

**DIN EN IEC 61643-341
(VDE 0845-5-41)**
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 29.120.50; 31.080.10

Einsprüche bis 2020-09-17

Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 61643-341
(VDE 0845-5-4):2002-11

Entwurf

**Bauelemente für Überspannungsschutzgeräte für Niederspannung –
Teil 341: Leistungsanforderungen sowie Prüfschaltungen für
Suppressordioden
(IEC 37B/218/FDIS:2020);
Deutsche und Englische Fassung FprEN IEC 61643-341:2020**

Components for low-voltage surge protection –
Part 341: Performance requirements and test circuits for thyristor surge suppressors (TSS)
(IEC 37B/218/FDIS:2020);
German and English version FprEN IEC 61643-341:2020

Composants pour parafoudres basse tension –
Partie 341: Exigences de performance et circuits d'essai pour parafoudres à thyristor (TSS)
(IEC 37B/218/FDIS:2020);
Version allemande et anglaise FprEN IEC 61643-341:2020

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2020-07-17 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 165 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist ...

Nationales Vorwort

Die Deutsche Fassung des europäischen Dokuments FprEN IEC 61643-341:2020 „Bauelemente für Überspannungsschutzgeräte für Niederspannung – Teil 341: Leistungsanforderungen sowie Prüfschaltungen für Suppressordioden“, (Schluss-Entwurf) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden.

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 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. Dem entsprechend ist das internationale Dokument IEC 37B/218/FDIS:2020 „Components for low-voltage surge protection – Part 341: Performance requirements and test circuits for thyristor surge suppressors (TSS)“ unverändert in den Schluss-Entwurf FprEN IEC 61643-341:2020 übernommen worden.

Da die Deutsche Fassung noch nicht endgültig mit der Englischen und Französischen Fassung abgeglichen ist, ist die englische Originalfassung des IEC/FDIS entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom SC 37B „Components for low-voltage surge protection“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und unterliegt dem Copyright der IEC .

Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium UK 767.6 „Schutz von Einrichtungen der Informationstechnik gegen Überspannungen und niederfrequente Felder“ 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.

Änderungen

Gegenüber **DIN EN 61643-341 (VDE 0845-5-4):2002-11** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Änderung des Titels der Norm, um darzustellen, dass die Norm Leistungsanforderungen an und Prüfschaltungen für Suppressordioden enthält;
- Aufnahme einer Information im **Abschnitt 1** „Anwendungsbereich“, dass dieses Dokument nicht für herkömmliche Thyristoren mit drei Anschlüssen gilt, wie sie durch IEC 60747-6 erfasst werden;

- c) Bereinigung der normativen Verweisungen im [Abschnitt 2](#) durch Verschiebung der Dokumente, auf die nicht normativ verwiesen wird, die aber genannt werden sollen, in die Literaturhinweise;
- d) Anpassung von Begriffsdefinitionen im [Abschnitt 3](#) an die entsprechenden Definitionen in anderen Dokumenten und Angabe der jeweiligen Quellen;
- e) Hinzufügung von [3.8](#) „Abkürzungen“;
- f) Hinzufügung von [3.9](#) mit den Schaltkreissymbolen;
- g) Streichung von Pentoden in [Abschnitt 4, Tabelle 1](#), da diese Bauelemente nicht mehr berücksichtigt werden;
- h) Streichung von [4.2](#) „Grundlegender Aufbau des Bauelementes“, [4.3](#) „Ersatzschaltung des Bauelementes“, [4.4](#) „Eigenschaften des Schaltquadranten“ und [4.6](#) „Zusätzliche TSS-Strukturen“, da entsprechende Informationen anderweitig gegeben werden;
- i) Streichung von [5.3](#) „Ausfälle und Fehlzustände“, stattdessen Hinzufügung eines neuen Abschnitts [7.1](#) mit der Aussage, dass die Größe der zu prüfenden Stichprobe, die zu prüfenden elektrischen Eigenschaften usw. von den Anforderungen zur Qualitätssicherung, die von diesem Dokument nicht erfasst werden, abgedeckt werden;
- j) Hinzufügung von [Abschnitt 6](#) mit Festlegungen zu den mechanischen Anforderungen, der Identifizierung und Dokumentation von Suppressordioden;
- k) Überarbeitung von [7.3](#) (vorher 5.4) und [7.4](#) (vorher 5.5);
- l) Streichung der bisherigen [Anhänge A und B](#);
- m) Hinzufügung eines neuen Anhangs A mit allgemeinen Impulsdefinitionen, -kennwerten und Informationen zu den entsprechenden Impulsgeneratoren, die generell bei der Prüfung von Überspannungsschutzgeräten verwendet werden;
- n) Hinzufügung eines neuen Anhangs B mit allgemeinen und spezifischen Thyristordefinitionen;
- o) Hinzufügung eines neuen Anhangs C mit Informationen zu zusätzlichen Kennwerte-Prüfungen, die aus dem bisherigen [Abschnitt 5.5](#) hierhin verschoben wurden;
- p) Hinzufügung eines neuen Anhangs D mit genormten Kennwerten für Thyristordioden-TSS-Bauelemente mit zwei Anschlüssen;
- q) Aktualisierung der Literaturhinweise;
- r) Redaktionelle Überarbeitung der Norm

**Bauelemente für Überspannungsschutzgeräte für Niederspannung –
Teil 341: Leistungsanforderungen sowie Prüfschaltungen für Suppressordioden**

Inhalt

Seite

1	Anwendungsbereich.....	6
2	Normative Verweisungen	6
3	Begriffe, Abkürzungen und Symbole.....	6
3.1	Begriffe für Kennwerte, Kurzzeichen und Definitionen	6
3.2	Allgemeine Begriffe	7
3.3	Hauptanschluss-Bemessungen	7
3.4	Hauptanschluss-Eigenschaften.....	9
3.5	Zusätzliche und abgeleitete Kennwerte	10
3.6	Auf die Temperatur bezogene Kennwerte	10
3.7	Steueranschluss-Parameter.....	11
3.8	Abkürzungen	13
3.9	Schaltkreissymbole	13
4	Arten von Suppressordioden.....	14
5	Einsatzbedingungen.....	16
5.1	Normale Einsatzbedingungen	16
5.2	Lagerungstemperaturbereich, T_{stgmin} bis T_{stgmax}	16
6	Mechanische Anforderungen und Identifizierung.....	17
6.1	Mechanische Widerstandsfähigkeit der Anschlüsse	17
6.2	Lötbarkeit.....	17
6.3	Beschriftung	17
6.4	Dokumentation	17
7	Genormte Prüfverfahren	17
7.1	Ausfallraten	17
7.2	Prüfbedingungen.....	17
7.2.1	Allgemeines.....	17
7.2.2	Genormte atmosphärische Bedingungen	18
7.2.3	Messfehler.....	18
7.2.4	Messungenauigkeit	18
7.2.5	Bezeichnung der Impulsform und -werte	18
7.2.6	Mehrfach-Suppressordioden.....	19
7.2.7	Prüfung von steuerbaren Suppressordioden	19
7.3	Verfahren für die Prüfung der Bemessungswerte.....	19
7.3.1	Allgemeines.....	19
7.3.2	Periodische Spitzensperrspannung, U_{DRM}	19
7.3.3	Periodischer Durchlassstrom-Spitzenwert, I_{TRM}	20

7.3.4	Nichtperiodischer Durchlassstrom-Spitzenwert, I_{TSM}	22
7.3.5	Nichtperiodischer Spitzenstoßstrom, I_{pp}	23
7.3.6	Periodische Rückwärts-Spitzensperrspannung, U_{RRM}	24
7.3.7	Nichtperiodischer Vorwärts-Stoßstrom, I_{FSM}	24
7.3.8	Periodischer Vorwärts-Spitzenstoßstrom, I_{FRM}	25
7.3.9	Kritische Stromsteilheit des Durchlassstroms, di/dt	25
7.4	Verfahren für die Prüfung der Eigenschaften	26
7.4.1	Allgemeines	26
7.4.2	Sperrgleichstrom, I_D	27
7.4.3	Periodischer Spitzensperrstrom, I_{DRM}	27
7.4.4	Periodischer Rückwärts-Spitzensperrstrom, I_{RRM}	27
7.4.5	Kippspannung $U_{(BO)}$ und -strom, $I_{(BO)}$	27
7.4.6	Durchlassspannung U_T	29
7.4.7	Haltestrom, I_H	33
7.4.8	Sperrkapazität, C_O	34
7.4.9	Vorwärtsspannung, U_F	37
7.4.10	Vorwärts-Durchlassverzögerungsspannung, U_{FRM}	37
7.4.11	Kritische Anstiegsrate der Sperrgleichspannung, du/dt	38
7.4.12	Schwankung des Haltestroms in Abhängigkeit von der Temperatur	38
7.4.13	Spitzensperrspannung zwischen Steuer- und Nachbaranschluss, U_{GDM} , und Abschalt-Spitzensteuerstrom, I_{GDM}	39
7.4.14	Rückwärts-Steuersperrstrom, Nachbaranschluss geöffnet, I_{GAO} , I_{GKO}	39
7.4.15	Rückwärts-Steuersperrstrom, Hauptanschlüsse kurzgeschlossen, I_{GAS} , I_{GKS}	40
Anhang A (informativ)	Gemeinsame Impulsformen	41
A.1	Allgemeines	41
A.2	Arten von Impulsgeneratoren	41
A.3	Kennwerte von Impulsgeneratoren	41
A.3.1	Begriffe	41
A.3.2	Virtuelle Kennwerte	43
A.4	Impulsgeneratoren, die typischerweise für Überspannungsschutzgeräte verwendet werden	44
A.4.1	Allgemeines	44
A.4.2	Impulsgeneratoren mit definierter Spannungsimpulsform	44
A.4.3	Impulsgeneratoren mit definierter Stromimpulsform	45
A.4.4	Impulsgeneratoren mit definierter Spannungs- und Stromimpulsform	46
Anhang B (informativ)	Glossar von Thyristorbegriffen nach IEC 60747-6 [10]	50
B.1	Allgemeines	50

B.2	Thyristorarten	50
B.3	Grundlegende Begriffe, die die statische Spannungs-Strom-Kennlinie von Thyristortrioden definieren.....	51
B.4	Grundlegende Begriffe, die die statische Spannungs-Strom-Kennlinie von Thyristordioden definieren.....	53
B.5	Besonderheiten der statischen Spannungs-Strom-Kennlinien von Thyristortrioden und -dioden.....	54
B.6	Auf Bemessungswerte und Kennlinien bezogene Begriffe; Hauptspannungen	58
B.7	Auf Bemessungswerte und Kennlinien bezogene Begriffe; Hauptströme	59
B.8	Auf Bemessungswerte und Kennlinien bezogene Begriffe; Steuerspannungen und -ströme.....	62
B.9	Auf Bemessungswerte und Kennlinien bezogene Begriffe; Leistungen, Energien und Verluste	64
B.10	Kurzzeichenformen	66
B.10.1	Allgemeines.....	66
B.10.2	Liste der Kurzzeichenformen	67
Anhang C (informativ)	Zusätzliche Kennwerte-Prüfungen	71
C.1	Allgemeines.....	71
C.2	Temperaturreduktion.....	71
C.3	Thermischer Widerstand, R_{th}	71
C.4	Transiente thermische Impedanz, $Z_{th}(t)$	73
C.5	Rückwärts-Steuersperrstrom, Durchlasszustand, I_{GAT} , I_{GKT}	74
C.6	Rückwärts-Steuersperrstrom, vorwärts leitender Zustand, I_{GAF} , I_{GKF}	75
C.7	Steuer-Schaltladung, Q_{GS}	76
C.8	Steuer-Schaltspitzenstrom, I_{GSM}	78
C.9	Durchbruchspannung zwischen Steuer- und Nachbaranschluss, $U_{GK(BO)}$, $U_{GA(BO)}$	79
Anhang D (normativ)	Bevorzugte Werte	81
D.1	Allgemeines.....	81
D.2	$U_{(BO)}$ und U_{DRM}	81
D.3	C_O , U_{DRM} und I_{PP}	82
D.4	I_H	83
D.5	I_{PP} und Rückenhalbwertzeit (Dauer)	83
Literaturhinweise		85

Bilder

Bild 1 – Feste Spannung, zwei Anschlüsse: a) Rückwärts sperren und b) rückwärts leiten	13
Bild 2 – Rückwärts sperren, steuerbar: a) P-Gate, b) N-Gate und c) P- und N-Gate	14
Bild 3 – Rückwärts leiten, steuerbar: a) P-Gate und b) N-Gate	14
Bild 4 – Bidirektional: a) zwei Anschlüsse mit fester Spannung und b) steuerbar	14
Bild 5 – Schaltquadrant-Eigenschaften: a) Suppressordiode mit fester Spannung und b) steuerbare	

Suppressordiode	15
Bild 6 – Nicht schaltende Eigenschaften der Suppressordiode: a) rückwärts sperren und b) rückwärts leiten.....	16
Bild 7 – Prüfschaltung für die Verifizierung der periodischen Spitzensperrspannung (U_{DRM}).....	20
Bild 8 – Prüfschaltung für die Verifizierung des periodischen Durchlassstrom-Spitzenwerts (I_{TRM})	21
Bild 9 – Kurvenform des periodischen Durchlassstrom-Spitzenwerts.....	22
Bild 10 – Prüfschaltung für die Verifizierung des nichtperiodischen Durchlassstrom-Spitzenwerts, I_{TSM}	23
Bild 11 – Prüfschaltung für die Verifizierung des nichtperiodischen Spitzenstoßstroms, I_{PP}	24
Bild 12 – Prüfschaltung für die Verifizierung der kritischen Stromsteilheit des Durchlassstroms (di/dt)	25
Bild 13 – Halbwellen- di/dt -Prüfschaltung.....	26
Bild 14 – Prüfschaltung für den Sperrgleichstrom, I_{D} bei U_{D}	27
Bild 15 – Prüfschaltung für die Kippspannung, $U_{(\text{BO})}$, und den Kippstrom, $I_{(\text{BO})}$, sowie die Durchlassspannung, U_{T}	28
Bild 16 – Kurvenformen der Spannung, aufgetragen gegen die Zeit, und des Stroms für eine Suppressordiode mit fester Spannung, wobei das Schalten in den Durchlasszustand, der Durchlasszustand und das Schalten in den Sperrzustand gezeigt werden	29
Bild 17 – Kurvenform-Erweiterungen von Bild 16.....	30
Bild 18 – Kurvenformen der Spannung und des Stroms, aufgetragen gegen die Zeit, für eine steuerbare Suppressordiode, wobei das Schalten in den Durchlasszustand, der Durchlasszustand und das Schalten in den Sperrzustand gezeigt werden	31
Bild 19 – Kurvenform-Erweiterungen von Bild 18.....	32
Bild 20 – Prüfschaltung für den Haltestrom, I_{H}	33
Bild 21 – Prüfschaltung für den Haltestrom mit zusätzlicher Gleichspannungsansteuerung	34
Bild 22 – Prüfschaltung für die Messung der Kapazität.....	35
Bild 23 – Prüfschaltung für die Messung der Kapazität mit externer Gleichspannungsansteuerung	35
Bild 24 – Prüfschaltung für die Messung der Kapazität bei Suppressordioden mit mehreren Anschlüssen	36
Bild 25 – Kurvenformen der Diodenspannung und des Diodenstroms, aufgetragen gegen die Zeit, wobei U_{FRM} und die Stromsteilheit di/dt gezeigt werden	37
Bild 26 – Prüfschaltung für die exponentielle kritische Spannungssteilheit der Sperrgleichspannung, du/dt	38
Bild 27 – Prüfschaltung für die Spitzensperrspannung zwischen dem Steuer- und dem Nachbaranschluss, U_{GDM} , und den Abschalt-Spitzensteuerstrom, I_{GDM}	39
Bild 28 – Prüfschaltung für den Rückwärts-Steuersperrstrom, Nachbaranschluss geöffnet, I_{GAO} , I_{GKO}	40
Bild 29 – Prüfschaltung für den Rückwärts-Steuersperrstrom, Hauptanschlüsse kurzgeschlossen, I_{GAS} , I_{GKS}	40
Bild A.1 – Amplitude des Strom- oder Spannungsimpulses, aufgetragen gegen die Zeit, wobei die 10 % zu 90 %-Stirzeit T_1 und die Rückenhalbwertzeit T_2 gezeigt werden.....	43
Bild A.2 – Amplitude des Spannungsimpulses, aufgetragen gegen die Zeit, wobei die 30 % zu 90	

%-Stirnzeit T_1 und die Rückenhalbwertzeit T_2 gezeigt werden	44
Bild B.1 – Besonderheiten der statischen Kennlinie von unidirektionalen Thyristoren	55
Bild B.2 – Besonderheiten der statischen Kennlinie von bidirektionalen Thyristoren	57
Bild B.3 – a) Ersatzgerade der Durchlass- U_T - I_T -Kennlinie b) Ersatzgerade der Rückwärts- U_R - I_R - Kennlinie	65
Bild C.1 – Prüfschaltung für den thermischen Widerstand und die Impedanz	72
Bild C.2 – Thermische Impedanz, aufgetragen gegen die Zeit	74
Bild C.3 – Prüfschaltung für den Rückwärts-Steuersperrstrom, Durchlasszustand, I_{GAT} , I_{GKT}	75
Bild C.4 – Prüfschaltung für den Rückwärts-Steuersperrstrom, vorwärts leitender Zustand, I_{GAF} , I_{GKF}	76
Bild C.5 – Prüfschaltung für den Steuer-Schaltstrom, für die Steuer-Schaltladung und für die Durchbruchspannung zwischen Steuer- und Nachbaranschluss, I_{GSM} , Q_{GS} , $U_{GK(BO)}$, $U_{GA(BO)}$	77
Bild C.6 – Prüfschaltung für eine Suppressordiode mit integrierter Steuer-Sperrdiode für den Steuer-Schaltstrom, für die Steuer-Schaltladung und für die Durchbruchspannung zwischen Steuer- und Nachbaranschluss, I_{GSM} , Q_{GS} , $U_{GK(BO)}$, $U_{GA(BO)}$	78
Bild C.7 – Gesamte und erweiterte Clipping-Impulsformen für eine kathodenseitig steuerbare Suppressordiode, wobei die $U_{GK(BO)}$ - und Q_{GS} -Messergebnisse gezeigt werden ($di_K/dt = 10$ $A/\mu s$, $U_{GG} = -72 V$)	80
Bild D.1 – $U_{(BO)}/U_{DRM}$ -Verhältnis in Abhängigkeit von U_{DRM}	81
Bild D.2 – $U_{(BO)}/U_{DRM}$ -Verhältnis in Abhängigkeit von U_{DRM}	82
Bild D.3 – Variation der Kapazität in Abhängigkeit von der Sperrgleichspannung	83
Bild D.4 – I_{pp} in Abhängigkeit von der Dauer für verschiedene 10/1 000-Strombemessungen	84
Tabellen	
Tabelle 1 – Arten von Suppressordioden (TSS)	15
Tabelle 2 – Prüfwerte für das Kippen mit rampenförmiger Anstiegsrate	29
Tabelle A.1 – Spannungsimpuls-Generatoren	45
Tabelle A.2 – Stromimpuls-Generatoren	46
Tabelle A.3 – Spannungs- und Stromimpuls-Generatoren	47
Tabelle A.4 – Andere Spannungs- und Stromimpuls-Generatoren	49
Tabelle B.1 – Zusätzliche allgemeine Indizes	66
Tabelle B.2 – Hauptspannungen, Anode-Kathode-Spannungen	67
Tabelle B.3 – Hauptströme, Anodenströme, Kathodenströme	68
Tabelle B.4 – Steuerspannungen	69
Tabelle B.5 – Steuerströme	69
Tabelle B.6 – Verschiedene Größen	70
Tabelle B.7 – Verschiedene Größen	70

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der IEC 61643 legt genormte Prüfschaltungen und Verfahren für als Überspannungsschutzbauelemente dienende Suppressordioden (TSS) fest. Diese Überspannungsschutzbauelemente (SPC) sind speziell entworfene Thyristoren, die zur Begrenzung von Überspannungen und zur Ableitung von Stoßströmen durch Höchstwertbegrenzung (Klemmen) und Schalten entwickelt sind. Diese Überspannungsschutzbauelemente (SPC) werden bei der Konstruktion von Überspannungsschutzgeräten (SPD) und Einrichtungen verwendet, die in Informations- und Telekommunikations-(IKT-)Netzen mit Spannungen bis 1 000 V Wechselspannung oder 1 500 V Gleichspannung eingesetzt werden. Dieses Dokument ist auf steuerbare (Gate-)Suppressordioden und nicht steuerbare (Nicht-Gate-)Suppressordioden anwendbar, die im dritten Quadranten ($-u$ und $-i$) sperren, leiten und schalten.

