

**DIN EN IEC 60700-3
(VDE 0553-3)**
DIN

Diese Norm ist zugleich eine **VDE-Bestimmung** im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.

VDE

ICS 31.080.20

Einsprüche bis 2021-04-12

Entwurf

**Thyristorventile für Hochspannungsgleichstrom-
Energieübertragung (HGÜ) –
Teil 3: Wesentliche Nenngrößen (begrenzende Werte) und Eigenschaften
(IEC 22F/590/CD:2020);
Text Deutsch und Englisch**

Thyristor valves for high voltage direct current (HVDC) power transmission –
Part 3: Essential ratings (limiting values) and characteristics
(IEC 22F/590/CD:2020);
Text in German and English

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-02-12 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 68 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 22F/590/CD:2020 „Thyristor valves for high voltage direct current (HVDC) power transmission – Part 3: Essential ratings (limiting values) and characteristics“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom SC 22F „Power electronics for electrical transmission and distribution systems“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und unterliegt dem Copyright der IEC . Das Dokument wurde den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DKE (www.dke.de) und DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf FprEN nur 6 Wochen beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium K 331 „Leistungselektronik“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. IEC ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Inhalt

Seite

Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Symbole und Abkürzungen	8
3.1 Tiefgestellte Indizes	8
3.2 Buchstabensymbole	9
3.3 Abkürzungen	9
4 Betriebsbedingungen	10
4.1 Allgemeines	10
4.2 Umgebungsbedingungen	10
4.2.1 Aufstellhöhe	10
4.2.2 Umgebungstemperatur und Feuchtigkeitsbereich in Ventilhallen	10
4.2.3 Verschmutzungsgrad in Ventilhallen	10
4.2.4 Seismische Bedingungen	10
4.3 Systembedingungen	10
4.3.1 Allgemeine Informationen zum System	10
4.3.2 Spannung des Wechselstromsystems	11
4.3.3 Frequenz des Wechselstromsystems	11
4.3.4 Spannung des Gleichstromsystems	11
4.3.5 Strom des Gleichstromsystems und Überlastanforderungen	11
4.3.6 Anforderungen an an Thyristorventile bezüglich Kurzschlussstrom	11
4.3.7 Auslegung der Isolationskoordination bezüglich Thyristorventilen	12
4.4 Technische Parameter für ein 6-Puls-Brückendesign	12
4.4.1 Allgemeines	12
4.4.2 Spannungsparameter	12
4.4.3 Stromparameter	13
4.4.4 Parameter der Ventile	13
4.4.5 Andere Systemparameter	14
4.5 Andere Bedingungen	15
5 Nennwerte	15
5.1 Nennwerte für Strom und Spannung (begrenzende Werte)	15
5.1.1 Nennwechselspannung über einem Ventil (U_{V0N})	15
5.1.2 Maximale dauerhafte Wechselspannung über einem Ventil (U_{V0max})	15
5.1.3 Maximale zeitweilige Wechselspannung über einem Ventil (U_{V0maxT})	15
5.1.4 Spitzenwert der periodisch wiederkehrenden Blockierspannung an einem Ventil (U_{VDRM})	15
5.1.5 Spitzenwert der periodisch nicht wiederkehrenden Blockierspannung an einem Ventil (U_{VDSM})	15
5.1.6 Spitzenwert der periodisch wiederkehrenden Sperrspannung an einem Ventil (U_{VRRM})	15

5.1.7	Spitzenwert der periodisch nicht wiederkehrenden Sperrspannung an einem Ventil (U_{VRSM}).....	16
5.1.8	Schaltstoßspannungsfestigkeit eines Ventils ($SIWV_V$)	16
5.1.9	Blitzstoßspannungsfestigkeit eines Ventils ($LIWV_V$)	16
5.1.10	Steilstoßspannungsfestigkeit eines Ventils ($STIWV_V$)	16
5.1.11	Schaltimpulsschutzzündungsspannung eines Ventils ($SIPL_{PF}$).....	16
5.1.12	Effektivwert des Ventilstroms ($I_{V(rms)}$).....	16
5.1.13	Mittelwert des Ventilstroms ($I_{V(av)}$).....	16
5.1.14	Kurzschlussstrom mit einer Welle mit wiederkehrender Vorwärtsspannung ($I_{SC\alpha}$)	16
5.1.15	Kurzschlussstrom mit mehreren Wellen ohne wiederkehrende Vorwärtsspannung ($I_{SC\beta}$).....	17
5.2	Nennwerte für Verzögerungs- und Löschwinkel (begrenzende Werte)	17
5.2.1	Nennzündverzögerungswinkel (α_N)	17
5.2.2	Minimal zulässiger Zündverzögerungswinkel (α_{min})	17
5.2.3	Maximal zulässiger Zündverzögerungswinkel (α_{max})	17
5.2.4	Minimaler zeitweiliger Zündverzögerungswinkel (α_{minT}).....	17
5.2.5	Nennlöschwinkel (Y_N).....	17
5.2.6	Minimal zulässiger Löschwinkel (Y_{min})	17
5.2.7	Maximal zulässiger Löschwinkel (Y_{max})	17
5.2.8	Minimaler zeitweiliger Löschwinkel (Y_{minT})	18
5.3	Isolation und Spannungsprüfpegel.....	18
5.3.1	Maximale Gleichspannung zwischen Ventilanschlüssen ($U_{d(v)max}$)	18
5.3.2	Maximale Gleichspannung zwischen Mehrfachventilen ($U_{d(m)max}$)	18
5.3.3	Maximale Gleichspannung über der Ventilhalterung ($U_{d(vs)max}$)	18
5.3.4	Maximale Wechselfspannung zwischen Ventilanschlüssen ($U_{ac(v)max}$)	18
5.3.5	Maximale Wechselfspannung zwischen Mehrfachventilen ($U_{ac(m)max}$)	19
5.3.6	Maximale Wechselfspannung über der Ventilhalterung ($U_{ac(vs)max}$)	19
5.3.7	Maximale Schaltstoßspannung zwischen Ventilanschlüssen ($U_{s(v)max}$).....	19
5.3.8	Maximale Schaltstoßspannung über Mehrfachventilen ($U_{s(m)max}$).....	19
5.3.9	Maximale Schaltstoßspannung über der Ventilhalterung ($U_{s(vs)max}$).....	20
5.3.10	Maximale Blitzstoßspannung zwischen Ventilanschlüssen ($U_{l(v)max}$).....	20
5.3.11	Maximale Blitzstoßspannung über Mehrfachventilen ($U_{l(m)max}$).....	20
5.3.12	Maximale Blitzstoßspannung über der Ventilhalterung ($U_{l(vs)max}$).....	20
5.3.13	Maximale Steilstoßspannung zwischen Ventilanschlüssen ($U_{st(v)max}$).....	20
5.3.14	Maximale Steilstoßspannung über Mehrfachventilen ($U_{st(m)max}$)	20
5.3.15	Maximale Steilstoßspannung über der Ventilhalterung ($U_{st(vs)max}$).....	21

