

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Thyristor valves for high voltage direct current (HVDC) power transmission –
Part 3: Essential ratings (limiting values) and characteristics**

**Valves à thyristors pour le transport d'énergie en courant continu à haute
tension (CCHT) –
Partie 3: Valeurs assignées (valeurs limites) et caractéristiques essentielles**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60700-3:2022



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2022 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

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

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Thyristor valves for high voltage direct current (HVDC) power transmission –
Part 3: Essential ratings (limiting values) and characteristics**

**Valves à thyristors pour le transport d'énergie en courant continu à haute
tension (CCHT) –
Partie 3: Valeurs assignées (valeurs limites) et caractéristiques essentielles**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.200

ISBN 978-2-8322-6121-7

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

CONTENTS

FOREWORD.....	5
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms, definitions, symbols and abbreviated terms.....	7
3.1 Terms and definitions.....	7
3.2 Symbols and abbreviated terms	8
3.2.1 General	8
3.2.2 Subscripts	8
3.2.3 Letter symbols	8
3.2.4 Abbreviated terms	9
4 Service conditions	9
4.1 General.....	9
4.2 Environmental conditions	9
4.2.1 Site altitude	9
4.2.2 Air temperature and humidity range in valve halls	9
4.2.3 Cleanness in valve halls	10
4.2.4 Seismic conditions	10
4.3 System conditions.....	10
4.3.1 General information of the system	10
4.3.2 AC system voltage.....	10
4.3.3 AC system frequency.....	10
4.3.4 DC system voltage.....	10
4.3.5 DC system current and overload requirements.....	11
4.3.6 Short circuit current requirements for thyristor valves	11
4.3.7 Insulation coordination design related to thyristor valves	11
4.4 Technical parameters for six-pulse bridge design.....	11
4.4.1 General	11
4.4.2 Voltage parameters	11
4.4.3 Current parameters.....	12
4.4.4 Valve arrester parameters	13
4.4.5 Other system parameters.....	13
4.5 Other conditions.....	14
5 Ratings.....	14
5.1 Voltage and current ratings (limiting values)	14
5.1.1 Rated AC voltage across valve (U_{V0N})	14
5.1.2 Maximum steady state AC voltage across valve (U_{V0max}).....	14
5.1.3 Maximum temporary state AC voltage across valve (U_{V0maxT})	14
5.1.4 Minimum steady state AC voltage across valve (U_{V0min})	15
5.1.5 Minimum temporary state AC voltage across valve (U_{V0minT})	15
5.1.6 Valve repetitive peak off-state voltage (U_{VDRM}).....	15
5.1.7 Valve non-repetitive peak off-state voltage (U_{VDSM})	15
5.1.8 Valve repetitive peak reverse voltage (U_{VRRM})	15
5.1.9 Valve non-repetitive peak reverse voltage (U_{VRSM})	15
5.1.10 Valve switching impulse withstand voltage ($SIWV_V$).....	15

5.1.11	Valve lightning impulse withstand voltage ($LIWV_V$)	16
5.1.12	Valve steep front impulse withstand voltage ($STIWV_V$).....	16
5.1.13	Valve switching impulse protective firing voltage ($SIPL_{PF}$)	16
5.1.14	Valve RMS current ($I_{V(RMS)}$)	16
5.1.15	Valve average current ($I_{V(av)}$)	16
5.1.16	Valve one-loop fault current with re-applied forward voltage ($I_{SC\alpha}$)	16
5.1.17	Valve multiple-loop fault current without re-applied forward voltage ($I_{SC\beta}$).....	17
5.2	Delay and extinction angle ratings (limiting values)	17
5.2.1	Rated firing delay angle (α_N)	17
5.2.2	Minimum allowable firing delay angle (α_{min}).....	17
5.2.3	Maximum allowable firing delay angle (α_{max})	17
5.2.4	Minimum temporary state firing delay angle (α_{minT})	17
5.2.5	Rated extinction angle (γ_N).....	17
5.2.6	Minimum allowable extinction angle (γ_{min}).....	17
5.2.7	Maximum allowable extinction angle (γ_{max}).....	17
5.2.8	Minimum temporary state extinction angle (γ_{minT}).....	17
5.3	Insulation and test voltage levels (limiting values).....	18
5.3.1	Maximum DC voltage between valve terminals ($U_{d(v)max}$)	18
5.3.2	Maximum DC voltage across multiple valve unit ($U_{d(m)max}$)	18
5.3.3	Maximum DC voltage across valve support ($U_{d(vs)max}$).....	18
5.3.4	Maximum AC voltage between valve terminals ($U_{ac(v)max}$)	18
5.3.5	Maximum AC voltage across multiple valve unit ($U_{ac(m)max}$).....	19
5.3.6	Maximum AC voltage across valve support ($U_{ac(vs)max}$)	19
5.3.7	Maximum switching impulse voltage between valve terminals ($U_{s(v)max}$).....	19
5.3.8	Maximum switching impulse voltage across multiple valve unit ($U_{s(m)max}$)	19
5.3.9	Maximum switching impulse voltage across valve support ($U_{s(vs)max}$)	20
5.3.10	Maximum lightning impulse voltage between valve terminals ($U_{l(v)max}$)	20
5.3.11	Maximum lightning impulse voltage across multiple valve unit ($U_{l(m)max}$)	20
5.3.12	Maximum lightning impulse voltage across valve support ($U_{l(vs)max}$).....	20
5.3.13	Maximum steep front impulse voltage between valve terminals ($U_{st(v)max}$)	20
5.3.14	Maximum steep front impulse voltage across multiple valve unit ($U_{st(m)max}$)	21
5.3.15	Maximum steep front impulse voltage across valve support ($U_{st(vs)max}$).....	21
6	Characteristics	21
6.1	General.....	21
6.2	Losses characteristics.....	21
6.2.1	General	21
6.2.2	Maximum load loss per valve at rated condition (P_{vmax})	21

6.2.3	Maximum no-load loss per valve (P_{V0max})	22
6.2.4	Maximum heat emission to valve hall (P_{Emax}).....	22
6.3	Protection characteristics	22
6.3.1	Valve lightning impulse protective firing voltage ($LIPL_{PF}$).....	22
6.3.2	Valve steep front impulse protective firing voltage ($STIPL_{PF}$).....	22
6.3.3	Thyristor protective firing level (V_{PF})	22
6.3.4	Thyristor forward recovery protection level (V_{RP})	22
6.3.5	Thyristor forward du/dt protection level (du/dt_{PF}).....	22
6.3.6	Valve protective firing trip level (N_{tripPF}).....	23
6.3.7	Valve loss of redundancy trip level (N_{trip}).....	23
6.4	Temperature characteristics	23
6.4.1	Maximum cooling medium temperature at valve inlet ($T_{(in)max}$).....	23
6.4.2	Maximum cooling medium temperature at valve outlet ($T_{(out)max}$)	23
6.4.3	Thyristor junction temperature at rated condition (T_{jN}).....	23
6.4.4	Maximum thyristor junction temperature (T_{jmax})	23
6.4.5	Storage temperature (T_{stg}).....	23
6.5	Reliability characteristics	23
6.5.1	General	23
6.5.2	Expected annual failure rate of thyristor level (λ_E)	24
6.6	Other characteristics	24
6.6.1	Valve on-state voltage ($U_{V(on)}$)	24
6.6.2	Maximum steady state operating time at $\alpha = 90^\circ$ (t_{90max})	24
6.6.3	Maximum temporary state operating time at $\alpha = 90^\circ$ (t_{90maxT}).....	24
6.6.4	Maximum steady state commutation overshoot factor (k_C)	24
6.6.5	Maximum temporary state commutation overshoot factor (k_{CT})	24
Annex A (informative)	Input parameters for thyristor valve design	29
Annex B (informative)	Technical data sheet of thyristor valves	31
Bibliography		34
Figure 1	– Typical arrester arrangement for converter units with two 12-pulse bridges in series	25
Figure 2	– Operating voltage of valve and valve arrester in rectified mode	26
Figure 3	– Thyristor valve voltage waveforms in different operation modes	26
Figure 4	– One loop valve short circuit current and voltage waveforms	27
Figure 5	– Multiple loop valve short circuit current and voltage waveforms	27
Figure 6	– Continuous operating voltages at various locations for a 12-pulse bridge in rectifier mode	28
Table A.1	– Main input parameters required for thyristor valve design.....	29
Table B.1	– Technical data sheet of thyristor valves	31

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**THYRISTOR VALVES FOR HIGH VOLTAGE DIRECT CURRENT (HVDC)
POWER TRANSMISSION –****Part 3: Essential ratings (limiting values) and characteristics****FOREWORD**

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

IEC 60700-3 has been prepared by subcommittee 22F: Power electronics for electrical transmission and distribution systems, of IEC technical committee 22: Power electronic systems and equipment. It is an International Standard.

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

Draft	Report on voting
22F/667/CDV	22F/686/RVC

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

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

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

A list of all parts in the IEC 60700 series, published under the general title *Thyristor valves for high voltage direct current (HVDC) power transmission*, can be found on the IEC website.

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60700-3:2022

THYRISTOR VALVES FOR HIGH VOLTAGE DIRECT CURRENT (HVDC) POWER TRANSMISSION –

Part 3: Essential ratings (limiting values) and characteristics

1 Scope

This part of IEC 60700 specifies the service conditions, the definitions of essential ratings and characteristics of thyristor valves utilized in line commutated converters with three-phase bridge connections to realize the conversion from AC to DC and vice versa for high voltage direct current (HVDC) power transmission applications. It is applicable for air insulated, liquid cooled and indoor thyristor valves.

2 Normative references

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

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

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

IEC 60700-1:2015, *Thyristor valves for high voltage direct current (HVDC) power transmission – Part 1: Electrical testing*
IEC 60700-1:2015/AMD1:2021¹

IEC 60700-2:2016, *Thyristor valves for high voltage direct current (HVDC) power transmission – Part 2: Terminology*

IEC 61803:2020, *Determination of power losses in high-voltage direct current (HVDC) converter stations with line-commutated converters*

3 Terms, definitions, symbols and abbreviated terms

3.1 Terms and definitions

No terms and definitions are listed in this document.

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

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

¹ There exists a consolidated edition 1.1 (2021) that comprises IEC 60700-1:2015 and its Amendment 1:2021.

3.2 Symbols and abbreviated terms

3.2.1 General

Clause 3.2 covers only the most frequently used symbols and abbreviated terms related to this document. The documents listed in Clause 2 contain additional symbols and abbreviated terms.

3.2.2 Subscripts

0 (zero)	at no load
i	ideal
N	nominal or rated value
d	direct current or voltage
ac	alternating current or voltage
r	resistive or overvoltage
x	inductive
u	undervoltage
j	thyristor junction
v	valve or valve side of converter transformer
m	multiple valve (unit)
vs	valve support
s	switching impulse or stray
l	lightning impulse
st	steep front impulse
PF	protective firing
RP	recovery protection
T	temporary
S	short term
SC	short circuit
max	maximum
min	minimum
RMS	root mean square
av	average
ar	arrester
DRM	off-state repetitive maximum value
DSM	off-state non-repetitive maximum value
RRM	reverse repetitive maximum value
RSM	reverse non-repetitive maximum value

3.2.3 Letter symbols

α	(trigger/firing) delay angle
γ	extinction angle
μ	(commutation) overlap angle
X_t	commutation circuit reactance, including leakage reactance of converter transformer and other reactance in the commutation circuit which influence commutation process

P_{cu}	on-load losses of converter transformer and DC smoothing reactor when a six-pulse bridge is operating at rated load
R_{th}	equivalent resistance of the voltage drop of the thyristor valve
f_N	rated AC system frequency
t_p	valve conduction interval
t_G	valve hold-off interval
k_{df}	uneven voltage distribution factor, defined as the maximum deviation of the peak voltages of thyristor levels in a valve under the specified type of impulses, representing the degree of uneven voltage distribution due to tolerances of the voltage divider components, stray capacitances and differences in recovery charge of thyristors

3.2.4 Abbreviated terms

MVU	multiple valve (unit)
SIPL	switching impulse protective level
LIPL	lightning impulse protective level
STIPL	steep front impulse protective level

4 Service conditions

4.1 General

Thyristor valves shall be able to operate continuously and reliably under the specified service conditions throughout their entire service life except for maintenance periods. Such conditions, as the main input parameters for valve design, are essential to define the ratings and characteristics of the thyristor valves, and should be specified by the purchaser or by the system designer or the supplier as recommended in Annex A. The conditions mainly include the environmental conditions of valve halls under which thyristor valves will be required to operate, system conditions directly related to the design and operation of thyristor valves, main technical parameters of six-pulse bridges required by the system design, and any other conditions provided by the purchaser. Some of these conditions cannot be applicable depending upon the HVDC system design.

4.2 Environmental conditions

4.2.1 Site altitude

The altitude of the HVDC substation above sea-level shall be provided for insulation design of thyristor valves.

For external insulation (as defined in 3.1.3 of IEC 60700-1:2015), the insulation level of thyristor valves under standardized reference atmospheric conditions shall be determined in accordance with 4.2 of IEC 60700-1:2015.

For internal insulation (as defined in 3.1.3 of IEC 60700-1:2015), 8.2 of IEC 60700-1:2015 shall be referred to.

4.2.2 Air temperature and humidity range in valve halls

The maximum temperature and minimum relative humidity inside valve halls shall be considered in the atmospheric correction in accordance with 4.2 of IEC 60700-1:2015. In addition, the air temperature and the relative humidity in the valve hall shall be considered to prevent condensation on any surface of components within the valve hall.

4.2.3 Cleanness in valve halls

The cleanness in valve halls (e.g. equivalent salt deposit density on the surface of insulators and insulating materials) shall be provided for determination of creepage distances of thyristor valves. Dust and pollution in valve halls shall be kept as low as possible to avoid un-economical increase of creepage distances of thyristor valves.

4.2.4 Seismic conditions

Thyristor valves shall have the ability to withstand seismic stresses and to maintain their function without failure during and after an earthquake of any specified intensity possibly occurring at the location of the HVDC substation. Maximum expected horizontal and vertical acceleration along with the frequency range of oscillations shall be provided.

4.3 System conditions

4.3.1 General information of the system

The information shall include at least the following:

- a) the purpose of the project,
- b) rated power,
- c) direction of power flow,
- d) converter configuration, including a simple one-line diagram,
- e) converter operating modes such as monopolar, bipolar, parallel or multi-terminal, and
- f) interface information.

NOTE 1 For long distance HVDC transmission systems, the most commonly used converter unit configuration is one 12-pulse group per pole or two 12-pulse groups in series connection or parallel connection per pole. Each valve group is composed of two series-connected six-pulse bridges that are supplied from three single-phase three-winding transformers or six single-phase two-winding transformers. For more details on converter unit configuration, refer to IEC TR 60919-1.

NOTE 2 The interfaces between the thyristor valves and other components of the system need to be coordinated, including the location and dimensions of points of attachment on the floor of the valve hall or to the roof, dimensions of cable ducts for fibre optic cable, the location and dimensions of the connecting flange for cooling water pipes, and the interfaces to valve-hall buswork.

4.3.2 AC system voltage

The steady state and temporary state AC system voltage ranges shall be specified, including the maximum and minimum steady state voltages under rated operating condition, as well as the maximum and minimum temporary state voltages along with their durations during AC system faults and during the recovery period immediately following fault clearing. The temporary state AC system voltage range will directly affect the voltage ratings of thyristor valves.

4.3.3 AC system frequency

The rated frequency, steady state frequency variation range, temporary state frequency variation range, as well as temporary state extreme frequency variation range shall be specified.

4.3.4 DC system voltage

The rated DC voltage, and the maximum and minimum DC voltages in continuous operation considering control and measurement errors and manufacturing tolerance shall be specified.

If thyristor valves are required to operate continuously with reduced DC voltages, the DC system voltages, along with the operating parameters of the thyristor valves, i.e. valve side winding voltages and firing delay angles under these operating conditions, shall also be provided.

