

	DIN EN IEC 60071-11 (VDE 0111-11)	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 01.040.29; 29.080.30

Einsprüche bis 2021-08-04

Entwurf

**Isulationskoordination für HVDC Systeme –
Teil 11: Begriffe, Grundsätze und Anforderungen
(IEC 99/307/CD:2021);
Text Deutsch und Englisch**

Insulation co-ordination for HVDC system –
Part 11: Definitions, principles and rules
(IEC 99/307/CD:2021);
Text in German and English

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-06-04 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 70 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 99/307/CD:2021-01 „Insulation co-ordination for HVDC system – Part 11: Definitions, principles and rules“ (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 IEC/TC 99 „Insulation co-ordination and system engineering of high voltage electrical power installations above 1,0 kV AC and 1,5 kV DC“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und unterliegt dem Copyright der IEC . Das Dokument wurde den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

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 DKE/UK 222.1 „Isolationskoordination für elektrische Anlagen über 1,0 kV AC und 1,5 kV DC“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

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.

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

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.

Auf der letzten TC 99-Sitzung am 05.10.2020 wurde – aufgrund des Vorschlags der JWG 13 – beschlossen, die Projektnummer von IEC 63313-1 in IEC 60071-11 zu ändern.

Inhalt

Seite

1	Allgemeines.....	5
1.1	Anwendungsbereich.....	5
1.2	Ergänzende Informationen.....	5
2	Normative Verweisungen.....	5
3	Begriffe, Definitionen, Abkürzungen und Formelzeichen.....	6
4	Formelzeichen und Abkürzungen.....	12
4.1	Allgemeines.....	12
4.2	Indizes.....	12
4.3	Formelzeichen.....	12
4.4	Abkürzungen.....	13
5	Grundsätze der Isolationskoordination.....	13
5.1	Allgemeines.....	13
5.2	Wesentliche Unterschiede zwischen AC- und DC-Netzen.....	14
5.3	Verfahren für die Isolationskoordination.....	14
5.4	Vergleich der Auswahl von Stehspannungen in AC- und DC-Netzen.....	14
6	Auslegungsverfahren für die Isolationskoordination.....	17
6.1	Allgemeines.....	17
6.2	Eigenschaften der Überspannungsableiter.....	18
6.3	Eigenschaften der Isolierung.....	18
6.4	Bestimmung der repräsentativen Überspannungen (U_{rp}).....	18
6.5	Bestimmung der Koordinationsstehspannung (U_{cw}).....	18
6.6	Bestimmung der erforderlichen Stehspannung (U_{rw}).....	19
6.7	Bestimmung der festgelegten Stehspannung (U_w).....	20
7	Anforderungen zur Prüfung der Stehspannung.....	20
8	Anforderungen zur Prüfung der Stehspannung.....	21
8.1	Allgemeines.....	21
8.2	Basisspannung für den Kriechweg.....	21
8.3	Kriechweg für Freiluftisolationen unter Gleichspannung.....	21
8.4	Kriechweg für Innenraumisolationen unter Gleich- oder Mischspannung.....	22
8.5	Kriechwege von Wechselspannungsisolatoren.....	22
9	Luftstrecken.....	22
	Anhang A (informativ) Typischer Aufbau von HGÜ-Stromrichterstationen.....	24
	Anhang B (informativ) Beispiele für die Berechnung von Luftstrecken.....	27
	Anhang C (informativ) Beispiele für typische DC Spannungen mit Isolationspegeln und zugehörigen Luftstrecken.....	30
	Anhang D (informativ) Typische Ableitercharakteristik.....	34
	Literaturhinweise.....	35

Tabellen

Tabelle 1 – Kategorien und Formen von Überspannungen, genormten Spannungsformen und genormten Stehspannungsprüfungen	7
Tabelle 2 – Vergleich der Verfahren zur Isolationskoordination bei AC und DC Systemen.....	15
Tabelle 3 – Richtwerte für die Verhältnisse von erforderlicher Stehstoßspannung zum Stoßspannungsschutzpegel	20
Tabelle A.1 – Beschreibung der Symbole	26
Tabelle C.1 – Typische DC Spannungen und Schaltstoß-/Blitzstoßstehspannungen	31
Tabelle C.2 – Zusammenhang zwischen vermuteter Bemessungs-Schaltstoßstehspannung und minimaler Leiter-Erde Luftstrecke	32
Tabelle C.3 – Zusammenhang zwischen vermuteter Bemessungs-Blitzstoßstehspannung und minimaler Leiter-Erde Luftstrecke	33

Bilder

Bild 1 – Vergleich der Auswahl der Stehspannungen für AC-Betriebsmittel mit der für Betriebsmittel in HGÜ-Stromrichterstationen	17
Bild A.1 – Mögliche Stellen für Überspannungsableiter in einem Pol mit zwei in Reihe geschalteten 12-Puls-Stromrichtern.....	25
Bild A.2 – Mögliche Stellen für Überspannungsableiter bei einem symmetrischen Bipol einer VSC Umrichterstation	25
Bild A.3 – Mögliche Stellen für Überspannungsableiter bei einem symmetrischen Monopol einer VSC Umrichterstation	26
Bild D.1 – Typische Ableitercharakteristik	34

Isolationskoordination für HVDC Systeme – Teil 11: Begriffe, Grundsätze und Anforderungen

1 Allgemeines

1.1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für Hochspannungs-Gleichstrom-Systeme (HGÜ). Sie spezifiziert die Grundsätze der Verfahren zur Ermittlung der festgelegten Stehspannung, der Kriechwege und der Luftabstände für Geräte und Installationen dieser Systeme.

Diese Norm beschreibt die Grundlagen der Isolations-Koordination für HGÜ Systeme mit Stromzwischenkreis-Konverter (LCC) und Spannungszwischenkreis-Konverter (VSC). Die wesentlichen Grundsätze dieser Norm sind auch für andere, besondere Konverter Anordnungen der LCC Technik, wie zum Beispiel kondensatorgeführte Stromrichter (CCC) oder auch gesteuerte Reihenkondensator-Stromrichter (CSCC) usw. einzusetzen.

Diese Norm betrifft die Isolationskoordination der Betriebsmittel, die zwischen der AC-Sammelschiene des Stromrichters (einschließlich AC-Oberschwingungsfilter, Stromrichtertransformator, Leistungsschalter) und der Gleichstrom Leitungsseite angeschlossen sind. Soweit die Leitungs- und Kabelanschlüsse einen Einfluss auf die Isolationskoordination der Betriebsmittel der Stromrichterstation haben, sind mit enthalten.

Diese Norm gilt nur für HGÜ-Anwendungen in Hochspannungs-Wechselstromnetzen und nicht für industrielle Umrichtereinrichtungen. Die Grundsätze und Richtlinien werden nur für die Zwecke der Isolations-koordination angegeben. In dieser Norm werden keine Anforderungen an die Sicherheit von Personen behandelt.

1.2 Ergänzende Informationen

Die Anwendung von Leistungselektronik in einer Reihen- und/oder Parallelanordnung gemeinsam mit den für den Umrichtvorgang eingesetzten charakteristischen Steuerungs- und Schutzstrategien hat Auswirkungen, die im Vergleich zu Stationen in Wechselstromnetzen (AC-Netzen) eine besondere Betrachtung des Überspannungsschutzes der Ausrüstungen in Stromrichterstationen erforderlich machen.

Es werden die Grundprinzipien und Entwurfsziele der Isolationskoordination von Stromrichterstationen beschrieben, soweit sie sich von der üblichen Praxis in AC-Netzen unterscheiden.

