Desert areas	31	54
The general nominal specific creepage distances in Table 6, Column 4, are obtained from values in IEC 60071-2:1996, Table 1, multiplied by $\sqrt{3}$. The values in IEC 60071-2:1996 (Column 3) are based on the highest voltage for equipment (see 3.13) but should be applied on phase-ground insulations. When applying any of these nominal specific creepage distances on phase-phase insulations, the values shall be multiplied by $\sqrt{3}$. A more general approach is to apply the values in Column 4 to the voltage across any insulation path within the bank.			

6.3 Air clearances

Recommendations for selection of air clearance distance are found in IEC 60071-2:1996, Annex A. Minimum clearances have been determined for different electrode configurations. The minimum clearances specified are determined with a conservative approach, taking into account practical experience, economy, and size of practical equipment in the range below 1 m clearance. These clearances are intended solely to address insulation coordination requirements. Safety requirements may result in substantially larger clearances.

Table 7, taken from IEC 60071-2, shall be used for phase-to-phase and phase-to-earth insulation for which lightning impulse withstand voltage is defined.

Table 8 and Table 9, taken from IEC 60071-2, shall be used for phase-to-earth and phase-to-phase insulation for which switching impulse withstand voltage is defined.

For selection of proper air clearance across insulation paths where only an a.c. voltage withstand requirement applies, e.g. for platform-mounted equipment, the recommendations in Annex G of IEC 60071-2:1996 shall be used. Minimum air clearance versus a.c. power frequency withstand voltage, according to Figure 4, shall apply if no other more detailed requirements are specified.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Application example: Calculation of insulation level, creepage distance and air clearance

A series capacitor (SC) is rated X_{CN} = 43 Ω and I_{CN} = 1 500 A. The 30 min overload current is 1,35 pu. The SC is protected by a ZnO varistor with a protective level equal to 2,2 pu. The pollution level is level II, medium, according to Table 6. Calculate the insulation level, the creepage distance and the air clearance for the support insulator of the high-voltage busbar on the platform.

Solution:

The rated voltage U_{CN} = 43 × 1,5 = 64,5 kV r.m.s.

The protective level voltage U_{pl} = $\sqrt{2}$ × 2,2 U_{CN} = 200,7 kV peak (see 10.5).

a) Insulation level

According to 6.1.3.1, equation (2) the following is valid:

$$U_{ipf} \geq 1{,}2\, U_{pl} \big/ \sqrt{2} = 170{,}3 \text{ kV r.m.s.}$$

According to Table 3, the insulation level for the high-voltage busbar insulator is selected as 185 kV r.m.s. for power frequency withstand voltage and as 450 kV peak for lightning impulse withstand voltage.

b) Creepage distance

According to 6.2, Table 6, the following is valid:

The creepage distance l is: l = 35 U_{CN} = 2 258 mm.

c) Air clearance

According to Figure 4, the following is valid:

The air clearance corresponding to 170,3 kV r.m.s. is 580 mm.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Table 7 – Correlation between standard lightning impulse withstand voltages and minimum air clearances

(reproduced from IEC 60071-2:1996, Table A.1)

Standard lightning impulse withstand voltage kV	Minimum clearance mm	
	Rod-structure	Conductor structure
20	60	
40	60	
60	90	
75	120	
95	160	
125	220	
145	270	
170	320	
250	480	
325	630	
380	750	
450	900	
550	1 100	
650	1 300	
750	1 500	
850	1 700	1 600
950	1 900	1 700
1 050	2 100	1 900
1 175	2 350	2 200
1 300	2 600	2 400
1 425	2 850	2 600
1 550	3 100	2 900
1 675	3 350	3 100
1 800	3 600	3 300
1 950	3 900	3 600
2 100	4 200	3 900

NOTE The standard lightning impulse is applicable phase-to-phase and phase-to-earth.

For phase-to-earth, the minimum clearance for conductor-structure and rod-structure is applicable.

For phase-to-phase, the minimum clearance for rod-structure is applicable.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Table 8 – Correlation between standard switching impulse withstand voltages and minimum phase-to-earth air clearances

(reproduced from IEC 60071-2:1996, Table A.2)

Standard switching impulse withstand-voltages kV	Minimal phase-to-earth	
	Conductor-structure	Rod-structure
750	1 600	1 900
850	1 800	2 400
950	2 200	2 900
1050	2 600	3 400
1175	3 100	4 100
1300	3 600	4 800
1425	4 200	5 600
1550	4 900	6 400

Table 9 – Correlation between standard switching impulse withstand voltages and minimum phase-to-phase air clearances

(reproduced from IEC 60071-2:1996, Table A.3)

Standard switching impulse withstand-voltages kV			Minimum phase-to-phase clearances mm	
Phase-to-earth kV	Phase to phase value / Phase-to-earth value	Phase to phase kV	Conductor-conductor parallel	Rod-conductor
750	1,5	1 125	2300	2 600
850	1,5	1 275	2 600	3 100
850	1,6	1 360	2 900	3 400
950	1,5	1 425	3 100	3 600
950	1,7	1 615	3 700	4 300
1050	1,5	1 575	3 600	4 200
1050	1,6	1 680	3 900	4 600
1175	1,5	1 763	4 200	5 000
1300	1,7	2 210	6 100	7 400
1425	1,7	2 423	7 200	9 000
1550	1,6	2 480	7 600	9 400

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

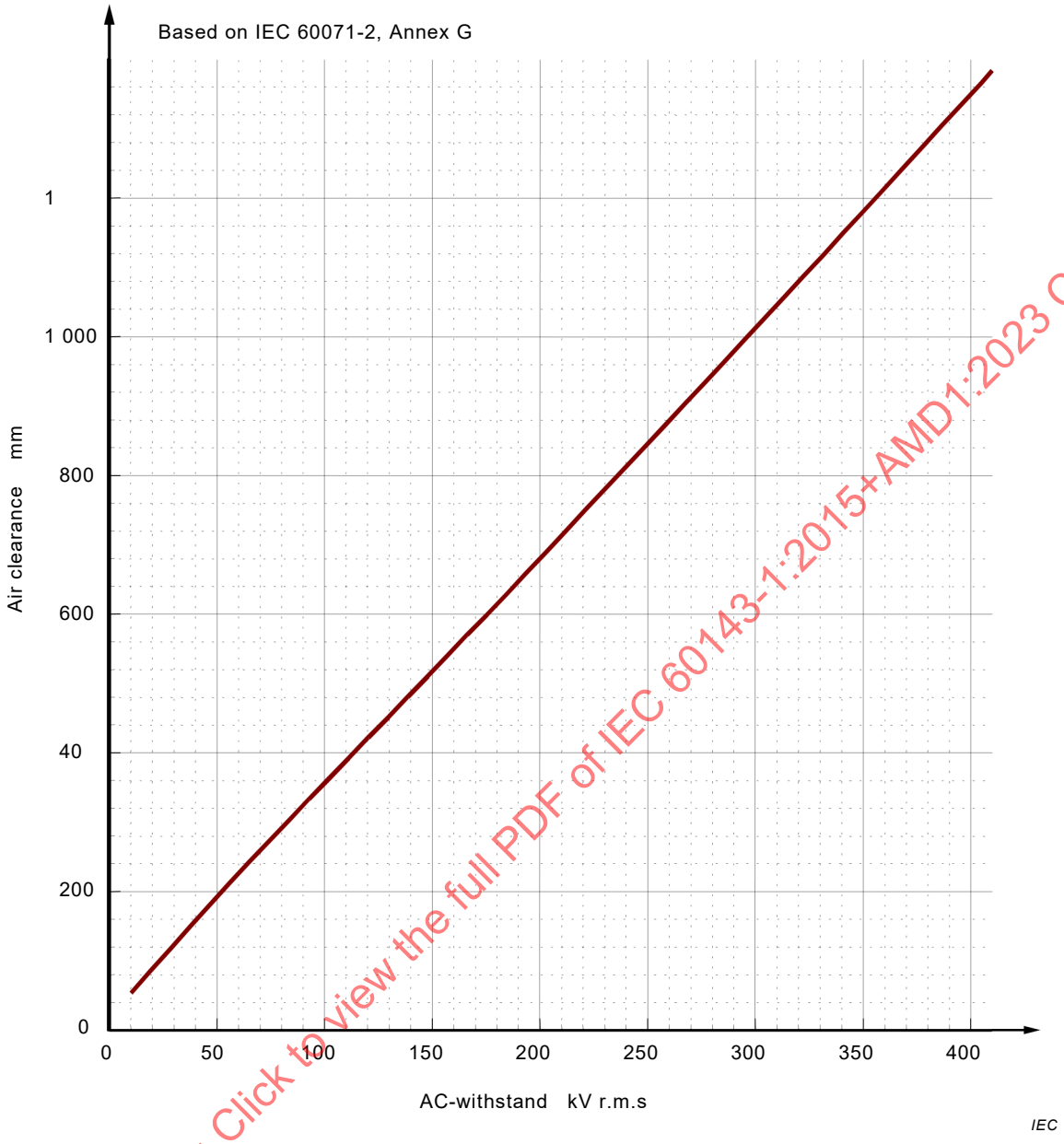


Figure 4 – Air clearance versus a.c. power frequency withstand voltage

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

7 Overloads, overvoltages and duty cycles

7.1 Currents

The series capacitor bank shall be capable of withstanding the rated continuous current, system swing currents, emergency loading, power system faults and, in some applications, harmonic currents. Some of these conditions are illustrated in 10.3. These quantities are generally specified by the purchaser.

7.2 Transient overvoltages

Series capacitors shall be suitable for repeated operations at transient overvoltages, e.g. caused by power system faults, with the highest possible value U_{pl} that is expected to occur across the capacitor terminals. The transient overvoltage is normally limited by an overvoltage protector (see 5.1.3, 5.1.4 and 10.5). The expected magnitude of the overvoltage shall be

agreed upon between the manufacturer and the purchaser. The purchaser shall give the estimated repetition rate.

7.3 Duty cycles

The series capacitor equipment shall be designed to withstand the required sequences of faults, system swing currents, emergency loading and continuous currents, as specified by the purchaser. These sequences form the duty cycles that all of the components of the bank shall be designed to withstand. The duty cycle shall be consistent with the manner in which the surrounding power system will be operated for both internal and external faults. The purchaser shall define duty cycles for faults of normal and extended durations and for faults of different types (three-phase and single-phase). Phase-to-phase faults shall be considered if specifically defined by the purchaser as these can be decisive for the energy rating of the varistor. Examples of typical duty cycles are found in 4.4 of IEC 60143-2:2012. See also 10.5 of this standard.

Although the focus of this subclause is duty cycles involving faults on the power system, it is understood that the bank shall be designed to operate for other events such as insertion and reinsertion under the conditions defined by the purchaser.

8 Safety requirements

8.1 Discharge device

Each capacitor unit or group of parallel units shall be provided with a means for discharging the residual voltage to 75 V or less from $\sqrt{2}\ U_N$. The maximum discharge time is 10 min for the capacitor unit or group of parallel units. There shall be no switch, fuse or any other isolating device between the capacitor unit(s) and the discharge device (external device).

The discharge circuits shall have adequate current-carrying and energy absorbing capacity to discharge the capacitor from a voltage level equal to U_{pl} and for auto-reclosing of the line and the series capacitor bank.

A discharge device is not a substitute for short-circuiting the capacitor terminals together and to earth before handling.

In certain countries, a shorter discharge time and a lower residual voltage are required. In this case, the purchaser should inform the manufacturer.

NOTE 1 Operating conditions above the rated voltage may cause a residual voltage over 75 V after 10 min.

NOTE 2 A fault in a unit cleared by a fuse, or a flashover across part of the bank can produce local residual charges inside the segment which cannot be cleared within the specified time by means of a discharge device connected between the terminals of the segment.

NOTE 3 The service requirements may require that the phase or segment should be equipped with an additional discharge device external to the capacitor units.

8.2 Container connection

To enable the potential of the metal container of a capacitor unit to be fixed, and to be able to carry the fault current in the event of a breakdown to the container, the container shall be provided with connection means suited for a bolt with a screw size of at least M 10 or equivalent (e.g. brackets with unpainted mounting surface).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

8.3 Protection of the environment

When capacitors contain materials (e.g. polychlorinated biphenyls) that must not be dispersed into the environment, the legal requirements of the country concerned shall be followed (see Annex E).

8.4 Other safety requirements

The purchaser shall specify at the time of enquiry any special requirements with regard to the safety regulations applicable in the country in which the capacitor is to be installed.

9 Markings and instruction books

9.1 Markings of the unit

9.1.1 Rating plate

The following information shall be given on the rating plate of each capacitor unit:

a) Name of manufacturer.

b) Identification number and year of manufacture; the year may be a part of the identification number or be in code form.

c) Rated current, I_N, in amperes.

d) Rated capacitance, C_N, in microfarads.

e) Rated frequency, f_N, in hertz.

f) Rated voltage U_N in volts or kilovolts.

g) Rated output, Q_N, in kilovars.

h) Limiting voltage, U_{lim}, in volts or kilovolts.

i) Temperature category.

j) Discharge device, if internal, shall be indicated by wording or by the symbol or by the rated resistance in kilohms or megohms.

k) Insulation level, U_i, in kilovolts.

l) Internal fuses, if included, shall be indicated by wording or by the symbol (IEC 60417:2002-10).

m) Chemical or trade name of impregnant; this indication may alternatively be stated on the warning plate (see 9.1.2).

n) Reference to IEC 60143-1 (plus the year of issue).

A place shall be reserved for the measured capacitance (see 5.3.1). This value may be indicated in one of the following ways:

– as an absolute capacitance value which may replace the rated capacitance;

– as a difference ΔC between the measured and the rated capacitance indicated, for example, by symbols for the capacitance deviation ranges as follows:

++ for ΔC between +7,5 % and +4,5 %

\+ for ΔC between +4,5 % and +1,5 %

+– for ΔC between +1,5 % and –1,5 %

– for ΔC between –1,5 % and –4,5 %

–– for ΔC between –4,5 % and –7,5 %.

The insulation level can be marked by means of two numbers separated by a stroke, the first number giving rated short duration power-frequency withstand voltage in kilovolts and the

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

second number giving rated lightning impulse withstand voltage in kilovolts, e.g. 28/75 kV. For units having one terminal permanently connected to the container and not tested according to 5.10 and 5.11, this information is not applicable.

9.1.2 Warning plate

If the capacitor unit contains material which may pollute the environment or may be hazardous in any other way (e.g. inflammability), the unit shall be provided with a label or otherwise marked according to the relevant laws of the country of the user. The purchaser shall inform the manufacturer about such law(s) (see Annex E).

9.2 Markings of the bank

9.2.1 Instruction sheet or rating plate

The following minimum information shall be given by the manufacturer in an instruction sheet or, alternatively, by contractual agreement, on a rating plate:

a) Name of manufacturer.

b) Rated output Q_N (e.g. 3 × 10 Mvar).

c) Reactance of each phase.

d) Rated current I_N.

e) Permissible overcurrent during 30 min (see 10.3).

f) Rated voltage U_N.

g) Protective level voltage U_{pl}.

h) Insulation level with respect to earth.

i) Time to discharge the phase from $\sqrt{2}\,U_N$ to 75 V.

j) Type of overvoltage protector (see 5.1.3).

If further information is given in an instruction sheet, the rating plate (or another plate, if a rating plate does not exist) shall bear reference to this instruction sheet.

If the capacitor bank consists of series-connected segments, items c), f), g) and i) shall be related to each segment.

The insulation level can be marked by means of two numbers separated by a stroke, the first number giving the rated short duration power-frequency withstand voltage (for U_m <300 kV) or the rated switching impulse withstand voltage (for U_m ≥300 kV) in kilovolts, and the second number giving the rated lightning impulse withstand voltage in kilovolts, e.g. 185/450 kV.

9.2.2 Warning plate

Subclause 9.1.2 is also valid for the bank.

9.3 Instruction book

The following minimum information shall be provided in the instruction book for the series capacitor bank:

a) Name of supplier

b) Overall bank

- summary of ratings
- layout drawings

c) Power equipment

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

- description
- ratings
- outline drawings
- maintenance procedures
- spare parts

d) Protection and control
- description of operation
- schematics
- maintenance procedures
- testing procedures
- spare parts.

10 Guide for selection of ratings, installation and operation

10.1 General

Since series capacitors reduce the inductive line reactance, and thereby decrease the phase angle between the voltages at the ends of the line, they are used in long transmission lines to improve voltage regulation and system stability, and thus increase transmission capacity of the line. They are also used for governing the active power distribution between lines working in parallel, thereby reducing the total transmission losses.

Because of their automatic and instantaneous response, series capacitors are used in distribution lines to reduce rapid voltage fluctuations due to load variation. See reference [3]. Consequently, the voltage conditions in the system are improved in most cases.

Because of the fluctuating line current, series capacitors are subjected to much greater variation of the voltage between terminals than shunt capacitors. When a short-circuit occurs in the system, this voltage may be so high that capacitor units designed to withstand it would be uneconomical. Therefore, such overvoltages are in most cases limited by an overvoltage protector which bypasses the phase or segment.

The effect of series capacitors on the system and their operating conditions are different in almost every application. To attain the best technical and economic results, each particular case should be studied individually in cooperation between the manufacturer and purchaser according to the criteria indicated in this clause and the result of the studies shall form part of the contract information.

10.2 Reactance per line, rated reactance per bank and number of modules per bank

10.2.1 Capacitive reactance per line

Typically, the series compensation in a transmission line is selected as a fixed percentage of the line inductive reactance. This percentage is selected from system power flow, system stability, short-circuit and subsynchronous resonance (SSR) studies (see 10.8.3) based on:

- voltages at key substations;
- voltage profile along the line;
- system dynamic stability requirements;
- power flow on parallel paths;
- SSR considerations for nearby, non-hydro turbine generators.

Finally, the cost of the equipment should be considered as the cost of series compensation will increase as the series compensation level is increased.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Higher series compensation can generally improve system performance but may require costly mitigation measures for SSR, if the compensation is close to non-hydro turbine generators with an SSR risk. Based on these considerations, a fixed level of series compensation is selected in the first place.

For several parallel paths or transmission lines, the series compensation level is selected to avoid unequal power flows. However, in some cases, series compensation may be used to optimize power flow on parallel lines with unequal line current ratings, to attract more power to the preferred line or path.

The per cent compensation can be anywhere from 20 % to 80 % of the line impedance. Series compensation is generally needed on long transmission lines for improving system stability and voltage profiles. It may be applied on short lines to balance the power flows. The series compensation range is kept below 100 % as it is desirable that the line appears as a net inductive reactance and to keep the resonant of the transmission line below the system synchronous frequency. A 50 % line compensation on a 300 km long line with 0,3 Ω/km

positive sequence line impedance would require 45 Ω of series capacitive impedance (0,5 × 300 km × 0,3 Ω = 45 Ω). This is the “capacitive reactance” of the series capacitors installed for series compensating the line.

In general, most of the transmission lines on which series capacitors have been installed are constructed with phase transpositions so that the inductive reactances of the phases are approximately equal. The reactances of the series capacitor banks are manufactured to be approximately equal so that the net reactances of the phases of the compensated line are also approximately equal. This approach minimizes negative sequence currents. The application of series capacitors in non-transposed lines is possible. However, selection of the reactance and the current ratings for each phase requires careful consideration. The purchaser should indicate in the specification if the line is not transposed.

10.2.2 Number of series capacitor banks in a transmission line

The number of banks in a line is dependent on the length of the line, the percentage compensation and the line current. There are no standard values of reactance for series capacitor banks. If the line is long and the compensation level and current levels are both high, the desired capacitive reactance per line is generally installed either as two banks, one at each line terminal, or as a single bank in the mid-section of the line. Mid-line location generally gives a lower through fault current and requires a smaller varistor rating compared to line end location. This is done to maintain a reasonably acceptable voltage profile on the transmission line and in some cases to limit the voltage across a single series capacitor bank. During high power transfer conditions, series capacitors generally cause a step increase of the voltage on the transmission line. Basically, the line inductive reactance causes a voltage drop when the power has a lagging reactive current component, which is usually the case under high loading conditions. This same current through the capacitive reactance of a series capacitor bank causes a step voltage increase at the bank location. By splitting the series capacitive reactance and putting it at two locations on the line, the step voltage increase can be split into half, thereby avoiding excessive voltage increases in the line voltage profile. Under light load conditions, the flow of line charging current (capacitive) through the series capacitor will result in a voltage drop. More than one bank per line also means that all of the compensation in the line is not lost if one of the banks is out of service.

In applications where the line is shorter or the compensation level is lower or the rated current is lower, usually only one bank per line is applied.

10.2.3 Number of modules in a capacitor bank

Most series capacitor banks are configured with a single module. This is usually the most economical design, unless the reactance and current requirements result in a voltage across

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023CSV

the bank that is impractical for the supplier to achieve with one module. Then the supplier may choose to configure the bank with two modules.

However, in some cases, it may be desirable to split the bank into two modules to achieve better power flow control on the power system. The advantages of the power flow control may outweigh the extra equipment costs associated with a two module bank. In addition, a bank with two modules can provide partial compensation if the other module has to be bypassed. However, with a two module bank it is not possible to maintain the equipment on the platform of one of the modules without taking the entire bank out of service.

The purchaser should indicate in the specification if more than one module per bank is required.

10.2.4 Future requirements for series capacitors

When selecting the rating of the series capacitor bank, the future requirements such as higher percentage compensation, higher power transfer, higher fault currents etc. should be considered.

The purchaser should indicate in the specification the degree to which the bank, as initially supplied, must accommodate these future operating requirements.

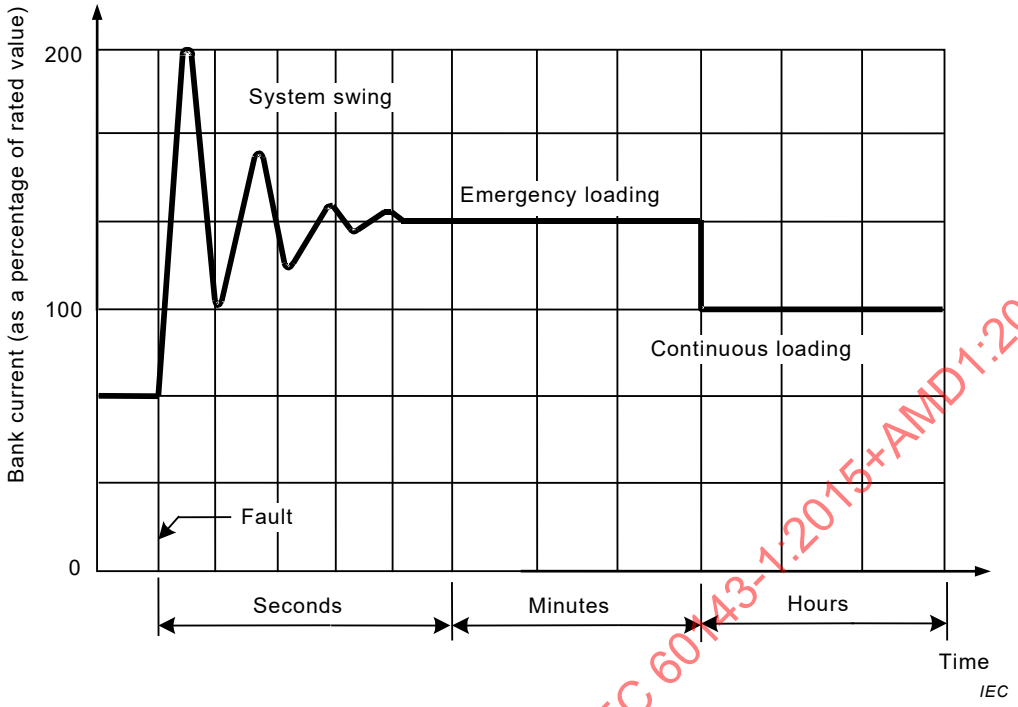
10.3 Current ratings for the bank

10.3.1 General

The purchaser should specify the continuous, emergency and swing currents required by the application. These currents should be defined for the bank in the inserted condition. For the bypassed condition, the continuous and emergency currents should also be specified, as they are usually different from those for the inserted condition.

These currents and their respective time periods are illustrated in Figure 5.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV



NOTE The fault current is not shown.

Figure 5 – Typical current-time profile of an inserted capacitor bank following the fault and clearing of parallel line

10.3.2 Typical bank overload and swing current capabilities

Since a series capacitor bank is located in series with the line, it can be exposed to a wide range of currents. As a result, banks are specified to have at least the three current ratings in Table 10. Listed for each category are the typical magnitudes of the currents in per unit of bank rating and the typical time frame for the currents. To achieve the optimum design, the purchaser should analyse the requirements of the power system and specify the current ratings of the bank based on those requirements.

Table 10 – Typical bank overload and swing current capabilities

Current	Duration	Typical range per unit pu	Most common values per unit pu
Rated	Continuous	1,0	1,0
1,1 × Rated	8 h in a 12 h period	1,1	1,1
Emergency overload (I_{EL})	30 min 10 min	1,2 to 1,6 1,4 to 1,7	1,35 1,50
Swing	1 s to 10 s	1,7 to 2,5	1,7 to 2,0

In some cases, the emergency loading is defined for a 10 min or for a 4 h period at correspondingly higher and lower per unit values than are shown in Table 10. The 30 min emergency overload is most commonly specified. A capacitor may be reasonably expected to withstand, during normal service life, a total of 300 such overloads. The protection and control

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

system of the bank will typically limit the overload to the specified value by closing the bypass switch.

The value specified for the 30 min overload can affect the design and cost of the capacitor and the varistor. To achieve 30 min overload currents above 1,6 pu, the manufacturer is likely to be forced to increase the continuous current capability of the capacitor units. In addition, the protective level of the bank is likely to be forced higher.

It should be noted that the 30 min overload current (I_{EL}) specified by the purchaser will be used to establish the voltage (U_{EL}) for the capacitor unit "cold duty test" and the varistor "energy withstand and power frequency voltage stability test" (see IEC 60143-2), unless otherwise specified by the purchaser.

10.3.3 Analysis to determine the continuous and emergency overload current rating

The continuous and emergency overload current ratings of a series capacitor bank are usually selected from one of the following three approaches:

- The power system is assumed to have its worst practical sustained contingencies and maximum power transfer through the bank is analysed using a power flow computer program. The bank is selected to have a continuous rating associated with this contingency power transfer. With this approach the bank may not need to have any significant emergency overload rating because higher currents are not practical.
- The power system is assumed to be normal and the maximum power transfer through the bank is analysed using a power flow program. The bank is selected to have a continuous current rating associated with this normal power transfer. The emergency current rating is established by analysing the current through the bank during system contingencies, especially the outage of parallel circuits. This rating should come directly from this study. However, if such outages result in a ratio of the emergency current rating to the continuous rating that is higher than the top of the range in Table 10, the continuous current rating of the bank should be increased accordingly. Due regard shall be taken to the duration of the emergency current.
- The continuous rating of the bank is selected to be equal to the maximum thermal loading current of the transmission line. In this case, the emergency loading of the bank may be selected to be consistent with the temporary thermal overload capability of the line. Again, if the ratio of the emergency current rating to the continuous rating is higher than the top of range in Table 10, the continuous current rating of the bank should be increased.

10.3.4 Analysis to determine the swing current rating

The swing current is usually determined by using a dynamic stability computer program. The analysis is performed for faults and power system contingencies that result in the highest swing current in the bank. It is especially important to consider the outage of parallel circuits.

If the currents are below 1,7 pu of the continuous rating of the bank, the impact on the design of the bank will be small. Currents above 1,7 pu can have a significant affect on the design and therefore the magnitude and waveform of the current shall be carefully defined in the specification.

10.4 Overvoltage protection requirements

In general, it is recommended that the supplier be permitted to select the protective level to best optimize the equipment. However, if the purchaser has analysed such power system considerations as SSR or line breaker TRV (see 10.8) and has an established requirement for the protective level, that requirement should be included in the specification. Typical protective levels range between 2,0 pu and 2,5 pu for Type M overvoltage protectors and higher for Type K overvoltage protectors (see 5.1.3).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

The purchaser should define the type of overvoltage protection equipment. In addition, the requirements for the equipment during and following internal and external line faults should be defined. Further information in this regard is included in IEC 60143-2.

10.5 Voltage limitations during power system faults

10.5.1 General

The series capacitor bank shall have a means of limiting the voltage across each segment or sub-segment during power system faults. The protective device must limit the peak of the power frequency voltage to the protective level for all power system fault or other conditions specified by the purchaser. Each segment or sub-segment shall be capable of withstanding the voltages, as limited by the protective device, and as established by the supplier or specified by the purchaser.

The voltage magnitude of the protective level of the protective device of a segment has the following relationship to the rated segment voltage:

$$U_{\mathrm{PL}} = (\mathrm{pu})\, U_{\mathrm{R}} \sqrt{2}$$

where

U_{PL} is the peak voltage magnitude of the protective level;

U_{R} is the rated r.m.s. segment voltage;

pu is the per unit magnitude of the protective level.

10.5.2 Voltage limitation when the inductance between the primary overvoltage protector and the capacitors is not significant

10.5.2.1 General

The following is applicable when the inductance between the primary protective overvoltage device and the capacitors is not significant.

10.5.2.2 Voltage fired gap

In the case where the protective device is a voltage fired gap, the protective level is the maximum power frequency sparkover voltage of the gap. For a protective system based on more than one gap, the protective level is the maximum power frequency sparkover voltage of the gap with the highest sparkover voltage. As is typically the case, the inductance of the discharge current limiting reactor should be sufficiently low so that, during any specified power system fault, the voltage across the segment is less than the protective level.

10.5.2.3 Varistor without a forced bypass gap

For a protective system based on a varistor and no bypass gap, the protective level is based on the highest current that will flow through the varistor for the specified power system fault conditions. This highest current is either specified by the purchaser or is determined by computer simulations performed by the supplier based on power system information provided by the purchaser. The inductance of the buswork between the varistor and the capacitors is not a significant factor.

10.5.2.4 Varistor with a forced bypass gap

~~In the case of a protective device consisting of a varistor and a forced triggered bypass gap, the varistor coordinating current selected to define the protective level should be based on either of the following:~~

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

~~1) The maximum varistor current for any fault condition taking into account the control logic of the gap firing system and the associated time delays.~~

~~2) The varistor current threshold for which the gap will be triggered. For internal faults near the bank, the current through the varistor will briefly exceed this current threshold and the associated varistor voltage will be correspondingly higher. The increased voltage is permitted, provided the duration of the increased voltage is less than 1 ms and the magnitude of the voltage does not exceed 90 % of the capacitor terminal-to-terminal d.c. production test value or 90 % of the peak of the power frequency withstand of the segment insulation system.~~

~~The value selected for the varistor coordinating current may be dependent on the application requirements of the purchaser and is subject to agreement between the supplier and the purchaser. These current magnitudes are determined from computer simulations.~~

In the case of a protective device consisting of a varistor and a forced triggered bypass gap, the varistor coordinating current selected to define the protective level shall be based on the maximum varistor current for any fault condition taking into account the control logic of the gap firing system and the associated time delays.

10.5.3 Voltage limitation when the inductance between the primary overvoltage protector and the capacitors is significant

In some applications there is significant inductance between the primary protective device and the capacitors being protected. This creates the possibility that, during a power system fault, the voltage across the capacitors will be significantly higher than the maximum voltage across the protective device.

One circuit arrangement that creates this possibility is where the discharge current limiting reactor is connected in series with the capacitors. If a varistor is the primary protective device and it is connected across the series combination of the reactor and capacitors, the voltage across the capacitors can be higher than the voltage limited by the varistor. The magnitude of the difference in voltage is dependent on the inductance of the reactor and the available fault current from the power system. If this circuit arrangement is used, computer simulations should

be performed by the supplier to establish the magnitude of the voltage across the capacitors during the power system faults specified by the purchaser. The magnitude of the capacitor voltage should be used as the effective U_{lim} in determining the terminal-to-terminal dielectric test on the capacitor units and the insulation coordination for the capacitor assembly.

10.6 Protective and switching devices

10.6.1 Capacitor fusing

Three different types of fusing are applied on series capacitor banks:

– internally fused capacitor bank;
– externally fused capacitor bank;
– fuseless capacitor bank.

See Annex C for details.

The detailed requirement for the external fuses are found in Annex A.

10.6.2 Other devices

Other devices are covered by IEC 60143-2.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

10.6.3 Connection diagrams

Some examples of connection diagrams are shown in Annex D.

10.7 Choice of insulation level

10.7.1 Normal cases

a) Insulation level, creepage distance and air clearance between phase and ground and between phases should be specified by the purchaser.

b) Insulation levels, creepage distances and air clearances on the platform should be implemented by the supplier applying the procedures described in 6.1.3, 6.2 and 6.3.

10.7.2 Altitude exceeding 1 000 m

Insulation levels chosen according to 6.1 might be too low for external insulation at an altitude higher than 1 000 m (see Clause 4). The purchaser should specify the required altitude corrected system insulation levels i.e. platform to ground and between phases.

The insulation levels for insulators and equipment on the platform shall be based on the requirements in clause 6.1.3 but with applied altitude correction factors. The altitude correction is applied by multiplying the required power frequency voltage with the altitude correction factor.

The altitude correction factor K_{altitude} is derived from the altitude h according to 2.2.1 of IEC 62271-1:2007 for apparatuses and 4.2.2 of IEC 60071-2:1996 for air clearance of the busbars.

Altitude correction factor for apparatuses

$$K_{\text{altitude}} = 1 \qquad h \leq 1\,000$$

$$K_{\text{altitude}} = e^{m\cdot(h-1000)/8150} \qquad h > 1\,000$$

Where m = 1,0 for short duration power frequency voltage.

Altitude correction factor for air clearance of busbars

$$K_{\text{altitude}} = e^{m\cdot h/8150}$$

Where m = 1,0 for short duration power frequency voltage.

The air clearance shall be corrected from zero altitude and calculated according to G.1 of IEC 60071-2:1996. The withstand voltage U_{90} (rms value) at sea level for a given a distance d is given by:

$$U_{90} = 0{,}9 \cdot 750 \cdot \ln(1 + d^{1.2})$$

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

10.8 Long line correction

Long line correction shall be considered for the calculation of the transmission line series reactance and consequently the series capacitor reactance for a given degree of compensation:

$$Z_C = \sqrt{\frac{z}{y}} = \sqrt{\frac{r + jx}{g + jb}}$$

$$\gamma = \sqrt{z \cdot y} = \sqrt{(r + jx)(g + jb)}$$

$$Z_L = Z_C \cdot \sinh(\gamma \cdot L)$$

Where:

Z_c is the characteristic impedance of the transmission line (ohm);

γ is the propagation constant of the transmission line (km^{-1});

Z_L is the total positive sequence long line corrected series impedance of the transmission line (ohm);

z is the line impedance per length unit, $z = r + jx$ (ohm/km);

y is the line admittance per length unit, $y = g + jb$ (S/km);

L is the line length (km).

Example

A transmission line has a total length L = 328 km. It has a reactance x= 0,311 Ω/km, a resistance r = 0,0189 Ω/km and an admittance b = 5,344 μS/km. The line shall be series compensated with 30 % degree of compensation. Calculate the capacitive reactance X_N of the series capacitor.

Solution:

Using long line correction, the total series impedance of the transmission line is calculated at:

$$Z_L = Z_C * \sinh(\gamma*328) = (5{,}83 + j99{,}0)\ \Omega$$

Where

$$Z_C = (241{,}4 - j\ 7{,}3)\ (\Omega)$$

$$y = \alpha + j\beta = (3{,}92*10^{-5} + j\ 1{,}29*10^{-3)}\ \text{(nepers/km; rad/km)}$$

The series capacitor reactance becomes

$$X_N = 30/100 *99{,}0 = 29{,}7\ \Omega.$$

Notice that without long line correction the transmission line impedance would have become 328*(0,0189+j0.311) = 6,20 + j102,0 Ω and the resulting series capacitor reactance 0,3*102.0 = 30,6 Ω.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

10.9 Other application considerations

10.9.1 General

Series capacitors can increase the power transfer levels of transmission and distribution systems. However, the application of this equipment should consider the issues outlined below.

10.9.2 Ferro-resonance

Due to saturation effects in magnetic core of a transformer, the inrush current into transformers may initiate sustained resonant oscillations. This phenomenon may occur when an unloaded transformer or a shunt reactor is switched on a series-compensated system during light load, particularly following load rejection. The occurrence of this phenomena is very dependent on the topology of the power system. It can be important for radial, series compensated circuits, especially in distribution series capacitor applications.

In those circuits where this phenomena is possible, switching strategies for the series capacitors and the system can be implemented. For example, the series capacitors can be bypassed prior to energizing the circuit and remain bypassed for a few seconds to let the transformer inrush phenomena subside and then insert.

10.9.3 Sub-synchronous resonance

Sub-synchronous resonance (SSR) is an electro-mechanical shaft oscillation phenomenon at sub-synchronous frequency which may occur between a series capacitor and a nearby turbine generator(s). The phenomena can be critical to the application of series capacitors when the following conditions exist:

– the turbine generator is connected or can be connected so that the only significant power transfer path to the rest of the power system has series capacitors;
– the mechanical frequency of oscillation of the turbine generator complements the electrical frequency of the series compensated network; and at that frequency;
– the mechanical oscillation interacts with the electrical system through the generator.

In most transmission system applications, studies are performed to evaluate the frequency and damping of the subsynchronous oscillations as seen from the perspective of the turbine generator. Studies may also need to be made on the impact of the series capacitors on the shaft torques of the turbine generator during disturbances. In applications where the studies indicate that a problem might exist, reduction of the level of compensation to values such as 35 % or selective bypass for some power system topologies are usually considered. If these remedies are insufficient or unattractive from the power transfer perspective, then other counter-measures can be applied. The use of a blocking filter or dynamic stabilizer with the generator or use of thyristor controlled series capacitors with the proper control and protection strategy can be considered. These counter-measures need more extensive study and equipment investment.

A basic counter-measure is a protection installed at the turbine generator to assess torsional motion or armature current. The turbine generator is tripped if thresholds are exceeded.

SSR has not proven to be an issue for hydraulic turbine-generators.

10.9.4 Relay protection of the power system

Attention should be paid to the fact that a series capacitor may disturb the operation of relays used for protection of the system, especially impedance protection. If protection studies indicate that the existing relay protection needs to be replaced, a number of suitable devices especially designed for series compensated lines are available.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

10.9.5 Attenuation of carrier-frequency transmission

A series capacitor bank may increase attenuation of the carrier-frequency transmission over the line, depending on location and parameters of the damping circuits. In some cases, the associated coupling devices are installed on the line side of the series capacitors.

10.9.6 Non-transposed transmission lines

Non-transposed transmission lines have high unbalance factors, especially negative sequence unbalance. The addition of series capacitors with equal reactances on all three phases will increase the negative sequence unbalance. Whether this causes dangerously high negative-sequence currents in synchronous machines, it should be carefully checked if this transmission line terminates at a generating station.

Series capacitor banks can be designed with different reactances for each phase which could be used to reduce negative sequence currents in non transposed lines. However, such an approach could increase zero sequence currents.

10.9.7 Power system harmonic currents

When the bypass switch of a series capacitor bank is in the closed position, the resulting circuit consists of the current limiting reactor in parallel with the capacitor. This circuit will have a natural resonant frequency that is typically in the range of 600 Hz to 1 200 Hz. If the bypass switch is in the closed position and if there is significant harmonic current in the transmission line, a high circulating harmonic current can result in the reactor/capacitor circuit. It is possible that this harmonic current can overheat the reactor.

In some applications, a series capacitor bank will operate with the bypass switch closed. This can be important if the series compensated line is located near an HVDC terminal or a static var compensator (SVC) and the series compensation is to be operated with the bypass switch closed for extended periods of time. Continuous harmonic currents in the power system are considered as abnormal conditions by this standard and so, if present on the system, should be specified by the purchaser. In such a case, the supplier should select the appropriate value of reactor inductance and reactor capability consistent with the specified power system harmonics. If this is not practical, locating the reactor in series with the capacitors might be considered.

10.9.8 TRV across line circuit-breakers

Application of series compensation in EHV transmission systems can increase the transient recovery voltages (TRV) across line circuit-breakers when the current is interrupted. This increased TRV can exceed line circuit-breaker standards. The TRV across the line circuit-breakers is a factor that should be investigated when considering application of series compensation in a transmission system. A computer program such as EMTP can be used to determine the recovery voltages. The magnitude of the recovery voltages can be influenced by the topology of the power system.

Approaches to reducing the TRV include fast bypass of the series capacitor for internal faults, line-to-ground surge arresters and surge arresters across the breaker interrupters. In some cases, the line circuit breakers may have more capability than that indicated in the standards. Opening resistors in the line breakers also reduce TRV. In some cases, the line circuit-breakers are replaced with circuit-breakers with a higher TRV capability.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

10.9.9 Delayed line current zero crossing

Studies of 800 kV series compensated lines indicate the possibility of delayed zero crossings in the waveform of the fault current flowing through line circuit-breakers. These studies show that zero crossings may be delayed by as much as seven cycles at 60 Hz for a very unusual combination of conditions. Studies of series capacitor applications on power systems at voltages lower than 800 kV have not indicated the presence of this phenomena. These systems typically have lower X/R ratios and hence more damping.

There have not been any reports of this phenomena being observed on any series compensated power system.

10.9.10 Prolonged secondary arc current

Many series compensated transmission lines have considerable length and as a result have shunt reactors which are connected to the line. When an internal line fault occurs and the line circuit-breakers open, there exists the possibility of a lightly damped oscillation between the series capacitors and the shunt reactors. For this oscillation to occur, it depends on the relative location of the shunt reactor and the series capacitor.

If the series capacitors are located towards the middle of the line relative to the shunt reactor, the trapped charge left on the series capacitor following line breaker interruption can create a low frequency (10 Hz) current through the series capacitor, the line reactor and the fault arc path. As the resistance in this loop can be low, the current oscillation can be lightly damped and prolong the duration of the secondary arc current during the dead time following fault clearing, particularly when single pole tripping and high speed reclosing is applied. The arc resistance of the fault can increase damping. Bypassing of the series capacitors before significant low frequency current develops in the reactor will mitigate this phenomenon.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Annex A
(normative)

Test requirements and application guide for external fuses and units to be externally fused

A.1 Overview

Annex A applies to external fuses used with series capacitors.

There exists no IEC standard for the external fuses for protection of series capacitors. However, IEC 60549 can be used as the basis when duly applied. For example, the selection of the rated voltage and current of the fuse shall be based on the permissible overloads (see 7.1 and 10.3) and their behaviour in the presence of discharge currents shall be based on those of the series capacitors.

A.2 Purpose

The purpose of this annex is

– to specify rules regarding testing and performances of external fuses,

– to provide a guide for the application of external fuses.

A.3 Terms employed in Annex A

For the terms used in this annex, the terms contained in IEC 60549:2013 and definition 3.10 in this standard apply.

A.4 Performance requirements

a) The performance requirements of the fuse shall in principle be in accordance with IEC 60549, but duly applied to the case of series capacitors.

b) The external fuse shall operate satisfactorily at voltages from 0,5 U_N to U_{lim}.

c) The external fuses shall withstand the overcurrents according to 7.1 and 10.3 and the conditions prevailing under the thermal stability test (see 5.9). The fuse intended for a unit shall be in the circuit (and thermal enclosure) during the thermal stability test, or it may be type-tested separately under equal or more severe conditions.

d) The external fuses shall withstand the currents met in the discharge current test (see 5.13). The fuse intended for a unit shall be in the circuit during the discharge current test, or it may be type-tested separately under equal or more severe conditions.

e) External fuses for groups of units shall be type-tested separately under equal conditions as described above. The electrical conditions for the fuse shall be such as if the complete group of units with fuse were being tested.

f) After the operation of an external fuse, the insulation level requirements (see 6.1) apply either for the fuse itself or for the created insulation distance. For an external fuse which will not be physically disconnected after its operation, the creepage distance requirements (see 6.2) also apply.

g) For an external fuse which is equipped with a device that will disconnect the fuse physically after its operation and/or for an external fuse which will eject gases (or other materials) during its operation, the insulation conditions within the bank shall also be considered during the fuse operation period.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

A.5 Tests

A.5.1 Tests on fuses

For tests on fuses, see IEC 60549.

A.5.2 Type tests on capacitor container

Under consideration.

A.6 Guide for coordination of fuse protection

A.6.1 General

Each fuse is connected in series with one unit or one group of units which the fuse is intended to isolate if a unit becomes faulty.

Depending on the phase arrangement and internal connections of the unit, the current through the faulty unit due to its failure, together with the current due to the discharge of stored energy in units connected in parallel with the faulty unit, is usually not sufficient to operate the fuse until several of the series-connected elements of the faulty unit have failed. In order to ensure that the fuse will operate and isolate a completely failed unit, the fuse should be rated so that it operates when subjected solely to the resulting power-frequency overcurrent at 0,5 times the rated line current which would flow in the partly short-circuited unit.

The operation of one or more fuses will cause a change in voltage distribution within the phase. The voltage across the sound units should not exceed the value corresponding to 7.1 nor exist for longer than the corresponding duration given in 7.1. Unless arrangements are made for the disconnection of the bank to achieve this requirement, all the units in the bank should be rated appropriately for the more severe duty arising from the disconnection of units due to operated fuse(s).

For units with series-connected elements, the puncture of an element causes voltage distribution changes within the bank and within the unit to occur before fuse operation. These voltage changes should also be considered with respect to sequential operation of the protection of the bank.

A.6.2 Protection sequence

The protection of a series capacitor bank should operate sequentially. Normally the first step is the operation of the unit (group) fuse. The second step is the relay protection of the bank (e.g. unbalance protection). The third step may be the network protection.

Depending on the size of the bank, the design of the relay protection, etc., all these steps are not necessarily used in all series capacitor banks. In large banks, an alarm stage may also be used.

Unless the fuse always operates as a result of discharge energy within the voltage range of 0,5 $\sqrt{2}\ U_N$ to $\sqrt{2}\ U_{lim}$, the manufacturer should provide the current-time characteristic, and tolerance on the fuse.

NOTE In some cases, the unbalance protection is more sensitive than the fuses, implying fuse operation only at, for example, flashover across the bushing or complete breakdown of the dielectric of the unit. In such a case, the unbalance protection is the first step, and the fuse(s) act(s) as back-up protection.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

A.7 Choice of fuses

A.7.1 General

When selecting fuses, consideration should be given to minimize the probability of container rupture in the event of a capacitor unit failure by making use of the best available data and guidelines. The data and the guidelines employed shall be agreed upon by the manufacturer and purchaser. This requirement refers to power-frequency overcurrent as well as to stored energy in the units parallel with the failed unit.

Care should be taken, in the selection of fuses, of the electrical and thermal conditions imposed on them, should they be in circuit during the type tests of 5.9 and 5.13.

A.7.2 Non current-limiting fuses

Non current-limiting fuses are usually of the expulsion type with renewable fuselinks. They have little or no current-limiting action for either power-frequency current or stored energy discharge.

The total energy stored in the capacitor units in parallel with the failed unit should be less than the fuse can discharge without exploding, and less than the energy causing the failed unit to burst (see A.7.1).

This type of fuse may be used when the power-frequency overcurrents which can be supplied to the faulty unit are sufficiently low.

A.7.3 Current-limiting fuses

This type of fuse limits power-frequency overcurrents to less than the prospective value and reduces the current to zero before the normal current zero. A properly selected current-limiting fuse discharges only a portion of the stored energy available to the failed capacitor unit. The amount let through by the fuse shall be less than that causing the failed unit to burst.

Current-limiting fuses shall be used when either the power-frequency overcurrent or maximum stored energy in the units parallel with a failed unit is high enough to cause bursting of an expulsion fuse or a failed capacitor unit. Properly selected current-limiting fuses impose no upper limit on the stored energy available to a failed unit.

A.8 Information needed by the user of the fuses

To be able to choose the right fuse for each application, it may be necessary to refer to some or all of the information given in IEC 60549.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Annex B
(informative)

Economic evaluation of series capacitor bank losses

Purchasers rarely make an economic evaluation of the losses of a series capacitor bank during the procurement process. This is because the losses of a series capacitor bank that includes capacitor units with an all-film dielectric are very low when compared to some other power equipment such as a power transformer. This and other factors cause the economic value of the losses of a series capacitor to be very low and as result the evaluation of these losses is seldom performed. The purpose of this annex is to clarify certain aspects of the losses of a series capacitor bank.

The losses of the bank vary with the square of the current. Therefore it is important that the application of the bank be reviewed in order to select the current magnitude or magnitudes, for the loss evaluation that best represents normal continuous operation of the bank. For example, for a transmission system with two parallel lines, the purchaser may choose to rate the series capacitor bank so that a bank can carry the current associated with the full power of the two lines with one line in service. In this case, the normal bank current will be 50 % of its rated value and the bank losses only 25 % of its rated value and the bank losses only 25 % of those at rated current.