4.3.5 DC system current and overload requirements

The rated DC current and minimum DC currents in continuous operation, as well as the required short term overload and temporary overload DC currents along with their durations shall be specified.

4.3.6 Short circuit current requirements for thyristor valves

For converter units, short circuits can be caused by breakdown of external or internal insulation, i.e. flashover or puncture of insulators, or by inadvertent operation of switches, or from other causes. Usually the most severe fault is a short circuit of the thyristor valve operating in rectifier mode with minimum delay angle and maximum AC system voltage. The maximum peak values of one-loop and multiple-loop short circuit currents, along with their durations and the maximum peak values of re-applied forward voltages and reverse recovery voltages that the thyristor valves are required to withstand, shall be specified.

4.3.7 Insulation coordination design related to thyristor valves

The required overvoltage withstand capability of thyristor valves, as well as the protective levels (residual voltages and coordination currents for specified types of overvoltage) of valve arresters, shall be specified, based on the insulation coordination design of the system.

A typical arrangement for the arresters directly related to the thyristor valves of a station consisting of two series-connected 12-pulse converters per pole is shown in Figure 1. Some of the arresters may be eliminated depending upon the specific design.

For thyristor valve design and test, the required withstand voltages for switching and lightning impulses of the valves between the locations, as shown in Figure 1, shall be specified, including:

- a) withstand voltages across a valve,
- b) withstand voltages between the upper 12-pulse bridge DC bus and earth,
- c) withstand voltages between the upper 12-pulse bridge mid-point DC bus and earth,
- d) withstand voltages between the two 12-pulse bridges mid-point DC bus and earth,
- e) withstand voltages between the lower 12-pulse bridges mid-point DC bus and earth, and
- f) withstand voltages between the neutral bus and earth.

For more details about the insulation coordination design refer to IEC 60071-5.

NOTE Valve arrester design is one unseparated part of thyristor valve design for an optimized converter. Defining the withstand voltages across a valve without considering the interaction between valve and valve arrester always leads to an uneconomic valve.

4.4 Technical parameters for six-pulse bridge design

4.4.1 General

The parameters described in 4.4 are related to converters comprised of six thyristor valves. The values of these parameters shall be considered in the design of thyristor valves.

4.4.2 Voltage parameters

4.4.2.1 Rated DC voltage per converter (U_{dN})

This refers to the mean value of DC voltage between the high voltage and low voltage terminals of a converter (six-pulse bridge) under rated operating condition. It is defined at nominal valve side winding voltage and nominal converter firing delay angle while operating at rated DC current.

4.4.2.2 Nominal ideal no-load DC voltage per converter (U_{di0N})

This refers to the ideal no-load DC voltage of a converter at nominal valve side winding voltage, idealized firing delay and overlap angles equalling zero.

4.4.2.3 Maximum ideal no-load DC voltage per converter (U_{di0max})

This refers to the maximum value of ideal no-load DC voltage of a converter at nominal valve side winding voltage, idealized firing delay and overlap angles equalling zero, taking into account the control and measurement errors and manufacturing tolerance of the system.

4.4.2.4 Minimum ideal no-load DC voltage per converter (U_{di0min})

This refers to the minimum value of ideal no-load DC voltage of a converter at nominal valve side winding voltage, idealized firing and overlap angles equalling zero, taking into account the control and measurement errors and manufacturing tolerance of the system.

4.4.2.5 Temporary overvoltage factor (k_r)

This refers to the factor defined as the ratio of maximum temporary state AC system voltage during AC system faults, such as load rejection, to nominal AC system voltage.

4.4.2.6 Temporary undervoltage factor (k_u)

This refers to the factor defined as the ratio of minimum temporary state AC system voltage during AC system faults, such as single-phase or three-phase short circuits to ground, to nominal AC system voltage.

4.4.3 Current parameters

4.4.3.1 Rated DC current (I_{dN})

This refers to the nominal value of direct current that the system should be able to transmit continuously for all ambient conditions specified and without time limitations.

4.4.3.2 Maximum continuous operating DC current (I_{dmax})

This refers to the maximum value of direct current that the system should be able to transmit continuously without time limitations. The current value may vary under different ambient conditions and different cooling conditions.

4.4.3.3 Minimum continuous operating DC current (I_{dmin})

This refers to the minimum value of direct current that the system should be able to transmit continuously without time limitations. It is defined to avoid the intermittent direct current for steady state operation. A value of 5 % to 10 % of rated DC current is commonly used.

4.4.3.4 Short term overload DC current (I_{dS})

This refers to the maximum value of direct current that the system should be able to transmit under specified short term overload conditions, typically in the time span from minutes up to hours. The current value may vary under different ambient conditions, different durations and different cooling conditions.

4.4.3.5 Temporary overload DC current (I_{dT})

This refers to the maximum value of direct current that the system should be able to transmit under specified temporary overload conditions, typically in the range of seconds.

4.4.4 Valve arrester parameters

4.4.4.1 Crest value of continuous operating voltage (CCOV)

This refers to the highest continuously occurring crest value of the voltage across the arrester excluding commutation overshoots and commutation notches. The continuous operating voltage waveform for the valve and valve arrester is shown in Figure 2. The CCOV is proportional to the maximum ideal no-load DC voltage per converter (U_{di0max}), and is given by Formula (1):

$$CCOV = \frac{\pi}{3} \cdot U_{di0max} \quad (1)$$

4.4.4.2 Peak value of continuous operating voltage (PCOV)

This refers to the highest continuously occurring peak value of the voltage across the arrester including commutation overshoots and commutation notches.

See Figure 2.

4.4.4.3 Switching impulse protective level of valve arrester (SIPL_v)

This refers to the residual arrester voltage for maximum switching current impulse possibly occurring in service.

4.4.4.4 Lightning impulse protective level of valve arrester (LIPL_v)

This refers to the residual arrester voltage for maximum lightning current impulse possibly occurring in service.

4.4.4.5 Steep front impulse protective level of valve arrester (STIPL_v)

This refers to the residual arrester voltage for maximum steep front current impulse possibly occurring in service.

4.4.4.6 Maximum surge arrester commutation current (I_{ar})

This refers to the maximum peak value of the surge arrester coordination current that can be flowing in the forward direction at the time the valve turns on. Due to the commutation of the arrester current, the thyristors and their associated electrical circuits shall withstand the maximum turn-on current stress under the specified high voltage conditions.

4.4.5 Other system parameters

4.4.5.1 Rated relative inductive DC voltage drop (d_{xN})

This refers to the maximum and minimum values of the relative inductive DC voltage drop of a converter under rated operating condition, which can be calculated with Formula (2).

$$d_{xN} = \frac{3}{\pi} \cdot \frac{X_t \cdot I_{dN}}{U_{di0N}} \quad (2)$$

4.4.5.2 Rated relative resistive DC voltage drop (d_{rN})

This refers to the maximum and minimum values of the relative resistive DC voltage drop of a converter under rated operating condition, which can be calculated with Formula (3).

$$d_{rN} = \frac{P_{cu}}{U_{di0N} \cdot I_{dN}} \cdot \frac{2 \cdot R_{th} \cdot I_{dN}}{U_{di0N}} \quad (3)$$

4.4.5.3 External stray capacitance (C_s)

This refers to the maximum and minimum values of equivalent stray capacitances of bushings, from windings to tank and capacitances in parallel with the winding inductance, which is indispensable for the analysis of the turn-on and turn-off transient behaviours of thyristor valves. For details refer to IEC 61803:2020, 5.1.7, NOTE 3.

4.5 Other conditions

Conditions which are not specified in 4.2 to 4.4, and any special conditions required by the purchaser, shall be clearly specified. Valve design shall consider these conditions.

5 Ratings

5.1 Voltage and current ratings (limiting values)

5.1.1 Rated AC voltage across valve (U_{v0N})

This refers to the rated RMS value of the no-load phase-to-phase voltage on the valve side winding of the transformer, corresponding to the nominal ideal no-load DC voltage per converter (U_{di0N}).

$$U_{v0N} = \frac{\pi \cdot U_{di0N}}{3\sqrt{2}} \quad (4)$$

5.1.2 Maximum steady state AC voltage across valve (U_{v0max})

This refers to the maximum RMS value of the no-load phase-to-phase voltage on the valve side winding of the transformer, corresponding to the maximum ideal no-load DC voltage per converter (U_{di0max}).

$$U_{v0max} = \frac{\pi \cdot U_{di0max}}{3\sqrt{2}} \quad (5)$$

5.1.3 Maximum temporary state AC voltage across valve (U_{v0maxT})

This refers to the maximum RMS value of the no-load phase-to-phase voltage on the valve side winding of the transformer during AC system faults, such as load rejection, which is equal to the product of the temporary overvoltage factor (k_r) and the maximum steady state AC voltage across valve (U_{v0max}).

5.1.4 Minimum steady state AC voltage across valve (U_{v0min})

This refers to the minimum RMS value of the no-load phase-to-phase voltage on the valve side winding of the transformer, corresponding to the minimum ideal no-load DC voltage per converter (U_{di0min}).

$$U_{v0min} = \frac{\pi \cdot U_{di0min}}{3\sqrt{2}} \quad (6)$$

5.1.5 Minimum temporary state AC voltage across valve (U_{v0minT})

This refers to the minimum RMS value of the no-load phase-to-phase voltage on the valve side winding of the transformer during AC system faults, such as single-phase or three-phase short circuits to ground, which is equal to the product of the temporary undervoltage factor (k_u) and the rated AC voltage across valve (U_{v0N}).

5.1.6 Valve repetitive peak off-state voltage (U_{vDRM})

This refers to the maximum instantaneous value of the off-state voltage developed across a controllable valve, including all repetitive transient voltages but excluding all non-repetitive transient voltages.

See Figure 3.

5.1.7 Valve non-repetitive peak off-state voltage (U_{vDSM})

This refers to the maximum instantaneous value of any non-repetitive transient off-state voltage developed across a controllable valve.

See Figure 3.

5.1.8 Valve repetitive peak reverse voltage (U_{vRRM})

This refers to the maximum instantaneous value of the reverse voltage developed across a reverse blocking valve, including all repetitive transient voltages but excluding all non-repetitive transient voltages.

See Figure 3.

5.1.9 Valve non-repetitive peak reverse voltage (U_{vRSM})

This refers to the maximum instantaneous value of any non-repetitive transient reverse voltage developed across a reverse blocking valve.

See Figure 3.

5.1.10 Valve switching impulse withstand voltage (SIWV_v)

This refers to the peak value of the maximum non-repetitive voltage for switching impulses that the thyristor valve has the capability to withstand.

NOTE In the forward direction the valve can be protectively fired below the withstand voltage.

5.1.11 Valve lightning impulse withstand voltage (LIWV_v)

This refers to the peak value of the maximum non-repetitive voltage for lightning impulses that the thyristor valve has the capability to withstand.

NOTE In the forward direction the valve can be protectively fired below the withstand voltage.

5.1.12 Valve steep front impulse withstand voltage (STIWV_v)

This refers to the peak value of the maximum non-repetitive voltage for steep front impulses that the thyristor valve has the capability to withstand.

NOTE In the forward direction the valve can be protectively fired below the withstand voltage.

5.1.13 Valve switching impulse protective firing voltage (SIPL_{PF})

This refers to the maximum and minimum protective firing voltages across valve for switching impulses in forward direction. The values are calculated upon the thyristor protective firing level under the type of impulses, the series number of thyristors in a single valve and the uneven voltage distribution factor (k_{df}).

See Figure 3.

NOTE In some projects, the SIPL_{PF} could be set lower than the SIPL_v.

5.1.14 Valve RMS current ($I_{V(RMS)}$)

The valve RMS current is defined by Formula (7) when harmonics are not included.

$$I_{V(RMS)} = \frac{I_d}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \pi - \mu}{2 \cdot \pi}} \quad (7)$$

5.1.15 Valve average current ($I_{V(av)}$)

The valve average current is defined by Formula (8).

$$I_{V(av)} = \frac{I_d}{3} \quad (8)$$

5.1.16 Valve one-loop fault current with re-applied forward voltage (I_{SCa})

This refers to the maximum peak value of the one-loop short circuit current that the thyristor valve has the capability to withstand without failure, and to maintain its off-state voltage blocking capability for the specified maximum forward overvoltage immediately after the fault current. The value shall not be less than the maximum peak value of the one-loop short circuit current determined from system studies. The duration of the fault current and the peak value of the re-applied forward voltage specified in 4.3.6 shall be determined from system studies.

The typical valve one-loop fault current and re-applied forward voltage waveforms are shown in Figure 4. As shown, the valve conduction interval during fault condition shall be a whole cycle minus the valve hold-off interval and delay time related to the minimum temporary state firing delay angle.

$$t_p = \frac{1}{f_N} - t_G - \frac{\alpha_{\min T}}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{1}{f_N} \quad (9)$$

5.1.17 Valve multiple-loop fault current without re-applied forward voltage ($I_{SC\beta}$)

This refers to the maximum peak value of the multiple-loop short circuit current that the thyristor valve has the capability to withstand without failure, and to maintain its reverse voltage blocking capability for the specified maximum reverse voltage between the loops of fault current. The value shall not be less than the maximum peak value of the multiple-loop short circuit current determined from system studies. The number of loops of fault current depends on the operating time of fault clearing. The valve conduction intervals of the fault current loops and the peak value of the reverse voltage specified in 4.3.6 shall be determined from system studies. The typical valve fault current and voltage waveforms with three loops are shown in Figure 5.

5.2 Delay and extinction angle ratings (limiting values)

5.2.1 Rated firing delay angle (α_N)

This refers to the rated firing delay angle under which the valve can operate in steady state at rated load and rated value of valve side winding voltage.

5.2.2 Minimum allowable firing delay angle ($\alpha_{\min}$)

This refers to the minimum value of the firing delay angle under which the valve can still operate continuously in any steady state at rated value of valve side winding voltage.

5.2.3 Maximum allowable firing delay angle ($\alpha_{\max}$)

This refers to the maximum value of the firing delay angle under which the valve can still operate continuously in any steady state at specified values of valve side winding voltage.

5.2.4 Minimum temporary state firing delay angle ($\alpha_{\min T}$)

This refers to the minimum value of the firing delay angle below which the valve will fail to turn on correctly at specified values of valve side winding voltage.

5.2.5 Rated extinction angle (γ_N)

This refers to the rated extinction angle under which the valve can operate in steady state at rated load and rated value of valve side winding voltage.

5.2.6 Minimum allowable extinction angle ($\gamma_{\min}$)

This refers to the minimum value of the extinction angle under which the valve can still operate in any steady state at rated value of valve side winding voltage.

5.2.7 Maximum allowable extinction angle ($\gamma_{\max}$)

This refers to the maximum value of the extinction angle under which the valve can still operate in any steady state at specified values of valve side winding voltage.

5.2.8 Minimum temporary state extinction angle ($\gamma_{\min T}$)

This refers to the minimum value of the extinction angle below which the valve will fail to commute at specified values of valve side winding voltage.

5.3 Insulation and test voltage levels (limiting values)

5.3.1 Maximum DC voltage between valve terminals ($U_{d(v)max}$)

This refers to the maximum value of the DC component of the steady state operating voltage appearing across the terminals of a valve. This is equal to the rated six-pulse bridge DC voltage.

NOTE One typical waveform of the steady state operating voltage appearing across the terminals of a valve is shown in Figure 6 (a), and the corresponding steady state voltage waveform appearing across a six-pulse bridge is shown in Figure 6 (e).

The test voltage ratings are the short-duration and long-duration test voltages as defined in 8.3.1 of IEC 60700-1:2015 and IEC 60700-1:2015/AMD1:2021.

5.3.2 Maximum DC voltage across multiple valve unit ($U_{d(m)max}$)

This refers to the maximum value of the DC component of the steady state operating voltage appearing between the high voltage and low voltage terminals of a MVU. The value will depend on the valve configuration (double valve, quadrivalve or octovalve) and the number of MVUs in series per pole of the HVDC scheme.