6	Eigenschaften.....	21
6.1	Allgemeines.....	21
6.2	Verlusteigenschaften.....	21
6.2.1	Allgemeines.....	21
6.2.2	Zugesicherte Lastverluste pro Ventil (P_G).....	21
6.2.3	Zugesicherte maximale Lastverluste pro Ventil (P_{Gmax}).....	22
6.2.4	Zugesicherte Leerlaufverluste pro Ventil (P_{G0}).....	22
6.2.5	Erwartete maximale Wärmeabstrahlung in die Ventilhalle (P_E).....	22
6.3	Schutzeigenschaften.....	22
6.3.1	Blitzstoßschutzzündungsspannung des Ventils ($LIPL_{PF}$).....	22
6.3.2	Steilstoßschutzzündungsspannung des Ventils ($STIPL_{PF}$).....	22
6.3.3	Schutzzündpegel des Thyristors (V_{PF}).....	22
6.3.4	Freiwerdeschutzpegel des Thyristors (V_{RP}).....	22
6.3.5	Vorwärts-du/dt-Schutzpegel des Thyristors (du/dt_{PF}).....	22
6.3.6	Schutzzündabschaltpegel des Ventils (N_{tripPF}).....	23
6.3.7	Redundanzverlustabschaltpegel des Ventils (N_{trip}).....	23
6.4	Temperatureigenschaften.....	23
6.4.1	Maximale Temperatur des Kühlmediums am Ventileinlass ($T_{(in)max}$).....	23
6.4.2	Maximale Temperatur des Kühlmediums am Ventilauslass ($T_{(out)max}$).....	23
6.4.3	Thyristorsperrschichttemperatur bei Nennbedingungen (T_{jN}).....	23
6.4.4	Maximale Thyristorsperrschichttemperatur (T_{jmax}).....	23
6.4.5	Lagerungstemperatur (T_{stg}).....	23
6.5	Zuverlässigkeitseigenschaften.....	23
6.5.1	Allgemeines.....	23
6.5.2	Erwartete jährliche Ausfallrate eines Thyristorlevels (λ_E).....	24
6.5.3	Zugesicherte jährliche Ausfallrate eines Thyristorlevels (λ_G).....	24
6.5.4	Redundante Thyristorlevel pro Ventil (n_{red}).....	24
6.6	Andere Eigenschaften.....	24
6.6.1	Durchlassspannung eines Ventils ($U_{v(on)}$).....	24
6.6.2	Maximale Dauerbetriebszeit bei $\alpha=90^\circ$ (t_{90max}).....	24
6.6.3	Maximale zeitweilige Betriebszeit bei $\alpha=90^\circ$ (t_{90maxT}).....	24
6.6.4	Maximaler dauerhafter Faktor für Kommutierungsüberspannungen (k_C).....	24
6.6.5	Maximaler zeitweiliger Faktor für Kommutierungsüberspannungen (k_{CT}).....	24
Anhang A (normativ) Eingangsparameter für die Auslegung von Thyristorventilen.....		30
Anhang B (normativ) Technisches Datenblatt von Thyristorventilen.....		32
Literaturhinweise.....		36

Bilder

Bild 1 – Typische Anordnung von Ableitern für Umrichtereinheiten mit zwei in Reihe geschalteten 12-Puls-Brücken	25
Bild 2 – Betriebsspannung des Ventils und des Ventilableiters im Gleichrichterbetrieb	26
Bild 3 – Spannungskurvenformen des Thyristorventils in unterschiedlichen Betriebsarten	26
Bild 4 – Kurvenformen von Kurzschlussstrom und Spannung am Ventil bei einer Kurzschlussstromwelle	27
Bild 5 – Kurvenformen von Kurzschlussstrom und Spannung am Ventil bei mehreren Kurzschlussstromwellen	28
Bild 6 – Dauerhafte Betriebsspannungen an verschiedenen Stellen für eine 12-Puls-Brücke im Gleichrichterbetrieb	29

Einleitung

HGÜ, als ideale Technologie, wurde in den letzten 60 Jahren in großem Umfang zur Übertragung sehr großer Leitungsmengen über sehr große Entfernungen oder zur Verbindung asynchroner Wechselstromnetze auf der ganzen Welt eingesetzt. Bisher wurden mehr als 40 IEC-Veröffentlichungen zu HGÜ-Systemen oder -Ausrüstungen veröffentlicht. Unter diesen wurde die Normenreihe IEC 60700 entwickelt, um die Standardisierung für die Konstruktion, Herstellung und Prüfung von Thyristorventilen für die HGÜ-Leistungsübertragung zu fördern.

Die Normenreihe IEC 60700 besteht derzeit aus drei Teilen:

- Teil 1 bildet die Hauptgrundlage für die Typ- und Stückprüfung von Thyristorventilen, in der die Prüfgegenstände, Zwecke, Prüflinge und ihre Anforderungen explizit angegeben sind.
- Teil 2 enthält eine detaillierte Beschreibung und Definition der Terminologie für Umrichterschaltungen und Thyristorventile.
- Teil 3 legt die wesentlichen Nennwerte und Eigenschaften von Thyristorventilen fest, einschließlich ihrer Betriebsbedingungen, Spannungs- und Stromwerte, Nennwerte für Verzögerung und Löschwinkel, Isolations- und Prüfspannungspegel sowie die Eigenschaften von Verlusten, Schutz, Temperatur und Zuverlässigkeit usw.

Für eine lange Zeit war die HGÜ-Ausrüstung, z. B. Stromrichtertransformatoren und Thyristorventile, aufgrund der hohen Abhängigkeit von spezifischen Anforderungen für jedes Projekt und jeden Standort schwer zu standardisieren. Die Nennleistung dieser Geräte hängt von den technischen Parametern ab, einschließlich der Umgebungsbedingungen, der erforderlichen Leistung und Spannung einschließlich Überlast, des angeschlossenen Wechselstromsystems und der Gleichstrombedingungen usw. Mit der Entwicklung von HGÜ-Anwendungen werden jedoch die Standardauslegungsparameter und -methoden für HGÜ-Installationen schrittweise etabliert, wodurch eine Standardisierung der Ausrüstung möglich wird.

Mit diesem Teil der IEC 60700 soll die Definition der wichtigsten technischen Parameter für Thyristorventile sowohl für Käufer als auch für Lieferanten standardisiert werden. Es wird empfohlen, sich bei der Verwendung dieser Norm auf die relevanten IEC-Normen zu beziehen, insbesondere auf die anderen Teile der Normenreihen IEC 60700 und IEC 60071.

Thyristorventile für Hochspannungsgleichstrom-Energieübertragung (HGÜ) – Teil 3: Wesentliche Nenngrößen (begrenzende Werte) und Eigenschaften

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der IEC 60700 spezifiziert die Betriebsbedingungen, die Definitionen der wesentlichen Nennwerte und Eigenschaften von Thyristorventilen, die in netzgeführten Umrichtern mit dreiphasigen Brückenschaltungen verwendet werden, um die Umwandlung von Wechselstrom in Gleichstrom und umgekehrt für Hochspannungsgleichstrom (HGÜ) zu realisieren. Kraftübertragungsanwendungen. Er gilt für luftisolierte, flüssigkeitsgekühlte und in Innenräumen errichtete Thyristorventile. Für andere Ventiltypen kann auf dieses Dokument verwiesen werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60633:2019, *High-voltage direct current (HVDC) transmission – Vocabulary*

IEC 60071-1:2019, *Insulation co-ordination – Part 1: Definitions, principles and rules*

IEC 60071-2:2018, *Insulation co-ordination – Part 2: Application guidelines*

IEC 60071-5:2014, *Insulation co-ordination – Part 5: Procedures for high-voltage direct current (HVDC) converter stations*

IEC 61803:1999, *Determination of power losses in high-voltage direct current (HVDC) converter stations*
Amendment 2 (2016)

IEC 60146-1-1:2009, *Semiconductor converters – General requirements and line commutated converters – Part 1-1: Specification of basic requirements*

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

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

IEC 60099-4:2014, *Surge arresters – Part 4 Metal-oxide surge arresters without gap for a.c. systems*

3 Symbole und Abkürzungen

Die Liste enthält nur die am häufigsten verwendeten Symbole und Abkürzungen in diesem Dokument. Eine vollständigere Liste der Symbole und Abkürzungen finden Sie in den Normen, die in den normativen Verweisungen aufgeführt sind.