The losses of a bank stem primarily from the losses of the capacitors and capacitor fuse losses. The capacitor losses consist of those of the internal discharge resistors, internal connection and dielectric. The first two types of losses are fairly constant over the operating life of the capacitor. However, the dielectric losses decrease initially when an a.c. voltage is applied. Thus the losses of the capacitor unit and the bank will decrease from the initial value measured in the factory during the routine test described in 5.4. The initial losses may vary between identical units manufactured at the same time. However, the variation among units of the final “stabilized losses” are usually less. Manufacturers have developed test techniques that can provide test data that will predict long-term operating losses for loss evaluation purposes. These techniques are not necessarily defined in this standard.

Most series capacitor banks do not have any additional significant components of losses other than the capacitor units and fuses. Usually, the damping circuit is in series with the bypass switch, which is normally open. In this operating mode, the damping circuit contributes no additional losses to the bank. However, in some installations the damping circuit is in series with the capacitors. For this case, or if the bank is normally bypassed, the losses of the damping circuit should be considered.

The power losses associated with cabinet heaters and control power are small and are not normally considered in a loss evaluation.

It is not practical to measure the losses of a series capacitor bank after it is installed.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Annex C
(informative)

Capacitor bank fusing and unit arrangement

C.1 General

Three different types of fusing are applied on series capacitor banks. This annex outlines these types and the associated arrangement of the capacitor units. Refer to Figure C.1 and Figure C.2.

C.2 Internally fused capacitor bank

The typical arrangement used within an internally fused capacitor unit involves groups of fused elements connected in parallel. These groups are then connected in series to realize the rating for the unit. The units are connected in series and in parallel, as necessary, to meet the overall ratings of the bank. A number of different arrangements are possible. The bank is split into two or more parallel strings to allow capacitor current unbalance detection.

The failure of a capacitor element results in discharge current from the parallel elements through the associated internal fuse and blowing of the fuse. This results in increased voltage on the parallel elements within the unit and a much smaller increase in the voltage across the associated unit. The magnitudes of these voltage increases are highly dependent on the number of elements in parallel in the manufacturer's design.

Element failure is most likely to occur when the current in the bank is high. As required by IEC 60143-3, internal fuses are designed to operate correctly for bank currents that are greater than 50 % of rated current and for voltages up to and including U_{lim}. The additional current and voltage resulting from the blowing of some fuses should be taken into account in the design.

The capacitor units may have one or two insulated terminals.

C.3 Externally fused capacitor bank

The typical arrangement used with externally fused capacitors involves the connection of groups of fused capacitors in parallel, as many as necessary to meet the current rating of the bank. These groups are connected in series to realize the voltage and impedance ratings of the bank. The bank is split into two or more parallel strings to allow capacitor current unbalance detection.

The failure of a capacitor unit results in increased current in the external fuse and blowing of the fuse. This results in increased voltage on the parallel units. The magnitude of this voltage increase is dependent on the number of units in parallel in the manufacturer's design.

Dual element fuses consisting of two fuses in series are typically applied. One of these fuses is a current-limiting type that is used because of the high stored energy in the parallel capacitors. The second fuse is an expulsion type which will operate for lower current conditions and provides a visible break. Annex A requires the total fuse to operate satisfactorily at voltages from 0,5 U_{N} to U_{lim}. The additional current and voltage resulting from the blowing of some fuses should be taken into account in the design.

The capacitor units typically have one insulated terminal.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

C.4 Fuseless capacitor bank

The typical arrangement used with fuseless capacitors involves strings of series connected capacitor units. The number of units connected in series is that required to achieve the necessary voltage capability. These strings of capacitors are connected in parallel in order to realize the current and impedance ratings of the bank.

The bank is split into two or more parallel groups of strings to allow capacitor current unbalance detection.

The failure of a capacitor element results in a short-circuit of the associated series section of that capacitor unit. This results in an increase in current through and increased voltage on the remaining elements within that capacitor unit and the other capacitor units in the associated string. The degree of this increase is dependent on the total number of elements in series in the string. The discharge energy and current increase are both small since there are no capacitor units connected directly in parallel. The capacitor unit with the shorted element remains in continuous operation. Capacitor units used in fuseless applications have an all-film dielectric system. A failure in an element made with this dielectric system results in a welded short-circuit with very low resistance. This was not the case with the older dielectric systems that included paper.

The capacitor units are usually designed with two insulated bushings.

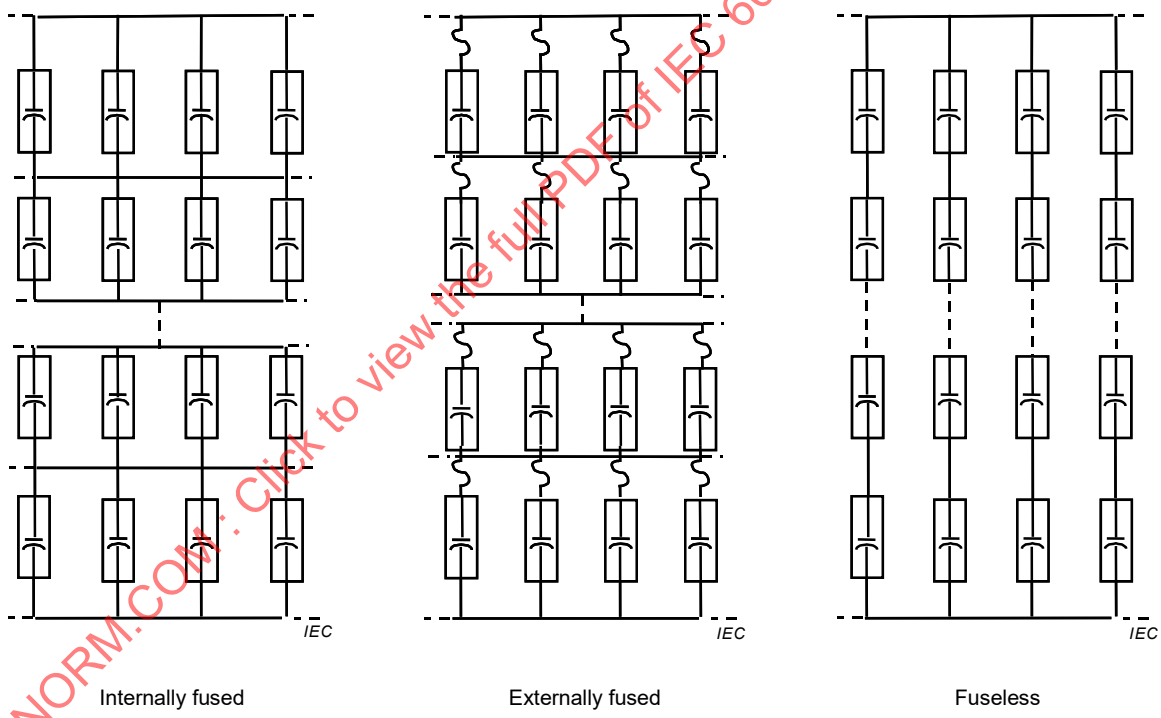
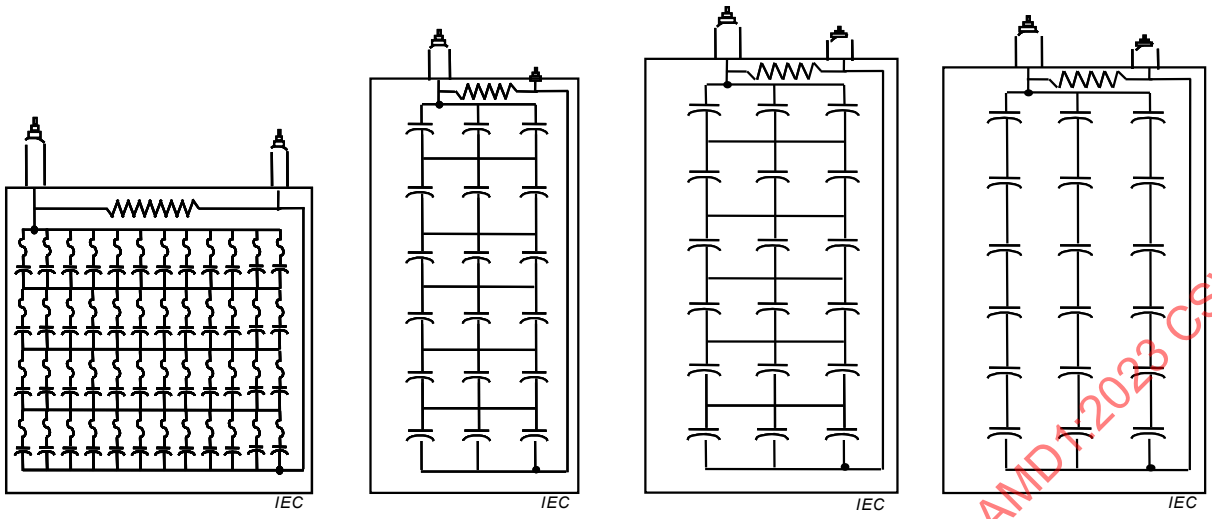


Figure C.1 – Typical connections between capacitor units in a segment or phase

Number of units may vary with application and with fusing type. Capacitor unbalance current transformers are not shown.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV



Internally fused | Externally fused | Fuseless | Fuseless

Figure C.2 – Typical connections between elements within a capacitor unit

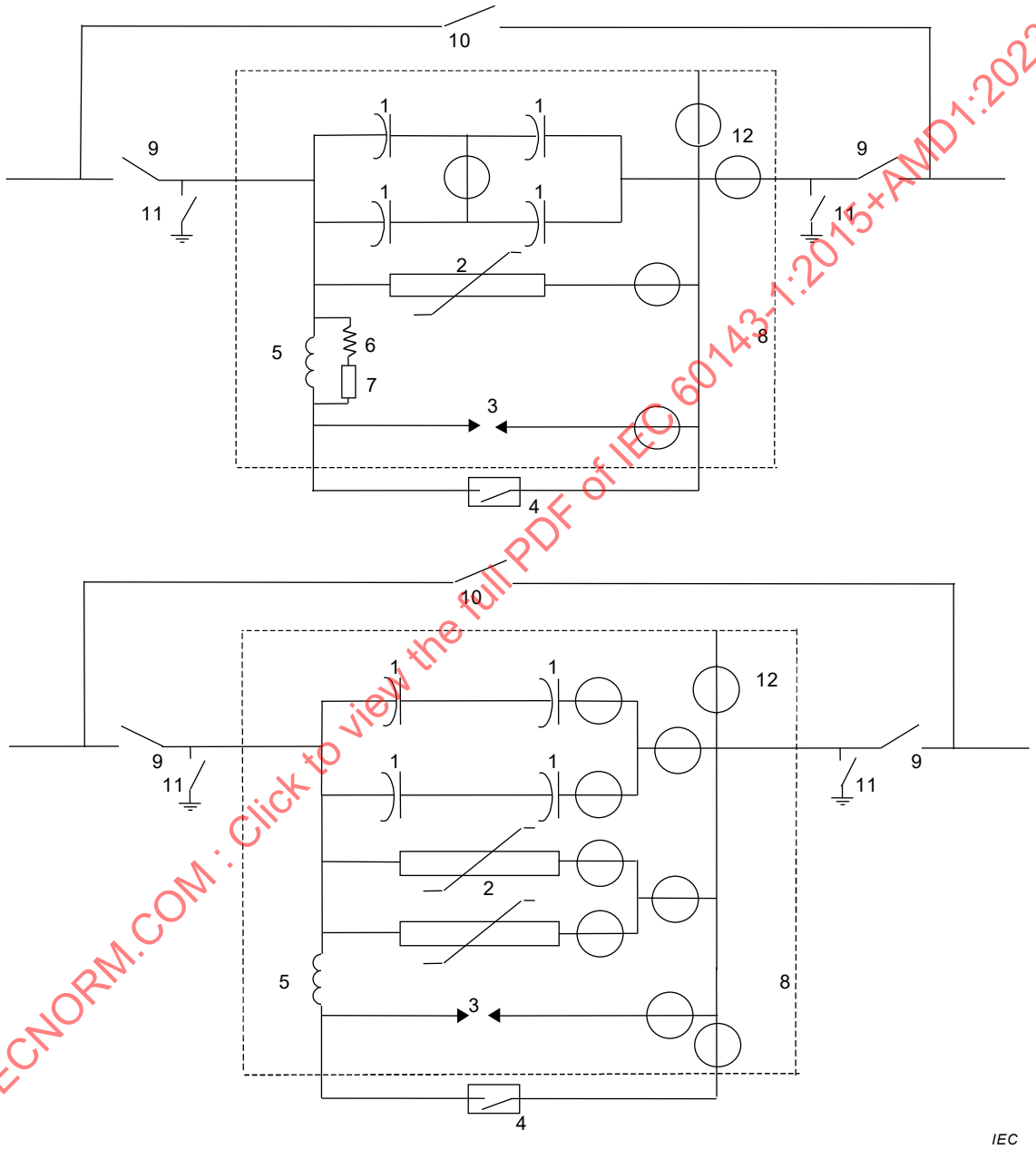
The number of elements within a unit and the number of elements in series and parallel will vary with the requirements of the application and the design practice of the manufacturer.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Annex D
(informative)

Examples of typical connection diagrams for large series capacitor installations for transmission lines

Other variations and combinations are possible. The diagrams for smaller banks may be different, as shown in Figure D.1.



Key

1	capacitor	7	varistor or gap
2	varistor	8	platform
3	bypass gap	9	isolating disconnector
4	bypass switch	10	bypass disconnector
5	reactor	11	earth switch
6	linear resistor	12	current transformer

Figure D.1 – Diagrams for smaller banks

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Annex E
(informative)

Precautions to be taken to avoid pollution of the environment by polychlorinated biphenyls

The disposal of polychlorinated biphenyls (PCB) without the necessary precautions may involve pollution of the environment. In addition, when a PCB impregnated capacitor unit has been exposed by accident to heat by fire or by an arc, toxic substances may form in the combustion process that may pollute the areas adjacent to the capacitor.

In some countries, the characteristics of PCB used in the impregnation of capacitors and the methods employed for their handling and destruction are governed by laws, or by codes of practice (see 9.1.2).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Bibliography

[1] IEC 60273:1990, *Characteristic of indoor and outdoor post insulators for systems with nominal voltages greater than 1000 V*

[2] IEEE Std 824-1994, *IEEE Standard for Series Capacitors in Power Systems*

[3] IEEE Paper PE-009PRD (09-2000), *Considerations for the Application of Series Capacitors to Radial Power Distribution Circuits. Series Capacitor Working Group of the IEEE Capacitor Subcommittee*

[4] ANSI C29.9:1983, *American National Standard for Wet-Process Porcelain Insulators (Apparatus, Post type)*

[5] IEC 60050-436:1990, *International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 436: Power capacitors*

[6] IEC 60050-601:1985, *International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 601: Generation, transmission and distribution of electricity – General*

[7] IEC 60050-604:1987, *International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 604: Generation, transmission and distribution of electricity – Operation*

[8] IEC 60060-2:2010, *High-voltage test techniques – Part 2: Measuring systems*

[9] IEC 60721-2-6:1990, *Classification of environmental conditions. Part 2: Environmental conditions appearing in nature. Earthquake vibration and shock*

[10] IEC 60110-1:1998, *Power capacitors for induction heating installations – Part 1: General*

[11] IEC 60252-1:2010, *AC motor capacitors – Part 1: General – Performance, testing and rating – Safety requirements – Guidance for installation and operation*

[12] IEC TR 60996:1989, *Method for verifying accuracy of tan delta measurements applicable to capacitors*

[13] IEC 61048:2006, *Auxiliaries for lamps – Capacitors for use in tubular fluorescent and other discharge lamp circuits – General and safety requirements*

[14] IEC 61049:1991, *Capacitors for use in tubular fluorescent and other discharge lamp circuits. Performance requirements*

[15] IEC 61071 (all parts), *Capacitors for power electronics*

[16] Cigré-Publication 411: *Protection, Control and Monitoring of Series Compensated Networks,* ISBN 978-2-85873-098-8. Cigré Working Group B5-10

[17] IEC 60270:2000, *High-voltage test techniques – Partial discharge measurements*

[18] IEC TS 60815-1:2008, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 1: Definitions, information and general principles*

[19] IEC TS 60815-2:2008, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 2: Ceramic and glass insulators for a.c. systems*

[20] IEC TS 60815-3:2008, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 3: Polymer insulators for a.c. systems*

[21] IEC 60909-0:2001, *Short-circuit currents in three-phase a.c. systems – Part 0: Calculation of currents*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 68
1 Domaine d'application et objet 70
2 Références normatives 71
3 Termes et définitions 71
4 Conditions de service 78
4.1 Conditions normales de service 78
4.2 Catégories de températures de l'air ambiant 78
4.3 Conditions de service inhabituelles 79
4.4 Conditions de fonctionnement anormales du réseau 79
5 Exigences de qualité et essais 79
5.1 Exigences relatives aux essais des condensateurs unitaires 79
5.1.1 Généralités 79
5.1.2 Conditions d'essai 79
5.1.3 Limites de tension en relation avec le dispositif de protection contre les surtensions 80
5.1.4 Détermination de la tension du niveau de protection U_{pl} et U_{lim} 81
5.2 Classification des essais 81
5.2.1 Généralités 81
5.2.2 Essais individuels 82
5.2.3 Essais de type 82
5.2.4 Essai spécial (essai de vieillissement) 82
5.3 Mesurage de la capacité (essai individuel) 83
5.3.1 Modalité de mesure 83
5.3.2 Tolérances sur la capacité 83
5.4 Mesurage des pertes du condensateur (essai individuel) 83
5.4.1 Modalité de mesure 83
5.4.2 Exigences relatives aux pertes 84
5.4.3 Pertes dans les coupe-circuit externes 84
5.5 Essai de tenue en tension entre bornes (essai individuel) 84
5.6 Essai diélectrique en tension alternative entre bornes et cuve (essai individuel) 84
5.7 Essai du dispositif interne de décharge (essai individuel) 85
5.8 Essai d'étanchéité (essai individuel) 85
5.9 Essai de stabilité thermique (essai de type) 85
5.9.1 Modalités de mesure 85
5.9.2 Mesurage des pertes du condensateur 86
5.10 Essai diélectrique en tension alternative entre bornes et cuve (essai de type) 86
5.11 Essai de tension de choc de foudre entre bornes et cuve (essai de type) 87
5.12 Essai de tenue au froid (essai de type) 87
5.13 Essai de courant de décharge (essai de type) 88
6 Niveau d'isolement 89
6.1 Tensions d'isolement 89
6.1.1 Valeurs normalisées 89
6.1.2 Isolement par rapport à la terre et entre les phases 90
6.1.3 Niveaux d'isolement pour les isolateurs et l'équipement sur la plate-forme 90
6.2 Ligne de fuite 97

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

6.3 Distances dans l'air ... 98
7 Surcharges, surtensions et cycles de fonctionnement ... 102
7.1 Courants ... 102
7.2 Surtensions transitoires ... 102
7.3 Cycles de fonctionnement ... 103
8 Exigences de sécurité ... 103
8.1 Dispositif de décharge ... 103
8.2 Connexions de cuve ... 104
8.3 Protection de l'environnement ... 104
8.4 Autres exigences de sécurité ... 104
9 Marquage et manuels d'instructions ... 104
9.1 Marquage des condensateurs unitaires ... 104
9.1.1 Plaque signalétique ... 104
9.1.2 Plaque d'avertissement ... 105
9.2 Marquage des batteries de condensateurs ... 105
9.2.1 Notice d'instructions ou plaque signalétique ... 105
9.2.2 Plaque d'avertissement ... 106
9.3 Manuel d'instructions ... 106
10 Guide pour la sélection des caractéristiques assignées et pour l'installation et l'exploitation ... 106
10.1 Généralités ... 106
10.2 Réactance par ligne, réactance assignée par batterie et nombre de modules par batterie ... 107
10.2.1 Réactance capacitive par ligne ... 107
10.2.2 Nombre de batteries de condensateurs série sur une ligne de transmission ... 108
10.2.3 Nombre de modules d'une batterie de condensateurs ... 108
10.2.4 Exigences futures pour les condensateurs série ... 108
10.3 Caractéristiques assignées de courant pour la batterie ... 109
10.3.1 Généralités ... 109
10.3.2 Surcharge typique d'une batterie et caractéristiques du courant d'oscillation ... 109
10.3.3 Analyse pour déterminer les caractéristiques assignées du courant permanent et de surcharge exceptionnelle ... 110
10.3.4 Analyse pour déterminer la caractéristique assignée du courant d'oscillation ... 111
10.4 Exigences pour la protection contre les surtensions ... 111
10.5 Limitations de tension durant les défauts du réseau ... 111
10.5.1 Généralités ... 111
10.5.2 Limitation de tension lorsque l'inductance entre le dispositif primaire de protection contre les surtensions et les condensateurs n'est pas significative ... 112
10.5.3 Limitation de tension lorsque l'inductance entre le dispositif primaire de protection contre les surtensions et les condensateurs est significative ... 112
10.6 Dispositifs de protection et de commutation ... 113
10.6.1 Coupe-circuit des condensateurs ... 113
10.6.2 Autres dispositifs ... 113
10.6.3 Schémas de connexion ... 113
10.7 Choix du niveau d'isolement ... 113
10.7.1 Cas normaux ... 113
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

10.7.2 Altitude supérieure à 1 000 m ... 113
10.8 Correction de longue ligne ... 114
10.9 Autres considérations sur les applications ... 115
10.9.1 Généralités ... 115
10.9.2 Ferrorésonance ... 115
10.9.3 Résonance hyposynchrone ... 115
10.9.4 Protection du réseau au moyen de relais ... 116
10.9.5 Affaiblissement de la transmission des courants porteurs ... 116
10.9.6 Lignes de transmission non transposées ... 116
10.9.7 Courants harmoniques du réseau ... 117
10.9.8 TTR aux bornes des disjoncteurs de ligne ... 117
10.9.9 Croisement nul du courant de ligne retardé ... 117
10.9.10 Courant d'arc secondaire prolongé ... 117
Annexe A (normative) Exigences d'essai et guide d'application pour coupe-circuit externes et unités à protéger par coupe-circuit externes ... 119
A.1 Vue d'ensemble ... 119
A.2 Objectifs ... 119
A.3 Termes utilisés dans l'Annexe A ... 119
A.4 Exigences relatives au fonctionnement ... 119
A.5 Essais ... 120
A.5.1 Essais de coupe-circuit ... 120
A.5.2 Essais de type sur la cuve du condensateur ... 120
A.6 Guide pour la coordination de la protection par coupe-circuit ... 120
A.6.1 Généralités ... 120
A.6.2 Séquence de protection ... 120
A.7 Choix des coupe-circuit ... 121
A.7.1 Généralités ... 121
A.7.2 Coupe-circuit non-limiteurs de courant ... 121
A.7.3 Coupe-circuit limiteurs de courant ... 121
A.8 Informations nécessaires à l'utilisateur de coupe-circuit ... 122
Annexe B (informative) Évaluation économique des pertes d'une batterie de condensateurs série ... 123
Annexe C (informative) Coupe-circuit de batterie de condensateurs et configuration de condensateurs unitaires ... 124
C.1 Généralités ... 124
C.2 Batterie de condensateurs avec coupe-circuit interne ... 124
C.3 Batterie de condensateurs avec coupe-circuit externe ... 124
C.4 Batterie de condensateurs sans coupe-circuit ... 125
Annexe D (informative) Exemples de schémas de connexion typique pour de grandes installations de condensateurs série pour lignes de transmission ... 127
Annexe E (informative) Précautions à prendre pour éviter la pollution de l'environnement par les polychlorobiphényles ... 128
Bibliographie ... 129

Figure 1 – Nomenclature typique d'une installation de condensateurs série ... 75
Figure 2 – Classification des dispositifs de protection contre les surtensions ... 80
Figure 3 – Limites de temps et d'amplitude d'une forme d'onde pour la période de surtension ... 88

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Figure 4 – Distance dans l'air en fonction de la tension alternative de tenue à fréquence industrielle 102

Figure 5 – Représentation du courant-temps typique d'une batterie de condensateurs série insérée sur un réseau après le défaut et l'élimination d'une ligne en parallèle 109

Figure C.1 – Connexions typiques entre condensateurs unitaires dans un segment ou une phase 126

Figure C.2 – Connexions typiques entre éléments au sein d'un condensateur unitaire 126

Figure D.1 – Schémas pour des batteries plus petites 127

Tableau 1 – Symboles littéraux de la limite supérieure de la plage de températures 78

Tableau 2 – Température de l'air ambiant pour l'essai de stabilité thermique 85

Tableau 3 – Niveaux d'isolement normalisés pour la gamme I (1 kV < U_m ≤ 245 kV) 93

Tableau 4 – Niveaux d'isolement normalisés pour la gamme II (U_m > 245 kV) *(1 de 2)* 94

Tableau 5 – Niveaux d'isolement typiques pour les isolateurs entre plate-forme et terre *(1 de 2)* 96

Tableau 6 – Lignes de fuite spécifiques 98

Tableau 7 – Relation entre les tensions normalisées de tenue au choc de foudre et les distances dans l'air minimales 100

Tableau 8 – Relation entre les tensions normalisées de tenue au choc de manœuvre et les distances dans l'air phase-terre minimales 101

Tableau 9 – Relation entre les tensions normalisées de tenue au choc de manœuvre et les distances dans l'air entre phases minimales 101

Tableau 10 – Caractéristiques typiques du courant de surcharge et d'oscillation d'une batterie 110

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CONDENSATEURS SÉRIE DESTINÉS À ÊTRE INSTALLÉS SUR DES RÉSEAUX –

Partie 1: Généralités

AVANT-PROPOS

1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. 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'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

Cette version consolidée de la Norme IEC officielle et de son amendement a été préparée pour la commodité de l'utilisateur.

L'IEC 60143-1 édition 5.1 contient la cinquième édition (2015-06) [documents 33/578/FDIS et 33/580/RVD], son corrigendum (2017-04), et son amendement 1 (2023-11) [documents 33/690/CDV et 33/693/RVC].

Dans cette version Redline, une ligne verticale dans la marge indique où le contenu technique est modifié par l'amendement 1. Les ajouts sont en vert, les suppressions sont en rouge, barrées. Une version Finale avec toutes les modifications acceptées est disponible dans cette publication.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

La Norme internationale IEC 60143-1 a été établie par le comité d'études 33 de l'IEC: Condensateurs de puissance et leurs applications.

Cette cinquième édition constitue une révision technique.

La modification majeure par rapport à la précédente édition concerne le fait que l'essai d'endurance a été remplacé par un essai de vieillissement dans la mesure où les cycles de fonctionnement en tension sont déjà réalisés au cours de l'essai de tenue au froid. La section guide a été étendue pour couvrir la correction de longue ligne et la correction d'altitude. De plus, les tableaux relatifs aux niveaux d'isolement et les références à d'autres normes ont été mis à jour.

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60143, publiées sous le titre général *Condensateurs série destinés à être installés sur des réseaux*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document et de son amendement 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,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

CONDENSATEURS SÉRIE DESTINÉS À ÊTRE INSTALLÉS SUR DES RÉSEAUX –

Partie 1: Généralités

1 Domaine d'application et objet

La présente partie de l'IEC 60143 s'applique aux condensateurs unitaires et aux batteries de condensateurs destinés à être raccordés en série sur une ligne de transport ou de distribution d'énergie faisant partie d'un réseau alternatif de fréquence comprise entre 15 Hz et 60 Hz.

L'objectif principal de cette norme est de traiter des applications sur les réseaux de transport.

Les condensateurs série et les batteries de condensateurs série sont habituellement destinés aux réseaux d'énergie à haute tension. La présente norme s'applique à toute la gamme de tensions.

La présente norme ne s'applique pas aux condensateurs avec diélectrique métallisé du type autorégénérateur.

Même s'ils sont connectés en série avec un circuit, les condensateurs suivants sont exclus de la présente norme:

– condensateurs pour installations de production de chaleur par induction (IEC 60110-1);
– condensateurs pour moteurs et similaires (IEC 60252 – toutes les parties);
– condensateurs destinés à être utilisés dans les circuits électroniques de puissance (IEC 61071);
– condensateurs pour lampes à décharge (IEC 61048 et IEC 61049).

Pour les accessoires normalisés tels que les isolateurs, commutateurs, transformateurs de mesure, coupe-circuit externes, etc., se reporter à la norme IEC correspondante.

NOTE 1 Les exigences complémentaires applicables aux condensateurs à protéger par des coupe-circuit internes ainsi que les exigences applicables à ces coupe-circuit figurent dans l'IEC 60143-3. Voir également l'Annexe C.

NOTE 2 Les exigences complémentaires applicables aux condensateurs à protéger par des coupe-circuit externes, ainsi que les exigences applicables à ces coupe-circuit, figurent dans l'Annexe A et l'Annexe C.

NOTE 3 Une norme séparée pour les accessoires des condensateurs série (éclateurs, varistances, inductances de décharge, inductances d'amortissement et de limitation de courant, résistances d'amortissement, disjoncteurs, etc.), l'IEC 60143-2, a été révisée et publiée en 2012. Une norme séparée pour les coupe-circuit internes pour condensateurs série, l'IEC 60143-3, a été révisée et publiée en 2013.

NOTE 4 Certaines informations concernant les condensateurs unitaires et les batteries de condensateurs sans coupe-circuit figurent dans l'Annexe C.

La présente norme a pour objet:

– de formuler des règles uniformes en ce qui concerne la qualité de fonctionnement, les essais et les caractéristiques assignées;
– de formuler des règles spécifiques de sécurité;
– de servir de guide pour l'installation et pour l'exploitation.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

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).

NOTE S'il y a un conflit entre la présente norme et une norme énumérée ci-dessous, le texte de l'IEC 60143-1 prévaut.

IEC 60050 (toutes les parties), *Vocabulaire Electronique International* (disponible à www.electropedia.org)

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

IEC 60071-1:2006, *Coordination de l'isolement – Partie 1: Définitions, principes et règles*

IEC 60071-2:1996, *Coordination de l'isolement – Partie 2: Guide d'application*

IEC 60143-2:2012, *Condensateurs série destinés à être installés sur des réseaux – Partie 2: Matériel de protection pour les batteries de condensateurs série*

IEC 60143-3:1998, *Condensateurs série destinés à être installés sur des réseaux – Partie 3: Fusibles internes*

IEC 60143-4: 2010, *Condensateurs série destinés à être installés sur des réseaux – Partie 4: Condensateurs série commandés par thyristors*

IEC 60549:2013, *Coupe-circuit à fusibles haute tension destinés à la protection externe des condensateurs shunt*

IEC 60871-1: 2014, *Condensateurs shunt pour réseaux à courant alternatif de tension assignée supérieure à 1 000 V – Partie 1: Généralités*

IEC 62271-1:2007, *Appareillage à haute tension – Partie 1: Spécifications communes*

IEEE Std. 693:1997, *IEEE Recommended Practice for Seismic Design of Substations* (disponible en anglais seulement)

3 Termes et définitions

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

3.1
température de l'air ambiant (pour les condensateurs)
température de l'air à l'emplacement prévu pour l'installation des condensateurs

3.2
sectionneur série commutateur de shuntage
appareil tel qu'un interrupteur ou un disjoncteur utilisé en parallèle avec un condensateur série et son dispositif de protection contre les surtensions pour shunter le courant de ligne pour un temps spécifié ou continuellement

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Note 1 à l'article: Ce dispositif doit également être capable de shunter le condensateur dans des conditions spécifiées de défaut du système électrique. Le fonctionnement du dispositif est déclenché par la commande de la batterie de condensateurs, la commande à distance ou un opérateur. Le dispositif peut être monté sur la plate-forme ou sur le sol près de la plate-forme. Outre le fait de shunter le condensateur, ce dispositif doit aussi permettre d'insérer le condensateur dans un circuit supportant un niveau spécifique de courant.

3.3
condensateur
terme utilisé dans cette norme lorsqu'il n'est pas nécessaire de préciser s'il s'agit d'un condensateur unitaire ou de l'assemblage de condensateurs associés à un segment

3.4
condensateur unitaire
unité (de condensateur)
ensemble d'un ou plusieurs éléments de condensateurs placés dans une même enveloppe et reliés à des bornes de sortie

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-04]

3.5
élément (de condensateurs)
dispositif constitué essentiellement par deux électrodes séparées par un diélectrique

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-03]

3.6
pertes d'un condensateur
puissance active dissipée par le condensateur

Note 1 à l'article: Il convient que toutes les pertes produites par les composants soient incluses. Pour un condensateur unitaire, cela inclut les pertes dues au diélectrique, au dispositif de décharge, aux coupe-circuit internes (le cas échéant) et aux connexions internes. Pour la batterie de condensateurs, cela inclut les pertes dues aux condensateurs unitaires, aux coupe-circuit externes (le cas échéant), aux jeux de barres. Voir Annexe B pour des explications complémentaires.

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-04-10]

3.7
température de l'air de refroidissement
température de l'air de refroidissement mesurée à l'endroit le plus chaud de l'ensemble de condensateurs du segment, au courant assigné et à l'état stable, à mi-distance entre deux unités

Note 1 à l'article: S'il s'agit d'une seule unité, c'est la température mesurée à 0,1 m environ de la cuve du condensateur et aux deux tiers de sa hauteur à partir de sa base.

3.8
degré de compensation
k
le degré de compensation série, k (d'une section de ligne), est

$$k = 100\ (X_c / X_L)\ \%$$

où

X_c est la réactance capacitive des condensateurs série;

X_L est la réactance inductive directe totale de la section de ligne de transmission sur laquelle les condensateurs série sont raccordés.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

3.9
dispositif de décharge (d'un condensateur)
dispositif connecté entre les bornes d'un condensateur ou incorporé au condensateur unitaire et capable de ramener à zéro la tension résiduelle lorsque le condensateur a été déconnecté du réseau

Note 1 à l'article: Des exigences supplémentaires concernant le dimensionnement du dispositif de décharge sont données en 8.1.

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-03-15, modifiée (définition modifiée, Note 1 à l'article ajoutée)]

3.10
coupe-circuit externe (d'un condensateur)
coupe-circuit relié en série avec un condensateur unitaire ou avec un groupe d'unités en parallèle

3.11
batterie de condensateurs sans coupe-circuit
batterie de condensateurs sans aucun fusible de protection, interne ou externe, qui est composée de chaînes parallèles de condensateurs unitaires. Chaque chaîne étant composée de condensateurs unitaires connectés en série

Note 1 à l'article: Voir Annexe C pour une explication des «chaînes».

3.12
tension la plus élevée d'un réseau triphasé
tension efficace la plus élevée entre phases qui existe à tout moment et en tout point du réseau dans les conditions d'exploitation normales

Note 1 à l'article: Cette valeur ne tient pas compte des transitoires de tension (par exemple ceux qui sont provoqués par la commutation du réseau) et ne tient pas compte non plus des variations temporaires de la tension dues à des conditions anormales du réseau (comme des défauts ou le déclenchement brusque de charges importantes).

3.13
tension la plus élevée pour le matériel
U_m
tension efficace la plus élevée entre phases pour laquelle le matériel est conçu en ce qui concerne son isolement et d'autres caractéristiques qui sont dépendantes de cette tension dans les normes applicables au matériel

Note 1 à l'article: Cette tension est la valeur maximale de la tension la plus élevée du réseau dans lequel le matériel peut être utilisé.

[SOURCE: IEC 60050-604:1987, 604-03-01]

3.14
niveau d'isolement
U_i
combinaison non simultanée de tensions d'essai (à fréquence industrielle (U_{ipf}) ou en onde de choc de manœuvre et onde de choc de foudre) qui caractérise l'aptitude de l'isolement du condensateur à supporter les contraintes diélectriques entre les bornes et la terre, entre les phases ainsi qu'entre les bornes et les parties métalliques (par exemple, plate-forme) non reliées à la terre

3.15
coupe-circuit interne d'un condensateur
coupe-circuit monté à l'intérieur d'une unité de condensateur et relié en série avec un élément ou avec un groupe d'éléments

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-03-16]

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

3.16
tension limite
U_{lim}
valeur maximale de crête de la tension à fréquence industrielle divisée par $\sqrt{2}$, apparaissant aux bornes du condensateur unitaire immédiatement avant ou pendant le fonctionnement du dispositif de protection contre les surtensions

VOIR: 5.1.4

Note 1 à l'article: Cette tension apparaît soit lors de la conduction de la varistance, soit immédiatement avant l'allumage de l'éclateur.

3.17
borne de ligne
borne destinée à être reliée au réseau

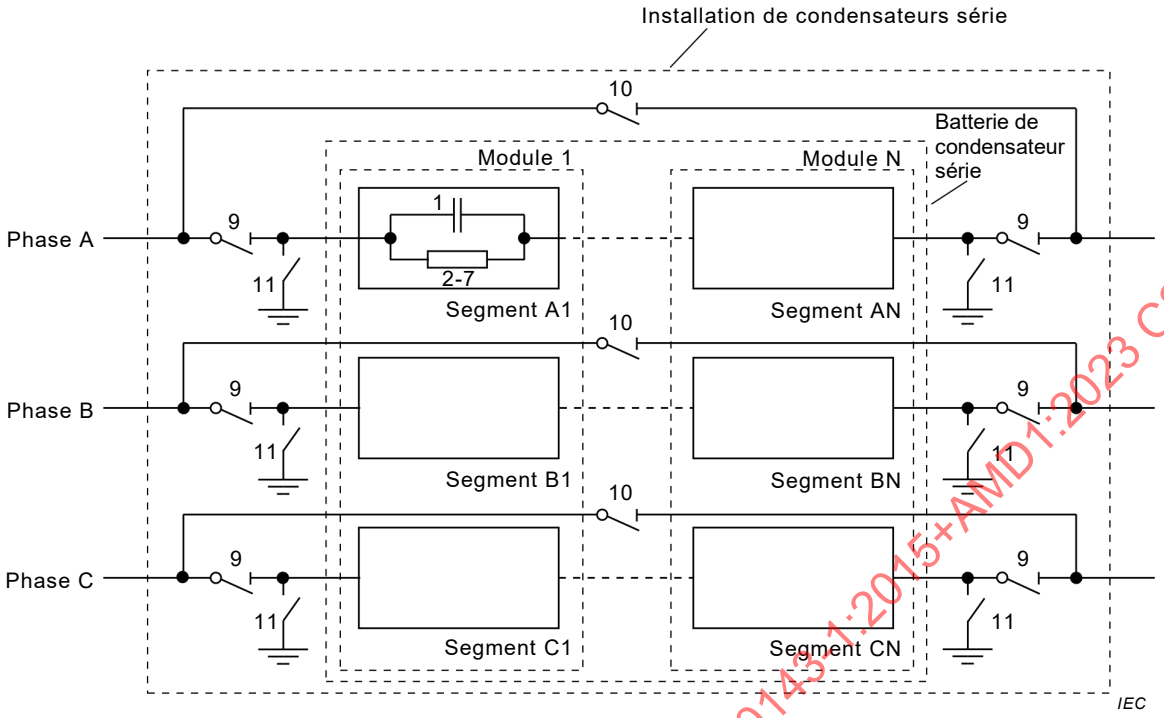
[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-03-01 modifiée (définition modifiée)]

3.18
module (de condensateurs série)
groupe commutable de condensateurs série composé de segments identiques sur chaque phase, et qui de plus est équipé de commutateur de shuntage sur chaque segment pour un fonctionnement commun (voir Figure 1)

Note 1 à l'article: Le commutateur de shuntage d'un module fonctionne normalement en triphasé. Cependant, dans certaines applications de protection, le sectionneur série peut être utilisé pour opérer temporairement en monophasé.

Note 2 à l'article: La Figure 1 présente une nomenclature typique d'une installation de condensateurs série.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV



Légende

1 ensemble de condensateurs unitaires

2-7 équipement principal de protection (Figure 2c) et Annexe D)

9 sectionneur d'isolement

10 sectionneur de shuntage

11 sectionneur de terre

NOTE 1 Une installation de condensateurs série comprend une batterie de condensateurs série plus 9, 10 et 11.

NOTE 2 La plupart des condensateurs série sont configurés avec un seul module, à moins que les exigences de la réactance et du courant soient telles que la tension aux bornes de la batterie qui en résulte est difficilement réalisable en un seul module par le fournisseur. Chaque module dispose généralement de son propre commutateur de shuntage, mais un commutateur de shuntage commun peut être utilisé pour plusieurs modules. Voir l'article 10.2.3 pour de plus amples informations.

Figure 1 – Nomenclature typique d'une installation de condensateurs série

3.19
dispositif de protection contre les surtensions (de condensateurs série)
dispositif à action rapide (habituellement MOV (metal oxide varistor) – varistance à oxyde métallique ou éclateur à déclenchement automatique) limitant la tension aux bornes du condensateur à une valeur admissible; sans ce dispositif, la valeur de cette tension pourrait prendre des valeurs élevées, par suite d'un défaut ou de conditions anormales sur le réseau

3.20
tension de tenue à fréquence industrielle
U_{ipf}
tension de tenue à fréquence industrielle sous pluie des traversées et isolateurs

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

3.21
niveau de protection
U_{pl}
amplitude de la valeur maximale de crête de la tension à fréquence industrielle apparaissant à travers le dispositif de protection contre les surtensions pendant un défaut du réseau

Note 1 à l'article: Le niveau de protection peut être exprimé en fonction de la tension de crête réelle appliquée à travers un segment ou en fonction de la valeur de crête par unité de la tension assignée du condensateur (Voir 5.1.4, 10.4 et 10.5). Cette tension apparaît soit lors de la conduction de la varistance, soit immédiatement avant l'allumage de l'éclateur.

3.22
capacité assignée (d'un condensateur)
C_N
valeur de la capacité pour laquelle le condensateur a été conçu

3.23
courant assigné d'un condensateur
I_N
valeur efficace du courant alternatif pour laquelle le condensateur a été conçu

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-13]

3.24
fréquence assignée (d'un condensateur)
f_N
fréquence du réseau dans lequel le condensateur est destiné à être utilisé

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-14, modifiée (définition modifiée)]

3.25
puissance assignée (d'un condensateur)
Q_N
puissance réactive déduite des valeurs assignées de la réactance et du courant

Note 1 à l'article: Pour la batterie, la puissance réactive assignée triphasée exprimée en Mvar (Q_N) est définie par l'équation:

$$Q_N = 3 \times I^2_N \times X_N$$

où

I_N est le courant assigné, en kA;

X_N est la réactance assignée, en Ω.

3.26
réactance assignée (d'un condensateur)
X_N
réactance de chaque phase du condensateur série à la fréquence assignée et à une température du diélectrique de 20 °C

3.27
tension assignée (de la batterie)
tension entre phases du réseau pour laquelle le système d'isolement phase-terre est conçu

3.28
tension assignée (d'un condensateur)
U_N
valeur efficace de la tension entre les bornes, déduite des valeurs assignées de la réactance et du courant $U_N = X_N \times I_N$

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

3.29
tension résiduelle (d'un condensateur)
tension qui reste entre les bornes d'un condensateur pendant un temps donné après son débranchement de l'alimentation

3.30
segment (de condensateurs série)
assemblage monophasé de groupes de condensateurs ayant ses propres dispositifs de limitation de tension et ses propres relais pour protéger les condensateurs des surtensions et des surcharges

VOIR: Figure 1

Note 1 à l'article: Les segments ne sont pas normalement séparés par des sectionneurs d'isolement. Plusieurs segments peuvent être montés sur la même plate-forme isolée.

3.31
batterie de condensateurs série (ou batterie)
ensemble triphasé de condensateurs avec sa protection associée et sa structure de support isolée

Note 1 à l'article: Une batterie peut comprendre un ou plusieurs modules (voir Figure 1).

3.32
installation de condensateurs série
batterie de condensateurs série et ses accessoires incluant les commutateurs de shuntage et les sectionneurs d'isolement

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-07, modifiée ("incluant les commutateurs de shuntage et les sectionneurs d'isolement" ajouté)]

3.33
état stable
équilibre thermique atteint par le condensateur fonctionnant dans des conditions constantes de puissance et de température de l'air ambiant

3.34
sous-segment
partie d'un segment qui inclut un assemblage monophasé de condensateurs unitaires avec un dispositif de protection associé, un matériel de limitation et d'amortissement du courant de décharge et des fonctions de protection et de commande sélectionnées mais qui n'a pas de commutateur de shuntage propre

3.35
tangente de l'angle de pertes (d'un condensateur)
tan δ
rapport entre la résistance-série équivalente et la réactance capacitive du condensateur dans des conditions spécifiées de fréquence et de tension alternative sinusoïdale

Note 1 à l'article: La tangente de l'angle de pertes peut également être exprimée comme les pertes du condensateur divisées par la puissance réactive du condensateur.

3.36
courant coordonné de varistance
amplitude de la crête maximale du courant à fréquence industrielle de varistance associée au niveau de protection

Note 1 à l'article: La forme d'onde du courant coordonné de varistance est considérée comme ayant un temps de montée virtuel de 30 µs à 50 µs. La queue de la forme d'onde n'est pas significative pour l'établissement de la tension du niveau de protection.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

4 Conditions de service

4.1 Conditions normales de service

Les batteries de condensateurs série doivent être appropriées pour fonctionner avec leur courant spécifié, à la tension et à la fréquence assignées et en supportant des séquences spécifiques de défaut dans les conditions suivantes:

a) L'altitude ne dépasse pas 1 000 m au-dessus du niveau de la mer.

b) Les températures intérieures et extérieures de l'air ambiant sont comprises dans les limites spécifiées par l'acheteur.

c) L'épaisseur de glace ne dépasse pas 19 mm (si applicable).

d) Les vitesses du vent ne sont pas supérieures à 128 km/h.

e) L'accélération sismique horizontale (si applicable) de l'équipement ne dépasse pas 0,2 g et l'accélération verticale ne dépasse pas 0,16 g lorsqu'elle est appliquée simultanément à la base des isolateurs support. Pour les besoins de cette exigence, les valeurs d'accélération sont statiques.

NOTE Il s'agit du «niveau bas de qualification sismique» tel que défini dans la norme IEEE 693. L'accélération sismique et le vent maximal ne sont pas à considérer comme pouvant se produire simultanément.

f) L'épaisseur de neige (si applicable) ne dépasse pas la hauteur des fondations de la plate-forme des isolateurs support. (Une hauteur maximale typique est 1 m.)

g) Le rayonnement solaire n'excède pas 1 000 W/m^2.

4.2 Catégories de températures de l'air ambiant

Les condensateurs sont classés en catégories de températures, chaque catégorie étant repérée par un nombre suivi d'une lettre. Le nombre représente la valeur la plus basse de la température de l'air ambiant à laquelle le condensateur peut fonctionner. La lettre représente la limite supérieure de la plage de variation de la température dont la valeur maximale est spécifiée dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Symboles littéraux de la limite supérieure de la plage de températures

Symbole	Température de l'air ambiant °C		
	Maximum	Moyenne la plus élevée sur une période de	
		24 h	1 an
A	40	30	20
B	45	35	25
C	50	40	30
D	55	45	35

Les catégories de températures couvrent une plage totale qui s'étend de –50 °C à +55 °C. Il convient de choisir la valeur la plus basse de la température de l'air ambiant à laquelle le condensateur peut être utilisé parmi les cinq valeurs préférentielles suivantes: +5 °C, –5 °C, –25 °C, –40 °C et –50 °C.

Une combinaison quelconque composée d'une valeur minimale et d'une valeur maximale peut être choisie pour définir la catégorie de température normale d'un condensateur, par exemple –40/A ou –5/C.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Le Tableau 1 est établi pour des conditions de service dans lesquelles le condensateur est sans influence sur la température de l'air ambiant (par exemple pour des installations extérieures). Si le condensateur a une influence sur la température de l'air ambiant, l'effet de la ventilation et/ou le choix du condensateur doivent permettre de maintenir les valeurs limites indiquées dans le Tableau 1. Dans ce type d'installation, la température de l'air de refroidissement ne doit pas dépasser de plus de 5 °C les limites indiquées dans le Tableau 1.

NOTE Les valeurs de température du Tableau 1 peuvent se trouver dans les tableaux météorologiques de température concernant le site d'installation.

4.3 Conditions de service inhabituelles

L'utilisation des batteries de condensateurs série dans des conditions autres que celles d'un service normal doit être considérée comme spéciale et doit être identifiée dans une spécification de l'acheteur. Des exemples de telles conditions sont donnés ci-après:

a) Conditions de service autres que celles énumérées en 4.1.

b) Exposition à de la poussière excessivement abrasive et conductrice.

c) Exposition à des atmosphères salines, fumées polluantes ou vapeurs.

d) Essaim d'insectes.

e) Vol d'oiseaux.

f) Conditions nécessitant une isolation supplémentaire ou une ligne de fuite supplémentaire des isolateurs.

g) Accélérations sismiques à des «niveaux de qualification sismique modérés ou importants» tels que définis dans la norme IEEE 693.