NOTE The typical steady state operating voltage waveforms appearing between the terminals of the MVUs for double valve and quadrivalve are shown in Figure 6 (e) and Figure 6 (d), respectively.

The test voltage ratings are the short-duration and long-duration test voltages as defined in 7.3.1 of IEC 60700-1:2015 and IEC 60700-1:2015/AMD1:2021. The test voltages shall include atmospheric correction determined in accordance with IEC 60060-1 and applied as detailed in IEC 60700-1.

5.3.3 Maximum DC voltage across valve support ($U_{d(vs)max}$)

This refers to the maximum value of the DC component of the steady state operating voltage appearing across a valve support. The value will depend on the configuration of both the converter and valve units.

NOTE The typical steady state operating voltage waveforms appearing across the valve supports for double valve and quadrivalve are shown in Figure 6 (e) and Figure 6 (f), respectively.

The test voltage ratings are the short-duration and long-duration test voltages as defined in 6.3.2 of IEC 60700-1:2015 and IEC 60700-1:2015/AMD1:2021. The test voltages shall include atmospheric correction determined in accordance with IEC 60060-1 and applied as detailed in IEC 60700-1.

5.3.4 Maximum AC voltage between valve terminals ($U_{ac(v)max}$)

This refers to the maximum value of repetitive voltage appearing across the terminals of a valve. This voltage consists of sections of chopped up AC voltage with commutation overshoots and a DC component. The maximum peak overshoot voltage between valve terminals shall be determined by considering the most severe temporary state operating conditions, i.e. the maximum temporary state AC voltage across valve (U_{v0maxT}) and firing delay angle of 90° , as well as the limiting effect of the parallel connected valve arrester.

The repetitive operating voltage waveform appearing across the terminals of a valve with a firing delay angle of 90° is shown in Figure 3 (b). Since the valve withstands asymmetric voltage stresses under such condition, the repetitive operating voltages across valve are not identical in the forward and reverse directions.

The test voltage ratings are the short-duration and long-duration test voltages as defined in 8.3.2 of IEC 60700-1:2015 and IEC 60700-1:2015/AMD1:2021.

5.3.5 Maximum AC voltage across multiple valve unit ($U_{ac(m)max}$)

This refers to the maximum value of the AC or composite AC plus DC component of the steady state operating voltage with commutation overshoots appearing between any two terminals of a MVU. The maximum peak overshoot voltage between the terminals of the MVU shall be determined under steady state operating condition, including the maximum steady state AC voltage across valve (U_{v0max}) and maximum allowable firing delay angle (α_{max}).

NOTE Figure 6 (e) and Figure 6 (d) show typical waveforms of the steady state operating voltages between two DC terminals of the MVUs for double valve and quadrivalve. Figure 6 (a) and Figure 6 (c) show typical voltage waveforms between any two DC and AC terminals of the MVUs for double valve and quadrivalve. Figure 6 (b) shows one typical voltage waveform between two AC terminals of the MVU for quadrivalve.

The test voltage ratings are the short-duration and long-duration test voltages as defined in 7.3.2 of IEC 60700-1:2015. The test voltages shall include atmospheric correction determined in accordance with IEC 60060-1 and applied as detailed in IEC 60700-1.

In most cases, the AC voltage withstand capability of MVUs has been verified by other tests, the test ratings are therefore not applicable.

5.3.6 Maximum AC voltage across valve support ($U_{ac(vs)max}$)

This refers to the maximum value of the AC or composite AC plus DC component of the steady state operating voltage with commutation overshoots appearing across a valve support. The maximum peak overshoot voltage across the valve support shall be determined under steady state operating condition, including the maximum steady state AC voltage across valve (U_{v0max}) and maximum allowable firing delay angle (α_{max}).

NOTE Figure 6 (e) shows one typical waveform of the steady state operating voltage appearing across the valve supports for double valve. Figure 6 (f) shows one typical waveform of the steady state operating voltage appearing across the valve supports for quadrivalve.

The test voltage ratings are the short-duration and long-duration test voltages as defined in 6.3.3 of IEC 60700-1:2015 and IEC 60700-1:2015/AMD1:2021. The test voltages shall include atmospheric correction determined in accordance with IEC 60060-1 and applied as detailed in IEC 60700-1.

5.3.7 Maximum switching impulse voltage between valve terminals ($U_{s(v)max}$)

This refers to the maximum value of switching impulse appearing across the terminals of a valve. In many cases the valve is protected by a surge arrester, therefore the maximum value is the surge arrester switching impulse protective level, SIP_{LV} . If the valve is not protected by a surge arrester, the maximum switching impulse voltage should be determined by system studies.

The test voltage rating is the test voltage as defined in 8.3.4 of IEC 60700-1:2015.

5.3.8 Maximum switching impulse voltage across multiple valve unit ($U_{s(m)max}$)

This refers to the maximum value of switching impulse appearing between the high voltage and the low voltage terminals of a MVU. In many cases the MVU is protected by a surge arrester, therefore the maximum value is the surge arrester switching impulse protective level. If the MVU is not protected by a surge arrester, the maximum switching impulse voltage should be determined by system studies.

The test voltage rating is the test voltage as defined in 7.3.3 of IEC 60700-1:2015. The test voltage shall include atmospheric correction determined in accordance with IEC 60060-1 and applied as detailed in IEC 60700-1.

5.3.9 Maximum switching impulse voltage across valve support ($U_{s(vs)max}$)

This refers to the maximum value of switching impulse appearing across a valve support. In many cases the valve support is protected by a surge arrester, therefore the maximum value is the surge arrester switching impulse protective level. If the valve support is not protected by a surge arrester, the maximum switching impulse voltage should be determined by system studies.

The test voltage rating is the test voltage as defined in 6.3.4 of IEC 60700-1:2015. The test voltage shall include atmospheric correction determined in accordance with IEC 60060-1 and applied as detailed in IEC 60700-1.

5.3.10 Maximum lightning impulse voltage between valve terminals ($U_{l(v)max}$)

This refers to the maximum value of lightning impulse appearing across the terminals of a valve. In many cases the valve is protected by a surge arrester, therefore the maximum value is the surge arrester lightning impulse protective level, $LIPL_v$. If the valve is not protected by a surge arrester, the maximum lightning impulse voltage should be determined by system studies.

The test voltage rating is the test voltage as defined in 8.3.5 of IEC 60700-1:2015.

5.3.11 Maximum lightning impulse voltage across multiple valve unit ($U_{l(m)max}$)

This refers to the maximum value of lightning impulse appearing between the high voltage and the low voltage terminals of a MVU. In many cases the MVU is protected by a surge arrester, therefore the maximum value is the surge arrester lightning impulse protective level. If the MVU is not protected by a surge arrester, the maximum lightning impulse voltage should be determined by system studies.

The test voltage rating is the test voltage as defined in 7.3.4 of IEC 60700-1:2015 and IEC 60700-1:2015/AMD1:2021. The test voltage shall include atmospheric correction determined in accordance with IEC 60060-1 and applied as detailed in IEC 60700-1.

5.3.12 Maximum lightning impulse voltage across valve support ($U_{l(vs)max}$)

This refers to the maximum value of lightning impulse appearing across a valve support. In many cases the valve support is protected by a surge arrester, therefore the maximum value is the surge arrester lightning impulse protective level. If the valve support is not protected by a surge arrester, the maximum lightning impulse voltage should be determined by system studies.

The test voltage rating is the test voltage as defined in 6.3.5 of IEC 60700-1:2015. The test voltage shall include atmospheric correction determined in accordance with IEC 60060-1 and applied as detailed in IEC 60700-1.

5.3.13 Maximum steep front impulse voltage between valve terminals ($U_{st(v)max}$)

This refers to the maximum value of steep front impulse appearing across the terminals of a valve. The steep front impulse shall have a time to peak less than that of the standard lightning impulse, but not less than that of a very-fast-front impulse voltage as defined in IEC 60071-1. In many cases the valve is protected by a surge arrester, therefore the maximum value is the surge arrester steep front impulse protective level, $STIPL_v$. The front steepness should be determined by system studies.

If the valve is not protected by a surge arrester, the value of the steep front impulse voltage, including its steepness, should be determined by system studies.

The test voltage rating is the test voltage as defined in 8.3.6 of IEC 60700-1:2015.

5.3.14 Maximum steep front impulse voltage across multiple valve unit ($U_{st(m)max}$)

This refers to the maximum value of steep front impulse appearing across the terminals of a MVU. Steep front impulses arise from earth faults on the valve side of the transformer. The consequent rapid redistribution of energy in local stray and damping capacitances results in steep front surge stresses on the valve connected to the faulty phase. The DC pole and line or cable capacitances are discharged through the DC smoothing reactor and transformer leakage reactance resulting in voltages with much slower fronts. In most cases, steep front voltages are therefore not applicable to the MVU.

5.3.15 Maximum steep front impulse voltage across valve support ($U_{st(vs)max}$)

This refers to the maximum value of steep front impulse appearing across the terminals of a valve support. Steep front impulses arise from earth faults on the valve side of the transformer. Fault on the converter side and the presence of the DC smoothing reactor result in voltage surges with much slower fronts appearing across support insulators. In most cases, steep front voltages are therefore not applicable to the valve support.

6 Characteristics

6.1 General

Characteristics shall be given at rated operating conditions unless otherwise stated. The values of the following characteristics of valves, along with the values of their ratings defined in Clause 5, constitute the technical data of thyristor valves, as listed in Table B.1 of Annex B.

6.2 Losses characteristics

6.2.1 General

Direct measurement of valve losses is not possible due to inadequate precision of available measuring instruments and methods. The losses of thyristor valves shall be calculated by adopting the methods recommended in IEC 61803.

The load losses are the total losses when power is transmitted, which consist of the following:

- a) thyristor conduction loss per valve (P_{v1}),
- b) thyristor spreading loss per valve (P_{v2}),
- c) other conduction losses per valve (P_{v3}),
- d) DC voltage-dependent loss per valve (P_{v4}),
- e) damping loss per valve (resistor-dependent term) (P_{v5}),
- f) damping loss per valve (change of capacitor energy term) (P_{v6}),
- g) turn-off losses per valve (P_{v7}), and
- h) reactor loss per valve (P_{v8}).

The no-load stand-by losses originate from another operation mode with energized but blocked valves, which only consist of the following:

- 1) DC voltage-dependent loss per valve (P_{v4}), and
- 2) damping loss per valve (resistor-dependent term) (P_{v5}).

6.2.2 Maximum load loss per valve at rated condition (P_{vmax})

This refers to the maximum value of total loss of a valve under rated operating condition. The temperature dependent parameters, such as on-state voltage drop and recovery charge of

thyristors, shall be calculated at their expected operating temperature. It shall be verified in a suitable manner by the supplier.

6.2.3 Maximum no-load loss per valve (P_{v0max})

This refers to the maximum value of total loss of a valve under no-load stand-by conditions. In no-load operation mode, the valve withstands the sinusoidal waveform of the line to neutral voltage.

6.2.4 Maximum heat emission to valve hall (P_{Emax})

This refers to the maximum heat exchange quantity between the valve and surrounding environment inside the valve hall. The heat emission of thyristor valves to the valve hall shall be considered during the design of the air conditioning system. The maximum heat emission shall be determined at the minimum ambient temperature in the valve hall and maximum load.

6.3 Protection characteristics

6.3.1 Valve lightning impulse protective firing voltage ($LIPL_{PF}$)

This refers to the maximum and minimum protective firing voltages across a valve for lightning impulses in forward direction due to system faults. The values are calculated upon the thyristor protective firing level under the type of impulses, the series number of thyristors in a single valve, the voltage suppression effect of valve saturated reactors and the uneven voltage distribution factor (k_{df}).

6.3.2 Valve steep front impulse protective firing voltage ($STIPL_{PF}$)

This refers to the maximum and minimum protective firing voltages across a valve for steep front impulses in forward direction due to system faults. The values are calculated upon the thyristor protective firing level under the type of impulses, the series number of thyristors in a single valve, the voltage suppression effect of valve saturated reactors and the uneven voltage distribution factor (k_{df}).

6.3.3 Thyristor protective firing level (V_{PF})

This refers to the maximum and minimum values of thyristor protective firing voltages for all types of impulses, i.e. switching impulses, lightning impulses and steep front impulses. Thyristor protective firing level in forward direction can be realized by thyristor integrated forward overvoltage protection, electronic forward overvoltage protection where the protective gate impulses are produced by the thyristor control unit, or breakover diode (BOD) protection where the protective gate impulses are provided by a physical breakover diode assembly that is independent from the power supply of the thyristor control unit. The protective firing level in most cases is dependent on du/dt .

6.3.4 Thyristor forward recovery protection level (V_{RP})

This refers to the maximum and minimum values of thyristor protective firing level for the protective firing in response to forward rising voltage applied during the reverse recovery period. The recovery protection may be implemented at thyristor level or as a separate protection per valve section. The forward recovery protection level may depend on du/dt .

6.3.5 Thyristor forward du/dt protection level (du/dt_{PF})

This refers to the maximum and minimum values of protective firing level for the protective firing in response to excessive rate of rise of off-state voltage. This protection is not indispensable for all valve designs if forward voltage du/dt can be controlled by other means.

6.3.6 Valve protective firing trip level (N_{tripPF})

This refers to the number of protective firing thyristor levels in one single valve beyond which the converter shall be tripped.

6.3.7 Valve loss of redundancy trip level (N_{trip})

This refers to the maximum number of thyristor levels in a thyristor valve that may be short circuited externally or internally during service without affecting the safe operation of the thyristor valve, and which if and when exceeded, would require shutdown of the converter to replace the failed thyristors or acceptance of increased risk of failures, refer to 6.14 of IEC 60700-2:2016.

6.4 Temperature characteristics

6.4.1 Maximum cooling medium temperature at valve inlet ($T_{(\text{in})\text{max}}$)

This refers to the maximum temperature of the incoming cooling medium to the thyristor valve. $T_{(\text{in})\text{max}}$ shall be chosen to make sure the thyristor junction temperature is not higher than T_{jmax} , taking into account possible valve overloads.

6.4.2 Maximum cooling medium temperature at valve outlet ($T_{(\text{out})\text{max}}$)

This refers to the maximum temperature of the outgoing cooling medium from the thyristor valve.

NOTE This value is dependent upon $T_{(\text{in})\text{max}}$, valve losses and cooling system parameters such as the medium specific heat capacity, flow of cooling medium, density of cooling medium, air conditioning in the valve hall.

6.4.3 Thyristor junction temperature at rated condition (T_{jN})

This refers to the expected thyristor junction temperature under rated steady state operating and cooling conditions.

6.4.4 Maximum thyristor junction temperature (T_{jmax})

This refers to the permitted maximum thyristor junction temperature at which the thyristors can maintain their full off-state voltage blocking capability and life expectancy. The thyristor junction temperature under any operating condition except valve short circuit faults shall be calculated and checked during valve design, the purpose of which is to make sure the valve cooling system is designed properly, ensuring the thyristor junction temperature is not higher than the specified maximum thyristor junction temperature.

6.4.5 Storage temperature (T_{stg})

This refers to the maximum and minimum values of the storage temperature at which the thyristor valves can be stored (shipping and handling).

6.5 Reliability characteristics

6.5.1 General

Failures of components within a thyristor valve usually do not result in serious consequences. Thyristor level failure is caused by the failure of the thyristor itself or by failures of other components within the thyristor level which result in a thyristor failure. The failure rate of the components shall be determined, which includes:

- a) failure rate of thyristor devices (λ_1),
- b) failure rate of DC grading resistors (λ_2),

- c) failure rate of damping capacitances (λ_3),
- d) failure rate of damping resistors (λ_4),
- e) failure rate of valve reactors (λ_5),
- f) failure rate of thyristor control units (λ_6), and
- g) failure rate of valve section capacitances, if any (λ_7).

The expected failure rates of thyristors and associated components shall be based on operating experience with similar equipment in similar applications.