3.1 Tiefgestellte Indizes

0 (null)	bei Leerlauf
i	ideal
N	Nennwert oder Nennlast
d	Gleichstrom oder -spannung
ac	Wechselstrom oder -spannung
r	ohmsch oder Überspannung

x	induktiv
u	Unterspannung
j	Sperrschicht des Thyristors
v	Ventil oder Ventilseite des Stromrichtertransformators
m	Mehrfachventil (Einheit)
vs	Ventilhalterung
s	Schaltimpuls
l	Blitzimpuls
st	Steilstoß
PF	Schutzzündung
RP	Freiwerdeschutz
T	zeitweilig
S	kurzzeitig
SC	Kurzschluss
max	maximal
min	minimal
rms	Effektivwert
av	Mittelwert
tr	Transformator
ar	Ableiter

3.2 Buchstabensymbole

K_t	atmosphärischer Korrekturfaktor
a	(Trigger/Zünd) Winkelverzögerung
y	Löschwinkel
μ	(Kommutierungs) Überlappungswinkel
X_t	Reaktanz des Kommutierungskreises, einschließlich Streureaktanz des Umrichtertransformators und anderer Reaktanzen im Kommutierungskreis, die den Kommutierungsprozess beeinflussen
P_{cu}	Lastverluste des Stromrichtertransformators und der Gleichstromglättungsdrossel, wenn eine 6-Puls-Brücke mit Nennlast betrieben wird
R_{tk}	Ersatzwiderstand für den Spannungsabfall an dem Thyristorventil
f_N	Nennfrequenz des Wechselspannungssystems
t_G	verfügbare Zeit zum Freiwerden des Thyristors

3.3 Abkürzungen

MVU	Mehrfachventil (Einheit)
SIPL	Schaltstoßschutzpegel
LIPL	Blitzstoßschutzpegel
STIPL	Steilstoßschutzpegel

4 Betriebsbedingungen

4.1 Allgemeines

Thyristorventile müssen in der Lage sein, unter den vom Käufer oder vom Systemdesigner festgelegten Betriebsbedingungen während der gesamten Lebensdauer mit Ausnahme der Wartungsarbeiten kontinuierlich und zuverlässig zu arbeiten. Solche Bedingungen sind wesentlich, um die Nennwerte und Eigenschaften der Thyristorventile zu definieren, und umfassen hauptsächlich die Umgebungsbedingungen der Ventilhalle, in der Thyristorventile arbeiten müssen, Systembedingungen, die in direktem Zusammenhang mit der Auslegung und dem Betrieb von Thyristorventilen stehen, wichtige technische Parameter von 6-Puls-Brücken, die für das Systemdesign erforderlich sind, und alle anderen vom Käufer bereitgestellten Bedingungen. Einige dieser Bedingungen gelten je nach Design des HGÜ-Systems nicht.

4.2 Umgebungsbedingungen

4.2.1 Aufstellhöhe

Die Aufstellhöhe der HGÜ-Station über dem Meeresspiegel ist für die Auslegung der Luftstrecken von Thyristorventilen anzugeben.

Bei Höhen über 1 000 m ist der externe Isolationspegel von Thyristorventilen unter den standardisierten atmosphärischen Referenzbedingungen durch Multiplikation der Isolationsfestigkeitsspannungen mit einem atmosphärischen Korrekturfaktor K_t nach IEC 60071-2 zu bestimmen.

Für die interne Isolierung sind die dielektrischen Eigenschaften in jeder Höhe identisch und es müssen keine besonderen Überlegungen angestellt werden.

ANMERKUNG Für eine Höhe bis 1 000 m ist keine zusätzliche atmosphärische Korrektur des externen Isolationspegels erforderlich, da die Korrektur bei der Bestimmung der Isolationsfestigkeitsspannungen berücksichtigt wurde.

4.2.2 Umgebungstemperatur und Feuchtigkeitsbereich in Ventilhallen

Die maximale Temperatur und die minimale relative Luftfeuchtigkeit in Ventilhallen sind bei der Bestimmung des atmosphärischen Korrekturfaktors K_t nach IEC 60071-2 zu berücksichtigen. Darüber hinaus müssen die minimale Temperatur und die maximale relative Luftfeuchtigkeit begrenzt werden, um die Kondensation von Wassermolekülen in der Luft an Thyristorventilen zu verhindern.

4.2.3 Verschmutzungsgrad in Ventilhallen

Der Verschmutzungsgrad in den Ventilhallen ist zur Bestimmung der Kriechstrecken von Thyristorventilen vorzugeben. Staub und Verschmutzung in Ventilhallen sind so gering wie möglich zu halten, um eine unwirtschaftliche Vergrößerung der Kriechstrecken von Thyristorventilen zu vermeiden.

4.2.4 Seismische Bedingungen

Thyristorventile müssen in der Lage sein, seismischen Beanspruchungen standzuhalten und ihre Funktion während und nach einem Erdbeben jeglicher Intensität, das am Standort der HGÜ-Station auftreten kann, fehlerfrei aufrechtzuerhalten. Die maximal zu erwartende horizontale und vertikale Beschleunigung sollte zusammen mit dem Frequenzbereich der Schwingungen angegeben werden.

4.3 Systembedingungen

4.3.1 Allgemeine Informationen zum System

Dieser Teil sollte zumindest folgende Informationen beinhalten:

- a) Der Zweck des Projekts, und
- b) die Nennleistung, und

- c) die Leistungsflussrichtung, und
- d) die Umrichterconfiguration einschließlich eines einfachen einphasigen Ersatzschaltbildes, und
- e) die Betriebsarten des Umrichters wie einpolig, zweipolig, parallel oder mehrpolig, und
- f) Informationen zu Schnittstellen.

ANMERKUNG 1 Bei HGÜ-Fernübertragungssystemen wird am häufigsten eine 12-Puls-Gruppe pro Pol oder zwei in Reihe geschaltete 12-Puls-Gruppen pro Pol verwendet. Jede Ventilgruppe besteht aus zwei in Reihe geschalteten 6-Puls.Brücken, die von drei einphasigen Dreiwicklungstransformatoren oder sechs einphasigen Zweiwicklungstransformatoren versorgt werden. Weitere Informationen zur Konfiguration der Umrichtereinheit sind in IEC 60919-1 zu finden.

ANMERKUNG 2 Die Schnittstellen zwischen den Thyristorventilen und anderen Komponenten des Systems müssen koordiniert werden, einschließlich der Position und Abmessungen der Befestigungspunkte auf dem Boden der Ventilhalle oder auf dem Dach, der Abmessungen für Kabelkanäle für Glasfaserkabel und der Position und Abmessungen des Verbindungsflansches für Kühlwasserleitungen und der Schnittstellen zum Bussystem der Ventilhalle.

4.3.2 Spannung des Wechselstromsystems

Die stationären und zeitweiligen Spannungsbereiche des Wechselstromsystems sind anzugeben, einschließlich der maximalen und minimalen stationären Spannungen unter Nennbetriebsbedingungen sowie der maximalen und minimalen zeitweiligen Spannungen sowie ihrer Dauer während Störungen des Wechselstromsystems und während der Erholungsphase unmittelbar nach der Fehlerbehebung. Der Spannungsbereich des Wechselstromsystems im zeitweiligen Zustand wirkt sich direkt auf die Nennspannung der Thyristorventile aus.

4.3.3 Frequenz des Wechselstromsystems

Die Nennfrequenz, der Bereich der Frequenzänderung im stationären Zustand, der Bereich der Frequenzänderung im zeitweiligen Zustand sowie der extreme Frequenzänderungsbereich im zeitweiligen Zustand sind anzugeben.

4.3.4 Spannung des Gleichstromsystems

Die Nenngleichspannung sowie die maximalen und minimalen Gleichspannungen im Dauerbetrieb unter Berücksichtigung von Steuerungs- und Messfehlern und Herstellertoleranz sind anzugeben.

