

	DIN IEC 61954 (VDE 0553-100)	
	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.	

ICS 31.080.20

Einsprüche bis 2010-02-28

EntwurfVorgesehen als Ersatz für
DIN EN 61954
(VDE 0553-100):2004-01

**Leistungselektronik für Übertragungs- und Verteilungsnetze –
Prüfung von Thyristorventilen für statische Blindleistungskompensatoren
(IEC 22F/197/CD:2009)**

Power electronics for electrical transmission and distribution systems –
Testing of thyristor valves for static VAR compensators
(IEC 22F/197/CD:2009)

Electronique de puissance pour les réseaux électriques de transport et de distribution –
Essais des valves à thyristors pour les compensateurs statiques d'énergie réactive
(CEI 22F/197/CD:2009)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2009-12-14 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an **dke@vde.com** in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter **www.dke.de/stellungnahme** abgerufen werden
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

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

Gesamtumfang 45 Seiten

Inhalt

	Seite
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen.....	7
3 Begriffe.....	7
4 Allgemeine Anforderungen an Typprüfungen, Abnahmeprüfungen und unverbindliche Prüfungen	8
4.1 Zusammenfassung der Prüfungen	8
4.2 Zweck der Prüfungen.....	10
4.2.1 Isolationsprüfungen	10
4.2.2 Funktionsprüfungen.....	10
4.2.3 Prüfungen für elektromagnetische Störungen.....	11
4.2.4 Abnahmeprüfungen	11
4.2.5 Unverbindliche Prüfungen	11
4.3 Richtlinie für die Durchführung von Typprüfungen und unverbindlichen Prüfungen	11
4.4 Prüfbedingungen.....	12
4.4.1 Allgemeines	12
4.4.2 Ventiltemperatur bei der Prüfung.....	13
4.4.3 Redundante Thyristorplätze.....	13
4.5 Zulässige Bauelementeausfälle bei der Typprüfung	14
4.6 Dokumentation der Prüfergebnisse	15
4.6.1 Anzufertigende Prüfberichte	15
4.6.2 Inhalt eines Typprüfberichtes.....	15
5 Typprüfungen an TCR- und TSR-Ventilen	15
5.1 Isolationsprüfungen zwischen Ventilanschlüssen und Erdpotential	15
5.1.1 Wechselspannungsprüfung	16
5.1.2 Blitzstoßspannungsprüfung	16
5.2 Isolationsprüfungen zwischen Ventilen (nur MVU).....	17
5.2.1 Wechselspannungsprüfung	17
5.2.2 Blitzstoßspannungsprüfung	18
5.3 Isolationsprüfungen zwischen Ventilanschlüssen	18
5.3.1 Wechselspannungsprüfung	18
5.3.2 Schaltstoßspannungsprüfung	20
5.4 Funktionsprüfungen	21
5.4.1 Prüfung mit periodischer Zündung und Löschung.....	21
5.4.2 Prüfung der Mindestwechselspannung	23
5.4.3 Erwärmungsprüfung	23
6 Typprüfungen an TSC-Ventilen	24
6.1 Isolationsprüfungen zwischen Ventilanschlüssen und Erdpotential	24
6.1.1 Wechselspannungs-Gleichspannungsprüfung	24

	Seite	
6.1.2	Blitzstoßspannungsprüfung.....	26
6.2	Isolationsprüfungen zwischen Ventilen (nur für MVU)	26
6.2.1	Wechselspannungs-Gleichspannungsprüfung.....	26
6.2.2	Blitzstoßspannungsprüfung.....	29
6.3	Isolationsprüfungen zwischen Ventilanschlüssen	29
6.3.1	Wechselspannungs-Gleichspannungsprüfung.....	29
6.3.2	Schaltstoßspannungsprüfung.....	31
6.4	Funktionsprüfungen	32
6.4.1	Überstromprüfungen.....	32
6.4.2	Prüfung der Mindestwechselspannung	34
6.4.3	Erwärmungsprüfung	34
7	Prüfung der elektromagnetischen Störungen.....	35
7.1	Zweck	35
7.2	Durchführung der Prüfung.....	35
7.2.1	Schaltstoßspannungsprüfung.....	35
7.2.2	Prüfung der nichtperiodischen Zündung	36
8	Abnahmeprüfungen	36
8.1	Sichtprüfung.....	36
8.2	Prüfung der Anschlüsse und Verbindungen.....	36
8.3	Prüfung der Spannungsteiler-/Dämpfungsstromkreise	36
8.4	Prüfung der Spannungsfestigkeit	36
8.5	Prüfung der Hilfseinrichtungen	37
8.6	Zündprüfung	37
8.7	Prüfung des Kühlsystemdruckes	37
8.8	Teilentladungsprüfungen	37
9	Unverbindliche Prüfungen für TCR- und TSR-Ventile.....	37
9.1	Überstromprüfung.....	37
9.1.1	Überstrom mit nachfolgender Blockierung	37
9.1.2	Überstrom ohne Blockierung.....	38
9.2	Positive Spannungstransiente während der Sperrverzögerungsprüfung.....	38
9.2.1	Zweck	38
9.2.2	Prüfwerte und Kurvenformen	38
9.2.3	Durchführung der Prüfungen.....	39
9.3	Prüfung der nichtperiodischen Zündung	39
9.3.1	Zweck	39
9.3.2	Prüfwerte und Kurvenformen	39
9.3.3	Durchführung der Prüfungen.....	40
10	Unverbindliche Prüfungen an TSC-Ventilen.....	41
10.1	Positive Spannungstransiente während der Sperrverzögerungsprüfung.....	41

— Entwurf —

E DIN IEC 61954 (VDE 0553-100):2009-12

	Seite
10.1.1 Prüfzweck	41
10.1.2 Prüfwerte und Kurvenformen.....	41
10.1.3 Durchführung der Prüfungen	41
10.2 Prüfung der nichtperiodischen Zündung.....	41
10.2.1 Zweck.....	41
10.2.2 Prüfwerte und Kurvenformen.....	42
10.2.3 Durchführung der Prüfungen	43
Bild 1 – TSC-Zweig	43
Bild 2 – Einschleifen-Überstrom.....	44
Bild 3 – Zweischleifen-Überstrom	45
Tabelle 1 – Verzeichnis der Prüfungen	9
Tabelle 2 – Anzahl der Thyristorplätze, die während der Typprüfungen ausfallen dürfen	14

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm gilt ab ...