6.5.2 Expected annual failure rate of thyristor level (λ_E)

This refers to the total failure rate of a thyristor level per year calculated by summing the failure rates of each component within the thyristor level.

6.6 Other characteristics

6.6.1 Valve on-state voltage ($U_{V(on)}$)

This refers to maximum value of the forward voltage drop of a valve during conduction at rated DC current.

6.6.2 Maximum steady state operating time at $\alpha = 90^\circ$ (t_{90max})

This refers to the maximum permitted continuous operation time that the valve can withstand when the firing delay angle is close to 90° at the maximum steady state AC voltage across valve and the maximum DC current determined from system studies.

6.6.3 Maximum temporary state operating time at $\alpha = 90^\circ$ (t_{90maxT})

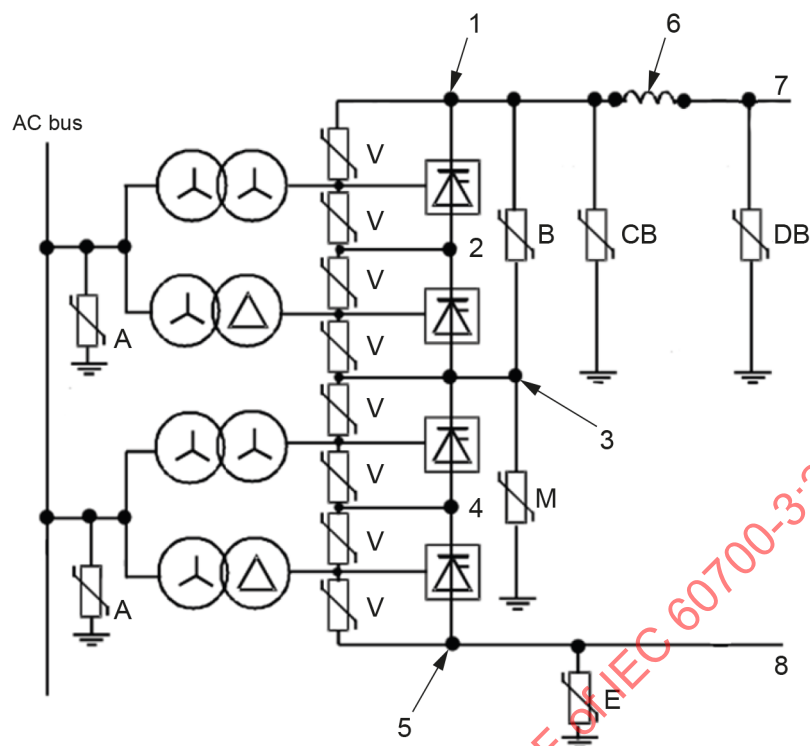
This refers to the maximum permitted continuous operation time that the valve can withstand when the firing delay angle is close to 90° at the maximum temporary state AC voltage across valve and the maximum DC current determined from system studies.

6.6.4 Maximum steady state commutation overshoot factor (k_c)

This refers to the maximum overshoot factor under any steady state operating condition as the ratio of the maximum peak value of the overshoot voltage across valve to the crest value of the phase-to-phase voltage on the valve side winding of the transformer.

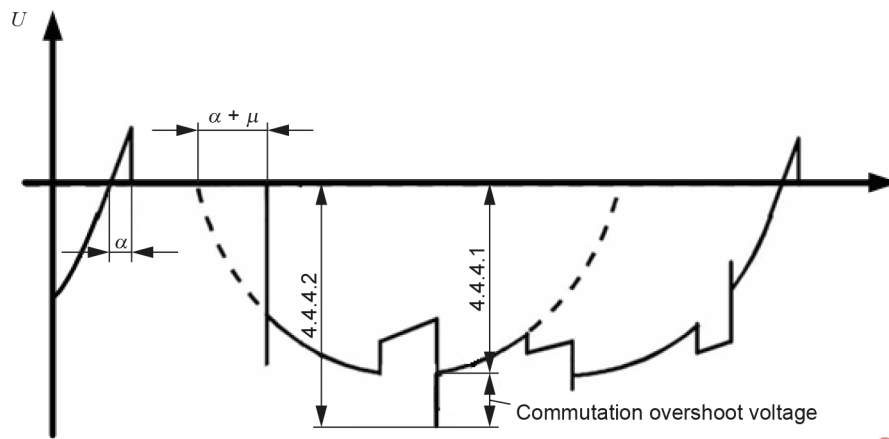
6.6.5 Maximum temporary state commutation overshoot factor (k_{cT})

This refers to the maximum overshoot factor as the ratio of the maximum peak value of the overshoot voltage across valve to the crest value of the phase-to-phase voltage on the valve side winding of the transformer under temporary state operating conditions, i.e. the maximum temporary state AC voltage across valve (U_{V0maxT}) and firing delay angle of 90° , as well as the limiting effect of the parallel connected valve arrester.

**Key**

A	AC bus arrester	1	upper 12-pulse bridge DC bus
B	bridge arrester	2	upper 12-pulse bridge mid-point DC bus
CB	converter DC bus arrester	3	mid-point DC bus between two 12-pulse bridges
DB	DC bus arrester	4	lower 12-pulse bridge mid-point DC bus
M	mid-point DC bus arrester	5	neutral bus
E	neutral bus arrester	6	DC smoothing reactor
V	valve arrester	7	DC line
		8	electrode line

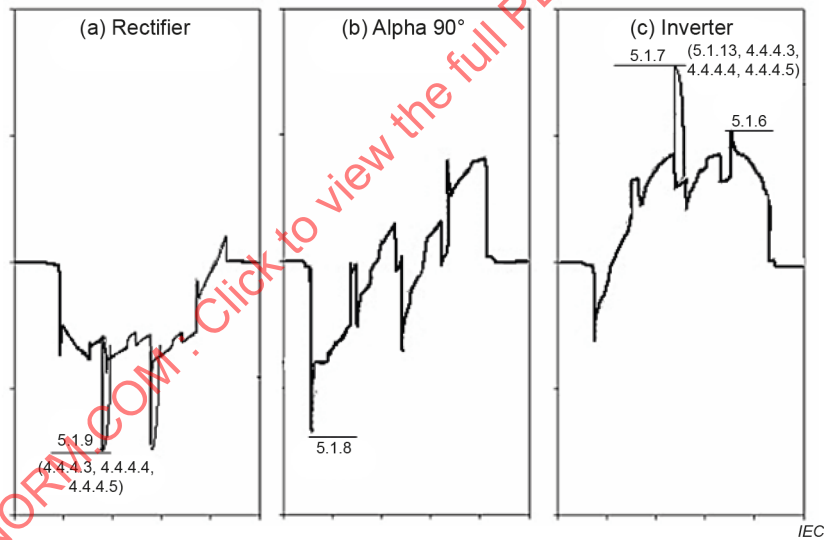
Figure 1 – Typical arrester arrangement for converter units with two 12-pulse bridges in series



Key

α	firing delay angle	4.4.4.1	CCOV
μ	commutation overlap angle	4.4.4.2	PCOV

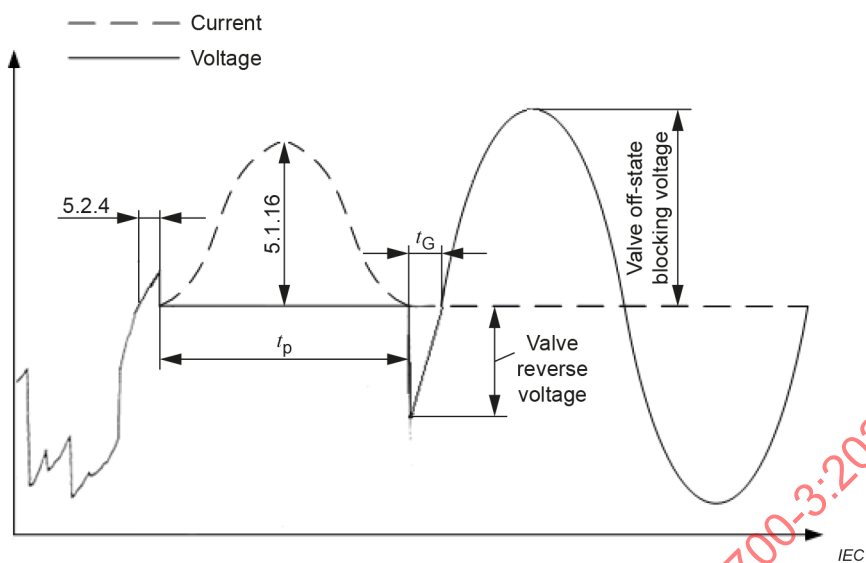
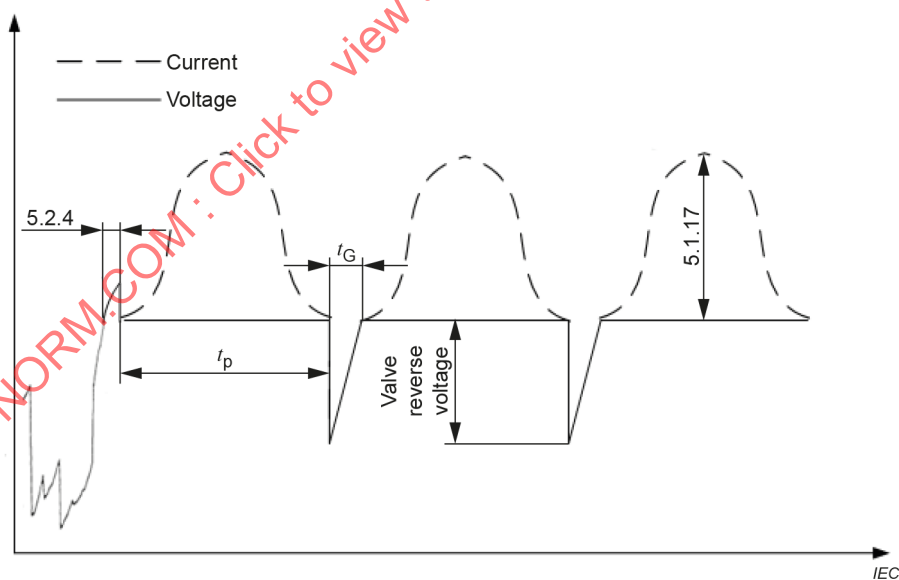
Figure 2 – Operating voltage of valve and valve arrester in rectified mode



Key

4.4.4.3	$SIPL_V$	5.1.7	U_{VDSM}
4.4.4.4	$LIPL_V$	5.1.8	U_{VRRM}
4.4.4.5	$STIPL_V$	5.1.9	U_{VRSM}
5.1.6	U_{VDRM}	5.1.13	$SIPL_{PF}$

Figure 3 – Thyristor valve voltage waveforms in different operation modes

**Key**5.1.16 $I_{SC\alpha}$ 5.2.4 α_{minT} t_p valve conduction interval t_G valve hold-off interval**Figure 4 – One loop valve short circuit current and voltage waveforms****Key**5.1.17 $I_{SC\beta}$ 5.2.4 α_{minT} t_p valve conduction interval t_G valve hold-off interval**Figure 5 – Multiple loop valve short circuit current and voltage waveforms**

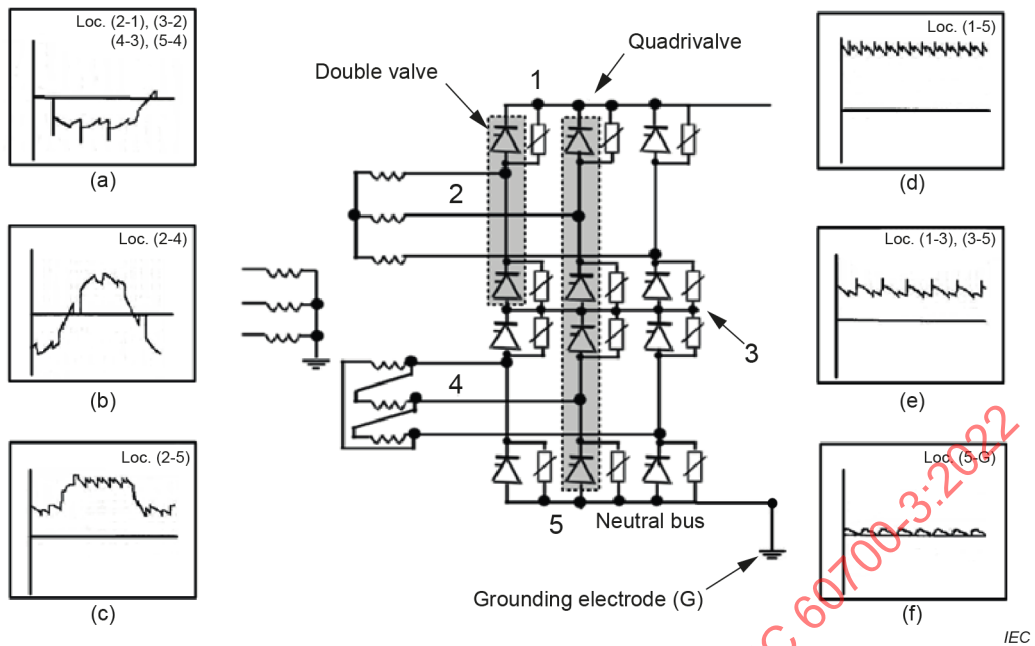


Figure 6 – Continuous operating voltages at various locations for a 12-pulse bridge in rectifier mode

Annex A (informative)

Input parameters for thyristor valve design

Table A.1 lists the main input parameters required for valve design and their recommended providers. The input parameters and their providers can be adjusted depending upon the requirements of the project.

Table A.1 – Main input parameters required for thyristor valve design

Sub-clause	Parameters	Symbol	Specified by purchaser	Specified by system designer or supplier	Remarks
4	Service conditions				
4.2	Environmental conditions				
4.2.1	Site altitude		X		
4.2.2	Air temperature and humidity range in valve halls			X	
4.2.3	Cleanness in valve halls			X	
4.2.4	Seismic conditions		X		
4.3	System conditions				
4.3.1	General information of the system		X	X	Converter configuration, converter operating modes and interface information might be determined by system designer or supplier.
4.3.2	AC system voltage		X		
4.3.3	AC system frequency		X		
4.3.4	DC system voltage		X	X	In back-to-back system, DC system voltage and current might be determined by supplier.
4.3.5	DC system current and overload requirements		X	X	
4.3.6	Short circuit current requirements for thyristor valves			X	
4.3.7	Insulation coordination design related to thyristor valves			X	
4.4	Technical parameters for six-pulse bridge design				
4.4.2	Voltage parameters				
4.4.2.1	Rated DC voltage per converter	U_{dN}		X	
4.4.2.2	Nominal ideal no-load DC voltage per converter	U_{di0N}		X	
4.4.2.3	Maximum ideal no-load DC voltage per converter	U_{di0max}		X	
4.4.2.4	Minimum ideal no-load DC voltage per converter	U_{di0min}		X	
4.4.2.5	Temporary overvoltage factor	k_r	X	X	Determined by purchaser or system designer or supplier through system study.
4.4.2.6	Temporary undervoltage factor	k_u	X	X	

Sub-clause	Parameters	Symbol	Specified by purchaser	Specified by system designer or supplier	Remarks
4.4.3	Current parameters				
4.4.3.1	Rated DC current	I_{dN}		X	
4.4.3.2	Maximum continuous operating DC current	I_{dmax}	X	X	Determined from maximum, minimum transmission power specified by purchaser.
4.4.3.3	Minimum continuous operating DC current	I_{dmin}	X	X	Besides, it is also determined from the valve operating performance (valve design).
4.4.3.4	Short term overload DC current	I_{dS}		X	
4.4.3.5	Temporary overload DC current	I_{dT}		X	
4.4.4	Valve arrester parameters				
4.4.4.1	Crest value of continuous operating voltage	CCOV		X	
4.4.4.2	Peak value of continuous operating voltage	PCOV		X	
4.4.4.3	Switching impulse protective level of valve arrester	SIPL _v		X	
4.4.4.4	Lightning impulse protective level of valve arrester	LIPL _v		X	
4.4.4.5	Steep front impulse protective level of valve arrester	STIPL _v		X	
4.4.4.6	Maximum surge arrester commutation current	I_{ar}		X	
4.4.5	Other system parameters				
4.4.5.1	Rated relative inductive DC voltage drop	d_{xN}		X	
4.4.5.2	Rated relative resistive DC voltage drop	d_{rN}		X	
4.4.5.3	External stray capacitance	C_s		X	
4.5	Other conditions		X		

Annex B (informative)

Technical data sheet of thyristor valves

Table B.1 lists the most important ratings and characteristics of thyristor valves. These parameters are recommended (but not mandatory) to be provided by the supplier.