Wenn Thyristorventile kontinuierlich mit reduzierten Gleichspannungen arbeiten müssen, müssen auch die DC-Systemspannungen zusammen mit den Betriebsparametern der Thyristorventile, d. h. ventileitigen Wicklungsspannungen und Zündverzögerungswinkeln unter diesen Betriebsbedingungen, bereitgestellt werden.

4.3.5 Strom des Gleichstromsystems und Überlastanforderungen

Der Nenngleichstrom und die minimalen Gleichströme im Dauerbetrieb sowie die erforderlichen kurzfristigen und zeitweiligen Überlast-Gleichströme sowie deren Dauer sind anzugeben. Die Überlastfähigkeit von Thyristorventilen hängt von der thermischen Auslegung der Ventile und dem Status der Kühlausrüstung ab.

4.3.6 Anforderungen an an Thyristorventile bezüglich Kurzschlussstrom

Bei Umrichtereinheiten können Kurzschlüsse durch einen Ausfall der externen oder internen Isolierung, d. h. Überslag oder Durchschlag von Isolatoren, oder durch versehentliches Betätigen von Schaltern oder aus anderen Gründen verursacht werden. Normalerweise ist der schwerwiegendste Fehler ein Kurzschluss des Thyristorventils, das im Gleichrichtermodus mit minimalem Verzögerungswinkel und maximaler AC-Systemspannung arbeitet. Die maximalen Spitzenwerte von Kurzschlussströmen mit einer Welle oder mit mehreren Wellen sowie deren Dauer und die maximalen Spitzenwerte der wiederkehrenden Vorwärtsspannungen und Rückwärtsspannungen, denen die Thyristorventile standhalten müssen, sind anzugeben.

4.3.7 Auslegung der Isolationskoordination bezüglich Thyristorventilen

Die erforderliche Überspannungsfestigkeit von Thyristorventilen sowie die Schutzpegel (Restspannungen und Koordinationsströme für bestimmte Arten von Überspannungen) von Ventileableitern sind gemäß der Auslegung der Isolationskoordination des Systems anzugeben.

Eine typische Anordnung für die Ableiter, die in direktem Zusammenhang mit den Thyristorventilen eines in Reihe geschalteten 12-Puls-Umrichters stehen, ist in [Bild 1](#) dargestellt. Es ist zu beachten, dass einige der Ableiter abhängig von der spezifischen Konstruktion entfernt werden können.

Für die Auslegung und Prüfung von Thyristorventilen sind die erforderlichen Spannungsfestigkeiten für Schalt- und Blitzimpulse der Ventile zwischen den Positionen anzugeben, wie in [Bild 1](#) dargestellt, einschließlich:

- a) Spannungsfestigkeit über dem Ventil, und
- b) Spannungsfestigkeit zwischen der oberen 12-Puls-Brücke und Erde, und
- c) Spannungsfestigkeit zwischen dem DC Mittelpunkt der oberen 12-Puls-Brücke und Erde, und
- d) Spannungsfestigkeit zwischen dem DC Mittelpunkt zweier 12-Puls-Brücken und Erde, und
- e) Spannungsfestigkeit zwischen dem DC Mittelpunkt der unteren 12-Puls-Brücke und Erde, und
- f) Spannungsfestigkeit zwischen den Erdelektroden und Erde.

Weitere Einzelheiten zum Design der Isolationskoordination sind in [IEC 60071-5](#) zu finden.

4.4 Technische Parameter für ein 6-Puls-Brückendesign

4.4.1 Allgemeines

Die in diesem Unterabschnitt beschriebenen Parameter beziehen sich auf Umrichter, die aus 6 Thyristorventilen bestehen. Die Werte dieser Parameter werden normalerweise vom Systemdesigner angegeben und sind bei der Konstruktion von Thyristorventilen zu berücksichtigen.

4.4.2 Spannungsparameter

4.4.2.1 Nenngleichspannung pro Umrichter (U_{dN})

Dies bezeichnet den Mittelwert der Gleichspannung zwischen den Hochspannungs- und Niederspannungsanschlüssen eines Umrichters (Sechs-Puls-Brücke) unter Nennbetriebsbedingungen. Sie wird bei Nennspannung auf der Ventilseite und beim Zündverzögerungswinkel des Umrichters bei Betrieb mit Nenngleichstrom definiert.

4.4.2.2 Nennwert der ideellen Leerlaufgleichspannung pro Umrichter (U_{di0N})

Dies bezeichnet die ideelle Leerlaufgleichspannung eines Umrichters bei nominaler ventilseitiger Wicklungsspannung, idealisierte Zündverzögerung und Überlappungswinkel gleich Null.

4.4.2.3 Maximale ideelle Leerlaufgleichspannung pro Umrichter (U_{di0max})

Dies bezeichnet den Maximalwert der ideellen Leerlaufgleichspannung eines Umrichters bei nominaler ventilseitiger Wicklungsspannung, der idealisierten Zündverzögerung und Überlappungswinkeln gleich Null unter Berücksichtigung der Steuerungs- und Messfehler und der Herstellungstoleranz des Systems. Der Parameter wird verwendet, um die maximale Kommutierungsspannung des Umrichters unter Nennbetriebsbedingungen zu bestimmen.

4.4.2.4 Minimale ideelle Leerlaufgleichspannung pro Umrichter (U_{di0min})

Dies bezeichnet den Mindestwert der ideellen Leerlaufgleichspannung eines Umrichters bei nominaler ventilseitiger Wicklungsspannung, idealisierten Zünd- und Überlappungswinkeln gleich Null unter Berücksichtigung der Steuerungs- und Messfehler und der Herstellungstoleranz des Systems. Der Parameter

wird verwendet, um die minimale Kommutierungsspannung des Umrichters unter Nennbetriebsbedingungen zu bestimmen.

4.4.2.5 Zeitweiliger Überspannungsfaktor (k_r)

Dies bezeichnet den Faktor, der als das Verhältnis der maximalen zeitweiligen AC-Systemspannung während AC-Systemfehlern, wie z. B. Lastabwurf, zur nominalen AC-Systemspannung definiert ist.

4.4.2.6 Zeitweiliger Unterspannungsfaktor (k_u)

Dies bezeichnet den Faktor, der als das Verhältnis der minimalen zeitweiligen Wechselstromsystemspannung bei Wechselstromsystemfehlern wie einphasigen oder dreiphasigen Kurzschlüssen zu Erde zur nominalen Wechselstromsystemspannung definiert ist.

4.4.3 Stromparameter

4.4.3.1 Nenngleichstrom (I_{dN})

Dies bezeichnet den Nennwert des Gleichstroms, den das System unter allen angegebenen Umgebungsbedingungen und ohne zeitliche Einschränkungen kontinuierlich übertragen kann.

4.4.3.2 Maximaler dauerhafter Betriebsgleichstrom (I_{dmax})

Dies bezeichnet den Maximalwert des Gleichstroms, den das System ohne zeitliche Einschränkungen kontinuierlich übertragen kann. Der aktuelle Wert kann je nach Umgebungsbedingungen und Kühlbedingungen variieren.

4.4.3.3 Minimaler dauerhafter Betriebsgleichstrom (I_{dmin})

Dies bezeichnet den Mindestwert des Gleichstroms, den das System ohne zeitliche Einschränkungen kontinuierlich übertragen kann. Es ist definiert, um Gleichstromdiskontinuitäten für den stationären Betrieb zu vermeiden. Ein Wert von 5 % bis 10 % des nominalen Gleichstroms wird üblicherweise verwendet.