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 22F/197/CD:2009 „Power electronics for electrical transmission and distribution systems – Testing of thyristor valves for static VAR compensators“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

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

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

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf prEN nur 2 Monate beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für diesen Norm-Entwurf ist das nationale Arbeitsgremium K 331 „Leistungselektronik“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 61954 (VDE 0553-100):2004-01 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) das gesamte Schriftstück wurde nach den gültigen ISO/IEC-Direktiven Teil 3 umgeschrieben;
- b) die Normativen Verweisungen wurden aktualisiert;
- c) das Corrigendum von 1999 wurde eingearbeitet.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen

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

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

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist in Tabelle NA.1 wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
EN 60060 (alle Teile)	IEC 60060 (alle Teile)	DIN EN 60060 (VDE 0432) (alle Teile)	VDE 0432 (alle Teile)
HD 588.1 S1	IEC 60060-1	DIN IEC 60060-1 (VDE 0432-1)	VDE 0432-1
EN 60060-2	IEC 60060-2	DIN EN 60060-2 (VDE 0432-2)	VDE 0432-2
EN 60071 (alle Teile)	IEC 60071 (alle Teile)	DIN EN 60071 (VDE 0111) (alle Teile)	VDE 0111 (alle Teile)
EN 60071-1	IEC 60071-1	DIN EN 60071-1 (VDE 0111-1)	VDE 0111-1
EN 60700-1	IEC 60700-1	DIN EN 60700-1 (VDE 0553-1)	VDE 0553-1
EN 60270	IEC 60270	DIN EN 60270 (VDE 0434)	VDE 0434

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

Normen der Reihe DIN EN 60060 (VDE 0432), *Hochspannungs-Prüftechnik*

DIN EN 60060-2 (VDE 0432-2), *Hochspannungs-Prüftechnik – Teil 2: Messsysteme*

Normen der Reihe DIN EN 60071 (VDE 0111), *Isolationskoordination*

DIN EN 60071-1 (VDE 0111-1), *Isolationskoordination – Teil 1: Begriffe, Grundsätze und Anforderungen*

DIN EN 60700-1 (VDE 0553-1), *Thyristorventile für Hochspannungsgleichstrom-Energieübertragung (HGÜ) – Teil 1: Elektrische Prüfung*

DIN EN 60270 (VDE 0434), *Hochspannungs-Prüftechnik – Teilentladungsmessungen*

DIN IEC 60060-1 (VDE 0432-1), *Hochspannungs-Prüftechnik – Teil 1: Allgemeine Festlegungen und Prüfbedingungen*

Leistungselektronik für Übertragungs- und Verteilungsnetze – Prüfung von Thyristorventilen für statische Blindleistungskompensatoren

1 Anwendungsbereich

Die vorliegende Internationale Norm gibt den Typ, die Herstellung und unverbindliche Prüfungen von Thyristorventilen an, die in thyristorgesteuerten Drosseln (TCR – Thyristor Controlled Reactors), thyristorgeschalteten Drosseln (TSR – Thyristor Switched Reactors) und thyristorgeschalteten Kondensatoren (TSC – Thyristor Switched Capacitors), die einen Teil von statischen Blindleistungskompensatoren (SVC – Static VAR Compensators) für Anwendungen in Starkstromnetzen bilden, verwendet werden. Die Anforderungen der Norm gelten sowohl für Einzelventil-Baueinheiten (eine Phase) als auch für Mehrventil-Baueinheiten (mehrere Phasen).

Die Abschnitte 4 bis 7 beschreiben die Typprüfungen, d. h. Prüfungen, die ausgeführt werden, um nachzuweisen, dass die Ventilbauart die festgelegten Anforderungen erfüllt. Abschnitt 8 enthält Abnahmeprüfungen, die zum Nachweis der richtigen Herstellung ausgeführt werden. Die Abschnitte 9 und 10 beschreiben unverbindliche Prüfungen, d. h. Prüfungen, die zusätzlich zu Typprüfungen und Abnahmeprüfungen durchgeführt werden können.

2 Normative Verweisungen

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

IEC 60060 (alle Teile), *High-voltages test techniques*

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

IEC 60060-2:1994, *High-voltages test techniques – Part 2: Measuring systems*

IEC 60071 (alle Teile), *Insulation co-ordination*

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

IEC 60270, *Partial discharge measurements*

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

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Thyristorplatz

Teil eines Thyristorventils, bestehend aus einem Thyristor oder parallel oder antiparallel geschalteten Thyristoren und deren unmittelbar zugeordneten Hilfseinrichtungen und der gegebenenfalls vorhandenen Drosselspule

3.2

Thyristor(serien)kette

in Reihe geschaltete Thyristoren, die eine Richtung des Thyristorventils bilden

3.3

Ventildrossel

Drossel, die in einigen Ventilen zur Begrenzung der Spannungsbeanspruchungen enthalten ist. Zu Prüfzwecken wird sie als Bestandteil des Ventils angesehen