Table B.1 – Technical data sheet of thyristor valves

Sub-clause	Ratings or characteristics	Symbol	Maximum value	Rated value	Minimum value	Remarks
5	Ratings					
5.1	Voltage and current ratings (limiting values)					
5.1.1	Rated AC voltage across valve	U_{V0N}		X		
5.1.2	Maximum steady state AC voltage across valve	U_{V0max}	X			
5.1.3	Maximum temporary state AC voltage across valve	U_{V0maxT}	X			
5.1.4	Minimum steady state AC voltage across valve	U_{V0min}			X	
5.1.5	Minimum temporary state AC voltage across valve	U_{V0minT}			X	
5.1.6	Valve repetitive peak off-state voltage	U_{VDRM}	X			
5.1.7	Valve non-repetitive peak off-state voltage	U_{VDSM}	X			
5.1.8	Valve repetitive peak reverse voltage	U_{VRRM}	X			
5.1.9	Valve non-repetitive peak reverse voltage	U_{VRSM}	X			
5.1.10	Valve switching impulse withstand voltage	$SIWV_v$	X			
5.1.11	Valve lightning impulse withstand voltage	$LIWV_v$	X			
5.1.12	Valve steep front impulse withstand voltage	$STIWV_v$	X			
5.1.13	Valve switching impulse protective firing voltage	$SIPL_{PF}$	X		X	
5.1.14	Valve RMS current	$I_{V(RMS)}$		X		
5.1.15	Valve average current	$I_{V(av)}$		X		
5.1.16	Valve one-loop fault current with re-applied forward voltage	$I_{SC\alpha}$	X			
5.1.17	Valve multiple-loop fault current without re-applied forward voltage	$I_{SC\beta}$	X			
5.2	Delay and extinction angle ratings (limiting values)					
5.2.1	Rated firing delay angle	α_N		X		
5.2.2	Minimum allowable firing delay angle	α_{min}			X	
5.2.3	Maximum allowable firing delay angle	α_{max}	X			

Sub-clause	Ratings or characteristics	Symbol	Maximum value	Rated value	Minimum value	Remarks
5.2.4	Minimum temporary state firing delay angle	$\alpha_{\min T}$			X	Not applicable, if the converter does not require to operate with α below the $\alpha_{\min}$.
5.2.5	Rated extinction angle	γ_N		X		
5.2.6	Minimum allowable extinction angle	$\gamma_{\min}$			X	
5.2.7	Maximum allowable extinction angle	$\gamma_{\max}$	X			
5.2.8	Minimum temporary state extinction angle	$\gamma_{\min T}$			X	Not applicable, if the converter does not require to operate with γ below the $\gamma_{\min}$.
5.3	Insulation and test voltage levels (limiting values)					
5.3.1	Maximum DC voltage between valve terminals	$U_{d(v)\max}$	X			
5.3.2	Maximum DC voltage across multiple valve unit	$U_{d(m)\max}$	X			
5.3.3	Maximum DC voltage across valve support	$U_{d(vs)\max}$	X			
5.3.4	Maximum AC voltage between valve terminals	$U_{ac(v)\max}$	X			
5.3.5	Maximum AC voltage across multiple valve unit	$U_{ac(m)\max}$	X			
5.3.6	Maximum AC voltage across valve support	$U_{ac(vs)\max}$	X			
5.3.7	Maximum switching impulse voltage between valve terminals	$U_{s(v)\max}$	X			
5.3.8	Maximum switching impulse voltage across multiple valve unit	$U_{s(m)\max}$	X			
5.3.9	Maximum switching impulse voltage across valve support	$U_{s(vs)\max}$	X			
5.3.10	Maximum lightning impulse voltage between valve terminals	$U_{l(v)\max}$	X			
5.3.11	Maximum lightning impulse voltage across multiple valve unit	$U_{l(m)\max}$	X			
5.3.12	Maximum lightning impulse voltage across valve support	$U_{l(vs)\max}$	X			
5.3.13	Maximum steep front impulse voltage between valve terminals	$U_{st(v)\max}$	X			
5.3.14	Maximum steep front impulse voltage across multiple valve unit	$U_{st(m)\max}$	X			Not applicable in most cases
5.3.15	Maximum steep front impulse voltage across valve support	$U_{st(vs)\max}$	X			Not applicable in most cases
6	Characteristics					
6.2	Losses characteristics					
6.2.2	Maximum load loss per valve at rated condition	$P_{v\max}$	X			
6.2.3	Maximum no-load loss per valve	$P_{v0\max}$	X			
6.2.4	Maximum heat emission to valve hall	$P_{E\max}$	X			
6.3	Protection characteristics					

Sub-clause	Ratings or characteristics	Symbol	Maximum value	Rated value	Minimum value	Remarks
6.3.1	Valve lightning impulse protective firing voltage	$LIPL_{PF}$	X		X	
6.3.2	Valve steep-front impulse protective firing voltage	$STIPL_{PF}$	X		X	
6.3.3	Thyristor protective firing level	V_{PF}	X		X	
6.3.4	Thyristor forward recovery protection level	V_{RP}	X		X	
6.3.5	Thyristor forward du/dt protection level	du/dt_{PF}	X		X	
6.3.6	Valve protective firing trip level	N_{tripPF}	X			
6.3.7	Valve loss of redundancy trip level	N_{trip}	X			
6.4	Temperature characteristics					
6.4.1	Maximum cooling medium temperature at valve inlet	$T_{(in)max}$	X			
6.4.2	Maximum cooling medium temperature at valve outlet	$T_{(out)max}$	X			
6.4.3	Thyristor junction temperature at rated condition	T_{jN}	X			
6.4.4	Maximum thyristor junction temperature	T_{jmax}	X			
6.4.5	Storage temperature	T_{stg}	X		X	
6.5	Reliability characteristics					
6.5.2	Expected annual failure rate of thyristor level	λ_E	X			
6.6	Other characteristics					
6.6.1	Valve on-state voltage	$U_{v(on)}$	X			
6.6.2	Maximum steady state operating time at $\alpha = 90^\circ$	t_{90max}	X			
6.6.3	Maximum temporary state operating time at $\alpha = 90^\circ$	t_{90maxT}	X			
6.6.4	Maximum steady state commutation overshoot factor	k_c	X			
6.6.5	Maximum temporary state commutation overshoot factor	k_{cT}	X			

Bibliography

IEC 60050-551, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 551: Power electronics*

IEC 60071-5, *Insulation co-ordination – Part 5: Procedures for high-voltage direct current (HVDC) converter stations*

IEC 60099-4, *Surge arresters – Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems*

IEC 60099-9, *Surge arresters – Part 9: Metal-oxide surge arresters without gaps for HVDC converter stations*

IEC 60146-1-1, *Semiconductor converters – General requirements and line commutated converters – Part 1-1: Specification of basic requirements*

IEC 60633, *High-voltage direct current (HVDC) transmission – Vocabulary*

IEC 60747-6, *Semiconductor devices – Part 6: Discrete devices – Thyristors*

IEC TR 60919-1, *Performance of high-voltage direct current (HVDC) systems with line-commutated converters – Part 1: Steady-state conditions*

IEC TR 60919-2, *Performance of high-voltage direct current (HVDC) systems with line-commutated converters – Part 2: Faults and switching*

IEC TR 63127, *Guideline for the system design of HVDC converter stations with line-commutated converters*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60700-3:2022

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	40
1 Domaine d'application	42
2 Références normatives	42
3 Termes, définitions, symboles et termes abrégés	42
3.1 Termes et définitions	42
3.2 Symboles et termes abrégés	43
3.2.1 Généralités	43
3.2.2 Indices	43
3.2.3 Symboles littéraux	43
3.2.4 Termes abrégés	44
4 Conditions d'emploi	44
4.1 Généralités	44
4.2 Conditions d'environnement	44
4.2.1 Altitude du site	44
4.2.2 Plage de température de l'air et d'humidité dans les salles de valves	45
4.2.3 Propreté dans les salles de valves	45
4.2.4 Conditions sismiques	45
4.3 Conditions du système	45
4.3.1 Informations générales du système	45
4.3.2 Tension à courant alternatif du système	45
4.3.3 Fréquence en courant alternatif du système	46
4.3.4 Tension à courant continu du système	46
4.3.5 Exigences de surcharge et courant continu du système	46
4.3.6 Exigences de courant de court-circuit pour les valves à thyristors	46
4.3.7 Conception de la coordination de l'isolement liée aux valves à thyristors	46
4.4 Paramètres techniques pour la conception d'un pont à six impulsions	47
4.4.1 Généralités	47
4.4.2 Paramètres de tension	47
4.4.3 Paramètre de courant	48
4.4.4 Paramètres de parafoudre de valves	48
4.4.5 Autres paramètres du système	49
4.5 Autres conditions	50
5 Valeurs assignées	50
5.1 Valeurs assignées de tension et de courant (valeurs limites)	50
5.1.1 Tension à courant alternatif assignée aux bornes d'une valve (U_{V0N})	50
5.1.2 Tension à courant alternatif maximale en régime permanent aux bornes d'une valve (U_{V0max})	50
5.1.3 Tension à courant alternatif maximale en régime temporaire aux bornes d'une valve (U_{V0maxT})	50
5.1.4 Tension à courant alternatif minimale en régime permanent aux bornes d'une valve (U_{V0min})	50
5.1.5 Tension à courant alternatif minimale en régime temporaire aux bornes d'une valve (U_{V0minT})	51
5.1.6 Tension de pointe répétitive de valve à l'état bloqué (U_{VDRM})	51
5.1.7 Tension de pointe non répétitive de valve à l'état bloqué (U_{VDSM})	51
5.1.8 Tension de pointe inverse répétitive de valve (U_{VRRM})	51

5.1.9	Tension de pointe non répétitive inverse de valve (U_{VRSM}).....	51
5.1.10	Tension de tenue de valve aux chocs de manœuvre ($SIWV_V$).....	51
5.1.11	Tension de tenue de valve aux chocs de foudre ($LIWV_V$).....	51
5.1.12	Tension de tenue de valve aux chocs à front raide ($STIWV_V$).....	51
5.1.13	Tension d'allumage de protection de valve contre les chocs de manœuvre (SIP_{LPF}).....	52
5.1.14	Courant efficace de valve ($I_V(RMS)$).....	52
5.1.15	Courant moyen de valve ($I_{V(av)}$).....	52
5.1.16	Courant de défaut à une boucle de valve avec réapplication de tension directe ($I_{SC\alpha}$).....	52
5.1.17	Courant de défaut à boucles multiples de valve sans tension directe réappliquée ($I_{SC\beta}$).....	53
5.2	Valeurs assignées d'angle d'extinction et de retard (valeurs limites).....	53
5.2.1	Angle de retard d'allumage assigné (α_N).....	53
5.2.2	Angle de retard d'allumage minimal autorisé (α_{min}).....	53
5.2.3	Angle de retard d'allumage maximal autorisé (α_{max}).....	53
5.2.4	Angle de retard d'allumage minimal en régime temporaire (α_{minT}).....	53
5.2.5	Angle d'extinction assigné (γ_N).....	53
5.2.6	Angle d'extinction minimal autorisé (γ_{min}).....	53
5.2.7	Angle d'extinction maximal autorisé (γ_{max}).....	53
5.2.8	Angle d'extinction minimal en régime temporaire (γ_{minT}).....	54
5.3	Niveaux d'isolement et de tension d'essai (valeurs limites).....	54
5.3.1	Tension à courant continu maximale entre les bornes d'une valve ($U_{d(v)max}$).....	54
5.3.2	Tension à courant continu maximale entre les bornes d'une unité de valves multiples ($U_{d(m)max}$).....	54
5.3.3	Tension à courant continu maximale entre les bornes d'un support de valve ($U_{d(vs)max}$).....	54
5.3.4	Tension à courant alternatif maximale entre les bornes d'une valve ($U_{ac(v)max}$).....	54
5.3.5	Tension à courant alternatif maximale entre les bornes d'une unité de valves multiples ($U_{ac(m)max}$).....	55
5.3.6	Tension à courant alternatif maximale entre les bornes d'un support de valve ($U_{ac(vs)max}$).....	55
5.3.7	Tension de choc de manœuvre maximale entre les bornes d'une valve ($U_{s(v)max}$).....	55
5.3.8	Tension de choc de manœuvre maximale entre les bornes d'une unité de valves multiples ($U_{s(m)max}$).....	56
5.3.9	Tension de choc de manœuvre maximale entre les bornes d'un support de valve ($U_{s(vs)max}$).....	56
5.3.10	Tension de choc de foudre maximale entre les bornes d'une valve ($U_{l(v)max}$).....	56
5.3.11	Tension de choc de foudre maximale entre les bornes d'une unité de valves multiples ($U_{l(m)max}$).....	56
5.3.12	Tension de choc de foudre maximale entre les bornes d'un support de valve ($U_{l(vs)max}$).....	57

5.3.13	Tension de choc à front raide maximale entre les bornes d'une valve ($U_{st(v)max}$)	57
5.3.14	Tension de choc à front raide maximale entre les bornes d'une unité de valves multiples ($U_{st(m)max}$)	57
5.3.15	Tension de choc à front raide maximale entre les bornes d'un support de valve ($U_{st(vs)max}$)	57
6	Caractéristiques	57
6.1	Généralités	57
6.2	Caractéristiques des pertes	58
6.2.1	Généralités	58
6.2.2	Perte de charge maximale par valve dans des conditions assignées (P_{vmax})	58
6.2.3	Perte à vide maximale par valve (P_{v0max})	58
6.2.4	Emission de chaleur maximale vers la salle de valves (P_{Emax})	58
6.3	Caractéristiques de protection	59
6.3.1	Tension d'allumage de protection de valve contre les chocs de foudre ($LIPL_{PF}$)	59
6.3.2	Tension d'allumage de protection de valve contre les chocs à front raide ($STIPL_{PF}$)	59
6.3.3	Niveau d'allumage de protection des thyristors (V_{PF})	59
6.3.4	Niveau de protection de rétablissement direct des thyristors (V_{RP})	59
6.3.5	Niveau de protection du/dt direct des thyristors (du/dt_{PF})	59
6.3.6	Niveau de déclenchement d'allumage de protection de valve (N_{tripPF})	59
6.3.7	Niveau de déclenchement de la perte de redondance de valve (N_{trip})	59
6.4	Caractéristiques de température	60
6.4.1	Température maximale du fluide de refroidissement à l'entrée d'une valve ($T_{(in)max}$)	60
6.4.2	Température maximale du fluide de refroidissement à la sortie d'une valve ($T_{(out)max}$)	60
6.4.3	Température de jonction des thyristors dans des conditions assignées (T_{jN})	60
6.4.4	Température maximale de jonction des thyristors (T_{jmax})	60
6.4.5	Température de stockage (T_{stg})	60
6.5	Caractéristiques de fiabilité	60
6.5.1	Généralités	60
6.5.2	Rapport de défaillance annuel attendu d'un niveau de thyristor (λ_E)	61
6.6	Autres caractéristiques	61
6.6.1	Tension de valve à l'état passant ($U_{v(on)}$)	61
6.6.2	Durée de fonctionnement maximale en régime permanent à $\alpha = 90^\circ$ (t_{90max})	61
6.6.3	Durée de fonctionnement maximale en régime temporaire à $\alpha = 90^\circ$ (t_{90maxT})	61
6.6.4	Facteur de dépassement de commutation maximal en régime permanent (k_C)	61
6.6.5	Facteur de dépassement de commutation maximal en régime temporaire (k_{CT})	61

Annexe A (informative) Paramètres d'entrée pour la conception d'une valve à thyristors.....	66
Annexe B (informative) Fiche technique des valves à thyristors	68
Bibliographie.....	71
Figure 1 – Montage type de parafoudre pour des unités de convertisseur avec deux ponts à 12 impulsions en série.....	62
Figure 2 – Tension de fonctionnement de valve et du parafoudre de valves en mode redresseur	63
Figure 3 – Formes d'onde de tension de valve à thyristors dans différents modes de fonctionnement	63
Figure 4 - Formes d'onde de tension et de courant de court-circuit de valve à boucle unique	64
Figure 5 – Formes d'onde de tension et de courant de court-circuit de valve à boucles multiples	64
Figure 6 – Tensions de régime permanent à différents emplacements pour un pont à 12 impulsions en mode redresseur.....	65
Tableau A.1 – Principaux paramètres d'entrée exigés pour la conception d'une valve à thyristors.....	66
Tableau B.1 – Fiche technique des valves à thyristors	68

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

VALVES À THYRISTORS POUR LE TRANSPORT D'ÉNERGIE EN COURANT CONTINU À HAUTE TENSION (CCHT) –

Partie 3: Valeurs assignées (valeurs limites) et caractéristiques essentielles

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

L'IEC 60700-3 a été établie par le sous-comité 22F: Electronique de puissance pour les réseaux électriques de transport et de distribution, du comité d'études 22 de l'IEC: Systèmes et équipements électroniques de puissance. Il s'agit d'une Norme internationale.