4.4.3.4 Kurzzeitiger Überlastgleichstrom (I_{dS})

Dies bezeichnet den Maximalwert des Gleichstroms, den das System unter bestimmten kurzfristigen Überlastbedingungen übertragen kann, typischerweise in der Zeitspanne von Minuten bis Stunden. Der aktuelle Wert kann je nach Umgebungsbedingungen und Kühlbedingungen variieren.

4.4.3.5 Zeitweiliger Überlastgleichstrom (I_{dT})

Dies bezeichnet den Maximalwert des Gleichstroms, den das System unter bestimmten zeitweiligen Überlastbedingungen, typischerweise im Bereich von Sekunden, übertragen kann.

4.4.4 Parameter der Ventilableiter

4.4.4.1 Scheitelwert der dauerhaften Betriebsspannung (CCOV)

Dies bezeichnet den maximal kontinuierlich auftretenden Scheitelwert der Spannung des Ventilableiters ohne Kommutierungsspitzen. Die kontinuierliche Betriebsspannungskurvenform für das Ventil und den Ventilableiter ist in [Bild 2](#) dargestellt. Der CCOV ist proportional zur maximalen idealen Leerlaufgleichspannung pro Umrichter (U_{di0max}) und ist gegeben durch

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

4.4.4.2 Spitzenwert der dauerhaften Betriebsspannung (PCOV)

Dies bezeichnet den maximal kontinuierlich auftretenden Scheitelwert der Spannung des Ventilableiters einschließlich Kommutierungsspitzen.

Siehe Bild 2.

4.4.4.3 Schaltstoßschutzpegel des Ventilableiters (SIPL_V)

Dies bezeichnet die Restspannung des Ableiters für den maximalen Schaltstromimpuls, der im Betrieb auftreten kann. Die typische Stromkurvenform zur Definition des Schutzniveaus des Ableiters beträgt 30/60 µs für den SIPL nach IEC 60099-4.

4.4.4.4 Blitzstoßschutzpegel des Ventilableiters (LIPL_V)

Dies bezeichnet die Restspannung des Ableiters für den maximalen Blitzstromimpuls, der im Betrieb auftreten kann. Die typische Stromkurvenform zur Definition des Schutzniveaus des Ableiters beträgt 30/60 µs für den SIPL nach IEC 60099-4.

4.4.4.5 Steilstoßschutzpegel des Ventilableiters (STIPL_V)

Dies bezeichnet die Restspannung des Ableiters für den maximalen Steilstoßstromimpuls, der im Betrieb auftreten kann. Eine typische Stromkurvenform zur Definition des Schutzpegels des Ableiters ist ein Stromimpuls von 1 µs Frontzeit für den STIPL nach IEC 60099-4.

4.4.4.6 Maximaler Kommutierungsstrom des Überspannungsableiters (I_{ar})

Dies bezeichnet den maximalen Spitzenwert des Kommutierungsstromes des Überspannungsableiters, der zum Zeitpunkt des Einschaltens des Ventils in Vorwärtsrichtung fließen kann. Aufgrund der Kommutierung des Ableiterstroms müssen die Thyristoren und die zugehörigen Stromkreise der maximalen Einschaltstrombelastung unter den angegebenen Hochspannungsbedingungen standhalten.

4.4.5 Andere Systemparameter

4.4.5.1 Nennwert des relativen induktiven Gleichspannungsabfalls (d_{xN})

Dies bezeichnet die Maximal- und Minimalwerte des relativen induktiven Gleichspannungsabfalls eines Umrichters unter Nennbetriebsbedingungen, die mit der Gleichung (2) berechnet werden können.

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

4.4.5.2 Nennwert des relativen ohmschen Gleichspannungsabfalls (d_{rN})

Dies bezeichnet die Maximal- und Minimalwerte des relativen ohmschen Gleichspannungsabfalls eines Umrichters unter Nennbetriebsbedingungen, die mit der Formel (3) berechnet werden können.

$$d_{rN} = \frac{P_{ru}}{U_{di0N} \cdot 3_{dN}} \cdot \frac{2 \cdot R_{ch} \cdot 3_{dN}}{U_{di0N}} \quad (3)$$

4.4.5.3 Streukapazität des Transformators (C_{tr})

Dies bezeichnet die Maximal- und Minimalwerte der äquivalenten Streukapazität zwischen den ventileitigen Anschlüssen des Transformators und Masse, die für die Analyse des einschwingtransienten Verhaltens von Thyristorventilen beim Ein- und Ausschalten unabdingbar sind.

4.5 Andere Bedingungen

Bedingungen, die nicht in den Punkten 4.2 bis 4.4 aufgeführt sind, sowie vom Käufer geforderte Sonderbedingungen sollten klar festgelegt werden. Die Ventilauslegung sollte diese Bedingungen berücksichtigen.

5 Nennwerte

5.1 Nennwerte für Strom und Spannung (begrenzende Werte)

5.1.1 Nennwechselspannung über einem Ventil (U_{v0N})

Dies bezeichnet den Nenn-Effektivwert der verketteten Leerlaufspannung an der ventileitigen Wicklung des Transformators, der der ideellen Leerlauf-Gleichspannung pro Umrichter (U_{di0N}) entspricht.

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

5.1.2 Maximale dauerhafte Wechselspannung über einem Ventil (U_{v0max})

Dies bezeichnet den maximalen Effektivwert der verketteten Leerlaufspannung an der ventileitigen Wicklung des Transformators, der der maximalen ideellen Leerlauf-Gleichspannung pro Umrichter (U_{di0max}) entspricht.

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

5.1.3 Maximale zeitweilige Wechselspannung über einem Ventil (U_{v0maxT})

Dies bezeichnet den maximalen Effektivwert der verketteten Leerlaufspannung an der ventileitigen Wicklung des Transformators bei Störungen des Wechselstromsystems, wie z. B. Lastabwurf, der gleich dem Produkt aus dem zeitweiligen Überspannungsfaktor (k_r) und der maximalen stationären Wechselspannung (U_{v0max}) über dem Ventil ist.

5.1.4 Spitzenwert der periodisch wiederkehrenden Blockierspannung an einem Ventil (U_{vDRM})

Dies bezeichnet den maximalen Momentanwert der Spannung im ausgeschalteten Zustand, die sich über einem steuerbaren Ventil entwickelt, einschließlich aller sich wiederholenden transienten Spannungen, jedoch ohne alle nicht periodisch wiederkehrenden transienten Spannungen.

Siehe Bild 3.

5.1.5 Spitzenwert der periodisch nicht wiederkehrenden Blockierspannung an einem Ventil (U_{vDSM})

Dies bezeichnet den maximalen Momentanwert jeder periodisch nicht wiederkehrenden transienten Blockierspannung, die sich über einem steuerbaren Ventil entwickelt.

Siehe Bild 3.

5.1.6 Spitzenwert der periodisch wiederkehrenden Sperrspannung an einem Ventil (U_{vRRM})

Dies bezeichnet den maximalen Momentanwert der Sperrspannung, die sich an einem rückwärts sperrenden Ventil entwickelt, einschließlich aller periodisch wiederkehrenden transienten Spannungen, jedoch ohne alle periodisch nicht wiederkehrenden transienten Spannungen.

Siehe Bild 3.

5.1.7 Spitzenwert der periodisch nicht wiederkehrenden Sperrspannung an einem Ventil (U_{VRSM})

Dies bezeichnet den maximalen Momentanwert jeder periodisch nicht wiederkehrenden transienten Sperrspannung, die sich über einem sperrenden Ventil entwickelt.

Siehe Bild 3.

5.1.8 Schaltstoßspannungsfestigkeit eines Ventils ($SIWV_V$)

Dies bezeichnet den Spitzenwert der maximalen periodisch nicht wiederkehrenden Spannung für Schaltimpulse, der das Thyristorventil standhalten kann. In Vorwärtsrichtung kann das Ventil unterhalb der Spannungsfestigkeit zum Schutz gezündet werden.