Dieses Dokument enthält Informationen:

- zur Terminologie;
- zu den Kurzzeichen;
- zu wesentlichen Bemessungswerten und Eigenschaften;
- zur Verifizierung der Bemessungswerte und Messung der Eigenschaften.

Dieses Dokument gilt nicht für herkömmliche Thyristoren mit drei Anschlüssen, wie sie durch IEC 60747-6 erfasst werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden 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 60050-521, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 521: Semiconductor devices and integrated circuits*

IEC 60068-2-20:2008, *Environmental testing – Part 2-20: Tests – Test T: Test methods for solderability and resistance to soldering heat of devices with leads*

3 Begriffe, Abkürzungen und Symbole

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC unterhalten Terminologie-Datenbanken für die Nutzung im Bereich der Normung unter folgenden Adressen:

- IEC Elektropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO-Online-Plattform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>

3.1 Begriffe für Kennwerte, Kurzzeichen und Definitionen

Soweit zutreffend werden geeignete Begriffe, Kurzzeichen und Definitionen aus den Normen für herkömmliche Thyristoren (IEC 60747-6) und Gleichrichterioden (IEC 60747-2) verwendet. Die Definitionen für Suppressordioden (TSS) sind gleich oder ähnlich zu den Definitionen für herkömmliche Thyristoren. Um eine Ausuferung von Begriffen zu vermeiden, ist die Bezeichnung „Thyristor“, wie sie bei den Begriffen in diesem Dokument benutzt wird, synonym mit „TSS“.

ANMERKUNG 1 IEC 60747-1, 2.1.1 legt fest: „IEC 60027 empfiehlt die Buchstaben *V* und *v* nur als Reservesymbole für die Spannung; jedoch finden sie im Bereich der Halbleiter-Bauelemente breite Verwendung, dass sie in dieser Norm auf derselben Ebene wie *U* und *u* liegen.“ Diese Norm verwendet die Buchstaben *U* und *u* für die Spannung mit den Buchstaben *V* und *v* als Alternative.

ANMERKUNG 2 Wenn mehrere unterschiedliche Kurzzeichenformen vorhanden sind, wird die gebräuchlichste Form zuerst angegeben.

3.2 Allgemeine Begriffe

3.2.1

Informations- und Kommunikationstechnologien

IKT

Gruppe von Anwendungen, die Informations- und Kommunikationstechnologien (bzw. Telekommunikationstechnologien) nutzen

[QUELLE: ISO/IEC 27404:2004, 3.1.5]

3.2.2

Überstrom

jeder Strom mit einem Scheitelwert, der den entsprechenden Scheitelwert des höchsten Dauerstroms bei normalen Betriebsbedingungen überschreitet

[QUELLE: IEC 60664-2-1:2011-01 (Ed. 2.0), 3.21, modifiziert durch Ersetzung von Spannung durch Strom]

3.2.3

Überspannung

jede Spannung mit einem Scheitelwert, der den entsprechenden Scheitelwert der höchsten Dauerspannung bei normalen Betriebsbedingungen überschreitet

[QUELLE: IEC 60664-2-1:2011-01 (Ed. 2.0), 3.21]

3.2.4

Überspannungsschutzgerät

SPD (en: surge protective device)

Gerät, das transiente Überspannungen eines oder mehrerer Anschlüsse begrenzt, wenn diese einen vorbestimmten Wert übersteigen

Anmerkung 1 zum Begriff: Sekundäre Funktionen, wie eine Strombegrenzung, die den Strom durch das Gerät begrenzt, können integriert sein.

Anmerkung 2 zum Begriff: Typischerweise enthält der Schutzkreis mindestens ein nichtlineares spannungsbegrenzendes Überspannungsschutzbauelement.

Anmerkung 3 zum Begriff: Ein Überspannungsschutzgerät ist eine vollständige Baugruppe, die über Klemmen verfügt, an denen die Leiter des Stromkreises angeschlossen werden können.

[QUELLE: IEC 61643-21:2008, 3.8]

3.3 Hauptanschluss-Bemessungen

Aufgeführte Bemessungen decken die geeigneten Anforderungen an die sperrenden, leitenden und schaltenden Quadranten ab.

3.3.1

periodische Spitzensperrspannung

U_{DRM}

höchster Momentanwert der Sperrspannung einschließlich aller periodischer transienter Spannungen, wobei alle nichtperiodischen transienten Spannungen ausgenommen sind

[QUELLE: IEC 60747-6:2000, 3.5.12 [10]¹⁾, modifiziert (die Anmerkung wurde entfernt)]

3.3.2

periodischer Durchlassstrom-Spitzenwert

I_{TRM}

Spitzenwert des Durchlassstroms einschließlich aller periodischer transienter Ströme

[QUELLE: IEC 60747-6:2000, 3.6.15 [10], modifiziert (das Bild wurde entfernt)]

3.3.3

Durchlass-Stoßstrom

I_{TSM}

Durchlass-Stromimpuls mit kurzer Dauer und festgelegter Impulsform, dessen Anwendung dazu führt oder dazu führen würde, dass der maximale Bemessungswert der Ersatz-Sperrschichttemperatur überschritten wird, von dem aber angenommen wird, dass er selten und mit einer begrenzten Anzahl von Auftritten während der Betriebsdauer eines Geräts auftritt und eine Folge von unüblichen Schaltkreisbedingungen darstellt

[QUELLE: IEC 60747-6:2000, 3.6.17 [10], modifiziert („(z. B. Bild, ein Fehler) (siehe Bild 4)“ wurde entfernt)]

3.3.4

nichtperiodischer Spitzenstoßstrom

I_{pp}

höchster Bemessungswert des Impulsspitzenstroms mit festgelegter Amplitude und Impulsform, der angewendet werden kann

3.3.5

periodische Rückwärts-Spitzensperrspannung (eines unidirektionalen Thyristors)

U_{RRM}

höchster Momentanwert der Rückwärtsspannung einschließlich aller periodischer transienter Spannungen, wobei alle nichtperiodischen transienten Spannungen ausgenommen sind

[QUELLE: IEC 60747-6:2000, 3.5.6 [10], modifiziert (die Anmerkung wurde entfernt)]

3.3.6

nichtperiodischer Vorwärts-Stoßstrom

I_{FSM}

Vorwärts-Stromimpuls mit kurzer Dauer und festgelegter Impulsform, dessen Anwendung dazu führt oder dazu führen würde, dass der maximale Bemessungswert der Ersatz-Sperrschichttemperatur überschritten wird, von dem aber angenommen wird, dass er selten und mit einer begrenzten Anzahl von Auftritten während der Betriebsdauer eines Geräts auftritt und eine Folge von unüblichen Schaltkreisbedingungen (z. B. einen Fehler) darstellt

[QUELLE: IEC 60747-2:2000, 3.3.6 [9], modifiziert (der ursprüngliche Begriff beinhaltet nicht das Attribut „nichtperiodisch“)]

3.3.7

periodischer Vorwärts-Spitzenstoßstrom

I_{FRM}

Spitzenwert des Vorwärts-Spitzenstoßstroms einschließlich aller periodischer transienter Ströme

[QUELLE: IEC 60747-2:2000, 3.3.4 [9]]

¹⁾ Ziffern in eckigen Klammern verweisen auf die Literaturhinweise.

3.3.8

kritische Stromsteilheit des Durchlassstroms

kritische Anstiegsrate des Durchlassstroms

$(di_T/dt)_{cr}$

höchster Wert der Stromsteilheit des Durchlassstroms, dem der Thyristor ohne Schaden widerstehen kann

[QUELLE: IEC 60747-6:2000, 3.6.23 [10]]

3.4 Hauptanschluss-Eigenschaften

3.4.1

Sperrgleichspannung

Sperrspannung (vorwärts)

U_D

Anoden-, Haupt- oder Thyristorspannung, wenn sich der Thyristor im Sperrzustand befindet

[QUELLE: IEC 60747-6:2000, 3.5.9 [10]]

3.4.2

Sperrgleichstrom

I_D

Anoden-, Haupt- oder Thyristorstrom, wenn sich der Thyristor im Sperrzustand befindet

[QUELLE: IEC 60747-6:2000, 3.6.26 [10]]

3.4.3

periodischer Spitzensperrstrom

I_{DRM}

höchster (Spitzen-)Wert des Sperrstroms mit festgelegter Amplitude und Kurvenform, der aus der Anwendung der periodischen Spitzensperrspannung U_{DRM} resultiert

[QUELLE: IEC 60747-6:2000, 3.5.9 [10]]

3.4.4

Kippspannung

Durchbruchspannung

$U_{(BO)}$

Spannung beim Kippunkt

[QUELLE: IEC 60747-6:2000, 3.5.1 [10]]

3.4.5

Haltestrom

I_H

kleinster Anoden-, Haupt- oder Thyristorstrom, der den Thyristor im Durchlasszustand hält

[QUELLE: IEC 60747-6:2000, 3.6.25 [10]]

3.4.6

Sperrkapazität

C_o, C_J

differentielle Kapazität an den festgelegten Anschlüssen im Sperrzustand, die bei der festgelegten Frequenz f , Amplitude U_d , und Sperrgleichspannung U_D gemessen wird

[QUELLE: IEC 60747-6:2000, 3.6.25 [10]]

3.4.7

periodischer Rückwärts-Spitzensperrstrom

I_{RRM}

höchster (Spitzen-)Wert des Rückwärtsstroms, der aus der Anwendung der periodischen Rückwärts-Spitzensperrspannung U_{RRM} resultiert

3.4.8

Vorwärts-Durchlassverzögerungsspannung (Diode)

U_{FRM}

sich ändernde Spannung, die während der Durchlassverzögerungszeit auftritt, wenn sprungförmig von der Spannung null oder von einer festgelegten Sperrspannung auf einen festgelegten Durchlassstrom umgeschaltet wird

[QUELLE: IEC 60747-2:2000, 3.2.3 [9]]

3.5 Zusätzliche und abgeleitete Kennwerte

3.5.1

Kippstrom

Durchbruchstrom

$I_{(BO)}$

Anoden-, Haupt- oder Thyristorstrom beim Kippunkt

[QUELLE: IEC 60747-6:2000, 3.6.1 [10]]

3.5.2

Durchlassspannung

U_T

Anoden-, Haupt- oder Thyristorspannung, wenn sich der Thyristor im Durchlasszustand befindet

[QUELLE: IEC 60747-6:2000, 3.5.8 [10]]

3.5.3

Durchlassstrom

I_T

Anoden-, Haupt- oder Thyristorstrom, wenn sich der Thyristor im Durchlasszustand befindet

[QUELLE: IEC 60747-6:2000, 3.6.9 [10]]

3.5.4

Vorwärtsspannung (Diode)

U_F

Spannung über den Anschlüssen, die aus dem Stromfluss im vorwärts leitenden Zustand resultiert

[QUELLE: IEC 60747-2:2000, 3.2.1 [9]]

3.5.5

Vorwärtsstrom (Diode)

I_F

Strom durch das Gerät im vorwärts leitenden Zustand

3.6 Auf die Temperatur bezogene Kennwerte

Alle auf Halbleiter bezogene Kennwerte von Suppressordioden sind temperaturabhängig. Die Notwendigkeit für Informationen über die Temperaturabhängigkeit kann oft entfallen, indem angegeben wird, dass der Höchst- oder Mindestwert eines Kennwertes über den vorgesehenen Temperaturbereich gültig sein sollte. Einige gebräuchliche auf die Temperatur bezogene Begriffe werden nachfolgend aufgeführt.

3.6.1

Schwankung des Haltestroms mit der Temperatur

Änderung des Haltestroms, I_H , mit Änderungen der Temperatur, dargestellt als Kurve in einem Schaubild

3.6.2

Temperaturverschlechterung

Verschlechterung, z. B. des Spitzenwertes des Impulsstroms, mit der Temperatur oberhalb einer festgelegten Basistemperatur, ausgedrückt als Prozentwert

3.6.3

thermischer Widerstand

R_{thJL} , R_{thJC} , R_{thJA} ($R_{\theta JL}$, $R_{\theta JC}$, $R_{\theta JA}$)

effektiver Temperaturanstieg je Verlustleistungseinheit einer bestimmten Sperrschicht oberhalb der Temperatur eines festen äußeren Bezugspunktes (Leitung, Gehäuse oder Umgebung) unter der Bedingung des thermischen Gleichgewichts

Anmerkung 1 zum Begriff: Der thermische Widerstand wird üblicherweise in K/W oder alternativ in °C/W ausgedrückt.

3.6.4

transiente thermische Impedanz

$Z_{thJL}(t)$, $Z_{thJC}(t)$, $Z_{thJA}(t)$ ($Z_{\theta JL}(t)$, $Z_{\theta JC}(t)$, $Z_{\theta JA}(t)$)

Änderung der Differenz zwischen der Ersatz-Sperrschichttemperatur und der Temperatur eines festgelegten Bezugspunktes oder -bereichs (Leitung, Gehäuse oder Umgebung) am Ende eines Zeitintervalls, geteilt durch die schrittweise Änderungsfunktion der Verlustleistung am Beginn des gleichen Zeitintervalls, die die Änderung des Temperaturunterschieds verursacht

Anmerkung 1 zum Begriff: Die thermische Impedanz wird üblicherweise in K/W oder alternativ in °C/W ausgedrückt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Es handelt sich um die thermische Impedanz der Sperrschicht unter Änderungsbedingungen, die im Allgemeinen in Form einer Kurve als Funktion der Dauer eines angelegten Leistungsimpulses gegeben ist.

3.6.5

Ersatz-Sperrschichttemperatur

T_J , T_{VJ}

theoretische Temperatur, die die Temperatur der Sperrschicht(en) repräsentiert, berechnet auf der Grundlage eines vereinfachten Modells des thermischen und elektrischen Verhaltens des Geräts

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Begriff „Ersatz-Sperrschichttemperatur“ ist insbesondere bei Halbleitern mit mehrfachen Sperrschichten anwendbar und wird verwendet, um die Temperatur des aktiven Halbleiterelementes zu bezeichnen, wenn dies in Spezifikationen und Prüfverfahren gefordert wird. Der Begriff „Sperrschichttemperatur“, T_J , wird in dieser Norm abwechselnd mit dem Begriff „Ersatz-Sperrschichttemperatur“, T_{VJ} , verwendet.

3.6.6

maximale Sperrschichttemperatur

T_{JM}

Höchstwert der zulässigen Sperrschichttemperatur auf Grund von Selbsterwärmung, der eine Suppressor-diode (TSS) ohne Verschlechterung (ihrer Eigenschaften) widerstehen kann

3.6.7

Lagerungstemperaturbereich

T_{stgmin} bis T_{stgmax}

Temperaturbereich, innerhalb dem das Bauelement gelagert werden kann, wenn keine Spannung angelegt ist

3.7 Steueranschluss-Parameter

3.7.1

Zündstrom

I_{GT}

niedrigster Wert des Steuerstroms, der zum Schalten eines Thyristors vom Sperrzustand in den Durchlasszustand erforderlich ist

3.7.2

Zündspannung

U_{GT}

Steuerspannung, die zur Erzeugung des Zündstroms I_{GT} erforderlich ist

3.7.3

Spitzensperrspannung zwischen Steuer- und Nachbaranschluss

U_{GDM}

maximale Spannung zwischen Gate und Kathode bei einem kathodenseitig steuerbaren (P-Gate-)Bauelement oder maximale Spannung zwischen Gate und Anode bei einem anodenseitig steuerbaren (N-Gate-)Bauelement, die angelegt werden kann, ohne dass ein festgelegter Sperrgleichstrom, I_D , bei einer Bemessungs-Sperrgleichspannung, U_D , überschritten wird

3.7.4

Abschalt-Spitzensteuerstrom

I_{GDM}

maximaler Steuerstrom, der aus der Anlegung der Spitzensperrspannung zwischen Steuer- und Nachbaranschluss, U_{GDM} , resultiert

3.7.5

Rückwärts-Steuersperrstrom, Nachbaranschluss geöffnet

$I_{\text{GAO}}, I_{\text{GKO}}$

Strom durch den Steueranschluss, wenn eine festgelegte Steuersperrspannung, U_G , angelegt wird und der Kathodenanschluss bei einem kathodenseitig steuerbaren (P-Gate-)Bauelement oder der Anodenanschluss bei einem kathodenseitig steuerbaren (P-Gate-)Bauelement geöffnet ist

3.7.6

Rückwärts-Steuersperrstrom, Hauptanschluss kurzgeschlossen

$I_{\text{GAS}}, I_{\text{GKS}}$

Strom durch den Steueranschluss, wenn eine festgelegte Steuersperrspannung, U_G , angelegt wird und der Kathodenanschluss bei einem kathodenseitig steuerbaren (P-Gate-)Bauelement oder der Anodenanschluss bei einem kathodenseitig steuerbaren (P-Gate-)Bauelement mit dem dritten Anschluss kurzgeschlossen ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Definition gilt nur für Bauelemente mit integrierten in Reihe geschaltete Steuersperrdioden.

3.7.7

Rückwärts-Steuersperrstrom, Durchlasszustand

$I_{\text{GAT}}, I_{\text{GKT}}$

Strom durch den Steueranschluss, wenn eine festgelegte Steuersperrspannung, U_G , angelegt wird und ein festgelegter Durchlassstrom, I_T , fließt

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Definition gilt nur für Bauelemente mit integrierten in Reihe geschaltete Steuersperrdioden.

3.7.8

Rückwärts-Steuersperrstrom, vorwärts leitender Zustand

$I_{\text{GAF}}, I_{\text{GKF}}$

Strom durch den Steueranschluss, wenn eine festgelegte Steuersperrspannung, U_G , angelegt wird und ein festgelegter Vorwärtssstrom, I_F , fließt

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Definition gilt nur für leitende unidirektionale Bauelemente mit integrierten in Reihe geschaltete Steuersperrdioden.

3.7.9

Steuer-Schaltladung

Q_{GS}

Ladung durch den Steueranschluss unter Impulsbedingungen während des Übergangs vom Sperrzustand zum Schaltpunkt, wenn eine festgelegte Steuersperrspannung, U_G , angelegt wird

3.7.10

Steuer-Schaltspitzenstrom

I_{GSM}

maximaler Wert des Stroms durch einen Steueranschluss während des Übergangs vom Sperrzustand zum Schaltpunkt, wenn eine festgelegte Steuersperrspannung, U_G , angelegt wird

3.7.11

Durchbruchspannung zwischen Steuer- und Nachbaranschluss

$U_{GK(BO)}$, $U_{GA(BO)}$

Spannung zwischen Steueranschluss und Kathode bei einem kathodenseitig steuerbaren (P-Gate-)Bauelement oder Spannung zwischen Steueranschluss und Anode bei einem kathodenseitig steuerbaren (P-Gate-)Bauelement am Kippunkt

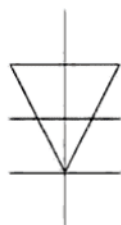
Anmerkung 1 zum Begriff: Diese ist äquivalent zur Spannungsdifferenz zwischen der Kippspannung, $U_{(BO)}$, und der angegebenen Steuerspannung, U_G .