ANMERKUNG In der IEC 60071-12 Anwendungsregeln, werden alle Regeln zur Isolationskoordination, die in diesem Standard verwendet werden im Detail erläutert. Insbesondere die Verbindung der festgelegten Stehspannung mit der Bemessungsspannung für die Geräte und die Ableiteranordnung.

2 Normative Verweisungen

Auf die folgenden Dokumente wird im Text so Bezug genommen, dass Teile oder der gesamte Inhalt Anforderungen dieses Dokuments darstellen. 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 60060-1, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

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

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

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

IEC 60633, *Terminology for high-voltage direct current (HVDC) transmission*

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

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

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

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

3 Begriffe, Definitionen, Abkürzungen und Formelzeichen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe und Definitionen.

ANMERKUNG Viele der folgenden Begriffe beziehen sich auf Konzepte der Isolationskoordination (IEC 60071-1) oder auf Parameter von Überspannungsableitern (IEC 60099-4).

3.1

Isolationskoordination

Auswahl der dielektrischen Festigkeit von Betriebsmitteln, die für ein bestimmtes Netz vorgesehen sind, in Abhängigkeit von Betriebsspannungen und Überspannungen, die in diesem Netz unter Berücksichtigung der betrieblichen Umgebungsbedingungen und der Eigenschaften der verfügbaren Überspannungsschutzeinrichtungen auftreten können

[QUELLE: IEC 60071-1:2019, 3.1]

3.2

Nenngleichspannung

Mittelwert der Gleichspannung, die zur Übertragung der Nennleistung bei Nennstrom erforderlich ist

3.3

höchste Gleichspannung

höchster Wert der Gleichspannung, für die das Betriebsmittel ausgelegt ist, um in Bezug auf seine Isolation und weitere Kennwerte im Dauerbetrieb zu arbeiten

3.4

Überspannung

Spannung mit einem Wert, der die entsprechende höchste stationäre Spannung des Netzes überschreitet

Anmerkung 1 zum Begriff: In **Tabelle 1** (nach IEC 60071-1) wird die Einteilung dieser Spannungen dargestellt, die in den **Abschnitten 3.4.1 bis 3.4.2.3** definiert werden.

Tabelle 1 – Kategorien und Formen von Überspannungen, genormten Spannungsformen und genormten Stehspannungsprüfungen

Kategorie	Niederfrequent		Transient		
	dauernd	zeitweilig	langsamer Anstieg	schneller Anstieg	sehr schneller Anstieg
Spannungs- bzw. Überspannungsformen					
Bereich der Spannungs- bzw. Überspannungsformen	$f = 50 \text{ Hz}$ oder 60 Hz $T_t \geq 3\,600 \text{ s}$	$10 \text{ Hz} < f < 500 \text{ Hz}$ $0,02 \text{ s} \leq T_t \leq 3\,600 \text{ s}$	$20 \mu\text{s} < T_p \leq 5\,000 \mu\text{s}$ $T_2 \leq 20 \text{ ms}$	$0,1 \mu\text{s} < T_1 \leq 20 \mu\text{s}$ $T_2 \leq 300 \mu\text{s}$	$T_f \leq 100 \text{ ns}$ $0,3 \text{ MHz} < f_1 < 100 \text{ MHz}$ $30 \text{ kHz} < f_2 < 300 \text{ kHz}$
Genormte Spannungsform					a
	$f = 50 \text{ Hz}$ oder 60 Hz T_t^a	$48 \text{ Hz} \leq f \leq 62 \text{ Hz}$ $T_t = 60 \text{ s}$	$T_p = 250 \mu\text{s}$ $T_2 = 2\,500 \mu\text{s}$	$T_1 = 1,2 \mu\text{s}$ $T_2 = 50 \mu\text{s}$	
Genormte Stehspannungsprüfung	a	Kurzzeitwechsel-Spannungsprüfung	Schaltstoßspannungsprüfung	Blitzstoßspannungsprüfung	a
a Festzulegen durch das zuständige Geräte-Komitee.					

3.4.1

zeitweilige Überspannung

Überspannungen mit relativ langer Dauer (von 0,02 s bis 3 600 s nach IEC 60071-1)

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Überspannung kann ungedämpft oder schwach gedämpft sein.

3.4.2

transiente Überspannung

kurzzeitige Überspannung von einigen Millisekunden oder weniger, schwingend oder nicht schwingend, die gewöhnlich stark gedämpft ist

[QUELLE: IEC 60071-1:2019, 3.17.3]

3.4.2.1

langsam ansteigende Überspannung

transiente Überspannung, normalerweise unipolar, mit Anstiegszeiten von $20 \mu\text{s} < T_p \leq 5\,000 \mu\text{s}$ und Rückenzeiten $T_2 \leq 20 \text{ ms}$

Anmerkung 1 zum Begriff: Für die Zwecke der Isolationskoordination werden langsam ansteigende Überspannungen nach ihrer Form unabhängig von ihrem Ursprung klassifiziert. Obwohl in den realen Netzen beträchtliche Abweichungen von den genormten Formen auftreten, wird es in dieser Norm für die meisten Fälle als ausreichend angesehen, solche Überspannungen durch ihre Kategorie und ihren Spitzenwert zu beschreiben.

3.4.2.2

schnell ansteigende Überspannung

Überspannung an einer bestimmten Stelle in einem Netz aufgrund einer Blitzentladung oder aufgrund einer anderen Ursache, deren Form für die Zwecke der Isolationskoordination als dem Standardimpuls (IEC 60060-1) ähnlich angesehen werden kann, der für Blitzstoßspannungsprüfungen verwendet wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Schnell ansteigende Überspannung ist definiert als transiente Überspannung, normalerweise unipolar, mit Anstiegszeiten von $0,1 \mu\text{s} < T_1 \leq 20 \mu\text{s}$ und Rückenzeiten $T_2 \leq 300 \mu\text{s}$ nach IEC 60071-1:2019, 3.17.3.2.

Anmerkung 2 zum Begriff: Für die Zwecke der Isolationskoordination werden langsam und schnell ansteigende Überspannungen nach ihrer Form unabhängig von ihrem Ursprung klassifiziert. Obwohl in den realen Netzen beträchtliche Abweichungen von den genormten Formen auftreten können, wird es in dieser Norm für die meisten Fälle als ausreichend angesehen, solche Überspannungen durch ihre Kategorie und ihren Spitzenwert zu beschreiben.

3.4.2.3

sehr schnell ansteigende Überspannung

transiente Überspannung, normalerweise unipolar, mit Anstiegszeiten $T_1 \leq 0,1 \mu\text{s}$, und mit oder ohne überlagerte Schwingungen mit einer Frequenz von $30 \text{ kHz} < f < 100 \text{ MHz}$

[QUELLE: IEC 60071-1:2019, 3.17.3.3]

3.4.2.4

steile Überspannung

transiente Überspannung, die als eine Art der schnell ansteigenden Überspannung mit einer Anstiegszeit $3 \text{ ns} < T_1 < 1,2 \mu\text{s}$ klassifiziert wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine steile Stoßspannung für Prüfzwecke ist in IEC 60700-1 definiert.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Stirnzeit wird mit Netzuntersuchungen bestimmt.

3.4.2.5

kombinierte Überspannung

Überspannung aus zwei Spannungskomponenten, die gleichzeitig zwischen beide Außenleiteranschlüsse einer Leiter-Leiter-Isolierung (oder Längsisolierung) und Erde angelegt werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Kombinierte Überspannungen können zeitweilige, langsam ansteigende, schnell ansteigende und sehr schnell ansteigend Überspannungen beinhalten.