5.1.9 Blitzstoßspannungsfestigkeit eines Ventils ($LIWV_V$)

Dies bezeichnet den Spitzenwert der maximalen periodisch nicht wiederkehrenden Spannung für Blitzimpulse, denen das Thyristorventil standhalten kann. In Vorwärtsrichtung kann das Ventil unterhalb der Spannungsfestigkeit zum Schutz gezündet werden.

5.1.10 Steilstoßspannungsfestigkeit eines Ventils ($STIWV_V$)

Dies bezeichnet den Spitzenwert der maximalen periodisch nicht wiederkehrenden Spannung für Steilimpulse, denen das Thyristorventil standhalten kann. In Vorwärtsrichtung kann das Ventil unterhalb der Spannungsfestigkeit zum Schutz gezündet werden.

5.1.11 Schaltimpulsschutzzündungsspannung eines Ventils ($SIPL_{PF}$)

Dies bezeichnet die maximalen und minimalen Schutzzündspannungen über dem Ventil für Schaltimpulse in Vorwärtsrichtung. Die Werte werden anhand des Schutzzündpegels des Thyristors unter Berücksichtigung der Art der Impulse, der Reihenschaltzahl der Thyristoren in einem einzelnen Ventil und dem ungleichmäßigen Spannungsverteilungsfaktor berechnet.

Siehe Bild 3.

5.1.12 Effektivwert des Ventilstroms ($I_{V(rms)}$)

Der Effektivwert des Ventilstroms wird durch die folgende Gleichung festgelegt, wenn Harmonische nicht beinhaltet sind.

$$I_{V(rms)} = \frac{I_d}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{\frac{2\pi - \mu}{2\pi}} \quad (6)$$

5.1.13 Mittelwert des Ventilstroms ($I_{V(av)}$)

Der Mittelwert des Ventilstroms ist durch folgende Gleichung festgelegt.

$$I_{V(av)} = \frac{I_d}{3} \quad (7)$$

5.1.14 Kurzschlussstrom mit einer Welle mit wiederkehrender Vorwärtsspannung ($I_{SC\alpha}$)

Dies bezeichnet den maximalen Spitzenwert des Kurzschlussstroms mit einer Welle, dem das Thyristorventil fehlerfrei standhalten und seine Spannungssperrfähigkeit im ausgeschalteten Zustand für die angegebene maximale Vorwärtsüberspannung unmittelbar nach dem Fehlerstrom beibehalten kann. Der Wert darf nicht kleiner sein als der maximale Spitzenwert des Kurzschlussstroms mit einer Welle, der aus Systemstudien ermittelt wurde. Die Dauer des Fehlerstroms und der Spitzenwert der wieder angelegten Vorwärtsspannung gemäß 4.3.6 sind aus Systemstudien zu bestimmen.

Der typische Ventilfehlerstrom mit einer Welle und die wiederkehrende Vorwärtsspannungskurvenformen sind in Bild 4 dargestellt. Wie gezeigt, muss die Dauer des Fehlerstroms einen ganzen Zyklus abzüglich der verfügbaren Erholungszeit und Verzögerungszeit betragen, die sich auf den minimalen zeitweiligen Zündverzögerungswinkel beziehen.

$$t_p = \frac{1}{f_N} - t_G - \frac{\alpha_{\min T}}{2\pi} \cdot \frac{1}{f_N} \quad (8)$$

5.1.15 Kurzschlussstrom mit mehreren Wellen ohne wiederkehrende Vorwärtsspannung ($I_{SC\beta}$)

Dies bezeichnet den maximalen Spitzenwert des Kurzschlussstroms mit mehreren Wellen, dem das Thyristorventil fehlerfrei standhalten kann, und um seine Sperrspannungssperrfähigkeit für die angegebene maximale Sperrspannung zwischen den Fehlerstromwellen aufrechtzuerhalten. Der Wert darf nicht kleiner sein als der maximale Spitzenwert des Kurzschlussstroms mit mehreren Wellen, der aus Systemstudien ermittelt wurde. Die Anzahl der Fehlerstromwellen hängt von der Zeit ab, die zur Fehlerbehebung benötigt wird. Die Dauer der Fehlerstromwellen und der Spitzenwert der in 4.3.6 angegebenen Sperrspannung sind aus Systemstudien zu ermitteln. Die typischen Ventilfehlerstrom- und Spannungskurvenformen mit 3 Wellen sind in Bild 5 dargestellt.

5.2 Nennwerte für Verzögerungs- und Löschwinkel (begrenzende Werte)

5.2.1 Nennzündverzögerungswinkel (α_N)

Dies bezeichnet den Nennzündverzögerungswinkel, unter dem das Ventil bei Nennlast und Nennwert der ventileitigen Wicklungsspannung im stationären Zustand arbeiten kann.

5.2.2 Minimal zulässiger Zündverzögerungswinkel ($\alpha_{\min}$)

Dies bezeichnet den Mindestwert des Zündverzögerungswinkels, unter dem das Ventil in jedem stationären Zustand bei Nennwert der ventileitigen Wicklungsspannung noch kontinuierlich arbeiten kann.

5.2.3 Maximal zulässiger Zündverzögerungswinkel ($\alpha_{\max}$)

Dies bezeichnet den Maximalwert des Zündverzögerungswinkels, unter dem das Ventil bei festgelegten Werten der ventileitigen Wicklungsspannung in jedem stationären Zustand noch kontinuierlich arbeiten kann.

5.2.4 Minimaler zeitweiliger Zündverzögerungswinkel ($\alpha_{\min T}$)

Dies bezeichnet den Mindestwert des Zündverzögerungswinkels, unterhalb dessen das Ventil bei festgelegten Werten der ventileitigen Wicklungsspannung nicht richtig einschaltet.

5.2.5 Nennlöschwinkel (Y_N)

Dies bezeichnet den Nennlöschwinkel, unter dem das Ventil im stationären Zustand bei Nennlast und Nennwert der ventileitigen Wicklungsspannung arbeiten kann.

5.2.6 Minimal zulässiger Löschwinkel ($Y_{\min}$)

Dies bezeichnet den Mindestwert des Löschwinkels, unter dem das Ventil bei Nennwert der ventileitigen Wicklungsspannung noch in jedem stationären Zustand arbeiten kann.

5.2.7 Maximal zulässiger Löschwinkel ($Y_{\max}$)

Dies bezeichnet den Maximalwert des Löschwinkels, unter dem das Ventil bei festgelegten Werten der ventileitigen Wicklungsspannung noch in jedem stationären Zustand arbeiten kann.

5.2.8 Minimaler zeitweiliger Löschwinkel ($Y_{\min T}$)

Dies bezeichnet den Mindestwert des Löschwinkels, unterhalb dessen das Ventil bei festgelegten Werten der ventileitigen Wicklungsspannung nicht kommutieren kann.

5.3 Isolation und Spannungsprüfpegel

5.3.1 Maximale Gleichspannung zwischen Ventilanschlüssen ($U_{d(v)\max}$)

Dies bezeichnet den Maximalwert der Gleichkomponente der stationären Betriebsspannung, die an den Klemmen eines Ventils auftritt. Dies entspricht der Nenngleichspannung pro Umrichter.

Bild 6 zeigt typische Kurvenformen kontinuierlicher Betriebsspannungen einschließlich Kommutierungsspitzen im Gleichrichterbetrieb an verschiedenen Stellen einer 12-Puls-Brücke entweder zur Erde (E) oder zu einem anderen Punkt des Umrichters. Die stationäre Betriebsspannungskurvenform, die an den Anschlüssen eines Ventils auftritt, ist in 6 (a) gezeigt, und die entsprechende stationäre Spannungskurvenform, die an einer 6-Impuls-Brücke auftritt, ist in 6 (e) gezeigt.