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

Projet	Rapport de vote
22F/667/CDV	22F/686/RVC

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

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

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60700, publiées sous le titre général *Valves à thyristors pour le transport d'énergie en courant continu à haute tension (CCHT)*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60700-3:2022

VALVES À THYRISTORS POUR LE TRANSPORT D'ÉNERGIE EN COURANT CONTINU À HAUTE TENSION (CCHT) –

Partie 3: Valeurs assignées (valeurs limites) et caractéristiques essentielles

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60700 spécifie les conditions d'emploi, les définitions des valeurs assignées et des caractéristiques essentielles des valves à thyristors utilisées dans les convertisseurs commutés par le réseau avec des montages en pont triphasés pour réaliser la conversion du courant alternatif en courant continu et inversement pour des applications de transport d'énergie en courant continu à haute tension (CCHT). Elle s'applique aux valves à thyristors isolées par air, refroidies par un liquide et en intérieur.

2 Références normatives

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

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

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

IEC 60700-1:2015, *Valves à thyristors pour le transport d'énergie en courant continu à haute tension (CCHT) – Partie 1: Essais électriques*

IEC 60700-1:2015/AMD1:2021¹

IEC 60700-2:2016, *Valves à thyristors pour le transport d'énergie en courant continu à haute tension (CCHT) – Partie 2: Terminologie*

IEC 61803:2020, *Détermination des pertes en puissance dans les postes de conversion en courant continu à haute tension (CCHT) munis de convertisseurs commutés par la ligne*

3 Termes, définitions, symboles et termes abrégés

3.1 Termes et définitions

Aucun terme et aucune définition ne sont définis dans le présent document.

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

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

¹ Il existe une édition consolidée 1.1 (2021) comprenant l'IEC 60700-1:2015 et son Amendement 1:2021.

3.2 Symboles et termes abrégés

3.2.1 Généralités

Le paragraphe 3.2 ne couvre que les symboles et termes abrégés les plus fréquemment utilisés liés au présent document. Les documents énumérés dans l'Article 2 contiennent des symboles et termes abrégés supplémentaires.

3.2.2 Indices

0 (zéro)	à vide
i	idéal
N	valeur assignée ou nominale
d	courant ou tension continu
ac	courant ou tension alternatifs
r	résistif ou surtension
x	inductif
u	sous-tension
j	jonction de thyristor
v	valve ou côté valve du transformateur de convertisseur
m	valves multiples (unité)
vs	support de valve
s	choc de manœuvre ou parasite
l	choc de foudre
st	choc à front raide
PF	allumage de protection
RP	protection durant la période de rétablissement
T	temporaire
S	à court terme
SC	court-circuit
max	maximal
min	minimal
RMS	valeur efficace
av	moyenne
ar	parafoudre
DRM	valeur maximale répétitive à l'état bloqué
DSM	valeur maximale non répétitive à l'état bloqué
RRM	valeur maximale répétitive inverse
RSM	valeur maximale non répétitive inverse

3.2.3 Symboles littéraux

α	angle de retard (de l'ordre d'amorçage/d'allumage)
γ	angle d'extinction
μ	angle d'empiètement (de commutation)
X_t	réactance de circuit de commutation, comprenant la réactance de fuite du transformateur de convertisseur et une autre réactance dans le circuit de commutation qui influencent sur le processus de commutation

P_{cu}	Pertes en charge d'un transformateur de convertisseur et d'une bobine d'inductance de lissage en courant continu lorsqu'un pont à six impulsions fonctionne à la charge assignée
R_{th}	résistance équivalente de la chute de tension de la valve à thyristors
f_N	fréquence système CA assignée
t_p	intervalle de conduction de valve
t_G	intervalle de retenue de valve
k_{df}	facteur de distribution de tension inégale, défini comme l'écart maximal des tensions de crête des niveaux de thyristors dans une valve sous le type d'impulsions spécifié, représentant le degré de distribution de tension inégale due aux tolérances des composants du diviseur de tension, des capacités parasites et des différences de charge de récupération des thyristors

3.2.4 Termes abrégés

Terme abrégé	Français	Anglais
MVU	valves multiples (unité)	multiple valve (unit)
SIPL	niveau de protection aux chocs de manœuvre	switching impulse protective level
LIPL	niveau de protection aux chocs de foudre	lightning impulse protective level
STIPL	niveau de protection aux chocs à front raide	steep front impulse protective level

4 Conditions d'emploi

4.1 Généralités

Les valves à thyristors doivent être en mesure de fonctionner de manière continue et fiable dans les conditions d'emploi spécifiées pendant toute leur durée de vie, à l'exception des périodes de maintenance. De telles conditions, telles que les principaux paramètres d'entrée pour la conception d'une valve, sont essentielles pour définir les valeurs assignées et les caractéristiques des valves à thyristors, et il convient qu'elles soient spécifiées par l'acheteur ou par le concepteur du système ou le fournisseur comme recommandé dans l'Annexe A. Les conditions comprennent principalement les conditions d'environnement des salles de valves dans lesquelles il est exigé que les valves à thyristors fonctionnent, les conditions du système directement liées à la conception et au fonctionnement des valves à thyristors, les principaux paramètres techniques de ponts à six impulsions exigés par la conception du système, et toutes autres conditions fournies par l'acheteur. Certaines de ces conditions ne peuvent pas s'appliquer en fonction de la conception du système CCHT.

4.2 Conditions d'environnement

4.2.1 Altitude du site

L'altitude de la sous-station CCHT au-dessus du niveau de la mer doit être fournie pour la conception de l'isolement des valves à thyristors.

Pour l'isolement externe (tel que défini en 3.1.3 de l'IEC 60700-1:2015), le niveau d'isolement des valves à thyristors dans des conditions atmosphériques de référence normalisées doit être déterminé conformément au paragraphe 4.2 de l'IEC 60700-1:2015.

Pour l'isolement interne (telle que définie en 3.1.3 de l'IEC 60700-1:2015), le paragraphe 8.2 de l'IEC 60700-1:2015 doit être consulté.

4.2.2 Plage de température de l'air et d'humidité dans les salles de valves

La température maximale et l'humidité relative minimale au sein des salles de valves doivent être prises en compte dans la correction atmosphérique conformément au paragraphe 4.2 de l'IEC 60700-1:2015. De plus, la température de l'air et l'humidité relative dans la salle de valves doivent être prises en compte pour empêcher la condensation sur toute surface des composants au sein de la salle de valves.

4.2.3 Propreté dans les salles de valves

La propreté des salles de valves (par exemple, densité équivalente de dépôt de sel à la surface des isolateurs et des matériaux isolants) doit être assurée pour la détermination des lignes de fuite des valves à thyristors. Les quantités de poussière et de pollution dans les salles de valves doivent être maintenues aussi faibles que possible pour éviter une augmentation non économique des lignes de fuite des valves à thyristors.

4.2.4 Conditions sismiques

Les valves à thyristors doivent avoir la capacité de résister aux contraintes sismiques et de maintenir leur fonctionnement sans défaillance pendant et après un séisme de toute intensité spécifiée pouvant se produire sur le lieu de la sous-station CCHT. Les accélérations horizontale et verticale maximales attendues ainsi que la plage de fréquences des oscillations doivent être fournies.

4.3 Conditions du système

4.3.1 Informations générales du système

Les informations doivent comprendre au moins les éléments suivants:

- a) le but du projet,
- b) la puissance assignée,
- c) le sens du flux d'énergie,
- d) la configuration du convertisseur, comprenant un schéma unifilaire simple,
- e) les modes de fonctionnement du convertisseur tels que monopolaire, bipolaire, parallèle ou multiterminal, et
- f) les informations de l'interface.

NOTE 1 Pour les systèmes de transport CCHT longue distance, la configuration d'unité de convertisseur la plus souvent utilisée est un groupe de 12 impulsions par pôle ou deux groupes de 12 impulsions connectés en série ou en parallèle par pôle. Chaque groupe de valves est composé de deux ponts à six impulsions connectés en série, alimentés par trois transformateurs à trois enroulements monophasés ou six transformateurs à deux enroulements monophasés. Pour plus de détails sur la configuration d'une unité de convertisseur, voir l'IEC TR 60919-1.

NOTE 2 Les interfaces entre les valves à thyristors et les autres composants du système nécessitent d'être coordonnées, y compris l'emplacement et les dimensions des points de fixation au sol de la salle de valves ou au toit, les dimensions des conduites de câbles pour les câbles à fibre optique, l'emplacement et les dimensions de la bride de raccordement pour les conduites d'eau de refroidissement, et les interfaces avec la barre omnibus de la salle de valves.

4.3.2 Tension à courant alternatif du système

Les plages de tension à courant alternatif du système en régime permanent et en régime temporaire doivent être spécifiées, y compris les tensions maximales et minimales en régime permanent dans les conditions de fonctionnement assignées, de même que les tensions maximales et minimales en régime temporaire ainsi que leurs durées pendant les défauts à courant alternatif du système et pendant la période de récupération suivant immédiatement l'élimination du défaut. La plage de tension à courant alternatif du système en régime temporaire affecte directement les valeurs assignées de tension des valves à thyristors.

4.3.3 Fréquence en courant alternatif du système

La fréquence assignée, la plage de variation de fréquence en régime permanent, la plage de variation de fréquence en régime temporaire, ainsi que la plage de variation de fréquence extrême en régime temporaire doivent être spécifiées.

4.3.4 Tension à courant continu du système

La tension à courant continu assignée et les tensions à courant continu maximale et minimale en fonctionnement continu en tenant compte des erreurs de contrôle et de mesure et de la tolérance de fabrication doivent être spécifiées.

S'il est exigé que les valves à thyristors fonctionnent en continu avec des tensions à courant continu réduites, les tensions à courant continu du système, ainsi que les paramètres de fonctionnement des valves à thyristors, c'est-à-dire les tensions d'enroulement côté valve et les angles de retard d'allumage dans ces conditions de fonctionnement, doivent également être fournis.

4.3.5 Exigences de surcharge et courant continu du système

Le courant continu assigné et les courants continus minimaux en fonctionnement continu, ainsi que les courants continus de surcharge à court terme et de surcharge temporaire exigés et leurs durées, doivent être spécifiés.

4.3.6 Exigences de courant de court-circuit pour les valves à thyristors

Pour les unités de convertisseur, les courts-circuits peuvent être provoqués par une panne de l'isolement externe ou interne, c'est-à-dire un contournement ou une perforation des isolants, ou par le fonctionnement intempestif des interrupteurs, ou d'autres causes. Habituellement, le défaut le plus grave est un court-circuit de la valve à thyristors fonctionnant en mode redresseur avec un angle de retard minimal et une tension à courant alternatif du système maximale. Les valeurs de pointe maximales des courants de court-circuit à boucle unique et à boucles multiples, ainsi que leurs durées et les valeurs de pointe maximales des réapplications de tension directe et des tensions de rétablissement inverses, qu'il est exigé que les valves à thyristors supportent, doivent être spécifiées.

4.3.7 Conception de la coordination de l'isolement liée aux valves à thyristors

La capacité de tenue aux surtensions exigée pour les valves à thyristors, ainsi que les niveaux de protection (tensions résiduelles et courants de coordination pour les types de surtension spécifiés) des parafoudres de valves, doivent être spécifiés, en fonction de la conception de coordination de l'isolement du système.

Un montage type pour les parafoudres directement liés aux valves à thyristors d'une station constituée de deux convertisseurs à 12 impulsions connectés en série par pôle est représenté à la Figure 1. Certains des parafoudres peuvent être éliminés en fonction de la conception spécifique.

Pour la conception et la mise à essai des valves à thyristors, les tensions de tenue exigées pour les chocs de manœuvre et de foudre des valves entre les emplacements, comme représenté à la Figure 1, doivent être spécifiées, incluant:

- a) les tensions de tenue aux bornes d'une valve,
- b) les tensions de tenue entre la barre à courant continu du pont à 12 impulsions supérieur et la terre,
- c) les tensions de tenue entre la barre à courant continu du milieu du pont à 12 impulsions supérieur et la terre,
- d) les tensions de tenue entre la barre à courant continu du milieu des deux ponts à 12 impulsions et la terre,

- e) les tensions de tenue entre la barre à courant continu du milieu du pont à 12 impulsions inférieur et la terre, et
- f) les tensions de tenue entre la barre de neutre et la terre.

Pour plus de détails sur la conception de la coordination de l'isolement, voir l'IEC 60071-5.

NOTE La conception du parafoudre de valves est une partie non séparée de la conception d'une valve à thyristors pour un convertisseur optimisé. Définir les tensions de tenue aux bornes d'une valve sans tenir compte de l'interaction entre celle-ci et le parafoudre de valves engendre toujours une valve non rentable.

4.4 Paramètres techniques pour la conception d'un pont à six impulsions

4.4.1 Généralités

Les paramètres décrits en 4.4 concernent des convertisseurs composés de six valves à thyristors. Les valeurs de ces paramètres doivent être prises en compte dans la conception des valves à thyristors.

4.4.2 Paramètres de tension

4.4.2.1 Tension à courant continu assignée par convertisseur (U_{dN})

Il s'agit de la valeur moyenne de la tension à courant continu entre les bornes haute et basse tension d'un convertisseur (pont à six impulsions) dans des conditions de fonctionnement assignées. Elle est définie à la tension d'enroulement nominale côté valve et à l'angle du retard nominal d'allumage du convertisseur tout en fonctionnant au courant continu assigné.

4.4.2.2 Tension à courant continu à vide idéale nominale par convertisseur (U_{di0N})

Il s'agit de la tension à courant continu à vide idéale d'un convertisseur à la tension d'enroulement nominale côté valve, avec un retard d'allumage idéal et des angles de chevauchement égaux à zéro.

4.4.2.3 Tension à courant continu à vide idéale maximale par convertisseur (U_{di0max})

Il s'agit de la valeur maximale de la tension à courant continu à vide idéale d'un convertisseur à la tension d'enroulement nominale côté valve, avec un retard d'allumage idéal et des angles de chevauchement égaux à zéro, en tenant compte des erreurs de contrôle et de mesure et de la tolérance de fabrication du système.

4.4.2.4 Tension à courant continu à vide idéale minimale par convertisseur (U_{di0min})

Il s'agit de la valeur minimale de la tension à courant continu à vide idéale d'un convertisseur à la tension d'enroulement nominale côté valve, avec un allumage idéal et des angles de chevauchement égaux à zéro, en tenant compte des erreurs de contrôle et de mesure et de la tolérance de fabrication du système.