Anmerkung 2 zum Begriff: Sie wird nach der Komponente mit dem höheren Scheitelwert klassifiziert.

3.5

repräsentative Überspannungen

U_{rp}

Überspannungen, von denen angenommen wird, dass sie die gleichen dielektrischen Auswirkungen auf die Isolation haben wie Überspannungen einer bestimmten Kategorie, die im Betrieb aufgrund von verschiedenen Ursachen auftreten

Anmerkung 1 zum Begriff: In dieser Spezifikation wird allgemein angenommen, dass die repräsentativen Überspannungen durch ihre angenommenen oder ermittelten Maximalwerte charakterisiert werden.

[QUELLE: IEC 60071-1:2019, 3.19]

3.5.1

repräsentative langsam ansteigende Überspannung

RSFO

Wert der Spannung zwischen den Anschlussklemmen eines Betriebsmittels mit der Form einer genormten Schaltstoßspannung

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Anmerkung betrifft nur die französische Übersetzung.

3.5.2

repräsentative schnell ansteigende Überspannung

RFFO

Wert der Spannung zwischen den Anschlussklemme eines Betriebsmittels mit der Form einer genormten Blitzstoßspannung

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Anmerkung betrifft nur die französische Übersetzung.

3.5.3

repräsentative steile Überspannung

RSTO

Wert der Spannung mit einer genormten Form und mit einer Zeit bis zum Scheitel, die kürzer als die einer genormten Blitzstoßspannung, jedoch nicht kürzer als die der sehr schnell ansteigenden Überspannung nach IEC 60071-1 ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine steile Stoßspannung für Prüfzwecke ist in IEC 60700-1:2008, Bild 1 definiert. Die Stirnzeit wird mit Netzuntersuchungen bestimmt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Diese Anmerkung betrifft nur die französische Übersetzung.

3.6

Koordinationsstehspannung

U_{cw}

für jede Spannungskategorie der Wert der Stehspannung einer praktischen Isolieranordnung unter tatsächlichen Betriebsbedingungen, der das Auswahlkriterium erfüllt (IEC 60071-1)

3.7

erforderliche Stehspannung

U_{rw}

Prüfspannung, der die Isolierung bei einer genormten Stehspannungsprüfung widerstehen muss, um sicherzustellen, dass die Isolation das Auswahlkriterium erfüllt, wenn sie einer gewissen Überspannungsart unter realistischen Betriebsbedingungen und für die gesamte Betriebslebensdauer unterworfen ist. Die erforderliche Stehspannung hat die Form der Koordinationsstehspannung und ist im Hinblick auf alle Bedingungen der genormten Stehspannungsprüfung festgelegt worden.

[QUELLE: IEC 60071-1:2006, 3.27]

3.8

Festgelegte Stehspannung

U_w

Wert der Prüfspannung, der in geeigneter Weise gleich oder oberhalb der erforderlichen Stehspannung (U_{rw}) ausgewählt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Für AC-Betriebsmittel sind die Werte der Stehspannungen U_w nach IEC 60071-1 genormt. Für HGÜ-Betriebsmittel gibt es keine genormten Werte für die Stehspannungen, die auf geeignete praktische Werte gerundet werden.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die genormten Stoßspannungsformen, die für die Stehspannungsprüfungen an Betriebsmitteln angewendet werden, sowie die Prüfverfahren sind in IEC 60060-1 und IEC 60071-1 definiert. Für einige DC-Betriebsmittel (z. B. die Thyristorventile) dürfen die genormten Stoßspannungsformen verändert werden, damit sie den erwarteten Bedingungen besser entsprechen.

3.8.1

Schaltstoßstehspannung

SIWV

Stehspannung der Isolierung mit der Form der genormten Schaltstoßspannung

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Anmerkung betrifft nur die französische Übersetzung.

3.8.2

Blitzstoßstehspannung

LIWV

Stehspannung der Isolierung mit der Form der genormten Blitzstoßspannung

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Anmerkung betrifft nur die französische Übersetzung.

3.8.3

Steilstoßstehspannung

STIWV

Stehspannung der Isolierung mit der in IEC 60071-1 festgelegten Form

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Anmerkung betrifft nur die französische Übersetzung.

3.9

Ableiter-Dauerspannung

U_c

zulässiger Effektivwert der betriebsfrequenten Wechselspannung, die dauernd über den Ableiterklemmen angelegt werden darf

[QUELLE: IEC 60099-4:2014, 3.9]

3.10

Ableiter-Dauerspannung mit Oberschwingungen

U_{ch}

Effektivwert der Kombination aus betriebsfrequenter Wechselspannung und Oberschwingungen, der dauernd über den Ableiterklemmen angelegt werden darf

Anmerkung 1 zum Begriff: Es sollte beachtet werden, dass diese Definition nur Überspannungs-Schutzpegel betrifft und nicht die Bewertung der energetischen Anforderungen an Ableiter.

3.11

Ersatzdauerbetriebsspannung eines Überspannungsableiters

ECOV

Effektivwert der sinusförmigen betriebsfrequenten Spannung an einem Metalloxid-Überspannungsableiter, der durch eine Betriebsspannung mit beliebiger Form beansprucht wird, welche die gleichen Leistungsverluste in den Metalloxid-Materialien verursacht wie die tatsächliche Betriebsspannung

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Anmerkung betrifft nur die französische Übersetzung.

3.12

Restspannung eines Überspannungsableiters

Spitzenwert der Spannung zwischen den Anschlussklemmen eines Überspannungsableiters während des Fließens eines Ableitstroms

[QUELLE: IEC 60099-4:2014, 3.36]

3.13

Koordinationsströme eines Überspannungsableiters

bei einem bestimmten zu untersuchenden Netz und für jede Klasse von Überspannung der Strom durch den Überspannungsableiter, für den die repräsentative Überspannung bestimmt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die genormten Formen der Koordinationsströme für Steilstoß-, Blitzstoß- und Schaltstoß-impulse werden in IEC 60099-4 angegeben.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Koordinationsströme werden mit Netzuntersuchungen bestimmt.

3.14

Schutzpegel eines Überspannungsableiters

Restspannung zwischen den Anschlussklemmen eines Überspannungsableiters während des Fließens des Ableitstroms, der dem Koordinationsstrom für jede Spannungsklasse entspricht

Anmerkung 1 zum Begriff: Für HGÜ-Stromrichterbetriebsmittel gelten die folgenden spezifischen Begriffe in 3.14.1 bis 3.14.3.

3.14.1

Schaltstoßschutzpegel

SIPL

Restspannung eines Überspannungsableiters, der einem Ableitstoßstrom entsprechend dem Koordinations-Schaltstoßstrom ausgesetzt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Anmerkung betrifft nur die französische Übersetzung.

3.14.2

Blitzstoßschutzpegel

LIPL

Restspannung eines Überspannungsableiters, der einem Ableitstoßstrom entsprechend dem Koordinations-Blitzstoßstrom ausgesetzt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Anmerkung betrifft nur die französische Übersetzung.

3.14.3

Steilstoßschutzpegel

STIPL

Restspannung eines Überspannungsableiters, der einem Ableitstoßstrom entsprechend dem Koordinations-Steilstoßstrom ausgesetzt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Anmerkung betrifft nur die französische Übersetzung.