3.4

Ventilabschnitt

elektrische Baugruppe, bestehend aus einer Anzahl Thyristoren und weiteren Bauelementen, die dieselben elektrischen Eigenschaften aufweisen wie das vollständige Thyristorventil, jedoch nur einen Teil der vollständigen Spannungsperrfähigkeit des Thyristorventils hat und für Prüfungen verwendet werden kann

3.5

Thyristorventil

elektrisch und mechanisch zusammengefasste Baugruppe aus Thyristorplätzen, vollständig mit allen Verbindungen, Hilfsbauelementen und mechanischen Aufbauten, die mit jeder Phase der Drossel oder des Kondensators eines SVC in Reihe geschaltet werden kann

3.6

Ventilaufbau

physikalischer Aufbau, der die Ventile auf dem entsprechenden Pegel über dem Erdpotential und gegeneinander isoliert

3.7

Ventilfußpunktelektronik

VBE – Valve Base Electronics

Elektronikbaueinheit auf Erdpotential, die die Schnittstelle zwischen dem Steuerungssystem des statischen Blindleistungskompensators und den Thyristorventilen ist

3.8

Mehrfachventil

MVU – Multiple Valve Unit

Baugruppe aus mehreren Ventilen mit demselben physikalischen Aufbau, die für Prüfzwecke nicht getrennt werden kann (z. B. Drehstromventile)

3.9

redundante Thyristorplätze

maximale Anzahl der Thyristorplätze in dem Thyristorventil, die von außen oder intern während des Betriebes kurzgeschlossen werden können, ohne den mit Typprüfungen nachgewiesenen sicheren Betrieb des Thyristorventils zu beeinflussen, und die, wenn und wann sie überschritten werden, entweder die Abschaltung des Thyristorventils erfordern würden, um die ausgefallenen Thyristoren auszuwechseln, oder die Akzeptanz eines erhöhten Ausfallrisikos bedeutet

3.10

Schutz gegen Spannungsdurchbruch

VBO – Voltage Breakover

Mittel zum Schutz der Thyristoren vor übermäßiger Spannung, indem sie bei einer vorbestimmten Spannung gezündet werden

4 Allgemeine Anforderungen an Typprüfungen, Abnahmeprüfungen und unverbindliche Prüfungen

4.1 Zusammenfassung der Prüfungen

Die nachstehende Tabelle verzeichnet die in den nachfolgenden Abschnitten angegebenen Prüfungen.

Tabelle 1 – Verzeichnis der Prüfungen

Prüfung	Abschnitt		Prüfgegenstand
	TCR/TSR	TSC	
Isolationsprüfungen zwischen Ventilanschlüssen und Erdpotential (Typprüfungen)			
Wechselspannungsprüfung	5.1.1		Ventil
Wechselspannungs-Gleichspannungsprüfung		6.1.1	Ventil
Blitzstoßspannungsprüfung	5.1.2	6.1.2	Ventil
Isolationsprüfungen zwischen Ventilen (nur MVU) (Typprüfungen)			
Wechselspannungsprüfung	5.2.1		MVU
Wechselspannungs-Gleichspannungsprüfung		6.2.1	MVU
Blitzstoßspannungsprüfung	5.2.2	6.2.2	MVU
Isolationsprüfungen zwischen Ventilanschlüssen (Typprüfungen)			
Wechselspannungsprüfung	5.3.1		Ventil
Wechselspannungs-Gleichspannungsprüfung		6.3.1	Ventil
Schaltstoßspannungsprüfung	5.3.2	6.3.2	Ventil
Funktionsprüfungen (Typprüfungen)			
Prüfung mit periodischer Zündung und Löschung	5.4.1		Ventil oder Ventilabschnitt
Überstromprüfung		6.4.1	Ventil oder Ventilabschnitt
Prüfung der Mindestwechselspannung	5.4.2	6.4.2	Ventil oder Ventilabschnitt
Erwärmungsprüfung	5.4.3	6.4.3	Ventil oder Ventilabschnitt
Prüfung der elektromagnetischen Störungen (Typprüfungen)			
Schaltstoß-Spannungsprüfung	7.2.1	7.2.1	Ventil
Prüfung mit nichtperiodischen Zündimpulsen	7.2.2	7.2.2	Ventil
Abnahmeprüfungen			
Sichtprüfung	8.1	8.1	
Verbindungsprüfung	8.2	8.2	
Prüfung der Spannungsteilerstromkreise	8.3	8.3	
Prüfung der Spannungsfestigkeit	8.4	8.4	
Prüfung der Hilfsausrüstungen	8.5	8.5	
Zündprüfung	8.6	8.6	
Prüfung des Kühlsystemdruckes	8.7	8.7	
Unverbindliche Prüfungen			
Überstromprüfung	9.1		Ventil oder Ventilabschnitt
Positive Spannungstransiente während der Sperrverzögerungsprüfung	9.2	10.1	Ventil oder Ventilabschnitt
Prüfung mit nichtperiodischen Zündimpulsen	9.3	10.2	Ventil

4.2 Zweck der Prüfungen

Die beschriebenen Prüfungen gelten für das Ventil (den Ventilabschnitt), den Ventilaufbau und jene Teile des Kühlmittelverteilungssystems sowie der Zünd- und Überwachungsstromkreise, die im Ventilaufbau enthalten sind oder zwischen den Ventilaufbau und das Erdpotential geschaltet sind. Andere Ausrüstungen wie die Ventilsteuerung, der Ventilschutz und die Ventilfußpunktelektronik können für den Nachweis der richtigen Arbeitsweise des Ventils während der Prüfung von Bedeutung sein, sind jedoch nicht selbst Gegenstand der Prüfungen.