3.8 Abkürzungen

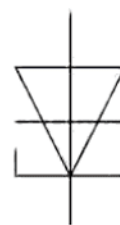
Abkürzung	Englisch	Deutsch
AC	Alternating Current	Wechselstrom
DC	Direct Current	Gleichstrom
IKT	Information & Communication Technology	Informations- und Kommunikationstechnologie
SPC	Surge Protective Component	Überspannungsschutzbauelement
SPD	Surge Protective Device	Überspannungsschutzgerät
TRIAC	TRiode for Alternating Current (bidirectional triode thyristor)	Triode für Wechselstrom (bidirektionaler Trioden-Thyristor)
TSS	Thyristor Surge Suppressor	Suppressordiode

3.9 Schaltkreissymbole

Thyristoren können als Bauelemente mit zwei Anschlüssen (feste Spannung) ausgeführt sein oder sie können zusätzliche Anschlüsse haben, die mit P- oder N-Zwischenschichten verbunden sind (Steueranschlüsse). Zusätzlich können sie einen oder zwei Schaltquadranten haben. Bild 1 zeigt die Schaltkreissymbole für feste Spannung, ein Schaltquadrant, Suppressordioden mit zwei Anschlüssen, wobei die Symbole auf der S006XX-Reihe von graphischen Symbolen für Schaubilder nach IEC 60617 [5] beruhen. Die Eigenschaften der Schaltquadranten treten auf, wenn der obere Anschluss positiv gegenüber dem unteren Anschluss ist (Bild 1 bis Bild 3).



a) S00650



b) S00651

Bild 1 – Feste Spannung, zwei Anschlüsse: a) Rückwärts sperren und b) rückwärts leiten

Bild 2 zeigt die Schaltkreissymbole für rückwärts sperrende steuerbare Suppressordioden (ein Schaltquadrant), wobei die Symbole auf der S006XX-Reihe von graphischen Symbolen für Schaubilder nach IEC 60617 [5] beruhen.

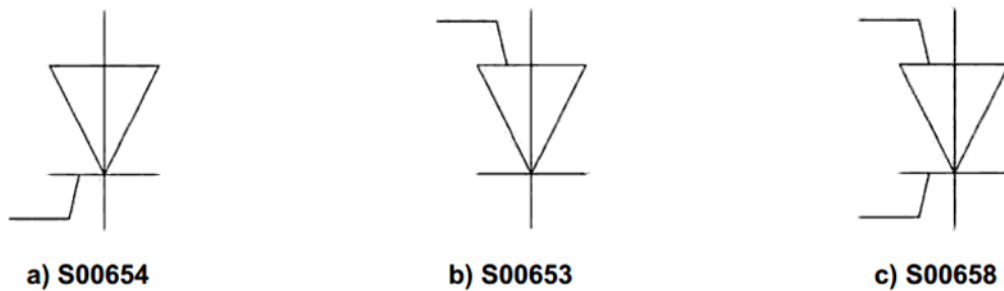


Bild 2 – Rückwärts sperren, steuerbar:
a) P-Gate, b) N-Gate und c) P- und N-Gate

Bild 3 zeigt die Schaltkreissymbole für rückwärts leitende steuerbare Suppressordioden (ein Schaltquadrant), wobei die Symbole auf der S006XX-Reihe von graphischen Symbolen für Schaubilder nach IEC 60617 [5] beruhen.



Bild 3 – Rückwärts leiten, steuerbar: a) P-Gate und b) N-Gate

Bild 4 zeigt die Schaltkreissymbole für bidirektionale Suppressordioden (zwei Schaltquadranten), wobei die Symbole auf der S006XX-Reihe von graphischen Symbolen für Schaubilder nach IEC 60617 [5] beruhen. Die Eigenschaften der Schaltquadranten gelten für jede Polarität des oberen Anschlusses.



Bild 4 – Bidirektional: a) zwei Anschlüsse mit fester Spannung und b) steuerbar

4 Arten von Suppressordioden

Suppressordioden werden durch die Art ihrer Eigenschaften im ersten und dritten Quadranten und die Anzahl ihrer Anschlüsse klassifiziert (siehe [Tabelle 1](#)). Zumindest ein Quadrant besitzt eine Schalteigenschaft (siehe [Bild 5](#)). Der andere Quadrant kann eine Schalt-, Sperr- oder Dioden-Durchlasscharakteristik haben (siehe [Bild 5](#) und [Bild 6](#)). Thyristoren, die nur einen Schaltquadranten haben, werden unidirektional (einfachgerichtet) genannt und können zwei (Diode), drei (Triode) oder vier (Tetrode) Anschlüsse haben. Zusätzlich werden Thyristoren mit zwei Schaltquadranten bidirektional (zweifachgerichtet) genannt.

Tabelle 1 – Arten von Suppressordioden (TSS)

Anzahl der Anschlüsse	Andere Quadranteneigenschaften		
	Sperren	Durchlassen	Schalten
2 (Diode)	Rückwärts sperrende Suppressordiode (TSS) (Bild 1)	Rückwärts leitende Suppressordiode (TSS) (Bild 1)	Bidirektionale Suppressordiode (TSS) (Bild 4)
3 (Triode)	Rückwärts sperrende kathodenseitig oder anodenseitig steuerbare Suppressortriode (TSS) (Bild 2)	Rückwärts leitende kathodenseitig oder anodenseitig steuerbare Suppressortriode (Bild 3)	Bidirektionale kathodenseitig oder anodenseitig steuerbare Suppressortriode oder kombinierter kathodenseitig oder anodenseitig steuerbarer Suppressortriac (TRIAC) (Bild 4)
4 (Tetrode)	Rückwärts sperrende kathodenseitig und anodenseitig steuerbare Suppressortetrode (Bild 2)		

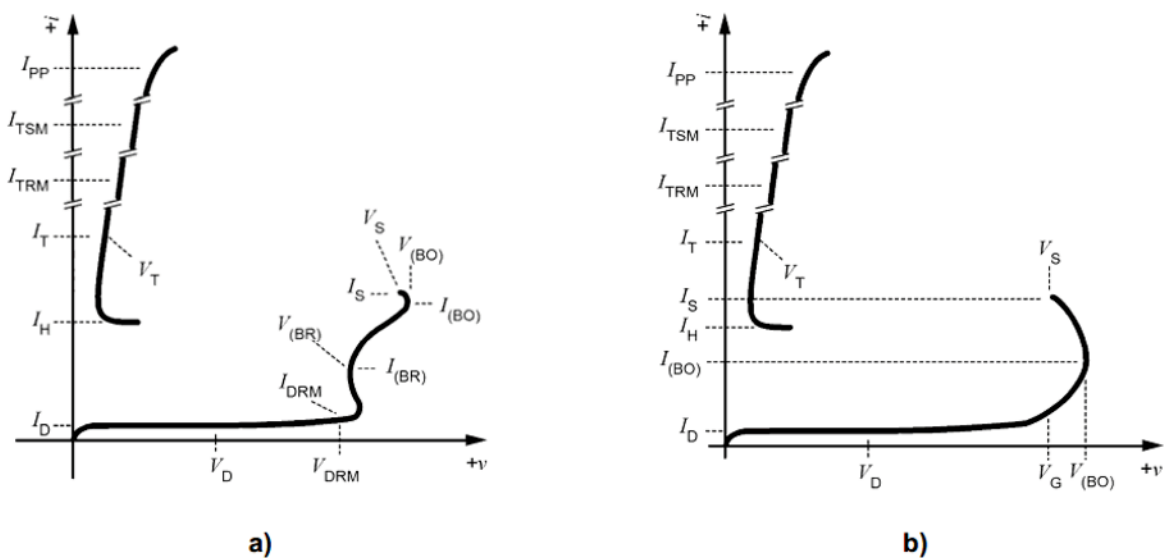


Bild 5 – Schaltquadrant-Eigenschaften: a) Suppressordiode mit fester Spannung und b) steuerbare Suppressordiode

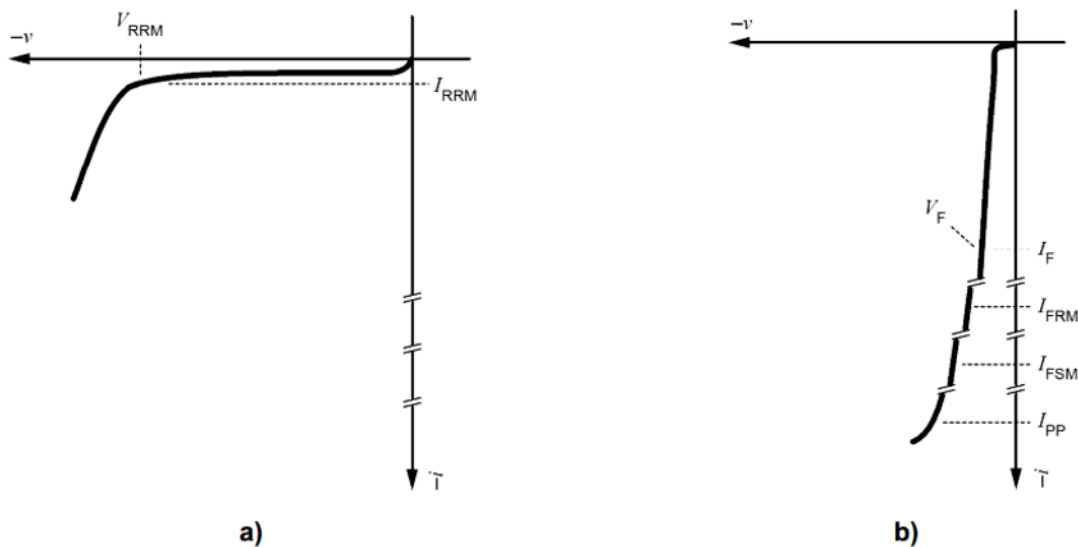


Bild 6 – Nicht schaltende Eigenschaften der Suppressordiode: a) rückwärts sperren und b) rückwärts leiten

5 Einsatzbedingungen

5.1 Normale Einsatzbedingungen

Suppressordioden sind üblicherweise in Geräten und Baugruppen (Modulen) eingebaut, woraus eine Mikroklima-Bedingung resultiert (siehe IEC 60721-3-9 [7]). Suppressordioden, die die Anforderungen dieses Dokuments erfüllen, müssen für den stationären Betrieb an wettergeschützten Orten geeignet sein (siehe IEC 60721-3-3 [6]). Wenn keine besonderen Anforderungen vorhanden sind, muss die (entsprechende) Suppressordiode für den Betrieb unter nachfolgenden allgemeinen Einsatzbedingungen und in einem oder beiden der nachfolgenden Mikroklimata geeignet sein.

a) normales Mikroklima

Umgebungs-Lufttemperatur im Bereich von 0 °C bis 70 °C;

Luftdruck im Bereich von 80 kPa bis 106 kPa;

relative Luftfeuchte im Bereich von 25 % bis 75 %.

b) erweitertes Mikroklima

Umgebungs-Lufttemperatur im Bereich von -40 °C bis 85 °C;

Luftdruck im Bereich von 70 kPa bis 106 kPa;

relative Luftfeuchte im Bereich von 10 % bis 95 %.

5.2 Lagerungstemperaturbereich, T_{stgmin} bis T_{stgmax}

Die Temperaturen, bei denen Thyristoren gelagert werden können, ohne dass irgendeine Spannung angelegt wird, besitzen nachfolgende bevorzugten Temperaturbereiche (ausgewählt aus IEC 60747-1 [8] und IEC 60749 [11]).

-0 °C bis 125 °C;

-55 °C bis 125 °C;

-65 °C bis 150 °C.

6 Mechanische Anforderungen und Identifizierung

6.1 Mechanische Widerstandsfähigkeit der Anschlüsse

Sofern anwendbar muss der Anwender eine geeignete Prüfung aus IEC 60068-2-21 [3] festlegen.

6.2 Lötbarkeit

Gelötete Anschlüsse müssen die Anforderungen nach IEC 60068-2-20 [2] erfüllen.

6.3 Beschriftung

Lesbare und dauerhafte Kennzeichnungen müssen am Überspannungsschutzbauelement angebracht sein, soweit dies notwendig ist, um sicherzustellen, dass der Nutzer nachfolgende Informationen durch Inaugenscheinnahme ermitteln kann.

- a) Hersteller;
- b) Herstellungsjahr;
- c) Bauelementnummer oder -code.

ANMERKUNG Die notwendigen Informationen können auch kodiert sein.

6.4 Dokumentation

Der Hersteller muss Unterlagen zur Verfügung stellen, so dass der Hersteller aus 6.3 nachfolgende zusätzliche Informationen ermitteln kann.

- a) Geeignete Kennwerte des Bauelements entsprechend den Festlegungen dieses Dokuments;
- b) Anforderungen und Verfahren zur Montage des Bauelements;
- c) Bestellinformationen.

Folgende Informationen sollten vom Anwender bereitgestellt werden:

- a) Zeichnung, die sämtliche Maße, Ausführungen und Anschlusseinzelheiten enthält;
- b) Typ oder Modell;
- c) Größe;
- d) Anforderungen zur Qualitätssicherung.

7 Genormte Prüfverfahren

7.1 Ausfallraten

Die Größe der zu prüfenden Stichprobe, die zu prüfenden elektrischen Eigenschaften usw. sollten von den Anforderungen zur Qualitätssicherung, die von diesem Dokument nicht erfasst werden, abgedeckt werden.

7.2 Prüfbedingungen

7.2.1 Allgemeines

Die Prüfung der Bemessungen und Eigenschaften von Suppressordioden müssen entweder im Einklang mit der Anwendung oder wie in der Spezifikation des Bauelements angegeben durchgeführt werden. Die Suppressordiode muss unter den festgelegten Umgebungsbedingungen, wie z. B. dem Temperaturbereich, und in der (den) Montagekonfiguration(en) geprüft werden.

7.2.2 Genormte atmosphärische Bedingungen

Sämtliche elektrische Messungen bei Raumtemperatur sowie Erholungsphasen gefolgt von Messungen müssen unter folgenden Bedingungen, wie in IEC 60749-1:2002 [11], 4.1 empfohlen, durchgeführt werden:

- Temperatur 20 °C bis 30 °C;
- relative Luftfeuchte 25 % bis 75 %, je nach Eignung;
- Luftdruck 80 kPa bis 106 kPa.

Referenzprüfungen unter folgenden genormten atmosphärischen Bedingungen (siehe IEC 60749-1:2002 [11], 4.1) durchgeführt werden:

- Temperatur 24 °C bis 26 °C;
- relative Luftfeuchte 25 % bis 75 %;
- Luftdruck 80 kPa bis 106 kPa.

Wenn die Kennwerte der Suppressordiode über einen Temperaturbereich geprüft werden, sollten geeignete Werte aus der in IEC 60721-3-3:2019 [6] vorhandenen Liste der empfohlenen Temperaturwerte ausgewählt werden.

Wenn keine besonderen Anforderungen vorhanden sind, sollte einer der bevorzugten Umgebungstemperaturbereiche für Halbleiter verwendet werden:

- Normal 0 °C bis 26 °C;
- Erweitert –40 °C bis 85 °C.

7.2.3 Messfehler

Messfehler können durch Masseschleifen, gemeinsame Impedanzen, magnetische Induktion, elektrische Induktion und elektromagnetische Strahlung verursacht werden. Der durch einen in einer Masseschleife zirkulierenden Strom verursachte Fehler kann durch Erhöhung der Schleifenimpedanz verringert werden. Üblicherweise wird dies durch das Ankleben von Ferritkernen auf den Kabeln der Zange gemacht. Gemeinsame Impedanzen können durch Verwendung von Kelvin-Kontakten an den Verbindungen der Suppressordiode für Stromversorgungs- und Messkabel vermieden werden. Magnetische Induktion und induktive Effekte können durch kurze Leitungslängen und Minimierung der Fläche von Leiterschleifen, möglicherweise durch Verwendung von verdrehten Kabeln, verringert werden. Elektrische Induktion (kapazitive Kopplung) kann durch die Zwischenschaltung eines Faraday'schen Schirms beseitigt werden, der an eine Masse, die keine Signalmasse ist, angeschlossen ist. Elektromagnetische Kopplung kann durch Schirmung und die Verfahren, die für die magnetische Induktion verwendet werden, verringert werden.

7.2.4 Messungenauigkeit

Analoge Oszilloskope müssen Anstiegszeiten haben, die 5-mal schneller sind als die Signalanstiegszeit. Dieses stellt sicher, dass der Fehler der Anzeige der Anstiegszeit kleiner als 2 % ist. Digitale Oszilloskope (Bezugnahme auf IEC 61083-1) müssen Samplezeiten von mindestens $30/T_X$ haben, wobei T_X das zu messende Zeitintervall ist. Ein Bemessungswert der Auflösung von 0,4 % Ablenkung bei Vollanzeige (2^{-8} Ablenkung bei Vollanzeige) oder ein besserer Wert sollte bei Prüfungen verwendet werden, bei denen nur die Impulsparameter zu ermitteln sind. Bei Referenzprüfungen, die den Vergleich von aufgezeichneten Daten erfordern, muss ein Bemessungswert der Auflösung von 0,4 % Ablenkung bei Vollanzeige (2^{-9} Ablenkung bei Vollanzeige) oder ein besserer Wert verwendet werden.

7.2.5 Bezeichnung der Impulsform und -werte

Die Impulsform wird durch eine Kombination von zwei Zahlen bezeichnet. Die Erste gibt die virtuelle Stirnzeit (T_1) und die Zweite die virtuelle Rückenhalbwertszeit (T_2) an. Die Impulsform wird als T_1/T_2 dargestellt, wobei beide Zeiten jeweils in Mikrosekunden angegeben werden und das Zeichen „/“ keinerlei mathematische Bedeutung hat, siehe Anhang A.

Die infrage kommenden TSS-Strombemessungswerte sind die Stromwerte bei kurzgeschlossenem Prüf-generator. Unter Prüfbedingungen wird der tatsächliche Strom durch das Bauelement auf Grund des Zusammenwirkens des Generators mit den Eigenschaften des Thyristors abweichend sein.

7.2.6 Mehrfach-Suppressordioden

Wenn Mehrfach-Suppressordioden zusammengepackt werden, können sie durch die Anwendung gleichzeitig geschaltet werden. Wenn die Kennwerte einer Suppressordiode durch den Betrieb der anderen Suppressordiode merklich beeinflusst werden, muss die Prüfung diese Bedingung sowie den Betrieb der einzelnen Suppressordioden nachbilden.

7.2.7 Prüfung von steuerbaren Suppressordioden

Alle Prüfungen von Suppressordioden mit fester Spannung müssen an steuerbaren Suppressordioden durchgeführt werden, um das Leistungsverhalten des Schutzanschlusses zu bestimmen und zu verifizieren. Steuerbare Suppressordioden müssen mit geeigneten Werten der Steuersperrspannung U_{GG} und des Netzes durchgeführt werden. Sofern nichts anderes festgelegt ist, müssen die für die Prüfung verwendeten Steuersperrspannungen U_{GG} den Höchst- und Mindestwerten der vorgesehenen Anwendung entsprechen.

Bei allen Prüfungen, bei denen die steuerbare Suppressordiode die Spannung begrenzt, muss die Gate-Versorgung eine niedrige Impedanz besitzen (entkoppelt sein) und eine Suppressordiode ohne internes Steuersperrverhalten muss eine geeignet gepolte sperrende Diode besitzen, die direkt in Reihe mit dem Steueranschluss geschaltet wird. Wenn eine steuerbare Suppressordiode dafür entwickelt wurde, einen steuerbaren und einen festen Spannungsschutz zur Verfügung zu stellen, müssen die Prüfungen von Suppressordioden mit fester Spannung auch mit leerlaufendem Steueranschluss durchgeführt werden (d. h. $I_G = 0$).