3.15

direkt geschütztes Betriebsmittel

Betriebsmittel, das in vernachlässigbarem Abstand parallel zu einem Überspannungsableiter geschaltet ist und bei dem jede repräsentative Überspannung gleich dem entsprechenden Schutzpegel betrachtet werden kann

3.16

Kriechstrecke

kürzeste Strecke oder Summe der kürzesten Strecken entlang des Isolators zwischen den Teilen, zwischen denen gewöhnlich die Betriebsspannung anliegt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Oberfläche von Zement oder eines anderen nichtisolierenden Verbindungswerkstoffes wird nicht als Bestandteil des Kriechweges angesehen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Wenn Beschichtungen mit hohem Widerstand, z. B. halbleitende Glasur, auf Teile eines Isolators aufgebracht sind, werden diese Teile als wirksame Isolierflächen angesehen, und der Weg über sie wird in den Kriechweg einbezogen.

[QUELLE: IEC 60815-1:2008, 3.1.5]

3.17

vereinheitlichter spezifischer Kriechweg

USCD

Kriechweg eines Isolators geteilt durch den Effektivwert der höchsten Betriebsspannung über dem Isolator

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Definition unterscheidet sich von der des spezifischen Kriechwegs, bei der der Leiter-Leiter-Wert der höchsten Spannung für Betriebsmittel verwendet wird.

E DIN EN IEC 60071-11 (VDE 0111-11):2021-07

Anmerkung 2 zum Begriff: Für „ U_m “ siehe IEC 60050-604:1987, 604-03-01 [5]¹.

Anmerkung 3 zum Begriff: Er wird im Allgemeinen in mm/kV und im Regelfall als Minimum angegeben.

Anmerkung 4 zum Begriff: Diese Anmerkung betrifft nur die französische Übersetzung.

[QUELLE: IEC/TS 60815-1:2008, 3.1.6]

3.18

Trennabstand

der Abstand zwischen dem Hochspannungsanschluss des geschützten Betriebsmittels und dem Anschlusspunkt des Hochspannungsableiters

3.19

Auswahlkriterium

Grundlage, auf der die Isolation so ausgewählt wird, dass die Wahrscheinlichkeit eines Fehlers der Geräteisolation oder einer Beeinträchtigung der betrieblichen Funktion durch eine entstehende Spannungsbeanspruchung auf ein wirtschaftlich und betrieblich akzeptables Maß reduziert wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Auswahlkriterium wird im Allgemeinen durch eine akzeptable Fehlerrate der Isolierungsanordnung ausgedrückt (Anzahl von Fehlern je Jahr, Anzahl der Jahre zwischen Fehlern, Fehlerrisiko usw.).

[QUELLE: IEC 60071-1:2018, 3.23]

4 Formelzeichen und Abkürzungen

4.1 Allgemeines

Die Zusammenstellung enthält nur die häufig verwendeten Formelzeichen und Abkürzungen, von denen einige grafisch im Netzschema in [Bild A.1](#) und [Tabelle A.1](#) dargestellt sind. Eine umfassendere Zusammenstellung der Formelzeichen, wie sie für HGÜ-Stromrichterstationen und auch für die Isolationskoordination anwendbar ist, werden in den Normen aufgeführt, die in den normativen Verweisungen ([Abschnitt 2](#)) und den Literaturhinweisen angegeben sind.

4.2 Indizes

0	(null) Leerlauf (IEC 60633)
d	Gleichstrom oder -spannung (IEC 60633)
i	ideeller Wert (IEC 60633)
max	Maximum (IEC 60633)
n	Ordnungszahl der n -ten Oberschwingung (IEC 60633)

4.3 Formelzeichen

K_a	Höhenkorrekturfaktor (IEC 60071-1)
K_c	Koordinationsfaktor (IEC 60071-1)
K_s	Sicherheitsfaktor (IEC 60071-1)
U_c	Ableiter-Dauerspannung
U_{ch}	Ableiter-Dauerspannung mit Oberschwingungen
U_n	Nenngleichspannung

¹ Zahlen in eckigen Klammern verweisen auf die Literaturhinweise.

U_s	höchste Betriebsspannung des Wechselstrom Netzes (IEC 60071-1 und IEC 60071-2)
U_m	höchste Spannung für ein Betriebsmittel
U_{50}	50 % Überslagsspannung
U_{rp}	repräsentative Überspannung
U_{cw}	Koordinationsstehspannung
U_{rw}	erforderliche Stehspannung
U_w	genormte Stehspannung (genormte Bemessungsspannung bei Wechselstrom)

4.4 Abkürzungen

HVDC	Hochspannungs-Gleichstrom
d.c.	Gleichstrom
a.c.	Wechselstrom
LCC	netzgeführter Stromrichter (Stromzwischenkreis)
VSC	selbstgeführter Stromrichter (Spannungzwischenkreis)
CCC	kondensatorgeführter Stromrichter
CSCC	gesteuerter Reihenkontensator-Stromrichter
CCOV	Scheitelwert der Dauerbetriebsspannung
PCOV	Spitzenwert der Dauerbetriebsspannung
ECOV	Ersatzdauerbetriebsspannung
RSFO	repräsentative langsam ansteigende Überspannung (Höchstwert der Spannungsbeanspruchung)
RFFO	repräsentative schnell ansteigende Überspannung (Höchstwert der Spannungsbeanspruchung)
RSTO	repräsentative steile Überspannung (Höchstwert der Spannungsbeanspruchung)
CFO	kritische Überslag Überspannung
SIPL	Schaltstoßschutzpegel
LIPL	Blitzstoßschutzpegel
STIPL	Steilstoßschutzpegel
SIWV	Schaltstoßstehspannung
LIWV	Blitzstoßstehspannung
STIWV	Steilstoßstehspannung

5 Grundsätze der Isolationskoordination

5.1 Allgemeines

Die Hauptziele der Isolationskoordination sind:

- die Bestimmung der höchsten stationären, zeitweiligen und transienten Überspannungspegel, denen die verschiedenen Komponenten einer Anlage in der Praxis ausgesetzt sein können;
- die Auswahl der Isolationsfestigkeit und der Eigenschaften von Betriebsmitteln, einschließlich der Schutzeinrichtungen, die im Falle von Überspannungen zum Aufbau einer sicheren, wirtschaftlichen und zuverlässigen Anlage verwendet werden.

5.2 Wesentliche Unterschiede zwischen AC- und DC-Netzen

Die für eine HGÜ-Stromrichterstation angewendete Isolationskoordination ist in ihren Grundzügen die gleiche wie bei AC-Stationen. Es gibt jedoch wesentliche Unterschiede, die bei der Behandlung von HGÜ-

Stromrichterstationen unbedingt zu berücksichtigen sind. So ist es beispielsweise notwendig, Folgendes in Betracht zu ziehen:

- a) Anforderungen an Ventilgruppen in Reihenschaltung unter Einbeziehung von Überspannungsableitern, die über den einzelnen Ventilen und zwischen erdpotentialfernen Anschlüssen liegen, welche die Anwendung unterschiedlicher Isolationspegel für die einzelnen Teile der HGÜ-Stromrichterstation zur Folge haben;
- b) die Topologie der Stromrichterkreise ohne direkte Beanspruchung mit der äußeren Überspannung, weil diese Stromkreise über Induktivitäten der Stromrichtertransformatoren und Glättungsdrosseln angeschlossen sind;
- c) das Vorhandensein von Blindleistungsquellen und Oberschwingungsfiltern auf der AC- und DC-Seite führen zu möglichen Überspannungen und lassen Resonanzbedingungen wahrscheinlicher werden;
- d) Anwendungen mit langen Freileitungen und/oder Kabeln ohne zwischenliegende Schaltstationen mit der Möglichkeit von Resonanzbedingungen auf der DC-Seite;
- e) das Vorhandensein von Stromrichtertransformatoren, wobei die Ventilseite nicht direkt mit dem Erdpotential verbunden ist, und ein Gleichspannungsoffset;
- f) die Kennwerte der Stromrichterventile, die zu zusammengesetzten Wellenformen führen (die in einigen Fällen eine Kombination aus Gleichspannung, Grundsprungspannung, Oberschwingungsspannungen und hochfrequenten Komponenten umfassen), Kommutierungsausfälle usw.;
- g) Steuerungsfehlfunktionen, die zu möglichen Ventilfehlzündungen, Zündaussetzern, Stromlösungen führen;
- h) schnelle Regel- und Schutzaktionen verringern Überspannungen;
- i) Polaritätseffekte der DC-Beanspruchung; aufgrund der gleichbleibenden Polarität werden Verschmutzungen stärker auf die DC-Isolierung gezogen, und es ergeben sich höhere Anforderungen an die Kriech- und Luftstrecken, und im Vergleich zur AC-Isolierung unter den gleichen Umgebungsbedingungen verschlechtert sich das Verschmutzungs- und Überschlagverhalten;
- j) Wechselwirkung zwischen den AC- und DC-Netzen, besonders, wenn das AC-Netz relativ schwach ist;
- k) die unterschiedlichen Betriebsarten der Stromrichter, wie Monopol-, Bipol-, Parallel- oder Mehrpunkt-Betrieb;
- l) für DC-Netze gibt es keine genormten Isolationspegel.

5.3 Verfahren für die Isolationskoordination

Das allgemeine Verfahren für die Untersuchung einer HGÜ-Stromrichterstation umfasst Folgendes:

- a) Auswahl der Konfiguration des DC-Kreises, beispielsweise die Stelle der DC-Glättungsdrosseln, Stelle der DC-seitigen Erdung, Verbindung der Ventilwicklung der Stromrichtertransformatoren (Stern oder Dreieck) zum Erzeugen höherer Gleichspannungen;
- b) Auswahl der Anordnung der Ableiter entsprechend der ausgewählten Konfiguration des DC-Kreises;
- c) Bewertung der Kennwerte des AC-Netzes an der Kommutierungs-Sammelschiene sowie des DC-Netzes und deren Wechselwirkung zur Bestimmung der verschiedenen repräsentativen Überspannungen sowie Strom-/Energiebeanspruchungen, die auf die Ableiter einwirken;
- d) Optimierung der Auslegung durch iterative Beurteilung der Anforderungen an Betriebsmittelisolierung und Ableiter.

5.4 Vergleich der Auswahl von Stehspannungen in AC- und DC-Netzen

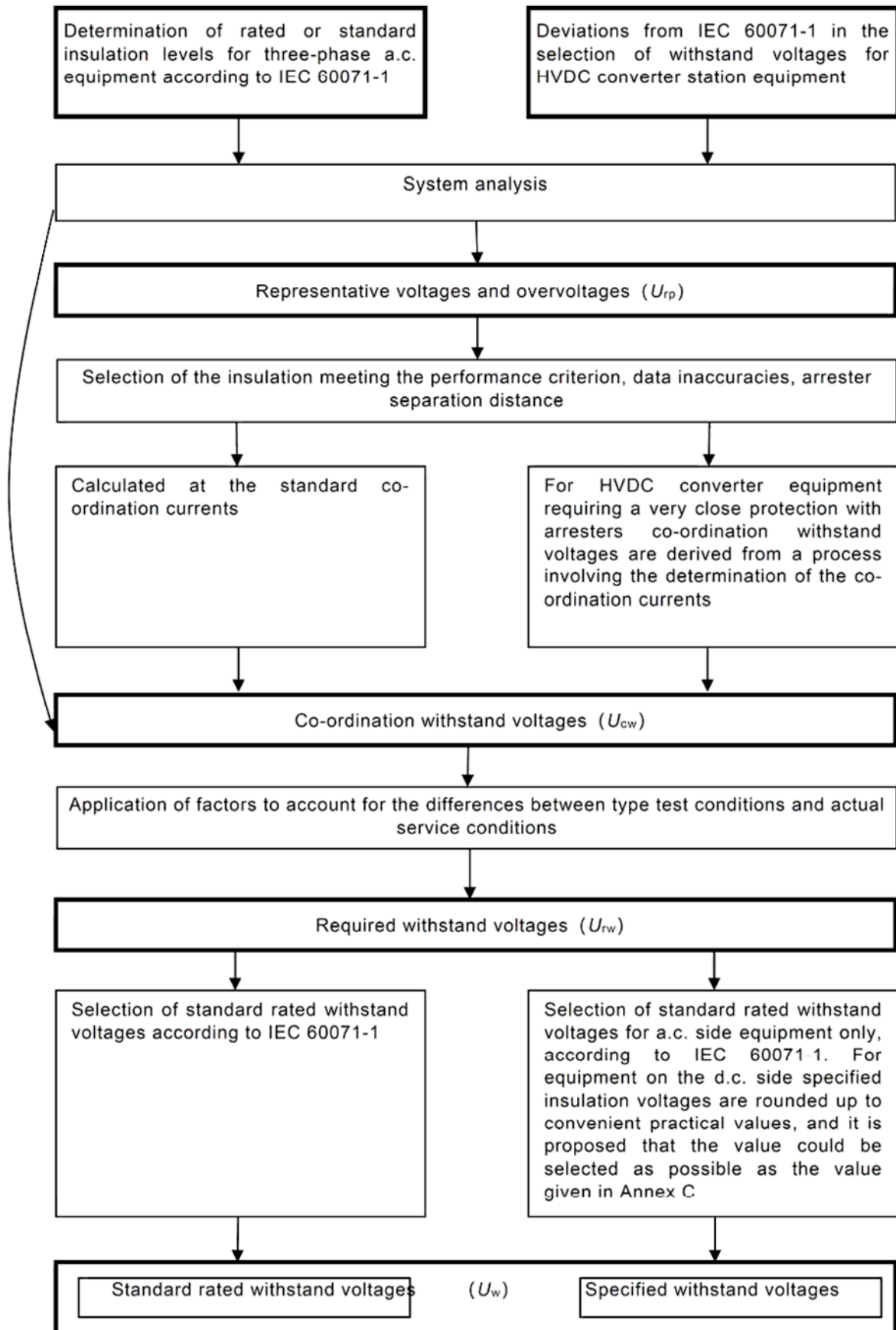
Wie in der IEC 60071-1 beschrieben gibt es vier Hauptschritte im Verfahren der Isolationskoordination, die nachfolgend in der Tabelle 2 zusammengestellt sind:

Tabelle 2 – Vergleich der Verfahren zur Isolationskoordination bei AC und DC Systemen

Verfahren	AC System	DC System
Schritt 1:	Bestimmung der repräsentativen Überspannungen (U_{rp})	
Schritt 2:	Bestimmung der Koordinationsstehspannungen (U_{cw})	
Schritt 3:	Bestimmung der erforderlichen Stehspannungen (U_{rw})	
Schritt 4:	Bestimmung der genormten Stehspannungen (U_w)	Bestimmung der festgelegten Stehspannungen (U_w)

Bild 1 ist ein Flussdiagramm, in dem das Verfahren für die Auswahl der Stehspannungen (U_w) in AC-Netzen (Bild 1 in IEC 60071-1:2006) und in DC-Netzen dargestellt ist, wobei die Unterschiede für den DC-Fall angegeben werden.

Die einzelnen Schritte des Auswahlprozesses werden in IEC 60071-1 für das AC-Netz und in Abschnitt 6 dieser Norm für das DC-Netz ausführlich beschrieben.