4.2.1 Isolationsprüfungen

Es sind Prüfungen für die nachfolgenden Spannungsbeanspruchungen festgelegt:

- Wechselspannung;
- kombinierte Wechsel- und Gleichspannung (nur TSC);
- Stoßspannungen.

Im Interesse der Normung mit anderen Ausrüstungen sind Blitzstoßspannungsprüfungen zwischen Ventilanschlüssen und Erdpotential und bei MVU auch zwischen den Ventilen enthalten. Für Prüfungen zwischen Ventilanschlüssen ist als Stoßspannungsprüfung nur eine Schaltstoßspannungsprüfung festgelegt.

4.2.1.1 Prüfungen am Ventilaufbau

Die Prüfungen sind für die Anforderungen an die Spannungsfestigkeit zwischen einem Ventil (mit kurzgeschlossenen Anschlüssen) und Erdpotential und auch zwischen den Ventilen für MVU angegeben. Die Prüfungen müssen nachweisen, dass:

- ausreichend bemessene Luftstrecken vorgesehen wurden, um einen Überschlag zu verhindern;
- keine zerstörende Entladung in der Isolierung des Ventilaufbaus, in den Kühlkanälen, Lichtwellenleitern und anderen Isolierteilen der Impulsübertragungs- und -verteilungssysteme auftritt;
- Teilentladungsanfangs- und -löschspannungen unter Wechsel- und Gleichstrombedingungen oberhalb der höchsten Dauerbetriebsspannung, die am Ventilaufbau auftritt, liegen.

4.2.1.2 Prüfungen zwischen Ventilanschlüssen

Der Zweck dieser Prüfung ist, die Fähigkeit der Bauart des Ventils nachzuweisen, Überspannungen zwischen den Anschlüssen zu widerstehen. Die Prüfungen müssen nachweisen, dass:

- eine ausreichende innere Isolierung vorgesehen wurde, so dass das Ventil festgelegten Spannungen widerstehen kann;
- Teilentladungsanfangs- und -löschspannungen unter Wechsel- und Gleichstrombedingungen oberhalb der höchsten Dauerbetriebsspannung, die am Ventil auftritt, liegen;
- das Schutzsystem der Überspannungszündung (sofern vorhanden) wie vorgesehen arbeitet;
- die Thyristoren ein entsprechendes du/dt -Verhalten für die Betriebsbedingungen haben. (In den meisten Fällen sind die festgelegten Prüfungen ausreichend, in manchen Ausnahmefällen können jedoch zusätzliche Prüfungen erforderlich sein).

4.2.2 Funktionsprüfungen

Der Zweck dieser Prüfungen ist, die Funktion der Ventilbauart für zusammenwirkende Spannungs- und Strombeanspruchungen sowohl unter bestimmungsgemäßen und wiederholten außergewöhnlichen Bedingungen als auch unter transienten Fehlerbedingungen zu bestätigen. Sie müssen nachweisen, dass:

- das Ventil richtig arbeitet;
- die Spannungs- und Strombeanspruchungen beim Ein- und Ausschalten innerhalb der Leistungsfähigkeit der Thyristoren und anderen inneren Stromkreise liegen;
- die vorgesehene Kühlung ausreichend und kein Bauelement überhitzt ist;
- das Vermögen des Ventils, Überströmen zu widerstehen, ausreichend ist.

4.2.3 Prüfungen für elektromagnetische Störungen

Der Hauptzweck dieser Prüfungen ist, die Störfestigkeit des Ventils gegen elektromagnetische Störungen, die vom Ventil selbst erzeugt werden oder von außen einwirken, nachzuweisen. Im Allgemeinen wird die Störfestigkeit gegen elektromagnetische Störungen durch Überwachung des Ventils während anderer Prüfungen nachgewiesen.

4.2.4 Abnahmeprüfungen

Der Zweck der Prüfungen ist, die richtige Herstellung zu bestätigen. Die Abnahmeprüfungen müssen nachweisen, dass:

- alle im Ventil verwendeten Werkstoffe, Bauelemente und Teilbaugruppen richtig eingebaut wurden;
- die beabsichtigten Funktionen der Ventilausrüstung erreicht werden und die vorgegebenen Parameter innerhalb der vorgeschriebenen Annahmegrenzen liegen;
- Thyristorplätze und das Ventil oder die Ventilabschnitte die erforderliche Spannungsfestigkeit haben;
- die Übereinstimmung und Gleichmäßigkeit der Herstellung erreicht ist.

4.2.5 Unverbindliche Prüfungen

Unverbindliche Prüfungen sind zusätzliche Prüfungen, die nach Vereinbarung zwischen Käufer und Lieferant ausgeführt werden dürfen. Der Zweck ist derselbe wie für die Funktionsprüfungen nach 4.2.2.

4.3 Richtlinie für die Durchführung von Typprüfungen und unverbindlichen Prüfungen

Es müssen nachfolgende Grundsätze gelten:

- Typprüfungen müssen an mindestens einem Ventil oder an einer entsprechenden Anzahl von Ventilabschnitten wie in Tabelle 1 (4.1) angegeben durchgeführt werden, um nachzuweisen, dass die Ventilausbauart den festgelegten Anforderungen genügt. Alle Typprüfungen müssen an demselben (denselben) Ventil(en) oder Ventilabschnitt(en) durchgeführt werden.
- Unter der Voraussetzung, dass ein Ventil nachweisbar einem zuvor geprüften ähnlich ist, darf der Lieferant anstelle der Typprüfung einen zertifizierten Prüfbericht zu einer vorhergehenden Typprüfung vorlegen, die mindestens den im Vertrag festgelegten Anforderungen entspricht.
- Bei Typprüfungen, die an Ventilabschnitten durchgeführt werden, muss die Gesamtanzahl der Thyristorplätze, die solchen Typprüfungen unterworfen werden, mindestens der Anzahl der Thyristorplätze in einem Ventil entsprechen.
- Das (die) für Typprüfungen verwendete(n) Ventil oder Ventilabschnitte muss (müssen) zuerst alle Abnahmeprüfungen bestehen. Nach Abschluss des Typprüfprogramms muss (müssen) das Ventil oder die Ventilabschnitte erneut auf Übereinstimmung mit den Kriterien der Abnahmeprüfung überprüft werden.
- Werkstoffe für Typprüfungen dürfen zufällig ausgewählt werden.
- Die Isolationsprüfungen müssen, soweit anwendbar, IEC 60060-1 und IEC 60060-2 entsprechen.
- Einzelne Prüfungen dürfen in beliebiger Reihenfolge durchgeführt werden.