4.4 Conditions de fonctionnement anormales du réseau

Des conditions de fonctionnement anormales du réseau comprennent:

a) Des courants harmoniques permanents dans le réseau.

b) La ligne de transmission sur laquelle la batterie de condensateurs série est localisée n'a pas de transposition de phase de telle sorte que les réactances de chaque phase de la ligne ne sont pas approximativement égales.

5 Exigences de qualité et essais

5.1 Exigences relatives aux essais des condensateurs unitaires

5.1.1 Généralités

Le présent article indique les exigences relatives aux essais des condensateurs unitaires.

NOTE Les exigences relatives aux essais des autres équipements se trouvent dans l'IEC 60143-2, l'IEC 60143-3, l'IEC 60143-4 et l'Annexe A de la présente norme.

Les supports isolants, les commutateurs, les transformateurs de mesure, les coupe-circuit externes, etc. doivent être conformes aux dispositions de la norme IEC qui les concernent.

5.1.2 Conditions d'essai

Sauf spécification contraire pour un essai ou un mesurage particulier, la température du diélectrique d'un condensateur doit être comprise entre +5 °C et +35 °C. Lorsqu'une correction est à appliquer, la température de référence à utiliser est de +20 °C, sauf accord contraire entre le constructeur et l'acheteur. On peut supposer que la température du diélectrique du condensateur unitaire est la même que celle de l'air ambiant, pourvu que le condensateur ait été laissé hors tension à une température ambiante constante pendant un temps suffisant.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Sauf spécification contraire, les essais et les mesurages en courant alternatif doivent être effectués à une fréquence de 50 Hz ou 60 Hz, sans tenir compte de la fréquence assignée du condensateur.

5.1.3 Limites de tension en relation avec le dispositif de protection contre les surtensions

5.1.3.1 Généralités

a) Objet

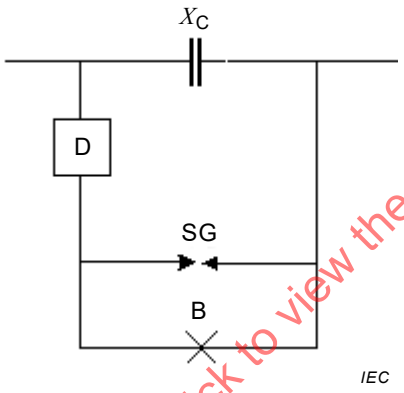
Le dispositif de protection contre les surtensions est un dispositif à action rapide limitant la tension instantanée aux bornes des condensateurs série à une valeur acceptable; sans ce dispositif, la valeur de la tension pourrait devenir excessive par suite d'un défaut ou de conditions anormales sur le réseau.

b) Classification

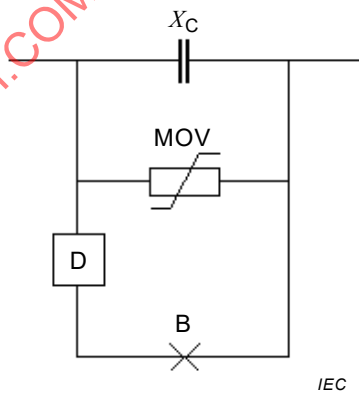
Trois variantes communes sont énumérées ci-dessous (voir Figure 2):

– éclateur de protection simple (type K1), voir Figure 2a)
– varistance (sans éclateur) (type M1), voir Figure 2b)
– varistance avec éclateur shunt (type M2), voir Figure 2c)

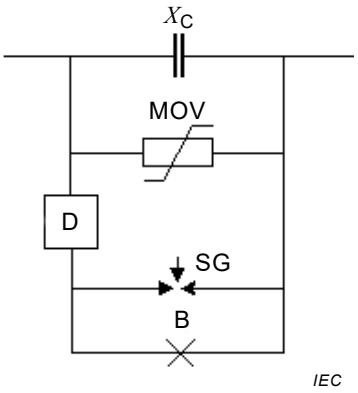
NOTE Si la tension d'amorçage d'un dispositif de protection contre les surtensions est dépendante de la densité de l'air, il est sous-entendu que U_{pl} correspond aux conditions pour lesquelles la tension d'amorçage est la plus élevée, c'est-à-dire à la pression de l'air la plus élevée et la température la plus basse. De plus, il faut prendre en compte la tension d'amorçage lors de la détermination de U_{pl}.



2a) Éclateur simple (type K1)



2b) MOV (type M1)



2c) MOV + éclateur shunt (type M2)

Figure 2 – Classification des dispositifs de protection contre les surtensions

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

5.1.3.2 Dispositif de protection contre les surtensions de Type K

Lorsque l'éclateur amorce par suite d'un courant de ligne excessif provoqué par un défaut sur le réseau, un arc est maintenu jusqu'au déclenchement de la ligne ou jusqu'à la fermeture du commutateur de shuntage.

Tant que l'arc est maintenu, le condensateur est exposé à une crête de tension dont la valeur ne doit pas dépasser U_{pl}. Le condensateur est soumis à une décharge transitoire une fois seulement à chaque déclenchement de l'éclateur.

5.1.3.3 Dispositif de protection contre les surtensions de Type M

La varistance est connectée en permanence aux bornes du condensateur. Lorsque la batterie fonctionne à son courant de charge normal, un courant déterminé mais très faible traverse la varistance.

Dans le cas d'un défaut externe à la ligne concernée, les condensateurs série sont automatiquement réinsérés lorsque le défaut disparaît. Même durant un tel défaut, les condensateurs série exercent une certaine influence compensatrice. C'est pour cela que, dans beaucoup de cas, la valeur U_{pl} choisie avec le Type M peut être plus basse que celle des dispositifs de protection contre les surtensions de Type K. Par ailleurs, si un court-circuit affecte la ligne compensée elle-même, les disjoncteurs qui sont aux extrémités de la ligne seront ouverts.

La varistance doit être conçue pour résister à des contraintes thermiques apparaissant durant les conditions de surcharge et durant les oscillations dans le réseau conformément à 10.3, et à celles du courant de défaut maximal de la ligne.

Si le défaut externe dure longtemps, par exemple à cause d'un mauvais fonctionnement de la protection de ligne, la varistance peut être surchargée thermiquement. De plus, des courts-circuits intervenant sur la ligne compensée peuvent provoquer des courants tellement élevés qu'il n'est pas économique de dimensionner en conséquence la varistance. Afin de protéger la varistance dans de tels cas, elle peut être shuntée par un commutateur ou par un éclateur à déclenchement forcé.

5.1.4 Détermination de la tension du niveau de protection U_{pl} et U_{lim}

La valeur de la tension d'essai (U_t) entre les bornes dépend du type de dispositif de protection contre les surtensions et de son niveau de protection U_{pl} (voir 5.1.3).

La tension limite U_{lim} (kV eff.) pour le condensateur unitaire est liée au niveau de protection de la phase en question ou du segment U_{pl} (kV crête) selon l'équation (1).

$$U_{lim} = U_{pl} \big/ (s \times \sqrt{2}) \qquad (1)$$

où s est le nombre de condensateurs unitaires en série raccordés sur U_{pl}.

Plus de clarifications sont données en 10.4 et 10.5.

5.2 Classification des essais

5.2.1 Généralités

Les essais sur l'équipement constituant la batterie de condensateurs sont divisés en essais individuels, en essais de type et en essais spéciaux. Des essais complémentaires sont habituellement effectués après que la batterie soit installée. Ces essais sont décrits dans l'IEC 60143-2.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

5.2.2 Essais individuels

a) Mesurage de la capacité (voir 5.3)
b) Mesurage des pertes du condensateur (voir 5.4)
c) Essai de tenue en tension entre bornes (voir 5.5)
d) Essai diélectrique en tension alternative entre bornes et cuve (voir 5.6)
e) Essai du dispositif interne de décharge (voir 5.7)
f) Essai d'étanchéité (voir 5.8)
g) Essai de décharge des coupe-circuit internes (voir 3.1.2 de l'IEC 60143-3).

Les essais ne sont pas nécessairement effectués dans l'ordre indiqué ci-dessus.

Les essais individuels doivent être effectués par le constructeur, avant la livraison, sur chaque condensateur unitaire.

5.2.3 Essais de type

a) Essai de stabilité thermique (voir 5.9)
b) Essai diélectrique en tension alternative entre bornes et cuve (voir 5.10)
c) Essai de tension de choc de foudre entre bornes et cuve (voir 5.11)
d) Essai de tenue au froid (voir 5.12)
e) Essai de courant de décharge (voir 5.13).

Les essais de type sont effectués pour s'assurer que le condensateur unitaire est conforme aux caractéristiques contractuelles et aux exigences fonctionnelles spécifiées dans la présente norme.

Il n'est pas indispensable que tous les essais de type soient effectués sur le même condensateur unitaire.

La liste ci-dessus des essais de type n'indique aucune séquence d'essai.

Sauf spécification contraire, chaque échantillon de condensateur sur lequel un essai de type est effectué doit d'abord avoir supporté de façon satisfaisante tous les essais individuels.

Lorsqu'un essai de type a précédemment été effectué avec succès sur un équipement de conception similaire, avec des niveaux de contrainte et de service qui sont équivalents ou plus importants que ce qui est exigé pour une application particulière, alors le constructeur n'a pas à répéter l'essai si un rapport écrit décrivant l'essai précédent est fourni. Le constructeur doit également fournir des explications montrant comment les essais précédemment réalisés satisfont aux exigences de l'application particulière.

De nouveaux essais de type doivent être effectués pour un projet particulier, uniquement si la conception de l'équipement est nouvelle ou si un procédé crucial de fabrication est nouveau, ou si l'application est réalisée avec un niveau de contrainte et de service supérieur ou si cela est exigé par contrat par l'acheteur.

5.2.4 Essai spécial (essai de vieillissement)

L'essai spécial consiste à réaliser un essai de vieillissement selon 4 de l'IEC TS 60871-2:2014.

L'essai de vieillissement doit être effectué seulement après accord contractuel entre le constructeur et l'acheteur.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

5.3 Mesurage de la capacité (essai individuel)

5.3.1 Modalité de mesure

La capacité de chaque condensateur unitaire doit être mesurée à une tension comprise entre 0,9 et 1,1 fois la tension assignée, en employant une méthode permettant d'éviter les erreurs dues aux harmoniques. Des mesurages peuvent être faits à une tension différente, pourvu que les facteurs de correction appropriés fassent l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.

La précision de la méthode de mesure doit être suffisante pour respecter les tolérances qui figurent en 5.3.2. La reproductibilité de la méthode de mesure doit être suffisante pour détecter un élément perforé ou un coupe-circuit interne ayant fonctionné.

La capacité définitive doit être mesurée, après exécution de l'essai de tension (voir 5.5). Pour mettre en évidence une éventuelle variation de la capacité due, par exemple, à la perforation d'un élément ou au fonctionnement d'un coupe-circuit interne, un mesurage préliminaire de la capacité doit être fait avant les autres essais individuels de tension. Ce mesurage préliminaire doit être fait à une tension ne dépassant pas 0,15 U_N.

Après accord, le constructeur doit fournir les courbes ou les tableaux montrant:

– la capacité à l'état stable et à la puissance assignée, en fonction de la température de l'air ambiant dans les limites de la catégorie de température;
– la capacité en fonction de la température du diélectrique dans les limites de la catégorie de température.

5.3.2 Tolérances sur la capacité

Les tolérances concernent les valeurs de capacité mesurées à une tension comprise entre 0,9 et 1,1 fois la tension assignée, dans les conditions de 5.3.1.

La capacité, à la température de référence (voir 5.1.2), ne doit pas s'écarter de sa valeur assignée de plus de:

– ± 7,5 % pour les condensateurs unitaires;
– ± 5,0 % pour les batteries dont la puissance assignée est inférieure à 30 Mvar;
– ± 3,0 % pour les batteries dont la puissance assignée est supérieure ou égale à 30 Mvar.

De plus, la capacité ne doit pas être différente de plus de:

– 3,0 % entre deux phases ou segments quelconques du même module lorsque la puissance assignée de la batterie est inférieure à 30 Mvar;
– 1,0 % entre deux phases ou segments quelconques du même module lorsque la puissance assignée de la batterie est supérieure ou égale à 30 Mvar.

Des tolérances plus serrées peuvent être exigées pour les condensateurs destinés à des installations plus critiques.

Le constructeur doit s'occuper de l'assemblage des condensateurs série.

5.4 Mesurage des pertes du condensateur (essai individuel)

5.4.1 Modalité de mesure

Les pertes du condensateur (ou tan δ) doivent être mesurées à une tension comprise entre 0,9 et 1,1 fois la tension assignée en employant une méthode qui permet d'éviter les erreurs dues aux harmoniques.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Il convient d'étalonner l'équipement de mesure conformément aux dispositions de l'IEC 60996 ou à l'aide d'une autre méthode conduisant à une précision identique ou meilleure.

La tangente de l'angle de pertes des diélectriques imprégnés à faibles pertes diminue fortement pendant les premières heures après la mise sous tension initiale. Cette diminution n'a aucun rapport avec la variation de tan δ en fonction de la température. La valeur initiale de tan δ peut également varier pour des condensateurs unitaires identiques fabriqués simultanément. Toutefois, les valeurs finales «stabilisées» sont habituellement très voisines. Il convient que la tan δ mesurée initialement par un essai individuel soit considérée seulement comme une indication approximative. Pour des fins contractuelles, il convient que seuls des mesurages sur les condensateurs unitaires ayant subi précédemment l'essai de stabilité thermique soient réalisés, ou en variante, les condensateurs unitaires peuvent être conditionnés selon la pratique des constructeurs.

5.4.2 Exigences relatives aux pertes

Les pertes du condensateur sont les valeurs mesurées dans les conditions indiquées en 5.4.1.

Les exigences relatives aux pertes du condensateur peuvent faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.

Des informations supplémentaires relatives aux pertes d'un condensateur sont données à l'Annexe B.

Selon accord, il convient que le constructeur fournisse des courbes ou des tableaux montrant les pertes stabilisées (ou tan δ) du condensateur à l'état stable, à la puissance assignée et en fonction de la température de l'air ambiant dans les limites de la catégorie de température.

5.4.3 Pertes dans les coupe-circuit externes

Les pertes dans les coupe-circuit externes doivent être calculées en utilisant le produit de la résistance en courant alternatif nominale (spécifiée par le constructeur de coupe-circuit à 20 °C) par le carré du courant assigné du condensateur.

5.5 Essai de tenue en tension entre bornes (essai individuel)

Les condensateurs unitaires doivent être soumis à un essai sous tension continue de 1,7 U_{lim} (1,2 × $\sqrt{2}$ × U_{lim}) pour les dispositifs de protection contre les surtensions de Types K et M. La valeur de la tension d'essai ne doit pas être inférieure à 4,3 U_{N}. La durée de l'essai doit être de 10 s.

Durant l'essai, il ne doit se produire ni perforation ni contournement.

Si les condensateurs sont à soumettre à un nouvel essai, une tension de 75 % de U_{t} est recommandée pour le second essai.

5.6 Essai diélectrique en tension alternative entre bornes et cuve (essai individuel)

Les condensateurs unitaires dont les deux bornes sont isolées de la cuve doivent être soumis pendant 10 s à une tension d'essai alternative appliquée entre les bornes (raccordées entre elles) et la cuve. La valeur de la tension d'essai doit être choisie en suivant les indications de 6.1.3.2.

Pendant l'essai, il ne doit se produire ni perforation ni contournement.

Cet essai doit être effectué même si, en service, l'une des bornes est destinée à être connectée à la cuve.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Les condensateurs unitaires dont une borne est reliée en permanence à la cuve ne doivent pas être soumis à cet essai.

5.7 Essai du dispositif interne de décharge (essai individuel)

La résistance du dispositif interne de décharge, si elle existe, doit être vérifiée en procédant à un mesurage. La méthode peut être choisie par le constructeur.

Cet essai doit être fait après l'essai de tenue en tension de 5.5.

5.8 Essai d'étanchéité (essai individuel)

Le condensateur unitaire (avant peinture) doit être soumis à un essai qui détecte réellement les fuites de la cuve et de la ou des traversées. La procédure d'essai est laissée au choix du constructeur qui doit décrire la méthode appliquée.

Si le constructeur ne spécifie pas de procédure d'essai, la procédure suivante doit être appliquée:

Des condensateurs unitaires hors tension doivent être entièrement chauffés pendant 2 h au moins, pour que toutes leurs parties atteignent une température supérieure d'au moins 20 °C au-dessus de la valeur maximale du Tableau 1. Aucune fuite ne doit se produire. Il convient d'utiliser un indicateur de fuite approprié.

5.9 Essai de stabilité thermique (essai de type)

5.9.1 Modalités de mesure

Le condensateur unitaire soumis à l'essai doit être placé entre deux unités-écrans ayant les mêmes valeurs assignées et chargées à la même tension que le condensateur soumis à l'essai. Ces unités-écrans doivent avoir des cuves dont les dimensions sont pratiquement identiques à celles de l'appareil soumis à l'essai. En variante, deux condensateurs factices contenant des résistances peuvent être utilisés comme unités-écrans. La puissance dissipée dans les résistances doit être réglée à une valeur telle que la température des boîtiers des condensateurs factices soit supérieure ou égale à celle du condensateur soumis à l'essai. La température des unités doit être mesurée en des points «égaux» qui ne doivent pas être exposés au rayonnement thermique direct provenant d'une autre unité. L'espacement entre les unités doit être inférieur ou égal à l'espacement normal. L'ensemble doit être placé en air calme, dans une enceinte chauffée, dans les conditions thermiques les plus défavorables, selon les instructions du constructeur pour le montage sur le site.

La température de l'air ambiant doit être maintenue à la valeur appropriée indiquée au Tableau 2 (tolérance: ± 2 °C). Elle doit être contrôlée à l'aide d'un thermomètre présentant une constante de temps thermique de 1 h environ. Ce thermomètre doit être muni d'un écran de manière à ne recevoir que le minimum possible de rayonnement thermique de l'échantillon et des unités-écrans en essai.

Tableau 2 – Température de l'air ambiant pour l'essai de stabilité thermique

Symbole	Température °C
A	40
B	45
C	50
D	55

Pour cet essai, le condensateur doit être soumis, pendant une durée d'au moins 48 h, à une

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

tension alternative de forme pratiquement sinusoïdale. L'amplitude de cette tension doit être maintenue constante pendant toute la durée de l'essai. Cette valeur doit être obtenue à partir de la capacité mesurée (voir 5.3.1) pour que la puissance calculée du condensateur soit égale à 1,44 fois sa puissance assignée. La valeur d'essai 1,44 Q_N est associée au courant de surcharge 1,1 I_N d'une durée de 8 h, selon les dispositions de 7.1. Si cette surintensité de 8 h a été augmentée d'un certain rapport, le facteur 1,44 doit être augmenté de ce même rapport élevé au carré (voir aussi 10.3.2).

Pendant les 6 h finales, la température de la cuve doit être mesurée quatre fois au moins. Pendant cette période de 6 h, l'augmentation de la température ne doit pas dépasser 1 K. Si l'échauffement constaté est supérieur, l'essai peut être poursuivi jusqu'à ce que les exigences précédentes soient respectées pour quatre mesurages consécutifs faits pendant une autre période de 6 h.

La capacité doit être mesurée avant et après l'essai (voir 5.3.1) dans la plage de températures spécifiée en 5.1.2 et les deux mesurages doivent être corrigés afin d'être ramenés à une même température du diélectrique.

La différence entre les deux mesurages doit être inférieure à celle qui correspond à une perforation d'un élément ou au fonctionnement d'un coupe-circuit interne. Dans l'interprétation des résultats des mesurages, les facteurs suivants doivent être pris en compte:

– la reproductibilité des mesurages;
– le fait qu'une modification interne du diélectrique peut provoquer une petite variation de la capacité, sans qu'il y ait eu perforation d'un élément ou qu'un coupe-circuit interne ait fonctionné. Lorsqu'on s'assure que les conditions de température sont satisfaisantes, il convient de tenir compte des fluctuations de la tension, de la fréquence et de la température de l'air ambiant pendant l'essai. À cette fin, il est conseillé de tracer des courbes en fonction du temps de ces paramètres et de l'échauffement de la cuve.

Les condensateurs unitaires destinés à être installés sur un réseau de 60 Hz peuvent être soumis à essai à 50 Hz et inversement, sous réserve que la puissance spécifiée soit appliquée. Pour les unités de caractéristiques assignées inférieures à 50 Hz, il convient que les conditions d'essai fassent l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.

5.9.2 Mesurage des pertes du condensateur

Les pertes du condensateur (ou tan δ) doivent être mesurées à la fin de l'essai de stabilité thermique. La tension de mesure doit être celle de l'essai de stabilité thermique. Sinon le paragraphe 5.4.1 s'applique.

La valeur de tan δ mesurée ne doit pas dépasser la valeur déclarée par le constructeur ou la valeur convenue entre le constructeur et l'acheteur.

5.10 Essai diélectrique en tension alternative entre bornes et cuve (essai de type)

Les condensateurs unitaires dont les deux bornes sont isolées de la cuve doivent être soumis pendant 1 min à une tension d'essai appliquée entre les bornes raccordées entre elles et la cuve. La valeur de la tension d'essai doit être choisie conformément aux indications de 6.1.3.2.

Les condensateurs unitaires ayant une borne connectée en permanence à la cuve doivent également être soumis durant 1 min à un essai diélectrique en tension alternative entre les bornes afin de vérifier l'adéquation de l'isolement avec la cuve. La tension d'essai est proportionnelle à la tension assignée et est calculée selon 6.1.3.3. Dans tous les cas où la tension de cet essai dépasse celle exigée pour l'essai diélectrique, la composition diélectrique du condensateur unitaire soumis à essai peut être modifiée, par exemple en augmentant le nombre d'éléments en série, afin d'éviter une défaillance du diélectrique. Cependant, l'isolement avec la cuve ne doit pas être changé. En variante, cet essai peut être

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

réalisé en utilisant un condensateur unitaire similaire avec deux bornes isolées ayant le même isolement avec la cuve.

L'essai est fait à sec pour les condensateurs unitaires utilisés à l'intérieur des bâtiments. Pour les condensateurs unitaires destinés à être utilisés à l'extérieur, il est fait sous pluie artificielle (IEC 60060-1). La position des traversées pendant un essai sous pluie artificielle doit être la même que leur position en service.

Au cours de l'essai, il ne doit se produire ni perforation ni contournement.

Les condensateurs unitaires destinés à être installés à l'extérieur des bâtiments peuvent être soumis seulement à un essai à sec si le constructeur peut fournir un rapport séparé d'essai de type montrant que les traversées supportent pendant 1 min la tension de l'essai sous pluie artificielle. Pour cet essai de type séparé, il convient que la position des traversées soit identique à leur position de service.

5.11 Essai de tension de choc de foudre entre bornes et cuve (essai de type)

Cet essai est applicable uniquement aux condensateurs unitaires dont toutes les bornes sont isolées de la cuve et dont les cuves sont isolées par rapport à la terre (sol).

L'essai au choc de foudre doit être exécuté selon les dispositions de l'IEC 60060-1, mais avec une forme d'onde de 1,2/50 µs à 5/50 µs dont la valeur de crête correspond au niveau d'isolement de l'unité selon les dispositions de 6.1.1.

Quinze chocs de polarité positive suivis par 15 chocs de polarité négative doivent être appliqués entre les traversées reliées entre elles et la cuve. Après l'inversion de polarité, il est autorisé d'appliquer quelques chocs d'amplitude plus faible avant d'appliquer les chocs d'essai.

Le condensateur est considéré comme ayant satisfait à l'essai si

– il ne s'est pas produit de perforation,
– il n'y a pas eu plus de deux contournements externes pour chaque polarité,
– la forme d'onde n'a pas présenté d'irrégularité ou d'écart important par rapport aux résultats obtenus avec la tension d'essai réduite.

5.12 Essai de tenue au froid (essai de type)

L'objet de cet essai est de démontrer que les condensateurs de la batterie peuvent supporter une surtension égale au niveau de protection, suivie par une condition de surintensité, avec les condensateurs initialement à la température ambiante la plus basse.

Les tensions appliquées pendant cet essai doivent être à la fréquence industrielle et avoir une forme d'onde pratiquement sinusoïdale. Le circuit d'essai doit être suffisamment amorti pour réduire les transitoires qui excèdent les tensions à fréquence industrielle spécifiées.

L'essai de tenue au froid peut être réalisé soit sur un condensateur unitaire normalisé soit sur un condensateur unitaire spécial ayant les caractéristiques décrites dans l'IEC 60871-1, paragraphes 16.5.2 et 16.5.3.

Pour le préparer à l'essai, le condensateur unitaire en essai doit être placé dans une enceinte frigorifique jusqu'à ce que la température du diélectrique soit égale ou inférieure à la plus basse température de la catégorie correspondante.

Dans les 10 min suivant sa sortie de l'enceinte frigorifique, le condensateur unitaire doit être soumis à U_{EL} (entre ses bornes) durant 30 s. Par la suite, une surtension de 1,1 U_{lim} (mais

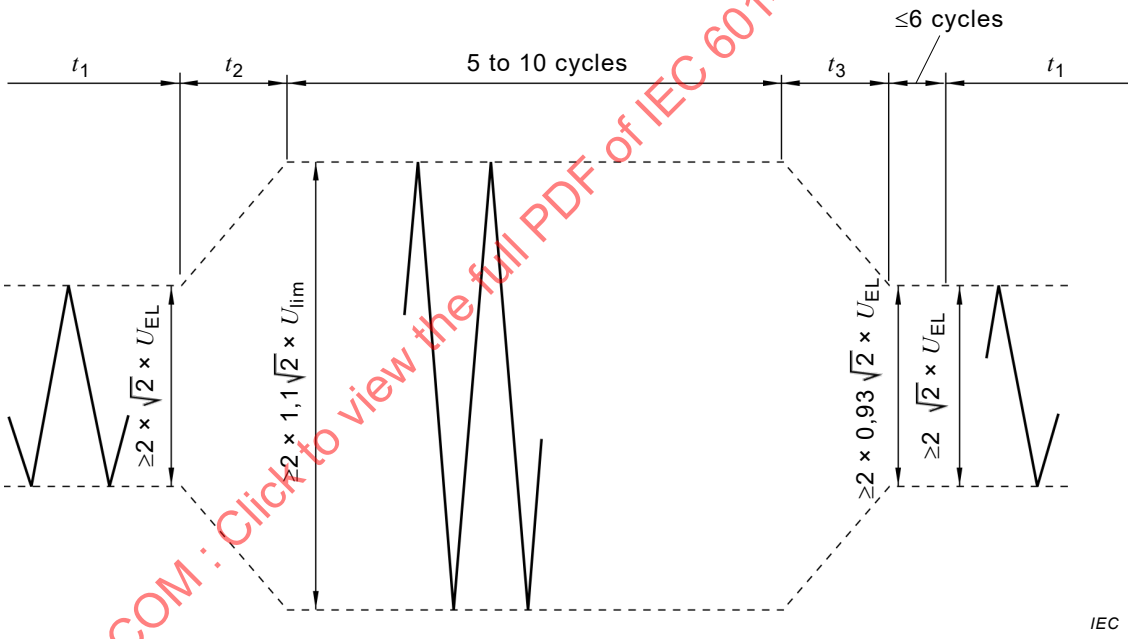
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

d'au moins 2,25 U_N) doit être appliquée sans aucune interruption de la tension durant une période de 5 à 10 cycles. Après cela, la surtension de U_{EL} est maintenue à nouveau sans aucune interruption de la tension (voir Figure 3) durant un intervalle de 1,5 min à 2 min. Puis une autre séquence de surtension identique doit être appliquée, et ainsi de suite jusqu'à ce que 50 périodes de surtension à fréquence industrielle de 1,1 U_{lim} suivie de U_{EL} aient été appliquées (voir Figure 3).

Après la dernière période de surtension de 1,1 U_{lm}, une tension de U_{EL} doit être maintenue pendant 30 min.

L'amplitude de U_{EL} doit être soit 1,2 U_N, soit la tension correspondant aux conditions de 30 min de surcharge maximale apparaissant lors des perturbations du système (voir Article 7 et 10.3.1), selon la valeur la plus élevée.

Avant et après l'essai, la capacité doit être mesurée conformément à 5.3.1 et les deux mesurages doivent être affectés d'un facteur de correction afin d'être ramenés à une même température du diélectrique (voir 5.1.2). Pour ces mesurages, il ne doit pas y avoir de variation significative de la capacité et, dans tous les cas, celle-ci doit être inférieure à la variation correspondant à la perforation d'un élément ou à l'ouverture d'un coupe-circuit interne. Pour interpréter les résultats des mesurages, les facteurs spécifiés en 5.9.1 doivent être pris en compte.



Le temps t_2 représente l'intervalle de 1,5 min à 2 min qui s'écoule entre deux applications successives de la surtension. Les temps t_2 et t_3 dépendent des paramètres des circuits d'essai et il convient qu'ils soient aussi courts que possible.

Figure 3 – Limites de temps et d'amplitude d'une forme d'onde pour la période de surtension

5.13 Essai de courant de décharge (essai de type)

Cet essai inclut les décharges avec deux types différents de paramètres. Le premier essai est destiné à démontrer que les condensateurs unitaires peuvent supporter les contraintes auxquelles ils peuvent être soumis durant les rares occasions d'un amorçage qui contourne le circuit d'amortissement. Le second essai est destiné à démontrer que les condensateurs unitaires peuvent supporter le courant de décharge associé à un fonctionnement de l'éclateur ou à une fermeture du commutateur de shuntage.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

NOTE Il convient que la fréquence de décharge se rapproche de celle de l'application.

Pour le premier essai, le condensateur unitaire doit être chargé à une tension continue de $\sqrt{2}\ U_{\text{lim}}$ et ensuite déchargé en une seule fois dans un circuit ayant une impédance aussi faible que possible. Le circuit de décharge peut être équipé d'un petit fil fusible ou d'un commutateur court-circuiteur.

Pour le second essai, le même condensateur unitaire doit être ensuite chargé à une tension continue de 1,6 U_{lim} (1,1 × $\sqrt{2}\ U_{\text{lim}}$) et déchargé à travers un circuit qui répond aux conditions suivantes:

– la valeur crête du courant de décharge ne doit pas être inférieure à 110 % du courant qui résulte de la conduction de l'éclateur ou de la fermeture du commutateur de shuntage;
– l'I^2t du courant de décharge doit être au moins supérieur de 10 % à celui associé à la conduction de l'éclateur ou à la fermeture du commutateur de shuntage (voir l'IEC 60143-2).

Cette décharge doit être répétée 10 fois, à des intervalles inférieurs à 20 s. Dans les 10 min suivant la dernière décharge, le condensateur unitaire doit être soumis à un essai de tenue en tension entre bornes, conformément à 5.5.

Avant et après l'essai, la capacité doit être mesurée conformément aux dispositions de 5.3.1 et les deux mesurages doivent être affectés d'un facteur de correction afin d'être ramenés à une même température du diélectrique (voir 5.1.2). Pour ces mesurages, il ne doit pas y avoir de variation significative de la capacité et, dans tous les cas, celle-ci doit être inférieure à la variation correspondant à la perforation d'un élément ou au fonctionnement d'un coupe-circuit interne. Pour interpréter les résultats des mesurages, les facteurs spécifiés en 5.9.1 doivent être pris en compte.

6 Niveau d'isolement

6.1 Tensions d'isolement

6.1.1 Valeurs normalisées

Les tensions de tenue d'isolement des condensateurs unitaires et de l'installation de condensateurs doivent être choisies parmi les valeurs normalisées spécifiées dans l'IEC 60071-1 et dans l'IEC 60071-2.

Les valeurs normalisées de la plus haute tension appliquée au matériel sont divisées en deux gammes:

a) **Gamme I:** De 1 kV à 245 kV inclus. Cette gamme couvre à la fois les réseaux de transport et les réseaux de distribution. Les différents aspects opérationnels, pour cette raison, doivent être pris en compte lors de la sélection du niveau d'isolement assigné de l'équipement.
b) **Gamme II:** Au-delà de 245 kV. Cette gamme couvre principalement les réseaux de transport. L'association des tensions de tenue normalisées avec la tension la plus élevée pour le matériel a été normalisée au bénéfice de l'expérience acquise sur le fonctionnement des réseaux conçus suivant les normes IEC et pour étendre la normalisation.

Les tensions de tenue normalisées sont associées à la tension la plus élevée pour le matériel suivant le Tableau 3 pour la gamme I et le Tableau 4 pour la gamme II.

L'acheteur doit spécifier, parmi les tensions d'essai alternatives lesquelles doivent être appliquées.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

NOTE En Amérique du Nord, d'autres valeurs de U_m et des tensions de tenue assignées sont utilisées. Le Tableau 5 contient de telles valeurs qui, cependant, ne constituent pas les niveaux d'isolement normalisés de l'IEC.

6.1.2 Isolement par rapport à la terre et entre les phases

Les tensions d'essai doivent être choisies parmi les valeurs normalisées, conformément à 6.1.1.

Pour les installations situées à une altitude supérieure à 1 000 m, un isolement accru peut être exigé.

NOTE Le niveau d'isolement à la terre s'applique non seulement aux isolateurs de la plate-forme, mais aussi à tout autre équipement des condensateurs série installé entre phase et terre tel que commutateur de shuntage relié à la terre, isolateur de communication, sectionneurs, etc.

6.1.3 Niveaux d'isolement pour les isolateurs et l'équipement sur la plate-forme

6.1.3.1 Exigences générales

Les niveaux d'isolement pour les isolateurs et l'équipement des condensateurs série monté sur la plate-forme de support sont définis par rapport à la plate-forme.

Pour les installations situées à une altitude supérieure à 1 000 m, des niveaux d'isolement plus élevés peuvent être exigés.

Le niveau d'isolement pour les isolateurs et l'équipement sur la plate-forme doit être sélectionné suivant le niveau de protection établi par le dispositif de protection contre les surtensions en utilisant l'équation (2) ci-dessous. L'équation s'applique à l'isolement du segment entier en utilisant le niveau de protection de ce segment. Elle s'applique également à l'isolement au sein du segment en utilisant le niveau de protection au prorata de cette partie du segment.

$$U_{\text{ipf}} \geq 1{,}2\, U_{\text{pl}} \big/ \sqrt{2} \tag{2}$$

où

U_{ipf} est la tension de tenue à fréquence industrielle (eff.);

U_{pl} est l'amplitude de la tension de crête du niveau de protection.

La tension de tenue à fréquence industrielle exigée est déduite du niveau de protection. Un niveau d'isolement normalisé est alors sélectionné à partir du Tableau 3 ou du Tableau 5 en comparant la tension de tenue à fréquence industrielle de courte durée indiquée dans le tableau à la valeur exigée. La première colonne des tableaux (tension la plus élevée pour le matériel) ne doit pas être utilisée pour sélectionner un niveau d'isolement normalisé.

6.1.3.2 Condensateurs unitaires

Les condensateurs unitaires montés sur des plates-formes isolées ou isolés d'une autre manière de la terre doivent supporter la tension à fréquence industrielle entre les bornes et la cuve selon les équations (3) et (4). La plus grande des deux valeurs selon les équations (3) et (4) doit s'appliquer.

$$U_{\text{ipf(n)}} \geq U_{\text{ipf}} \times n/s \tag{3}$$

$$U_{\text{ipf(n)}} \geq 2{,}5 \times n \times U_{\text{N}} \tag{4}$$

où

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

U_N est la tension assignée du condensateur unitaire;

s est le nombre total de condensateurs unitaires en série sur le segment en question;

n est le nombre de condensateurs unitaires en série par rapport au châssis métallique sur lequel les cuves sont connectées (par exemple si six condensateurs unitaires sont connectés en série sur un châssis avec le point milieu connecté au châssis, n = 3)

Les condensateurs unitaires ayant leurs cuves connectées à la terre doivent supporter le niveau d'isolement total selon 6.1.1 entre les bornes et la cuve.

NOTE Les équations ci-dessus pour $U_{ipf(n)}$ font référence à l'isolement entre les bornes et la cuve des condensateurs unitaires. Les équations ne s'appliquent pas à la tension d'essai du diélectrique du condensateur pour lequel les équations de l'Article 5 s'appliquent.

6.1.3.3 Châssis de condensateurs

Tout isolement entre châssis, par exemple, les isolateurs support entre châssis, doivent supporter la tension de tenue à fréquence industrielle selon les équations (3) et (4). La plus grande des deux valeurs selon les équations (3) et (4) doit s'appliquer. Dans ce cas n correspond au nombre de condensateurs unitaires présents sur l'isolement en question.

6.1.3.4 Isolateurs support et autre équipement sur la plate-forme

Les niveaux d'isolement pour l'équipement monté sur la plate-forme doivent être sélectionnés suivant la procédure exposée en 6.1.3.1 et en appliquant les équations (2) et (3), sauf indication contraire dans les paragraphes ci-dessous. Dans ce cas n correspond au nombre de condensateurs unitaires présents sur l'isolement en question.

a) Isolateurs de jeux de barres

La classe d'isolement des isolateurs supportant les différents jeux de barres sur la plate-forme doit être sélectionnée sur la base de la relation ci-dessus. La classe de la tension d'isolement est déterminée en sélectionnant un isolateur avec une tension de tenue à fréquence industrielle équivalente ou supérieure aux valeurs du Tableau 3. Dans ce cas, la colonne de gauche du tableau n'est pas utilisée.

b) Isolateurs de l'équipement

En général, le niveau d'isolement à fréquence industrielle de l'équipement sur la plate-forme doit être établi à l'aide de l'équation (3) et en appliquant la procédure décrite pour les isolateurs de jeux de barres, avec quelques exceptions.

c) Commutateur de shuntage

Le niveau d'isolement à travers l'interrupteur du commutateur de shuntage doit être basé sur les relations définies ci-dessus.

d) Varistance

L'enveloppe de la varistance doit avoir une tension de tenue à fréquence industrielle sous pluie basée sur l'équation ci-dessus. Il n'est pas exigé que le niveau spécifique sélectionné soit une valeur normalisée du Tableau 3.

e) Éclateur shunt

Les isolateurs utilisés dans l'éclateur shunt doivent être basés sur les relations définies ci-dessus en prenant en compte la part de la tension du segment à laquelle l'éclateur shunt est exposé. Des assemblages intermédiaires peuvent subir d'importants transitoires durant le processus normal de défaut et doivent être conçus pour supporter ces contraintes. De plus, le niveau de tenue de l'éclateur de puissance et de tout circuit de déclenchement doit être coordonné pour supporter toutes les perturbations du réseau sans céder sous les contraintes du réseau pour lesquelles ils sont inappropriés.

f) Matériel de limitation et d'amortissement du courant de décharge

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Les isolateurs utilisés pour supporter le circuit de limitation du courant de décharge à partir de la plate-forme doivent être basés sur les relations définies ci-dessus en prenant en compte la part de la tension du segment à laquelle ces isolateurs sont exposés.

Le niveau d'isolement à travers le circuit de limitation du courant de décharge doit être sélectionné sur la base de la tension instantanée apparaissant à travers le circuit lorsque l'éclateur shunt amorce ou lorsque le commutateur de shuntage se ferme. La tenue à fréquence industrielle de la classe d'isolement requise doit être au moins égale à $1{,}2/\sqrt{2}$ fois la tension instantanée. Le niveau de tenue au choc de foudre LIWL (lightning impulse withstand level) (BIL) (basic lightning impulse insulation level – niveau d'isolement au choc de foudre de base) du circuit est alors choisi dans les tableaux. Cependant, il faut noter que la tension apparaissant à travers le circuit lorsque l'éclateur shunt conduit ou le commutateur de shuntage se ferme, est à une fréquence plus grande que 50 Hz ou 60 Hz et que cette durée est très brève. À 50 Hz ou 60 Hz, l'amplitude de l'impédance du circuit est généralement très faible, ce qui rend pratiquement impossible la réalisation d'un essai de tenue à la tension à fréquence industrielle au niveau sélectionné. Par ailleurs, le circuit peut être facilement soumis à essai avec une impulsion. En conséquence, pour l'isolement à travers le circuit, il faut s'intéresser en premier lieu au niveau de tenue au choc de foudre LIWL (BIL).

g) Transformateurs de courant et transducteurs de courant optiques

Le niveau d'isolement des transformateurs de courant et des transducteurs de courant optiques doit être basé sur les relations définies ci-dessus.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Tableau 3 – Niveaux d'isolement normalisés pour la gamme I (1 kV < U_m ≤ 245 kV)

(extrait de l'IEC 60071-1:2006, Tableau 2)

Tension la plus élevée pour le matériel (U_m) kV (valeur efficace)	**Tension de tenue assignée normalisée de courte durée à fréquence industrielle** kV (valeur efficace)	**Tension de tenue assignée normalisée au choc de foudre** kV (valeur crête)
3,6	10	20 40
7,2	20	40 60
12	28	60 75 95
17,5 [a]	38	75 95
24	50	95 125 145
36	70	145 170
52 [a]	95	250
72,5	140	325
100 [b]	(150)	(380)
	185	450
123	(185)	(450)
	230	550
145	(185)	(450)
	230	550
	275	650
170 [a]	(230)	(550)
	275	650
	325	750
245	(275)	(650)
	(325)	(750)
	360	850
	395	950
	460	1 050

NOTE Si les valeurs entre parenthèses sont considérées comme insuffisantes pour prouver que les tensions de tenue requises entre phases sont satisfaites, des essais de tension de tenue entre phases supplémentaires sont nécessaires.

[a] Ces U_m ne sont pas des valeurs préférentielles dans l'IEC 60038 et par conséquent aucune combinaison normalisée n'est donnée dans les normes de produit.

[b] Cette valeur U_m n'est pas mentionnée dans l'IEC 60038 mais elle a été introduite dans la gamme I dans certaines normes de produits.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Tableau 4 – Niveaux d'isolement normalisés pour la gamme II (U_m > 245 kV) *(1 de 2)*

(extrait de l'IEC 60071-1:2006, Tableau 3)

Tension la plus élevée pour le matériel U_m kV (valeur efficace)	Tension de tenue assignée normalisée au choc de manœuvre			Tension de tenue assignée normalisée au choc de foudre [b] kV (valeur crête)
	Isolation longitudinale [a] kV (valeur crête)	Phase-terre kV (valeur crête)	Entre phases (rapport à la valeur de crête phase-terre)	
300 [c]	750	750	1,50	850
				950
	750	850	1,50	950
				1 050
362	850	850	1,50	950
				1 050
	850	950	1,50	1 050
				1 175
420	850	850	1,60	1 050
				1 175
	950	950	1,50	1 175
				1 300
	950	1050	1,50	1 300
				1 425
550	950	950	1,70	1 175
				1 300
	950	1 050	1,60	1 300
				1 425
	950 1 050	1 175	1,50	1 425
				1 550
800	1 175	1 300	1,70	1 675
				1 800
	1 175	1 425	1,70	1 800
				1 950
	1 175 1 300	1 550	1,60	1 950
				2 100
1 100	–	1 425 [d]	–	1 950
				2 100
	1 425	1 550	1,70	2 100
				2 250
	1 550	1 675	1,65	2 250
				2 400
	1 675	1 800	1,6	2 400
				2 550

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Tableau 4 *(2 de 2)*

Tension la plus élevée pour le matériel U_m kV (valeur efficace)	Tension de tenue assignée normalisée au choc de manœuvre			Tension de tenue assignée normalisée au choc de foudre [b] kV (valeur crête)
	Isolation longitudinale [a] kV (valeur crête)	Phase-terre kV (valeur crête)	Entre phases (rapport à la valeur de crête phase-terre)	
1 200	1 550	1 675	1,70	2 100
				2 250
	1 675	1 800	1,65	2 250
				2 400
	1 800	1 950	1,60	2 550
				2 700

[a] Valeur de la composante de tension de choc de l'essai combiné correspondant tandis que la valeur crête de la composante de fréquence industrielle de polarité opposée est $U_m \times \sqrt{2} / \sqrt{3}$.

[b] Ces valeurs s'appliquent également pour l'isolation phase-terre et l'isolation entre phases; pour l'isolation longitudinale, elles s'appliquent en tant que composante assignée normalisée au choc de foudre de la tension de tenue assignée normalisée combinée, tandis que la valeur crête de la composante de fréquence industrielle de polarité opposée est $0{,}7 \times U_m \times \sqrt{2} / \sqrt{3}$.

[c] Cette U_m est une valeur non préférentielle dans l'IEC 60038.

[d] Cette valeur est uniquement applicable à l'isolation phase-terre d'un matériel monophasé non exposé à l'air.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Tableau 5 – Niveaux d'isolement typiques pour les isolateurs entre plate-forme et terre *(1 de 2)*

(niveaux d'isolement basés sur la norme IEEE C62.82.1-2010)

Maximum system voltage (phase-to-phase) V_m kV, rms	Basic lightning impulse insulation level (phase-to-ground) BIL kV, crest	Low-frequency, short-duration withstand voltage[a] (phase-to-ground) kV, rms
15	95 110	34
26.2	125 150	40 50
36.2	150 200	50 70
48.3	250	95
72.5	250 350	95 140
121	350 450 550	140 185 230
145	450 550 650	185 230 275
169	550 650 750	230 275 325
242	650 750 825 900 975 1050	275 325 360 395 480

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Tableau 5 *(2 de 2)*

Maximum system voltage (phase-to-phase) V_m kV, rms	Basic lightning impulse insulation level (phase-to-ground) BIL kV, peak	Basic switching impulse insulation level[a] (phase-to-ground) BSL kV, peak
362	900 975 1050 1175 1300	650 750 825 900 975 1050
420	1050 1175 1300 1425	850 950 1050
550	1300 1425 1550 1675 1800	1175 1300 1425 1550
800	1800 1925 2050	1300 1425 1550 1675 1800
1200	2100 2250 2400 2550 2700	1675 1800 1950

[a] See specific BIL/BSL relationship in relevant apparatus standard. Preferred values are provided in 4.6.

Légende

Anglais	Français
Maximum system voltage (phase-to-phase) Vm kV, rms	Tension système maximum (entre phases) Vm kV, valeur efficace
Basic lightning impulse insulation level (phase-to-ground) BIL kV, crest	Niveau d'isolement au choc de foudre de base (entre phase et terre) BIL kV, valeur de crête
Low frequency, short duration withstand voltage (phase-to-ground) kV, rms	Tension de tenue de courte durée à faible fréquence (entre phase et terre) kV, valeur efficace
Basic switching impulse insulation level (phase-to-ground) BSL kV, peak	Niveau d'isolement au choc de manœuvre de base (entre phase et terre) BSL kV, valeur de crête

6.2 Ligne de fuite

Les recommandations données dans le Tableau 1 de l'IEC 60071-2:1996 doivent s'appliquer. L'acheteur doit spécifier lequel des niveaux de pollution, ou laquelle des lignes de fuite spécifiques, doit être appliqué(e).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Dans le Tableau 6, des lignes de fuite spécifiques sont données pour les différents niveaux de pollution selon l'IEC 60071-2:1996, Tableau 1. (Pour une description plus détaillée des niveaux de pollution, voir l'IEC 60071-2.) La ligne de fuite est calculée en multipliant la ligne de fuite spécifique générale nominale de la colonne 4 par la tension assignée de l'isolement en question. Les valeurs du Tableau 6, colonne 4 sont généralement applicables pour toute tension, c'est-à-dire entre phases, entre phase et terre, ou toutes les tensions d'un segment de phase.

Si le courant de surcharge de durée 30 min (I_{30}) dépasse 1,35 pu, la ligne de fuite doit être augmentée proportionnellement à (I_{30}/1,35 pu).

Tableau 6 – Lignes de fuite spécifiques

Niveau de pollution	**Exemples d'environnements** **(de plus amples détails dans l'IEC 60071-2:1996, Tableau 1)**	**Ligne de fuite spécifique nominale minimum selon (IEC 60071-2:1996, Tableau 1)** mm/kV	**Ligne de fuite spécifique nominale générale** mm/kV
I Faible	Pas ou faible densité d'industries ou habitations Zones agricoles ou montagneuses Situé au moins entre 10 km et 20 km de la mer	16	28
II Moyen	Industries ne produisant pas de fumée polluante particulière Forte densité d'habitations et/ou d'industries mais sujet à des vents fréquents et/ou à des chutes de pluie Vent de la mer mais pas trop proche des côtes	20	35
III Fort	Forte densité d'industries et banlieues de grandes villes produisant de la pollution Zones proches de la mer	25	44
IV Très fort	Fumée industrielle produisant des dépôts conducteurs Zones très proches de la mer et exposées aux embruns marins (sel) Zones désertiques	31	54
Les lignes de fuite spécifiques générales nominales du Tableau 6, Colonne 4, sont obtenues à partir des valeurs de l'IEC 60071-2:1996, Tableau 1, multipliées par $\sqrt{3}$. Les valeurs de l'IEC 60071-2:1996 (Colonne 3) sont basées sur la tension la plus élevée pour le matériel (voir 3.13) mais il convient de les appliquer sur les isolements phase-terre. Lorsqu'on applique l'une quelconque de ces lignes de fuite spécifiques nominales aux isolements entre phases, il faut multiplier les valeurs par $\sqrt{3}$. Une approche plus générale consiste à appliquer les valeurs de la Colonne 4 à la tension à travers tout chemin d'isolation au sein de la batterie.			