EN	DE
Determination of rated or standard insulation levels for three-phase a.c. equipment according to IEC 60071-1	Bestimmung der Bemessungs- oder genormten Isolationspegel für Drehstrom-Betriebsmittel nach IEC 60071-1
Deviations from IEC 60071-1 in the selection of withstand voltages for HVDC converter station equipment	Abweichungen von IEC 60071-1 bei der Auswahl der Stehspannungen für Betriebsmittel in HGÜ-Stromrichterstationen
System analysis	Netzanalyse
Representative voltages and overvoltages (U_{rp})	Repräsentative Spannungen und Überspannungen (U_{rp})
Selection of the insulation meeting the performance criterion, data inaccuracies, arrester separation distance	Auswahl der Isolation entsprechend dem Auswahlkriterium, der Ungenauigkeit der Daten, dem Ableiterschutzbereich
Calculated at the standard co-ordination currents	Berechnet bei den genormten Koordinationsströmen
For HVDC converter equipment requiring a very close protection with arresters co-ordination withstand voltages are derived from a process involving the determination of the co-ordination currents	Für HGÜ-Stromrichter-Betriebsmittel, die einen sehr direkten Schutz durch Ableiter benötigen, werden die Koordinationsstehspannungen aus einem Prozess abgeleitet, der die Bestimmung der Koordinationsströme einschließt
Co-ordination withstand voltages (U_{cw})	Koordinationsstehspannungen (U_{cw})
Application of factors to account for the differences between type test conditions and actual service conditions	Anwendung von Faktoren zur Berücksichtigung der Differenzen zwischen Bedingungen bei der Typprüfung und aktuellen Betriebsbedingungen
Required withstand voltages (U_{rw})	Erforderliche Stehspannungen (U_{rw})
Selection of standard rated withstand voltages according to IEC 60071-1	Auswahl der Bemessungsstehspannungen entsprechend IEC 60071-1
Selection of standard rated withstand voltages for a.c. side equipment only, according to IEC 60071-1 . For equipment on the d.c. side specified insulation voltages are rounded up to convenient practical values, and it is proposed that the value could be selected as possible as the value given in Annex C	Auswahl der Bemessungsstehspannungen nur für AC-Betriebsmittel, entsprechend IEC 60071-1 . Für Betriebsmittel auf der DC-Seite werden die festgelegten Isolationspegel auf zweckmäßige praktische Werte aufgerundet, es wird vorgeschlagen, den Wert möglichst so zu wählen, wie er in Anhang C angegeben ist
Standard rated withstand voltages	Genormte Stehspannungen
Specified withstand voltages	Festgelegte Stehspannungen

Bild 1 – Vergleich der Auswahl der Stehspannungen für AC-Betriebsmittel mit der für Betriebsmittel in HGÜ-Stromrichterstationen

6 Auslegungsverfahren für die Isolationskoordination

6.1 Allgemeines

Aufgrund der wesentlichen Unterschiede zwischen AC- und DC-Netzen, die zu einigen Unterschieden im Prozess der Isolationskoordination, wie in 5.2 diskutiert, führen, ist es in Abschnitt 6 zweckmäßig, die Auslegungsziele eindeutig festzulegen, die als Ergebnis des Koordinationsverfahrens, beschrieben in 6.2 bis 6.7 zu erreichen sind. Dies gilt in einem gewissen Umfang für die AC-Seite der HGÜ-Stromrichterstation, jedoch in einem größeren Umfang für die DC-Seite, insbesondere, weil mehrere Ventilgruppen im Normalfall in Reihe geschaltet sind. Die Ventile und weitere Betriebsmittel, die vollständig von Erde getrennt sind, werden deshalb so angeordnet, dass sie mit geeigneten Ableitern geschützt werden können, wie es in den Bildern A.1 und A.2 dargestellt ist.

Das erste Auslegungsziel besteht darin, eine geeignete Auswahl der Einbaustellen für die verschiedenen Ableiter zu treffen, die auf allen verfügbaren und zusammengestellten Einzelheiten des Systems beruht, die nicht nur für die DC-Stromrichteranordnung, sondern auch für das AC-Netz, die DC- und Erdelektroden-Leitungen und -kabel (sofern vorhanden) und die AC-Seite der HGÜ-Stromrichterstation diskutiert wird. Das nächste wichtige Auslegungsziel ist das Planen und Durchführen von ausreichend detaillierten Untersuchungen, um die Anforderungen an die Ableiter zu bestimmen.

Das Hauptziel ist die Bestimmung der Stehspannungen, um die vorgesehene Zuverlässigkeit zu erreichen.

6.2 Eigenschaften der Überspannungsableiter

Gegenwärtig wird der Überspannungsschutz von HGÜ Umrichterstationen ausschließlich mit Metalloxid Überspannungsableitern ohne Funkenstrecken (siehe IEC 60099-4) aufgebaut. Daher ist das Isolationsniveau der HGÜ-Systeme unmittelbar von den Eigenschaften und der Anordnung der Ableiter bestimmt. Die tatsächliche Anordnung der Ableiter hängt vom Aufbau der HGÜ Umrichter und der Art der Übertragungsleitung, die Bilder A.1, A.2 und A.3 zeigen verschiedene mögliche Orte für den Einsatz in HGÜ Umrichterstationen. Das grundlegende Kriterium ist jedenfalls, dass jede Spannungsebene und die angeschlossenen Geräte angemessen geschützt sind unter Berücksichtigung der angemessenen Kosten, der gewünschten Zuverlässigkeit und der Widerstandsfähigkeit der Geräte (siehe 3.22). Eine genauere Beschreibung ist in der Anwendungsrichtlinie gegeben.

6.3 Eigenschaften der Isolierung

Wie in AC-Schaltanlagen gibt es zwei Arten der Isolierungen, die in HGÜ-Stationen verwendet werden, selbstheilende Isolierung, dies gilt für Luft, und nicht selbstheilende Isolierung, dies gilt z. B. für Öl und Papier. Gase, die auch verwendet werden können, können jedoch unter beide Arten der Isolierung fallen. Da die Betriebsbedingungen bei DC Systemen wesentlich komplexer sind als bei AC Systemen ist bei DC-Anwendungen die gemeinsame Auswirkung von Gleich-, Wechsel- und Impulsspannungen (auch mit Polaritätsumkehr) auf die Eigenschaften der Isolierung zu berücksichtigen. Die Eigenschaften der einzelnen Isolierungen liegen jedoch außerhalb des Anwendungsbereiches dieser Norm.

6.4 Bestimmung der repräsentativen Überspannungen (U_{rp})

Die repräsentative Überspannung, wie sie in IEC 60071-1 definiert ist, ist gleich der maximalen Überspannung jeder Klasse der Überspannungen. Dieses allgemeine Konzept gilt für AC- und DC-Netze, jedoch ist insbesondere bei Anwendung dieses Konzepts für DC-Netze zu berücksichtigen, dass die repräsentativen Überspannungen gleich den Schutzpegeln der Ableiter für direkt geschützte Betriebsmittel sind.

Die repräsentativen Überspannungen werden durch Betrachtung relevanter Fehler und Untersuchung der Berechnungsergebnisse bestimmt, um den repräsentativen Typ der Überspannung zu ermitteln. Ist der Typ der Überspannung bestimmt worden, sollte der Spitzenwert der ausgewählten Wellenform angepasst werden, um die Dauer und Form der Überspannung nach IEC 60071-2:2018, Abschnitt 2, zu berücksichtigen. Diese Anpassung kann bei der Anwendung von Faktoren für die Schutzpegel der Ableiter nach 6.6 in Betracht gezogen werden.