ANMERKUNG Prüfungen, die Teilentladungsmessungen einschließen, können ein erhöhtes Vertrauen liefern, wenn sie am Ende des Isolationstypprüfprogramms durchgeführt werden.

4.4 Prüfbedingungen

4.4.1 Allgemeines

Isolationsprüfungen müssen an vollständig zusammengebauten Ventilen durchgeführt werden, wogegen einige Funktionsprüfungen entweder an vollständigen Ventilen oder an Ventilabschnitten ausgeführt werden dürfen. Prüfungen, die an Ventilabschnitten ausgeführt werden dürfen, sind in 4.1 gekennzeichnet.

4.4.1.1 Prüflinge für die Isolationsprüfungen

Das Ventil muss mit allen Hilfselementen versehen sein, außer Ventil-Überspannungsableitern, sofern diese verwendet werden. Falls nicht anders festgelegt, muss die Ventilelektronik gespeist werden. Besonders die Kühl- und Isolierflüssigkeiten müssen in einem Zustand sein, der Betriebsbedingungen darstellt, wie z. B. die Leitfähigkeit, außer denen für die Durchflussgeschwindigkeit und den Frostschutzmittelgehalt, die verringert werden können. Falls irgendein Gegenstand oder eine Einrichtung außerhalb des Aufbaus für die richtige Darstellung der Beanspruchungen während der Prüfung erforderlich ist, muss er (sie) bei der Prüfung vorhanden sein oder nachgebildet werden. Metallene Teile des Ventilaufbaus (oder andere Ventile in einer MVU), die nicht an der Prüfung teilnehmen, müssen in solch einer Weise kurzgeschlossen und mit Erdpotential verbunden werden, wie es für die in Frage kommende Prüfung geeignet ist.

4.4.1.2 Korrektur für atmosphärische Bedingungen

Wenn es im entsprechenden Abschnitt festgelegt ist, muss die Korrektur für atmosphärische Bedingungen für die Prüfspannungen nach IEC 60060-1 angewendet werden. Die Bezugsbedingungen wofür die Korrektur vorzunehmen ist, sind die folgenden:

– Luftdruck:

Wenn die Isolationskoordination des geprüften Teils des Thyristorventils auf den genormten Bemessungs-Stoßspannungen nach IEC 60071-1 beruht, gelten die Korrekturfaktoren nur für Höhenlagen über 1 000 m. Wenn also die Standorthöhe a_s , an der die Ausrüstung zu errichten ist, weniger als 1 000 m beträgt, dann ist der normale atmosphärische Luftdruck ($b_0 = 101,3$ kPa) ohne eine Höhenkorrektur anzuwenden. Ist $a_s > 1 000$ m, dann ist das Standardverfahren nach IEC 60060-1 anzuwenden, mit der Ausnahme, dass der Bezugsluftdruck b_0 durch den entsprechenden Luftdruck in einer Höhe von 1 000 m (b_{1000m}) ersetzt wird.

Wenn die Isolationskoordination des geprüften Teils des Thyristorventils nicht auf den genormten Bemessungs-Stoßspannungen nach IEC 60071-1 beruht, dann ist das Standardverfahren nach IEC 60060-1 mit dem Bezugsluftdruck b_0 ($b_0 = 101,3$ kPa) anzuwenden.

– Temperatur:

Auslegungswert der höchsten Ventilhallen-Lufttemperatur (°C)

– Luftfeuchte:

Auslegungswert der niedrigsten absoluten Feuchte in der Ventilhalle (g/m^3)

Die anzuwendenden Werte müssen vom Lieferanten festgelegt werden.

Wo nicht genormte Prüfstufen von der vorliegenden Norm festgelegt werden, gilt, wo angegeben, ein Luftdichte-Korrekturfaktor k_d für den Einbauort, der nachfolgend angegeben ist.

Der Wert von k_d muss nach folgender Gleichung bestimmt werden:

$$k_d = \frac{b_1}{b_2} \times \frac{273 + T_2}{273 + T_1}$$

Dabei ist

b_1 der im Laboratorium herrschende Luftdruck, Pa;

T_1 die Umgebungstemperatur im Laboratorium, °C;

b_2 der Luftdruck des Normreferenzklimas von 101,3 kPa (d. h. 1 013 mbar), korrigiert auf die Höhe des Prüfortes, an dem die Ausrüstung installiert ist;

T_2 der Auslegungswert der höchsten Ventilhallen-Lufttemperatur, °C.

Die Korrekturfaktoren sollten weder für die Isolationsprüfungen zwischen den Ventilanschlüssen noch für die Isolationsdauerprüfungen angewendet werden, deren Hauptzweck die Überprüfung der inneren Isolierung und von Teilentladungen ist.