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

6.3 Distances dans l'air

Des recommandations pour le choix des distances dans l'air se trouvent à l'Annexe A de l'IEC 60071-2:1996. Des distances dans l'air minimales ont été déterminées pour différentes configurations d'électrode. Les distances dans l'air minimales spécifiées sont déterminées de manière conservatrice, prenant en compte l'expérience pratique, l'économie et la taille des équipements en se situant dans la catégorie des distances d'isolement inférieures à 1 m. Ces distances dans l'air sont données uniquement pour respecter les exigences de coordination d'isolement. Les exigences de sécurité peuvent conduire à des distances considérablement plus larges.

Le Tableau 7, extrait de l'IEC 60071-2, doit être utilisé pour l'isolement entre phases et entre phase et terre pour lequel la tension de tenue au choc de foudre est définie.

Le Tableau 8 et le Tableau 9, extraits de l'IEC 60071-2, doivent être utilisés pour l'isolement entre phase et terre et entre phases pour lequel la tension de tenue au choc de manœuvre est définie.

Pour le choix de la distance dans l'air adéquate des chemins d'isolation où s'appliquent uniquement des exigences de tenue en tension alternative, par exemple pour l'équipement monté sur plate-forme, les recommandations de l'Annexe G de l'IEC 60071-2:1996, doivent être utilisées. La courbe de la Figure 4 donnant la distance dans l'air minimale en fonction de la tension alternative de tenue à fréquence industrielle doit s'appliquer si d'autres exigences plus détaillées ne sont pas spécifiées.

Exemple d'application: Calcul du niveau d'isolement, de la ligne de fuite et de la distance dans l'air.

On considère des condensateurs série (SC – series capacitor) de caractéristiques assignées X_{CN} = 43 Ω et I_{CN} = 1 500 A. Le courant de surcharge à 30 min est de 1,35 pu. Les SC sont protégés par une varistance ZnO avec un niveau de protection égal à 2,2 pu. Le niveau de pollution est le niveau II, moyen, selon le Tableau 6. Calculer le niveau d'isolement, la ligne de fuite et la distance dans l'air pour les isolateurs support du jeu de barres haute tension sur la plate-forme.

Solution:

Tension assignée U_{CN} = 43 × 1,5 = 64,5 kV eff.

Tension du niveau de protection U_{pl} = $\sqrt{2}$ × 2,2 × U_{CN} = 200,7 kV crête (voir 10.5).

a) Niveau d'isolement

Selon l'équation (2) de 6.1.3.1, on peut écrire:

$$U_{ipf} \geq 1{,}2\, U_{pl} / \sqrt{2} = 170{,}3 \text{ kV eff.}$$

Selon le Tableau 3, le niveau d'isolement de l'isolateur du jeu de barres haute tension est de 185 kV eff. pour la tension de tenue à fréquence industrielle et de 450 kV crête pour la tension de tenue au choc de foudre.

b) Ligne de fuite

Selon 6.2, Tableau 6, on peut écrire:

La ligne de fuite l est: l = 35 U_{CN} = 2 258 mm.

c) Distance dans l'air

Selon la Figure 4, on peut écrire:

La distance dans l'air correspondant à 170,3 kV eff. est 580 mm.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Tableau 7 – Relation entre les tensions normalisées de tenue au choc de foudre et les distances dans l'air minimales

(extrait de l'IEC 60071-2:1996, Tableau A.1)

Tension normalisée de tenue au choc de foudre kV	Distance minimale mm	
	Pointe-structure	Conducteur-structure
20	60	
40	60	
60	90	
75	120	
95	160	
125	220	
145	270	
170	320	
250	480	
325	630	
380	750	
450	900	
550	1 100	
650	1 300	
750	1 500	
850	1 700	1 600
950	1 900	1 700
1 050	2 100	1 900
1 175	2 350	2 200
1 300	2 600	2 400
1 425	2 850	2 600
1 550	3 100	2 900
1 675	3 350	3 100
1 800	3 600	3 300
1 950	3 900	3 600
2 100	4 200	3 900

NOTE Le choc de foudre normalisé est applicable à l'isolation entre phases et à l'isolation phase-terre.

Pour l'isolation phase-terre, la distance minimale pour les configurations conducteur-structure et pointe-structure est applicable.

Pour l'isolation entre phases, la distance minimale pour la configuration pointe-structure est applicable.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Tableau 8 – Relation entre les tensions normalisées de tenue au choc de manœuvre et les distances dans l'air phase-terre minimales

(extrait de l'IEC 60071-2:1996, Tableau A.2)

Tension normalisée de tenue au choc de manœuvre kV	Distance dans l'air phase-terre minimale mm	
	Conducteur-structure	Pointe-structure
750	1 600	1 900
850	1 800	2 400
950	2 200	2 900
1050	2 600	3 400
1175	3 100	4 100
1300	3 600	4 800
1425	4 200	5 600
1550	4 900	6 400

Tableau 9 – Relation entre les tensions normalisées de tenue au choc de manœuvre et les distances dans l'air entre phases minimales

(extrait de l'IEC 60071-2:1996, Tableau A.3)

Tension normalisée de tenue au choc de manœuvre kV			Distance dans l'air entre phases minimale mm	
Phase-terre kV	Valeur entre phases / Valeur phase-terre	Entre phases kV	Conducteur-conducteur parallèles	Pointe-conducteur
750	1,5	1 125	2 300	2 600
850	1,5	1 275	2 600	3 100
850	1,6	1 360	2 900	3 400
950	1,5	1 425	3 100	3 600
950	1,7	1 615	3 700	4 300
1050	1,5	1 575	3 600	4 200
1050	1,6	1 680	3 900	4 600
1175	1,5	1 763	4 200	5 000
1300	1,7	2 210	6 100	7 400
1425	1,7	2 423	7 200	9 000
1550	1,6	2 480	7 600	9 400

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

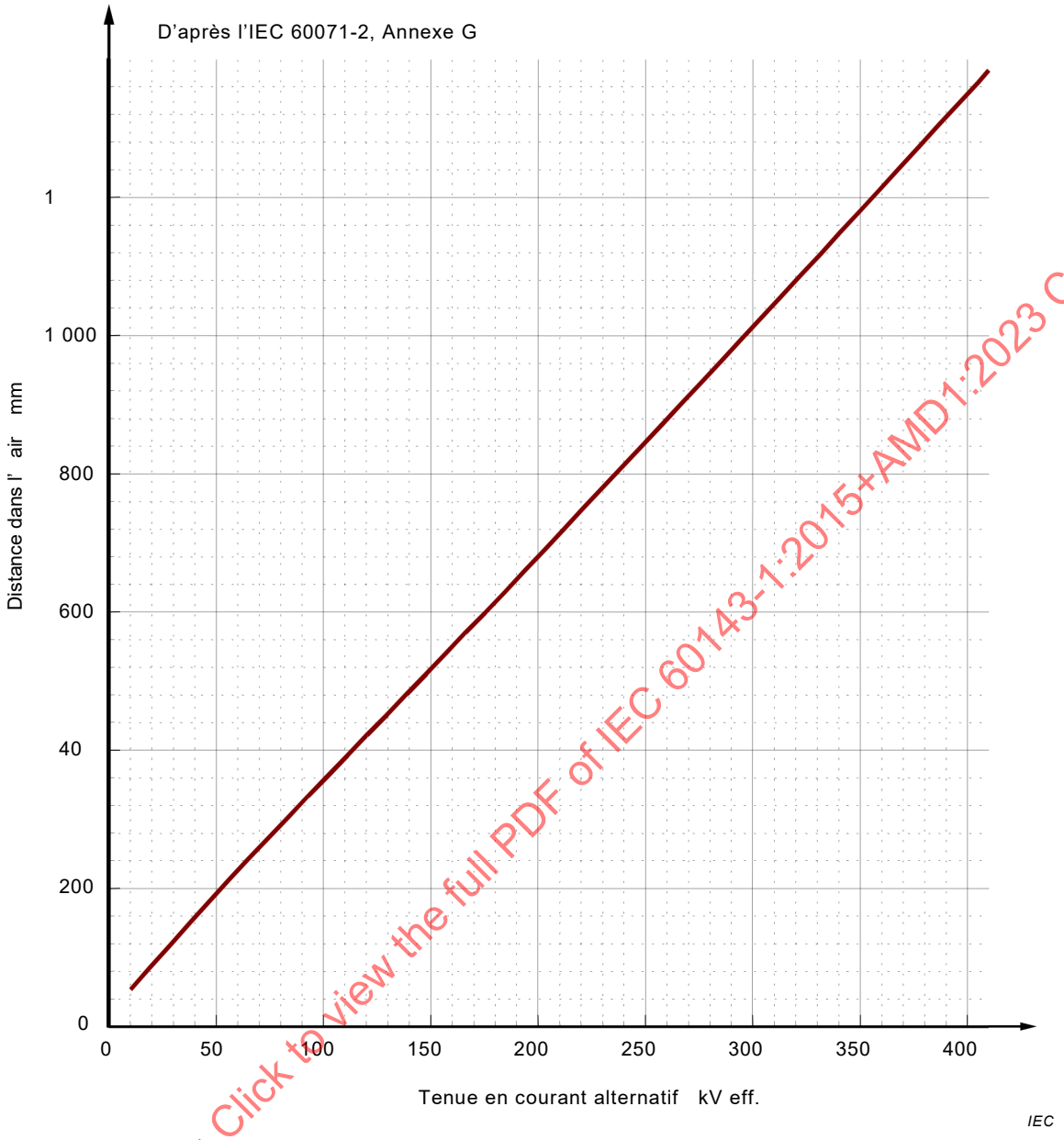


Figure 4 – Distance dans l'air en fonction de la tension alternative de tenue à fréquence industrielle

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

7 Surcharges, surtensions et cycles de fonctionnement

7.1 Courants

Une batterie de condensateurs série doit être capable de supporter le courant permanent assigné, les courants d'oscillations du réseau, les surcharges exceptionnelles, les défauts du réseau et, dans certaines applications, les courants harmoniques. Certaines de ces conditions sont illustrées en 10.3. Ces données sont généralement spécifiées par l'acheteur.

7.2 Surtensions transitoires

Les condensateurs série doivent pouvoir supporter des surtensions transitoires, en régime intermittent, causées par exemple par des défauts du réseau, dont la valeur U_{pl} est la valeur la plus élevée possible susceptible de se produire aux bornes du condensateur. La surtension transitoire est normalement limitée par un dispositif de protection contre les surtensions (voir

5.1.3, 5.1.4 et 10.5). L'amplitude prévue de la surtension doit faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur. L'acheteur doit préciser le taux estimé de répétition des surtensions.

7.3 Cycles de fonctionnement

L'équipement du condensateur série doit être conçu pour supporter les séquences exigées de défauts, les courants d'oscillations du réseau, les surcharges exceptionnelles et les courants permanents, tels que spécifiés par l'acheteur. Ces séquences constituent les cycles de fonctionnement que tous les composants de la batterie doivent être capables de supporter. Le cycle de fonctionnement doit être cohérent avec la manière avec laquelle le réseau environnant sera amené à fonctionner pour les défauts internes et externes. L'acheteur doit définir les cycles de fonctionnement pour les défauts de durées normales et étendues, et pour les défauts de différents types (triphasé et monophasé). Les défauts entre phases doivent être considérés si cela est explicitement défini par l'acheteur comme pouvant être décisif pour les caractéristiques assignées énergétiques de la varistance. Des exemples de cycles de fonctionnement typiques sont donnés en 4.4 de l'IEC 60143-2:2012. Voir également 10.5 de la présente norme.

Bien que ce paragraphe soit relatif aux cycles de fonctionnement liés aux défauts du réseau, il est sous-entendu que la batterie doit être conçue pour fonctionner en prenant en compte d'autres événements tels que l'insertion et la réinsertion selon les conditions définies par l'acheteur.

8 Exigences de sécurité

8.1 Dispositif de décharge

Chaque condensateur unitaire ou groupe de condensateurs unitaires en parallèle doit être équipé d'un dispositif permettant de le décharger à une tension résiduelle au plus égale à 75 V à partir d'une tension initiale égale à $\sqrt{2}\ U_N$. La durée maximale de décharge est de 10 min pour les condensateurs unitaires ou groupe de condensateurs unitaires en parallèle. Il ne doit y avoir aucun interrupteur, coupe-circuit à fusible ou autre dispositif d'isolement entre le ou les condensateurs unitaires et le dispositif de décharge (dispositif externe).

Les circuits de décharge doivent être dimensionnés de façon adéquate du point de vue transport de courant et absorption d'énergie pour décharger le condensateur à partir d'un niveau de tension égal à U_{pl} et aussi pour refermer automatiquement la ligne et la batterie de condensateurs série.

L'utilisation d'un dispositif de décharge ne dispense pas de mettre les bornes du condensateur en court-circuit et à la terre avant toute intervention.

Dans certains pays, des durées de décharge plus courtes et une tension résiduelle plus faible sont exigées. Dans ce cas, il convient que l'acheteur en informe le fabricant.

NOTE 1 Les conditions de fonctionnement sous une tension supérieure à la tension assignée peuvent provoquer l'apparition d'une tension résiduelle supérieure à 75 V après 10 min.

NOTE 2 Un défaut affectant une unité protégée par un coupe-circuit ou un amorçage à travers une partie de la batterie peut entraîner l'apparition de charges résiduelles locales dans le segment, qui ne peuvent pas être déchargées dans la durée spécifiée au moyen d'un dispositif de décharge raccordé entre les bornes du segment.

NOTE 3 Les exigences d'utilisation peuvent spécifier qu'il convient d'équiper la phase ou le segment d'un dispositif de décharge supplémentaire externe aux condensateurs unitaires.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

8.2 Connexions de cuve

Pour permettre de fixer le potentiel de la cuve métallique d'un condensateur unitaire et évacuer le courant de défaut en cas de claquage du condensateur à la cuve, celle-ci doit être équipée d'un moyen de raccordement convenant pour un écrou correspondant à une vis de dimension au moins égale à M 10 ou équivalente (par exemple supports avec surface de montage non peinte).

8.3 Protection de l'environnement

Lorsque les condensateurs contiennent des produits (par exemple des polychlorobiphényles) qu'il ne faut pas disperser dans l'environnement, les exigences légales du pays en question doivent être respectées (voir Annexe E).

8.4 Autres exigences de sécurité

L'acheteur doit spécifier, lors de l'appel d'offres, toute exigence spéciale résultant des règles de sécurité en vigueur dans le pays où le condensateur est à installer.

9 Marquage et manuels d'instructions

9.1 Marquage des condensateurs unitaires

9.1.1 Plaque signalétique

Les indications suivantes doivent être portées sur la plaque signalétique de chaque condensateur unitaire:

a) Le nom du constructeur.

b) Le numéro d'identification et l'année de fabrication; l'année peut faire partie du numéro d'identification ou être sous une forme codée.

c) Le courant assigné, I_N, en ampères.

d) La capacité assignée, C_N, en microfarads.

e) La fréquence assignée, f_N, en hertz.

f) La tension assignée, U_N, en volts ou en kilovolts.

g) La puissance assignée, Q_N, en kilovars.

h) La tension limite U_{lim}, en volts ou en kilovolts.

i) La catégorie de température.

j) Le dispositif de décharge, s'il est interne, doit être indiqué en toutes lettres ou par le symbole ou par la résistance assignée, en kilohms ou en mégohms.

k) Le niveau d'isolement, U_i, en kilovolts.

l) La présence éventuelle de coupe-circuit internes doit être indiquée en toutes lettres ou par le symbole (IEC 60417:2002-10).

m) La désignation chimique ou commerciale du produit d'imprégnation; cette information peut également être portée sur la plaque d'avertissement (voir 9.1.2).

n) La référence à l'IEC 60143-1 (avec l'année d'édition).

Un emplacement doit être réservé pour l'indication de la valeur de la capacité mesurée (voir 5.3.1). Cette valeur peut être indiquée de l'une des deux façons suivantes:

– par la valeur absolue de capacité qui peut remplacer la valeur de la capacité assignée;

– par la différence ΔC entre la capacité mesurée et la capacité assignée, indiquée, par exemple, à l'aide des symboles suivants applicables aux écarts de capacité:

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

++ pour ΔC compris entre +7,5 % et +4,5 %

+ pour ΔC compris entre +4,5 % et +1,5 %

+– pour ΔC compris entre +1,5 % et –1,5 %

– pour ΔC compris entre –1,5 % et –4,5 %

–– pour ΔC compris entre –4,5 % et –7,5 %.

Le niveau d'isolement peut être indiqué par deux nombres séparés par une barre, le premier nombre donnant la valeur de la tension assignée de tenue de courte durée à fréquence industrielle, en kilovolts, et le deuxième donnant la valeur de la tension assignée de tenue au choc de foudre, en kilovolts, par exemple 28/75 kV. Pour les condensateurs unitaires dont une borne est connectée en permanence à la cuve et qui ne sont pas soumis à essai selon les dispositions de 5.10 et 5.11, ces indications ne s'appliquent pas.

9.1.2 Plaque d'avertissement

Si le condensateur unitaire contient des produits qui risquent de polluer l'environnement ou qui peuvent être dangereux d'une autre façon (par exemple, produits inflammables), le condensateur unitaire doit être pourvu d'une étiquette ou d'un autre marquage correspondant aux lois applicables du pays ou de la région de l'utilisateur. L'acheteur doit informer le constructeur de la ou des lois en question (voir Annexe E).

9.2 Marquage des batteries de condensateurs

9.2.1 Notice d'instructions ou plaque signalétique

Les indications minimales suivantes doivent être données par le constructeur dans une notice d'instructions ou en variante, à la suite d'un accord contractuel, sur une plaque signalétique:

a) Le nom du constructeur.

b) La puissance assignée Q_N (par exemple 3 × 10 Mvar).

c) La réactance de chaque phase.

d) Le courant assigné I_N.

e) La surintensité admissible pendant 30 min (voir 10.3).

f) La tension assignée U_N.

g) La tension du niveau de protection U_{pl}.

h) Le niveau d'isolement par rapport à la terre.

i) La durée de la décharge de la phase de $\sqrt{2}\,U_N$ à 75 V.

j) Le type du dispositif de protection contre les surtensions (voir 5.1.3).

Si d'autres renseignements sont portés sur une notice d'instructions, la plaque signalétique (ou une autre plaque s'il n'y a pas de plaque signalétique) doit faire référence à cette notice d'instructions.

Si la batterie de condensateurs se compose de segments connectés en série, les points c), f), g) et i) doivent être spécifiés pour chaque segment.

Le niveau d'isolement peut être indiqué par deux nombres séparés par une barre, le premier nombre donnant la tension assignée de tenue de courte durée à fréquence industrielle (pour $U_m < 300$ kV) ou la tension assignée de tenue au choc de manœuvre (pour $U_m \geq 300$ kV), en kilovolts, et le deuxième nombre donnant la tension assignée de tenue au choc de foudre, en kilovolts, par exemple, 185/450 kV.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

9.2.2 Plaque d'avertissement

Le paragraphe 9.1.2 s'applique également aux batteries.

9.3 Manuel d'instructions

Les informations minimales suivantes doivent être fournies dans le manuel d'instructions de la batterie de condensateurs série:

a) Le nom du fournisseur
b) La batterie complète
   – la liste des caractéristiques assignées
   – les schémas généraux
c) L'équipement de puissance
   – la description
   – les caractéristiques assignées
   – les schémas d'encombrement
   – les procédures de maintenance
   – les pièces de rechange
d) La protection et la commande
   – la description du fonctionnement
   – les schémas
   – les procédures de maintenance
   – les procédures d'essai
   – les pièces de rechange.

10 Guide pour la sélection des caractéristiques assignées et pour l'installation et l'exploitation

10.1 Généralités

Puisque les condensateurs série réduisent la réactance de ligne inductive et, en conséquence, diminuent le déphasage des tensions aux extrémités de la ligne, ils sont utilisés dans les lignes de grande longueur de transport d'énergie, pour réduire la chute de tension et améliorer la stabilité du réseau, ce qui se traduit par une augmentation de la capacité de transmission de la ligne. Ils sont également utilisés pour régler la répartition de la puissance active entre les lignes fonctionnant en parallèle, afin de réduire les pertes totales de transport.

Par suite de leur action automatique et instantanée, les condensateurs série sont utilisés dans les lignes de distribution d'énergie pour réduire les fluctuations rapides de la tension dues à des fluctuations de charge. Voir référence [3]. En conséquence, dans la plupart des cas, la qualité de la tension du réseau est améliorée.

Par suite des fluctuations du courant de ligne, les condensateurs série sont soumis à de plus grandes variations de la tension entre bornes que les condensateurs shunt. En cas de court-circuit sur le réseau, l'élévation de la tension peut être telle qu'un condensateur unitaire conçu pour y résister serait peu économique. C'est pour cela que, dans la plupart des cas, les surtensions sont limitées par un dispositif de protection contre les surtensions, accordé en parallèle avec le segment ou la phase.

L'influence des condensateurs série sur le réseau et leurs conditions de service sont différentes pour la plupart des utilisations. Pour obtenir les meilleurs résultats techniques et

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

économiques, il convient que le constructeur et l'utilisateur étudient chaque cas particulier en étroite coopération en respectant les critères indiqués dans le présent article et le résultat de l'étude doit faire partie intégrante du contrat.

10.2 Réactance par ligne, réactance assignée par batterie et nombre de modules par batterie

10.2.1 Réactance capacitive par ligne

Habituellement, la compensation série d'une ligne de transmission est égale à un pourcentage fixe de la réactance inductive directe. Ce pourcentage se base sur l'examen (voir 10.8.3) du flux du réseau, de la stabilité du réseau, des courts-circuits et de la résonance hyposynchrone (SSR – subsynchronous resonance) en fonction:

– des tensions aux postes clés;
– du profil de la tension sur la ligne;
– des exigences de la stabilité dynamique du réseau;
– du flux du réseau sur branches parallèles;
– de considérations de la SSR à proximité des turbogénérateurs non hydrauliques.

Enfin, il convient de prendre en compte le coût du matériel puisque le coût de la compensation série augmente lorsque le niveau de compensation série croît.

Une compensation série supérieure peut généralement améliorer les performances du réseau mais peut exiger des mesures de réduction de la SSR coûteuses, si la compensation est proche de turbogénérateurs non hydrauliques avec un risque SSR. Basé sur ces considérations, un niveau fixé de la compensation série est sélectionné en premier lieu.

Pour plusieurs branches parallèles ou lignes de transmission, le niveau de compensation série est fixé de façon à éviter un flux de puissance inégal. Cependant dans certains cas, la compensation série peut servir à optimiser le flux de puissance sur des lignes parallèles ayant des caractéristiques assignées inégales de courant, pour faire circuler plus de puissance sur une des lignes ou branches.

La compensation en pourcentage peut être comprise, partout, entre 20 % et 80 % de l'impédance de ligne. La compensation série est généralement nécessaire sur des lignes de transmission longues pour améliorer la stabilité du réseau et les profils de tension. Cela peut s'appliquer sur des lignes courtes pour équilibrer les flux de puissance. Le taux de compensation série est maintenu au-dessous de 100 % car il est souhaitable que la ligne apparaisse comme une réactance inductive et que la résonance de la ligne de transmission reste au-dessous de la fréquence synchrone du réseau. Une compensation de ligne de 50 % sur une ligne de 300 km de long avec une impédance directe de ligne de 0,3 Ω/km nécessiterait une impédance capacitive série de 45 Ω (0,5 × 300 km × 0,3 Ω = 45 Ω). Il s'agit de la «réactance capacitive» des condensateurs série installés pour la compensation série de la ligne.

En général, la plupart des lignes de transmission sur lesquelles des condensateurs série ont été installés sont construites avec des transpositions de phase, et ainsi les réactances inductives des phases sont approximativement égales. Les réactances des batteries de condensateurs série sont fabriquées pour être approximativement égales, et ainsi les réactances nettes des phases de la ligne compensée sont également approximativement égales. Cette approche minimise les courants inverses. L'utilisation de condensateurs série sur lignes non transposées est possible. Cependant, la sélection de la réactance et des caractéristiques assignées du courant de chaque phase exige une considération particulière. Il convient que l'acheteur indique dans les spécifications si la ligne est non transposée.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

10.2.2 Nombre de batteries de condensateurs série sur une ligne de transmission

Le nombre de batteries sur une ligne dépend de la longueur de la ligne, du pourcentage de compensation et du courant de ligne. Il n'y a pas de valeurs normalisées de la réactance pour les batteries de condensateurs série. Si la ligne est longue et si le niveau de compensation ainsi que les niveaux de courant sont tous deux élevés, la réactance capacitive désirée par ligne est généralement installée soit sur deux batteries, une à chaque extrémité de ligne, ou bien sur une seule batterie placée au milieu de la ligne. L'emplacement en milieu de la ligne donne généralement un courant de défaut traversant plus faible, et nécessite une varistance de plus petite caractéristique assignée qu'un emplacement en bout de ligne. Cela est réalisé pour conserver un profil de tension raisonnablement acceptable sur la ligne de transmission, et dans certains cas pour limiter la tension aux bornes d'une seule batterie de condensateurs série. Durant les conditions de fort transfert de puissance, les condensateurs série provoquent généralement un saut de la tension sur la ligne de transmission. En principe, la réactance inductive de ligne provoque un saut de tension lorsque la puissance a une composante de courant réactif en retard, ce qui est souvent le cas dans les conditions de forte charge. Ce même courant à travers la réactance capacitive de la batterie de condensateurs série provoque une augmentation de tension d'échelon au niveau de la batterie. En divisant la réactance capacitive série et en la plaçant à deux emplacements sur la ligne, l'augmentation de tension d'échelon peut être divisée par deux, évitant ainsi des accroissements de tension excessifs dans le profil de tension de la ligne. En condition de charge réduite, le courant de charge de la ligne (capacitif) à travers le condensateur série se traduit par un saut de tension. Plus d'une batterie par ligne signifie également que toute la compensation de la ligne n'est pas perdue dans le cas où une des batteries est hors service.

Dans les utilisations où la ligne est plus courte ou le niveau de compensation est plus faible ou le courant assigné est plus faible, seule une batterie par ligne est généralement prévue.

10.2.3 Nombre de modules d'une batterie de condensateurs

La plupart des batteries de condensateurs série sont configurées avec un seul module. C'est généralement la configuration la plus économique à moins que les exigences de réactance et de courant soient telles que la tension aux bornes de la batterie qui en résulte est difficilement réalisable en un seul module par le fournisseur. Le fournisseur peut alors choisir de configurer la batterie avec deux modules.

Cependant, dans certains cas, il peut être souhaitable de séparer la batterie en deux modules afin d'obtenir un meilleur contrôle du flux sur le réseau. Les avantages du contrôle du flux de puissance peuvent l'emporter sur les coûts du matériel supplémentaire imposé par une batterie à deux modules. De plus, une batterie avec deux modules peut apporter une compensation partielle si l'autre module est à mettre hors service. Cependant, avec une batterie à deux modules, il est impossible de maintenir le matériel sur la plate-forme de l'un des modules sans mettre la batterie entière hors service.

Il convient que l'acheteur indique dans les spécifications si plus d'un module par batterie est nécessaire.

10.2.4 Exigences futures pour les condensateurs série

Lors de la sélection des caractéristiques assignées de la batterie de condensateurs série, il convient de considérer les exigences futures telles que le pourcentage de compensation supérieur, le transfert de puissance supérieur, les courants de défaut supérieurs, etc.

Il convient que l'acheteur indique dans les spécifications l'estimation des possibilités de fonctionnement de la batterie, initialement fournie, pour les exigences de service futures.

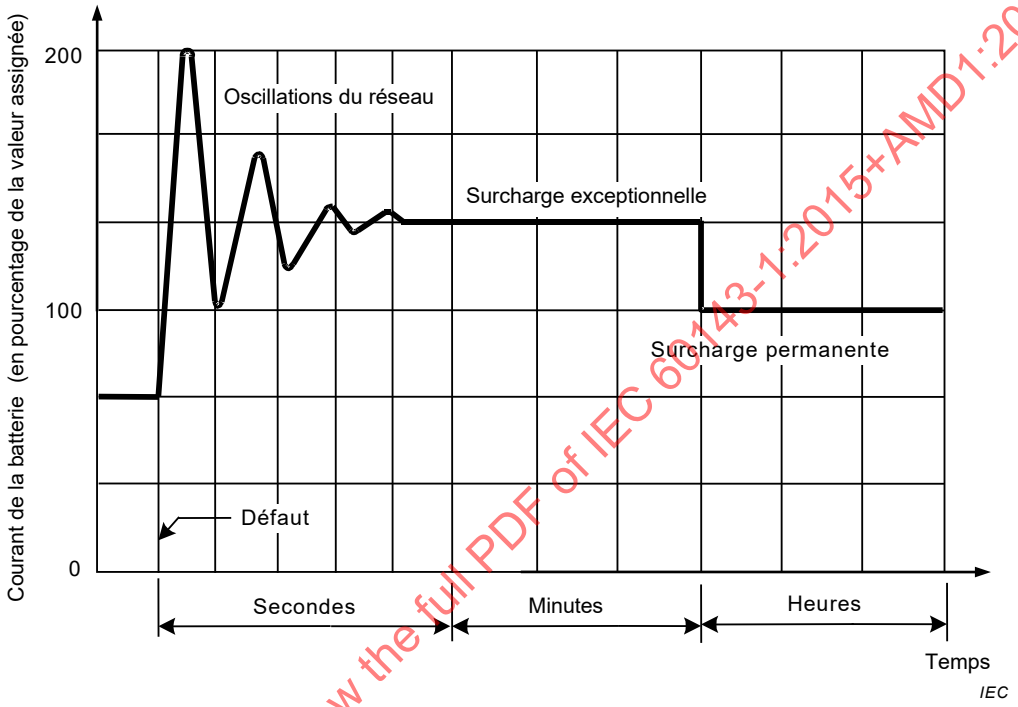
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

10.3 Caractéristiques assignées de courant pour la batterie

10.3.1 Généralités

Il convient que l'acheteur spécifie les courants permanents, de surcharge exceptionnelle et d'oscillation exigés par l'application. Il convient de définir ces courants lorsque la batterie est insérée sur le réseau. En fonctionnement shunté, il convient que les courants permanents et de surcharge exceptionnelle soient aussi spécifiés, puisqu'ils sont généralement différents de ceux en fonctionnement inséré sur le réseau.

Ces courants et leurs temps d'établissement respectifs sont illustrés à la Figure 5.



NOTE Le courant de défaut n'est pas indiqué.

Figure 5 – Représentation du courant-temps typique d'une batterie de condensateurs série insérée sur un réseau après le défaut et l'élimination d'une ligne en parallèle

10.3.2 Surcharge typique d'une batterie et caractéristiques du courant d'oscillation

Dans la mesure où une batterie de condensateurs série est placée en série sur la ligne, elle peut être exposée à une large gamme de courants. Par conséquent, les batteries sont conçues pour supporter au moins les trois types de courants assignés du Tableau 10. Sont énumérées pour chaque catégorie les amplitudes typiques des courants par rapport au courant assigné et les durées typiques des courants. Pour obtenir la conception optimale, il convient que l'acheteur analyse les exigences du réseau et spécifie les caractéristiques assignées du courant de la batterie sur la base de ces exigences.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Tableau 10 – Caractéristiques typiques du courant de surcharge et d'oscillation d'une batterie

Courant	Durée	Valeurs typiques par unité pu	Valeurs les plus communes par unité pu
Assigné	Permanente	1,0	1,0
1,1 × assigné	8 h sur une période de 12 h	1,1	1,1
Surcharge exceptionnelle (I_{EL})	30 min 10 min	1,2 à 1,6 1,4 à 1,7	1,35 1,50
Oscillations du réseau	1 s à 10 s	1,7 à 2,5	1,7 à 2,0

Dans certains cas, la surcharge exceptionnelle est définie pour une période de 10 min ou de 4 h plus grande et plus petite que les valeurs par unité figurant dans le Tableau 10. La surcharge exceptionnelle de 30 min est plus couramment spécifiée. On peut attendre raisonnablement d'un condensateur qu'il supporte, durant sa durée de service normale, 300 fois de telles surcharges. La protection et le système de contrôle de la batterie limitent habituellement la surcharge à la valeur spécifiée en activant le commutateur de shuntage.

La valeur spécifiée pour la surcharge de 30 min peut influencer la conception et le coût du condensateur et de la varistance. Pour avoir des courants de surcharge de 30 min au-dessus de 1,6 pu, le constructeur est probablement contraint d'augmenter le courant permanent maximal admissible des condensateurs unitaires. De plus, le niveau de protection de la batterie sera lui aussi probablement supérieur.

Il convient de noter que le courant de surcharge de 30 min (I_{EL}) spécifié par l'acheteur est utilisé pour établir la tension (U_{EL}) pour l'«essai de fonctionnement à froid» du condensateur unitaire et pour l'«essai de tenue et de stabilité de la tension à fréquence industrielle» de la varistance (voir l'IEC 60143-2), sauf spécification contraire de l'acheteur.

10.3.3 Analyse pour déterminer les caractéristiques assignées du courant permanent et de surcharge exceptionnelle

Les caractéristiques assignées du courant permanent et de surcharge exceptionnelle d'une batterie de condensateurs série sont généralement déterminées en suivant l'une des trois approches suivantes:

- Le réseau est supposé subir ses pires événements pratiques imprévus et le transfert de puissance maximal à travers la batterie est analysé en utilisant un programme de contrôle de flux sur ordinateur. La batterie est sélectionnée pour avoir une caractéristique assignée stable durant ces événements imprévus de transfert. Avec cette approche, la batterie n'a pas besoin d'avoir de caractéristique assignée significative de surcharge exceptionnelle parce que les forts courants ne sont pas réalistes.
- Le réseau est supposé être dans des conditions normales et le transfert de puissance maximal à travers la batterie est analysé en utilisant un programme de contrôle de flux. La batterie est sélectionnée pour avoir une caractéristique assignée de courant permanent correspondant au transfert normal de puissance. La caractéristique assignée du courant de surcharge exceptionnelle est établie en analysant le courant à travers la batterie durant les événements imprévus du réseau, notamment l'indisponibilité des circuits parallèles. Il convient que cette caractéristique assignée vienne directement de cette étude. Cependant, si de telles indisponibilités se traduisent par un rapport de la caractéristique assignée du courant de surcharge exceptionnelle à la caractéristique assignée du courant permanent qui est supérieur à la valeur la plus haute du Tableau 10, il convient que la caractéristique assignée du courant permanent de la batterie soit augmentée en conséquence. Une attention particulière doit être portée sur la durée du courant de surcharge exceptionnelle.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

- La caractéristique assignée du courant permanent de la batterie est sélectionnée pour être égale au courant de charge thermique maximal de la ligne de transmission. Dans ce cas, le courant de surcharge exceptionnelle de la batterie peut être sélectionné pour être cohérent avec la capacité de surcharge thermique temporaire de la ligne. Dans ce cas aussi, si le rapport de la caractéristique assignée du courant de surcharge exceptionnelle à la caractéristique assignée du courant permanent est supérieur à la valeur la plus haute du Tableau 10, il convient que la caractéristique assignée du courant permanent de la batterie soit augmentée.

10.3.4 Analyse pour déterminer la caractéristique assignée du courant d'oscillation

Le courant d'oscillation est généralement déterminé à l'aide d'un programme d'analyse informatique de stabilité dynamique. L'analyse est réalisée durant les défauts et les événements imprévus du réseau conduisant au plus fort courant d'oscillation dans la batterie. Il est particulièrement important de considérer l'indisponibilité des circuits parallèles.

Si les courants sont au-dessous de 1,7 pu de la caractéristique assignée du courant permanent de la batterie, l'incidence de la conception de la batterie est faible. Les courants supérieurs à 1,7 pu peuvent avoir une incidence significative sur la conception et par conséquent l'amplitude et la forme d'onde du courant doivent être définies attentivement dans la spécification.

10.4 Exigences pour la protection contre les surtensions

En général, il est recommandé que le fournisseur puisse sélectionner le niveau de protection de façon à optimiser au mieux le matériel. Cependant, si l'acheteur a analysé telle ou telle considération du réseau en termes de SSR ou TTR de disjoncteur de ligne (voir 10.8), et qu'il dispose d'une exigence établie pour le niveau de protection, il convient que cette exigence soit incluse dans la spécification. Des niveaux de protection typiques vont de 2,0 pu à 2,5 pu pour les protections contre les surtensions de Type M et au-delà pour les protections contre les surtensions de Type K (voir 5.1.3).

Il convient que l'acheteur définisse le type de matériel de protection contre les surtensions. De plus, il convient que les exigences pour le matériel durant et après les défauts de ligne internes et externes soient définies. De plus amples informations sur ce point sont données dans l'IEC 60143-2.

10.5 Limitations de tension durant les défauts du réseau

10.5.1 Généralités

La batterie de condensateurs série doit avoir un moyen de limiter la tension aux bornes de chaque segment ou sous-segment durant les défauts du réseau. Il faut que le dispositif de protection limite la valeur crête de la tension à fréquence industrielle au niveau de protection pour tous les défauts du réseau ou les autres conditions spécifiées par l'acheteur. Chaque segment ou sous-segment doit être capable de supporter les tensions, ainsi limitées par le dispositif de protection, et établies par le fournisseur ou spécifiées par l'acheteur.

L'amplitude de tension du niveau de protection du dispositif de protection d'un segment a la relation suivante avec la tension assignée du segment:

$$U_{\mathrm{PL}} = (\mathrm{pu})\, U_{\mathrm{R}} \sqrt{2}$$

où

U_{PL} est la valeur crête de l'amplitude de tension du niveau de protection;

U_{R} est la tension assignée efficace du segment;

pu est le rapport (par unité) de l'amplitude du niveau de protection.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

10.5.2 Limitation de tension lorsque l'inductance entre le dispositif primaire de protection contre les surtensions et les condensateurs n'est pas significative

10.5.2.1 Généralités

Ce qui suit est applicable lorsque l'inductance entre le dispositif primaire de protection contre les surtensions et les condensateurs n'est pas significative.

10.5.2.2 Éclateur amorcé par une tension

Dans le cas où le dispositif de protection est un éclateur amorcé par une tension, le niveau de protection est la tension maximale d'amorçage à fréquence industrielle de l'éclateur. Pour un système de protection basé sur plus d'un éclateur, le niveau de protection est la tension maximale d'amorçage à fréquence industrielle de l'éclateur avec la tension d'amorçage la plus élevée. Comme c'est souvent le cas, il convient que l'inductance de la bobine d'inductance limitant le courant de décharge soit suffisamment basse pour que, durant n'importe quel défaut spécifique du réseau, la tension aux bornes du segment soit inférieure au niveau de protection.

10.5.2.3 Varistance sans éclateur shunt à déclenchement forcé

Pour un système de protection basé sur une varistance et pas d'éclateur shunt, le niveau de protection est basé sur le courant le plus élevé qui circulera à travers la varistance dans les conditions spécifiques de défaut du réseau. Ce courant le plus élevé est soit spécifié par l'acheteur soit déterminé par les simulations informatiques réalisées par le fournisseur basées sur les informations du réseau fournies par l'acheteur. L'inductance de la portion située entre la varistance et les condensateurs n'est pas un facteur significatif.

10.5.2.4 Varistance avec éclateur shunt à déclenchement forcé

~~Dans le cas d'un dispositif de protection constitué d'une varistance et d'un éclateur shunt à déclenchement forcé, il convient que le courant coordonné de varistance sélectionné pour définir le niveau de protection soit basé sur l'un ou l'autre des points suivants:~~

~~1) Le courant de la varistance maximale dans n'importe quelle condition de défaut prenant en compte la logique de commande du système de déclenchement de l'éclateur et les temporisations associées.~~

~~2) Le seuil de courant de la varistance pour lequel l'éclateur est déclenché. Pour des défauts internes près de la batterie, le courant à travers la varistance excède brièvement ce seuil de courant, et la tension associée de la varistance est en conséquence supérieure. Cette augmentation de la tension est permise, à condition que celle-ci se fasse en moins de 1 ms et que l'amplitude de la tension n'excède pas 90 % de la valeur d'essai en production continue aux bornes du condensateur ou 90 % de la valeur crête de tenue à fréquence industrielle du système d'isolation du segment.~~

~~La valeur sélectionnée pour le courant coordonné de varistance peut dépendre des exigences d'application de l'acheteur et fait l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'acheteur. Ces amplitudes de courant sont déterminées sur la base de simulations informatiques.~~

Dans le cas d'un dispositif de protection constitué d'une varistance et d'un éclateur shunt à déclenchement forcé, le courant coordonné de varistance choisi pour définir le niveau de protection doit être fondé sur le courant de varistance maximal dans n'importe quelle condition de défaut prenant en compte la logique de commande du système de déclenchement de l'éclateur et les temporisations associées.

10.5.3 Limitation de tension lorsque l'inductance entre le dispositif primaire de protection contre les surtensions et les condensateurs est significative

Dans certaines applications, il existe une inductance significative entre le dispositif primaire de protection et les condensateurs étant protégés. Cela crée la possibilité que, durant un

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

défaut du réseau, la tension aux bornes des condensateurs soit significativement supérieure à la tension maximale aux bornes du dispositif de protection.

Une configuration de circuit qui crée cette possibilité est celle où la bobine d'inductance limitant le courant de décharge est connectée en série avec les condensateurs. Si une varistance est le dispositif primaire de protection et qu'elle est connectée suivant une association série de la bobine d'inductance et des condensateurs, la tension aux bornes des condensateurs peut être supérieure à la tension limitée par la varistance. L'amplitude de la différence en tension dépend de l'inductance de la bobine d'inductance et du courant de défaut disponible depuis le réseau. Si cette configuration de circuit est utilisée, il convient que le fournisseur réalise des simulations informatiques pour établir l'amplitude de la tension aux bornes des condensateurs durant les défauts du réseau spécifiés par l'acheteur. Il convient que l'amplitude de la tension des condensateurs soit utilisée comme U_{lim} efficace en déterminant l'essai diélectrique entre bornes sur les condensateurs unitaires et la coordination de l'isolement pour l'assemblage de condensateurs.

10.6 Dispositifs de protection et de commutation

10.6.1 Coupe-circuit des condensateurs

Trois types différents de coupe-circuits s'appliquent aux batteries de condensateurs série:

– batterie de condensateurs avec coupe-circuit interne;
– batterie de condensateurs avec coupe-circuit externe;
– batterie de condensateurs sans coupe-circuit.

Voir l'Annexe C pour les détails.

Les exigences détaillées pour les coupe-circuit externes se trouvent à l'Annexe A.

10.6.2 Autres dispositifs

Les autres dispositifs sont traités par l'IEC 60143-2.

10.6.3 Schémas de connexion

Quelques exemples de schémas de connexion sont décrits à l'Annexe D.

10.7 Choix du niveau d'isolement

10.7.1 Cas normaux

a) Il convient que l'acheteur spécifie le niveau d'isolement, les lignes de fuite et distances d'isolement dans l'air entre la phase et la terre et entre les phases.

b) Il convient que le fournisseur mette en œuvre les niveaux d'isolement, les lignes de fuite et distances d'isolement dans l'air sur la plate-forme en appliquant les procédures décrites en 6.1.3, 6.2 et 6.3.

10.7.2 Altitude supérieure à 1 000 m

Les niveaux d'isolement choisis conformément à 6.1 peuvent être trop faibles pour assurer l'isolation externe à une altitude supérieure à 1 000 m (voir Article 4). Il convient que l'acheteur spécifie les niveaux d'isolement du réseau corrigés pour l'altitude requis, c'est-à-dire de la plate-forme à la terre et entre phases.

Les niveaux d'isolement pour les isolateurs et l'équipement sur la plate-forme doivent être basés sur les exigences spécifiées en 6.1.3 mais en appliquant les facteurs de correction

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

d'altitude. La correction d'altitude est appliquée en multipliant la tension à fréquence industrielle requise par le facteur de correction d'altitude.

Le facteur de correction d'altitude K_{altitude} est déduit de l'altitude h selon 2.2.1 de l'IEC 62271-1:2007 pour les appareils et selon 4.2.2 de l'IEC 60071-2:1996 pour la distance dans l'air des jeux de barres.

Facteur de correction d'altitude pour les appareils

$$K_{\text{altitude}} = 1 \qquad h \leq 1\,000$$

$$K_{\text{altitude}} = e^{m\cdot(h-1000)/8150} \qquad h > 1\,000$$

où m = 1,0 pour la tension à fréquence industrielle de courte durée.

Facteur de correction d'altitude pour la distance dans l'air des jeux de barres

$$K_{\text{altitude}} = e^{m\cdot h/8150}$$

où m = 1,0 pour la tension à fréquence industrielle de courte durée.

La distance dans l'air doit être corrigée à partir de l'altitude zéro et calculée selon les dispositions de G.1 de l'IEC 60071-2:1996. La tension de tenue U_{90} (valeur efficace) au niveau de la mer pour une distance donnée d est donnée par:

$$U_{90} = 0{,}9 \cdot 750 \cdot \ln(1 + d^{1.2})$$

10.8 Correction de longue ligne

La correction de longue ligne doit être considérée pour le calcul de la réactance série de ligne de transmission et par conséquent de la réactance des condensateurs série pour un degré donné de compensation:

$$Z_C = \sqrt{\frac{z}{y}} = \sqrt{\frac{r + jx}{g + jb}}$$

$$\gamma = \sqrt{z \cdot y} = \sqrt{(r + jx)(g + jb)}$$

$$Z_L = Z_C \cdot \sinh(\gamma \cdot L)$$

où:

Z_c est l'impédance caractéristique de la ligne de transmission (ohm);

γ est la constante de propagation de la ligne de transmission (km^{-1});

Z_L est l'impédance série directe totale corrigée pour la longue ligne de la ligne de transmission (ohm);

z est l'impédance de ligne par unité de longueur, $z = r + jx$ (ohm/km);

y est l'admittance de ligne par unité de longueur, $y = g + jb$ (S/km);

L est la longueur de la ligne (km).

Exemple

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Une ligne de transmission a une longueur totale L = 328 km. Elle a une réactance × = 0,311 Ω/km, une résistance r = 0,0189 Ω/km et une admittance b = 5,344 μS/km. La ligne doit être compensée en série avec un degré de compensation de 30 %. Calculer la réactance capacitive X_N du condensateur série.

Solution:

En appliquant la correction de longue ligne, l'impédance série totale de la ligne de transmission est calculée comme suit:

$$Z_L = Z_C * \sinh(\gamma*328) = (5{,}83 + j99{,}0)\ \Omega$$

où

$$Z_C = (241{,}4 - j\ 7{,}3)\ (\Omega)$$

$$y = \alpha + j\beta = (3{,}92*10^{-5} + j\ 1{,}29*10^{-3)}\ \text{(nepers/km; rad/km)}$$

La réactance des condensateurs série devient

$$X_N = 30/100\ *99{,}0 = 29{,}7\ \Omega.$$

À noter que sans la correction de longue ligne, l'impédance de la ligne de transmission serait devenue 328*(0,0189 + j0,311) = 6,20 + j102,0 Ω et la réactance des condensateurs série résultante 0,3*102.0 = 30,6 Ω.

10.9 Autres considérations sur les applications

10.9.1 Généralités

Les condensateurs série peuvent accroître les niveaux de transfert de puissance des réseaux de transmission et de distribution. Cependant, il convient que l'utilisation de ces matériels respecte les points ci-dessous.

10.9.2 Ferrorésonance

Par suite des effets de saturation dans le noyau magnétique d'un transformateur, le courant d'appel dans les transformateurs peut engendrer des oscillations résonnantes entretenues. Ce phénomène peut se produire lorsqu'un transformateur à vide ou une bobine de réactance shunt est enclenché(e) en période de faible charge sur un réseau à compensation série, en particulier à la suite d'une réjection de charge. L'occurrence de ce phénomène dépend fortement de la topologie du réseau. Cela peut être important pour les circuits radiaux, compensés en série, notamment dans les applications de distribution avec condensateurs série.

Dans ces circuits où ce phénomène est possible, les stratégies de commutation pour les condensateurs série et le réseau peuvent être mises en œuvre. Par exemple, les condensateurs série peuvent être déconnectés avant l'alimentation du circuit et rester déconnectés quelques secondes pour laisser le phénomène d'appel du transformateur se tasser et ensuite réinsérer.