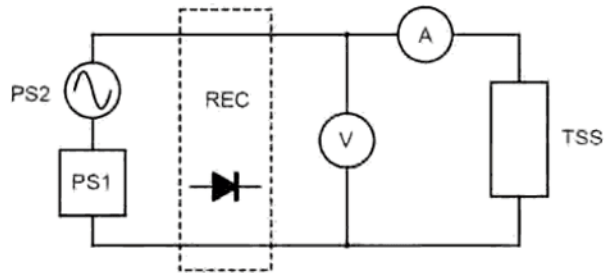
7.3 Verfahren für die Prüfung der Bemessungswerte

7.3.1 Allgemeines

Die verwendeten Überspannungs- und Überstrom-Prüfpegel müssen aus einer oder mehreren der in den Literaturhinweisen zitierten IEC- und ITU-T-Bezugsschriftstücken entnommen sein. Diese Prüfpegel können für das endgültige Gerät modifiziert werden durch Einbeziehung jeglicher Stoßstrom-koordinierenden Komponenten des Geräts in der Prüfschaltung.

7.3.2 Periodische Spitzensperrspannung, U_{DRM}

Zweck dieser Prüfung ist die Erbringung des Nachweises, dass die Suppressordiode eine Sperrbedingung mit hoher Impedanz aufrechterhält, wenn sie dauerhaft dem Bemessungswert der periodischen Spitzensperrspannung ausgesetzt wird. Der Bemessungswert der periodischen Spitzensperrspannung, U_{DRM} , muss über die Suppressordiode angelegt werden und der Wert des periodischen Spitzensperrstroms, I_{DRM} , muss während der Prüfung gemessen werden, wobei ein Stromkreis verwendet werden muss, der zu demjenigen im Bild 7 funktional gleichwertig ist.



Legende

TSS zu prüfende Thyristordiode

A Strommessgerät, Anzeige des Stromspitzenwertes

V Spannungsmessgerät, Mittelwert-, Spitzenwert und Wechselspannungsanzeige

PS1 Gleichspannungsversorgung, die auf den Gleichspannungsanteil von U_{DRM} eingestellt ist

PS2 Wechselspannungsversorgung, die auf den Wechselspannungsanteil von U_{DRM} eingestellt ist

REC Voll- oder Halbwellengleichrichter, der für unidirektionale Prüfungen verwendet wird, wenn der Gleichspannungsanteil von U_{DRM} die Polarität umkehrt

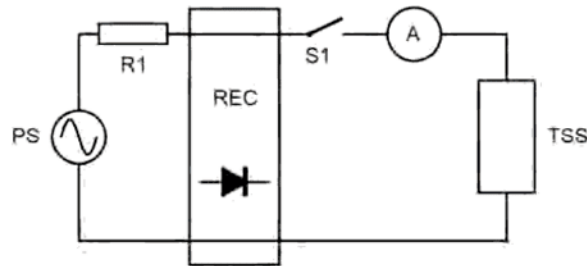
Der gemessene Strom darf den festgelegten höchsten Wert von I_{DRM} nicht überschreiten. Nach der Prüfung mit U_{DRM} darf die Suppressordiode keine ihrer festgelegten Eigenschaften verlieren. Die Prüfdauer muss ausreichend lang sein, damit das gewünschte Vertrauen in die Zuverlässigkeit der Suppressordiode erreicht wird. Jeder Schaltquadrant der Suppressordiode muss einzeln (getrennt) geprüft und gemessen werden.

Bild 7 – Prüfschaltung für die Verifizierung der periodischen Spitzensperrspannung (U_{DRM})

ANMERKUNG Große Unterschiede zwischen den Eigenschaften vor und nach der Prüfung stellen eine mögliche Anzeige für eine Verschlechterung (der Eigenschaften) der Suppressordiode dar.

7.3.3 Periodischer Durchlassstrom-Spitzenwert, I_{TRM}

Zweck dieser Prüfung ist die Erbringung des Nachweises, dass die Suppressordiode dauerhaft den Spitzenwert ihres periodischen (quasi-sinusförmigen) Durchlassstroms leiten kann, ohne dass ein Ausfall auftritt oder die höchstzulässige Sperrschicht-Bemessungstemperatur überschritten wird (siehe Bild 8).



Legende

TSS zu prüfende Thyristordiode

A Strommessgerät, Anzeige des Stromspitzenwertes

PS Wechselspannungsversorgung, die auf die festgelegte Spannung eingestellt ist

R1 Widerstand, der den Kurzschluss-Spitzenwert definiert

S1 Schalter, zur Durchführung der Prüfung geschlossen

REC Voll- oder Halbwellengleichrichter, der für unidirektionale Prüfungen angeschlossen wird

Bild 8 – Prüfschaltung für die Verifizierung des periodischen Durchlassstrom-Spitzenwertes (I_{TRM})

Der Wechselspannungs-Prüfgenerator muss für die Werte der Leerlaufspannung und des Kurzschlussstroms oder Gleichwertigem mit der Kurvenform und dem Scheitelwert der Kurvenform ausgelegt sein. Die Leistungskapazität des Generators muss sicherstellen, dass die Suppressordiode immer in den Durchlasszustand schaltet. Unidirektionale Suppressordioden, die nicht für den Betrieb mit in beide Richtungen fließende Ströme bemessen sind, erfordern einen Brücken- oder Halbwellengleichrichter, der für die Prüfung mit Voll- oder Halbwellen der Wechselspannungsquelle hinzugefügt werden muss. Während der Prüfung mit I_{TRM} kann eine temperaturempfindliche Eigenschaft einer Suppressordiode, wie z. B. I_H , mit Hilfe eines Oszilloskops beobachtet werden, dessen Strom- und Spannungssonden mit der Suppressordiode in der im Bild 9 gezeigten Weise verbunden sind.

Die mittlere Arbeits-Sperrschichttemperatur kann aus den Messwerten der Parameter – Temperaturkoeffizient und Anfangstemperatur der Suppressordiode – berechnet werden. Nach der Prüfung mit I_{TRM} darf die Suppressordiode keine ihrer festgelegten Eigenschaften verlieren. Die Prüfdauer muss ausreichend lang sein, damit das gewünschte Vertrauen in die Zuverlässigkeit des Gerätes erreicht wird.

ANMERKUNG Große Unterschiede zwischen den Eigenschaften vor und nach der Prüfung stellen eine mögliche Anzeige für eine Verschlechterung (der Eigenschaften) der Suppressordiode dar.

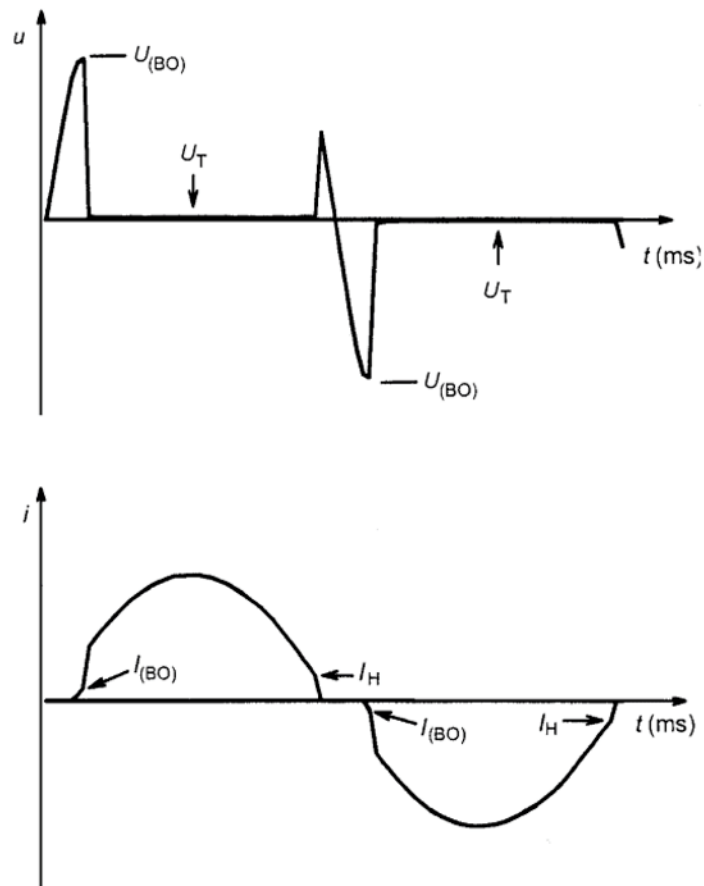
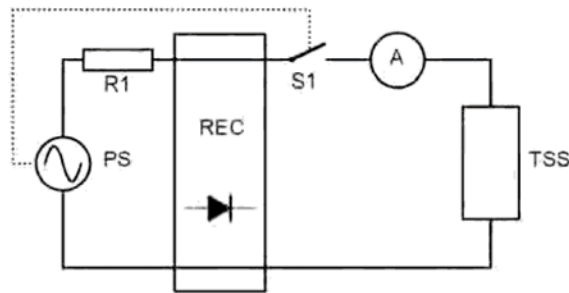


Bild 9 – Kurvenform des periodischen Durchlassstrom-Spitzenwerts

7.3.4 Nichtperiodischer Durchlassstrom-Spitzenwert, I_{TSM}

Zweck dieser Prüfung ist die Erbringung des Nachweises, dass die Suppressordiode für eine festgelegte Dauer einem (quasi-sinusförmigen) Wechselstoßstrom widerstehen kann, ohne dass ein Ausfall auftritt. Die verwendete Prüfschaltung muss zu derjenigen im Bild 10 funktional gleichwertig sein.



Legende

TSS zu prüfende Thyristordiode

A Strommessgerät, Anzeige des Stromspitzenwertes

PS Wechselspannungsversorgung, die auf die festgelegte Spannung eingestellt ist

R1 Widerstand, der den Kurzschluss-Spitzenwert definiert

S1 Schalter, für die festgelegte Dauer geschlossen, Betrieb mit den Nulldurchgängen der Wechselspannung synchronisiert

REC Voll- oder Halbwellengleichrichter, der für unidirektionale Prüfungen angeschlossen wird

Bild 10 – Prüfschaltung für die Verifizierung des nichtperiodischen Durchlassstrom-Spitzenwerts, I_{TSM}

Der Schalter S1 öffnet oder schließt bei den Nulldurchgängen der Wechselspannungsversorgung. Dies stellt sicher, dass die Suppressordiode mit halben oder vollen Wechselspannungszyklen geprüft wird. Der Wechselspannungs-Prüfgenerator muss für die Werte der Leerlaufspannung und des Kurzschlussstroms oder Gleichwertigem mit der Kurvenform, dem Scheitelwert der Kurvenform und die Dauer, für die der Schalter S1 geschlossen ist, ausgelegt sein. Die Leistungskapazität des Generators muss sicherstellen, dass die Suppressordiode immer in den leitenden Zustand (Durchlasszustand) schaltet. Unidirektionale Suppressordioden, die nicht für den Betrieb mit in beide Richtungen fließende Ströme bemessen sind, erfordern einen Brücken- oder Halbwellengleichrichter, der für die Prüfung mit Voll- oder Halbwellen der Wechselspannungsquelle hinzugefügt werden muss. Nachdem der Schalter S1 für die festgelegte Prüfdauer geschaltet hat und die Suppressordiode zu thermischen Gleichgewichtsbedingungen zurückgekehrt ist, darf die Suppressordioden keine ihrer festgelegten Eigenschaften verlieren.

ANMERKUNG Große Unterschiede zwischen den Eigenschaften vor und nach der Prüfung stellen eine mögliche Anzeige für eine Verschlechterung (der Eigenschaften) der Suppressordiode dar.

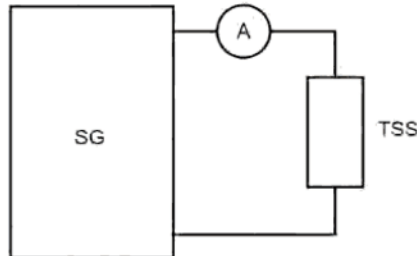
Die Prüfdauer kann als eine Zeit oder eine Anzahl von Wechselspannungszyklen bei festgelegter Frequenz der Stromversorgung festgelegt sein. Eine Prüfung mit nichtperiodischem Bemessungsstrom darf nicht wiederholt werden, bevor die Suppressordiode zu thermischen Gleichgewichtsbedingungen zurückgekehrt ist. Wenn keine besonderen Anforderungen vorhanden sind, sollte die Suppressordiode in der Lage sein, bis zu 100 solcher Prüfungen zu widerstehen, ohne dass ein Ausfall während seiner Lebensdauer auftritt. Die I_{TSM} -Bemessung ändert sich mit der Prüfdauer und mehrere Werte können erforderlich sein, um die Erfordernisse einer Anwendung zu erfüllen; empfohlene Zeitspannen sind ein Zyklus bei 0,1 s, 1 s und 10 s.

7.3.5 Nichtperiodischer Spitzenstoßstrom, I_{PP}

Zweck dieser Prüfung ist die Erbringung des Nachweises, dass eine Suppressordiode einem Impuls mit festgelegter Impulsform mit Kurzschlussstromamplitude, I_{PP} , widerstehen kann, ohne dass ein Ausfall auftritt. Die verwendete Prüfschaltung muss zu derjenigen im Bild 11 funktional gleichwertig sein. Der für die Prüfung verwendete Impulsgenerator muss für die Werte der Leerlaufspannung und des Kurzschlussstroms oder Gleichwertigem mit der Kurvenform und dem Scheitelwert der Kurvenform ausgelegt sein. Die Leistungskapazität des Generators muss sicherstellen, dass die Suppressordiode immer in den leitenden Zustand (Durchlasszustand) schaltet. Nach dem Abklingen des Impulses und nachdem die Suppressordiode zu ther-

mischen Gleichgewichtsbedingungen zurückgekehrt ist, darf die Suppressordiode keine ihrer festgelegten Eigenschaften verlieren.

ANMERKUNG Große Unterschiede zwischen den Eigenschaften vor und nach der Prüfung stellen eine mögliche Anzeige für eine Verschlechterung (der Eigenschaften) der Suppressordiode dar.



Legende

TSS zu prüfende Thyristordiode

A Spitzenwert anzeigendes Strommessgerät

SG Impulsgenerator mit festgelegten Eigenschaften

Bild 11 – Prüfschaltung für die Verifizierung des nichtperiodischen Spitzenstoßstroms, I_{PP}

Jeder Schaltquadrant der Suppressordiode muss einzeln (getrennt) geprüft und gemessen werden. Eine Prüfung mit nichtperiodischem Bemessungsstrom darf nicht wiederholt werden, bevor die Suppressordiode zu thermischen Gleichgewichtsbedingungen zurückgekehrt ist. Wenn keine besonderen Anforderungen vorhanden sind, sollte der Thyristor (die Suppressordiode) in der Lage sein, bis zu 100 solcher Prüfungen zu widerstehen, ohne dass ein Ausfall während seiner Lebensdauer auftritt. Für Verifizierungszwecke kann eine kleinere Anzahl an Prüfungen vorgezogen werden. Die I_{TSM} -Bemessung ändert sich mit der Impulsform und mehrere Werte der Impulsform können erforderlich sein, um die Erfordernisse einer Anwendung zu erfüllen. [Anhang A](#) listet einige Kurvenformen auf, die gewöhnlich für die Prüfung von Suppressordioden in Telekommunikationsanwendungen eingesetzt werden.

7.3.6 Periodische Rückwärts-Spitzensperrspannung, U_{RRM}

Zweck dieser Prüfung ist die Erbringung des Nachweises, dass die Suppressordiode eine Sperrbedingung mit hoher Impedanz aufrechterhält, wenn sie dauerhaft dem Bemessungswert der periodischen Rückwärts-Spitzensperrspannung ausgesetzt wird. Der Bemessungswert der periodischen Rückwärts-Spitzensperrspannung, U_{RRM} , muss über der Suppressordiode in ihrer Sperrrichtung angelegt werden und der Wert des periodischen Rückwärts-Spitzensperrstroms, I_{RRM} , muss während der Prüfung gemessen werden, wobei ein Stromkreis verwendet wird, der zu demjenigen im [Bild 7](#) funktional gleichwertig ist. Der gemessene Strom darf den festgelegten Höchstwert von I_{RRM} nicht überschreiten. Nach der Prüfung mit U_{RRM} darf die Suppressordiode keine ihrer festgelegten Eigenschaften verlieren. Die Prüfdauer muss ausreichend lang sein, damit das gewünschte Vertrauen in die Zuverlässigkeit der Suppressordiode erreicht wird.

ANMERKUNG Große Unterschiede zwischen den Eigenschaften vor und nach der Prüfung stellen eine mögliche Anzeige für eine Verschlechterung (der Eigenschaften) der Suppressordiode dar.

7.3.7 Nichtperiodischer Vorwärts-Stoßstrom, I_{FSM}

Zweck dieser Prüfung ist die Erbringung des Nachweises, dass der Diodenbereich einer vorwärts- oder rückwärts leitenden Suppressordiode für eine festgelegte Dauer einem Wechselstoßstrom widerstehen kann, ohne dass ein Ausfall auftritt. Das Verfahren für die Prüfung mit dem nichtperiodischen Durchlassstrom-Spitzenwert, I_{TSM} , (siehe [7.3.4](#) und [Bild 10](#)) muss für die Verifizierung des nichtperiodischen Vorwärts-Stoßstroms, I_{FSM} , verwendet werden. Wenn die verwendete Zeitperiode, in der die Suppressordiode im

Durchlasszustand ist, einen vollen Zyklus beträgt oder länger ist, dann ist eher I_{TSM} (siehe 7.3.4) als I_{FSM} anwendbar. (I_{TSM} schließt sowohl den Durchlasszustand der Diode als auch des Thyristors ein). Nach der Prüfung mit I_{FSM} und nachdem die Suppressordiode zu thermischen Gleichgewichtsbedingungen zurückgekehrt ist, darf die Suppressordiode keine ihrer festgelegten Eigenschaften verlieren.

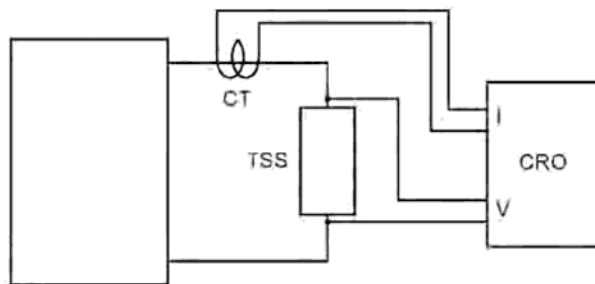
ANMERKUNG Große Unterschiede zwischen den Eigenschaften vor und nach der Prüfung stellen eine mögliche Anzeige für eine Verschlechterung (der Eigenschaften) der Suppressordiode dar.

7.3.8 Periodischer Vorwärts-Spitzenstoßstrom, I_{FRM}

Zweck dieser Prüfung ist die Erbringung des Nachweises, dass der Diodenbereich einer vorwärts- oder rückwärts leitenden Suppressordiode den periodischen Vorwärts-Stoßstrom dauerhaft leiten kann, ohne dass ein Ausfall auftritt oder die höchstzulässige Sperrschicht-Bemessungstemperatur überschritten wird. Das Verfahren für die Prüfung mit dem periodischen Durchlassstrom-Spitzenwert, I_{TSM} , (siehe 7.3.3 und Bild 8) muss für die Verifizierung des periodischen Vorwärts-Spitzenstoßstroms, I_{FRM} , verwendet werden. Wenn keine besonderen Anforderungen vorhanden sind, sollte I_{TRM} anstelle von I_{FRM} festgelegt werden, da I_{TRM} sowohl den Durchlasszustand der Diode als auch des Thyristors einschließt.

7.3.9 Kritische Stromsteilheit des Durchlassstroms, di/dr

Zweck dieser Prüfung ist die Erbringung des Nachweises, dass die Suppressordiode einen schnell ansteigenden Strom, der mit der Wellenfront eines Impulses auftreten kann, verkraftet. Die verwendete Prüfschaltung muss zu derjenigen im Bild 12 funktional gleichwertig sein.