4.4.1.3 Funktionsprüfungen

Die Prüfungen sollten, sofern möglich, an einem vollständigen Thyristorventil durchgeführt werden. Andernfalls dürfen die Prüfungen an Thyristorventilabschnitten durchgeführt werden. Die Auswahl ist hauptsächlich abhängig von der Ausführung des Thyristorventils und den zur Verfügung stehenden Prüfrichtungen. Wenn Prüfungen an Thyristorventilabschnitten empfohlen werden, dann sind die in dieser Norm festgelegten Prüfungen gültig für Thyristorventilabschnitte, die fünf oder mehr in Reihe geschaltete Thyristorplätze besitzen. Zusätzliche Sicherheitsfaktoren müssen vereinbart werden, wenn Prüfungen an Thyristorventilabschnitten mit weniger als fünf Thyristorplätzen empfohlen werden. Die Anzahl der in einem Thyristorventilabschnitt in Reihe geschalteten Thyristorplätze darf in keinem Fall kleiner als drei sein.

Manchmal dürfen Funktionsprüfungen bei einer Netzfrequenz durchgeführt werden, die von der Betriebsfrequenz abweicht, z. B. 50 Hz anstelle von 60 Hz. Einige Betriebsbeanspruchungen, wie z. B. Schaltverluste oder das Stromintegral I^2t des Kurzschlussstromes, werden während der Prüfung durch die tatsächliche Netzfrequenz beeinflusst. Wenn diese Situation auftritt, müssen die Prüfbedingungen überprüft und entsprechende Änderungen vorgenommen werden, um sicherzustellen, dass die Ventilbeanspruchungen mindestens so groß wie diejenigen sind, die auftreten würden, wenn die Prüfungen bei der Betriebsfrequenz durchgeführt werden.

Das Kühlmittel muss in einem Zustand sein, der für die Betriebsbedingungen repräsentativ ist. Besonders der Durchfluss und die Temperatur müssen auf die ungünstigsten Werte eingestellt werden, die für die in Frage kommende Prüfung zutreffen. Der Frostschutzmittelgehalt sollte vorzugsweise den Betriebsbedingungen entsprechen; wo dies jedoch praktisch nicht möglich ist, muss ein zwischen dem Lieferant und dem Käufer vereinbarter Korrekturfaktor angewendet werden.

4.4.2 Ventiltemperatur bei der Prüfung

4.4.2.1 Ventiltemperatur bei Isolationsprüfungen

Falls nicht anders festgelegt, müssen Prüfungen bei Raumtemperatur durchgeführt werden.

4.4.2.2 Ventiltemperatur bei Funktionsprüfungen

Falls nicht anders festgelegt, müssen Prüfungen unter den Bedingungen ausgeführt werden, die die höchste Bauelementetemperatur erzeugen, die im wirklichen Betrieb auftreten darf.

Falls mehrere Bauelemente mit einer Prüfung bestätigt werden müssen, kann es erforderlich sein, dieselbe Prüfung unter verschiedenen Bedingungen auszuführen.

4.4.3 Redundante Thyristorplätze

4.4.3.1 Isolationsprüfungen

Alle Isolationsprüfungen an einem vollständigen Ventil müssen mit kurzgeschlossenen redundanten Thyristorplätzen ausgeführt werden, außer es ist anders angegeben.

4.4.3.2 Funktionsprüfungen

Bei Funktionsprüfungen sollten redundante Thyristorplätze nicht kurzgeschlossen werden. Die Prüfspannungen und Schaltungsimpedanzen müssen mit dem Skalierungsfaktor k_n eingestellt werden.

$$k_n = \frac{N_{\text{tot}}}{N_t - N_r}$$

Dabei ist

N_{tot} die Anzahl der in Reihe geschalteten Thyristorplätze im Prüfobjekt.

N_t die Anzahl der in Reihe geschalteten Thyristorplätze im Thyristorventil.

N_r die Anzahl der redundanten in Reihe geschalteten Thyristorplätze im Prüfobjekt.

ANMERKUNG In Thyristorventilen mit geringer Anzahl von Thyristorplätzen, bei denen die Redundanz ein signifikanter Teil des Gesamten ist, kann dies bei bestimmten Ventilbauelementen zu Überbeanspruchung führen. Als Alternative ist es deshalb annehmbar, die Funktionsprüfung mit kurzgeschlossenen Thyristorplätzen und ohne Skalierung der Prüfspannungen und Impedanzen durch k_n durchzuführen.

4.5 Zulässige Bauelementeausfälle bei der Typprüfung

Erfahrungen in der Industrie zeigen, dass es selbst bei den sorgfältigsten Ventilkonstruktionen nicht möglich ist, vereinzelte zufällige Ausfälle von Thyristorplatzbauteilen während des Betriebes zu vermeiden. Selbst wenn einige der Ausfälle beanspruchungsbezogen sein können, werden sie bis zu dem Umfang als zufällig betrachtet, dass die Ursache des Ausfalls oder die Beziehung zwischen der Ausfallrate und der Beanspruchung nicht vorhergesagt werden kann oder einer präzisen quantitativen Beschreibung nicht zugänglich ist. Bei den Typprüfungen werden Ventile oder Ventilabschnitte innerhalb einer kurzen Dauer mehreren Beanspruchungen ausgesetzt, die im Allgemeinen den ungünstigsten Beanspruchungen entsprechen, die von der Ausrüstung nicht öfter als einige Male während der Lebensdauer des Ventils aufgenommen werden. Die nachfolgend beschriebenen Kriterien für eine erfolgreiche Typprüfung, unter Berücksichtigung des Vorgenannten, lassen deshalb eine begrenzte Anzahl von Thyristorplätzen zu, die unter der Voraussetzung bei der Typprüfung ausfallen dürfen, dass die Ausfälle im Wesentlichen zufällig sind und kein Muster aufweisen, welches auf eine unzulängliche Auslegung hinweist.