10.9.3 Résonance hyposynchrone

La résonance hyposynchrone (SSR) est un phénomène d'oscillation d'un arbre électromécanique à une fréquence hyposynchrone qui peut apparaître entre un condensateur série et un ou plusieurs turbogénérateurs à proximité. Le phénomène peut

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

être critique pour l'application de condensateurs série lorsque les conditions suivantes existent:

– le turbogénérateur est connecté ou peut être connecté de telle façon que seule la portion significative de transfert de puissance au reste du réseau dispose de condensateurs série;
– la fréquence mécanique de l'oscillation du turbogénérateur complète la fréquence électrique du réseau compensé en série; et à cette fréquence;
– l'oscillation mécanique interagit sur le système électrique à travers le générateur.

Dans la plupart des applications de système de transmission, des études sont réalisées pour évaluer la fréquence et l'amortissement des oscillations hyposynchrones vus depuis le turbogénérateur. Des études peuvent aussi être nécessaires pour mettre en évidence l'impact des condensateurs série sur les arbres de torsion du turbogénérateur durant les perturbations. Dans les applications où les études montrent qu'un problème peut exister, une réduction du niveau de compensation à des valeurs telles que 35 % ou une déconnexion sélective pour certaines topologies de réseau sont généralement prises en compte. Si ces mesures sont insuffisantes ou peu attrayantes du point de vue du transfert de puissance, alors d'autres contre-mesures peuvent être appliquées. L'utilisation d'un filtre de blocage ou d'un stabilisateur dynamique avec le générateur, ou l'utilisation de condensateurs série commandés par thyristors avec la stratégie de commande et de protection appropriée, peut être considérée. Ces contre-mesures nécessitent une étude plus étendue et un investissement en matériel plus important.

Une contre-mesure simple consiste à installer une protection sur le turbogénérateur pour évaluer le mouvement de torsion ou le courant d'induit. Le turbogénérateur est mis en marche si les seuils sont dépassés.

La SSR ne s'avère pas être une solution pour les turbogénérateurs hydrauliques.

10.9.4 Protection du réseau au moyen de relais

Il convient de prêter attention au fait qu'un condensateur série peut perturber le fonctionnement des relais utilisés pour protéger le réseau, en particulier ceux destinés à la protection par mesure d'impédance. Si les études de protection montrent que la protection par relais existante a besoin d'être remplacée, un nombre de dispositifs appropriés spécialement conçus pour les lignes compensées en série est disponible.

10.9.5 Affaiblissement de la transmission des courants porteurs

Une batterie de condensateurs série peut augmenter l'affaiblissement de la transmission des courants porteurs qui circulent sur une ligne, en fonction de la position et des paramètres des circuits d'amortissement. Dans certains cas, les dispositifs de couplage associés sont installés sur la partie de la ligne des condensateurs série.

10.9.6 Lignes de transmission non transposées

Les lignes de transmission non transposées ont des taux de déséquilibre importants, spécialement des déséquilibres inverses. L'addition de condensateurs série avec des réactances égales sur l'ensemble des trois phases augmente le déséquilibre inverse. Si cela provoque de forts courants inverses dangereux dans les machines synchrones, il convient de contrôler soigneusement si cette ligne de transmission se termine par une centrale électrique.

Les batteries de condensateurs série peuvent être conçues avec des réactances différentes pour chaque phase qui peuvent être utilisées pour réduire les courants inverses dans les lignes non transposées. Cependant, une telle approche peut augmenter les courants homopolaires.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

10.9.7 Courants harmoniques du réseau

Lorsque le commutateur de shuntage de la batterie de condensateurs série est en position fermée, le circuit résultant consiste en une bobine d'inductance à courant limité en parallèle avec le condensateur. Ce circuit a une fréquence de résonance naturelle qui est habituellement comprise dans la gamme de 600 Hz à 1 200 Hz. Si le commutateur de shuntage est en position fermée et s'il y a un courant harmonique significatif dans la ligne de transmission, un fort courant harmonique peut circuler dans la bobine d'inductance/le circuit de condensateurs. Il est possible que ce courant harmonique puisse surchauffer la bobine d'inductance.

Dans certaines applications, une batterie de condensateurs série peut fonctionner avec le commutateur de shuntage fermé. Cela peut être important si la ligne compensée en série est placée près d'une borne à courant continu à haute tension (CCHT) ou d'un compensateur statique (SVC – static var compensator) et que la compensation série est à réaliser avec le commutateur de shuntage fermé durant de longues périodes de temps. Les courants harmoniques permanents du réseau sont considérés en situation anormale par la présente norme et par conséquent, si cela se présente sur le réseau, il convient que ce soit spécifié par l'acheteur. Dans un tel cas, il convient que le fournisseur sélectionne la valeur appropriée de l'inductance et de la capacité de la bobine d'inductance en cohérence avec les harmoniques spécifiés du réseau. Si ce n'est pas réalisable, l'emplacement de la bobine d'inductance en série avec les condensateurs peut être considéré.

10.9.8 TTR aux bornes des disjoncteurs de ligne

L'application d'une compensation série dans les systèmes de transmission EHV peut augmenter les tensions transitoires de rétablissement (TTR) aux bornes des disjoncteurs de ligne lorsque le courant est interrompu. Cette augmentation de la TTR peut dépasser les valeurs normalisées de disjoncteurs de ligne. La TTR aux bornes des disjoncteurs de ligne est un facteur qu'il convient de prendre en considération dans les applications de compensation série d'un système de transmission. Un programme informatique tel que EMTP peut être utilisé pour déterminer les tensions de rétablissement. L'amplitude des tensions de rétablissement peut être influencée par la topologie du réseau.

Les approches pour réduire la TTR incluent le shuntage rapide du condensateur série pour les défauts internes, parafoudres phase-terre et parafoudres par interrupteurs disjoncteurs. Dans certains cas, les disjoncteurs de ligne peuvent avoir une plus grande capacité que celle indiquée dans les normes. Les résistances ouvertes dans les disjoncteurs de ligne réduisent aussi la TTR. Dans certains cas, les disjoncteurs de ligne sont remplacés par des disjoncteurs avec une plus forte capacité de TTR.

10.9.9 Croisement nul du courant de ligne retardé

Les études de lignes de compensation série à 800 kV indiquent la possibilité de croisements retardés nuls dans la forme d'onde du courant de défaut conduit à travers les disjoncteurs de ligne. Ces études montrent que les croisements nuls peuvent être retardés aussi souvent que tous les sept cycles à 60 Hz pour une combinaison très inhabituelle de conditions. Les études d'applications de condensateurs série sur réseaux à tensions inférieures à 800 kV n'ont pas indiqué la présence de ce phénomène. Ces systèmes ont habituellement des rapports X/R plus petits et donc plus d'amortissement.

Il n'y a pas eu de rapport d'observation de ce phénomène sur un quelconque réseau à compensation série.

10.9.10 Courant d'arc secondaire prolongé

Beaucoup de lignes de transmission à compensation série ont des longueurs considérables et par conséquent ont des bobines d'inductance shunt qui sont connectées à la ligne. Lorsqu'un défaut de ligne interne apparaît avec les disjoncteurs de ligne ouverts, il existe la possibilité d'une légère oscillation amortie entre les condensateurs série et les bobines d'inductance

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

shunt. L'apparition de cette oscillation dépend de l'emplacement relatif de la bobine d'inductance shunt et du condensateur série.

Si les condensateurs série sont placés vers le milieu de la ligne relative à la bobine d'inductance shunt, la charge piégée présente sur le condensateur série après l'interruption du disjoncteur de ligne peut créer un courant de faible fréquence (10 Hz) à travers le condensateur série, la bobine d'inductance de ligne et la partie où l'arc s'est produit. Dans la mesure où la résistance dans la boucle peut être faible, l'oscillation de courant peut être légèrement amortie et prolonger la durée du courant d'arc secondaire durant le temps mort suivant la disparition du défaut, particulièrement lorsque le déclenchement unipolaire et la refermeture à vitesse rapide s'appliquent. La résistance d'arc du défaut peut augmenter l'amortissement. Le shuntage des condensateurs série avant que le courant à fréquence faible et significative se développe dans la bobine d'inductance limite ce phénomène.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Annexe A
(normative)

Exigences d'essai et guide d'application pour coupe-circuit externes et unités à protéger par coupe-circuit externes

A.1 Vue d'ensemble

L'Annexe A s'applique aux coupe-circuit à fusibles externes utilisés avec les condensateurs série.

Aucune norme IEC n'est consacrée aux coupe-circuit externes utilisés pour protéger les condensateurs série. Toutefois, l'IEC 60549 peut être utilisée comme document de base lorsqu'elle est dûment appliquée. Par exemple, le choix de la tension assignée et du courant assigné du coupe-circuit doit être basé sur les surcharges admissibles (voir 7.1 et 10.3) et leur comportement en présence de courants de décharge doit être basé sur celui des condensateurs série.

A.2 Objectifs

Les objectifs de cette annexe sont

– de spécifier les règles relatives aux essais et aux caractéristiques de fonctionnement des coupe-circuit à fusibles externes,
– de servir de guide d'utilisation des coupe-circuit à fusibles externes.

A.3 Termes utilisés dans l'Annexe A

Pour les termes utilisés dans cette annexe, les termes figurant dans l'IEC 60549:2013 et la définition 3.10 de la présente norme s'appliquent.

A.4 Exigences relatives au fonctionnement

a) Les exigences relatives au fonctionnement du coupe-circuit doivent en principe être conformes à celles de l'IEC 60549 dûment appliquée au cas des condensateurs série.
b) Le coupe-circuit externe doit fonctionner correctement aux tensions comprises entre 0,5 U_N et U_{lim}.
c) Les coupe-circuit externes doivent supporter les surintensités indiquées en 7.1 et 10.3 et les conditions propres à l'essai de stabilité thermique (voir 5.9). Le coupe-circuit destiné à une unité (ou condensateur unitaire) doit être dans le circuit (et l'enceinte thermique) pendant l'essai de stabilité thermique ou il peut être soumis séparément à un essai de type, dans des conditions comparables ou plus difficiles.
d) Les coupe-circuit externes doivent supporter les courants atteints pendant l'essai de courant de décharge (voir 5.13). Le coupe-circuit destiné à une unité doit être dans le circuit pendant l'essai de courant de décharge ou il peut être soumis séparément à un essai de type, dans des conditions comparables ou plus difficiles.
e) Les coupe-circuit externes destinés à des groupes d'unités doivent être soumis séparément à un essai de type, dans les mêmes conditions que celles décrites ci-dessus. Les conditions électriques du coupe-circuit doivent être les mêmes que si c'était le groupe complet d'unités avec coupe-circuit qui était soumis à l'essai.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

f) Après le fonctionnement d'un coupe-circuit externe, les exigences du niveau d'isolement (voir 6.1) s'appliquent soit au coupe-circuit lui-même soit à la distance d'isolement créée. Pour un coupe-circuit externe qui n'a pas été déconnecté physiquement après son fonctionnement, les exigences concernant la ligne de fuite (voir 6.2) sont également applicables.

g) Pour un coupe-circuit externe qui est équipé d'un dispositif qui déconnecte physiquement le fusible après son fonctionnement et/ou pour un coupe-circuit externe qui émet des gaz (ou autres matériaux) pendant son fonctionnement, les conditions d'isolement à l'intérieur de la batterie doivent être considérées également pendant la période de fonctionnement du coupe-circuit.

A.5 Essais

A.5.1 Essais de coupe-circuit

Pour les essais de coupe-circuit, voir l'IEC 60549.

A.5.2 Essais de type sur la cuve du condensateur

A l'étude.

A.6 Guide pour la coordination de la protection par coupe-circuit

A.6.1 Généralités

Chaque coupe-circuit est raccordé en série avec une unité ou avec un groupe d'unités qu'il est destiné à isoler si un défaut survient dans cette unité.

Selon la disposition de la batterie sur une phase et les connexions internes de l'unité, le courant qui traverse l'unité défectueuse par suite du défaut augmenté du courant provoqué par la décharge de l'énergie emmagasinée dans les unités connectées en parallèle avec l'unité défectueuse n'est habituellement pas suffisant pour que le coupe-circuit fonctionne tant que plusieurs des éléments connectés en série dans l'unité défectueuse ne sont pas claqués. Pour s'assurer que le coupe-circuit fonctionne en isolant l'unité complètement en défaut, il convient que le coupe-circuit soit calibré de manière à fonctionner quand il est uniquement soumis à la surintensité à fréquence industrielle résultante à 0,5 fois le courant assigné de la ligne qui traverserait l'unité partiellement en court-circuit.

Le déclenchement d'un ou de plusieurs coupe-circuit entraîne une modification de la répartition des tensions dans la batterie d'une phase. Il convient que ni la tension aux bornes des unités saines ne dépasse la valeur indiquée en 7.1 ni qu'elle ne soit présente plus longtemps que la durée correspondante indiquée en 7.1. Sauf prise de dispositions pour la déconnexion de la batterie afin de satisfaire à cette exigence, il convient que toutes les unités de la batterie aient des caractéristiques assignées appropriées aux conditions de service les plus sévères qui découlent de la déconnexion d'unités provoquée par le fonctionnement de leur(s) coupe-circuit.

En ce qui concerne les unités munies d'éléments connectés en série, la perforation d'un élément provoque des modifications de la répartition des tensions dans la batterie et dans l'unité, avant le fonctionnement des coupe-circuit. Il convient de considérer également ces variations de la tension concernant le fonctionnement séquentiel du dispositif de protection de la batterie.

A.6.2 Séquence de protection

Il convient que le dispositif de protection d'une batterie de condensateurs série fonctionne en séquence. Habituellement, la première étape est le fonctionnement du coupe-circuit de

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

l'unité ou du groupe. La deuxième étape est la protection de la batterie par le relais (par exemple protection de déséquilibre). La troisième étape peut être la protection du réseau.

Selon la puissance de la batterie, la conception du dispositif de protection par relais, etc., toutes ces étapes ne sont pas nécessairement utilisées dans toutes les batteries de condensateurs série. Pour les batteries de forte puissance, une étape d'alarme peut également être utilisée.

A moins que le coupe-circuit fonctionne toujours par suite de la décharge de l'énergie emmagasinée dans la plage de tensions comprise entre 0,5 $\sqrt{2}\ U_N$ et $\sqrt{2}\ U_{lim}$, il convient que le constructeur fournisse la caractéristique temps-courant du coupe-circuit ainsi que ses tolérances.

NOTE Dans certains cas, la protection de déséquilibre est plus sensible que les coupe-circuit, le fonctionnement de ces derniers n'intervenant, par exemple, que lors du contournement de la traversée ou du claquage complet du diélectrique de l'unité. Dans ce cas, la protection de déséquilibre constitue la première étape et le ou les coupe-circuit constituent la protection auxiliaire.

A.7 Choix des coupe-circuit

A.7.1 Généralités

Il convient, pour sélectionner les coupe-circuit, d'étudier comment minimiser la probabilité de rupture de la cuve en cas de défaillance d'un condensateur unitaire, en utilisant pour cela les meilleures données et lignes directrices disponibles. Celles utilisées doivent faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur. Cette exigence concerne les surintensités à fréquence industrielles ainsi que l'énergie emmagasinée dans les unités connectées en parallèle avec l'unité défectueuse.

Lors du choix des coupe-circuit, il convient de tenir compte des conditions électriques et thermiques qui leur sont imposées lors des essais de type de 5.9 et 5.13.

A.7.2 Coupe-circuit non-limiteurs de courant

Les coupe-circuit non-limiteurs de courant sont généralement du type à expulsion, équipés d'éléments de remplacement rechargeables. Tant pour le courant à fréquence industriel que pour la décharge de l'énergie emmagasinée, ces coupe-circuit ont une action limitative faible ou nulle sur le courant.

Il convient que l'énergie totale emmagasinée dans les condensateurs unitaires connectés en parallèle avec l'unité défectueuse soit inférieure à celle que le coupe-circuit peut supporter sans exploser et inférieure à l'énergie provoquant l'éclatement de l'unité défectueuse (voir A.7.1).

Ce type de coupe-circuit peut être utilisé lorsque les surintensités à fréquence industrielle auxquelles peut être soumise l'unité défectueuse sont suffisamment faibles.

A.7.3 Coupe-circuit limiteurs de courant

Ce type de coupe-circuit limite les surintensités à fréquence industrielle à une valeur inférieure à la valeur présumée et réduit le courant à zéro avant que le courant s'annule normalement. Un coupe-circuit limiteur de courant bien sélectionné ne décharge qu'une partie de l'énergie emmagasinée disponible vers le condensateur unitaire défectueux. La quantité d'énergie qui passe à travers le coupe-circuit doit être inférieure à celle qui est nécessaire pour provoquer l'éclatement de l'unité défectueuse.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Les coupe-circuit limiteurs de courant doivent être utilisés lorsque la surintensité à fréquence industrielle ou l'énergie maximale emmagasinée dans les unités connectées en parallèle avec une unité défectueuse est assez élevée pour provoquer l'éclatement d'un coupe-circuit à expulsion ou la mise en défaut d'un condensateur unitaire. Les coupe-circuit limiteurs de courant bien sélectionnés n'imposent pas de limite supérieure à l'énergie emmagasinée disponible pouvant s'écouler vers une unité défectueuse.

A.8 Informations nécessaires à l'utilisateur de coupe-circuit

Pour pouvoir choisir le coupe-circuit approprié à chaque application, il peut être nécessaire de faire appel à tout ou partie des informations figurant dans l'IEC 60549.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Annexe B
(informative)

Évaluation économique des pertes d'une batterie de condensateurs série

Les acheteurs font rarement une évaluation économique des pertes d'une batterie de condensateurs série durant le processus d'achat. Ceci est dû au fait que les pertes d'une batterie de condensateurs série qui inclut des condensateurs unitaires avec diélectrique en couche sont très faibles comparées à d'autres équipements de puissance tels qu'un transformateur de puissance. Ce facteur et bien d'autres entraînent une valeur économique des pertes d'un condensateur série très faible et en conséquence l'évaluation de ces pertes est rarement réalisée. L'objectif de cette annexe est de clarifier certains aspects des pertes d'une batterie de condensateurs série.

Les pertes de la batterie varient avec le carré du courant. Par conséquent, pour l'évaluation des pertes, il est important que l'application de la batterie soit étudiée pour sélectionner l'amplitude de courant ou les amplitudes qui représentent le mieux l'exploitation continue normale de la batterie. Par exemple, pour un système de transmission avec deux lignes parallèles, l'acheteur peut choisir de considérer la batterie de condensateurs série de telle sorte qu'une batterie puisse supporter le courant associé à la puissance totale des deux lignes avec une ligne en service. Dans ce cas, le courant normal de la batterie sera à 50 % de sa valeur assignée et les pertes de la batterie seulement à 25 % de sa valeur assignée et les pertes de la batterie seulement à 25 % de leur valeur à courant assigné.

Les pertes d'une batterie proviennent essentiellement des pertes des condensateurs et des pertes des coupe-circuit de condensateur. Les pertes de condensateur sont constituées de celles des résistances internes de décharge, des connexions internes et du diélectrique. Les deux premiers types de pertes sont assez constants tout au long de la durée d'exploitation du condensateur. Cependant, les pertes du diélectrique décroissent d'abord avec la tension alternative appliquée. Ainsi, les pertes du condensateur unitaire et de la batterie décroissent à partir de la valeur initiale mesurée en usine durant l'essai individuel décrit en 5.4. Les pertes initiales peuvent varier entre plusieurs condensateurs unitaires identiques fabriqués à une même période. Cependant, la variation entre condensateurs unitaires au sein des «pertes stabilisées» finales est généralement moindre. Les constructeurs ont développé des techniques d'essai pouvant fournir des données d'essai permettant d'estimer des pertes d'exploitation à long terme dans le but d'arriver à une évaluation des pertes. Ces techniques ne sont pas forcément définies dans la présente norme.

La plupart des batteries de condensateurs série n'ont pas d'autres composants additionnels significatifs sources de pertes que les condensateurs série et les coupe-circuit. Généralement, le circuit d'amortissement est en série avec le commutateur de shuntage, qui est normalement ouvert. Dans ce mode d'exploitation, le circuit d'amortissement contribue à ne pas ajouter de pertes additionnelles à la batterie. Toutefois, dans certaines installations, le circuit d'amortissement est en série avec les condensateurs. Dans ce cas, ou si la batterie est normalement shuntée, il convient de considérer les pertes du circuit d'amortissement.

Les pertes de puissance associées à des postes de chauffage d'enceinte et de commande de puissance sont faibles et ne sont normalement pas considérées dans une évaluation de pertes.

Il n'est pas réaliste de mesurer les pertes d'une batterie de condensateurs série après qu'elle a été installée.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Annexe C
(informative)

Coupe-circuit de batterie de condensateurs et configuration de condensateurs unitaires

C.1 Généralités

Trois différents types de coupe-circuits sont appliqués aux batteries de condensateurs série. Cette annexe donne un aperçu de ces types de coupe-circuit et de la configuration de condensateurs unitaires associée. Se référer à la Figure C.1 et à la Figure C.2.

C.2 Batterie de condensateurs avec coupe-circuit interne

La configuration typique utilisée dans un condensateur unitaire avec coupe-circuit interne se traduit par des groupes de coupe-circuit élémentaires connectés en parallèle. Ces groupes sont ensuite connectés en série afin d'obtenir les caractéristiques assignées du condensateur unitaire. Les condensateurs unitaires sont connectés en série et en parallèle autant de fois que nécessaire de façon à obtenir les caractéristiques assignées complètes de la batterie. De nombreuses configurations différentes sont possibles. La batterie est divisée en deux chaînes parallèles ou plus afin de permettre la détection du déséquilibre de courant du condensateur.

La panne d'un élément de condensateur donne lieu à une décharge de courant des éléments en parallèle vers le coupe-circuit interne associé et à la détérioration du coupe-circuit. Cela provoque une augmentation de la tension aux bornes des éléments en parallèle du condensateur unitaire et une plus petite augmentation de la tension aux bornes du condensateur unitaire associé. Les amplitudes de ces augmentations de tension dépendent fortement du nombre d'éléments en parallèle prévu à la conception.

Une panne d'élément risque de se produire plus vraisemblablement lorsque le courant dans la batterie est important. Comme spécifié dans l'IEC 60143-3, les coupe-circuit internes sont conçus pour fonctionner correctement pour des courants de batterie supérieurs à 50 % du courant assigné et pour des tensions supérieures ou égales à U_{lim}. Il convient que le courant et la tension additionnels résultant de la détérioration de certains coupe-circuit soient pris en compte à la conception.

Les condensateurs unitaires peuvent avoir une ou deux bornes isolées.

C.3 Batterie de condensateurs avec coupe-circuit externe

La configuration typique utilisée pour des condensateurs avec coupe-circuit externe se traduit par la connexion de groupes de condensateurs avec coupe-circuit en parallèle, autant de fois que nécessaire afin d'obtenir les caractéristiques assignées de courant de la batterie. Ces groupes sont connectés en série afin d'obtenir les caractéristiques assignées de la tension et de l'impédance de la batterie. La batterie est divisée en deux chaînes parallèles ou plus afin de permettre la détection du déséquilibre de courant du condensateur.

La panne d'un condensateur unitaire donne lieu à une augmentation du courant dans un coupe-circuit externe et à la détérioration du coupe-circuit. Cela provoque une augmentation de la tension aux bornes des condensateurs unitaires en parallèle. L'amplitude de cette augmentation de tension dépend du nombre de condensateurs unitaires en parallèle prévu à la conception.

Des coupe-circuit à double élément composés de deux coupe-circuit en série sont habituellement utilisés. Un de ces coupe-circuit de type limiteur de courant est utilisé pour la

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

grande énergie emmagasinée dans les condensateurs en parallèle. Le second coupe-circuit est de type à expulsion qui fonctionne dans des conditions d'intensité plus faible et qui fournit une coupure visible. L'Annexe A exige que le coupe-circuit total fonctionne correctement aux tensions comprises entre 0,5 U_N et U_{lim}. Il convient que le courant et la tension additionnels résultant de la détérioration de certains coupe-circuit soient pris en compte à la conception.

Les condensateurs unitaires ont habituellement une borne isolée.

C.4 Batterie de condensateurs sans coupe-circuit

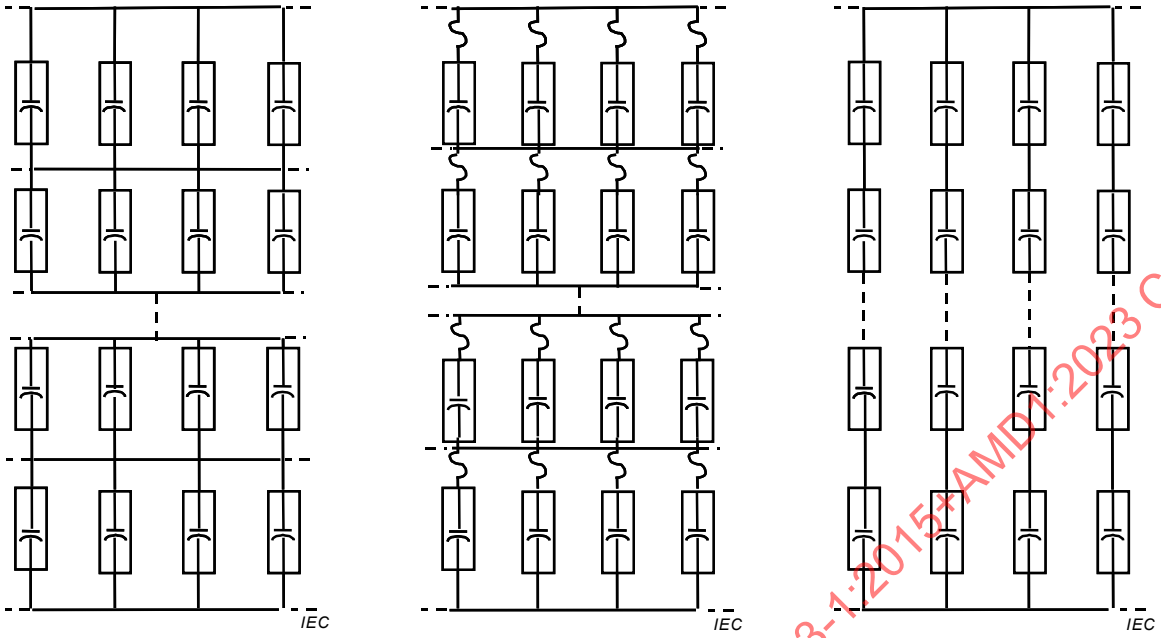
La configuration typique utilisée pour des condensateurs sans coupe-circuit se traduit par des chaînes de condensateurs unitaires connectés en série. Le nombre de condensateurs unitaires connectés en série est donné par l'obtention de la capacité en tension nécessaire. Ces chaînes de condensateurs sont connectées en parallèle afin d'obtenir les caractéristiques assignées du courant et de l'impédance de la batterie.

La batterie est divisée en deux groupes parallèles ou plus de chaînes afin de permettre la détection du déséquilibre de courant du condensateur.

La panne d'un élément de condensateur donne lieu à un court-circuit de la section série associée de ce condensateur unitaire. Cela provoque une augmentation du courant traversant et une augmentation de la tension aux bornes des éléments restants dans ce condensateur unitaire et dans les autres condensateurs unitaires de la chaîne associée. Le degré de cette augmentation dépend du nombre total d'éléments en série de la chaîne. L'énergie de décharge et l'augmentation de courant sont toutes les deux faibles puisqu'il n'y pas de condensateur unitaire connecté directement en parallèle. Le condensateur unitaire avec l'élément court-circuité continue à être opérationnel. Les condensateurs unitaires utilisés dans les applications sans coupe-circuit disposent d'un système de diélectrique en couche. Une panne dans un élément comportant ce système de diélectrique donne lieu à un court-circuit de soudure avec une très faible résistance. Cela n'était pas le cas avec les systèmes de diélectrique plus anciens qui étaient constitués de papier.

Les condensateurs unitaires sont généralement conçus avec deux traversées isolées.

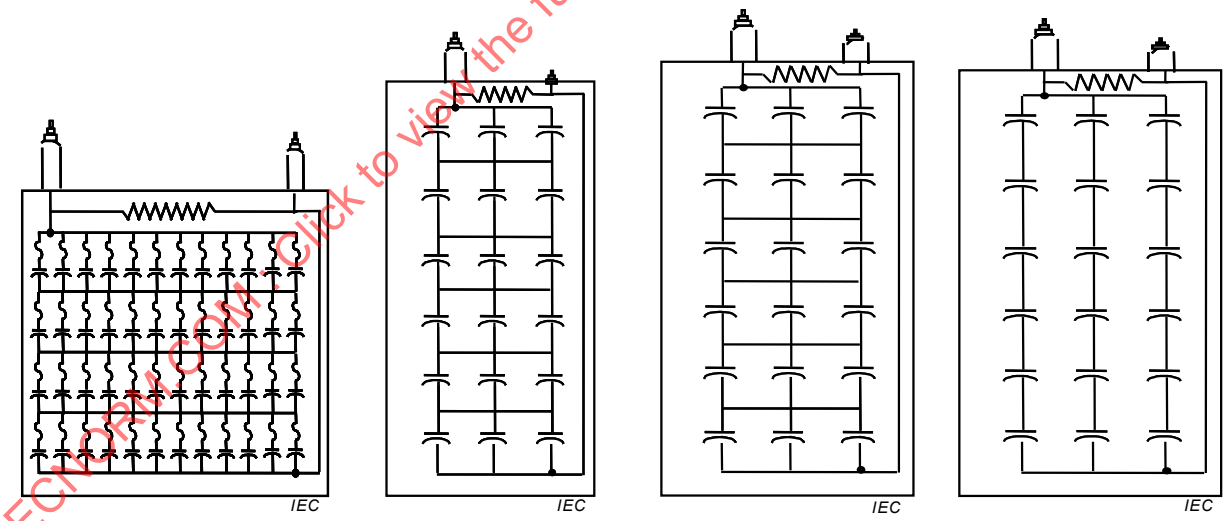
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV



Avec coupe-circuit interne | Avec coupe-circuit externe | Sans coupe-circuit

Figure C.1 – Connexions typiques entre condensateurs unitaires dans un segment ou une phase

Le nombre de condensateurs unitaires peut varier selon l'application et selon de type de coupe-circuit. Les transformateurs de courant de déséquilibre de condensateur ne sont pas représentés.



Avec coupe-cicuit interne | Avec coupe-cicuit externe | Sans coupe-circuit | Sans coupe-circuit

Figure C.2 – Connexions typiques entre éléments au sein d'un condensateur unitaire

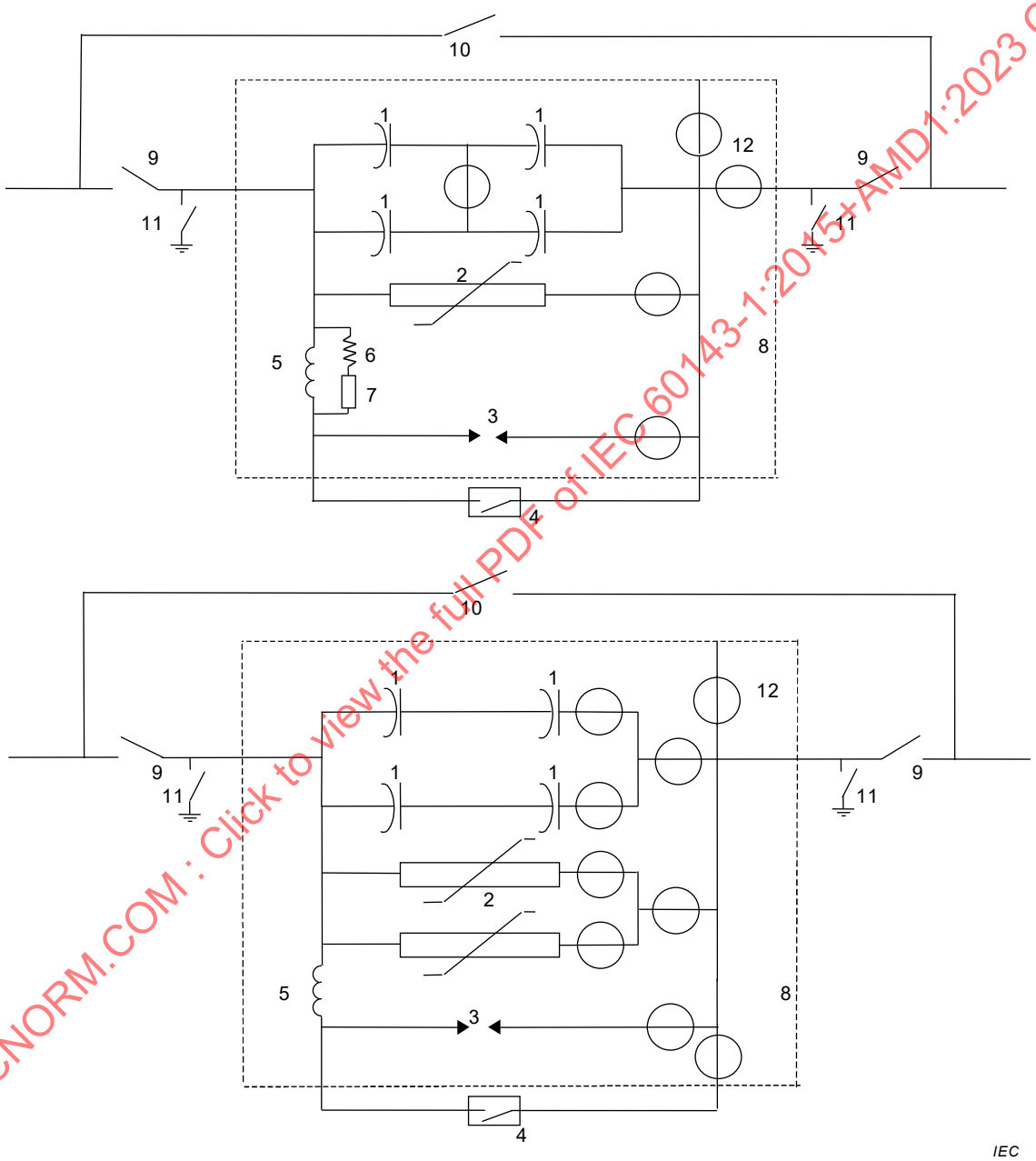
Le nombre d'éléments au sein d'un condensateur unitaire et le nombre d'éléments en série et en parallèle varient selon les exigences de l'application et selon les pratiques de conception du constructeur.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Annexe D
(informative)

Exemples de schémas de connexion typique pour de grandes installations de condensateurs série pour lignes de transmission

D'autres variantes et combinaisons sont possibles. Les schémas pour des batteries plus petites peuvent être différents, comme indiqué à la Figure D.1.



Légende

1	condensateur	7	varistance ou éclateur
2	varistance	8	plate-forme
3	éclateur shunt	9	sectionneur d'isolement
4	commutateur de shuntage	10	sectionneur de shuntage
5	bobine d'inductance	11	sectionneur de terre
6	résistance linéaire	12	transformateur de courant

Figure D.1 – Schémas pour des batteries plus petites

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Annexe E
(informative)

Précautions à prendre pour éviter la pollution de l'environnement par les polychlorobiphényles

La mise en décharge de polychlorobiphényles (PCB) sans observer les précautions nécessaires peut entraîner une pollution de l'environnement. De plus, lorsqu'à la suite d'un accident, un condensateur unitaire imprégné au PCB a été exposé à la chaleur d'un incendie ou d'un arc, des produits toxiques peuvent se former pendant la combustion et peuvent polluer les zones voisines du condensateur.

Dans certains pays, les caractéristiques des PCB utilisés pour l'imprégnation des condensateurs et les méthodes employées pour leur manipulation et leur destruction sont régies par des textes de loi ou des codes de bonne pratique (voir 9.1.2).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Bibliographie

[1] IEC 60273:1990, *Caractéristiques des supports isolants d'intérieur et d'extérieur destinés à des installations de tension nominale supérieure à 1000 V*

[2] IEEE Std 824-1994, *IEEE Standard for Series Capacitors in Power Systems* (disponible en anglais seulement)

[3] IEEE Paper PE-009PRD (09-2000), *Considerations for the Application of Series Capacitors to Radial Power Distribution Circuits. Series Capacitor Working Group of the IEEE Capacitor Subcommittee* (disponible en anglais seulement)

[4] ANSI C29.9:1983, *American National Standard for Wet-Process Porcelain Insulators (Apparatus, Post type)* (disponible en anglais seulement)

[5] IEC 60050-436:1990, *Vocabulaire Electrotechnique International. Chapitre 436: Condensateurs de puissance*

[6] IEC 60050-601:1985, *Vocabulaire Electrotechnique International. Chapitre 601: Production, transport et distribution de l'énergie électrique – Généralités*

[7] IEC 60050-604:1987, *Vocabulaire Electrotechnique International. Chapitre 604: Production, transport et distribution de l'énergie électrique – Exploitation*

[8] IEC 60060-2:2010, *Techniques des essais à haute tension – Partie 2: Systèmes de mesure*

[9] IEC 60721-2-6:1990, *Classification des conditions d'environnement. Deuxième partie: Conditions d'environnement présentes dans la nature. Vibrations et chocs sismiques*

[10] IEC 60110-1:1998, *Condensateurs de puissance pour les installations de génération de chaleur par induction – Partie 1: Généralités*

[11] IEC 60252-1:2010, *Condensateurs des moteurs à courant alternatif – Partie 1: Généralités – Caractéristiques fonctionnelles, essais et valeurs assignées – Règles de sécurité – Lignes directrices pour l'installation et l'utilisation*

[12] IEC TR 60996:1989, *Méthode de vérification de la précision des mesures de la tangente de l'angle de pertes applicable aux condensateurs*

[13] IEC 61048:2006, *Appareils auxiliaires pour lampes – Condensateurs destinés à être utilisés dans les circuits de lampes tubulaires à fluorescence et autres lampes à décharge – Prescriptions générales et de sécurité*

[14] IEC 61049:1991, *Condensateurs destinés à être utilisés dans les circuits de lampes tubulaires à fluorescence et autres lampes à décharge. Prescriptions de performance*

[15] IEC 61071 (toutes les parties), *Condensateurs pour électronique de puissance*

[16] Cigré-Publication 411, *Protection, Control and Monitoring of Series Compensated Networks, ISBN 978-2-85873-098-8. Cigré Working Group B5-10* (disponible en anglais seulement)

[17] IEC 60270:2000, *Techniques des essais à haute tension – Mesures des décharges partielles*

[18] IEC TS 60815-1:2008, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 1: Definitions, information and general principles* (disponible en anglais seulement)

[19] IEC TS 60815-2:2008, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 2: Ceramic and glass insulators for a.c. systems* (disponible en anglais seulement)

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

[20] IEC TS 60815-3:2008, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 3: Polymer insulators for a.c. systems* (disponible en anglais seulement)

[21] IEC 60909-0:2001, *Courants de court-circuit dans les réseaux triphasés à courant alternatif – Partie 0: Calcul des courants*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

IEC 60143-1

Edition 5.1 2023-11
CONSOLIDATED VERSION

FINAL VERSION

VERSION FINALE

colour inside

Series capacitors for power systems – Part 1: General

Condensateurs série destinés à être installés sur des réseaux – Partie 1: Généralités

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

IEC 60143-1:2015-06+AMD1:2023-11 CSV(en-fr)

CONTENTS

FOREWORD 6
1 Scope and object 8
2 Normative references 8
3 Terms and definitions 9
4 Service conditions 14
4.1 Normal service conditions 14
4.2 Ambient air temperature categories 15
4.3 Abnormal service conditions 15
4.4 Abnormal power system conditions 16
5 Quality requirements and tests 16
5.1 Test requirements for capacitor units 16
5.1.1 General 16
5.1.2 Test conditions 16
5.1.3 Voltage limits as established by overvoltage protector 16
5.1.4 Determination of protective level voltage U_{pl} and U_{lim} 18
5.2 Classification of tests 18
5.2.1 General 18
5.2.2 Routine tests 18
5.2.3 Type tests 18
5.2.4 Special test (ageing test) 19
5.3 Capacitance measurement (routine test) 19
5.3.1 Measuring procedure 19
5.3.2 Capacitance tolerance 20
5.4 Capacitor loss measurement (routine test) 20
5.4.1 Measuring procedure 20
5.4.2 Loss requirements 20
5.4.3 Losses in external fuses 21
5.5 Voltage test between terminals (routine test) 21
5.6 AC voltage test between terminals and container (routine test) 21
5.7 Test on internal discharge device (routine test) 21
5.8 Sealing test (routine test) 21
5.9 Thermal stability test (type test) 21
5.9.1 Measuring procedure 21
5.9.2 Capacitor loss measurement 23
5.10 AC voltage test between terminals and container (type test) 23
5.11 Lightning impulse voltage test between terminals and container (type test) 23
5.12 Cold duty test (type test) 24
5.13 Discharge current test (type test) 25
6 Insulation level 26
6.1 Insulation voltages 26
6.1.1 Standard values 26
6.1.2 Insulation to earth and between phases 26
6.1.3 Insulation levels for insulators and equipment on the platform 26
6.2 Creepage distance 33
6.3 Air clearances 34
7 Overloads, overvoltages and duty cycles 38

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

7.1 Currents ... 38
7.2 Transient overvoltages ... 38
7.3 Duty cycles ... 39
8 Safety requirements ... 39
8.1 Discharge device ... 39
8.2 Container connection ... 39
8.3 Protection of the environment ... 40
8.4 Other safety requirements ... 40
9 Markings and instruction books ... 40
9.1 Markings of the unit ... 40
9.1.1 Rating plate ... 40
9.1.2 Warning plate ... 41
9.2 Markings of the bank ... 41
9.2.1 Instruction sheet or rating plate ... 41
9.2.2 Warning plate ... 41
9.3 Instruction book ... 41
10 Guide for selection of ratings, installation and operation ... 42
10.1 General ... 42
10.2 Reactance per line, rated reactance per bank and number of modules per bank ... 42
10.2.1 Capacitive reactance per line ... 42
10.2.2 Number of series capacitor banks in a transmission line ... 43
10.2.3 Number of modules in a capacitor bank ... 43
10.2.4 Future requirements for series capacitors ... 44
10.3 Current ratings for the bank ... 44
10.3.1 General ... 44
10.3.2 Typical bank overload and swing current capabilities ... 45
10.3.3 Analysis to determine the continuous and emergency overload current rating ... 46
10.3.4 Analysis to determine the swing current rating ... 46
10.4 Overvoltage protection requirements ... 46
10.5 Voltage limitations during power system faults ... 47
10.5.1 General ... 47
10.5.2 Voltage limitation when the inductance between the primary overvoltage protector and the capacitors is not significant ... 47
10.5.3 Voltage limitation when the inductance between the primary overvoltage protector and the capacitors is significant ... 48
10.6 Protective and switching devices ... 48
10.6.1 Capacitor fusing ... 48
10.6.2 Other devices ... 48
10.6.3 Connection diagrams ... 48
10.7 Choice of insulation level ... 48
10.7.1 Normal cases ... 48
10.7.2 Altitude exceeding 1 000 m ... 48
10.8 Long line correction ... 50
10.9 Other application considerations ... 51
10.9.1 General ... 51
10.9.2 Ferro-resonance ... 51
10.9.3 Sub-synchronous resonance ... 51
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

10.9.4 Relay protection of the power system 51
10.9.5 Attenuation of carrier-frequency transmission 52
10.9.6 Non-transposed transmission lines 52
10.9.7 Power system harmonic currents 52
10.9.8 TRV across line circuit-breakers 52
10.9.9 Delayed line current zero crossing 53
10.9.10 Prolonged secondary arc current 53
Annex A (normative) Test requirements and application guide for external fuses and units to be externally fused 54
A.1 Overview 54
A.2 Purpose 54
A.3 Terms employed in Annex A 54
A.4 Performance requirements 54
A.5 Tests 55
A.5.1 Tests on fuses 55
A.5.2 Type tests on capacitor container 55
A.6 Guide for coordination of fuse protection 55
A.6.1 General 55
A.6.2 Protection sequence 55
A.7 Choice of fuses 56
A.7.1 General 56
A.7.2 Non current-limiting fuses 56
A.7.3 Current-limiting fuses 56
A.8 Information needed by the user of the fuses 56
Annex B (informative) Economic evaluation of series capacitor bank losses 57
Annex C (informative) Capacitor bank fusing and unit arrangement 58
C.1 General 58
C.2 Internally fused capacitor bank 58
C.3 Externally fused capacitor bank 58
C.4 Fuseless capacitor bank 59
Annex D (informative) Examples of typical connection diagrams for large series capacitor installations for transmission lines 61
Annex E (informative) Precautions to be taken to avoid pollution of the environment by polychlorinated biphenyls 62
Bibliography 63

Figure 1 – Typical nomenclature of a series capacitor installation 12
Figure 2 – Classification of overvoltage protection 17
Figure 3 – Time and amplitude limits for an overvoltage period waveform 25
Figure 4 – Air clearance versus a.c. power frequency withstand voltage 38
Figure 5 – Typical current-time profile of an inserted capacitor bank following the fault and clearing of parallel line 45
Figure C.1 – Typical connections between capacitor units in a segment or phase 59
Figure C.2 – Typical connections between elements within a capacitor unit 60
Figure D.1 – Diagrams for smaller banks 61

Table 1 – Letter symbols for upper limit of temperature range 15

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Table 2 – Ambient air temperature in thermal stability test 22
Table 3 – Standard insulation levels for range I (1 kV < U_m ≤ 245 kV) 29
Table 4 – Standard insulation levels for range II (U_m > 245 kV) *(1 of 2)* 30
Table 5 – Typical insulation levels for platform-to-ground insulators *(1 of 2)* 32
Table 6 – Specific creepage distances 34
Table 7 – Correlation between standard lightning impulse withstand voltages and minimum air clearances 36
Table 8 – Correlation between standard switching impulse withstand voltages and minimum phase-to-earth air clearances 37
Table 9 – Correlation between standard switching impulse withstand voltages and minimum phase-to-phase air clearances 37
Table 10 – Typical bank overload and swing current capabilities 45

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

INTERNATIONAL ÉLECTROTECHNICAL COMMISSION

SERIES CAPACITORS FOR POWER SYSTEMS –

Part 1: General

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.

This consolidated version of the official IEC Standard and its amendment has been prepared for user convenience.

IEC 60143-1 edition 5.1 contains the fifth edition (2015-06) [documents 33/578/FDIS and 33/580/RVD], its corrigendum (2017-04), and its amendment 1 (2023-11) [documents 33/690/CDV and 33/693/RVC].

This Final version does not show where the technical content is modified by amendment 1. A separate Redline version with all changes highlighted is available in this publication.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

International Standard IEC 60143-1 has been prepared by IEC technical committee 33: Power capacitors and their applications.

This fifth edition constitutes a technical revision.

The main change with respect to the previous edition is that the endurance test has been replaced by an ageing test because voltage cycling is already performed in the cold duty test. The guide section has been expanded regarding long line correction and altitude correction. In addition the insulation tables and references to other standards have been updated.

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

A list of all parts in the IEC 60143 series, published under the general title *Series capacitors for power systems*, can be found on the IEC website.

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

SERIES CAPACITORS FOR POWER SYSTEMS –

Part 1: General

1 Scope and object

This part of IEC 60143 applies both to capacitor units and capacitor banks intended to be used connected in series with an a.c. transmission or distribution line or circuit forming part of an a.c. power system having a frequency of 15 Hz to 60 Hz.

The primary focus of this standard is on transmission application.

The series capacitor units and banks are usually intended for high-voltage power systems. This standard is applicable to the complete voltage range.

This standard does not apply to capacitors of the self-healing metallized dielectric type.

The following capacitors, even if connected in series with a circuit, are excluded from this standard:

– capacitors for inductive heat-generating plants (IEC 60110-1);
– capacitors for motor applications and the like (IEC 60252 (all parts));
– capacitors to be used in power electronics circuits (IEC 61071);
– capacitors for discharge lamps (IEC 61048 and IEC 61049).

For standard types of accessories such as insulators, switches, instrument transformers, external fuses, etc. see the pertinent IEC standard.

NOTE 1 Additional requirements for capacitors to be protected by internal fuses, as well as the requirements for internal fuses, are found in IEC 60143-3. See also Annex C.

NOTE 2 Additional requirements for capacitors to be protected by external fuses, as well as the requirements for external fuses, are found in Annex A and Annex C.

NOTE 3 A separate standard for series capacitor accessories (spark-gaps, varistors, discharge reactors, current-limiting damping reactors, damping resistors, circuit-breakers, etc.), IEC 60143-2, has been revised and was completed in 2012. A separate standard for internal fuses for series capacitors, IEC 60143-3 has been revised and was completed in 2013.