Die Prüfspannungswerte sind die kurz- und langzeitigen Prüfspannungen nach IEC 60700-1, 8.3.1.

5.3.2 Maximale Gleichspannung zwischen Mehrfachventilen ($U_{d(m)\max}$)

Dies bezeichnet den Maximalwert der Gleichkomponente der stationären Betriebsspannung, die zwischen den Hochspannungs- und Niederspannungsklemmen einer MVU auftritt. Der Wert hängt von der Ventilkonfiguration (Doppelventil, Vierfachventil oder Achtfachventil) und der Anzahl der in Reihe geschalteten MVUs pro Pol des HGÜ-Schemas ab.

Die stationären Betriebsspannungskurvenformen, die zwischen den Anschlüssen der MVUs für Doppelventil und Vierfachventil auftreten, sind in 6 (e) bzw. 6 (d) gezeigt.

Die Prüfspannungswerte sind die kurz- und langzeitigen Prüfspannungen nach IEC 60700-1, 7.3.1. Die Prüfspannungen müssen atmosphärische Korrekturfaktoren enthalten, die nach IEC 60060-1 bestimmt und nach IEC 60700-1 angewendet werden.

5.3.3 Maximale Gleichspannung über der Ventilhalterung ($U_{d(vs)\max}$)

Dies bezeichnet den Maximalwert der Gleichkomponente der stationären Betriebsspannung, die über einer Ventilhalterung auftritt. Der Wert hängt von der Konfiguration der Umrichter- und Ventileinheiten ab.

Die stationären Betriebsspannungskurvenformen, die über den Ventilhalterungen für ein Doppelventil und ein Vierfachventil auftreten, sind in 6 (e) bzw. 6 (f) gezeigt.

Die Prüfspannungswerte sind die kurz- und langzeitigen Prüfspannungen nach IEC 60700-1, 6.3.2. Die Prüfspannungen müssen atmosphärische Korrekturfaktoren enthalten, die nach IEC 60060-1 bestimmt und nach IEC 60700-1 angewendet werden.

5.3.4 Maximale Wechsellspannung zwischen Ventilanschlüssen ($U_{ac(v)\max}$)

Dies bezeichnet den Maximalwert der periodisch wiederkehrenden Spannung, die an den Klemmen eines Ventils auftritt. Diese Spannung besteht aus Abschnitten zerhackter Wechsellspannung mit Kommutierungsspitzen und einer Gleichkomponente. Die maximale Überspannungsspitze zwischen den Ventilklemmen ist unter Berücksichtigung der schwerwiegendsten zeitweiligen Betriebsbedingung zu bestimmen, d. h. der maximalen zeitweiligen Wechsellspannung über dem Ventil ($U_{v0\max T}$) und des Zündverzögerungswinkels von 90 ° sowie der begrenzenden Wirkung des parallel angeschlossenen Ventileableiters.

Die periodisch wiederkehrende Betriebsspannungskurvenform, die an den Anschlüssen eines Ventils mit einem Zündverzögerungswinkel von 90 ° auftritt, ist in 3 (b) gezeigt. Da das Ventil unter solchen Bedingungen asymmetrischen Spannungsbelastungen standhält, sind die periodisch wiederkehrenden Betriebsspannungen über dem Ventil in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung nicht identisch.

Die Prüfspannungswerte sind die kurz- und langzeitigen Prüfspannungen nach IEC 60700-1, 8.3.2.

5.3.5 Maximale Wechselspannung zwischen Mehrfachventilen ($U_{ac(m)max}$)

Dies bezeichnet den Maximalwert der AC- oder überlagerten AC und DC-Komponente der stationären Betriebsspannung, wobei Kommutierungsüberspannungen zwischen zwei beliebigen Anschlüssen einer MVU auftreten. Die maximale Überspannungsspitze zwischen den Klemmen der MVU ist unter stationären Betriebsbedingungen zu bestimmen, einschließlich der maximalen stationären Wechselspannung über dem Ventil (U_{v0max}) und des maximal zulässigen Zündverzögerungswinkels (α_{max}).

Die stationären Betriebsspannungskurvenformen zwischen zwei DC-Anschlüssen der MVUs für Doppelventil und Vierfachventil sind in 6 (e) bzw. 6 (d) gezeigt. Die Spannungskurvenformen zwischen zwei beliebigen DC- und AC-Anschlüssen der MVUs für Doppelventil und Vierfachventil sind in 6 (a) und 6 (c) gezeigt. Die Spannungskurvenform zwischen zwei AC-Anschlüssen der MVU für ein Vierfachventil ist in 6 (b) gezeigt.

Die Prüfspannungswerte sind die kurz- und langzeitigen Prüfspannungen nach IEC 60700-1, 7.3.2. Die Prüfspannungen müssen atmosphärische Korrekturfaktoren enthalten, die nach IEC 60060-1 bestimmt und nach IEC 60700-1 angewendet werden.

In den meisten Fällen wurde die Wechselspannungsbeständigkeit von MVUs durch andere Tests überprüft. Die Prüfwerte sind daher nicht zutreffend.

5.3.6 Maximale Wechselspannung über der Ventilhalterung ($U_{ac(vs)max}$)

Dies bezeichnet den Maximalwert der AC- oder überlagerten AC und DC-Komponente der stationären Betriebsspannung, wobei Kommutierungsüberspannungen über einer Ventilhalterung auftreten. Die maximale Überspannungsspitze an der Ventilhalterung ist unter stationären Betriebsbedingungen zu bestimmen, einschließlich der maximalen stationären Wechselspannung am Ventil (U_{v0max}) und des maximal zulässigen Zündverzögerungswinkels (α_{max}).

Die stationären Betriebsspannungskurvenformen, die über den Ventilhalterungen für Doppelventil und Vierfachventile auftreten, sind in 6 (e) bzw. 6 (f) gezeigt.

Die Prüfspannungswerte sind die kurz- und langzeitigen Prüfspannungen nach IEC 60700-1, 6.3.3. Die Prüfspannungen müssen atmosphärische Korrekturfaktoren enthalten, die nach IEC 60060-1 bestimmt und nach IEC 60700-1 angewendet werden.

5.3.7 Maximale Schaltstoßspannung zwischen Ventilanschlüssen ($U_{s(v)max}$)

Dies bezeichnet den Maximalwert des Schaltstoßes, der an den Klemmen eines Ventils auftritt. In vielen Fällen ist das Ventil durch einen Überspannungsableiter geschützt, daher ist der Maximalwert der Schaltstoßschutzpegel des Überspannungsableiters SIP_{LV} . Wenn das Ventil nicht durch einen Überspannungsableiter geschützt ist, sollte die maximale Schaltstoßspannung durch Systemstudien bestimmt werden.

Die Prüfspannung entspricht der Definition in IEC 60700-1, 8.3.4.

5.3.8 Maximale Schaltstoßspannung über Mehrfachventilen ($U_{s(m)max}$)

Dies bezeichnet den Maximalwert des Schaltstoßes, der zwischen den Hochspannungs- und den Niederspannungsanschlüssen einer MVU auftritt. In vielen Fällen ist die MVU durch einen Überspannungsableiter geschützt, daher ist der Maximalwert der Schaltstoßschutzpegel des Überspannungsableiters. Wenn die MVU nicht durch einen Überspannungsableiter geschützt ist, sollte die maximale Schaltstoßspannung durch Systemstudien bestimmt werden.

Die Prüfspannung ist die Prüfspannung nach IEC 60700-1, 7.3.3. Die Prüfspannung muss eine atmosphärische Korrektur enthalten, die nach IEC 60060-1 bestimmt und nach IEC 60700-1 angewendet wird.