Die Ventile oder Ventilabschnitte müssen vor jeder Prüfung, nach allen vorangehenden Kalibrierprüfungen und wieder nach jeder Typprüfung überprüft werden, um zu bestimmen, ob ein Thyristor oder Hilfsbauelement während der Prüfung ausgefallen ist. Thyristoren oder Hilfsbauelemente, die am Ende einer Typprüfung ausgefallen sind, müssen vor der weiteren Prüfung eines Ventils ausgetauscht werden.

Es ist zulässig, dass ein Thyristorplatz durch Kurzschluss in irgendeiner Typprüfung ausfällt. Falls nach einer Typprüfung ein Thyristorplatz kurzgeschlossen ist, muss der ausgefallene Thyristorplatz repariert und diese Typprüfung wiederholt werden (siehe IEC 60700-1, Änderung 1, 4.1.1.b)). In der nachfolgenden Tabelle ist die Gesamtanzahl der Thyristorplätze angegeben, die während aller Prüfungen ausfallen dürfen.

Tabelle 2 – Anzahl der Thyristorplätze, die während der Typprüfungen ausfallen dürfen

Anzahl der Thyristorplätze in einem vollständigen Ventil	Anzahl der Thyristorplätze, die durch Kurzschluss in einer beliebigen Bauart ausfallen dürfen	Gesamtanzahl der Thyristorplätze, die durch Kurzschluss bei allen Typprüfungen ausfallen dürfen	Zusätzliche Anzahl von Thyristorplätzen, deren Ausfall bei allen Typprüfungen zulässig ist, jedoch nicht kurzgeschlossen wurden
< 34	1	2	2
34 < n < 68	1	3	3
68 < n < 101	1	4	4

Die Verteilung der kurzgeschlossenen Module und weiterer Thyristorplatzausfälle am Ende aller Typprüfungen muss im Wesentlichen zufällig sein und darf kein Muster aufweisen, das auf eine unzureichende Bemessung hinweist.

4.6 Dokumentation der Prüfergebnisse

4.6.1 Anzufertigende Prüfberichte

Der Lieferant muss zertifizierte Prüfberichte von allen Typprüfungen, die an den Ventilen und Ventilabschnitten durchgeführt wurden, bereitstellen.

Vom Lieferant müssen Prüfaufzeichnungen über die Ergebnisse der Stückprüfungen geliefert werden.

4.6.2 Inhalt eines Typprüfberichtes

Es muss ein Bericht über die an Thyristorventilen ausgeführten Typprüfungen angefertigt werden. Der Bericht muss Nachfolgendes enthalten:

- a) allgemeine Daten, wie:
 - Kennzeichnung der geprüften Ausrüstung (z. B. Typ und Bemessungswerte, Zeichnungsnummer, Seriennummer usw.);
 - Kennzeichnung der Hauptteile des Prüfobjektes (z. B. Thyristoren, Ventildrosseln, Leiterplatten usw.);
 - Name und Ort der Einrichtung, in der die Prüfung ausgeführt wurde;
 - zutreffende Umstände, die erforderlich sind (z. B. Temperatur, Luftfeuchte und Luftdruck während der Isolationsprüfungen usw.);
 - Verweis auf die Prüfspezifikation;
 - Datum der Prüfung;
 - Name und Unterschrift der (des) verantwortlichen Prüfer(s);
 - Unterschrift des Inspektors des Käufers (falls anwesend) und sein Zulassungszeichen (falls erforderlich);
- b) Beschreibung der Energiequellen (z. B. Stoßspannungsgenerator, Gleichspannungsquelle usw.), die bei der besonderen Prüfung verwendet wurden, wie Name des Herstellers, Bemessungswerte, Kennwerte usw.;
- c) Beschreibung der Messgeräteausrüstung einschließlich der garantierten Messunsicherheit und dem Datum der letzten Kalibrierung;
- d) detaillierte Angaben zu jeder Prüfanordnung (z. B. Schaltbild);
- e) Beschreibung der Durchführung der Prüfungen;
- f) alle vereinbarten Abweichungen oder Verzichtserklärungen;
- g) Ergebnisse in Tabellenform einschließlich Fotografien, Oszillogrammen, Diagrammen usw.;
- h) Berichte über Bauelementeausfälle oder andere außergewöhnliche Ereignisse;
- i) Zusammenfassungen und Empfehlungen, soweit zutreffend.

5 Typprüfungen an TCR- und TSR-Ventilen

5.1 Isolationsprüfungen zwischen Ventilanschlüssen und Erdpotential

Bei diesen Prüfungen muss jedes Thyristorventil über den Ventilanschlüssen oder es müssen die einzelnen Thyristorplätze kurzgeschlossen werden.

Bei Ventilen, die zu einem Mehrfachventil (MVU) gehören, müssen alle Ventile in demselben Aufbau kurzgeschlossen und miteinander verbunden werden. Die Prüfspannung muss zwischen allen Ventilen und Erdpotential angelegt werden.

— Entwurf —

E DIN IEC 61954 (VDE 0553-100):2009-12

5.1.1 Wechselspannungsprüfung

5.1.1.1 Zweck

Siehe 4.2.1.1.

5.1.1.2 Prüfwerte und Kurvenformen

U_{ts1} und U_{ts2} haben eine sinusförmige Kurvenform mit einer Frequenz von 50 Hz oder 60 Hz, die von den Prüfmöglichkeiten abhängt. U_{ts1} ist die genormte Kurzzeit-Stehwechselspannung nach IEC 60071-1, Tabelle 2. U_{ts2} muss wie folgt berechnet werden:

$$U_{ts2} = \frac{k_{s2} \times U_{ms2}}{\sqrt{2}}$$

Dabei ist

U_{ms2} der Scheitelwert der höchsten Dauerbetriebsspannung, einschließlich Löschüberschwingen, der zwischen irgendeinem Ventilanschluss und Erdpotential auftritt;

k_{s2} ein Prüfsicherheitsfaktor;

$k_{s2} = 1,2$.