NOTE 4 Some information regarding fuseless capacitor units and fuseless capacitor banks is found in Annex C.

The object of this standard is:

– to formulate uniform rules regarding performance, testing and rating;
– to formulate specific safety rules;
– to serve as a guide for installation and operation.

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.

NOTE If there is a conflict between this standard and a standard listed below, the text of IEC 60143-1 prevails.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

IEC 60050 (all parts), *International Electrotechnical Vocabulary* (available at www.electropedia.org)

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

IEC 60071-1:2006, *Insulation co-ordination – Part 1: Definitions, principles and rules*

IEC 60071-2:1996, *Insulation co-ordination – Part 2: Application guide*

IEC 60143-2:2012, *Series capacitors for power systems – Part 2: Protective equipment for series capacitor banks*

IEC 60143-3:1998, *Series capacitors for power systems – Part 3: Internal fuses*

IEC 60143-4: 2010 *Series capacitors for power systems – Part 4: Thyristor controlled series capacitors*

IEC 60549:2013, *High-voltage fuses for the external protection of shunt capacitors*

IEC 60871-1: 2014 Shunt capacitors for a.c power systems having a rated voltage above 1000V – Part 1: General

IEC 62271-1:2007, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 1: Common specifications*

IEEE Std. 693:1997, *IEEE Recommended Practice for Seismic Design of Substations*

3 Terms and definitions

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

3.1
ambient air temperature (for capacitors)
temperature of air at the proposed location of the capacitor installation

3.2
bypass switch
device such as a switch or circuit-breaker used in parallel with a series capacitor and its overvoltage protector to shunt line current for some specified time or continuously

Note 1 to entry: This device shall also have the capability of bypassing the capacitor during specified power system fault conditions. The operation of the device is initiated by the capacitor bank control, remote control or by an operator. The device may be mounted on the platform or on the ground near the platform. Besides bypassing the capacitor, this device shall also have the capability of inserting the capacitor into a circuit carrying a specified level of current.

3.3
capacitor
word used when it is not necessary to distinguish between the different meanings of the words capacitor unit and the assembly of capacitors associated with a segment

3.4
capacitor unit
unit
assembly of one or more capacitor elements in the same container with terminals brought out

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-04]

3.5
(capacitor) element
device consisting essentially of two electrodes separated by a dielectric

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-03]

3.6
capacitor losses
active power dissipated in the capacitor

Note 1 to entry: All loss-producing components should be included. For a unit, this includes losses from the dielectric, discharge device, internal fuses (if applicable) and internal connections. For the bank, this includes losses from the units, external fuses (if applicable) and busbars. See Annex B for additional discussion.

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-04-10]

3.7
cooling air temperature
temperature of cooling air measured at the hottest position in the capacitor assembly of a segment, under rated current and steady-state conditions, midway between two units

Note 1 to entry: If only one unit is involved, it is the temperature measured at a point approximately 0,1 m away from the capacitor container and at two-thirds of the height from its base.

3.8
degree of compensation
k
degree of series compensation, k (of a line section) is

$$k = 100\ (X_c / X_L)\ \%$$

where

X_c is the capacitive reactance of the series capacitor;

X_L is the total positive sequence inductive reactance of the transmission line section on which the series capacitor is applied.

3.9
discharge device (of a capacitor)
device connected across the terminals of the capacitor or built into the capacitor unit, capable of reducing the residual voltage across the capacitor effectively to zero after the capacitor has been disconnected from the supply

Note 1 to entry: Further requirements on the size of the discharge device are found in 8.1.

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-03-15, modified (modified definition, addition of Note 1 to entry)]

3.10
external fuse (of a capacitor)
fuse connected in series with a capacitor unit or with a group of parallel units

3.11
fuseless capacitor bank
capacitor bank without any fuses, internal or external, constructed of parallel strings of capacitor units. Each string consists of capacitor units connected in series

Note 1 to entry: See Annex C for an explanation of “string”.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

3.12
highest voltage of a three-phase system
highest r.m.s. phase-to-phase voltage which occurs under normal operating conditions at any time and at any point of the system

Note 1 to entry: It excludes voltage transients (such as those due to system switching) and temporary voltage variations due to abnormal system conditions (such as due to faults or sudden disconnection of large loads).

3.13
highest voltage for equipment
U_m
highest r.m.s. value of phase-to-phase voltage for which the equipment is designed in respect of its insulation as well as other characteristics which relate to this voltage in the relevant equipment standards

Note 1 to entry: This voltage is the maximum value of the highest voltage of the system for which the equipment may be used.

[SOURCE: IEC 60050-604:1987, 604-03-01]

3.14
insulation level
U_i
non-simultaneous combination of test voltages (power-frequency (U_{ipf}) or switching impulse, and lightning impulse) which characterizes the insulation of the capacitor with regard to its capability of withstanding the electric stresses between terminals and earth, between phases and between terminals and metalwork (e.g. platform) not at earth potential

3.15
internal fuse of a capacitor
fuse connected inside a capacitor unit, in series with an element or group of elements

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-03-16]

3.16
limiting voltage
U_{lim}
maximum peak of the power frequency voltage occurring between capacitor unit terminals immediately before or during operation of the overvoltage protector, divided by $\sqrt{2}$

SEE: 5.1.4

Note 1 to entry: This voltage appears either during conduction of the varistor or immediately before ignition of the spark gap.

3.17
line terminal
terminal to be connected to the power system

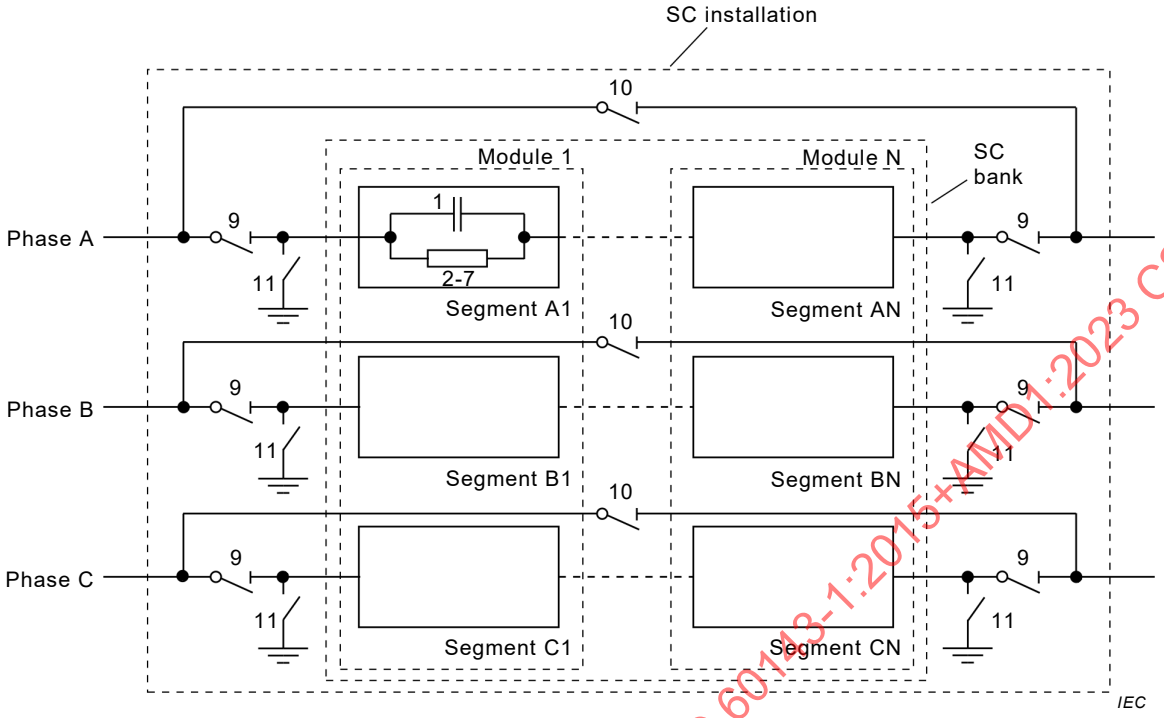
[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-03-01, modified (modified definition)]

3.18
module (of a series capacitor)
switchable step of a series capacitor consisting of identical segments in each phase (see Figure 1), which furthermore are also equipped with provisions for a common operation of the bypass switch of each of these segments

Note 1 to entry: The bypass switch of a module is normally operated on a three-phase basis. However, in some applications for protection purposes, the bypass switch may be required to temporarily operate on an individual phase basis.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Note 2 to entry: Figure 1 shows a typical nomenclature of a series capacitor installation.



Key

1 assembly of capacitor units

2-7 main protective equipment (Figure 2c) and Annex D)

9 isolating disconnector

10 bypass disconnector

11 earth switch

NOTE 1 A SC Installation includes a SC Bank plus 9, 10 and 11.

NOTE 2 Most series capacitors are configured with a single module, unless the reactance and current requirements result in a voltage across the bank that is impractical for the supplier to achieve with one module. Normally each module has its own bypass switch, but a common bypass switch may be used for more than one module. See clause 10.2.3 for additional details.

Figure 1 – Typical nomenclature of a series capacitor installation

3.19
overvoltage protector (of a series capacitor)
quick-acting device (usually MOV or a self triggered spark gap) which limits the voltage across the capacitor to a permissible value when that value would otherwise be exceeded as a result of a circuit fault or other abnormal power system conditions

3.20
power frequency withstand voltage
U_{ipf}
wet power frequency withstand voltage of bushings and insulators

3.21
protective level
U_{pl}
magnitude of the maximum peak of the power frequency voltage appearing across the overvoltage protector during a power system fault

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Note 1 to entry: The protective level may be expressed in terms of the actual peak voltage across a segment or in terms of the per unit of the peak of the rated voltage across the capacitor (see 5.1.4, 10.4 and 10.5). This voltage appears either during conduction of the varistor or immediately before ignition of the spark gap.

3.22
rated capacitance (of a capacitor)
C_N
capacitance value for which the capacitor has been designed

3.23
rated current of a capacitor
I_N
r.m.s. value of the alternating current for which the capacitor has been designed

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-13]

3.24
rated frequency (of a capacitor)
f_N
frequency of the system in which the capacitor is intended to be used

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-14, modified (modified definition)]

3.25
rated output (of a capacitor)
Q_N
reactive power derived from rated reactance and rated current

Note 1 to entry: For the bank, the rated three-phase reactive power rating in Mvar (Q_N) is defined by the equation:

$$Q_N = 3 \times I^2_N \times X_N$$

where

I_N is the rated current, in kA;

X_N is the rated reactance, in Ω.

3.26
rated reactance (of capacitor)
X_N
reactance of each phase of the series capacitor at rated frequency and 20 °C dielectric temperature

3.27
rated voltage (of the bank)
power system phase-to-phase voltage for which the phase-to-ground insulation system is designed

3.28
rated voltage (of a capacitor)
U_N
r.m.s. value of the voltage between the terminals, derived from rated reactance and rated current $U_N = X_N \times I_N$

3.29
residual voltage (of a capacitor)
voltage remaining between terminals of a capacitor at a given time following disconnection of the supply

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

3.30
segment (of a series capacitor)
single-phase assembly of groups of capacitors which has its own voltage-limiting devices and relays to protect the capacitors from overvoltages and overloads

SEE: Figure 1

Note 1 to entry: Segments are not normally separated by isolating disconnectors. More than one segment can be on the same insulated platform.

3.31
series capacitor bank (or bank)
three-phase assembly of capacitors with the associated protection and insulated support structure

Note 1 to entry: The bank may include one or more modules (see Figure 1).

3.32
series capacitor installation
series capacitor bank and its accessories including the bypass and isolating disconnectors

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-07, modified (addition of "including the bypass and isolating connectors")]

3.33
steady-state condition
thermal equilibrium attained by the capacitor at constant output and at constant ambient air temperature

3.34
sub-segment
portion of a segment that includes a single-phase assembly of capacitor units an an associated protective device, discharge current limiting an damping equipment, and selected protection and control functions, but does not have a dedicated by-pass switch

3.35
tangent of loss angle (of a capacitor)
tan δ
ratio between the equivalent series resistance and the capacitive reactance of a capacitor at specified sinusoidal alternating voltage and frequency

Note 1 to entry: Tangent of loss angle can also be expressed as the capacitor losses divided by the reactive power of the capacitor.

3.36
varistor coordinating current
magnitude of the maximum peak of power frequency varistor current associated with the protective level

Note 1 to entry: The varistor coordinating current waveform is considered to have a virtual front time of 30 to 50 µs. The tail of the waveform is not significant in establishing the protective level voltage.

4 Service conditions

4.1 Normal service conditions

Series capacitor banks shall be suitable for operation at their specified current, voltage, and frequency ratings and specified fault sequences under the following conditions:

a) The elevation does not exceed 1 000 m above sea level.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

b) The indoor and outdoor ambient temperatures are within the limits specified by the purchaser.

c) The ice load does not exceed 19 mm (if applicable).

d) Wind velocities are no greater than 128 km/h.

e) The horizontal seismic acceleration (if applicable) of the equipment does not exceed 0,2 g and the vertical acceleration does not exceed 0,16 g when applied simultaneously at the base of the support insulators. For the purposes of this requirement, the values of acceleration are static.

NOTE This is the "low seismic qualification level" defined in IEEE Std. 693. The seismic acceleration and the maximum wind do not have to be considered to occur simultaneously.

f) The snow depth (if applicable) does not exceed the height of the foundations for the platform support insulators. (A typical maximum height is 1 m.)

g) The solar radiation does not exceed 1 000 W/m^2.

4.2 Ambient air temperature categories

Capacitors are classified in temperature categories, each category being specified by one number followed by one letter. The number represents the lowest ambient air temperature at which the capacitor may operate. The letter represents the upper limit of temperature variation range, having the maximum value specified in Table 1.

Table 1 – Letter symbols for upper limit of temperature range

Symbol	Ambient air temperature °C		
	Maximum	Highest mean over any period of	
		24 h	1 year
A	40	30	20
B	45	35	25
C	50	40	30
D	55	45	35

The temperature categories cover a total temperature range from –50 °C to +55 °C. The lowest ambient air temperature at which the capacitor may be operated should be chosen from the five preferred values +5 °C, –5 °C, –25 °C, –40 °C and –50 °C.

Any combination of minimum and maximum values can be chosen for the standard temperature category of a capacitor, for example –40/A or –5/C.

Table 1 is based on service conditions in which the capacitor does not influence the ambient air temperature (e.g. outdoor installations). If the capacitor influences the air temperature, the ventilation and/or choice of capacitor shall be such that the limits of Table 1 are maintained. The cooling air temperatures in such installations shall not exceed the temperature limits of Table 1 by more than 5 °C.

NOTE The temperature values according to Table 1 can be found in the meteorological temperature tables covering the installation site.

4.3 Abnormal service conditions

The application of series capacitor banks at other than the normal service conditions shall be considered as special and shall be identified in the purchaser's specification. Examples of such conditions are as follows:

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

a) Service conditions other than those listed in 4.1.

b) Exposure to excessively abrasive and conducting dust.

c) Exposure to salt, damaging fumes, or vapors.

d) Swarming insects.

e) Flocking birds.

f) Conditions requiring over-insulation or extra leakage distance on insulators.

g) Seismic accelerations at the “moderate or high seismic qualification levels” as defined in IEEE Std. 693.

4.4 Abnormal power system conditions

Abnormal power system conditions include:

a) Continuous harmonic currents in the power system.

b) The transmission line on which the series capacitor bank is located does not have phase transpositions so the reactances of each phase of the line are not approximately equal.

5 Quality requirements and tests

5.1 Test requirements for capacitor units

5.1.1 General

This clause gives the test requirements for capacitor units.

NOTE Test requirements for other equipment are found in IEC 60143-2, IEC 60143-3, IEC 60143-4 and Annex A of this standard.

Supporting insulators, switches, instrument transformers, external fuses, etc., shall be in accordance with the pertinent IEC standard.

5.1.2 Test conditions

Unless otherwise specified for a particular test or measurement, the temperature of the capacitor dielectric shall be in the range +5 °C to +35 °C. When a correction has to be applied, the reference temperature to be used is +20 °C, unless otherwise agreed between the manufacturer and the purchaser. It may be assumed that the dielectric temperature of the capacitor unit is the same as the ambient air temperature, provided that the capacitor has been left in an non-energized state in a constant ambient air temperature for an adequate period.

The a.c. tests and measurements shall be carried out at a frequency of 50 Hz or 60 Hz irrespective of the rated frequency of the capacitor unless otherwise specified.

5.1.3 Voltage limits as established by overvoltage protector

5.1.3.1 General

a) Purpose

The overvoltage protector is a quick-acting device which limits the instantaneous voltage across the series capacitor to a permissible value when that value would otherwise be exceeded as a result of a power-system fault or other abnormal network condition.

b) Classification

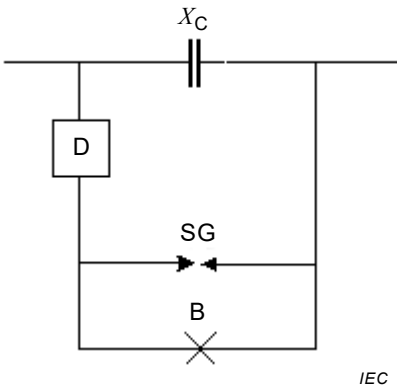
Three common alternatives are listed below (see Figure 2):

– single protective spark gap (type K1), see Figure 2a)

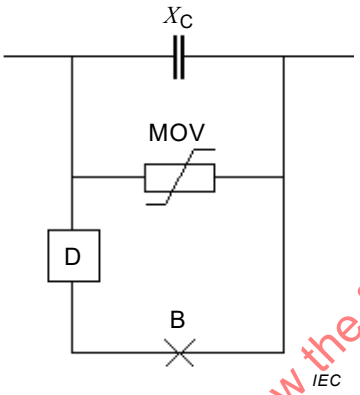
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

– varistor (gapless) (type M1), see Figure 2b)
– varistor with bypass gap (type M2), see Figure 2c)

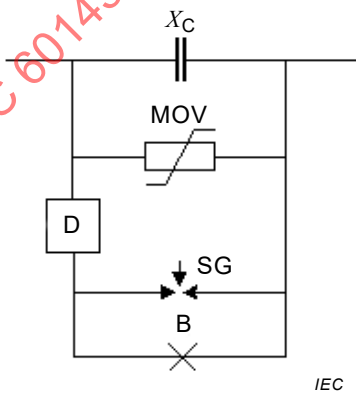
NOTE If the sparkover voltage of an overvoltage protector is dependent on air density, U_{pl} is understood to correspond to the conditions resulting in the highest sparkover voltage, i.e. to the highest air pressure and the lowest temperature. Also, the tolerance on sparkover voltage to be taken into account when determining U_{pl}.



2a) Single gap (type K1)



2b) MOV (type M1)



2c) MOV + bypass gap (type M2)

Figure 2 – Classification of overvoltage protection

5.1.3.2 Type K overvoltage protector

When the gap sparks over due to an excessive line current caused by a fault in the system, an arc is sustained until de-energizing the line or closing a bypass switch.

During arcing of the gap, the capacitor is exposed to one voltage peak whose value shall not exceed U_{pl}. The capacitor is subjected to a transient discharge once only at every operation of the gap.

5.1.3.3 Type M overvoltage protector

The varistor is permanently connected across the capacitor terminals. When the bank is operated at normal load current, a given but very low current passes through the varistor.

In the case of a fault external to the line concerned, the series capacitor becomes automatically reinserted when the fault is disconnected. Even during such a fault the series capacitor exerts a certain compensating effect. For this reason, in many cases, the U_{pl} chosen with Type M can be lower than with Type K overvoltage protectors. On the other hand,

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

in the event of a short-circuit at the compensated line itself, the circuit-breakers at the ends of the line will be opened.

The varistor shall be designed to withstand the thermal stresses occurring during the overload conditions and during the system swing according to 10.3, and those of the maximum line fault current.

In the event of prolonged duration of an external fault, e.g. due to malfunction of the line protection, the varistor may become thermally overloaded. Also short-circuits at the compensated line may imply such high currents that it is not economical to dimension the varistor accordingly. In order to protect the varistor in such cases, it may be bypassed by a switch or a forced, triggered spark-gap.

5.1.4 Determination of protective level voltage U_{pl} and U_{lim}

The value of a test voltage (U_t) between terminals depends on the type of the overvoltage protector and its protective level voltage U_{pl} (see 5.1.3).

The limiting voltage U_{lim} (kV r.m.s.) for the capacitor unit is related to the protective level voltage of the actual phase or segment U_{pl} (kV peak) according to equation (1).

$$U_{lim} = U_{pl} \big/ (s \times \sqrt{2}) \tag{1}$$

where s is the number of capacitor units in series which spans U_{pl}.

Further clarifications are given in 10.4 and 10.5.

5.2 Classification of tests

5.2.1 General

Tests on equipment that constitute the capacitor bank are designated as routine tests, type tests and special tests. Additional tests are typically performed after the bank is installed. These tests are discussed in IEC 60143-2.

5.2.2 Routine tests

a) Capacitance measurement (see 5.3)
b) Capacitor loss measurement (see 5.4)
c) Voltage test between terminals (see 5.5)
d) AC voltage test between terminals and container (see 5.6)
e) Test on internal discharge device (see 5.7)
f) Sealing test (see 5.8)
g) Discharge test of internal fuses (see 3.1.2 of IEC 60143-3).

The test sequence is not necessarily that indicated above.

The routine tests shall be carried out by the manufacturer on every capacitor unit before delivery.

5.2.3 Type tests

a) Thermal stability test (see 5.9)

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

b) AC voltage test between terminals and container (see 5.10)

c) Lightning impulse voltage test between terminals and container (see 5.11).

d) Cold duty test (see 5.12)

e) Discharge current test (see 5.13).

The type tests are carried out in order to ensure that the capacitor unit complies with the contractual characteristics and with the operational requirements as specified in this standard.

It is not essential that all type tests are carried out on the same capacitor unit.

The above list of type tests does not indicate any test sequence.

Unless otherwise specified, every capacitor sample to which a type test will be applied shall have first withstood satisfactorily the application of all the routine tests.

When a type test has previously been successfully performed on equipment of similar design at stress or duty levels that are equal to or greater than that required for the specific application, then the manufacturer does not have to repeat the test if a written report describing the previous test is provided. The manufacturer shall also provide an explanation of how the previous test satisfies the requirements for the specific application.

New type tests shall be performed for a specific project, only if the equipment design is new or if a critical manufacturing process is new, or if it is to be applied at a higher stress or duty level than previously tested designs or if specifically contracted by the purchaser.

5.2.4 Special test (ageing test)

The special test consists of an ageing test which is to be made according to 4 of IEC TS 60871-2:2014.

The ageing test shall be carried out only after a contractual agreement between the manufacturer and purchaser.

5.3 Capacitance measurement (routine test)

5.3.1 Measuring procedure

The capacitance of each capacitor unit shall be measured at 0,9 to 1,1 times the rated voltage, using a method that excludes errors due to harmonics. Measurement at another voltage is permitted, provided that an appropriate correction factor is agreed upon between the manufacturer and purchaser.

The accuracy of the measuring method shall be such that the tolerances according to 5.3.2 can be respected. The repeatability of the measuring method shall be such that a punctured element or an operated internal fuse can be detected.

The final capacitance measurement shall be carried out after the voltage test (see 5.5). In order to reveal any change in capacitance, e.g. due to puncture of an element, or failure of an internal fuse, a preliminary capacitance measurement shall be made before the other voltage routine tests. This preliminary measurement shall be performed with a voltage not higher than 0,15 U_N.

The manufacturer shall, on agreement, provide curves or tables showing:

– the capacitance in steady-state condition at rated output as a function of ambient air temperature within the temperature category;

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

– the capacitance as a function of the dielectric temperature within the temperature category.

5.3.2 Capacitance tolerance

The tolerances refer to capacitance values measured at 0,9 to 1,1 times the rated voltage under the conditions of 5.3.1.

The capacitance at reference temperature (see 5.1.2) shall not differ from the rated capacitance by more than:

– ±7,5 % for units;
– ±5,0 % for banks with a rated output less than 30 Mvar;
– ±3,0 % for banks with a rated output of 30 Mvar or more.

Furthermore, the capacitance shall not differ by more than:

– 3,0 % between any two phases or segments within the same module with a bank rated output less than 30 Mvar;
– 1,0 % between any two phases or segments within the same module with a bank rated output of 30 Mvar or more.

Closer tolerances may be required for capacitors in more critical applications.

The manufacturer shall organize the assembly of the capacitor units.

5.4 Capacitor loss measurement (routine test)

5.4.1 Measuring procedure

The capacitor losses (or tan δ) shall be measured at 0,9 to 1,1 times rated voltage using a method that excludes errors due to harmonics.

The measuring equipment should be calibrated according to IEC 60996 or to another method that will give the same or an improved accuracy.

The tangent of loss angle of impregnated low-loss dielectrics decreases considerably during the first hours of initial energization. This decrease is not correlated to the tan δ variation with temperature. The initial tan δ may vary also between identical units manufactured simultaneously. The final “stabilized” values are, however, usually within close limits. The tan δ measured initially at the routine test should be regarded as a rough indication only. For contractual purposes, only measurements of units should be used which have undergone the thermal stability test before or, alternatively, units may be conditioned according to manufacturers’ practice.

5.4.2 Loss requirements

The capacitor losses refer to values measured under the conditions of 5.4.1.

The requirements regarding capacitor losses may be agreed upon between the manufacturer and purchaser.

Further information regarding capacitor losses are given in Annex B.

The manufacturer should, by agreement, provide curves or tables showing the stabilized capacitor losses (or tan δ) under steady-state condition at rated output as a function of ambient air temperature within the temperature category.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

5.4.3 Losses in external fuses

Losses in external fuses shall be calculated using the nominal a.c. resistance (specified by the fuse manufacturer at 20 °C) times the square of rated capacitor current.

5.5 Voltage test between terminals (routine test)

The capacitor units shall be subjected to a d.c. test at 1,7 U_{lim} (1,2 × $\sqrt{2}$ × U_{lim}) for overvoltage protectors Type K and M. The test voltage value shall not be less than 4,3 U_N. The duration of the test shall be 10 s.

During the test, neither puncture nor flashover shall occur.

If the capacitors are to be retested, a voltage of 75 % of U_t is recommended for the re-test.

5.6 AC voltage test between terminals and container (routine test)

Capacitor units having both terminals insulated from the container shall be subjected for 10 s to an a.c. voltage test applied between the terminals (joined together) and the container. The value of the test voltage shall be chosen according to 6.1.3.2.

During the test, neither puncture nor flashover shall occur.

The test shall be performed even if one of the terminals in service is intended to be connected to the container.

Units having one terminal permanently connected to the container shall not be subjected to this test.

5.7 Test on internal discharge device (routine test)

The resistance of the internal discharge device, if any, shall be checked by a measurement. The method may be selected by the manufacturer.

The test shall be made after the voltage test of 5.5.

5.8 Sealing test (routine test)

The unit (in non-painted state) shall be exposed to a test that will effectively detect any leak of the container and bushing(s). The test procedure is left to the manufacturer, who shall describe the test method concerned.

If no procedure is stated by the manufacturer the following test procedure shall apply:

Non-energized capacitor units shall be heated throughout so that, for at least 2 h, all parts reach a temperature not less than 20 °C above the maximum value in Table 1. No leakage shall occur. It is recommended that a suitable leakage indicator should be used.

5.9 Thermal stability test (type test)

5.9.1 Measuring procedure

The capacitor unit subjected to the test shall be placed between two barrier units with the same rating and energized at the same voltage as the test capacitor. The barrier units shall have almost the same container dimensions as the unit under test. Alternatively, two dummy capacitors both containing resistors may be used as barrier units. Dissipation in the resistors shall be adjusted to such a value that the case temperatures of the dummy capacitors are

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

equal to or higher than those of the test capacitor. The temperature of the units shall be measured at "equal" spots which shall not be exposed to direct heat radiation from another unit. The separation between the units shall be equal to or less than the normal spacing. The assembly shall be placed in still air, in a heated enclosure, in the most unfavourable thermal position according to the manufacturer's instructions for mounting on site.

The ambient air temperature shall be maintained at the appropriate value shown in Table 2 (tolerance ±2 °C). It shall be checked by means of a thermometer having a thermal time constant of approximately 1 h. This thermometer shall be shielded so that it is exposed to the minimum possible thermal radiation from the energized sample and the energized barrier units.

Table 2 – Ambient air temperature in thermal stability test

Symbol	Temperature °C
A	40
B	45
C	50
D	55

The test capacitor shall be subjected to an a.c. voltage of substantially sinusoidal form for a period of at least 48 h. The magnitude of the voltage shall be kept constant throughout the test. Its value shall be derived from the measured capacitance (see 5.3.1) to give a calculated output of the capacitor equal to 1,44 times the rated output. The test value 1,44 Q_N is related to the 8 h overload current 1,1 I_N according to 7.1. If this 8 h overcurrent has been increased, the factor 1,44 shall be correspondingly increased in square (see also 10.3.2).

During the last 6 h, the temperature of the container shall be measured at least four times. Throughout this period of 6 h, the temperature rise shall not increase by more than 1 K. Should a greater change be observed, the test may be continued until the above requirement is met for four consecutive measurements during a subsequent 6 h period.

Before and after the test, the capacitance shall be measured (see 5.3.1) within the temperature range according to 5.1.2 and the two measurements shall be corrected to the same dielectric temperature.

The difference between the two measurements shall be less than that which would correspond to a puncture of an element or which would initiate operation of an internal fuse. When interpreting the results of the measurements, the following factors shall be taken into account:

– the repeatability of the measurements;

– the fact that internal change in dielectric may cause a small change of capacitance, without puncture of any element or operation of an internal fuse having occurred. When checking whether the temperature conditions are satisfactory, voltage fluctuation, frequency and ambient air temperature during the test should be taken into account. For this reason, it is advisable to plot these parameters and the temperature rise of the container as a function of time.

Units intended for 60 Hz installation may be tested with 50 Hz and vice versa, provided that the specified output is applied. For units rated below 50 Hz, the test conditions should be agreed between the manufacturer and purchaser.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

5.9.2 Capacitor loss measurement

The capacitor losses (or tan δ) shall be measured at the end of the thermal stability test. The measuring voltage shall be that of the thermal stability test. Otherwise subclause 5.4.1 applies.

The value of tan δ measured shall not exceed the value declared by the manufacturer or the value agreed upon between the manufacturer and purchaser.

5.10 AC voltage test between terminals and container (type test)

Capacitor units having both terminals insulated from the container shall be subjected to a test voltage applied for 1 min between the terminals joined together and the container. The value of the test voltage shall be chosen according to 6.1.3.2.

Units having one terminal permanently connected to the container shall also be subjected to a 1 min a.c. voltage test between the terminals to check the adequacy of the insulation to container. The test voltage is proportional to the rated voltage and is calculated according to 6.1.3.3. Whenever the voltage of this test exceeds the dielectric test requirement, the test unit's dielectric composition may be modified, for example by increasing the number of elements in series, to avoid dielectric failure. However, the insulation to container shall not be changed. Alternatively, this test may be completed, using a similar unit with two isolated terminals having the same insulation to the container.

The test is dry for units to be used indoors. For units to be used outdoors, it is performed in artificial rain (IEC 60060-1). The position of the bushings when subjected to a test in artificial rain shall correspond to their position in service.

During the test, neither puncture nor flashover shall occur.

Units intended for outdoor installation may be subjected to a dry test only if the manufacturer can supply a separate type test report showing that the bushings will withstand the wet test voltage for 1 min. The position of the bushing in this separate type test should correspond to the service position.

5.11 Lightning impulse voltage test between terminals and container (type test)

This test is applicable only to units having all terminals insulated from the container, and with the containers connected to earth (ground).

The lightning impulse test shall be made in accordance with IEC 60060-1 but with a waveform of 1,2/50 µs to 5/50 µs having a crest value corresponding to the insulation level of the unit according to 6.1.1.

Fifteen impulses of positive polarity followed by 15 impulses of negative polarity shall be applied between bushings joined together and the container. After the change of polarity, it is permissible to apply some impulses of lower amplitude before the application of the test impulses.

The capacitor is considered to have passed the test if

– no internal puncture has occurred,
– not more than two external flashovers occurred at each polarity,
– the waveshape has revealed no irregularities or no significant deviation from recordings at reduced test voltage.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

5.12 Cold duty test (type test)

The objective of this test is to demonstrate that the capacitors of the bank can withstand an overvoltage at the protective level followed by an overcurrent condition with the capacitors initially at the lowest ambient temperature.

The voltages applied during this test shall be at power frequency and the waveform substantially sinusoidal. The test circuit shall be suitably damped to reduce transients that exceed the prescribed power frequency voltages.

The cold duty test may be performed on either a standard unit or on a special unit having the characteristics described in IEC 60871-1, sub-clauses 16.5.2 and 16.5.3.

To prepare for the test, the test unit shall be placed in a refrigerator and the unit cooled until the dielectric temperature is equal to or lower than the lowest temperature of the temperature category.

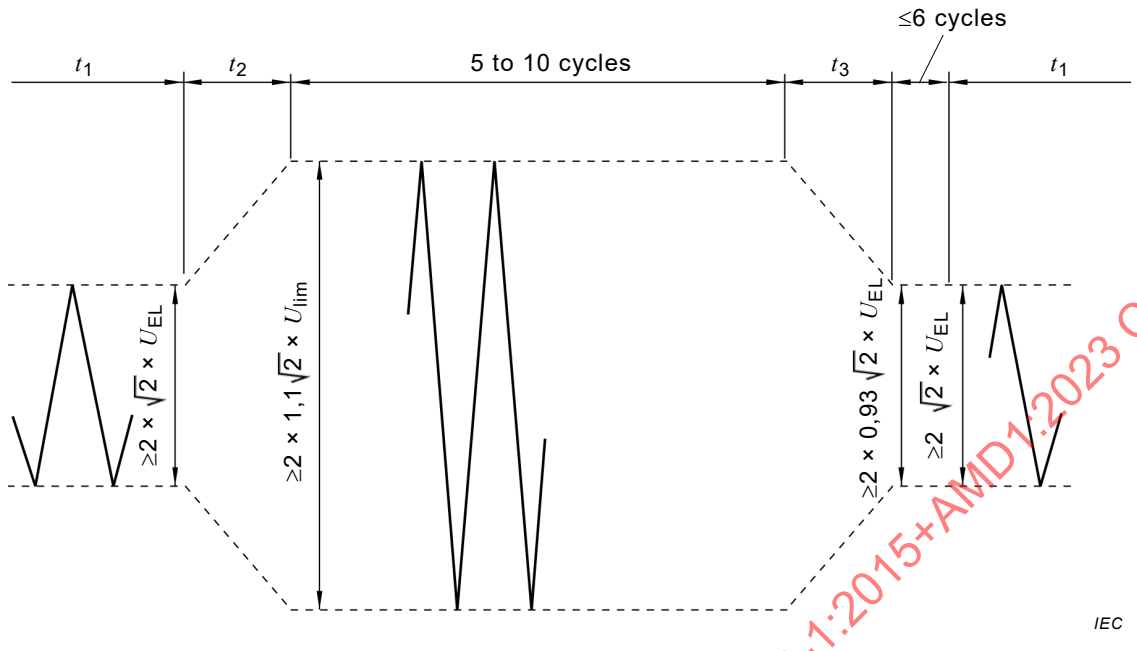
Within 10 min after being removed from the refrigerator, the unit shall be exposed to U_{EL} (between terminals) for 30 s. Thereafter, an overvoltage of 1,1 U_{lim} (but at least 2,25 U_N) shall be applied without any voltage interruption for a period of 5 to 10 cycles. After this the overvoltage of U_{EL} is maintained again without any voltage interruption (Figure 3) for an interval of 1,5 min to 2 min. Then another equal overvoltage sequence shall be applied, and so on until 50 power frequency overvoltage periods of 1,1 U_{lim} followed by U_{EL} have been applied (see Figure 3).

After the last overvoltage period at 1,1 U_{lim}, a voltage of U_{EL} shall be maintained for a time of 30 min.

The magnitude of U_{EL} shall be either 1,2 U_N or the voltage corresponding to the maximum 30 min overload condition following system disturbances (see Clause 7 and 10.3.1) whichever is higher.

Before and after the test, the capacitance shall be measured according to 5.3.1 and the two measurements shall be corrected to the same dielectric temperature (see 5.1.2). There shall be no significant change of capacitance for these measurements and, in any case, it shall be less than the change corresponding to the puncture of an element or the operation of an internal fuse. When interpreting the results of the measurements, the factors stated in 5.9.1 shall be taken into account.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV



The time t_1 is the interval of 1,5 min to 2 min between two consecutive overvoltage applications. The times t_2 and t_3 depend on the test circuit parameters and should be as short as possible.

Figure 3 – Time and amplitude limits for an overvoltage period waveform

5.13 Discharge current test (type test)

This test includes discharges with two different sets of parameters. The first test is intended to demonstrate that the units can withstand the stresses that may occur during the rare instance of a flashover that bypasses the damping circuit. The second test is intended to demonstrate that the units can withstand the discharge current associated with operation of the gap or closure of the bypass switch.

NOTE The discharge frequency should approximate that of the application.

For the first test, the capacitor unit shall be charged to a d.c. voltage of $\sqrt{2}\,U_{lim}$ and then discharged once through a circuit having an impedance as low as possible. The discharge circuit may be implemented with a small fuse wire or a shorting switch.

For the second test, the same unit shall then be charged to a d.c. voltage of 1,6 U_{lim} (1,1 × $\sqrt{2}\,U_{lim}$) and discharged through a circuit which satisfies the following conditions:

– the peak value of the discharge current shall be not less than 110 % of that resulting from conduction of the gap or the closure of the bypass switch;
– the I^2t of the discharge current shall be at least 10 % more than that associated with the conduction of the gap or the closure of the bypass switch (see IEC 60143-2).

This discharge shall be repeated 10 times at intervals of less than 20 s. Within 10 min after the last discharge, the unit shall be subjected to a voltage test between terminals according to 5.5.

Before and after the test, the capacitance shall be measured according to 5.3.1 and the two measurements shall be corrected to the same dielectric temperature (see 5.1.2). There shall be no significant change of capacitance at these measurements and, in any case, it shall be less than the change corresponding to the puncture of an element or to the operation of an internal fuse. When interpreting the results of the measurements, the factors stated in 5.9.1 shall be taken into account.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

6 Insulation level

6.1 Insulation voltages

6.1.1 Standard values

The insulation withstand voltages of the capacitor units and of the capacitor installation shall be chosen from the standard values prescribed in IEC 60071-1 and IEC 60071-2.

The standardized values of the highest voltage for equipment are divided into two ranges:

a) **Range I:** Above 1 kV to 245 kV included. This range covers both transmission and distribution systems. The different operational aspects, therefore, shall be taken into account in the selection of the rated insulation level of the equipment.

b) **Range II:** Above 245 kV. This range covers mainly transmission systems. The association of standard withstand voltages with the highest voltage for equipment has been standardized to benefit from the experience gained from the operation of systems designed according to IEC standards and to enhance standardization.

Standard withstand voltages are associated with the highest voltage for equipment according to Table 3 for range I and Table 4 for range II.

The purchaser shall specify which of the alternative test voltages shall be applied.

NOTE In North America other values of U_m and of rated withstand voltages are in use. Table 5 contains such values which, however, do not constitute IEC standard insulation levels.

6.1.2 Insulation to earth and between phases

The test voltages shall be selected among the standard values in accordance with 6.1.1.

For installations at altitudes exceeding 1 000 m, an increased insulation may be required.

NOTE The insulation level to earth applies not only to the platform insulators, but also to other series capacitor equipment between phase and earth such as ground mounted bypass switch, communication insulator, disconnectors etc.

6.1.3 Insulation levels for insulators and equipment on the platform

6.1.3.1 General requirements

The insulation levels for insulators and series capacitor equipment mounted on the supporting platform are in reference to the platform.

For installations at altitudes exceeding 1 000 m, higher insulation levels may be required.

The insulation level of the insulators and equipment on the platform shall be selected based on the protective level established by the overvoltage protector using equation (2) below. The equation applies to the insulation across the entire segment using the protective level of that segment. It also applies to the insulation within the segment using the pro-rated protective level across that part of the segment.

$$U_{ipf} \geq 1{,}2\, U_{pl} \big/ \sqrt{2} \qquad (2)$$

where

U_{ipf} is the power frequency withstand voltage (r.m.s.);

U_{pl} is the peak voltage magnitude of the protective level.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

The required power frequency withstand voltage is derived from the protective level. A standard insulation level is then selected from Table 3 or table 5 by comparing the short time power frequency withstand voltage stated in the table with the required value. The first column in the tables (highest voltage for equipment) shall not be used to select a standard insulation level.

6.1.3.2 Capacitor units

Capacitor units mounted on insulated platforms, or otherwise insulated from earth, shall withstand the power frequency voltage between terminals and container according to equations (3) or (4). The higher value according to equations (3) or (4) shall apply.

$$U_{\text{ipf(n)}} \geq U_{\text{ipf}} \times n/s \tag{3}$$

$$U_{\text{ipf(n)}} \geq 2{,}5 \times n \times U_{\text{N}} \tag{4}$$

where

U_{N} is the rated voltage of the capacitor unit;

s is the total number of capacitor units in series of the actual segment;

n is the number of capacitor units in series relative to the metal rack to which the containers are connected (e.g. if six units are series connected in one rack with the centre point connected to the rack, n = 3) .

Capacitor units having their containers connected to earth shall withstand full insulation according to 6.1.1 between terminals and container.

NOTE The equations for $U_{\text{ipf(n)}}$ above refer to the insulation between terminals and container of the capacitor unit. The equations do not apply to the test voltage of the capacitor dielectric, for which the equations in Clause 5 apply.

6.1.3.3 Capacitor racks

Any inter-rack insulation, e.g. support insulators between racks, shall withstand the power frequency withstand voltage according to equations (3) and (4). The higher value according to equations (3) or (4) shall apply. In this case n corresponds to the number of units which span across the insulation in question.

6.1.3.4 Support insulators and other equipment on the platform

The insulation levels for equipment mounted on the platform shall be selected according to the procedure outlined in 6.1.3.1 and by applying equation (2) and (3), if not otherwise stated in the subclauses below. In this case n corresponds to the number of capacitor units which span across the insulation in question.

a) Bus insulators

The insulation class of the insulators supporting the different buses on the platform shall be selected based on the above relationship. The insulator voltage class is determined by selecting an insulator with an equivalent or greater power frequency withstand voltage in accordance with Table 3. In this process the left column of the table is not used.

b) Equipment insulators

In general, the power frequency insulation level of the equipment on the platform shall be established by equation (3) and by applying the procedure described for bus insulators, with some exceptions.

c) Bypass switch

The insulation level across the interrupter of the bypass switch shall be based on the relationships defined above.

d) Varistor

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

The enclosure of the varistor shall have a power frequency wet withstand voltage based on the above equation. It is not required that the specific level selected be a standard value from Table 3.

e) Bypass gap

The insulators used in the bypass gap shall be based on the relationships defined above, taking into account the portion of the segment voltage to which the bypass gap is exposed. Intermediate assemblies can experience high transients during the normal breakdown process and shall be designed for these conditions. In addition, the withstand level of the power gap and any trigger circuit shall be coordinated to withstand all system disturbances without breaking under power system conditions for which they are inappropriate.

f) Discharge current limiting and damping equipment

The insulators used to support the discharge current limiting circuit from the platform shall be based on the relationships defined above, taking into account the portion of the segment voltage to which these insulators are exposed.

The insulation level across the discharge current limiting circuit shall be selected based on instantaneous voltage appearing across the circuit when the bypass gap sparks over or the bypass switch closes. The power frequency withstand of the required insulation class shall be at least $1{,}2/\sqrt{2}$ times this instantaneous voltage. The LIWL (lightning impulse withstand level) (BIL) (basic lightning impulse insulation level) of the circuit is then selected from the tables. However it must be recognized that the voltage that appears across the circuit when the bypass gap conducts or the bypass switch closes is of a much higher frequency than 50 Hz or 60 Hz and that the duration is very brief. At 50 Hz or 60 Hz, the magnitude of impedance of the circuit is usually very small, making it virtually impossible to perform a power frequency voltage withstand test at the selected level. On the other hand, the circuit can be easily tested with an impulse. As a result, the primary focus of the insulation across the circuit is its LIWL (BIL).

g) Current transformers and optical current transducers

The insulation level of the current transformers and the optical current transducers shall be based on the relationships defined above.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Table 3 – Standard insulation levels for range I (1 kV < U_m ≤ 245 kV)

(reproduced from IEC 60071-1:2006, Table 2)

Highest voltage for equiment (U_m) kV (r.m.s. value)	Standard rated short-duration power-frequency withstand voltage kV (r.m.s. value)	Standard rated lightning impulse withstand voltage kV (peak value)
3,6	10	20 40
7,2	20	40 60
12	28	60 75 95
17,5 [a]	38	75 95
24	50	95 125 145
36	70	145 170
52 [a]	95	250
72,5	140	325
100 [b]	(150)	(380)
	185	450
123	(185)	(450)
	230	550
145	(185)	(450)
	230	550
	275	650
170 [a]	(230)	(550)
	275	650
	325	750
245	(275)	(650)
	(325)	(750)
	360	850
	395	950
	460	1 050

NOTE If values in brackets are considered insufficient to prove that the required phase-to-phase withstand voltages are met, additional phase-to-phase withstand voltage tests are needed.

[a] These U_m are non preferred values in IEC 60038 and thus no most frequently combinations standardized in apparatus standards are given.

[b] This U_m value is not mentioned in IEC 60038 but it has been introduced in range I in some apparatus standards.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Table 4 – Standard insulation levels for range II (U_m > 245 kV) *(1 of 2)*

(reproduced from IEC 60071-1:2006, Table 3)

Highest voltage for equipment U_m kV (r.m.s. value)	Standard rated switching impulse withstand voltage			Standard rated lightning impulse withstand voltage [b] kV (peak value)
	Longitudinal insulation [a] kV (peak value)	Phase-to-earth kV (peak value)	Phase-to-phase (ratio to the phase-to-earth peak value)	
300 [c]	750	750	1,50	850
				950
	750	850	1,50	950
				1 050
362	850	850	1,50	950
				1 050
	850	950	1,50	1 050
				1 175
420	850	850	1,60	1 050
				1 175
	950	950	1,50	1 175
				1 300
	950	1050	1,50	1 300
				1 425
550	950	950	1,70	1 175
				1 300
	950	1 050	1,60	1 300
				1 425
	950 1 050	1 175	1,50	1 425
				1 550
800	1 175	1 300	1,70	1 675
				1 800
	1 175	1 425	1,70	1 800
				1 950
	1 175 1 300	1 550	1,60	1 950
				2 100
1 100	–	1 425 [d]	–	1 950
				2 100
	1 425	1 550	1,70	2 100
				2 250
	1 550	1 675	1,65	2 250
				2 400
	1 675	1 800	1,6	2 400
				2 550

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Table 4 *(2 of 2)*

Highest voltage for equipment U_m kV (r.m.s. value)	Standard rated switching impulse withstand voltage			Standard rated lightning impulse withstand voltage [b] kV (peak value)
	Longitudinal insulation [a] kV (peak value)	Phase-to-earth kV (peak value)	Phase-to-phase (ratio to the phase-to-earth peak value)	
1 200	1 550	1 675	1,70	2 100
				2 250
	1 675	1 800	1,65	2 250
				2 400
	1 800	1 950	1,60	2 550
				2 700

[a] Value of the impulse voltage component of the relevant combined test while the peak value of the power-frequency component of opposite polarity is $U_m \times \sqrt{2} / \sqrt{3}$.

[b] These values apply as for phase-to-earth and phase-to-phase insulation as well; for longitudinal insulation they apply as the standard rated lightning impulse component of the combined standard rated withstand voltage, while the peak value of the power-frequency component of opposite polarity is $0{,}7 \times U_m \times \sqrt{2} / \sqrt{3}$.

[c] This U_m is a non-preferred value in IEC 60038.

[d] This value is only applicable to the phase-to-earth insulation of single phase equipment not exposed to air.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Table 5 – Typical insulation levels for platform-to-ground insulators *(1 of 2)*

(insulation levels based on IEEE Standard C62.82.1-2010)

Maximum system voltage (phase-to-phase) V_m kV, rms	Basic lightning impulse insulation level (phase-to-ground) BIL kV, crest	Low-frequency, short-duration withstand voltage[a] (phase-to-ground) kV, rms
15	95 110	34
26.2	125 150	40 50
36.2	150 200	50 70
48.3	250	95
72.5	250 350	95 140
121	350 450 550	140 185 230
145	450 550 650	185 230 275
169	550 650 750	230 275 325
242	650 750 825 900 975 1050	275 325 360 395 480

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Table 5 *(2 of 2)*

Maximum system voltage (phase-to-phase) V_m kV, rms	Basic lightning impulse insulation level (phase-to-ground) BIL kV, peak	Basic switching impulse insulation level[a] (phase-to-ground) BSL kV, peak
362	900 975 1050 1175 1300	650 750 825 900 975 1050
420	1050 1175 1300 1425	850 950 1050
550	1300 1425 1550 1675 1800	1175 1300 1425 1550
800	1800 1925 2050	1300 1425 1550 1675 1800
1200	2100 2250 2400 2550 2700	1675 1800 1950

[a] See specific BIL/BSL relationship in relevant apparatus standard. Preferred values are provided in 4.6.