6.5 Bestimmung der Koordinationsstehspannung (U_{cw})

Die Bestimmung der Koordinationsstehspannung besteht aus der Ermittlung des niedrigsten Wertes der Stehspannung der Isolation, der das Auswahlkriterium erfüllt, wenn die maßgebenden Überspannungen im Betrieb auftreten.

Das in IEC 60071-1 empfohlene Verfahren der Isolationskoordination geht von der Anwendung eines Koordinationsfaktors (K_c) für die repräsentativen Überspannungen (U_{rp}) aus, um die Koordinationsstehspannungen (U_{cw}) zu erhalten, d. h. $U_{cw} = K_c \cdot U_{rp}$ (siehe 5.3 in IEC 60071-1:2019).

Für Betriebsmittel auf der DC-Seite wird gegenwärtig das deterministische Verfahren (siehe 3.3 in IEC 60071-2:2018) derart angewendet, dass für diese Betriebsmittel ein deterministischer Koordinationsfaktor K_{cd} (siehe 3.3.2.1 in IEC 60071-2:2018) anstelle von K_c angewendet wird. Der für die repräsentativen Überspannungen geltende Koordinationsfaktor K_{cd} umfasst:

- Berücksichtigung von Einschränkungen bei der Modellierung und in den Daten zur Berechnung der Überspannungen, und für Koordinationsströme wird die starke Nichtlinearität der Ableiterkennlinien berücksichtigt;
- Berücksichtigung bezüglich Form und Dauer der Überspannungen.

Wenn der berechnete Wert von U_{rp} der höchste Wert für realistisch annehmbare Ereignisse ist, dann darf für DC-Anwendungen der Wert von U_{cw} gleich dem von U_{rp} angenommen werden.

Für die Wechselstromseite von HGÜ Systemen erlauben Simulationen der Überspannungsereignisse mit gleichzeitiger Bewertung des Ausfallrisikos auf der Basis der maßgebenden Isolationseigenschaften die direkte Bestimmung der statistischen Koordinationsstehspannung ohne den Zwischenschritt der Bestimmung der maßgebenden Überspannungen (Siehe Bild 1).

6.6 Bestimmung der erforderlichen Stehspannung (U_{rw})

Die Bestimmung der erforderlichen Stehspannung der Isolation besteht aus der Umwandlung der Koordinationsstehspannung in geeignete Standard Testbedingungen. Dies wird durch die Multiplikation der Koordinationsstehspannung mit Faktoren, die die Unterschiede zwischen den gegebenen Betriebsbedingungen der Isolation und den Standard Referenzbedingungen nach IEC 60060-1 ausgleichen, erreicht.

Wie bei AC-Netzen werden die Betriebsmittel nach IEC 60071-1 in Betriebsmittel mit selbstheilender Isolierung und nicht selbstheilender Isolierung eingeteilt. Die selbstheilende Isolierung besteht in erster Linie aus Luftstrecken und äußerer Porzellanisolierung, während die nicht selbstheilende Isolierung hauptsächlich aus Öl und dielektrischen Zellulosewerkstoffen besteht, wie sie in Stromrichtertransformatoren und Drosselspulen eingesetzt werden. Unter bestimmten Umständen kann das Ventil als selbstheilend betrachtet werden. Zur Aufrechterhaltung der erforderlichen Stehspannung werden redundante Ventileinheiten selbst für den Fall von zufälligen Ausfällen von Ventileinheiten innerhalb des Ventils zwischen Instandhaltungsperioden vorgesehen.

Ableiter werden wie in AC-Anwendungen zum Schutz der Isolierung der Betriebsmittel angewendet, jedoch werden die Ableiter nicht notwendigerweise direkt mit dem Erdpotential verbunden, sondern werden auch direkt über den Betriebsmitteln angeschlossen, die ein höheres als das Erdpotential haben. Bei Ventilen werden die Ableiter in der Nähe des Ventils angeordnet, um Abstandsauswirkungen auszuschließen.

Der wesentliche Unterschied im Vergleich zu den AC-Anwendungen besteht darin, dass die Isolierung bei HGÜ-Anwendungen mit einer Mischspannung aus Wechsel-, Gleich- und Pulsspannungen beansprucht wird. Mischspannungen erfordern die Betrachtung sowohl von resistiver als auch von kapazitiver Spannungsverteilung und können Hochspannungsbeanspruchungen zur Folge haben. Derartige Hochspannungsbeanspruchungen werden jedoch bei der Auslegung und Prüfung der Betriebsmittel berücksichtigt.

Die erforderlichen Stehspannungen (U_{rw}) bei Schaltvorgängen, Blitzeinschlag und steil ansteigenden Spannungen werden durch Multiplikation der entsprechenden Koordinationsstehspannungen (U_{cw}) mit den maßgeblichen Multiplikationsfaktoren bestimmt. Die auf den Stehspannungen beruhenden Prüfspannungen für jedes Betriebsmittel werden nach den entsprechenden Betriebsmittelnormen bestimmt. Mit Bezug auf Bild 1 in IEC 60071-1:2019 werden die erforderlichen Stehspannungen U_{rw} über einen weiteren Schritt des Verfahrens der Isolationskoordination erhalten, indem für die Koordinationsstehspannung der Höhenkorrekturfaktor K_a für die äußere Isolation und ein Sicherheitsfaktor K_s , der von der Art der inneren oder äußeren Isolation abhängt, angewendet wird. Der Sicherheitsfaktor K_s berücksichtigt:

- Zulässigkeit von Alterung der Isolierung;
- Zulässigkeit von Veränderungen der Ableiterkennlinien;
- Zulässigkeit bezüglich Streuung der Produktqualität.

Für HGÜ-Stromrichterstationen wird das deterministische Verfahren angewendet, und für Höhenlagen bis 1 000 m haben die Erfahrungen gezeigt, dass die geforderten Stehspannungen der Betriebsmittel durch Anwendung eines Faktors für den entsprechenden Schutzpegel des Ableiters erhalten werden können. Ein derartiger Faktor umfasst alle vorhergehenden, zu Beginn dieses Unterabschnitts diskutierten Faktoren. In Tabelle 3 werden eine Reihe von Richtwerten für diesen Faktor angegeben, die angewendet werden können, wenn die Zielwerte für die Auslegung vom Anwender oder den betreffenden Betriebsmittelkomitees nicht festgelegt sind. Alle Betriebsmittel in Tabelle 3 werden als direkt durch einen Ableiter geschützt betrachtet. Wenn dies nicht der Fall ist, z. B. für einige der Betriebsmittel auf der AC-Seite, dann müssen die Abstandsauswirkungen für schnelle und sehr schnelle Transiente in Betracht gezogen werden, und die angegebenen Verhältnisse sollten entsprechend angehoben werden (siehe IEC 60071-1 und IEC 60071-2 hinsichtlich des Koordinationsfaktors und der Koordinationsstehspannungen).

Tabelle 3 – Richtwerte für die Verhältnisse von erforderlicher Stehstoßspannung zum Stoßspannungsschutzpegel

Art des Betriebsmittels	Richtwerte für erforderliche Stehstoßspannung / Stoßspannungsschutzpegel ^{a, c}		
	RSIWV/SIPL	RLIWV/LIPL	RSFIWV/STIPL ^b
AC-Schaltfeld – Sammelschienen, Freiluftisolatoren und weitere gebräuchliche Betriebsmittel	1,20	1,25	1,25
AC-Filterkomponenten	1,15	1,25	1,25
(Öl-)Transformatoren leitungsseitig ventilseitig	1,20	1,25	1,25
	1,15	1,20	1,25
Stromrichterventile	1,15	1,15	1,20
Betriebsmittel der DC-Ventilhalle	1,15	1,15	1,25
Betriebsmittel des DC-Schaltfelds (einschließlich DC-Filter usw. und DC-Drossel)	1,15	1,20	1,25
^a Richtwerte werden nur für allgemeine Auslegungszielstellungen angegeben. Geeignete endgültige Verhältnisse (höher oder tiefer) können entsprechend den ausgewählten Leistungskriterien gewählt werden. ^b STIPL für Ventilableiter. ^c Richtverhältnisse beruhen darauf, dass jedes Betriebsmittel mit einem Ableiter direkt geschützt ist.			