Legende

- TSS zu prüfende Thyristordiode
- CT Stromwandler oder gleichwertiges
- RG Rampengenerator mit festgelegtem di/dr
- CRO Zweikanal-Oszilloskop oder gleichwertiges

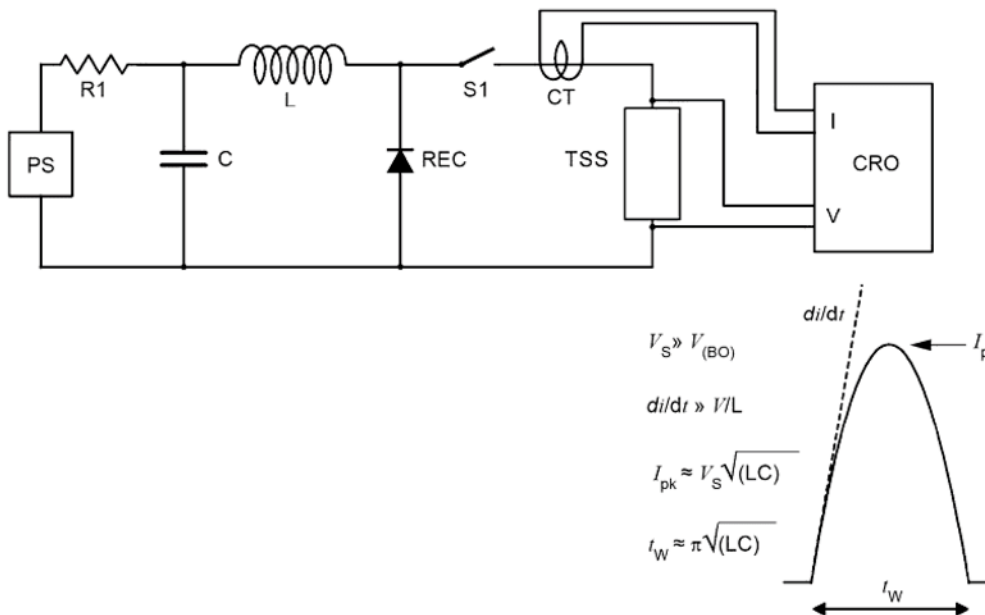
Bild 12 – Prüfschaltung für die Verifizierung der kritischen Stromsteilheit des Durchlassstroms (di/dr)

Spannungs- (U -) und Strom- (I -)Anzeigegeräte (typischerweise ein digitales oder Speicheroszilloskop mit Spannungs- und Stromsonden) werden zur Aufzeichnung der Schaltkreisbedingungen verwendet. Nach der Anwendung des di/dt -Impulses auf den Thyristor und nachdem letzterer zu thermischen Gleichgewichtsbedingungen zurückgekehrt ist, darf der Thyristor keine seiner festgelegten Eigenschaften verlieren. (Große Unterschiede zwischen den Eigenschaften vor und nach der Prüfung stellen eine mögliche Anzeige von Verschlechterungen (der Eigenschaften) des Thyristors dar.)

Der di/dt -Prüfgenerator muss hinsichtlich seines di/dt und des Spitzen-(Scheitel-)Stroms sowie der Kurvenform (üblicherweise ist die Abtriebsflanke sehr kurz) spezifiziert werden. Es ist wesentlich, dass für diese Prüfung die korrekte Kurvenform verwendet wird und der Hersteller des Thyristors sollte hinsichtlich der Einzelheiten der Prüfschaltung und der Kurvenform kontaktiert werden. Wenn keine besonderen Anforderun-

gen vorhanden sind, sollte ein Generator, der auf der genormten Thyristor-di/dt-Prüfschaltung beruht, verwendet werden. Die Grundschaltung und die Kurvenformen sind im Bild 13 gezeigt.

Jeder Schaltquadrant der Suppressordiode muss einzeln (getrennt) geprüft und gemessen werden. Eine Prüfung mit nichtperiodischem Bemessungsstrom darf nicht wiederholt werden, bevor der Thyristor zu thermischen Gleichgewichtsbedingungen zurückgekehrt ist. Wenn keine besonderen Anforderungen vorhanden sind, sollte der Thyristor (die Suppressordiode) in der Lage sein, bis zu 100 solcher Prüfungen in jeder Prüfpolarität zu widerstehen, ohne dass ein Ausfall während seiner Lebensdauer auftritt. Für Verifizierungszwecke kann eine kleinere Anzahl an Prüfungen vorgezogen werden.



Legende

- TSS zu prüfende Thyristordiode
- CT Stromwandler oder gleichwertiges
- PS Gleichspannungsversorgung, die auf U_S eingestellt ist
- R1 Widerstand, der den Ladestrom begrenzt
- S1 Schalter, wird zur Einleitung der Prüfung geschlossen, öffnet beim Nulldurchgang des Stroms
- REC Gleichrichter, leitet die negative Halbwellen des Stroms
- C Kapazität zur Energiespeicherung und Zeitsteuerung
- L Induktivität zur Einstellung des di/dr
- CRO Zweikanal-Oszilloskop oder gleichwertiges

Bild 13 – Halbwellen-di/dt-Prüfschaltung

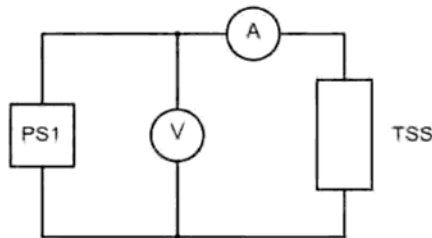
7.4 Verfahren für die Prüfung der Eigenschaften

7.4.1 Allgemeines

Die zur Einrichtung der Schutzspannung verwendeten Überspannungs- und Überstrom-Prüfpegel müssen aus einer oder mehreren der im Anhang E zitierten IEC- und ITU-T-Bezugsschriftstücken entnommen sein. Diese Prüfpegel können für das endgültige Gerät modifiziert werden durch Einbeziehung jeglicher Stoßstrom-koordinierenden Komponenten des Geräts in der Prüfschaltung.

7.4.2 Sperrgleichstrom, I_D

Zweck dieser Prüfung ist die Bestimmung des Sperrgleichstroms einer Suppressordiode, wenn diese mit einer festgelegten Sperrgleichspannung angesteuert wird. Die verwendete Prüfschaltung muss zu derjenigen im Bild 14 funktional gleichwertig sein. Der Spannungsausgang der Gleichspannungsversorgung muss von Null auf den festgelegten Wert der Sperrgleichspannung U_D mit einer Steilheit, die unterhalb des Mindestwerts der kritischen Spannungsteilheit der Sperrgleichspannung liegt, rampenförmig ansteigen. Die Gleichspannung wird angelegt, bis sich der Wert des Sperrgleichstroms I_D stabilisiert hat. Der endgültige Wert von I_D muss gemessen werden. Sofern nichts anderes festgelegt ist, muss jeder Schaltquadrant der Suppressordiode einzeln (getrennt) geprüft und gemessen werden.



Legende

TSS zu prüfende Thyristordiode

A Strommessgerät

V Gleichspannungsmessgerät

PS1 Gleichspannungsversorgung, die rampenförmig auf U_D geschaltet wird

Bild 14 – Prüfschaltung für den Sperrgleichstrom, I_D bei U_D

7.4.3 Periodischer Spitzensperrstrom, I_{DRM}

Zweck dieser Prüfung ist die Bestimmung des (Vorwärts-)Spitzensperrstroms einer Suppressordiode, wenn diese mit der festgelegten periodischen Spitzensperrspannung angesteuert wird. Der Bemessungswert der periodischen Spitzensperrspannung, U_{DRM} , muss über dem Thyristor (der Suppressordiode) angelegt und der Wert des periodischen Spitzensperrstroms des Thyristors (der Suppressordiode), I_{DRM} , muss während der Prüfung mit einer Prüfschaltung gemessen werden, die zu derjenigen im Bild 7 funktional gleichwertig ist. Wenn nichts anderes festgelegt ist, muss jeder Schaltquadrant der Suppressordiode einzeln (getrennt) geprüft und gemessen werden.

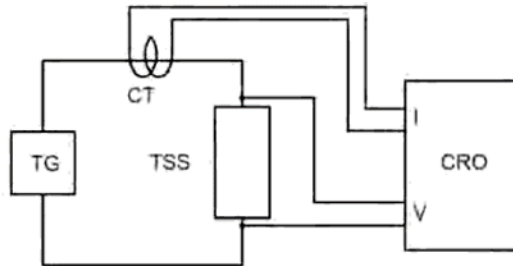
7.4.4 Periodischer Rückwärts-Spitzensperrstrom, I_{RRM}

Zweck dieser Prüfung ist die Bestimmung des Rückwärts-Spitzensperrstroms einer rückwärts sperrenden Suppressordiode, wenn diese mit der festgelegten periodischen Rückwärts-Spitzensperrspannung angesteuert wird. Der Bemessungswert der periodischen Rückwärts-Spitzensperrspannung, U_{RRM} , muss über dem Thyristor (der Suppressordiode) in seinem sperrenden Quadranten angelegt und der Spitzenwert des periodischen Rückwärts-Spitzensperrstroms des Thyristors (der Suppressordiode), I_{RRM} , muss während der Prüfung mit einer Prüfschaltung gemessen werden, die zu derjenigen im Bild 7 funktional gleichwertig ist.

7.4.5 Kippspannung $U_{(BO)}$ und -strom, $I_{(BO)}$

Zweck dieser Prüfung ist die Bestimmung des Durchbruchs einer Suppressordiode bei einer festgelegten rampenförmigen Anstiegsrate. Die verwendete Prüfschaltung muss zu derjenigen im Bild 15 funktional gleichwertig sein. Der Prüfgenerator muss für die Werte der Leerlaufspannung und des Kurzschlussstroms oder Gleichwertigem mit der Anstiegsrate, Kurvenform, dem Scheitelwert der Kurvenform und bei Wechsel-

spannungsprüfungen für die Dauer ausgelegt sein. Alternativ muss das Schalt diagramm des Prüf generators bereitgestellt werden. Die Spitzenspannung, $U_{(BO)}$, die über der Suppressordiode beim Schalten vom Sperr- in den Durchlasszustand abfällt, muss gemessen werden (siehe Bilder 16 bis 19). Für Wechselspannungsprüfungen mit mehreren Zyklen muss der gemessene Wert der höchste Wert aller $U_{(BO)}$ -Werte der einzelnen Zyklen sein. Der entsprechende bei $U_{(BO)}$ durch den Thyristor (die Suppressordiode) fließende Momentanstrom $I_{(BO)}$ muss auch für eine rampenförmige Anstiegsrate der Spannung mit energietechnischer Frequenz gemessen werden (siehe Bilder 17 und 19).



Legende

TSS zu prüfende Thyristordiode

CT Gleichstrommesssonde oder gleichwertiges

TG Prüf generator mit festgelegten Eigenschaften, der die Suppressordiode vom Sperr- in den Durchlasszustand schaltet

CRO Zweikanal-Oszilloskop oder gleichwertiges

BEISPIEL Der Prüf generator, TG, der in den Bildern 16 bis 19 verwendet wird, besteht aus einer Stromquelle und einem 300-Ω-Shunt-Widerstand. Beginnend bei Null wird die Stromquelle auf 3 A mit einer Anstiegsrate von 3,33 A/ms rampenförmig gesteigert (die Anstiegsrate der Leerlaufspannung beträgt 1 000 V/ms); der Strom wird dann schrittweise auf 5 A für 200 µs erhöht, bevor er auf 2 A abfällt; danach wird der Strom rampenförmig auf Null mit einer Abstiegsrate von 0,2 A/ms abgesenkt ab. Diese sequenzielle Prüfung betreibt den Prüfling um seine Eigenschaften herum, wobei sie die Messung der Werte von $U_{(BO)}$, $I_{(BO)}$, U_S , I_S , U_T und I_H ermöglicht, soweit jene für das Bauelement geeignet sind.

Bild 15 – Prüfschaltung für die Kippspannung, $U_{(BO)}$, und den Kippstrom, $I_{(BO)}$, sowie die Durchlassspannung, U_T

Die Bilder 16 bis 19 zeigen die Kurvenformen der Schaltquadrantenspannungen und -ströme der zwei Arten von Suppressordioden: Suppressordioden mit fester Spannung und steuerbare Suppressordioden. Erweiterte Abschnitte der Gesamt-Kurvenform detaillieren die Clipping-, Durchlass- und Sperrbedingungen. (Bild 5 zeigt die zwei Thyristorarten (mit fester Spannung und steuerbar) in Begriffen der Spannungs-Strom-Hauptkennlinie). Die Kurvenformen verdeutlichen generischen Kurvenformen für die Thyristorarten; diese sollten nicht als typische Werte genommen werden.

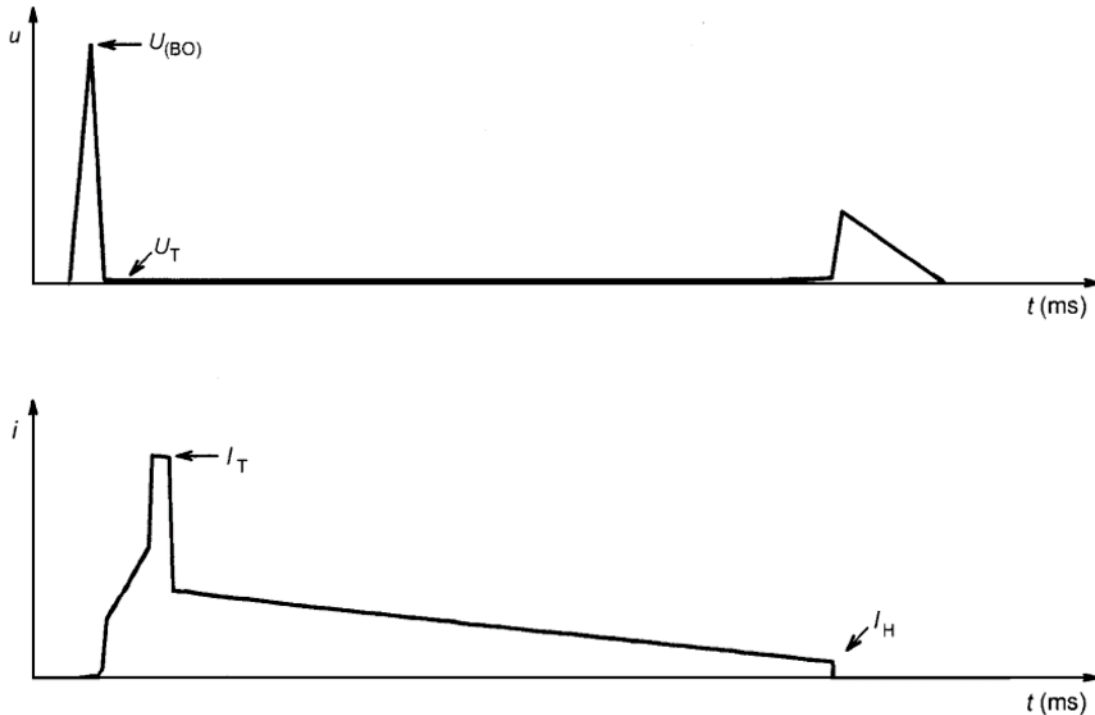


Bild 16 – Kurvenformen der Spannung, aufgetragen gegen die Zeit, und des Stroms für eine Suppressordiode mit fester Spannung, wobei das Schalten in den Durchlasszustand, der Durchlasszustand und das Schalten in den Sperrzustand gezeigt werden

Jeder Schaltquadrant der Suppressordiode muss einzeln (getrennt) geprüft und gemessen werden. Mehrzyklige Wechselspannungsprüfungen von unidirektionalen Suppressordioden müssen entweder mit Vollwellen- oder Halbwellen-gleichgerichteter Wechselspannung durchgeführt werden, je nachdem, was für die Anwendung erforderlich ist. Die $U_{(BO)}$ - und $I_{(BO)}$ -Werte variieren mit der Anstiegsrate und mehrere Rampenraten können erforderlich sein, um die Erfordernisse einer Anwendung zu erfüllen. Wenn keine besonderen Anforderungen vorhanden sind, sollten eine oder mehrere der in Tabelle 2 gezeigten Anstiegsraten für die Prüfung verwendet werden.

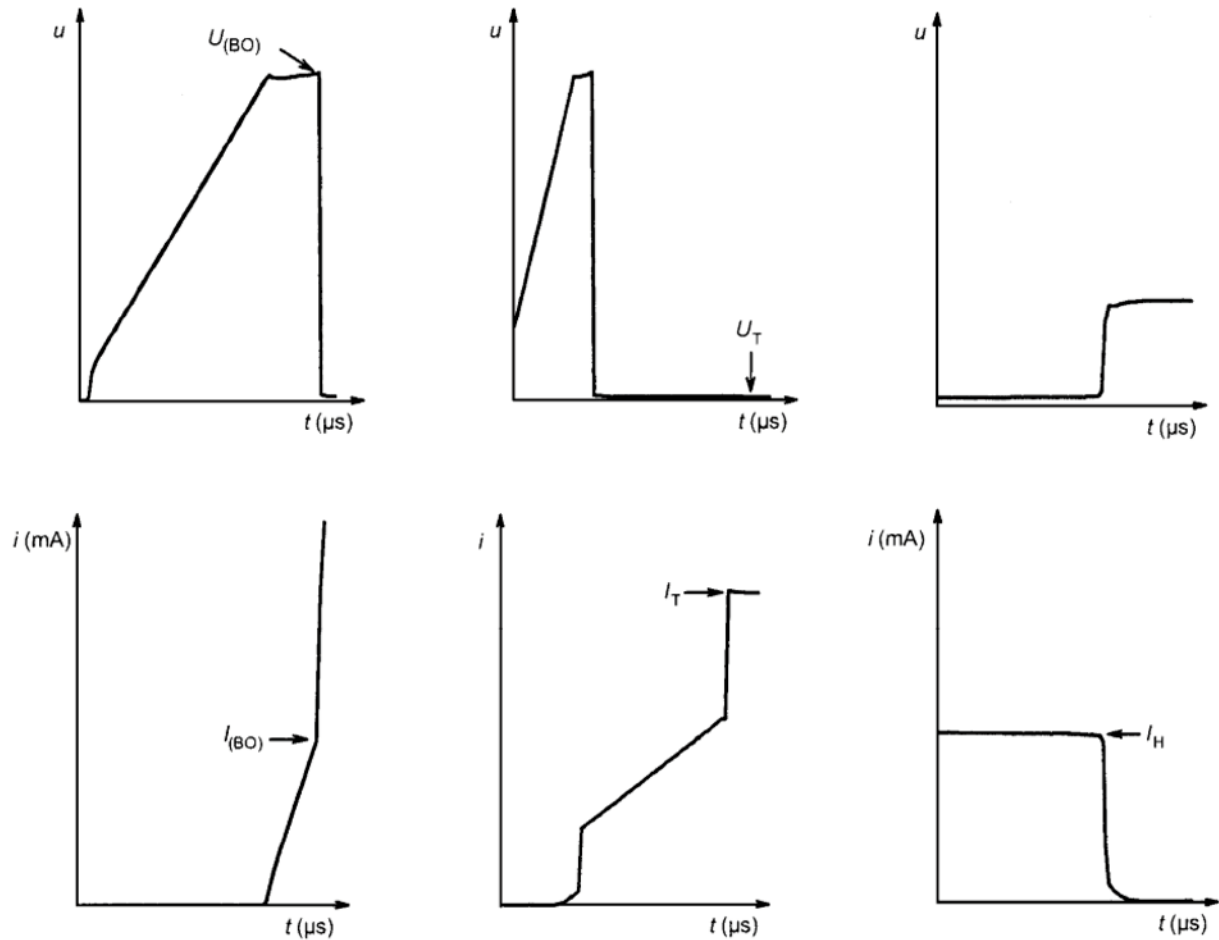
Tabelle 2 – Prüfwerte für das Kippen mit rampenförmiger Anstiegsrate