6.2 Creepage distance

The recommendations given in Table 1 of IEC 60071-2:1996 shall apply. The purchaser shall specify which one of the pollution levels, or specific creepage distance, shall be applicable.

In Table 6, specific creepage distances are given for the different pollution levels according to Table 1 of IEC 60071-2:1996. (For more detailed description of the pollution levels, see IEC 60071-2.) The creepage distance is calculated by multiplying the general nominal specific creepage distance in the fourth column with the rated voltage across the insulation in question. The values in Table 6, column 4 are generally applicable for any voltage, i.e. phase-phase, phase-earth or any voltages within a phase segment.

If the 30 min overload current (I_{30}) exceeds 1,35 pu, the creepage distances shall be increased linearly in proportion to (I_{30}/1,35 pu).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Table 6 – Specific creepage distances

Pollution level	Examples of environments (further details in IEC 60071-2:1996, Table 1)	Minimum nominal specific creepage distance according to (IEC 60071-2:1996, Table 1) mm/kV	General nominal specific creepage distance mm/kV
I Light	No or low density of industries or houses Agriculture or mountain areas Locations at least 10 km to 20 km from the sea	16	28
II Medium	Industries not producing particularly polluting smoke High density of houses and/or industries but subjected to frequent winds and/or rainfall Wind from the sea but not too close to the coasts	20	35
III Heavy	High density of industries and suburbs of large cities, producing pollution Areas close to the sea	25	44
IV Very heavy	Industrial smoke producing conductive deposits Areas very close to the sea and exposed to sea-spray (salt) Desert areas	31	54
The general nominal specific creepage distances in Table 6, Column 4, are obtained from values in IEC 60071-2:1996, Table 1, multiplied by $\sqrt{3}$. The values in IEC 60071-2:1996 (Column 3) are based on the highest voltage for equipment (see 3.13) but should be applied on phase-ground insulations. When applying any of these nominal specific creepage distances on phase-phase insulations, the values shall be multiplied by $\sqrt{3}$. A more general approach is to apply the values in Column 4 to the voltage across any insulation path within the bank.			

6.3 Air clearances

Recommendations for selection of air clearance distance are found in IEC 60071-2:1996, Annex A. Minimum clearances have been determined for different electrode configurations. The minimum clearances specified are determined with a conservative approach, taking into account practical experience, economy, and size of practical equipment in the range below 1 m clearance. These clearances are intended solely to address insulation coordination requirements. Safety requirements may result in substantially larger clearances.

Table 7, taken from IEC 60071-2, shall be used for phase-to-phase and phase-to-earth insulation for which lightning impulse withstand voltage is defined.

Table 8 and Table 9, taken from IEC 60071-2, shall be used for phase-to-earth and phase-to-phase insulation for which switching impulse withstand voltage is defined.

For selection of proper air clearance across insulation paths where only an a.c. voltage withstand requirement applies, e.g. for platform-mounted equipment, the recommendations in Annex G of IEC 60071-2:1996 shall be used. Minimum air clearance versus a.c. power frequency withstand voltage, according to Figure 4, shall apply if no other more detailed requirements are specified.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Application example: Calculation of insulation level, creepage distance and air clearance

A series capacitor (SC) is rated X_{CN} = 43 Ω and I_{CN} = 1 500 A. The 30 min overload current is 1,35 pu. The SC is protected by a ZnO varistor with a protective level equal to 2,2 pu. The pollution level is level II, medium, according to Table 6. Calculate the insulation level, the creepage distance and the air clearance for the support insulator of the high-voltage busbar on the platform.

Solution:

The rated voltage U_{CN} = 43 × 1,5 = 64,5 kV r.m.s.

The protective level voltage U_{pl} = $\sqrt{2}$ × 2,2 U_{CN} = 200,7 kV peak (see 10.5).

a) Insulation level

According to 6.1.3.1, equation (2) the following is valid:

$$U_{ipf} \geq 1{,}2\, U_{pl} \big/ \sqrt{2} = 170{,}3 \text{ kV r.m.s.}$$

According to Table 3, the insulation level for the high-voltage busbar insulator is selected as 185 kV r.m.s. for power frequency withstand voltage and as 450 kV peak for lightning impulse withstand voltage.

b) Creepage distance

According to 6.2, Table 6, the following is valid:

The creepage distance l is: l = 35 U_{CN} = 2 258 mm.

c) Air clearance

According to Figure 4, the following is valid:

The air clearance corresponding to 170,3 kV r.m.s. is 580 mm.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Table 7 – Correlation between standard lightning impulse withstand voltages and minimum air clearances

(reproduced from IEC 60071-2:1996, Table A.1)

Standard lightning impulse withstand voltage kV	Minimum clearance mm	
	Rod-structure	Conductor structure
20	60	
40	60	
60	90	
75	120	
95	160	
125	220	
145	270	
170	320	
250	480	
325	630	
380	750	
450	900	
550	1 100	
650	1 300	
750	1 500	
850	1 700	1 600
950	1 900	1 700
1 050	2 100	1 900
1 175	2 350	2 200
1 300	2 600	2 400
1 425	2 850	2 600
1 550	3 100	2 900
1 675	3 350	3 100
1 800	3 600	3 300
1 950	3 900	3 600
2 100	4 200	3 900

NOTE The standard lightning impulse is applicable phase-to-phase and phase-to-earth.

For phase-to-earth, the minimum clearance for conductor-structure and rod-structure is applicable.

For phase-to-phase, the minimum clearance for rod-structure is applicable.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Table 8 – Correlation between standard switching impulse withstand voltages and minimum phase-to-earth air clearances

(reproduced from IEC 60071-2:1996, Table A.2)

Standard switching impulse withstand-voltages kV	Minimal phase-to-earth	
	Conductor-structure	Rod-structure
750	1 600	1 900
850	1 800	2 400
950	2 200	2 900
1050	2 600	3 400
1175	3 100	4 100
1300	3 600	4 800
1425	4 200	5 600
1550	4 900	6 400

Table 9 – Correlation between standard switching impulse withstand voltages and minimum phase-to-phase air clearances

(reproduced from IEC 60071-2:1996, Table A.3)

Standard switching impulse withstand-voltages kV			Minimum phase-to-phase clearances mm	
Phase-to-earth kV	Phase to phase value / Phase-to-earth value	Phase to phase kV	Conductor-conductor parallel	Rod-conductor
750	1,5	1 125	2300	2 600
850	1,5	1 275	2 600	3 100
850	1,6	1 360	2 900	3 400
950	1,5	1 425	3 100	3 600
950	1,7	1 615	3 700	4 300
1050	1,5	1 575	3 600	4 200
1050	1,6	1 680	3 900	4 600
1175	1,5	1 763	4 200	5 000
1300	1,7	2 210	6 100	7 400
1425	1,7	2 423	7 200	9 000
1550	1,6	2 480	7 600	9 400

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

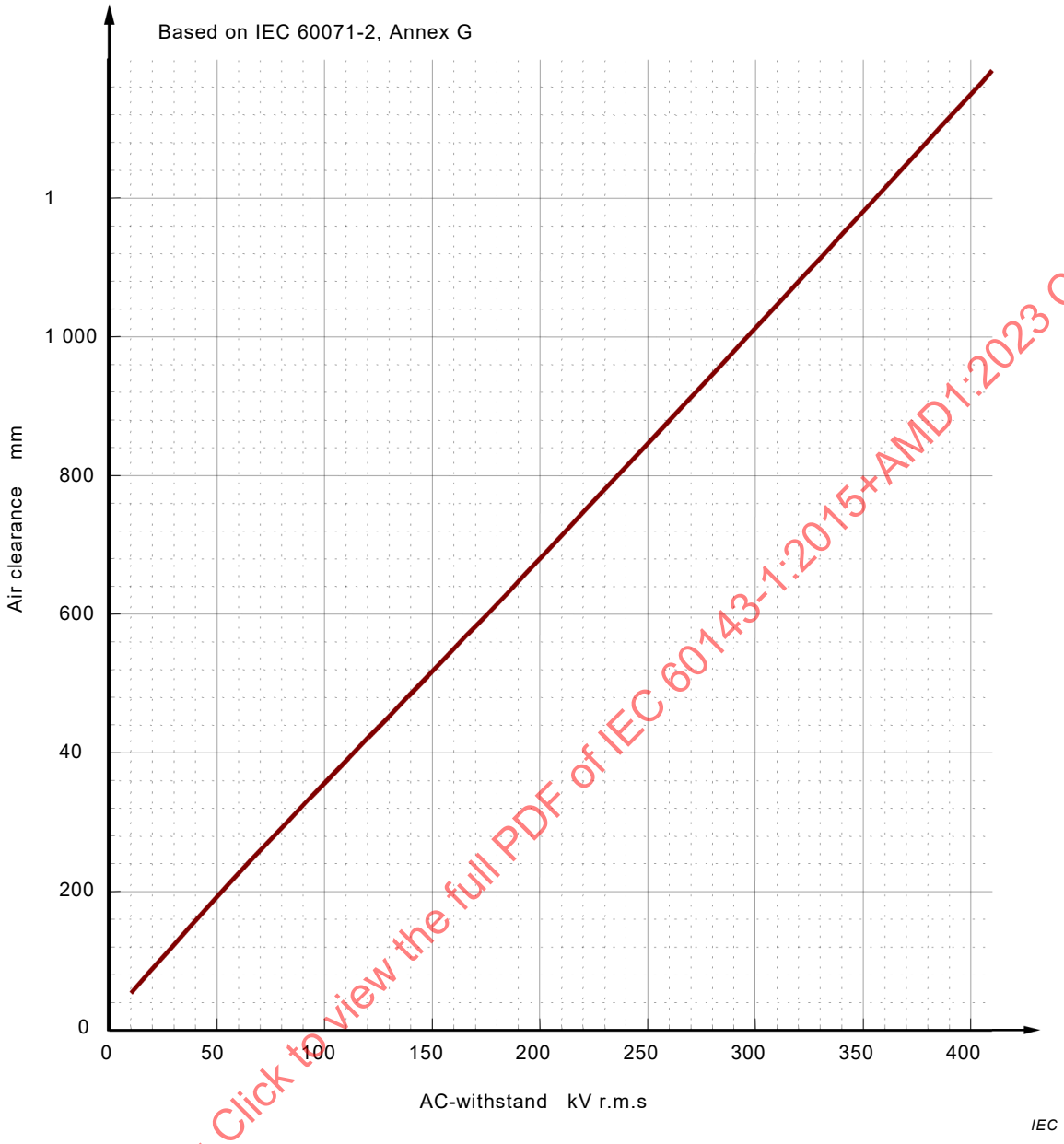


Figure 4 – Air clearance versus a.c. power frequency withstand voltage

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

7 Overloads, overvoltages and duty cycles

7.1 Currents

The series capacitor bank shall be capable of withstanding the rated continuous current, system swing currents, emergency loading, power system faults and, in some applications, harmonic currents. Some of these conditions are illustrated in 10.3. These quantities are generally specified by the purchaser.

7.2 Transient overvoltages

Series capacitors shall be suitable for repeated operations at transient overvoltages, e.g. caused by power system faults, with the highest possible value U_{pl} that is expected to occur across the capacitor terminals. The transient overvoltage is normally limited by an overvoltage protector (see 5.1.3, 5.1.4 and 10.5). The expected magnitude of the overvoltage shall be

agreed upon between the manufacturer and the purchaser. The purchaser shall give the estimated repetition rate.

7.3 Duty cycles

The series capacitor equipment shall be designed to withstand the required sequences of faults, system swing currents, emergency loading and continuous currents, as specified by the purchaser. These sequences form the duty cycles that all of the components of the bank shall be designed to withstand. The duty cycle shall be consistent with the manner in which the surrounding power system will be operated for both internal and external faults. The purchaser shall define duty cycles for faults of normal and extended durations and for faults of different types (three-phase and single-phase). Phase-to-phase faults shall be considered if specifically defined by the purchaser as these can be decisive for the energy rating of the varistor. Examples of typical duty cycles are found in 4.4 of IEC 60143-2:2012. See also 10.5 of this standard.

Although the focus of this subclause is duty cycles involving faults on the power system, it is understood that the bank shall be designed to operate for other events such as insertion and reinsertion under the conditions defined by the purchaser.

8 Safety requirements

8.1 Discharge device

Each capacitor unit or group of parallel units shall be provided with a means for discharging the residual voltage to 75 V or less from $\sqrt{2}\ U_N$. The maximum discharge time is 10 min for the capacitor unit or group of parallel units. There shall be no switch, fuse or any other isolating device between the capacitor unit(s) and the discharge device (external device).

The discharge circuits shall have adequate current-carrying and energy absorbing capacity to discharge the capacitor from a voltage level equal to U_{pl} and for auto-reclosing of the line and the series capacitor bank.

A discharge device is not a substitute for short-circuiting the capacitor terminals together and to earth before handling.

In certain countries, a shorter discharge time and a lower residual voltage are required. In this case, the purchaser should inform the manufacturer.

NOTE 1 Operating conditions above the rated voltage may cause a residual voltage over 75 V after 10 min.

NOTE 2 A fault in a unit cleared by a fuse, or a flashover across part of the bank can produce local residual charges inside the segment which cannot be cleared within the specified time by means of a discharge device connected between the terminals of the segment.

NOTE 3 The service requirements may require that the phase or segment should be equipped with an additional discharge device external to the capacitor units.

8.2 Container connection

To enable the potential of the metal container of a capacitor unit to be fixed, and to be able to carry the fault current in the event of a breakdown to the container, the container shall be provided with connection means suited for a bolt with a screw size of at least M 10 or equivalent (e.g. brackets with unpainted mounting surface).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

8.3 Protection of the environment

When capacitors contain materials (e.g. polychlorinated biphenyls) that must not be dispersed into the environment, the legal requirements of the country concerned shall be followed (see Annex E).

8.4 Other safety requirements

The purchaser shall specify at the time of enquiry any special requirements with regard to the safety regulations applicable in the country in which the capacitor is to be installed.

9 Markings and instruction books

9.1 Markings of the unit

9.1.1 Rating plate

The following information shall be given on the rating plate of each capacitor unit:

a) Name of manufacturer.

b) Identification number and year of manufacture; the year may be a part of the identification number or be in code form.

c) Rated current, I_N, in amperes.

d) Rated capacitance, C_N, in microfarads.

e) Rated frequency, f_N, in hertz.

f) Rated voltage U_N in volts or kilovolts.

g) Rated output, Q_N, in kilovars.

h) Limiting voltage, U_{lim}, in volts or kilovolts.

i) Temperature category.

j) Discharge device, if internal, shall be indicated by wording or by the symbol or by the rated resistance in kilohms or megohms.

k) Insulation level, U_i, in kilovolts.

l) Internal fuses, if included, shall be indicated by wording or by the symbol (IEC 60417:2002-10).

m) Chemical or trade name of impregnant; this indication may alternatively be stated on the warning plate (see 9.1.2).

n) Reference to IEC 60143-1 (plus the year of issue).

A place shall be reserved for the measured capacitance (see 5.3.1). This value may be indicated in one of the following ways:

– as an absolute capacitance value which may replace the rated capacitance;

– as a difference ΔC between the measured and the rated capacitance indicated, for example, by symbols for the capacitance deviation ranges as follows:

++ for ΔC between +7,5 % and +4,5 %

\+ for ΔC between +4,5 % and +1,5 %

+– for ΔC between +1,5 % and –1,5 %

– for ΔC between –1,5 % and –4,5 %

–– for ΔC between –4,5 % and –7,5 %.

The insulation level can be marked by means of two numbers separated by a stroke, the first number giving rated short duration power-frequency withstand voltage in kilovolts and the

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

second number giving rated lightning impulse withstand voltage in kilovolts, e.g. 28/75 kV. For units having one terminal permanently connected to the container and not tested according to 5.10 and 5.11, this information is not applicable.

9.1.2 Warning plate

If the capacitor unit contains material which may pollute the environment or may be hazardous in any other way (e.g. inflammability), the unit shall be provided with a label or otherwise marked according to the relevant laws of the country of the user. The purchaser shall inform the manufacturer about such law(s) (see Annex E).

9.2 Markings of the bank

9.2.1 Instruction sheet or rating plate

The following minimum information shall be given by the manufacturer in an instruction sheet or, alternatively, by contractual agreement, on a rating plate:

a) Name of manufacturer.

b) Rated output Q_N (e.g. 3 × 10 Mvar).

c) Reactance of each phase.

d) Rated current I_N.

e) Permissible overcurrent during 30 min (see 10.3).

f) Rated voltage U_N.

g) Protective level voltage U_{pl}.

h) Insulation level with respect to earth.

i) Time to discharge the phase from $\sqrt{2}\,U_N$ to 75 V.

j) Type of overvoltage protector (see 5.1.3).

If further information is given in an instruction sheet, the rating plate (or another plate, if a rating plate does not exist) shall bear reference to this instruction sheet.

If the capacitor bank consists of series-connected segments, items c), f), g) and i) shall be related to each segment.

The insulation level can be marked by means of two numbers separated by a stroke, the first number giving the rated short duration power-frequency withstand voltage (for U_m <300 kV) or the rated switching impulse withstand voltage (for U_m ≥300 kV) in kilovolts, and the second number giving the rated lightning impulse withstand voltage in kilovolts, e.g. 185/450 kV.

9.2.2 Warning plate

Subclause 9.1.2 is also valid for the bank.

9.3 Instruction book

The following minimum information shall be provided in the instruction book for the series capacitor bank:

a) Name of supplier

b) Overall bank

- summary of ratings
- layout drawings

c) Power equipment

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

- description
- ratings
- outline drawings
- maintenance procedures
- spare parts

d) Protection and control
- description of operation
- schematics
- maintenance procedures
- testing procedures
- spare parts.

10 Guide for selection of ratings, installation and operation

10.1 General

Since series capacitors reduce the inductive line reactance, and thereby decrease the phase angle between the voltages at the ends of the line, they are used in long transmission lines to improve voltage regulation and system stability, and thus increase transmission capacity of the line. They are also used for governing the active power distribution between lines working in parallel, thereby reducing the total transmission losses.

Because of their automatic and instantaneous response, series capacitors are used in distribution lines to reduce rapid voltage fluctuations due to load variation. See reference [3]. Consequently, the voltage conditions in the system are improved in most cases.

Because of the fluctuating line current, series capacitors are subjected to much greater variation of the voltage between terminals than shunt capacitors. When a short-circuit occurs in the system, this voltage may be so high that capacitor units designed to withstand it would be uneconomical. Therefore, such overvoltages are in most cases limited by an overvoltage protector which bypasses the phase or segment.

The effect of series capacitors on the system and their operating conditions are different in almost every application. To attain the best technical and economic results, each particular case should be studied individually in cooperation between the manufacturer and purchaser according to the criteria indicated in this clause and the result of the studies shall form part of the contract information.

10.2 Reactance per line, rated reactance per bank and number of modules per bank

10.2.1 Capacitive reactance per line

Typically, the series compensation in a transmission line is selected as a fixed percentage of the line inductive reactance. This percentage is selected from system power flow, system stability, short-circuit and subsynchronous resonance (SSR) studies (see 10.8.3) based on:

- voltages at key substations;
- voltage profile along the line;
- system dynamic stability requirements;
- power flow on parallel paths;
- SSR considerations for nearby, non-hydro turbine generators.

Finally, the cost of the equipment should be considered as the cost of series compensation will increase as the series compensation level is increased.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Higher series compensation can generally improve system performance but may require costly mitigation measures for SSR, if the compensation is close to non-hydro turbine generators with an SSR risk. Based on these considerations, a fixed level of series compensation is selected in the first place.

For several parallel paths or transmission lines, the series compensation level is selected to avoid unequal power flows. However, in some cases, series compensation may be used to optimize power flow on parallel lines with unequal line current ratings, to attract more power to the preferred line or path.

The per cent compensation can be anywhere from 20 % to 80 % of the line impedance. Series compensation is generally needed on long transmission lines for improving system stability and voltage profiles. It may be applied on short lines to balance the power flows. The series compensation range is kept below 100 % as it is desirable that the line appears as a net inductive reactance and to keep the resonant of the transmission line below the system synchronous frequency. A 50 % line compensation on a 300 km long line with 0,3 Ω/km

positive sequence line impedance would require 45 Ω of series capacitive impedance (0,5 × 300 km × 0,3 Ω = 45 Ω). This is the “capacitive reactance” of the series capacitors installed for series compensating the line.

In general, most of the transmission lines on which series capacitors have been installed are constructed with phase transpositions so that the inductive reactances of the phases are approximately equal. The reactances of the series capacitor banks are manufactured to be approximately equal so that the net reactances of the phases of the compensated line are also approximately equal. This approach minimizes negative sequence currents. The application of series capacitors in non-transposed lines is possible. However, selection of the reactance and the current ratings for each phase requires careful consideration. The purchaser should indicate in the specification if the line is not transposed.

10.2.2 Number of series capacitor banks in a transmission line

The number of banks in a line is dependent on the length of the line, the percentage compensation and the line current. There are no standard values of reactance for series capacitor banks. If the line is long and the compensation level and current levels are both high, the desired capacitive reactance per line is generally installed either as two banks, one at each line terminal, or as a single bank in the mid-section of the line. Mid-line location generally gives a lower through fault current and requires a smaller varistor rating compared to line end location. This is done to maintain a reasonably acceptable voltage profile on the transmission line and in some cases to limit the voltage across a single series capacitor bank. During high power transfer conditions, series capacitors generally cause a step increase of the voltage on the transmission line. Basically, the line inductive reactance causes a voltage drop when the power has a lagging reactive current component, which is usually the case under high loading conditions. This same current through the capacitive reactance of a series capacitor bank causes a step voltage increase at the bank location. By splitting the series capacitive reactance and putting it at two locations on the line, the step voltage increase can be split into half, thereby avoiding excessive voltage increases in the line voltage profile. Under light load conditions, the flow of line charging current (capacitive) through the series capacitor will result in a voltage drop. More than one bank per line also means that all of the compensation in the line is not lost if one of the banks is out of service.

In applications where the line is shorter or the compensation level is lower or the rated current is lower, usually only one bank per line is applied.

10.2.3 Number of modules in a capacitor bank

Most series capacitor banks are configured with a single module. This is usually the most economical design, unless the reactance and current requirements result in a voltage across

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023CSV

the bank that is impractical for the supplier to achieve with one module. Then the supplier may choose to configure the bank with two modules.

However, in some cases, it may be desirable to split the bank into two modules to achieve better power flow control on the power system. The advantages of the power flow control may outweigh the extra equipment costs associated with a two module bank. In addition, a bank with two modules can provide partial compensation if the other module has to be bypassed. However, with a two module bank it is not possible to maintain the equipment on the platform of one of the modules without taking the entire bank out of service.

The purchaser should indicate in the specification if more than one module per bank is required.

10.2.4 Future requirements for series capacitors

When selecting the rating of the series capacitor bank, the future requirements such as higher percentage compensation, higher power transfer, higher fault currents etc. should be considered.

The purchaser should indicate in the specification the degree to which the bank, as initially supplied, must accommodate these future operating requirements.

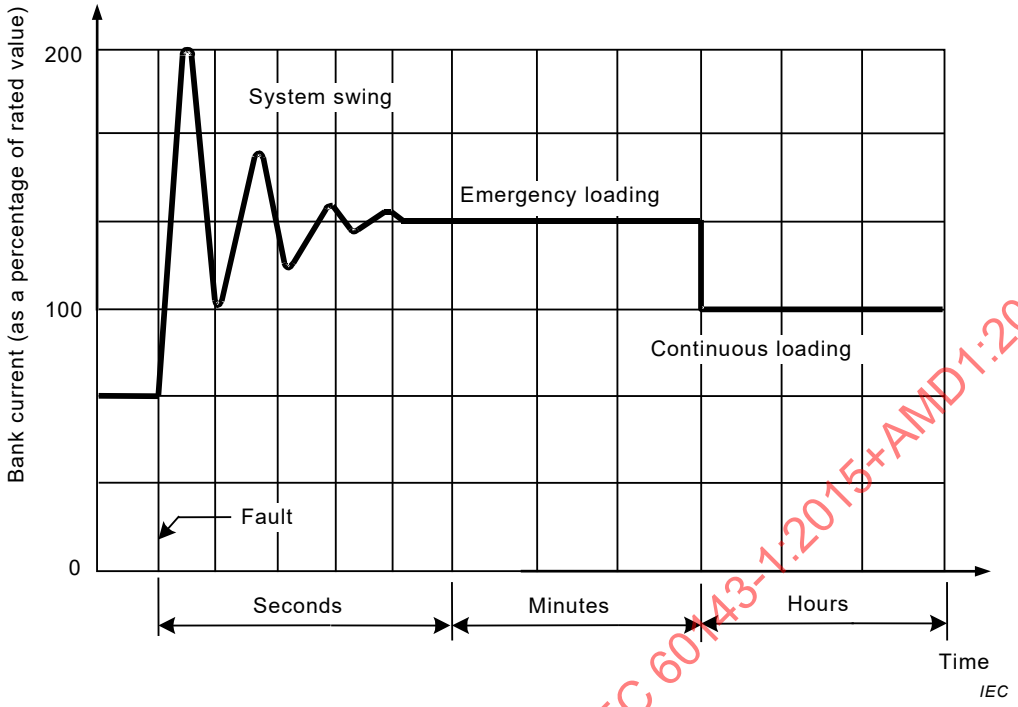
10.3 Current ratings for the bank

10.3.1 General

The purchaser should specify the continuous, emergency and swing currents required by the application. These currents should be defined for the bank in the inserted condition. For the bypassed condition, the continuous and emergency currents should also be specified, as they are usually different from those for the inserted condition.

These currents and their respective time periods are illustrated in Figure 5.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV



NOTE The fault current is not shown.

Figure 5 – Typical current-time profile of an inserted capacitor bank following the fault and clearing of parallel line

10.3.2 Typical bank overload and swing current capabilities

Since a series capacitor bank is located in series with the line, it can be exposed to a wide range of currents. As a result, banks are specified to have at least the three current ratings in Table 10. Listed for each category are the typical magnitudes of the currents in per unit of bank rating and the typical time frame for the currents. To achieve the optimum design, the purchaser should analyse the requirements of the power system and specify the current ratings of the bank based on those requirements.

Table 10 – Typical bank overload and swing current capabilities

Current	Duration	Typical range per unit pu	Most common values per unit pu
Rated	Continuous	1,0	1,0
1,1 × Rated	8 h in a 12 h period	1,1	1,1
Emergency overload (I_{EL})	30 min 10 min	1,2 to 1,6 1,4 to 1,7	1,35 1,50
Swing	1 s to 10 s	1,7 to 2,5	1,7 to 2,0

In some cases, the emergency loading is defined for a 10 min or for a 4 h period at correspondingly higher and lower per unit values than are shown in Table 10. The 30 min emergency overload is most commonly specified. A capacitor may be reasonably expected to withstand, during normal service life, a total of 300 such overloads. The protection and control

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

system of the bank will typically limit the overload to the specified value by closing the bypass switch.

The value specified for the 30 min overload can affect the design and cost of the capacitor and the varistor. To achieve 30 min overload currents above 1,6 pu, the manufacturer is likely to be forced to increase the continuous current capability of the capacitor units. In addition, the protective level of the bank is likely to be forced higher.

It should be noted that the 30 min overload current (I_{EL}) specified by the purchaser will be used to establish the voltage (U_{EL}) for the capacitor unit "cold duty test" and the varistor "energy withstand and power frequency voltage stability test" (see IEC 60143-2), unless otherwise specified by the purchaser.

10.3.3 Analysis to determine the continuous and emergency overload current rating

The continuous and emergency overload current ratings of a series capacitor bank are usually selected from one of the following three approaches:

- The power system is assumed to have its worst practical sustained contingencies and maximum power transfer through the bank is analysed using a power flow computer program. The bank is selected to have a continuous rating associated with this contingency power transfer. With this approach the bank may not need to have any significant emergency overload rating because higher currents are not practical.
- The power system is assumed to be normal and the maximum power transfer through the bank is analysed using a power flow program. The bank is selected to have a continuous current rating associated with this normal power transfer. The emergency current rating is established by analysing the current through the bank during system contingencies, especially the outage of parallel circuits. This rating should come directly from this study. However, if such outages result in a ratio of the emergency current rating to the continuous rating that is higher than the top of the range in Table 10, the continuous current rating of the bank should be increased accordingly. Due regard shall be taken to the duration of the emergency current.
- The continuous rating of the bank is selected to be equal to the maximum thermal loading current of the transmission line. In this case, the emergency loading of the bank may be selected to be consistent with the temporary thermal overload capability of the line. Again, if the ratio of the emergency current rating to the continuous rating is higher than the top of range in Table 10, the continuous current rating of the bank should be increased.

10.3.4 Analysis to determine the swing current rating

The swing current is usually determined by using a dynamic stability computer program. The analysis is performed for faults and power system contingencies that result in the highest swing current in the bank. It is especially important to consider the outage of parallel circuits.

If the currents are below 1,7 pu of the continuous rating of the bank, the impact on the design of the bank will be small. Currents above 1,7 pu can have a significant affect on the design and therefore the magnitude and waveform of the current shall be carefully defined in the specification.

10.4 Overvoltage protection requirements

In general, it is recommended that the supplier be permitted to select the protective level to best optimize the equipment. However, if the purchaser has analysed such power system considerations as SSR or line breaker TRV (see 10.8) and has an established requirement for the protective level, that requirement should be included in the specification. Typical protective levels range between 2,0 pu and 2,5 pu for Type M overvoltage protectors and higher for Type K overvoltage protectors (see 5.1.3).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

The purchaser should define the type of overvoltage protection equipment. In addition, the requirements for the equipment during and following internal and external line faults should be defined. Further information in this regard is included in IEC 60143-2.

10.5 Voltage limitations during power system faults

10.5.1 General

The series capacitor bank shall have a means of limiting the voltage across each segment or sub-segment during power system faults. The protective device must limit the peak of the power frequency voltage to the protective level for all power system fault or other conditions specified by the purchaser. Each segment or sub-segment shall be capable of withstanding the voltages, as limited by the protective device, and as established by the supplier or specified by the purchaser.

The voltage magnitude of the protective level of the protective device of a segment has the following relationship to the rated segment voltage:

$$U_{\mathrm{PL}} = (\mathrm{pu})\, U_{\mathrm{R}} \sqrt{2}$$

where

U_{PL} is the peak voltage magnitude of the protective level;

U_{R} is the rated r.m.s. segment voltage;

pu is the per unit magnitude of the protective level.

10.5.2 Voltage limitation when the inductance between the primary overvoltage protector and the capacitors is not significant

10.5.2.1 General

The following is applicable when the inductance between the primary protective overvoltage device and the capacitors is not significant.

10.5.2.2 Voltage fired gap

In the case where the protective device is a voltage fired gap, the protective level is the maximum power frequency sparkover voltage of the gap. For a protective system based on more than one gap, the protective level is the maximum power frequency sparkover voltage of the gap with the highest sparkover voltage. As is typically the case, the inductance of the discharge current limiting reactor should be sufficiently low so that, during any specified power system fault, the voltage across the segment is less than the protective level.

10.5.2.3 Varistor without a forced bypass gap

For a protective system based on a varistor and no bypass gap, the protective level is based on the highest current that will flow through the varistor for the specified power system fault conditions. This highest current is either specified by the purchaser or is determined by computer simulations performed by the supplier based on power system information provided by the purchaser. The inductance of the buswork between the varistor and the capacitors is not a significant factor.

10.5.2.4 Varistor with a forced bypass gap

In the case of a protective device consisting of a varistor and a forced triggered bypass gap, the varistor coordinating current selected to define the protective level shall be based on the maximum varistor current for any fault condition taking into account the control logic of the gap firing system and the associated time delays.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

10.5.3 Voltage limitation when the inductance between the primary overvoltage protector and the capacitors is significant

In some applications there is significant inductance between the primary protective device and the capacitors being protected. This creates the possibility that, during a power system fault, the voltage across the capacitors will be significantly higher than the maximum voltage across the protective device.

One circuit arrangement that creates this possibility is where the discharge current limiting reactor is connected in series with the capacitors. If a varistor is the primary protective device and it is connected across the series combination of the reactor and capacitors, the voltage across the capacitors can be higher than the voltage limited by the varistor. The magnitude of the difference in voltage is dependent on the inductance of the reactor and the available fault current from the power system. If this circuit arrangement is used, computer simulations should

be performed by the supplier to establish the magnitude of the voltage across the capacitors during the power system faults specified by the purchaser. The magnitude of the capacitor voltage should be used as the effective U_{lim} in determining the terminal-to-terminal dielectric test on the capacitor units and the insulation coordination for the capacitor assembly.

10.6 Protective and switching devices

10.6.1 Capacitor fusing

Three different types of fusing are applied on series capacitor banks:

– internally fused capacitor bank;
– externally fused capacitor bank;
– fuseless capacitor bank.

See Annex C for details.

The detailed requirement for the external fuses are found in Annex A.

10.6.2 Other devices

Other devices are covered by IEC 60143-2.

10.6.3 Connection diagrams

Some examples of connection diagrams are shown in Annex D.

10.7 Choice of insulation level

10.7.1 Normal cases

a) Insulation level, creepage distance and air clearance between phase and ground and between phases should be specified by the purchaser.

b) Insulation levels, creepage distances and air clearances on the platform should be implemented by the supplier applying the procedures described in 6.1.3, 6.2 and 6.3.

10.7.2 Altitude exceeding 1 000 m

Insulation levels chosen according to 6.1 might be too low for external insulation at an altitude higher than 1 000 m (see Clause 4). The purchaser should specify the required altitude corrected system insulation levels i.e. platform to ground and between phases.

The insulation levels for insulators and equipment on the platform shall be based on the requirements in clause 6.1.3 but with applied altitude correction factors. The altitude

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

correction is applied by multiplying the required power frequency voltage with the altitude correction factor.

The altitude correction factor K_{altitude} is derived from the altitude h according to 2.2.1 of IEC 62271-1:2007 for apparatuses and 4.2.2 of IEC 60071-2:1996 for air clearance of the busbars.

Altitude correction factor for apparatuses

$$K_{\text{altitude}} = 1 \qquad h \leq 1\,000$$

$$K_{\text{altitude}} = e^{m\cdot(h-1000)/8150} \qquad h > 1\,000$$

Where m = 1,0 for short duration power frequency voltage.

Altitude correction factor for air clearance of busbars

$$K_{\text{altitude}} = e^{m\cdot h/8150}$$

Where m = 1,0 for short duration power frequency voltage.

The air clearance shall be corrected from zero altitude and calculated according to G.1 of IEC 60071-2:1996. The withstand voltage U_{90} (rms value) at sea level for a given a distance d is given by:

$$U_{90} = 0{,}9 \cdot 750 \cdot \ln(1 + d^{1.2})$$

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

10.8 Long line correction

Long line correction shall be considered for the calculation of the transmission line series reactance and consequently the series capacitor reactance for a given degree of compensation:

$$Z_C = \sqrt{\frac{z}{y}} = \sqrt{\frac{r + jx}{g + jb}}$$

$$\gamma = \sqrt{z \cdot y} = \sqrt{(r + jx)(g + jb)}$$

$$Z_L = Z_C \cdot \sinh(\gamma \cdot L)$$

Where:

Z_c is the characteristic impedance of the transmission line (ohm);

γ is the propagation constant of the transmission line (km^{-1});

Z_L is the total positive sequence long line corrected series impedance of the transmission line (ohm);

z is the line impedance per length unit, $z = r + jx$ (ohm/km);

y is the line admittance per length unit, $y = g + jb$ (S/km);

L is the line length (km).

Example

A transmission line has a total length L = 328 km. It has a reactance x= 0,311 Ω/km, a resistance r = 0,0189 Ω/km and an admittance b = 5,344 μS/km. The line shall be series compensated with 30 % degree of compensation. Calculate the capacitive reactance X_N of the series capacitor.

Solution:

Using long line correction, the total series impedance of the transmission line is calculated at:

$$Z_L = Z_C * \sinh(\gamma*328) = (5{,}83 + j99{,}0)\ \Omega$$

Where

$$Z_C = (241{,}4 - j\ 7{,}3)\ (\Omega)$$

$$y = \alpha + j\beta = (3{,}92*10^{-5} + j\ 1{,}29*10^{-3)}\ \text{(nepers/km; rad/km)}$$

The series capacitor reactance becomes

$$X_N = 30/100 *99{,}0 = 29{,}7\ \Omega.$$

Notice that without long line correction the transmission line impedance would have become 328*(0,0189+j0.311) = 6,20 + j102,0 Ω and the resulting series capacitor reactance 0,3*102.0 = 30,6 Ω.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

10.9 Other application considerations

10.9.1 General

Series capacitors can increase the power transfer levels of transmission and distribution systems. However, the application of this equipment should consider the issues outlined below.

10.9.2 Ferro-resonance

Due to saturation effects in magnetic core of a transformer, the inrush current into transformers may initiate sustained resonant oscillations. This phenomenon may occur when an unloaded transformer or a shunt reactor is switched on a series-compensated system during light load, particularly following load rejection. The occurrence of this phenomena is very dependent on the topology of the power system. It can be important for radial, series compensated circuits, especially in distribution series capacitor applications.

In those circuits where this phenomena is possible, switching strategies for the series capacitors and the system can be implemented. For example, the series capacitors can be bypassed prior to energizing the circuit and remain bypassed for a few seconds to let the transformer inrush phenomena subside and then insert.

10.9.3 Sub-synchronous resonance

Sub-synchronous resonance (SSR) is an electro-mechanical shaft oscillation phenomenon at sub-synchronous frequency which may occur between a series capacitor and a nearby turbine generator(s). The phenomena can be critical to the application of series capacitors when the following conditions exist:

– the turbine generator is connected or can be connected so that the only significant power transfer path to the rest of the power system has series capacitors;
– the mechanical frequency of oscillation of the turbine generator complements the electrical frequency of the series compensated network; and at that frequency;
– the mechanical oscillation interacts with the electrical system through the generator.

In most transmission system applications, studies are performed to evaluate the frequency and damping of the subsynchronous oscillations as seen from the perspective of the turbine generator. Studies may also need to be made on the impact of the series capacitors on the shaft torques of the turbine generator during disturbances. In applications where the studies indicate that a problem might exist, reduction of the level of compensation to values such as 35 % or selective bypass for some power system topologies are usually considered. If these remedies are insufficient or unattractive from the power transfer perspective, then other counter-measures can be applied. The use of a blocking filter or dynamic stabilizer with the generator or use of thyristor controlled series capacitors with the proper control and protection strategy can be considered. These counter-measures need more extensive study and equipment investment.

A basic counter-measure is a protection installed at the turbine generator to assess torsional motion or armature current. The turbine generator is tripped if thresholds are exceeded.

SSR has not proven to be an issue for hydraulic turbine-generators.

10.9.4 Relay protection of the power system

Attention should be paid to the fact that a series capacitor may disturb the operation of relays used for protection of the system, especially impedance protection. If protection studies indicate that the existing relay protection needs to be replaced, a number of suitable devices especially designed for series compensated lines are available.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

10.9.5 Attenuation of carrier-frequency transmission

A series capacitor bank may increase attenuation of the carrier-frequency transmission over the line, depending on location and parameters of the damping circuits. In some cases, the associated coupling devices are installed on the line side of the series capacitors.

10.9.6 Non-transposed transmission lines

Non-transposed transmission lines have high unbalance factors, especially negative sequence unbalance. The addition of series capacitors with equal reactances on all three phases will increase the negative sequence unbalance. Whether this causes dangerously high negative-sequence currents in synchronous machines, it should be carefully checked if this transmission line terminates at a generating station.

Series capacitor banks can be designed with different reactances for each phase which could be used to reduce negative sequence currents in non transposed lines. However, such an approach could increase zero sequence currents.

10.9.7 Power system harmonic currents

When the bypass switch of a series capacitor bank is in the closed position, the resulting circuit consists of the current limiting reactor in parallel with the capacitor. This circuit will have a natural resonant frequency that is typically in the range of 600 Hz to 1 200 Hz. If the bypass switch is in the closed position and if there is significant harmonic current in the transmission line, a high circulating harmonic current can result in the reactor/capacitor circuit. It is possible that this harmonic current can overheat the reactor.

In some applications, a series capacitor bank will operate with the bypass switch closed. This can be important if the series compensated line is located near an HVDC terminal or a static var compensator (SVC) and the series compensation is to be operated with the bypass switch closed for extended periods of time. Continuous harmonic currents in the power system are considered as abnormal conditions by this standard and so, if present on the system, should be specified by the purchaser. In such a case, the supplier should select the appropriate value of reactor inductance and reactor capability consistent with the specified power system harmonics. If this is not practical, locating the reactor in series with the capacitors might be considered.

10.9.8 TRV across line circuit-breakers

Application of series compensation in EHV transmission systems can increase the transient recovery voltages (TRV) across line circuit-breakers when the current is interrupted. This increased TRV can exceed line circuit-breaker standards. The TRV across the line circuit-breakers is a factor that should be investigated when considering application of series compensation in a transmission system. A computer program such as EMTP can be used to determine the recovery voltages. The magnitude of the recovery voltages can be influenced by the topology of the power system.

Approaches to reducing the TRV include fast bypass of the series capacitor for internal faults, line-to-ground surge arresters and surge arresters across the breaker interrupters. In some cases, the line circuit breakers may have more capability than that indicated in the standards. Opening resistors in the line breakers also reduce TRV. In some cases, the line circuit-breakers are replaced with circuit-breakers with a higher TRV capability.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

10.9.9 Delayed line current zero crossing

Studies of 800 kV series compensated lines indicate the possibility of delayed zero crossings in the waveform of the fault current flowing through line circuit-breakers. These studies show that zero crossings may be delayed by as much as seven cycles at 60 Hz for a very unusual combination of conditions. Studies of series capacitor applications on power systems at voltages lower than 800 kV have not indicated the presence of this phenomena. These systems typically have lower X/R ratios and hence more damping.

There have not been any reports of this phenomena being observed on any series compensated power system.

10.9.10 Prolonged secondary arc current

Many series compensated transmission lines have considerable length and as a result have shunt reactors which are connected to the line. When an internal line fault occurs and the line circuit-breakers open, there exists the possibility of a lightly damped oscillation between the series capacitors and the shunt reactors. For this oscillation to occur, it depends on the relative location of the shunt reactor and the series capacitor.

If the series capacitors are located towards the middle of the line relative to the shunt reactor, the trapped charge left on the series capacitor following line breaker interruption can create a low frequency (10 Hz) current through the series capacitor, the line reactor and the fault arc path. As the resistance in this loop can be low, the current oscillation can be lightly damped and prolong the duration of the secondary arc current during the dead time following fault clearing, particularly when single pole tripping and high speed reclosing is applied. The arc resistance of the fault can increase damping. Bypassing of the series capacitors before significant low frequency current develops in the reactor will mitigate this phenomenon.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Annex A
(normative)

Test requirements and application guide for external fuses and units to be externally fused

A.1 Overview

Annex A applies to external fuses used with series capacitors.

There exists no IEC standard for the external fuses for protection of series capacitors. However, IEC 60549 can be used as the basis when duly applied. For example, the selection of the rated voltage and current of the fuse shall be based on the permissible overloads (see 7.1 and 10.3) and their behaviour in the presence of discharge currents shall be based on those of the series capacitors.

A.2 Purpose

The purpose of this annex is

– to specify rules regarding testing and performances of external fuses,

– to provide a guide for the application of external fuses.

A.3 Terms employed in Annex A

For the terms used in this annex, the terms contained in IEC 60549:2013 and definition 3.10 in this standard apply.

A.4 Performance requirements

a) The performance requirements of the fuse shall in principle be in accordance with IEC 60549, but duly applied to the case of series capacitors.

b) The external fuse shall operate satisfactorily at voltages from 0,5 U_N to U_{lim}.

c) The external fuses shall withstand the overcurrents according to 7.1 and 10.3 and the conditions prevailing under the thermal stability test (see 5.9). The fuse intended for a unit shall be in the circuit (and thermal enclosure) during the thermal stability test, or it may be type-tested separately under equal or more severe conditions.

d) The external fuses shall withstand the currents met in the discharge current test (see 5.13). The fuse intended for a unit shall be in the circuit during the discharge current test, or it may be type-tested separately under equal or more severe conditions.

e) External fuses for groups of units shall be type-tested separately under equal conditions as described above. The electrical conditions for the fuse shall be such as if the complete group of units with fuse were being tested.

f) After the operation of an external fuse, the insulation level requirements (see 6.1) apply either for the fuse itself or for the created insulation distance. For an external fuse which will not be physically disconnected after its operation, the creepage distance requirements (see 6.2) also apply.

g) For an external fuse which is equipped with a device that will disconnect the fuse physically after its operation and/or for an external fuse which will eject gases (or other materials) during its operation, the insulation conditions within the bank shall also be considered during the fuse operation period.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

A.5 Tests

A.5.1 Tests on fuses

For tests on fuses, see IEC 60549.

A.5.2 Type tests on capacitor container

Under consideration.

A.6 Guide for coordination of fuse protection

A.6.1 General

Each fuse is connected in series with one unit or one group of units which the fuse is intended to isolate if a unit becomes faulty.

Depending on the phase arrangement and internal connections of the unit, the current through the faulty unit due to its failure, together with the current due to the discharge of stored energy in units connected in parallel with the faulty unit, is usually not sufficient to operate the fuse until several of the series-connected elements of the faulty unit have failed. In order to ensure that the fuse will operate and isolate a completely failed unit, the fuse should be rated so that it operates when subjected solely to the resulting power-frequency overcurrent at 0,5 times the rated line current which would flow in the partly short-circuited unit.

The operation of one or more fuses will cause a change in voltage distribution within the phase. The voltage across the sound units should not exceed the value corresponding to 7.1 nor exist for longer than the corresponding duration given in 7.1. Unless arrangements are made for the disconnection of the bank to achieve this requirement, all the units in the bank should be rated appropriately for the more severe duty arising from the disconnection of units due to operated fuse(s).

For units with series-connected elements, the puncture of an element causes voltage distribution changes within the bank and within the unit to occur before fuse operation. These voltage changes should also be considered with respect to sequential operation of the protection of the bank.

A.6.2 Protection sequence

The protection of a series capacitor bank should operate sequentially. Normally the first step is the operation of the unit (group) fuse. The second step is the relay protection of the bank (e.g. unbalance protection). The third step may be the network protection.

Depending on the size of the bank, the design of the relay protection, etc., all these steps are not necessarily used in all series capacitor banks. In large banks, an alarm stage may also be used.

Unless the fuse always operates as a result of discharge energy within the voltage range of 0,5 $\sqrt{2}\ U_N$ to $\sqrt{2}\ U_{lim}$, the manufacturer should provide the current-time characteristic, and tolerance on the fuse.

NOTE In some cases, the unbalance protection is more sensitive than the fuses, implying fuse operation only at, for example, flashover across the bushing or complete breakdown of the dielectric of the unit. In such a case, the unbalance protection is the first step, and the fuse(s) act(s) as back-up protection.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

A.7 Choice of fuses

A.7.1 General

When selecting fuses, consideration should be given to minimize the probability of container rupture in the event of a capacitor unit failure by making use of the best available data and guidelines. The data and the guidelines employed shall be agreed upon by the manufacturer and purchaser. This requirement refers to power-frequency overcurrent as well as to stored energy in the units parallel with the failed unit.

Care should be taken, in the selection of fuses, of the electrical and thermal conditions imposed on them, should they be in circuit during the type tests of 5.9 and 5.13.

A.7.2 Non current-limiting fuses

Non current-limiting fuses are usually of the expulsion type with renewable fuselinks. They have little or no current-limiting action for either power-frequency current or stored energy discharge.

The total energy stored in the capacitor units in parallel with the failed unit should be less than the fuse can discharge without exploding, and less than the energy causing the failed unit to burst (see A.7.1).

This type of fuse may be used when the power-frequency overcurrents which can be supplied to the faulty unit are sufficiently low.

A.7.3 Current-limiting fuses

This type of fuse limits power-frequency overcurrents to less than the prospective value and reduces the current to zero before the normal current zero. A properly selected current-limiting fuse discharges only a portion of the stored energy available to the failed capacitor unit. The amount let through by the fuse shall be less than that causing the failed unit to burst.