4.4.2.5 Facteur de surtension temporaire (k_r)

Il s'agit du facteur défini comme le rapport de la tension à courant alternatif en régime temporaire maximale pendant les défauts du système à courant alternatif, tels que le rejet de charge, avec la tension à courant alternatif nominale.

4.4.2.6 Facteur de basse tension temporaire (k_u)

Il s'agit du facteur défini comme le rapport de la tension à courant alternatif du système en régime temporaire minimale pendant les défauts du système à courant alternatif, tels que les courts-circuits monophasés ou triphasés à la terre, à la tension à courant alternatif nominale.

4.4.3 Paramètre de courant

4.4.3.1 Courant continu assigné (I_{dN})

Il s'agit de la valeur nominale du courant continu à laquelle il convient que le système soit capable de transmettre en continu pour toutes les conditions ambiantes spécifiées et sans limitation de temps.

4.4.3.2 Courant continu de fonctionnement maximal (I_{dmax})

Il s'agit de la valeur maximale du courant continu à laquelle il convient que le système soit capable de transmettre en continu sans limitation de temps. La valeur du courant peut varier en fonction des différentes conditions ambiantes et des différentes conditions de refroidissement.

4.4.3.3 Courant continu de fonctionnement minimal (I_{dmin})

Il s'agit de la valeur minimale du courant continu à laquelle il convient que le système soit capable de transmettre en continu sans limitation de temps. Il est défini pour éviter le courant continu intermittent pour un fonctionnement en régime permanent. Une valeur de 5 % à 10 % du courant continu assigné est couramment utilisée.

4.4.3.4 Courant continu de surcharge à court terme (I_{ds})

Il s'agit de la valeur maximale du courant continu pour laquelle il convient que le système soit capable de transmettre dans des conditions de surcharge à court terme spécifiées, généralement sur une période allant de quelques minutes à quelques heures. La valeur du courant peut varier en fonction des différentes conditions ambiantes, de différentes durées et des différentes conditions de refroidissement.

4.4.3.5 Courant continu de surcharge temporaire (I_{dT})

Il s'agit de la valeur maximale du courant continu pour laquelle il convient que le système soit capable de transmettre dans des conditions de surcharge temporaire spécifiées, généralement sur une période de quelques secondes.

4.4.4 Paramètres de parafoudre de valves

4.4.4.1 Valeur de crête de la tension de régime permanent (CCOV)

Il s'agit de la valeur de crête permanente la plus élevée de la tension traversant le parafoudre, à l'exclusion des dépassements et des crans de commutation. La forme d'onde de la tension de régime permanent pour la valve et le parafoudre de valves est représentée à la Figure 2. La CCOV est proportionnelle à la tension à courant continu à vide idéale maximale par convertisseur (U_{di0max}), et est donnée par la Formule (1):

$$CCOV = \frac{\pi}{3} \cdot U_{di0max} \quad (1)$$

4.4.4.2 Valeur de pointe de la tension de régime permanent (PCOV)

Il s'agit de la valeur de pointe permanente la plus élevée de la tension traversant le parafoudre, comprenant les dépassements et les crans de commutation.

Voir Figure 2.

4.4.4.3 Niveau de protection du parafoudre de valves au choc de manœuvre (SIPL_v)

Il s'agit de la tension résiduelle du parafoudre pour un courant de choc de manœuvre maximal pouvant survenir en service.

4.4.4.4 Niveau de protection du parafoudre de valves au choc de foudre (LIPL_v)

Il s'agit de la tension résiduelle du parafoudre pour un courant de choc de foudre maximal pouvant survenir en service.

4.4.4.5 Niveau de protection du parafoudre de valves au choc à front raide (STIPL_v)

Il s'agit de la tension résiduelle du parafoudre pour un courant de choc à front raide maximal pouvant survenir en service.

4.4.4.6 Courant maximal de commutation du parafoudre (I_{ar})

Il s'agit de la valeur de pointe maximale du courant de coordination du parafoudre qui peut circuler dans le sens direct au moment où la valve s'active. En raison de la commutation du courant du parafoudre, les thyristors et leurs circuits électriques associés doivent résister à la contrainte du courant d'amorçage maximale dans les conditions de haute tension spécifiées.

4.4.5 Autres paramètres du système

4.4.5.1 Chute de tension à courant continu inductive relative assignée (d_{xN})

Il s'agit des valeurs maximales et minimales de la chute de tension à courant continu inductive relative d'un convertisseur dans des conditions de fonctionnement assignées, qui peuvent être calculées avec la Formule (2).

$$d_{xN} = \frac{3}{\pi} \cdot \frac{X_t \cdot I_{dN}}{U_{di0N}} \quad (2)$$

4.4.5.2 Chute de tension à courant continu résistive relative assignée (d_{rN})

Il s'agit des valeurs maximales et minimales de la chute de tension à courant continu résistive relative d'un convertisseur dans des conditions de fonctionnement assignées, qui peuvent être calculées avec la Formule (3).

$$d_{rN} = \frac{P_{cu}}{U_{di0N} \cdot I_{dN}} \cdot \frac{2 \cdot R_{th} \cdot I_{dN}}{U_{di0N}} \quad (3)$$

4.4.5.3 Capacité parasite externe (C_s)

Il s'agit des valeurs maximales et minimales des capacités parasites équivalentes des traversées, des enroulements au réservoir et des capacités en parallèle avec l'inductance de l'enroulement, ce qui est indispensable pour l'analyse des comportements transitoires d'activation et de désactivation des valves à thyristors. Pour plus de détails, voir l'IEC 61803:2020, 5.1.7, NOTE 3.

4.5 Autres conditions

Les conditions qui ne sont pas spécifiées aux paragraphes 4.2 à 4.4, et toutes les conditions particulières exigées par l'acheteur, doivent être clairement spécifiées. La conception de la valve doit tenir compte de ces conditions.

5 Valeurs assignées

5.1 Valeurs assignées de tension et de courant (valeurs limites)

5.1.1 Tension à courant alternatif assignée aux bornes d'une valve (U_{v0N})

Il s'agit de la valeur efficace assignée de la tension entre phases à vide sur l'enroulement côté valve du transformateur, correspondant à la tension à courant continu à vide idéale nominale par convertisseur (U_{di0N}).

$$U_{v0N} = \frac{\pi \cdot U_{di0N}}{3\sqrt{2}} \quad (4)$$

5.1.2 Tension à courant alternatif maximale en régime permanent aux bornes d'une valve (U_{v0max})

Il s'agit de la valeur efficace maximale de la tension entre phases à vide sur l'enroulement côté valve du transformateur, correspondant à la tension à courant continu à vide idéale maximale par convertisseur (U_{di0max}).

$$U_{v0max} = \frac{\pi \cdot U_{di0max}}{3\sqrt{2}} \quad (5)$$

5.1.3 Tension à courant alternatif maximale en régime temporaire aux bornes d'une valve (U_{v0maxT})

Il s'agit de la valeur efficace maximale de la tension entre phases à vide sur l'enroulement côté valve du transformateur lors de défauts du système à courant alternatif, tels que le rejet de charge, qui est égale au produit du facteur de surtension temporaire (k_r) et de la tension à courant alternatif maximale en régime permanent aux bornes d'une valve (U_{v0max}).

5.1.4 Tension à courant alternatif minimale en régime permanent aux bornes d'une valve (U_{v0min})

Il s'agit de la valeur efficace minimale de la tension entre phases à vide sur l'enroulement côté valve du transformateur, correspondant à la tension à courant continu à vide idéale minimale par convertisseur (U_{di0min}).

$$U_{v0min} = \frac{\pi \cdot U_{di0min}}{3\sqrt{2}} \quad (6)$$

5.1.5 Tension à courant alternatif minimale en régime temporaire aux bornes d'une valve (U_{v0minT})

Il s'agit de la valeur efficace minimale de la tension entre phases à vide sur l'enroulement côté valve du transformateur pendant les défauts du système à courant alternatif, tels que les courts-circuits monophasés ou triphasés à la terre, qui est égale au produit du facteur de basse tension temporaire (k_u) et de la tension à courant alternatif assignée aux bornes d'une valve (U_{v0N}).

5.1.6 Tension de pointe répétitive de valve à l'état bloqué (U_{vDRM})

Il s'agit de la valeur instantanée maximale de la tension à l'état bloqué développée aux bornes d'une valve contrôlable, comprenant toutes les tensions transitoires répétitives mais à l'exclusion de toutes les tensions transitoires non répétitives.

Voir Figure 3.

5.1.7 Tension de pointe non répétitive de valve à l'état bloqué (U_{vDSM})

Il s'agit de la valeur instantanée maximale de toute tension transitoire non répétitive à l'état bloqué développée aux bornes d'une valve contrôlable.

Voir Figure 3.

5.1.8 Tension de pointe inverse répétitive de valve (U_{vRRM})

Il s'agit de la valeur instantanée maximale de la tension inverse développée aux bornes d'une valve bloquante en inverse, comprenant toutes les tensions transitoires répétitives mais à l'exclusion de toutes les tensions transitoires non répétitives.

Voir Figure 3.

5.1.9 Tension de pointe non répétitive inverse de valve (U_{vRSM})

Il s'agit de la valeur instantanée maximale de toute tension transitoire non répétitive inverse développée aux bornes d'une valve bloquante en inverse.

Voir Figure 3.

5.1.10 Tension de tenue de valve aux chocs de manœuvre ($SIWV_v$)

Il s'agit de la valeur de pointe de la tension non répétitive maximale pour les chocs de manœuvre que la valve à thyristors est capable de supporter.

NOTE Dans le sens direct, la valve peut être allumée de manière protégée en dessous de la tension de tenue.

5.1.11 Tension de tenue de valve aux chocs de foudre ($LIWV_v$)

Il s'agit de la valeur de pointe de la tension non répétitive maximale pour les chocs de foudre que la valve à thyristors est capable de supporter.

NOTE Dans le sens direct, la valve peut être allumée de manière protégée en dessous de la tension de tenue.

5.1.12 Tension de tenue de valve aux chocs à front raide ($STIWV_v$)

Il s'agit de la valeur de pointe de la tension non répétitive maximale pour les chocs à front raide que la valve à thyristors est capable de supporter.

NOTE Dans le sens direct, la valve peut être allumée de manière protégée en dessous de la tension de tenue.

5.1.13 Tension d'allumage de protection de valve contre les chocs de manœuvre (SIPL_{PF})

Il s'agit des tensions d'allumage de protection maximales et minimales aux bornes de la valve pour les chocs de manœuvre dans le sens direct. Les valeurs sont calculées sur le niveau d'allumage de protection des thyristors sous le type de chocs, le nombre de séries de thyristors dans une seule valve et le facteur de distribution de tension inégale (k_{df}).

Voir Figure 3.

NOTE Pour certains projets, SIPL_{PF} peut être inférieure à SIPL_V.

5.1.14 Courant efficace de valve ($I_{V(RMS)}$)

Le courant efficace de valve est défini par la Formule (7) lorsque les harmoniques ne sont pas inclus.

$$I_{V(RMS)} = \frac{I_d}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \pi - \mu}{2 \cdot \pi}} \quad (7)$$

5.1.15 Courant moyen de valve ($I_{V(av)}$)

Le courant moyen de valve est défini par la Formule (8).

$$I_{V(av)} = \frac{I_d}{3} \quad (8)$$

5.1.16 Courant de défaut à une boucle de valve avec réapplication de tension directe ($I_{SC\alpha}$)

Il s'agit de la valeur de pointe maximale du courant de court-circuit à une boucle que la valve à thyristors est capable de supporter sans défaillance, et pour maintenir sa capacité de blocage de tension à l'état bloqué pour la surtension directe maximale spécifiée immédiatement après le courant de défaut. La valeur ne doit pas être inférieure à la valeur de pointe maximale du courant de court-circuit à une boucle déterminée à partir des études de système. La durée du courant de défaut et la valeur de pointe de la tension directe réappliquée spécifiées en 4.3.6 doivent être déterminées à partir d'études de système.

Le courant de défaut à une boucle type de la valve et les formes d'onde de la tension directe réappliquée sont représentés à la Figure 4. Comme indiqué, l'intervalle de conduction de la valve pendant une condition de défaut doit être un cycle entier moins l'intervalle de maintien de garde et le temps de retard liés à l'angle de retard d'allumage en régime temporaire minimal.

$$t_p = \frac{1}{f_N} - t_G - \frac{\alpha_{minT}}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{1}{f_N} \quad (9)$$

5.1.17 Courant de défaut à boucles multiples de valve sans tension directe réappliquée ($I_{SC\beta}$)

Il s'agit de la valeur de pointe maximale du courant de court-circuit à boucles multiples que la valve à thyristors est capable de supporter sans défaillance et pour maintenir sa capacité de blocage de tension inverse pour la surtension directe maximale spécifiée entre les boucles de courant de défaut. La valeur ne doit pas être inférieure à la valeur de pointe maximale du courant de court-circuit à boucles multiples déterminée à partir des études de système. Le nombre de boucles de courant de défaut dépend de la durée de fonctionnement de l'élimination du défaut. Les intervalles de conduction de valve des boucles de courant de défaut et la valeur de pointe de la tension inverse spécifiés en 4.3.6 doivent être déterminés à partir d'études de système. Les formes d'onde types de tension et de courant de défaut de la valve avec trois boucles sont représentées à la Figure 5.

5.2 Valeurs assignées d'angle d'extinction et de retard (valeurs limites)

5.2.1 Angle de retard d'allumage assigné (α_N)

Il s'agit de l'angle de retard d'allumage assigné auquel la valve peut fonctionner en régime permanent à charge assignée et à la valeur assignée de la tension d'enroulement côté valve.

5.2.2 Angle de retard d'allumage minimal autorisé (α_{min})

Il s'agit de la valeur minimale de l'angle de retard d'allumage à laquelle la valve peut toujours fonctionner en continu dans n'importe quel régime permanent à la valeur assignée de la tension d'enroulement côté valve.

5.2.3 Angle de retard d'allumage maximal autorisé (α_{max})

Il s'agit de la valeur maximale de l'angle de retard d'allumage sous laquelle la valve peut toujours fonctionner en continu dans n'importe quel régime permanent aux valeurs spécifiées de la tension d'enroulement côté valve.

5.2.4 Angle de retard d'allumage minimal en régime temporaire (α_{minT})

Il s'agit de la valeur minimale de l'angle de retard d'allumage sous laquelle la valve ne s'allume pas correctement aux valeurs spécifiées de tension d'enroulement côté valve.

5.2.5 Angle d'extinction assigné (γ_N)

Il s'agit de l'angle d'extinction assigné sous lequel la valve peut fonctionner en régime permanent à charge assignée et à la valeur assignée de la tension d'enroulement côté valve.

5.2.6 Angle d'extinction minimal autorisé (γ_{min})

Il s'agit de la valeur minimale de l'angle d'extinction à laquelle la valve peut toujours fonctionner dans n'importe quel régime permanent à la valeur assignée de la tension d'enroulement côté valve.

5.2.7 Angle d'extinction maximal autorisé (γ_{max})

Il s'agit de la valeur maximale de l'angle d'extinction à laquelle la valve peut toujours fonctionner dans n'importe quel régime permanent aux valeurs spécifiées de la tension d'enroulement côté valve.

5.2.8 Angle d'extinction minimal en régime temporaire ($\gamma_{\min T}$)

Il s'agit de la valeur minimale de l'angle d'extinction en dessous de laquelle la valve ne commute pas aux valeurs spécifiées de tension d'enroulement côté valve.

5.3 Niveaux d'isolement et de tension d'essai (valeurs limites)

5.3.1 Tension à courant continu maximale entre les bornes d'une valve ($U_{d(v)\max}$)

Il s'agit de la valeur maximale de la composante continue de la tension en régime permanent apparaissant aux bornes d'une valve. Elle est égale à la tension à courant continu assignée du pont à six impulsions.