Anwendung	du/dt (Leerlauf)	Quellenwiderstand R	di/dt (Kurzschluss)
langsame Rampe	4 V/ms	500 Ω (positive Steilheit der Durchbruchkennlinie) 4 000 Ω (negative Steilheit der Durchbruchkennlinie)	8 mA/ms 1 mA/ms
Wechselspannung	250 V/ms	250 Ω	1 A/ms
langsamer Impuls	100 V/ μ s	100 Ω	1 A/ μ s
schneller Impuls	1 000 V/ μ s	100 Ω	10 A/ μ s

7.4.6 Durchlassspannung U_T

Zweck dieser Prüfung ist die Bestimmung der Durchlassspannung einer Suppressordiode bei einem festgelegten Strom. Dieser Spannungswert wird zur Berechnung der Durchlass-Verlustleistung verwendet. Die verwendete Prüfschaltung muss zu derjenigen im Bild 15 funktional gleichwertig sein. Der Prüfgenerator muss für die Werte der Leerlaufspannung und des Kurzschlussstroms oder Gleichwertigem mit der

Kurvenform und dem Scheitelwert der Kurvenform ausgelegt sein. Alternativ muss das Schaltdiagramm des Prüfgenerators bereitgestellt werden.



a) Periode des Schaltens in den Durchlasszustand, wobei der Zusammenhang zwischen $U_{(BO)}$ und $I_{(BO)}$ gezeigt wird

b) Hochstrom-(Durchlass-) Periode, wobei der Zusammenhang zwischen U_T - und I_T gezeigt wird

c) Periode des Schaltens in den Sperrzustand, wobei der Zusammenhang zwischen der Spannung und I_H gezeigt wird

Bild 17 – Kurvenform-Erweiterungen von Bild 16

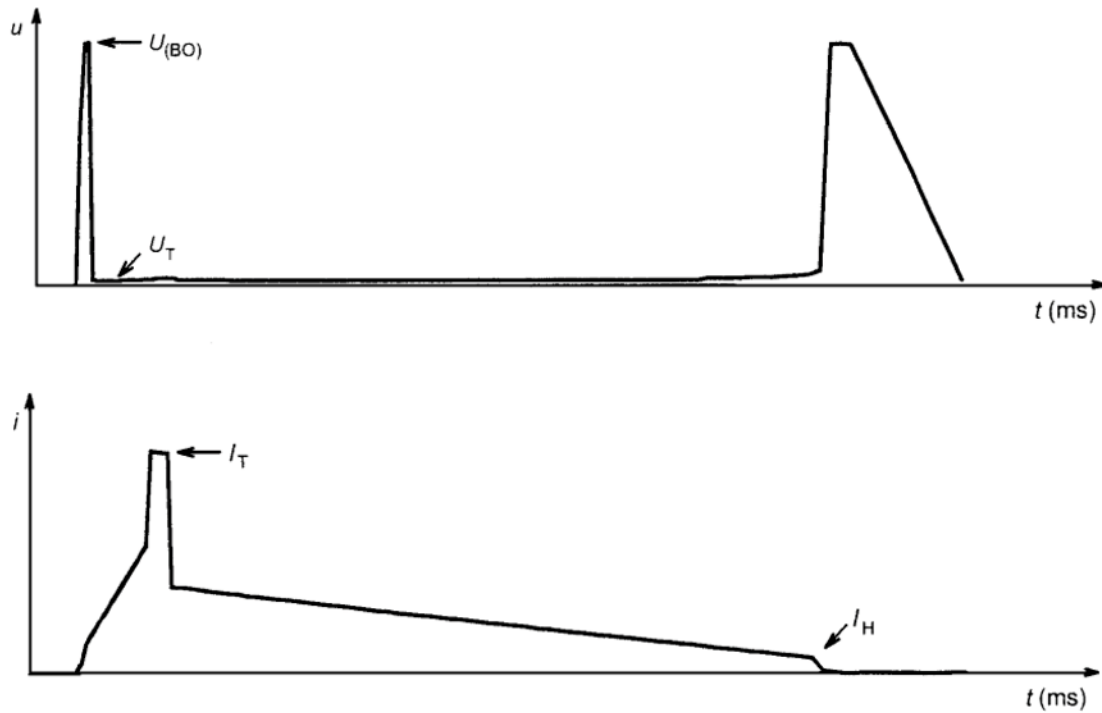
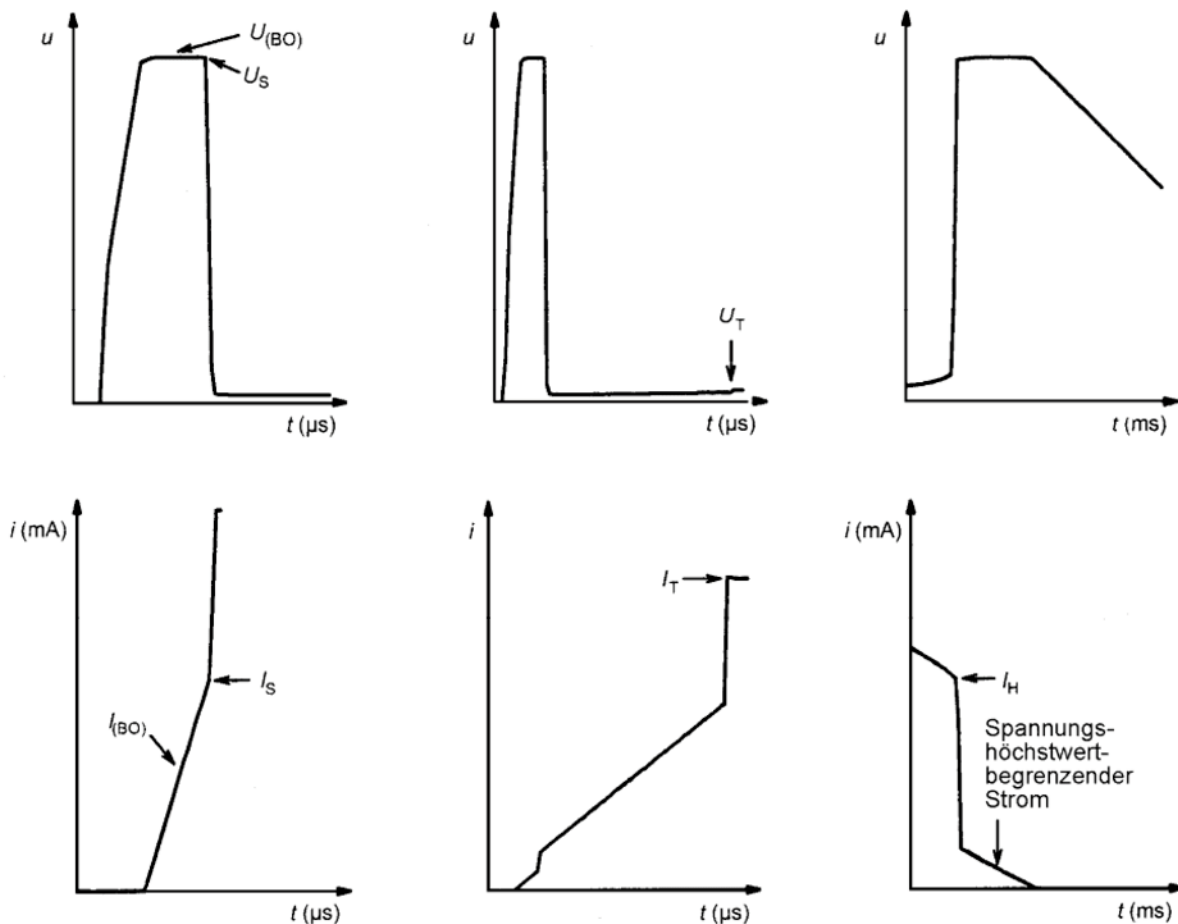


Bild 18 – Kurvenformen der Spannung und des Stroms, aufgetragen gegen die Zeit, für eine steuerbare Suppressordiode, wobei das Schalten in den Durchlasszustand, der Durchlasszustand und das Schalten in den Sperrzustand gezeigt werden



a) Periode des Schaltens in den Durchlasszustand, wobei der Zusammenhang zwischen $U_{(BO)}$, U_S , $I_{(BO)}$ und I_S gezeigt wird

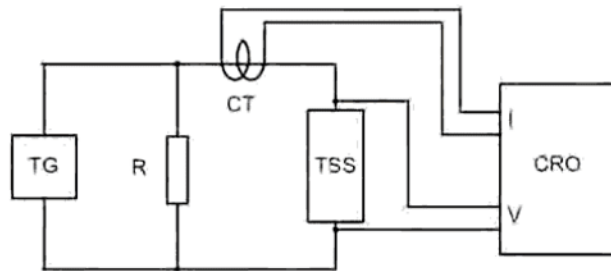
b) Hochstrom-(Durchlass-) Periode, wobei der Zusammenhang zwischen U_T - und I_T gezeigt wird

c) Periode des Schaltens in den Sperrzustand, wobei der Zusammenhang zwischen der Spannung und I_H gezeigt wird

Bild 19 – Kurvenform-Erweiterungen von Bild 18

Der Generator muss die Suppressordiode in den Durchlasszustand schalten und der Wert der Durchlassspannung, U_T , muss bei einer festgelegten Zeit und einem festgelegten Wert des Durchlassstroms, I_T , gemessen werden (siehe die U_T -Kurvenformen in den Bildern 17 und 19).

Jeder Schalterpolarität der Suppressordiode muss einzeln (getrennt) geprüft und gemessen werden. Der Wert von U_T variiert mit dem Wert von I_T und der Zeit. Ein niedriger und ein hoher Stromwert für U_T kann erforderlich sein, um den Wechselspannungs- und Impulsbetrieb abzudecken.



Legende

TSS zu prüfende Thyristordiode

CT Gleichstrommesssonde oder gleichwertiges

TG Prüfgenerator mit festgelegten Eigenschaften, der die Suppressordiode auf den Durchlassstrom, I_T , schaltet und dann den Strom mit einem festgelegten di/dt verringert, um Schalten in den Sperrzustand zu bewirken

R Widerstand, der den Quellenwiderstand definiert (falls erforderlich)

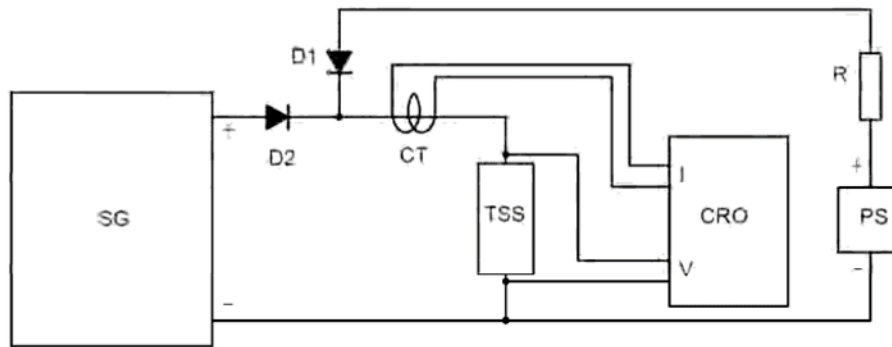
CRO Zweikanal-Oszilloskop oder gleichwertiges

Bild 20 – Prüfschaltung für den Haltestrom, I_H

7.4.7 Haltestrom, I_H

Zweck dieser Prüfung ist die Bestimmung des Haltestroms einer Suppressordiode. Die verwendete Prüfschaltung muss zu derjenigen im Bild 20 funktional gleichwertig sein. Der Prüfgenerator muss für die Werte der Leerlaufspannung und des Kurzschlussstroms oder Gleichwertigem mit der Kurvenform und dem Scheitelwert der Kurvenform ausgelegt sein. Der Prüfgenerator muss die Suppressordiode in einen festgelegten Durchlasszustand schalten und anschließend den Durchlassstrom rampenförmig verringern, bis der Thyristor (die Suppressordiode) in den Sperrzustand schaltet (siehe die I_H -Kurvenformen in den Bildern 17 und 19). Das Schalten in den Sperrzustand ist bestimmt, wenn der Wert der Thyristorspannung einen festgelegten Schwellenwert überschreitet. Der Momentanwert der extrapolierten Rampe, wenn dies auftritt, wird als Haltestrom gemessen. Mit diesem eingeführten Lösungsansatz wird eher der Strom gemessen, bei dem das Gerät in den Sperrzustand schaltet, als der Strom, bei dem das Gerät den Durchlasszustand gerade noch beibehält. Bei den meisten Anwendungen besteht eher das Erfordernis nach dem Wert, bei dem das Thyristor schaltet, als nach einem Wert, bei dem der Durchlasszustand beibehalten wird.

Wenn ein Impulsgenerator als Prüfgenerator benutzt wird, kann es sein, dass seine Ausgangsspannung bei der Höhe des Haltestroms für eine angemessene Unterscheidung des Abschaltpunktes zu klein ist. Zur Erhöhung der Abschaltspannung sollte der Generator und ein Strom (kleiner als der festgelegte Mindestwert von I_H) aus einer Gleichspannungsversorgung ($< U_{DRM}$) über die Dioden D1 bzw. D2 mit dem Thyristor (der Suppressordiode) verbunden werden (siehe Bild 21, wobei die Dioden D1 und D2 jeglichen Rückfluss des Stroms in die Gleichspannungsversorgungsquelle (PS) oder den Impulsgenerator (SG) verhindern. Jeder Schaltquadrant der Suppressordiode muss einzeln (getrennt) geprüft und gemessen werden.



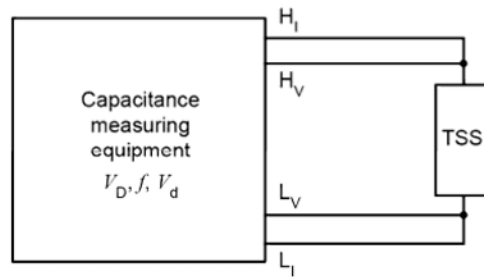
Legende

- TSS zu prüfende Thyristordiode
- CT Gleichstrommesssonde oder gleichwertiges
- SG Impulsgenerator mit festgelegten Eigenschaften
- PS Gleichspannungsversorgung, die auf die festgelegte Spannung eingestellt ist
- D1 Isolationsdiode für PS
- D2 Isolationsdiode für SG
- R Widerstand, der den Widerstand der Gleichspannungsquelle definiert
- CRO Zweikanal-Oszilloskop oder gleichwertiges

Bild 21 – Prüfschaltung für den Haltestrom mit zusätzlicher Gleichspannungsansteuerung

7.4.8 Sperrkapazität, C_o

Zweck dieser Prüfung ist die Bestimmung der Sperrkapazität einer Suppressordiode unter festgelegten Bedingungen. Die verwendete Prüfschaltung muss zu derjenigen im Bild 22 funktional gleichwertig sein. Die Sperrkapazität der Suppressordiode muss bei festgelegten Sperrgleichspannungs- (U_{D-}) und Sperrwechselspannungs- (U_{d-} mit der Frequenz f) Ansteuerpegeln gemessen werden. Wenn keine besonderen Anforderungen vorhanden sind, sollte ein Sperrwechselspannungs-Ansteuerpegel von $U_d = 1 V_{eff}$ bei einer Frequenz von $100 \text{ kHz} < f < 1 \text{ MHz}$ verwendet werden. Der Sperrgleichspannungs-Ansteuerpegel sollte -2 V und jeder andere, für die vorgesehene Anwendung repräsentative Pegel sein.



Legende

TSS zu prüfende Thyristordiode

H_v Spannungssensor H_i

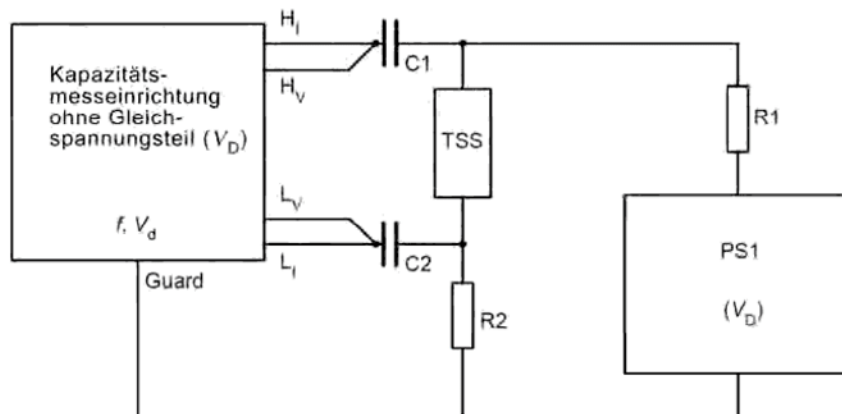
H_i Stromeinspeisung H_i

L_v Spannungssensor L_x

L_i Stromrückführung L_o

Bild 22 – Prüfschaltung für die Messung der Kapazität

Wenn die Einrichtung zur Messung der Kapazität den erforderlichen Sperrgleichspannungs-Ansteuerpegel nicht liefern kann, kann die im Bild 23 gezeigte Schaltung verwendet werden.



Legende

TSS zu prüfende Thyristordiode

$C1, C2$ Gleichstrom-Sperrkapazitäten, $C1 = C2 \gg C_o$

$R1, R2$ Gleichstrom-Speisewiderstände, $R1 = R2 \ll U_D/I_D$

PS variable Gleichspannungsversorgung, die auf U_D eingestellt ist

H_v Spannungssensor H_i

H_i Stromeinspeisung H_i

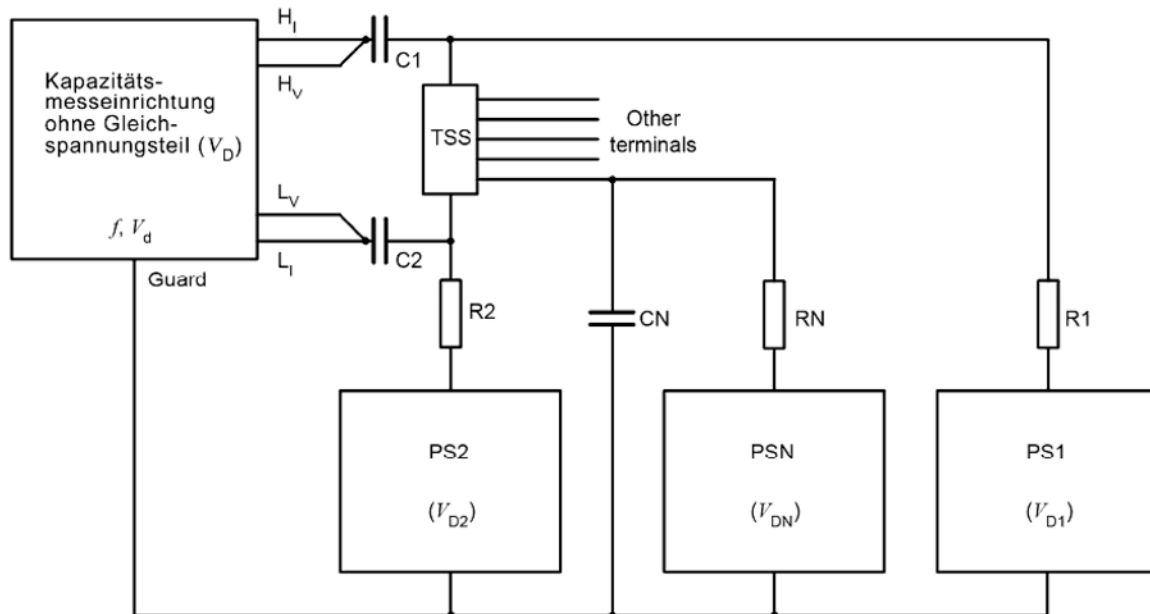
L_v Spannungssensor L_x

L_i Stromrückführung L_o

„Guard“ Masseanschluss des „Guard“ (setzt das Potenzial von Komponenten auf Null, die mit dem Messanschluss verbunden sind)

Bild 23 – Prüfschaltung für die Messung der Kapazität mit externer Gleichspannungsansteuerung

Wenn eine Suppressordiode drei Anschlüsse besitzt, muss der Anschluss, der bei der Messung nicht einbezogen ist, für die Messung der Kapazität auf Null gesetzt werden, und die Gleichspannungsansteuerung muss auf Pegel eingestellt werden, die für die vorgesehene Anwendung repräsentativ sind (siehe Bild 24). Das gleiche Messverfahren kann für Mehrfach-Suppressordioden verwendet werden, die zusammengepackt sind und vier oder mehr Anschlüsse haben, vorausgesetzt, die auf Null gesetzten Elemente befinden sich direkt zwischen den gemessenen und auf Null gesetzten Anschlüssen (siehe Bild 24). Dieses Messverfahren funktioniert nicht, wenn mehr als eines der auf Null gesetzten Elemente mit einem internen Knoten (kein Anschluss) des zu messenden Anschlusspaares verbunden ist.