6.7 Bestimmung der festgelegten Stehspannung (U_w)

Die festgelegten Stehspannungen sind Werte, die gleich oder höher als die erforderlichen Stehspannungen sind. Für ein AC-Betriebsmittel entsprechen die festgelegten Stehspannungen den genormten Werten, die in **IEC 60071-1** angegeben sind.

Für HGÜ-Betriebsmittel gibt es keine genormten Stehspannungswerte und die festgelegten Stehspannungen werden auf zweckmäßige praktische Werte aufgerundet. Es wird vorgeschlagen Werte zu verwenden, die den im **Anhang C** angegebenen entsprechen.

7 Anforderungen zur Prüfung der Stehspannung

Prüfungen der Stehspannung werden durchgeführt, um mit geeigneter Sicherheit zu zeigen, dass die tatsächliche Stehspannung der Isolation nicht niedriger ist als die zugehörige festgelegte Stehspannung.

Falls keine anderen Festlegungen der maßgebenden Gerätekomitees vorliegen, sollten die nachfolgenden Stehspannungsprüfungen an den HGÜ Betriebsmitteln durchgeführt werden.

- DC Stehspannungs-Prüfung;
- Stehstoßspannungs-Prüfung;
- Betriebsfrequente Stehspannungs-Prüfung (nur anzuwenden bei Betriebsmitteln der AC Seite der HGÜ Anlage).

Im Allgemeinen besteht die Stehspannungsprüfung aus einer trockenen Prüfung in Standard Anordnung (die Prüfanordnung ist vom maßgebenden Geräte-Komitee festgelegt und die atmosphärischen Standard Referenz Bedingungen). Jedoch, für nicht wettergeschützte externe Isolation besteht die betriebsfrequente Stehspannungsprüfung und die Stehstoßspannungsprüfung aus einer feuchten Prüfung unter den in **IEC 60060-1** festgelegten Bedingungen.

Die Prüfverfahren und Bewertungskriterien für Stehspannungs-Prüfungen werden von den zuständigen Gerätekomitees festgelegt.

8 Anforderungen zur Prüfung der Stehspannung

8.1 Allgemeines

Die Kriechstrecken an den Isolatoren sind einer der Faktoren, die die Betriebseigenschaften der äußeren Isolierung bei den Dauerbetriebsspannungen (Wechsel-, Gleich- oder Mischspannung) bestimmen. Bei Befeuchtung verringern Verschmutzungen auf den Isolatoren deren Fähigkeit, die Betriebsspannungen zu halten. Regen, Schnee, Tau oder Nebel sind einige der Witterungsbedingungen, die diesen Vorgang auslösen können. Das Stehvermögen von verschmutzten Isolatoren wird weiterhin durch andere Faktoren wie Schirmprofil, Einsatzwinkel und Durchmesser der Isolatoren beeinflusst. Im Falle von Durchführungen, DC-Messeinrichtungen, DC-Teilern und weiteren vergleichbaren Betriebsmitteln beeinflusst der innere Aufbau des Kerns sowohl die innere als auch die äußere Spannungsverteilung. Bei der Bestimmung des Typs und der Form der für diese Anwendungen geeigneten Isolatoren sollten alle diese Faktoren in Betracht gezogen werden.

Es gab Fälle von Durchführungsüberschlägen bei verschiedenen DC-Anordnungen, bei denen Ablagerungen von Verschmutzungen durch Tau, Nebel oder Regen leicht benetzt wurden. Außerdem haben sich Überschläge aufgrund ungleichmäßiger Beregnung der äußeren Isolatoren ereignet, wie bei horizontal angebauten Durchführungen, obwohl dieses Phänomen unabhängig von der Kriechstrecke ist.

8.2 Basisspannung für den Kriechweg

Die Basisspannung über der Isolierung wird gemeinsam mit dem vereinheitlichten spezifischen Kriechweg wie folgt angewendet:

- a) für die Leiter-Erde-Isolation auf der AC-Seite des Stromrichters (AC-Betriebsmittel): der höchste andauernde Effektivwert der Leiter-Erde-Betriebsspannung;
- b) für die Leiter-Leiter-Isolation auf der AC-Seite des Stromrichters (AC-Betriebsmittel): der höchste Effektivwert der Leiter-Leiter-Betriebsspannung;
- c) für die Isolation von DC-Betriebsmitteln, die einer reinen Gleichspannung ausgesetzt sind: die höchste dauernd anliegende Gleichspannung über den Betriebsmitteln;
- d) für den Fall von Mischspannungswellenformen, die sich aus Gleichspannung und Oberschwingungen zusammensetzen: der Effektivwert der Spannung (z. B. Ventile und Komponenten des DC-Filters);
- e) für den Fall von Mischspannungswellenformen, die sich aus der Wechselspannungsgrundschiwingung und Oberschwingungen zusammensetzt: der Effektivwert der Spannung (z. B. Komponenten des AC-Filters).

Die geforderten Kriechwege werden basierend auf [IEC/TS 60815-1:2008, 8.3](#) definiert und sind für die Zwecke der Normung in fünf Klassen der Verschmutzung eingeteilt, die den Standortverschmutzungsgrad (SPS) (en: site pollution severity) charakterisieren.

8.3 Kriechweg für Freiluftisolationen unter Gleichspannung

Für einige Jahre gab es in der Industrie die Tendenz, in HGÜ-Anwendungen unter Betriebsbedingungen mit Verschmutzungen größere spezifische Kriechwege von etwa 60 mm/kV für Porzellanisolatoren anzuwenden. Zur Lösung dieses Problems wurden an bestehenden HGÜ-Anlagen verschiedene Techniken zur Abhilfe angewendet. Obwohl die Anwendung von Silikonfett erfolgreich bei der Verhinderung von Überschlägen eingesetzt worden ist, ist die Häufigkeit des Wiederauftrags der Fettbeschichtung unter Bedingungen mit Verschmutzungen recht hoch. Ein alternatives Verfahren besteht in der Anwendung von raumtemperaturvernetztem (RTV) Gummi auf der Oberfläche der Isolatoren. Technologische Fortschritte auf diesem Gebiet haben zu verbesserter Leistungsfähigkeit geführt. Zur Verhinderung von Überschlägen an Durchführungen wurden auch Zwischenschirme (en: booster-sheds) erfolgreich angewendet. Die Anwendung von Verbundisolatoren für Durchführungen und weitere Geräte wurde, sogar bei kleineren spezifischen Kriechwegen, erfolgreich bei der Lösung des Problems von Überschlägen an HGÜ-Stationen eingesetzt. Betriebserfahrungen mit Verbundisolatoren und -durchführungen zeigen, dass etwa 75 % des Kriechwegs von einem gleichwertigen Porzellanisolator ein zufriedenstellendes Betriebsverhalten liefern. Das hydrophobe Verhalten von Verbundwerkstoffen machen sie auch für Anwendungen mit ungleichmäßiger Befeuchtung geeignet. Seit kurzem werden Verbundisolatoren und -durchführungen vor allem bei 500 kV und darüber erfolgreich angewendet.