NOTE Une forme d'onde type de la tension en régime permanent apparaissant aux bornes d'une valve est représentée à la Figure 6 (a), et la forme d'onde de tension en régime permanent correspondante apparaissant sur un pont à six impulsions est représentée à la Figure 6 (e).

Les valeurs assignées de la tension d'essai sont les tensions d'essai de courte et de longue durée telles que définies en 8.3.1 de l'IEC 60700-1:2015 et l'IEC 60700-1:2015/AMD1:2021.

5.3.2 Tension à courant continu maximale entre les bornes d'une unité de valves multiples ($U_{d(m)\max}$)

Il s'agit de la valeur maximale de la composante continue de la tension en régime permanent apparaissant aux bornes haute tension et basse tension d'une MVU. La valeur dépend de la configuration de la valve (valve double, quadrivalve ou octovalve) et du nombre de MVU en série par pôle du système CCHT.

NOTE Les formes d'onde types de tension en régime permanent apparaissant entre les bornes des MVU pour une valve double et une quadrivalve sont représentées respectivement à la Figure 6 (e) et à la Figure 6 (d).

Les valeurs assignées de la tension d'essai sont les tensions d'essai de courte et de longue durée telles que définies en 7.3.1 de l'IEC 60700-1:2015 et l'IEC 60700-1:2015/AMD1:2021. Les tensions d'essai doivent inclure la correction atmosphérique déterminée conformément à l'IEC 60060-1 et appliquée comme détaillé dans l'IEC 60700-1.

5.3.3 Tension à courant continu maximale entre les bornes d'un support de valve ($U_{d(vs)\max}$)

Il s'agit de la valeur maximale de la composante continue de la tension en régime permanent apparaissant aux bornes d'un support de valve. La valeur dépend de la configuration du convertisseur et des unités de valves.

NOTE Les formes d'onde types de tension en régime permanent apparaissant entre les supports de valve pour une valve double et une quadrivalve sont représentées respectivement à la Figure 6 (e) et à la Figure 6 (f).

Les valeurs assignées de la tension d'essai sont les tensions d'essai de courte et de longue durée telles que définies en 6.3.2 de l'IEC 60700-1:2015 et l'IEC 60700-1:2015/AMD1:2021. Les tensions d'essai doivent inclure la correction atmosphérique déterminée conformément à l'IEC 60060-1 et appliquée comme détaillé dans l'IEC 60700-1.

5.3.4 Tension à courant alternatif maximale entre les bornes d'une valve ($U_{ac(v)\max}$)

Il s'agit de la valeur maximale de la tension répétitive apparaissant aux bornes d'une valve. Cette tension se compose de sections d'une tension alternative hachée avec des dépassements de commutation et d'une composante continue. La tension de dépassement de pointe maximale entre les bornes d'une valve doit être déterminée en tenant compte des conditions de fonctionnement en régime temporaire les plus sévères, c'est-à-dire la tension à courant alternatif maximale en régime temporaire aux bornes de la valve ($U_{v0\max T}$) et un angle de retard d'allumage de 90°, ainsi que l'effet limitant du parafoudre de valves connecté en parallèle.

La forme d'onde de la tension de fonctionnement répétitive apparaissant aux bornes d'une valve avec un angle de retard d'allumage de 90° est représentée à la Figure 3 (b). Etant donné que la valve résiste à des contraintes de tension asymétriques dans de telles conditions, les tensions de fonctionnement répétitives aux bornes de la valve ne sont pas identiques dans les sens direct et inverse.

Les valeurs assignées de la tension d'essai sont les tensions d'essai de courte et de longue durée telles que définies en 8.3.2 de l'IEC 60700-1:2015 et l'IEC 60700-1:2015/AMD1:2021.

5.3.5 Tension à courant alternatif maximale entre les bornes d'une unité de valves multiples ($U_{ac(m)max}$)

Il s'agit de la valeur maximale de la composante alternative ou alternative et continue de la tension en régime permanent avec des dépassements de commutation apparaissant entre deux bornes d'une MVU. La tension de dépassement de pointe maximale entre les bornes de la MVU doit être déterminée dans des conditions de fonctionnement en régime permanent, comprenant la tension à courant alternatif maximale en régime permanent aux bornes de la valve (U_{v0max}) et l'angle de retard d'allumage maximal autorisé (α_{max}).

NOTE La Figure 6 (e) et la Figure 6 (d) représentent des formes d'onde types des tensions en régime permanent entre deux bornes CC des MVU pour une valve double et une quadrivalve. La Figure 6 (a) et la Figure 6 (c) représentent des formes d'onde de tension types entre deux bornes CC et CA des MVU pour une valve double et une quadrivalve. La Figure 6 (b) représente une forme d'onde de tension type entre deux bornes CA de la MVU pour une quadrivalve.

Les valeurs assignées de la tension d'essai sont les tensions d'essai de courte et de longue durée telles que définies en 7.3.2 de l'IEC 60700-1:2015. Les tensions d'essai doivent inclure la correction atmosphérique déterminée conformément à l'IEC 60060-1 et appliquée comme détaillé dans l'IEC 60700-1.

Dans la plupart des cas, la capacité de tenue en tension à courant alternatif des MVU a été vérifiée par d'autres essais, les valeurs assignées des essais ne sont donc pas applicables.

5.3.6 Tension à courant alternatif maximale entre les bornes d'un support de valve ($U_{ac(vs)max}$)

Il s'agit de la valeur maximale de la composante alternative ou alternative et continue de la tension en régime permanent avec des dépassements de commutation apparaissant aux bornes d'un support de valve. La tension de dépassement de pointe maximale aux bornes du support de valve doit être déterminée dans des conditions de fonctionnement en régime permanent, comprenant la tension à courant alternatif maximale en régime permanent aux bornes de la valve (U_{v0max}) et l'angle de retard d'allumage maximal autorisé (α_{max}).

NOTE La Figure 6 (e) représente une forme d'onde type de la tension en régime permanent apparaissant aux bornes des supports de valves pour une valve double. La Figure 6 (f) représente une forme d'onde type de la tension en régime permanent apparaissant aux bornes des supports de valves pour une quadrivalve.

Les valeurs assignées de la tension d'essai sont les tensions d'essai de courte et de longue durée telles que définies en 6.3.3 de l'IEC 60700-1:2015 et l'IEC 60700-1:2015/AMD1:2021. Les tensions d'essai doivent inclure la correction atmosphérique déterminée conformément à l'IEC 60060-1 et appliquée comme détaillé dans l'IEC 60700-1.

5.3.7 Tension de choc de manœuvre maximale entre les bornes d'une valve ($U_{s(v)max}$)

Il s'agit de la valeur maximale du choc de manœuvre apparaissant aux bornes d'une valve. Dans de nombreux cas, la valve est protégée par un parafoudre, la valeur maximale est donc le niveau de protection aux chocs de manœuvre du parafoudre (S_{IPL_v}). Si la valve n'est pas protégée par un parafoudre, il convient que la tension de choc de manœuvre maximale soit déterminée par des études de système.

La valeur assignée de la tension d'essai est la tension d'essai telle que définie en 8.3.4 de l'IEC 60700-1:2015.

5.3.8 Tension de choc de manœuvre maximale entre les bornes d'une unité de valves multiples ($U_{s(m)max}$)

Il s'agit de la valeur maximale du choc de manœuvre apparaissant aux bornes haute et basse tension d'une MVU. Dans de nombreux cas, la MVU est protégée par un parafoudre, la valeur maximale est donc le niveau de protection aux chocs de manœuvre du parafoudre. Si la MVU n'est pas protégée par un parafoudre, il convient que la tension de choc de manœuvre maximale soit déterminée par des études de système.

La valeur assignée de la tension d'essai est la tension d'essai telle que définie en 7.3.3 de l'IEC 60700-1:2015. La tension d'essai doit inclure la correction atmosphérique déterminée conformément à l'IEC 60060-1 et appliquée comme détaillé dans l'IEC 60700-1.

5.3.9 Tension de choc de manœuvre maximale entre les bornes d'un support de valve ($U_{s(vs)max}$)

Il s'agit de la valeur maximale du choc de manœuvre apparaissant aux bornes d'un support de valve. Dans de nombreux cas, le support de valve est protégé par un parafoudre, la valeur maximale est donc le niveau de protection aux chocs de manœuvre du parafoudre. Si le support de valve n'est pas protégé par un parafoudre, il convient que la tension de choc de manœuvre maximale soit déterminée par des études de système.

La valeur assignée de la tension d'essai est la tension d'essai telle que définie en 6.3.4 de l'IEC 60700-1:2015. La tension d'essai doit inclure la correction atmosphérique déterminée conformément à l'IEC 60060-1 et appliquée comme détaillé dans l'IEC 60700-1.

5.3.10 Tension de choc de foudre maximale entre les bornes d'une valve ($U_{l(v)max}$)

Il s'agit de la valeur maximale du choc de foudre apparaissant aux bornes d'une valve. Dans de nombreux cas, la valve est protégée par un parafoudre, la valeur maximale est donc le niveau de protection aux chocs de foudre du parafoudre ($LIPL_v$). Si la valve n'est pas protégée par un parafoudre, il convient que la tension de choc de foudre maximale soit déterminée par des études de système.

La valeur assignée de la tension d'essai est la tension d'essai telle que définie en 8.3.5 de l'IEC 60700-1:2015.

5.3.11 Tension de choc de foudre maximale entre les bornes d'une unité de valves multiples ($U_{l(m)max}$)

Il s'agit de la valeur maximale du choc de foudre apparaissant aux bornes haute et basse tension d'une MVU. Dans de nombreux cas, la MVU est protégée par un parafoudre, la valeur maximale est donc le niveau de protection aux chocs de foudre du parafoudre. Si la MVU n'est pas protégée par un parafoudre, il convient que la tension de choc de foudre maximale soit déterminée par des études de système.

La valeur assignée de la tension d'essai est la tension d'essai telle que définie en 7.3.4 de l'IEC 60700-1:2015 et l'IEC 60700-1:2015/AMD1:2021. La tension d'essai doit inclure la correction atmosphérique déterminée conformément à l'IEC 60060-1 et appliquée comme détaillé dans l'IEC 60700-1.

5.3.12 Tension de choc de foudre maximale entre les bornes d'un support de valve ($U_{l(vs)max}$)

Il s'agit de la valeur maximale du choc de foudre apparaissant aux bornes d'un support de valve. Dans de nombreux cas, le support de valve est protégé par un parafoudre, la valeur maximale est donc le niveau de protection aux chocs de foudre du parafoudre. Si le support de valve n'est pas protégé par un parafoudre, il convient que la tension de choc de foudre maximale soit déterminée par des études de système.

La valeur assignée de la tension d'essai est la tension d'essai telle que définie en 6.3.5 de l'IEC 60700-1:2015. La tension d'essai doit inclure la correction atmosphérique déterminée conformément à l'IEC 60060-1 et appliquée comme détaillé dans l'IEC 60700-1.

5.3.13 Tension de choc à front raide maximale entre les bornes d'une valve ($U_{st(v)max}$)

Il s'agit de la valeur maximale du choc à front raide apparaissant aux bornes d'une valve. Le choc à front raide doit disposer d'une durée jusqu'à la pointe inférieure à celle du choc de foudre normalisé, mais pas inférieure à celle d'une tension de choc à front très rapide telle que définie dans l'IEC 60071-1. Dans de nombreux cas, la valve est protégée par un parafoudre, la valeur maximale est donc le niveau de protection aux chocs à front raide du parafoudre ($STIPL_v$). Il convient que la raideur soit déterminée par des études de système.

Si la valve n'est pas protégée par un parafoudre, il convient que la tension de choc à front raide, y compris sa raideur, soit déterminée par des études de système.

La valeur assignée de la tension d'essai est la tension d'essai telle que définie en 8.3.6 de l'IEC 60700-1:2015.

5.3.14 Tension de choc à front raide maximale entre les bornes d'une unité de valves multiples ($U_{st(m)max}$)

Il s'agit de la valeur maximale du choc à front raide apparaissant aux bornes d'une MVU. Les chocs à front raide proviennent de défauts de mise à la terre du côté valve du transformateur. La redistribution rapide de l'énergie qui en résulte dans les capacités parasites et d'amortissement locales entraîne des contraintes de choc à front raide sur la valve connectée à la phase défectueuse. Les capacités du pôle en courant continu et des lignes ou des câbles sont déchargées à travers la bobine d'inductance de lissage en courant continu et la réactance de fuite du transformateur, ce qui entraîne des tensions avec des fronts beaucoup plus lents. Dans la plupart des cas, les tensions à front raide ne sont donc pas applicables à la MVU.

5.3.15 Tension de choc à front raide maximale entre les bornes d'un support de valve ($U_{st(vs)max}$)

Il s'agit de la valeur maximale du choc à front raide apparaissant aux bornes d'un support de valve. Les chocs à front raide proviennent de défauts de mise à la terre du côté valve du transformateur. Un défaut côté convertisseur et la présence de la bobine d'inductance de lissage en courant continu entraînent des surtensions avec des fronts beaucoup plus lents apparaissant à travers les isolateurs de support. Dans la plupart des cas, les tensions à front raide ne sont donc pas applicables au support de valve.

6 Caractéristiques

6.1 Généralités

Les caractéristiques doivent être données aux conditions de fonctionnement assignées, sauf indication contraire. Les valeurs des caractéristiques suivantes des valves, ainsi que leurs

valeurs assignées définies à l'Article 5, constituent les données techniques des valves à thyristors, telles qu'énumérées dans le Tableau B.1 de l'Annexe B.

6.2 Caractéristiques des pertes

6.2.1 Généralités

La mesure directe des pertes de valves n'est pas possible en raison d'une précision insuffisante des instruments et des méthodes de mesure disponibles. Les pertes des valves à thyristors doivent être calculées en adoptant les méthodes recommandées dans l'IEC 61803.

Les pertes de charge sont les pertes totales lorsque la puissance est transmise, et se composent des éléments suivants:

- a) perte de conduction de thyristors par valve (P_{V1}),
- b) affaiblissement géométrique de thyristors par valve (P_{V2}),
- c) autres pertes de conduction par valve (P_{V3}),
- d) perte dépendant de la tension continue par valve (P_{V4}),
- e) perte d'amortissement par valve (terme dépendant de la résistance) (P_{V5}),
- f) perte d'amortissement par valve (variation du terme énergie du condensateur) (P_{V6}),
- g) pertes au blocage par valve (P_{V7}), et
- h) perte d'inductance par valve (P_{V8}).

Les pertes en veille à vide proviennent d'un autre mode de fonctionnement avec des valves alimentées mais bloquées, qui se composent uniquement des éléments suivants:

- 1) perte dépendant de la tension continue par valve (P_{V4}), et
- 2) perte d'amortissement par valve (terme dépendant de la résistance) (P_{V5}).

6.2.2 Perte de charge maximale par valve dans des conditions assignées (P_{Vmax})

Il s'agit de la valeur maximale de la perte totale d'une valve dans des conditions de fonctionnement assignées. Les paramètres dépendants de la température, tels que la chute de tension à l'état passant et la charge de récupération des thyristors, doivent être calculés à leur température de fonctionnement attendue. Cela doit être vérifié de manière appropriée par le fournisseur.

6.2.3 Perte à vide maximale par valve (P_{V0max})

Il s'agit de la valeur maximale de la perte totale d'une valve dans des conditions de veille à vide. En mode de fonctionnement à vide, la valve résiste à la forme d'onde sinusoïdale de la tension phase-neutre.

6.2.4 Emission de chaleur maximale vers la salle de valves (P_{Emax})

Il s'agit de la quantité d'échange thermique maximale entre la valve et l'environnement au sein de la salle de valves. L'émission de chaleur des valves à thyristors vers la salle de valves doit être prise en compte lors de la conception du système de climatisation. Les émissions de chaleur maximales doivent être déterminées à la température ambiante minimale dans la salle de valves et à la charge maximale.