Legende

TSS	zu prüfende Thyristordiode
C1, C2, ..., C _N	Gleichstrom-Sperrkapazitäten, $C1 = C2 \dots = C_N \gg C_0$
R1, R2, ..., R _N	Gleichstrom-Speisewiderstände, $R1 = R2 \dots = R_N \ll U_D/I_D$
PS1, PS2, ..., PS _N	variable Gleichspannungsversorgungen, die auf U_{D1} , U_{D2} , ..., U_{DN} eingestellt sind
H _V	Spannungssensor H _i
H _i	Stromeinspeisung H _i
L _V	Spannungssensor L _x
L _i	Stromrückführung L _O
„Guard“	Masseanschluss des „Guard“ (setzt das Potenzial von Komponenten auf Null, die mit dem Messanschluss verbunden sind)

Bild 24 – Prüfschaltung für die Messung der Kapazität bei Suppressordioden mit mehreren Anschlüssen

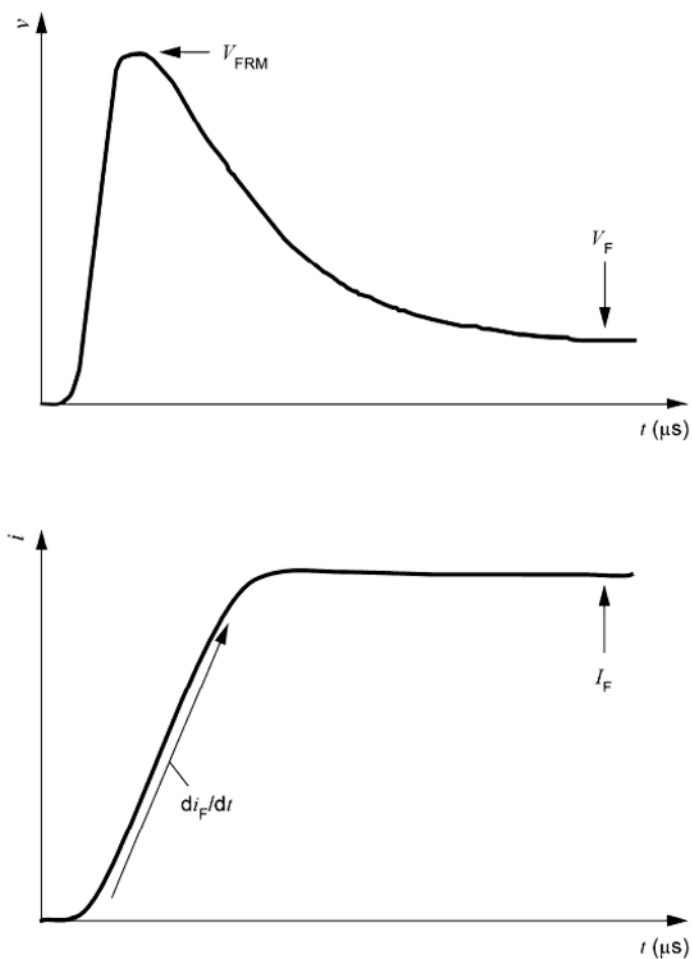


Bild 25 – Kurvenformen der Diodenspannung und des Diodenstroms, aufgetragen gegen die Zeit, wobei U_{FRM} und die Stromsteilheit di/dt gezeigt werden

7.4.9 Vorwärtsspannung, U_{F}

Zweck dieser Prüfung ist die Bestimmung der Vorwärtsspannung einer vorwärts leitenden Suppressordiode bei einem festgelegten Strom. Dieser Spannungswert wird zur Berechnung der Vorwärts-Verlustleistung verwendet. Die verwendete Prüfschaltung und die verwendeten Kurvenformen müssen mit denjenigen, die zur Bestimmung der Durchlassspannung U_{T} (siehe Bild 15) verwendet werden, im Einklang sein. Der Generator muss die Suppressordiode in den vorwärts leitenden Zustand schalten und der Wert der Vorwärtsspannung U_{F} zum festgelegten Zeitpunkt oder beim Wert des Vorwärtsstroms I_{F} gemessen werden. Schnell ansteigende Stromkurvenformen können eine zusätzliche Vorwärts-Durchlassverzögerungsspannung erzeugen; diese sollte bei der Messung von U_{F} nicht einbezogen werden (siehe Bild 25).

Für U_{F} kann ein hoher und ein niedriger Stromwert erforderlich sein, um den Wechselspannungs- und Impulsbetrieb abzudecken.

7.4.10 Vorwärts-Durchlassverzögerungsspannung, U_{FRM}

Zweck dieser Prüfung ist die Bestimmung des Spitzenwerts der Vorwärtsspannung einer vorwärts leitenden Suppressordiode unter der Bedingung einer schnell ansteigenden Stromkurvenform; dieser Spannungswert stellt die größte Beanspruchung für einen geschützten Schaltkreis dar. Die verwendete Prüfschaltung und die verwendeten Werte müssen mit denjenigen, die zur Bestimmung der schnellen Impuls-Durchbruchspannung (Kippspannung) $U_{(\text{BO})}$ (siehe Bild 15) verwendet werden, im Einklang sein. Der Generator muss den Diodenabschnitt bei einer festgelegten Anstiegsrate des Vorwärtsstroms, dI_{F}/dt , schalten und der Wert der Vorwärts-

Durchlassverzögerungsspannung U_F muss gemessen werden (siehe Bild 25). Wenn keine besonderen Anforderungen vorhanden sind, sollte die in Tabelle 2 gezeigte schnelle Anstiegsrate des Impulses, 1 000 V/ μ s und 10 A/ μ s, verwendet werden (siehe Bild 25).

7.4.11 Kritische Anstiegsrate der Sperrgleichspannung, du/dt

Zweck dieser Prüfung ist die Erbringung des Nachweises, dass die Suppressordiode als Ergebnis von schnell ansteigenden Systemspannungen mit Amplituden des Spitzenwerts, die kleiner als der Bemessungswert von U_{DRM} sind, nicht in den leitenden Zustand schaltet. Eine festgelegter rampenförmiger Spannungsanstieg, der gleich dem Mindestwert des kritischen du/dt ist und dessen Amplitude U_{DRM} beträgt, muss an die nicht mit Energie versorgte Suppressordiode angelegt werden. Der Spitzenwert der Spannungsrampe muss für eine Zeitspanne von mindestens 50 μ s aufrechterhalten werden. Während der Prüfung darf die Suppressordiode nicht – auch nicht teilweise – in den leitenden Zustand schalten. Der rampenförmige Spannungsanstieg kann exponentiell oder linear sein. Für die exponentielle Spannungsrampe in Bild 26 wird der du/dt -Wert zu $0,632 U_{DRM}/t$ berechnet.

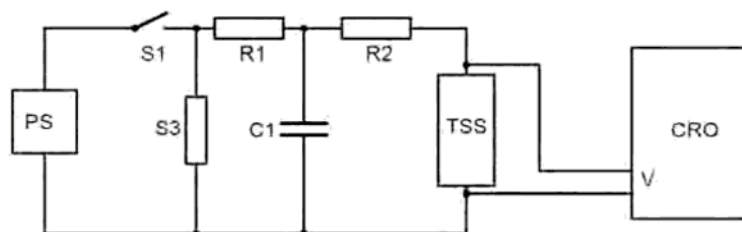
Dabei ist

t Zeitdauer vom Beginn des rampenförmigen Anstiegs bis die Spannung auf den Wert $0,632 U_{DRM}$ angestiegen ist.

Für einen linearen rampenförmiger Spannungsanstieg wird der du/dt -Wert zu $0,8 U_{DRM}/(t_{90} - t_{10})$ berechnet.

Dabei sind

t_{90} und t_{10} Zeitdauer, die die Spannung benötigt, um auf $0,1 U_{DRM}$ bzw. $0,9 U_{DRM}$ anzusteigen.



Legende

TSS	zu prüfende Thyristordiode	R2	strombegrenzender Widerstand, wenn die Thyristordiode schaltet
PS	Gleichspannungsversorgung	R3	Entladewiderstand, nachdem S1 geöffnet wurde
S1	Schalter zum Starten (der Prüfung)	C1	Ladekapazität
R1	Ladewiderstand	CRO	Oszilloskop oder gleichwertiges

Bild 26 – Prüfschaltung für die exponentielle kritische Spannungssteilheit der Sperrgleichspannung, du/dt

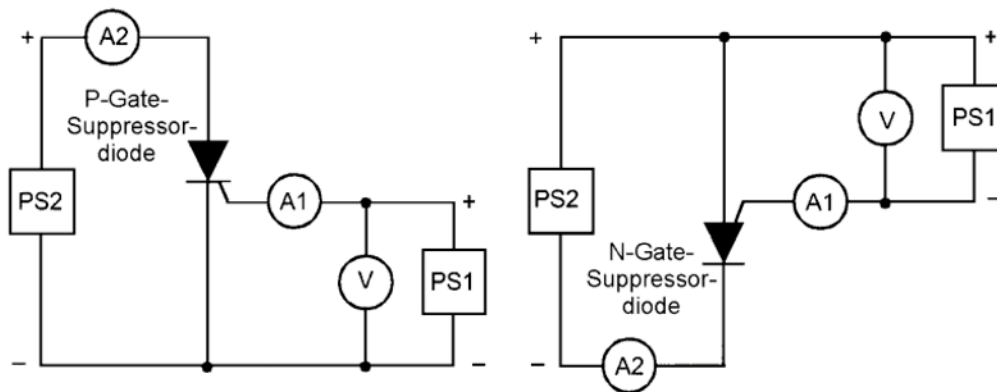
7.4.12 Schwankung des Haltestroms in Abhängigkeit von der Temperatur

Zweck dieser Prüfung ist die Bestimmung, wie der Haltestrom, I_H , einer Suppressordiode in Abhängigkeit von der Temperatur schwankt, um sicherzustellen, dass der Thyristor stets in den Sperrzustand schaltet. Der Wert von I_H (siehe 7.4.7) muss über den festgelegten Betriebstemperaturbereich gemessen und als Schaubild des Stroms gegen die Temperatur aufgetragen werden.

7.4.13 Spitzensperrspannung zwischen Steuer- und Nachbaranschluss, U_{GDM} , und Abschalt-Spitzensteuerstrom, I_{GDM}

Zweck dieser Prüfung ist die Bestimmung des Höchstwertes der Spannung zwischen dem Steuer- und dem Nachbaranschluss einer Suppressordiode, bei dem bei einer festgelegten Spannung die Schutzanschlüsse in einem hochohmigen Sperrzustand belassen werden. Unter Verwendung der geeigneten Schaltung in Bild 27 muss der festgelegte Wert von U_D über den Schutzanschlüssen des Thyristors angelegt werden und die Spannung zwischen dem Steuer- und Nachbaranschluss muss von Null bis auf den Wert erhöht werden, bei dem der durch den Schutzanschluss fließende (Vorwärts-)Sperrstrom, I_D seinen festgelegten Wert erreicht. U_{GDM} ist der gemessene Wert der Spitzensperrspannung zwischen dem Steuer- und dem Nachbaranschluss und I_{GDM} ist der gemessene Steuerstrom.

Jede steuerbare Schalt polarität der Suppressordiode muss einzeln (getrennt) geprüft und gemessen werden. Die periodische (Vorwärts-)Spitzensperrspannung einer steuerbaren Suppressordiode ist $U_{GG} + U_{GDM}$; diese ist äquivalent zur Spannung U_{DRM} einer Suppressordiode mit fester Spannung.



Legende

TSS zu prüfende Thyristordiode

A1 Strommessgerät zur Messung des Steuerstroms

A2 Strommessgerät zur Überwachung von I_D

V Spannungsmessgerät zur Messung der Spannung zwischen dem Steuer- und dem Nachbaranschluss

PS1 variable Gleichspannungsversorgung, die auf einen festgelegten Wert von I_D eingestellt ist

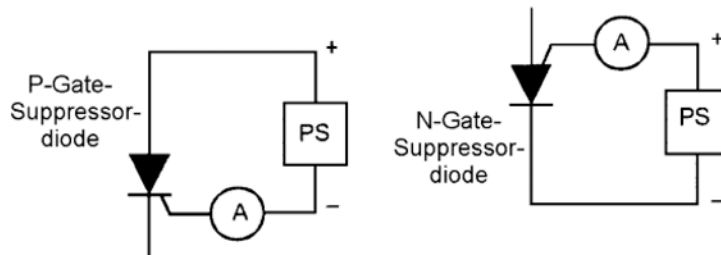
PS2 Gleichspannungsversorgung, die auf U_D eingestellt ist

Bild 27 – Prüfschaltung für die Spitzensperrspannung zwischen dem Steuer- und dem Nachbaranschluss, U_{GDM} , und den Abschalt-Spitzensteuerstrom, I_{GDM}

7.4.14 Rückwärts-Steuersperrstrom, Nachbaranschluss geöffnet, I_{GAO} , I_{GKO}

Zweck dieser Prüfung ist die Bestimmung des Stroms, der bei der Anlegung der Versorgungsspannung an den Steueranschluss fließt, wenn sich der Nachbaranschluss im Leerlauf befindet. Unter Verwendung der geeigneten Schaltung in Bild 28 muss der festgelegte Wert der Steuersperrspannung, U_{GG} , an den Steueranschluss angelegt und der Steuerstrom gemessen werden. Diese Prüfung bestimmt den Rückwärtssteuersperrstrom vom Steueranschluss zur Anode bei einem kathodenseitig steuerbaren Thyristor mit geöffnetem Kathodenanschluss, I_{GAO} , oder den Rückwärtssteuersperrstrom vom Steueranschluss zur Kathode bei einem anodenseitig steuerbaren Thyristor mit geöffnetem Anodenanschluss, I_{GKO} .

Jede steuerbare Schalt polarität der Suppressordiode muss einzeln (getrennt) geprüft und gemessen werden.



Legende

TSS zu prüfende Thyristordiode

A Strommessgerät zur Messung des Rückwärts-Steuerstroms

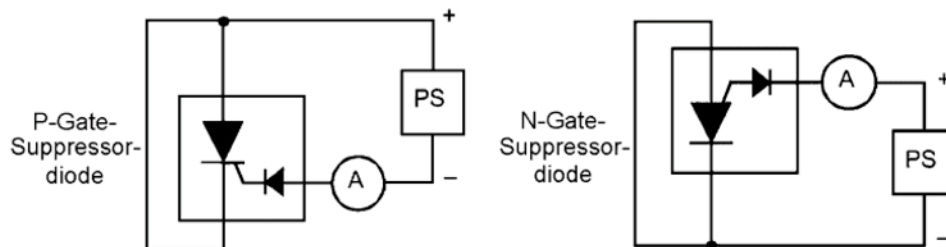
PS variable Gleichspannungsversorgung, die auf einen festgelegten Wert der Steuerspannung U_{GG} eingestellt ist

Bild 28 – Prüfschaltung für den Rückwärts-Steuersperrstrom, Nachbaranschluss geöffnet, I_{GAO} , I_{GKO}

7.4.15 Rückwärts-Steuersperrstrom, Hauptanschlüsse kurzgeschlossen, I_{GAS} , I_{GKS}

Zweck dieser Prüfung ist die Bestimmung des Stroms, der bei der Anlegung der Versorgungsspannung an den Steueranschluss fließt, wenn der Nachbaranschluss mit dem anderen Schutzanschluss kurzgeschlossen ist. Unter Verwendung der geeigneten Schaltung in Bild 29 muss der festgelegte Wert der Steuersperrspannung, U_{GG} , an den Steueranschluss angelegt und der Steuerstrom gemessen werden. Diese Prüfung bestimmt den Rückwärts-Steuersperrstrom bei einem kathodenseitig steuerbaren Thyristor, bei dem die Kathode mit der Anode kurzgeschlossen ist, I_{GAS} , oder den Rückwärts-Steuersperrstrom bei einem anodenseitig steuerbaren Thyristor bei dem die Anode mit der Kathode kurzgeschlossen ist, I_{GKS} .

Jede steuerbare Schalt polarität der Suppressordiode muss einzeln (getrennt) geprüft und gemessen werden. Diese Prüfung ist spezifisch für Thyristoren mit integrierten Steueranschluss-Sperrdioden.



Legende

TSS zu prüfende Thyristordiode

A Strommessgerät zur Messung des Rückwärts-Steuerstroms

PS variable Gleichspannungsversorgung, die auf einen festgelegten Wert der Steuerspannung U_{GG} eingestellt ist

Bild 29 – Prüfschaltung für den Rückwärts-Steuersperrstrom, Hauptanschlüsse kurzgeschlossen, I_{GAS} , I_{GKS}

Anhang A (informativ)

Gemeinsame Impulsformen

A.1 Allgemeines

Dieser Anhang deckt ab:

- Arten von Impulsgeneratoren
- Kennwerte der Impulsgeneratoren
- Impulsgeneratoren, die typischerweise für Prüfungen von Überspannungsschutzgeräten verwendet werden

A.2 Arten von Impulsgeneratoren

Impulsgeneratoren können in drei Arten eingeteilt werden:

- Generatoren mit definierter Spannungskurvenform, die typischerweise für Hochspannungs-Isolationsprüfungen verwendet werden
- Generatoren mit definierter Stromkurvenform, die typischerweise für Prüfungen von Hochstromkomponenten und Thyristoren verwendet werden
- Generatoren mit definierter Spannungs- und Stromkurvenformen. Diese Generatoren können unterteilt werden in:
 - Schaltkreis-definierte Generatoren
 - Impulsform-definierte Generatoren

A.3 Kennwerte von Impulsgeneratoren

A.3.1 Begriffe

In diesem Anhang werden folgende Begriffe verwendet, um die Impuls- und Generatorkennwerte zu beschreiben.

A.3.1.1 virtuelle Stirnzeit

T_1

<Spannungsimpuls> das 1/0,6-Fache des Zeitintervalls T_r zwischen den Augenblicken, zu denen der Impuls 30 % bzw. 90 % des Scheitelwerts erreicht [1]

<Stromimpuls> das 1,25-Fache des Zeitintervalls T zwischen den Augenblicken, zu denen der Impuls 10 % bzw. 90 % des Scheitelwerts erreicht [16]

Anmerkung 1 zum Begriff: In manchen Normen wird die Messung der 10 %- und 90 %-Stirnzeit für den Spannungsimpuls verwendet.

A.3.1.2 virtueller Ursprung

O_1

<Spannungsimpulsform> Augenblick, bei dem eine gerade Linie durch den 30 %- und 90 %-Wert der Amplitude die Zeitachse schneidet [1]

<Stromimpulsform> Augenblick, bei dem eine gerade Linie durch den 10 %- und 90 %-Wert der Amplitude die Zeitachse schneidet [16]

A.3.1.3

virtuelle Rückenhalbwertdauer

T_2

Dauer zwischen dem Zeitpunkt des virtuellen Ursprungs und dem Zeitpunkt, in dem die Spannung oder der Strom wieder auf die Hälfte des Scheitelwerts abgesunken ist [1], [16]

A.3.1.4

Bezeichnung einer Impulsform

Kombination von zwei Zahlen, die Erste repräsentiert die virtuelle Stirnzeit (T_1) und die Zweite die virtuelle Rückenhalbwertzeit (T_2) [4]

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Impulsform wird als T_1/T_2 dargestellt, wobei beide Zeiten jeweils in Mikrosekunden angegeben werden und das Zeichen „/“ keinerlei mathematische Bedeutung hat.