Current-limiting fuses shall be used when either the power-frequency overcurrent or maximum stored energy in the units parallel with a failed unit is high enough to cause bursting of an expulsion fuse or a failed capacitor unit. Properly selected current-limiting fuses impose no upper limit on the stored energy available to a failed unit.

A.8 Information needed by the user of the fuses

To be able to choose the right fuse for each application, it may be necessary to refer to some or all of the information given in IEC 60549.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Annex B
(informative)

Economic evaluation of series capacitor bank losses

Purchasers rarely make an economic evaluation of the losses of a series capacitor bank during the procurement process. This is because the losses of a series capacitor bank that includes capacitor units with an all-film dielectric are very low when compared to some other power equipment such as a power transformer. This and other factors cause the economic value of the losses of a series capacitor to be very low and as result the evaluation of these losses is seldom performed. The purpose of this annex is to clarify certain aspects of the losses of a series capacitor bank.

The losses of the bank vary with the square of the current. Therefore it is important that the application of the bank be reviewed in order to select the current magnitude or magnitudes, for the loss evaluation that best represents normal continuous operation of the bank. For example, for a transmission system with two parallel lines, the purchaser may choose to rate the series capacitor bank so that a bank can carry the current associated with the full power of the two lines with one line in service. In this case, the normal bank current will be 50 % of its rated value and the bank losses only 25 % of its rated value and the bank losses only 25 % of those at rated current.

The losses of a bank stem primarily from the losses of the capacitors and capacitor fuse losses. The capacitor losses consist of those of the internal discharge resistors, internal connection and dielectric. The first two types of losses are fairly constant over the operating life of the capacitor. However, the dielectric losses decrease initially when an a.c. voltage is applied. Thus the losses of the capacitor unit and the bank will decrease from the initial value measured in the factory during the routine test described in 5.4. The initial losses may vary between identical units manufactured at the same time. However, the variation among units of the final “stabilized losses” are usually less. Manufacturers have developed test techniques that can provide test data that will predict long-term operating losses for loss evaluation purposes. These techniques are not necessarily defined in this standard.

Most series capacitor banks do not have any additional significant components of losses other than the capacitor units and fuses. Usually, the damping circuit is in series with the bypass switch, which is normally open. In this operating mode, the damping circuit contributes no additional losses to the bank. However, in some installations the damping circuit is in series with the capacitors. For this case, or if the bank is normally bypassed, the losses of the damping circuit should be considered.

The power losses associated with cabinet heaters and control power are small and are not normally considered in a loss evaluation.

It is not practical to measure the losses of a series capacitor bank after it is installed.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Annex C
(informative)

Capacitor bank fusing and unit arrangement

C.1 General

Three different types of fusing are applied on series capacitor banks. This annex outlines these types and the associated arrangement of the capacitor units. Refer to Figure C.1 and Figure C.2.

C.2 Internally fused capacitor bank

The typical arrangement used within an internally fused capacitor unit involves groups of fused elements connected in parallel. These groups are then connected in series to realize the rating for the unit. The units are connected in series and in parallel, as necessary, to meet the overall ratings of the bank. A number of different arrangements are possible. The bank is split into two or more parallel strings to allow capacitor current unbalance detection.

The failure of a capacitor element results in discharge current from the parallel elements through the associated internal fuse and blowing of the fuse. This results in increased voltage on the parallel elements within the unit and a much smaller increase in the voltage across the associated unit. The magnitudes of these voltage increases are highly dependent on the number of elements in parallel in the manufacturer's design.

Element failure is most likely to occur when the current in the bank is high. As required by IEC 60143-3, internal fuses are designed to operate correctly for bank currents that are greater than 50 % of rated current and for voltages up to and including U_{lim}. The additional current and voltage resulting from the blowing of some fuses should be taken into account in the design.

The capacitor units may have one or two insulated terminals.

C.3 Externally fused capacitor bank

The typical arrangement used with externally fused capacitors involves the connection of groups of fused capacitors in parallel, as many as necessary to meet the current rating of the bank. These groups are connected in series to realize the voltage and impedance ratings of the bank. The bank is split into two or more parallel strings to allow capacitor current unbalance detection.

The failure of a capacitor unit results in increased current in the external fuse and blowing of the fuse. This results in increased voltage on the parallel units. The magnitude of this voltage increase is dependent on the number of units in parallel in the manufacturer's design.

Dual element fuses consisting of two fuses in series are typically applied. One of these fuses is a current-limiting type that is used because of the high stored energy in the parallel capacitors. The second fuse is an expulsion type which will operate for lower current conditions and provides a visible break. Annex A requires the total fuse to operate satisfactorily at voltages from 0,5 U_{N} to U_{lim}. The additional current and voltage resulting from the blowing of some fuses should be taken into account in the design.

The capacitor units typically have one insulated terminal.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

C.4 Fuseless capacitor bank

The typical arrangement used with fuseless capacitors involves strings of series connected capacitor units. The number of units connected in series is that required to achieve the necessary voltage capability. These strings of capacitors are connected in parallel in order to realize the current and impedance ratings of the bank.

The bank is split into two or more parallel groups of strings to allow capacitor current unbalance detection.

The failure of a capacitor element results in a short-circuit of the associated series section of that capacitor unit. This results in an increase in current through and increased voltage on the remaining elements within that capacitor unit and the other capacitor units in the associated string. The degree of this increase is dependent on the total number of elements in series in the string. The discharge energy and current increase are both small since there are no capacitor units connected directly in parallel. The capacitor unit with the shorted element remains in continuous operation. Capacitor units used in fuseless applications have an all-film dielectric system. A failure in an element made with this dielectric system results in a welded short-circuit with very low resistance. This was not the case with the older dielectric systems that included paper.

The capacitor units are usually designed with two insulated bushings.

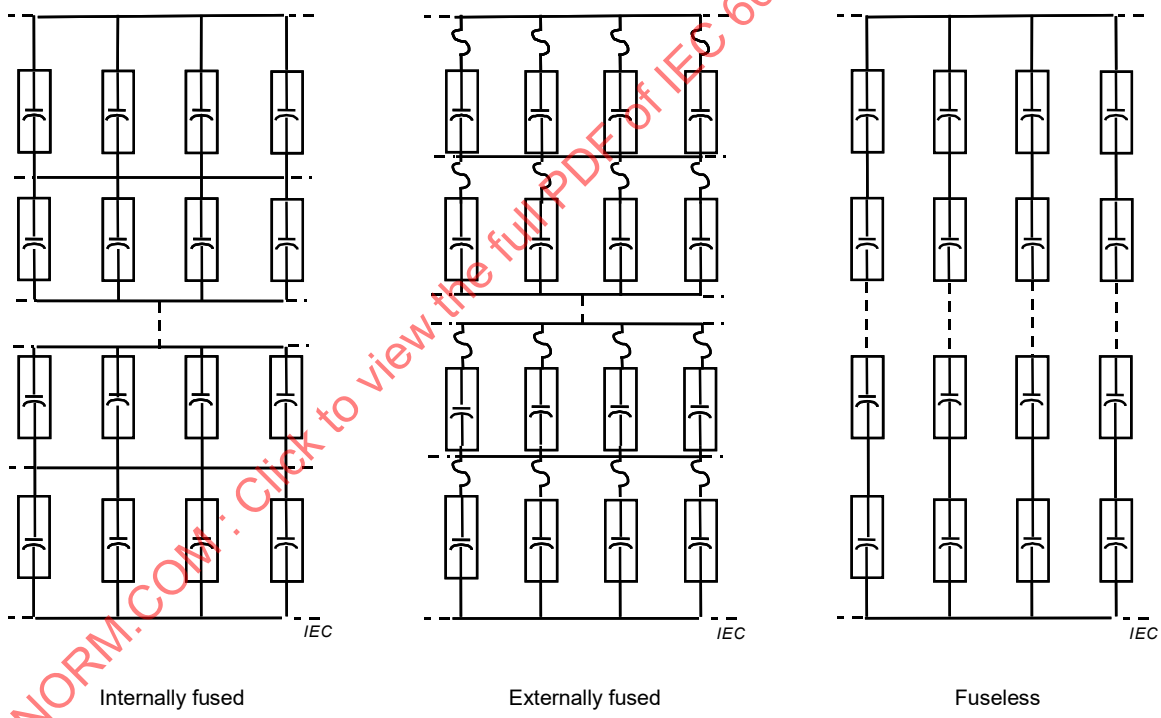
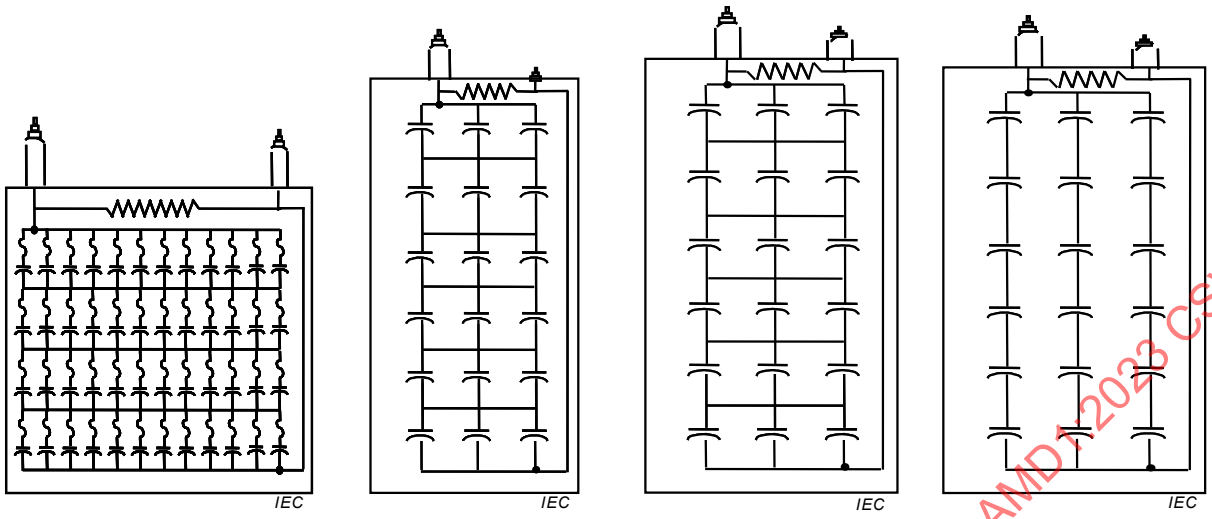


Figure C.1 – Typical connections between capacitor units in a segment or phase

Number of units may vary with application and with fusing type. Capacitor unbalance current transformers are not shown.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV



Internally fused | Externally fused | Fuseless | Fuseless

Figure C.2 – Typical connections between elements within a capacitor unit

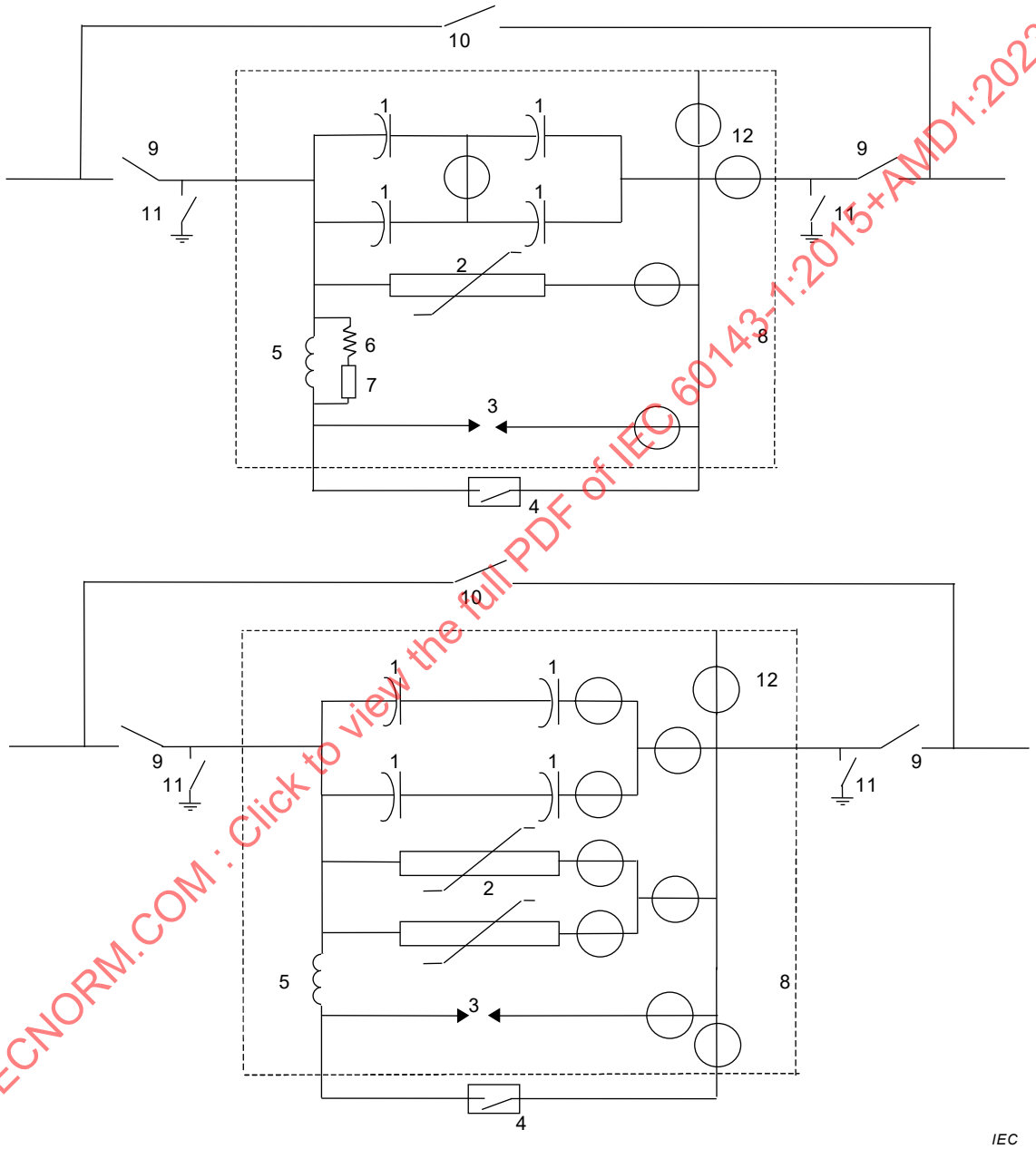
The number of elements within a unit and the number of elements in series and parallel will vary with the requirements of the application and the design practice of the manufacturer.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Annex D
(informative)

Examples of typical connection diagrams for large series capacitor installations for transmission lines

Other variations and combinations are possible. The diagrams for smaller banks may be different, as shown in Figure D.1.



Key

1	capacitor	7	varistor or gap
2	varistor	8	platform
3	bypass gap	9	isolating disconnector
4	bypass switch	10	bypass disconnector
5	reactor	11	earth switch
6	linear resistor	12	current transformer

Figure D.1 – Diagrams for smaller banks

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Annex E
(informative)

Precautions to be taken to avoid pollution of the environment by polychlorinated biphenyls

The disposal of polychlorinated biphenyls (PCB) without the necessary precautions may involve pollution of the environment. In addition, when a PCB impregnated capacitor unit has been exposed by accident to heat by fire or by an arc, toxic substances may form in the combustion process that may pollute the areas adjacent to the capacitor.

In some countries, the characteristics of PCB used in the impregnation of capacitors and the methods employed for their handling and destruction are governed by laws, or by codes of practice (see 9.1.2).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Bibliography

[1] IEC 60273:1990, *Characteristic of indoor and outdoor post insulators for systems with nominal voltages greater than 1000 V*

[2] IEEE Std 824-1994, *IEEE Standard for Series Capacitors in Power Systems*

[3] IEEE Paper PE-009PRD (09-2000), *Considerations for the Application of Series Capacitors to Radial Power Distribution Circuits. Series Capacitor Working Group of the IEEE Capacitor Subcommittee*

[4] ANSI C29.9:1983, *American National Standard for Wet-Process Porcelain Insulators (Apparatus, Post type)*

[5] IEC 60050-436:1990, *International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 436: Power capacitors*

[6] IEC 60050-601:1985, *International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 601: Generation, transmission and distribution of electricity – General*

[7] IEC 60050-604:1987, *International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 604: Generation, transmission and distribution of electricity – Operation*

[8] IEC 60060-2:2010, *High-voltage test techniques – Part 2: Measuring systems*

[9] IEC 60721-2-6:1990, *Classification of environmental conditions. Part 2: Environmental conditions appearing in nature. Earthquake vibration and shock*

[10] IEC 60110-1:1998, *Power capacitors for induction heating installations – Part 1: General*

[11] IEC 60252-1:2010, *AC motor capacitors – Part 1: General – Performance, testing and rating – Safety requirements – Guidance for installation and operation*

[12] IEC TR 60996:1989, *Method for verifying accuracy of tan delta measurements applicable to capacitors*

[13] IEC 61048:2006, *Auxiliaries for lamps – Capacitors for use in tubular fluorescent and other discharge lamp circuits – General and safety requirements*

[14] IEC 61049:1991, *Capacitors for use in tubular fluorescent and other discharge lamp circuits. Performance requirements*

[15] IEC 61071 (all parts), *Capacitors for power electronics*

[16] Cigré-Publication 411: *Protection, Control and Monitoring of Series Compensated Networks,* ISBN 978-2-85873-098-8. Cigré Working Group B5-10

[17] IEC 60270:2000, *High-voltage test techniques – Partial discharge measurements*

[18] IEC TS 60815-1:2008, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 1: Definitions, information and general principles*

[19] IEC TS 60815-2:2008, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 2: Ceramic and glass insulators for a.c. systems*

[20] IEC TS 60815-3:2008, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 3: Polymer insulators for a.c. systems*

[21] IEC 60909-0:2001, *Short-circuit currents in three-phase a.c. systems – Part 0: Calculation of currents*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 68
1 Domaine d'application et objet 70
2 Références normatives 71
3 Termes et définitions 71
4 Conditions de service 78
4.1 Conditions normales de service 78
4.2 Catégories de températures de l'air ambiant 78
4.3 Conditions de service inhabituelles 79
4.4 Conditions de fonctionnement anormales du réseau 79
5 Exigences de qualité et essais 79
5.1 Exigences relatives aux essais des condensateurs unitaires 79
5.1.1 Généralités 79
5.1.2 Conditions d'essai 79
5.1.3 Limites de tension en relation avec le dispositif de protection contre les surtensions 80
5.1.4 Détermination de la tension du niveau de protection U_{pl} et U_{lim} 81
5.2 Classification des essais 81
5.2.1 Généralités 81
5.2.2 Essais individuels 82
5.2.3 Essais de type 82
5.2.4 Essai spécial (essai de vieillissement) 82
5.3 Mesurage de la capacité (essai individuel) 83
5.3.1 Modalité de mesure 83
5.3.2 Tolérances sur la capacité 83
5.4 Mesurage des pertes du condensateur (essai individuel) 83
5.4.1 Modalité de mesure 83
5.4.2 Exigences relatives aux pertes 84
5.4.3 Pertes dans les coupe-circuit externes 84
5.5 Essai de tenue en tension entre bornes (essai individuel) 84
5.6 Essai diélectrique en tension alternative entre bornes et cuve (essai individuel) 84
5.7 Essai du dispositif interne de décharge (essai individuel) 85
5.8 Essai d'étanchéité (essai individuel) 85
5.9 Essai de stabilité thermique (essai de type) 85
5.9.1 Modalités de mesure 85
5.9.2 Mesurage des pertes du condensateur 86
5.10 Essai diélectrique en tension alternative entre bornes et cuve (essai de type) 86
5.11 Essai de tension de choc de foudre entre bornes et cuve (essai de type) 87
5.12 Essai de tenue au froid (essai de type) 87
5.13 Essai de courant de décharge (essai de type) 88
6 Niveau d'isolement 89
6.1 Tensions d'isolement 89
6.1.1 Valeurs normalisées 89
6.1.2 Isolement par rapport à la terre et entre les phases 90
6.1.3 Niveaux d'isolement pour les isolateurs et l'équipement sur la plate-forme 90
6.2 Ligne de fuite 97

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

6.3 Distances dans l'air ... 98
7 Surcharges, surtensions et cycles de fonctionnement ... 102
7.1 Courants ... 102
7.2 Surtensions transitoires ... 102
7.3 Cycles de fonctionnement ... 103
8 Exigences de sécurité ... 103
8.1 Dispositif de décharge ... 103
8.2 Connexions de cuve ... 104
8.3 Protection de l'environnement ... 104
8.4 Autres exigences de sécurité ... 104
9 Marquage et manuels d'instructions ... 104
9.1 Marquage des condensateurs unitaires ... 104
9.1.1 Plaque signalétique ... 104
9.1.2 Plaque d'avertissement ... 105
9.2 Marquage des batteries de condensateurs ... 105
9.2.1 Notice d'instructions ou plaque signalétique ... 105
9.2.2 Plaque d'avertissement ... 106
9.3 Manuel d'instructions ... 106
10 Guide pour la sélection des caractéristiques assignées et pour l'installation et l'exploitation ... 106
10.1 Généralités ... 106
10.2 Réactance par ligne, réactance assignée par batterie et nombre de modules par batterie ... 107
10.2.1 Réactance capacitive par ligne ... 107
10.2.2 Nombre de batteries de condensateurs série sur une ligne de transmission ... 108
10.2.3 Nombre de modules d'une batterie de condensateurs ... 108
10.2.4 Exigences futures pour les condensateurs série ... 108
10.3 Caractéristiques assignées de courant pour la batterie ... 109
10.3.1 Généralités ... 109
10.3.2 Surcharge typique d'une batterie et caractéristiques du courant d'oscillation ... 109
10.3.3 Analyse pour déterminer les caractéristiques assignées du courant permanent et de surcharge exceptionnelle ... 110
10.3.4 Analyse pour déterminer la caractéristique assignée du courant d'oscillation ... 111
10.4 Exigences pour la protection contre les surtensions ... 111
10.5 Limitations de tension durant les défauts du réseau ... 111
10.5.1 Généralités ... 111
10.5.2 Limitation de tension lorsque l'inductance entre le dispositif primaire de protection contre les surtensions et les condensateurs n'est pas significative ... 112
10.5.3 Limitation de tension lorsque l'inductance entre le dispositif primaire de protection contre les surtensions et les condensateurs est significative ... 112
10.6 Dispositifs de protection et de commutation ... 113
10.6.1 Coupe-circuit des condensateurs ... 113
10.6.2 Autres dispositifs ... 113
10.6.3 Schémas de connexion ... 113
10.7 Choix du niveau d'isolement ... 113
10.7.1 Cas normaux ... 113
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

10.7.2 Altitude supérieure à 1 000 m ... 113
10.8 Correction de longue ligne ... 114
10.9 Autres considérations sur les applications ... 115
10.9.1 Généralités ... 115
10.9.2 Ferrorésonance ... 115
10.9.3 Résonance hyposynchrone ... 115
10.9.4 Protection du réseau au moyen de relais ... 116
10.9.5 Affaiblissement de la transmission des courants porteurs ... 116
10.9.6 Lignes de transmission non transposées ... 116
10.9.7 Courants harmoniques du réseau ... 116
10.9.8 TTR aux bornes des disjoncteurs de ligne ... 117
10.9.9 Croisement nul du courant de ligne retardé ... 117
10.9.10 Courant d'arc secondaire prolongé ... 117
Annexe A (normative) Exigences d'essai et guide d'application pour coupe-circuit externes et unités à protéger par coupe-circuit externes ... 118
A.1 Vue d'ensemble ... 118
A.2 Objectifs ... 118
A.3 Termes utilisés dans l'Annexe A ... 118
A.4 Exigences relatives au fonctionnement ... 118
A.5 Essais ... 119
A.5.1 Essais de coupe-circuit ... 119
A.5.2 Essais de type sur la cuve du condensateur ... 119
A.6 Guide pour la coordination de la protection par coupe-circuit ... 119
A.6.1 Généralités ... 119
A.6.2 Séquence de protection ... 119
A.7 Choix des coupe-circuit ... 120
A.7.1 Généralités ... 120
A.7.2 Coupe-circuit non-limiteurs de courant ... 120
A.7.3 Coupe-circuit limiteurs de courant ... 120
A.8 Informations nécessaires à l'utilisateur de coupe-circuit ... 121
Annexe B (informative) Évaluation économique des pertes d'une batterie de condensateurs série ... 122
Annexe C (informative) Coupe-circuit de batterie de condensateurs et configuration de condensateurs unitaires ... 123
C.1 Généralités ... 123
C.2 Batterie de condensateurs avec coupe-circuit interne ... 123
C.3 Batterie de condensateurs avec coupe-circuit externe ... 123
C.4 Batterie de condensateurs sans coupe-circuit ... 124
Annexe D (informative) Exemples de schémas de connexion typique pour de grandes installations de condensateurs série pour lignes de transmission ... 126
Annexe E (informative) Précautions à prendre pour éviter la pollution de l'environnement par les polychlorobiphényles ... 127
Bibliographie ... 128

Figure 1 – Nomenclature typique d'une installation de condensateurs série ... 75
Figure 2 – Classification des dispositifs de protection contre les surtensions ... 80
Figure 3 – Limites de temps et d'amplitude d'une forme d'onde pour la période de surtension ... 88

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Figure 4 – Distance dans l'air en fonction de la tension alternative de tenue à fréquence industrielle 102

Figure 5 – Représentation du courant-temps typique d'une batterie de condensateurs série insérée sur un réseau après le défaut et l'élimination d'une ligne en parallèle 109

Figure C.1 – Connexions typiques entre condensateurs unitaires dans un segment ou une phase 125

Figure C.2 – Connexions typiques entre éléments au sein d'un condensateur unitaire 125

Figure D.1 – Schémas pour des batteries plus petites 126

Tableau 1 – Symboles littéraux de la limite supérieure de la plage de températures 78

Tableau 2 – Température de l'air ambiant pour l'essai de stabilité thermique 85

Tableau 3 – Niveaux d'isolement normalisés pour la gamme I (1 kV < U_m ≤ 245 kV) 93

Tableau 4 – Niveaux d'isolement normalisés pour la gamme II (U_m > 245 kV) *(1 de 2)* 94

Tableau 5 – Niveaux d'isolement typiques pour les isolateurs entre plate-forme et terre *(1 de 2)* 96

Tableau 6 – Lignes de fuite spécifiques 98

Tableau 7 – Relation entre les tensions normalisées de tenue au choc de foudre et les distances dans l'air minimales 100

Tableau 8 – Relation entre les tensions normalisées de tenue au choc de manœuvre et les distances dans l'air phase-terre minimales 101

Tableau 9 – Relation entre les tensions normalisées de tenue au choc de manœuvre et les distances dans l'air entre phases minimales 101

Tableau 10 – Caractéristiques typiques du courant de surcharge et d'oscillation d'une batterie 110

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CONDENSATEURS SÉRIE DESTINÉS À ÊTRE INSTALLÉS SUR DES RÉSEAUX –

Partie 1: Généralités

AVANT-PROPOS

1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. 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'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

Cette version consolidée de la Norme IEC officielle et de son amendement a été préparée pour la commodité de l'utilisateur.

L'IEC 60143-1 édition 5.1 contient la cinquième édition (2015-06) [documents 33/578/FDIS et 33/580/RVD], son corrigendum (2017-04), et son amendement 1 (2023-11) [documents 33/690/CDV et 33/693/RVC].

Cette version Finale ne montre pas les modifications apportées au contenu technique par l'amendement 1. Une version Redline montrant toutes les modifications est disponible dans cette publication.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

La Norme internationale IEC 60143-1 a été établie par le comité d'études 33 de l'IEC: Condensateurs de puissance et leurs applications.

Cette cinquième édition constitue une révision technique.

La modification majeure par rapport à la précédente édition concerne le fait que l'essai d'endurance a été remplacé par un essai de vieillissement dans la mesure où les cycles de fonctionnement en tension sont déjà réalisés au cours de l'essai de tenue au froid. La section guide a été étendue pour couvrir la correction de longue ligne et la correction d'altitude. De plus, les tableaux relatifs aux niveaux d'isolement et les références à d'autres normes ont été mis à jour.

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60143, publiées sous le titre général *Condensateurs série destinés à être installés sur des réseaux*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document et de son amendement 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,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

CONDENSATEURS SÉRIE DESTINÉS À ÊTRE INSTALLÉS SUR DES RÉSEAUX –

Partie 1: Généralités

1 Domaine d'application et objet

La présente partie de l'IEC 60143 s'applique aux condensateurs unitaires et aux batteries de condensateurs destinés à être raccordés en série sur une ligne de transport ou de distribution d'énergie faisant partie d'un réseau alternatif de fréquence comprise entre 15 Hz et 60 Hz.

L'objectif principal de cette norme est de traiter des applications sur les réseaux de transport.

Les condensateurs série et les batteries de condensateurs série sont habituellement destinés aux réseaux d'énergie à haute tension. La présente norme s'applique à toute la gamme de tensions.

La présente norme ne s'applique pas aux condensateurs avec diélectrique métallisé du type autorégénérateur.

Même s'ils sont connectés en série avec un circuit, les condensateurs suivants sont exclus de la présente norme:

– condensateurs pour installations de production de chaleur par induction (IEC 60110-1);
– condensateurs pour moteurs et similaires (IEC 60252 – toutes les parties);
– condensateurs destinés à être utilisés dans les circuits électroniques de puissance (IEC 61071);
– condensateurs pour lampes à décharge (IEC 61048 et IEC 61049).

Pour les accessoires normalisés tels que les isolateurs, commutateurs, transformateurs de mesure, coupe-circuit externes, etc., se reporter à la norme IEC correspondante.

NOTE 1 Les exigences complémentaires applicables aux condensateurs à protéger par des coupe-circuit internes ainsi que les exigences applicables à ces coupe-circuit figurent dans l'IEC 60143-3. Voir également l'Annexe C.

NOTE 2 Les exigences complémentaires applicables aux condensateurs à protéger par des coupe-circuit externes, ainsi que les exigences applicables à ces coupe-circuit, figurent dans l'Annexe A et l'Annexe C.

NOTE 3 Une norme séparée pour les accessoires des condensateurs série (éclateurs, varistances, inductances de décharge, inductances d'amortissement et de limitation de courant, résistances d'amortissement, disjoncteurs, etc.), l'IEC 60143-2, a été révisée et publiée en 2012. Une norme séparée pour les coupe-circuit internes pour condensateurs série, l'IEC 60143-3, a été révisée et publiée en 2013.

NOTE 4 Certaines informations concernant les condensateurs unitaires et les batteries de condensateurs sans coupe-circuit figurent dans l'Annexe C.

La présente norme a pour objet:

– de formuler des règles uniformes en ce qui concerne la qualité de fonctionnement, les essais et les caractéristiques assignées;
– de formuler des règles spécifiques de sécurité;
– de servir de guide pour l'installation et pour l'exploitation.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

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).

NOTE S'il y a un conflit entre la présente norme et une norme énumérée ci-dessous, le texte de l'IEC 60143-1 prévaut.

IEC 60050 (toutes les parties), *Vocabulaire Electronique International* (disponible à www.electropedia.org)

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

IEC 60071-1:2006, *Coordination de l'isolement – Partie 1: Définitions, principes et règles*

IEC 60071-2:1996, *Coordination de l'isolement – Partie 2: Guide d'application*

IEC 60143-2:2012, *Condensateurs série destinés à être installés sur des réseaux – Partie 2: Matériel de protection pour les batteries de condensateurs série*

IEC 60143-3:1998, *Condensateurs série destinés à être installés sur des réseaux – Partie 3: Fusibles internes*

IEC 60143-4: 2010, *Condensateurs série destinés à être installés sur des réseaux – Partie 4: Condensateurs série commandés par thyristors*

IEC 60549:2013, *Coupe-circuit à fusibles haute tension destinés à la protection externe des condensateurs shunt*

IEC 60871-1: 2014, *Condensateurs shunt pour réseaux à courant alternatif de tension assignée supérieure à 1 000 V – Partie 1: Généralités*

IEC 62271-1:2007, *Appareillage à haute tension – Partie 1: Spécifications communes*

IEEE Std. 693:1997, *IEEE Recommended Practice for Seismic Design of Substations* (disponible en anglais seulement)

3 Termes et définitions

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

3.1
température de l'air ambiant (pour les condensateurs)
température de l'air à l'emplacement prévu pour l'installation des condensateurs

3.2
sectionneur série commutateur de shuntage
appareil tel qu'un interrupteur ou un disjoncteur utilisé en parallèle avec un condensateur série et son dispositif de protection contre les surtensions pour shunter le courant de ligne pour un temps spécifié ou continuellement

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

Note 1 à l'article: Ce dispositif doit également être capable de shunter le condensateur dans des conditions spécifiées de défaut du système électrique. Le fonctionnement du dispositif est déclenché par la commande de la batterie de condensateurs, la commande à distance ou un opérateur. Le dispositif peut être monté sur la plate-forme ou sur le sol près de la plate-forme. Outre le fait de shunter le condensateur, ce dispositif doit aussi permettre d'insérer le condensateur dans un circuit supportant un niveau spécifique de courant.

3.3
condensateur
terme utilisé dans cette norme lorsqu'il n'est pas nécessaire de préciser s'il s'agit d'un condensateur unitaire ou de l'assemblage de condensateurs associés à un segment

3.4
condensateur unitaire
unité (de condensateur)
ensemble d'un ou plusieurs éléments de condensateurs placés dans une même enveloppe et reliés à des bornes de sortie

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-04]

3.5
élément (de condensateurs)
dispositif constitué essentiellement par deux électrodes séparées par un diélectrique

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-03]

3.6
pertes d'un condensateur
puissance active dissipée par le condensateur

Note 1 à l'article: Il convient que toutes les pertes produites par les composants soient incluses. Pour un condensateur unitaire, cela inclut les pertes dues au diélectrique, au dispositif de décharge, aux coupe-circuit internes (le cas échéant) et aux connexions internes. Pour la batterie de condensateurs, cela inclut les pertes dues aux condensateurs unitaires, aux coupe-circuit externes (le cas échéant), aux jeux de barres. Voir Annexe B pour des explications complémentaires.

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-04-10]

3.7
température de l'air de refroidissement
température de l'air de refroidissement mesurée à l'endroit le plus chaud de l'ensemble de condensateurs du segment, au courant assigné et à l'état stable, à mi-distance entre deux unités

Note 1 à l'article: S'il s'agit d'une seule unité, c'est la température mesurée à 0,1 m environ de la cuve du condensateur et aux deux tiers de sa hauteur à partir de sa base.

3.8
degré de compensation
k
le degré de compensation série, k (d'une section de ligne), est

$$k = 100\ (X_c / X_L)\ \%$$

où

X_c est la réactance capacitive des condensateurs série;

X_L est la réactance inductive directe totale de la section de ligne de transmission sur laquelle les condensateurs série sont raccordés.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

3.9
dispositif de décharge (d'un condensateur)
dispositif connecté entre les bornes d'un condensateur ou incorporé au condensateur unitaire et capable de ramener à zéro la tension résiduelle lorsque le condensateur a été déconnecté du réseau

Note 1 à l'article: Des exigences supplémentaires concernant le dimensionnement du dispositif de décharge sont données en 8.1.

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-03-15, modifiée (définition modifiée, Note 1 à l'article ajoutée)]

3.10
coupe-circuit externe (d'un condensateur)
coupe-circuit relié en série avec un condensateur unitaire ou avec un groupe d'unités en parallèle

3.11
batterie de condensateurs sans coupe-circuit
batterie de condensateurs sans aucun fusible de protection, interne ou externe, qui est composée de chaînes parallèles de condensateurs unitaires. Chaque chaîne étant composée de condensateurs unitaires connectés en série

Note 1 à l'article: Voir Annexe C pour une explication des «chaînes».

3.12
tension la plus élevée d'un réseau triphasé
tension efficace la plus élevée entre phases qui existe à tout moment et en tout point du réseau dans les conditions d'exploitation normales

Note 1 à l'article: Cette valeur ne tient pas compte des transitoires de tension (par exemple ceux qui sont provoqués par la commutation du réseau) et ne tient pas compte non plus des variations temporaires de la tension dues à des conditions anormales du réseau (comme des défauts ou le déclenchement brusque de charges importantes).

3.13
tension la plus élevée pour le matériel
U_m
tension efficace la plus élevée entre phases pour laquelle le matériel est conçu en ce qui concerne son isolement et d'autres caractéristiques qui sont dépendantes de cette tension dans les normes applicables au matériel

Note 1 à l'article: Cette tension est la valeur maximale de la tension la plus élevée du réseau dans lequel le matériel peut être utilisé.

[SOURCE: IEC 60050-604:1987, 604-03-01]

3.14
niveau d'isolement
U_i
combinaison non simultanée de tensions d'essai (à fréquence industrielle (U_{ipf}) ou en onde de choc de manœuvre et onde de choc de foudre) qui caractérise l'aptitude de l'isolement du condensateur à supporter les contraintes diélectriques entre les bornes et la terre, entre les phases ainsi qu'entre les bornes et les parties métalliques (par exemple, plate-forme) non reliées à la terre

3.15
coupe-circuit interne d'un condensateur
coupe-circuit monté à l'intérieur d'une unité de condensateur et relié en série avec un élément ou avec un groupe d'éléments

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-03-16]

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

3.16
tension limite
U_{lim}
valeur maximale de crête de la tension à fréquence industrielle divisée par $\sqrt{2}$, apparaissant aux bornes du condensateur unitaire immédiatement avant ou pendant le fonctionnement du dispositif de protection contre les surtensions

VOIR: 5.1.4

Note 1 à l'article: Cette tension apparaît soit lors de la conduction de la varistance, soit immédiatement avant l'allumage de l'éclateur.

3.17
borne de ligne
borne destinée à être reliée au réseau

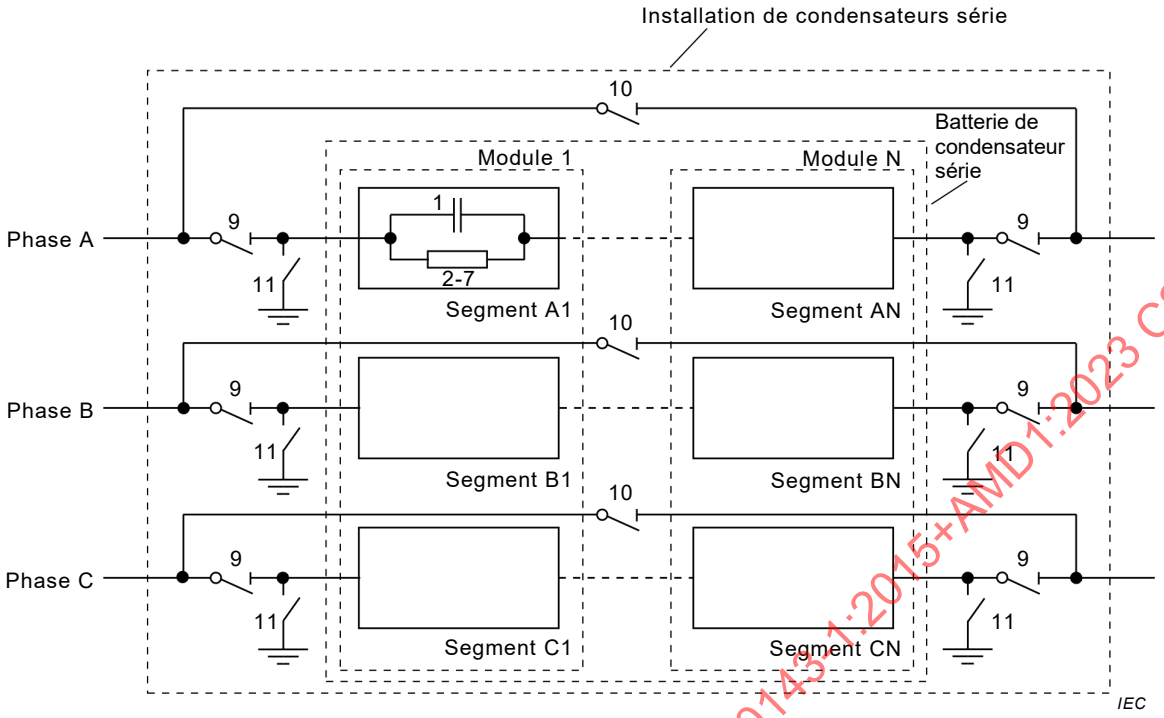
[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-03-01 modifiée (définition modifiée)]

3.18
module (de condensateurs série)
groupe commutable de condensateurs série composé de segments identiques sur chaque phase, et qui de plus est équipé de commutateur de shuntage sur chaque segment pour un fonctionnement commun (voir Figure 1)

Note 1 à l'article: Le commutateur de shuntage d'un module fonctionne normalement en triphasé. Cependant, dans certaines applications de protection, le sectionneur série peut être utilisé pour opérer temporairement en monophasé.

Note 2 à l'article: La Figure 1 présente une nomenclature typique d'une installation de condensateurs série.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV



Légende

1 ensemble de condensateurs unitaires

2-7 équipement principal de protection (Figure 2c) et Annexe D)

9 sectionneur d'isolement

10 sectionneur de shuntage

11 sectionneur de terre

NOTE 1 Une installation de condensateurs série comprend une batterie de condensateurs série plus 9, 10 et 11.

NOTE 2 La plupart des condensateurs série sont configurés avec un seul module, à moins que les exigences de la réactance et du courant soient telles que la tension aux bornes de la batterie qui en résulte est difficilement réalisable en un seul module par le fournisseur. Chaque module dispose généralement de son propre commutateur de shuntage, mais un commutateur de shuntage commun peut être utilisé pour plusieurs modules. Voir l'article 10.2.3 pour de plus amples informations.

Figure 1 – Nomenclature typique d'une installation de condensateurs série

3.19
dispositif de protection contre les surtensions (de condensateurs série)
dispositif à action rapide (habituellement MOV (metal oxide varistor) – varistance à oxyde métallique ou éclateur à déclenchement automatique) limitant la tension aux bornes du condensateur à une valeur admissible; sans ce dispositif, la valeur de cette tension pourrait prendre des valeurs élevées, par suite d'un défaut ou de conditions anormales sur le réseau

3.20
tension de tenue à fréquence industrielle
U_{ipf}
tension de tenue à fréquence industrielle sous pluie des traversées et isolateurs

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

3.21
niveau de protection
U_{pl}
amplitude de la valeur maximale de crête de la tension à fréquence industrielle apparaissant à travers le dispositif de protection contre les surtensions pendant un défaut du réseau

Note 1 à l'article: Le niveau de protection peut être exprimé en fonction de la tension de crête réelle appliquée à travers un segment ou en fonction de la valeur de crête par unité de la tension assignée du condensateur (Voir 5.1.4, 10.4 et 10.5). Cette tension apparaît soit lors de la conduction de la varistance, soit immédiatement avant l'allumage de l'éclateur.

3.22
capacité assignée (d'un condensateur)
C_N
valeur de la capacité pour laquelle le condensateur a été conçu

3.23
courant assigné d'un condensateur
I_N
valeur efficace du courant alternatif pour laquelle le condensateur a été conçu

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-13]

3.24
fréquence assignée (d'un condensateur)
f_N
fréquence du réseau dans lequel le condensateur est destiné à être utilisé

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-14, modifiée (définition modifiée)]

3.25
puissance assignée (d'un condensateur)
Q_N
puissance réactive déduite des valeurs assignées de la réactance et du courant

Note 1 à l'article: Pour la batterie, la puissance réactive assignée triphasée exprimée en Mvar (Q_N) est définie par l'équation:

$$Q_N = 3 \times I^2_N \times X_N$$

où

I_N est le courant assigné, en kA;

X_N est la réactance assignée, en Ω.

3.26
réactance assignée (d'un condensateur)
X_N
réactance de chaque phase du condensateur série à la fréquence assignée et à une température du diélectrique de 20 °C

3.27
tension assignée (de la batterie)
tension entre phases du réseau pour laquelle le système d'isolement phase-terre est conçu

3.28
tension assignée (d'un condensateur)
U_N
valeur efficace de la tension entre les bornes, déduite des valeurs assignées de la réactance et du courant $U_N = X_N \times I_N$

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

3.29
tension résiduelle (d'un condensateur)
tension qui reste entre les bornes d'un condensateur pendant un temps donné après son débranchement de l'alimentation

3.30
segment (de condensateurs série)
assemblage monophasé de groupes de condensateurs ayant ses propres dispositifs de limitation de tension et ses propres relais pour protéger les condensateurs des surtensions et des surcharges

VOIR: Figure 1

Note 1 à l'article: Les segments ne sont pas normalement séparés par des sectionneurs d'isolement. Plusieurs segments peuvent être montés sur la même plate-forme isolée.

3.31
batterie de condensateurs série (ou batterie)
ensemble triphasé de condensateurs avec sa protection associée et sa structure de support isolée

Note 1 à l'article: Une batterie peut comprendre un ou plusieurs modules (voir Figure 1).

3.32
installation de condensateurs série
batterie de condensateurs série et ses accessoires incluant les commutateurs de shuntage et les sectionneurs d'isolement

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-07, modifiée ("incluant les commutateurs de shuntage et les sectionneurs d'isolement" ajouté)]

3.33
état stable
équilibre thermique atteint par le condensateur fonctionnant dans des conditions constantes de puissance et de température de l'air ambiant

3.34
sous-segment
partie d'un segment qui inclut un assemblage monophasé de condensateurs unitaires avec un dispositif de protection associé, un matériel de limitation et d'amortissement du courant de décharge et des fonctions de protection et de commande sélectionnées mais qui n'a pas de commutateur de shuntage propre

3.35
tangente de l'angle de pertes (d'un condensateur)
tan δ
rapport entre la résistance-série équivalente et la réactance capacitive du condensateur dans des conditions spécifiées de fréquence et de tension alternative sinusoïdale

Note 1 à l'article: La tangente de l'angle de pertes peut également être exprimée comme les pertes du condensateur divisées par la puissance réactive du condensateur.

3.36
courant coordonné de varistance
amplitude de la crête maximale du courant à fréquence industrielle de varistance associée au niveau de protection

Note 1 à l'article: La forme d'onde du courant coordonné de varistance est considérée comme ayant un temps de montée virtuel de 30 µs à 50 µs. La queue de la forme d'onde n'est pas significative pour l'établissement de la tension du niveau de protection.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV

4 Conditions de service

4.1 Conditions normales de service

Les batteries de condensateurs série doivent être appropriées pour fonctionner avec leur courant spécifié, à la tension et à la fréquence assignées et en supportant des séquences spécifiques de défaut dans les conditions suivantes:

a) L'altitude ne dépasse pas 1 000 m au-dessus du niveau de la mer.

b) Les températures intérieures et extérieures de l'air ambiant sont comprises dans les limites spécifiées par l'acheteur.

c) L'épaisseur de glace ne dépasse pas 19 mm (si applicable).

d) Les vitesses du vent ne sont pas supérieures à 128 km/h.

e) L'accélération sismique horizontale (si applicable) de l'équipement ne dépasse pas 0,2 g et l'accélération verticale ne dépasse pas 0,16 g lorsqu'elle est appliquée simultanément à la base des isolateurs support. Pour les besoins de cette exigence, les valeurs d'accélération sont statiques.

NOTE Il s'agit du «niveau bas de qualification sismique» tel que défini dans la norme IEEE 693. L'accélération sismique et le vent maximal ne sont pas à considérer comme pouvant se produire simultanément.

f) L'épaisseur de neige (si applicable) ne dépasse pas la hauteur des fondations de la plate-forme des isolateurs support. (Une hauteur maximale typique est 1 m.)

g) Le rayonnement solaire n'excède pas 1 000 W/m^2.

4.2 Catégories de températures de l'air ambiant

Les condensateurs sont classés en catégories de températures, chaque catégorie étant repérée par un nombre suivi d'une lettre. Le nombre représente la valeur la plus basse de la température de l'air ambiant à laquelle le condensateur peut fonctionner. La lettre représente la limite supérieure de la plage de variation de la température dont la valeur maximale est spécifiée dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Symboles littéraux de la limite supérieure de la plage de températures

Symbole	Température de l'air ambiant °C		
	Maximum	Moyenne la plus élevée sur une période de	
		24 h	1 an
A	40	30	20
B	45	35	25
C	50	40	30
D	55	45	35

Les catégories de températures couvrent une plage totale qui s'étend de –50 °C à +55 °C. Il convient de choisir la valeur la plus basse de la température de l'air ambiant à laquelle le condensateur peut être utilisé parmi les cinq valeurs préférentielles suivantes: +5 °C, –5 °C, –25 °C, –40 °C et –50 °C.

Une combinaison quelconque composée d'une valeur minimale et d'une valeur maximale peut être choisie pour définir la catégorie de température normale d'un condensateur, par exemple –40/A ou –5/C.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60143-1:2015+AMD1:2023 CSV