5.3.9 Maximale Schaltstoßspannung über der Ventilhalterung ($U_{s(vs)max}$)

Dies bezeichnet den Maximalwert des Schaltstoßes, der über einer Ventilhalterung auftritt. In vielen Fällen ist die Ventilhalterung durch einen Überspannungsableiter geschützt, daher ist der Maximalwert der Schaltstoßschutzpegel des Überspannungsableiters. Wenn die Ventilhalterung nicht durch einen Überspannungsableiter geschützt ist, sollte die maximale Schaltstoßspannung durch Systemstudien bestimmt werden.

Die Prüfspannung ist die Prüfspannung nach IEC 60700-1, 6.3.4. Die Prüfspannung muss eine atmosphärische Korrektur enthalten, die nach IEC 60060-1 bestimmt und nach IEC 60700-1 angewendet wird.

5.3.10 Maximale Blitzstoßspannung zwischen Ventilanschlüssen ($U_{l(v)max}$)

Dies bezeichnet den Maximalwert des Blitzstoßes, der an den Anschlüssen eines Ventils auftritt. In vielen Fällen ist das Ventil durch einen Überspannungsableiter geschützt, daher ist der Maximalwert der Blitzstoßschutzpegel LIPL_v des Überspannungsableiters. Wenn das Ventil nicht durch einen Überspannungsableiter geschützt ist, sollte die maximale Blitzstoßspannung durch Systemstudien bestimmt werden.

Die Prüfspannung entspricht der Definition in IEC 60700-1, 8.3.5.

5.3.11 Maximale Blitzstoßspannung über Mehrfachventilen ($U_{l(m)max}$)

Dies bezeichnet den Maximalwert des Blitzstoßes, der zwischen den Hochspannungs- und den Niederspannungsanschlüssen einer MVU auftritt. In vielen Fällen ist die MVU durch einen Überspannungsableiter geschützt, daher ist der Maximalwert der Blitzstoßschutzpegel des Überspannungsableiters. Wenn die MVU nicht durch einen Überspannungsableiter geschützt ist, sollte die maximale Blitzstoßspannung durch Systemstudien bestimmt werden.

Die Prüfspannung ist die Prüfspannung nach IEC 60700-1, 7.3.4. Die Prüfspannung muss eine atmosphärische Korrektur enthalten, die nach IEC 60060-1 bestimmt und nach IEC 60700-1 angewendet wird.

5.3.12 Maximale Blitzstoßspannung über der Ventilhalterung ($U_{l(vs)max}$)

Dies bezeichnet den Maximalwert des Blitzstoßes, der über einer Ventilhalterung auftritt. In vielen Fällen ist die Ventilhalterung durch einen Überspannungsableiter geschützt, daher ist der Maximalwert der Blitzstoßschutzpegel des Überspannungsableiters. Wenn die Ventilhalterung nicht durch einen Überspannungsableiter geschützt ist, sollte die maximale Blitzstoßspannung durch Systemstudien bestimmt werden.

Die Prüfspannung ist die Prüfspannung nach IEC 60700-1, 6.3.5. Die Prüfspannung muss eine atmosphärische Korrektur enthalten, die nach IEC 60060-1 bestimmt und nach IEC 60700-1 angewendet wird.

5.3.13 Maximale Steilstoßspannung zwischen Ventilanschlüssen ($U_{st(v)max}$)

Dies bezeichnet den Maximalwert des Steilstoßes, der an den Anschlüssen eines Ventils auftritt. Der Steilstoß hat eine Zeit, die geringer ist als die des Standardblitzstoßes, jedoch nicht kürzer als die einer sehr schnellen Steilstoßspannung nach IEC 60071-1. In vielen Fällen ist das Ventil durch einen Überspannungsableiter geschützt, daher ist der Maximalwert der Steilstoßschutzpegel des Überspannungsableiters STIPL_v. Die vordere Steilheit sollte durch Systemstudien bestimmt werden.

Wenn das Ventil nicht durch einen Überspannungsableiter geschützt ist, sollte der Wert der Steilstoßspannung an der Stilfront einschließlich ihrer Steilheit durch Systemstudien bestimmt werden.

Die Prüfspannung entspricht der Definition in IEC 60700-1, 8.3.6.

5.3.14 Maximale Steilstoßspannung über Mehrfachventilen ($U_{st(m)max}$)

Dies bezeichnet den Maximalwert des Steilstoßes, der an den Anschlüssen einer MVU auftritt. Steilstöße entstehen durch Erdschlüsse auf der Ventilseite des Transformators. Die sich daraus ergebende schnelle Umverteilung der Energie in lokalen Streu- und Dämpfungskapazitäten führt zu Steilstoßspannungen an dem mit der fehlerhaften Phase verbundenen Ventil. Die DC-Pol- und Leitungs- oder Kabelkapazitäten werden

durch die DC-Glättungs-drossel- und Transformator-Streureaktanz entladen, was zu Spannungen mit viel langsameren Flanken führt. In den meisten Fällen gelten daher für die MVU keine Steilstoßspannungen.

5.3.15 Maximale Steilstoßspannung über der Ventilhalterung ($U_{st(vs)max}$)

Dies bezeichnet den Maximalwert des Steilstoßes, der an den Anschlüssen einer Ventilhalterung auftritt. Steilstöße entstehen durch Erdschlüsse auf der Ventilseite des Transformators. Erdung auf der Umrichterseite und das Vorhandensein der Gleichstrom-Glättungs-drossel führen zu Spannungsspitzen, wobei viel langsamere Flanken über den Stützisolatoren auftreten. In den meisten Fällen gelten Steilstoßspannungen daher nicht für Ventilträgerisolatoren.

6 Eigenschaften

6.1 Allgemeines

Die Eigenschaften müssen vom Lieferanten bei Nennbetriebsbedingungen angegeben werden, soweit nicht anderweitig angegeben.

6.2 Verlusteigenschaften

6.2.1 Allgemeines

Eine direkte Messung von Ventilverlusten ist aufgrund unzureichender Genauigkeit der verfügbaren Messinstrumente und -methoden nicht möglich. Die Verluste von Thyristorventilen sollten nach den in IEC 61803 empfohlenen Methoden berechnet werden.

Die Lastverluste sind die Gesamtverluste bei der Energieübertragung, die sich aus folgenden Bestandteilen zusammensetzen:

- a) Thyristorleitungsverluste pro Ventil (P_{V1}), und
- b) Thyristorausbreitungsverluste pro Ventil (P_{V2}), und
- c) sonstige Leitungsverluste pro Ventil (P_{V3}), und
- d) gleichspannungsabhängige Verluste pro Ventil (P_{V4}), und
- e) Dämpfungsverluste pro Ventil (widerstandsabhängiger Anteil) (P_{V5}), und
- f) Dämpfungsverluste pro Ventil (Änderung des Anteils der Kondensatorenergie) (P_{V6}), und
- g) Ausschaltverluste pro Ventil (P_{V7}), und
- h) Drosselverluste pro Ventil (P_{V8}).

Die Leerlaufverluste im Standby treten in einer anderen Betriebsart mit unter Spannung stehenden, aber blockierten Ventilen auf, die nur aus Folgendem bestehen:

- a) gleichspannungsabhängige Verluste pro Ventil (P_{V4}), und
- b) Dämpfungsverluste pro Ventil (widerstandsabhängiger Anteil) (P_{V5}).

6.2.2 Zugesicherte Lastverluste pro Ventil (P_G)

Dies bezeichnet den Maximalwert der Gesamtverluste eines Ventils unter Nennbetriebsbedingungen. Die temperaturabhängigen Parameter, wie z. B. der Durchlassspannungsabfall und die Speicherladung von Thyristoren, sind bei ihrer erwarteten Betriebstemperatur zu berechnen. Sie sollten vom Lieferanten in geeigneter Weise überprüft werden.