Anmerkung 2 zum Begriff: In manchen Normen werden alternative Bezeichnungen wie z. B. A/B oder $T_1 \times T_2$ verwendet.

Anmerkung 3 zum Begriff: Kombinations-Impulsgeneratoren (Hybridgeneratoren) besitzen sowohl Spannungs- als auch Stromimpuls-Bezeichnungen, die durch einen Bindestrich getrennt werden, z. B. 1,2/50-8/20.

Anmerkung 4 zum Begriff: Impulsformen, die durch die maximale Stirnzeit und die minimale Rückenhalbwertzeit definiert werden, werden in der Form $<T_1/>T_2$ ausgedrückt.

A.3.1.5

Unterschwingen

Spitzenwert einer Impulsspannung oder eines Impulsstroms, die (der) Null in der entgegengesetzten Polarität als der ursprüngliche Spitzenwert passiert [17]

A.3.1.6

Ladung (Impuls)

Zeitintegral des Impulsstroms

A.3.1.7

I^2t (Impuls)

Zeitintegral des Quadrats des Impulsstroms

Anmerkung 1 zum Begriff: I^2t wird als Aktionsintegral beim atmosphärischen Blitz, als Joule-Integral bei Sicherungen und als spezifische Energie (W/R) bei Wechselstrom-Überspannungsschutzgeräten bezeichnet.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Einheit für I^2t ist A^2s , aber unter der Annahme, dass der Strom in einen virtuellen Widerstand fließt kann I^2t in der Energieeinheit J (bei Sicherungen) oder in W/Ω (bei Wechselstrom-Überspannungsschutzgeräten) ausgedrückt werden.

A.3.1.8

Kombinations-Impulsgenerator

Hybridgenerator

Generator, der eine Leerlaufspannung mit der Impulsform 1,2/50 μs bzw. einen Kurzschlussstrom mit der Impulsform 8/20 μs erzeugt

A.3.1.9

effektive Impedanz (Impulsgenerator)

Quotient aus dem Scheitelwert der Leerlaufspannung und dem Scheitelwert des Kurzschlussstroms des Generators

Anmerkung 1 zum Begriff: In manchen Normen wird der alternative Begriff fiktive Impedanz verwendet [15].

A.3.2 Virtuelle Kennwerte

Dieser Abschnitt deckt die virtuellen (berechneten) Impulsformen und ihre Anwendbarkeit ab. Bild A.1 zeigt eine Impulsdefinition, die auf einer Extrapolation der 10 %- zu 90 %-Werte der Stirnzeit beruht. Sämtliche in diesem Dokument verwendeten blitzbedingten Stoßstromimpulse nutzen die 10 %- zu 90 %-Stirnzeit-Bezeichnung. Die Impulsgeneratoren <2/>10, <10/>250, <10/>360 und <10/>1 000 [21] verwenden einheitlich die 10 %- zu 90 %-Stirnzeit-Bezeichnung für den Spannungsimpuls. Die 8/20 µs-Stromimpulsform ist nicht notwendigerweise unidirektional und besitzt einen festgelegten Höchstwert für das Unterschwingen.

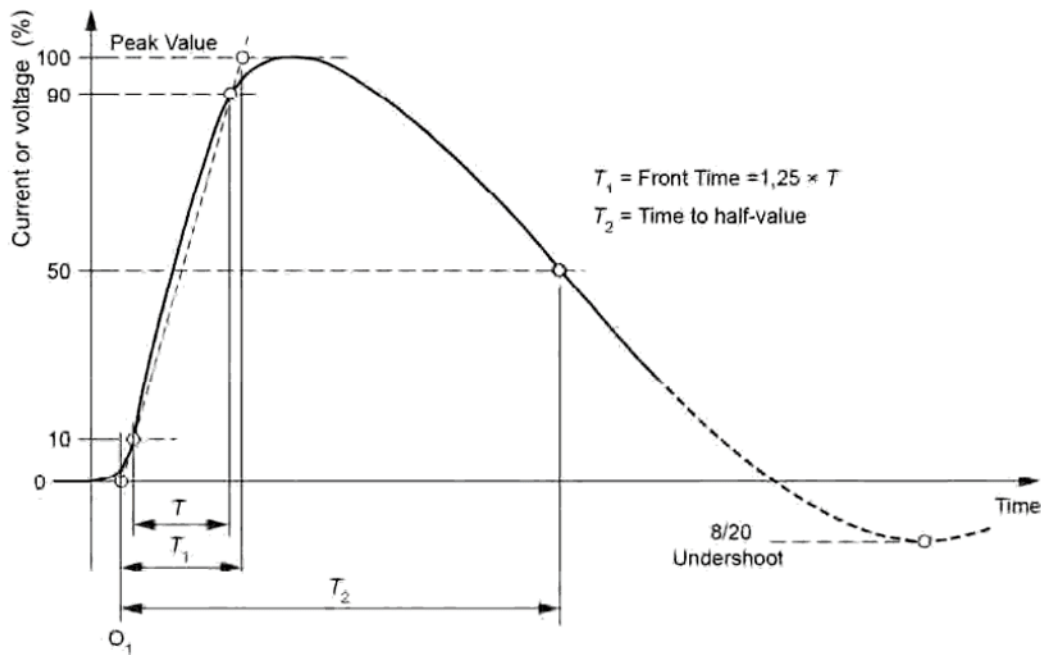


Bild A.1 – Amplitude des Strom- oder Spannungsimpulses, aufgetragen gegen die Zeit, wobei die 10 % zu 90 %-Stirnzeit T_1 und die Rückenhalbwertszeit T_2 gezeigt werden

Übersetzungsliste für Bild A.1:

Current or voltage (%)	Strom oder Spannung (%)
Peak Value	Scheitelwert
T_1 = Front Time = $1,25 \times T$	T_1 = Stirnzeit = $1,25 \times T$ ((Format T: TNR, kursiv))
T_2 = Time to half-value	T_2 = Rückenhalbwertszeit
Time	Zeit
8/20	8/20
Undershoot	Unterschwingen

Bild A.2 zeigt eine Spannungsimpulsdefinition, die auf einer Extrapolation der 30 %- zu 90 %-Werte der Stirnzeit beruht. Sämtliche mit den 30 %- zu 90 %-Werten der Stirnzeit bezeichneten Spannungsimpulse nutzen Nennzeitwerte. Die Messung der 30 %- zu 90 %-Werte der Stirnzeit wird verwendet, um konsistentere Messwerte zu erhalten. Der Anfang des Spannungsimpulses beinhaltet häufig hochfrequentes Rauschen, das vom Schließen des Generatorschalters herrührt. Das Schwingen der Impulsform kann sich bis in die Region von 10 % der Impulsamplitude erstrecken, wodurch Schwankungen bei der Messung der 10 %- zu 90 %-Werte der Stirnzeit verursacht werden. Eine Verschiebung des 10 %- zum 30 %-Wert kann diese anfänglichen Aberrationen vermeiden.

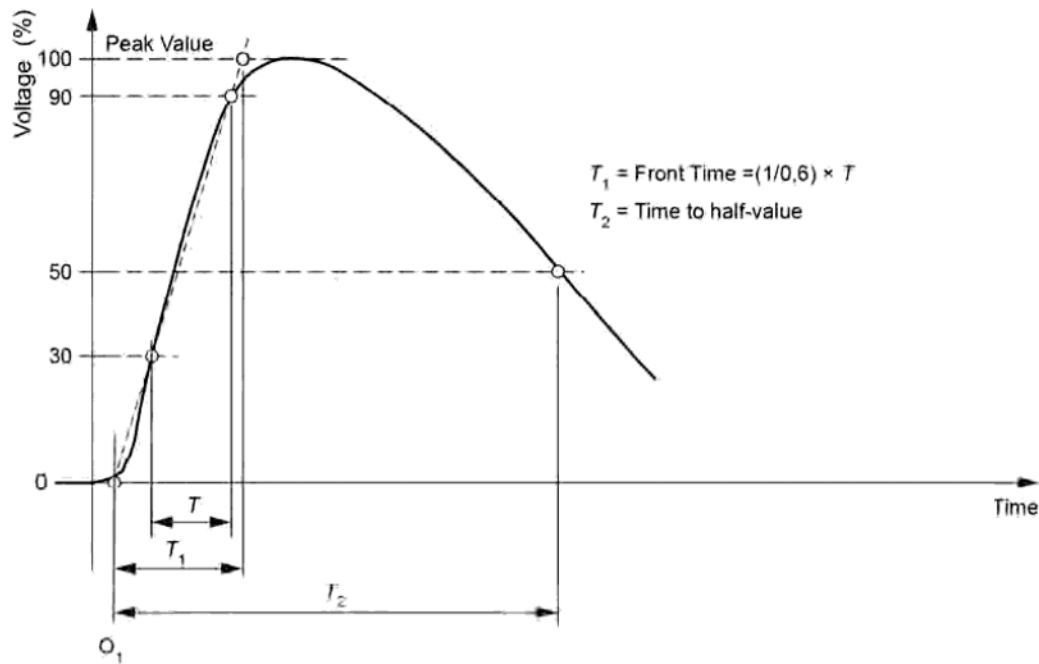


Bild A.2 – Amplitude des Spannungsimpulses, aufgetragen gegen die Zeit, wobei die 30 % zu 90 %-Stirnzeit T_1 und die Rückenhalfwertzeit T_2 gezeigt werden

Übersetzungsliste für Bild A.2:

Voltage (%)	Spannung (%)
Peak Value	Scheitelwert
$T_1 = \text{Front Time} = (1/0,6) \times T$	$T_1 = \text{Stirnzeit} = (1/0,6) \times T$ ((Format T: TNR, kursiv))
$T_2 = \text{Time to half-value}$	$T_2 = \text{Rückenhalfwertzeit}$
Time	Zeit

A.4 Impulsgeneratoren, die typischerweise für Überspannungsschutzgeräte verwendet werden

A.4.1 Allgemeines

In diesem Anhang werden allgemein verwendete oder zitierte Impulsgeneratoren aufgeführt. [Tabelle A.1](#), [Tabelle A.2](#) und [Tabelle A.3](#) decken Generatorarten mit definierten Spannungs-, Strom oder Spannungs- und Stromimpulsformen ab. Für jede Generatorbezeichnung wird eine bibliographische Verweisung angegeben. Wenn doppelte Bezeichnungen vorhanden sind, wird die gebräuchlichste angezeigt.

A.4.2 Impulsgeneratoren mit definierter Spannungsimpulsform

Diese Generatoren werden typischerweise für Hochspannungs-Isolations-/dielektrische Prüfungen von Bauelementen, Geräten und Einrichtungen verwendet. Kapazitive Lasten verlangsamen die Anstiegszeit der Spannung. Um kapazitive Lasten oberhalb 5 nF zu kompensieren besitzen manche Generatoren einstellbare Werte des Ausgangswiderstands und sogar der Wert der Entladekapazität des Generators kann geändert werden. Induktive Lasten wie z. B. Transformatoren, Motorwicklungen und elektrische Generatorwicklungen erfordern einen sorgfältigen Entwurf des impulsformenden Netzwerks, um ein Schwingen des Spannungsimpulses zu vermeiden. Der Zweck des Generatorentwurfs besteht darin, einen präzisen Spannungsimpuls zu erzeugen. Der Generatorentwurf muss ausreichend robust sein, um den Entladestrom zu überleben, der durch irgendeinen Durchbruch der Isolation verursacht wird. Generator Nr. 1 ist am meisten verwendete Variante der Generatoren Nr. 1 und Nr. 2.

Tabelle A.1 – Spannungsimpuls-Generatoren

Nummer	Bezeichnung	Bedingung	Flanke	Zeit und Grenzabweichung	Amplitude
1	1,2/50 [17] [1]	Leerlaufspannung	Anstieg	1,2 μs ± 30 %	± 3 %
			Abfall	50 μs ± 20 %	
		Kurzschlussstrom	Siehe ANMERKUNG		
2	1,2/50 [18] [12]	Leerlaufspannung	durch den Generatorschaltkreis definiert		–0 % bis +5 %
		Kurzschlussstrom	Siehe ANMERKUNG		
		ANMERKUNG Impulsform des Stroms nicht definiert.			

A.4.3 Impulsgeneratoren mit definierter Stromimpulsform

Diese Generatoren werden für die Prüfung von Hochstromkomponenten und von Bauelementen verwendet.

Die 8/20-Impulsform wird typischerweise durch eine *LCR*-Reihenschaltung erzeugt, die einen Dämpfungsfaktor < 1 besitzt. Ein solcher Entwurf erfordert, dass die Lastspannung auf einen Wert gehalten wird, der viel kleiner als die Ladespannung ist, z. B. ein Spannungsverhältnis von 1:10 realisiert wird. Diese Generatoren erzeugen einen Strom durch die Last mit einer 8/20-Impulsform, im Unterschied zum 1,2/50-8/20-Generator, bei dem die Impulsform des Stroms bei einem Kurzschluss gemessen wird.

Die Menge an Energie, die in einem Metalloxidvaristor (MOV) oder in einer Sicherung erzeugt wird, wird durch die angewendete Impulsform bestimmt. Der mögliche Bereich der entwickelten Energiemenge wird durch engere Grenzabweichungen bei der Impulsform reduziert. Generator Nr. 3 ist der bevorzugte und am meisten verwendete Generator im Vergleich zum Generator Nr. 4, da er eine Grenzabweichung bei der Impulsform von $\pm 20 \%$ hat, während Generator Nr. 4 eine Grenzabweichung von $\pm 20 \%$ hat.

Bei Generator Nr. 5 wird die Impulsform des Stroms als Ladung und I^2t -Werte ausgedrückt, was durch eine 10/350-Impulsform nachgebildet werden kann.

Tabelle A.2 – Stromimpuls-Generatoren

Nummer	Bezeichnung	Bedingung	Flanke	Zeit und Grenzabweichung	Amplitude
3	8/20 [17] [16] [14]	Leerlaufspannung	Siehe ANMERKUNG		
		Kurzschlussstrom	Anstieg	$8\text{ }\mu\text{s} \pm 10\text{ }\%$	$\pm 10\text{ }\%$
			Abfall	$20\text{ }\mu\text{s} \pm 10\text{ }\%$	0 % bis –20 % Unterschwingen
4	8/20 [16]	Leerlaufspannung	Siehe ANMERKUNG		
		Kurzschlussstrom	Anstieg	$8\text{ }\mu\text{s} \pm 20\text{ }\%$	$\pm 10\text{ }\%$
			Abfall	$20\text{ }\mu\text{s} \pm 20\text{ }\%$	0 % bis –30 % Unterschwingen
5	10/350 [14]	Leerlaufspannung	Siehe ANMERKUNG		
		Kurzschlussstrom	Impulsform: Ladung $0,5\text{ }I_{\text{imp}}\text{ }C -10\text{ }\%$ bis $+20\text{ }\%$		$\pm 10\text{ }\%$
			Impulsform: I^2t $0,25\text{ }(I_{\text{imp}})^2\text{ }A^2\text{ s} -10\text{ }\%$ bis $+45\text{ }\%$		
ANMERKUNG Die Impulsform der Spannung ist nicht definiert. Gewöhnlich wird der Spitzenwert der Ladespannung für den festgelegten Stromwert angegeben ab.					

A.4.4 Impulsgeneratoren mit definierter Spannungs- und Stromimpulsform

Der 1,2/50-8/20-Generator Nr. 7 ist auf dem Markt erhältlich und in Prüflaboratorien etabliert. Obwohl es sein kann, dass auf den Generator Nr. 8 verwiesen wird, werden die meisten Leute den Generator Nr. 7 für Prüfungszwecke verwenden.

Eine ähnliche Situation existiert für die 10/1 000-Impulsgeneratoren Nr. 11 und Nr. 12. Der Generator Nr. 11 ist auf dem Markt erhältlich und in Prüflaboratorien etabliert. Obwohl es sein kann, dass auf den Generator Nr. 12 verwiesen wird, werden die meisten Leute den Generator Nr. 7 für Prüfungszwecke verwenden.

Bei den 10/700-Generatoren Nr. 9 und Nr. 10 ist die Auswahl von der Anwendung abhängig. Für Anwendungen im Bereich der Telekommunikation stellt der ITU-T-Generator Nr. 10 [19] die automatische Wahl dar und ist sowohl auf dem Markt als auch in Prüflaboratorien am meisten verfügbar. Bei allgemeinen EMV-Arbeiten wird häufig auf den IEC-Generator Nr. 9 [13] verwiesen. Der ITU-T-Generator Nr. 10 [19] ist auf dem Markt erhältlich, aber die Verwendung des ITU-T-Generators mit zusätzlichen Reihenwiderständen ist möglich.

Tabelle A.4 führt zusätzliche Generatorarten [21] und den TIA [22] auf. Es gibt zwei unterschiedliche Versionen des <2/>10-Generators und eine dritte Variante des „10/700“-Generators Nr. 19, der praktisch ähnlich zum ITU-T-Generator Nr. 10 [19] ist.

Tabelle A.3 – Spannungs- und Stromimpuls-Generatoren

Nummer	Bezeichnung	Bedingung	Flanke	Zeit und Grenzabweichung	Amplitude
6	1,2/50-8/20 (1,2/50-7,3/22) [20] Siehe ANMERKUNG 1	Leerlaufspannung	Anstieg	1,2 μs ± 30 %	± 10 %
			Abfall	50 μs ± 20 %	
		Kurzschlussstrom	Anstieg	8 μs –31 % bis +13 %	± 10 %
			Abfall	20 μs –20 % bis +40 %	
7	1,2/50-8/20 [21] [13] Siehe ANMERKUNG 2	Leerlaufspannung	Anstieg	1,2 μs ± 30 %	± 10 %
			Abfall	50 μs ± 20 %	
		Kurzschlussstrom	Anstieg	8 μs +20 %	± 10 % 0 % bis –30 % Unterschwingen
			Abfall	20 μs +20 %	
8	<10/>250 [21]	Leerlaufspannung	Anstieg	10 μs –60 % bis 0 %	0 % bis +16 %
			Abfall	250 μs 0 % bis +60 %	
		Kurzschlussstrom	Anstieg	10 μs –30 % bis 0 %	0 % bis +16 %
			Abfall	250 μs 0 % bis +20 %	
9	10/700 [13] Siehe ANMERKUNG 3	Leerlaufspannung	Anstieg	10 μs ± 30 %	0 % bis +15 %
			Abfall	700 μs ± 20 %	
		Kurzschlussstrom	Anstieg	5 μs ± 20 %	0 % bis +15 %
			Abfall	320 μs ± 20 %	
10	10/700 [19] [12] Siehe ANMERKUNG 4	Leerlaufspannung	Anstieg	10 μs ± 30 %	± 10 %
			Abfall	700 μs ± 20 %	
		Kurzschlussstrom	Anstieg	5 μs ± 20 %	± 10 %
			Abfall	320 μs ± 20 %	
11	<10/>1 000 [21]	Leerlaufspannung	Anstieg	10 μs –40 % bis 0 %	0 % bis +15 %
			Abfall	1 000 μs 0 % bis +50 %	
		Kurzschlussstrom	Anstieg	10 μs –40 % bis 0 %	0 % bis +15 %
			Abfall	1 000 μs 0 % bis +50 %	
12	10/1 000 [20]	Leerlaufspannung	Anstieg	10 μs –50 % bis 0 %	± 10 %
			Abfall	1 000 μs 0 % bis +100 %	
		Kurzschlussstrom	Anstieg	10 μs –50 % bis 0 %	± 10 %
			Abfall	1 000 μs ± 20 %	
ANMERKUNG 1 Die effektive Impedanz des 1,2/50-8/20-Generators Nr. 6 beträgt 2 Ω ± 12,5 % [20].					