5.1.1.3 Durchführung der Prüfungen

Die Prüfung besteht aus dem Anlegen der festgelegten Prüfspannungen U_{ts1} und U_{ts2} zwischen den beiden miteinander verbundenen Ventilanschlüssen und Erdpotential für die festgelegte Dauer.

- Die Spannung ist von 50 % auf 100 % von U_{ts1} zu erhöhen.
- U_{ts1} ist 1 min beizubehalten.
- Die Spannung ist auf U_{ts2} zu verringern.
- U_{ts2} ist 10 min beizubehalten, der Teilentladungspegel ist aufzuzeichnen und dann die Spannung auf Null zu verringern.
- Der Spitzenwert der periodischen Teilentladung, der während der letzten Minute von Schritt d) aufgezeichnet wurde, muss kleiner als 200 pC sein, vorausgesetzt, dass die Bauelemente im Ventil, die für die Teilentladung empfindlich sind, getrennt geprüft wurden, oder muss kleiner als 50 pC sein, wenn sie nicht geprüft wurden.
- Die Messung der Einsatz- und Löschspannung muss nach IEC 60270 durchgeführt werden.

5.1.2 Blitzstoßspannungsprüfung

5.1.2.1 Zweck

Siehe 4.2.1.1.

5.1.2.2 Prüfwerte und Kurvenformen

Es muss die genormte 1,2/50- μ s-Kurvenform nach IEC 60060 verwendet werden.

Der Spitzenwert der Prüfspannung ist die genormte Blitz-Stehstoßspannung nach IEC 60071-1, Tabelle 2 oder 3.

5.1.2.3 Durchführung der Prüfung

Die Prüfung muss aus drei Anwendungen der Blitzstoßspannung mit positiver Polarität und drei Anwendungen mit negativer Polarität zwischen Erdpotential und zwei miteinander verbundenen Ventilanschlüssen bestehen.

5.2 Isolationsprüfungen zwischen Ventilen (nur MVU)

Für diese Prüfungen muss jedes Thyristorventil über den Ventilanschlüssen oder den einzelnen Thyristorplätzen kurzgeschlossen werden.

Die Prüfungen müssen wiederholt werden, um die Isolierung zwischen zwei beliebigen Ventilen, die im gleichen Aufbau angeordnet sind, zu bestätigen, sofern nicht die geometrische Anordnung im MVU dies unnötig macht.

5.2.1 Wechsellspannungsprüfung

5.2.1.1 Zweck

Siehe 4.2.1.1.

5.2.1.2 Prüfwerte und Kurvenformen

U_{ts1} und U_{ts2} haben eine sinusförmige Kurvenform mit einer Frequenz von 50 Hz oder 60 Hz, die von den Prüfmöglichkeiten abhängt. U_{ts1} ist die genormte Kurzzeit-Stehwechsellspannung nach IEC 60071-1, Tabelle 2. U_{ts2} muss nach folgender Gleichung berechnet werden:

$$U_{ts2} = \frac{k_{s2} \times U_{ms3}}{\sqrt{2}}$$

Dabei ist

U_{ms3} der Scheitelwert der höchsten Dauerbetriebsspannung, einschließlich Löschüberschwingen, der zwischen Ventilen auftritt;

k_{s2} ein Prüfsicherheitsfaktor;

$k_{s2} = 1,2$.

5.2.1.3 Durchführung der Prüfungen

Die Prüfung besteht aus dem Anlegen der festgelegten Prüfspannungen U_{ts1} und U_{ts2} zwischen den Ventilen für die festgelegte Dauer.

- Die Spannung ist in etwa 10 s von 50 % auf 100 % von U_{ts1} zu erhöhen.
- U_{ts1} ist 1 min beizubehalten.
- Die Spannung ist auf U_{ts2} zu verringern.
- U_{ts2} ist 10 min beizubehalten, der Teilentladungspegel ist aufzuzeichnen und dann die Spannung auf Null zu verringern.
- Der Spitzenwert der periodischen Teilentladung, der während der letzten Minute von Schritt d) aufgezeichnet wurde, muss kleiner als 200 pC sein, vorausgesetzt, dass die Bauelemente im Ventil, die für die Teilentladung empfindlich sind, getrennt geprüft wurden, oder muss kleiner als 50 pC sein, wenn sie nicht geprüft wurden.
- Die Messung der Einsatz- und Löschspannung muss nach IEC 60270 durchgeführt werden.

E DIN IEC 61954 (VDE 0553-100):2009-12

5.2.2 Blitzstoßspannungsprüfung

5.2.2.1 Zweck

Siehe 4.2.1.1.

5.2.2.2 Prüfwerte und Kurvenformen

Es muss die genormte 1,2/50-µs-Kurvenform verwendet werden.

Der Scheitelwert der Prüfspannung ist die genormte Blitz-Stehstoßspannung nach IEC 60071-1, Tabelle 2 oder 3.

5.2.2.3 Durchführung der Prüfungen

Die Prüfung muss aus drei Anwendungen der Blitzstoßspannung mit positiver Polarität und drei Anwendungen mit negativer Polarität zwischen den Ventilen bestehen.

5.3 Isolationsprüfungen zwischen Ventilanschlüssen

Für Ventile, die zu einem Mehrfachventil gehören, brauchen diese Prüfungen nur an einem Ventil durchgeführt zu werden. Jedes andere Ventil in demselben Aufbau muss über den Ventilanschlüssen oder den einzelnen Thyristorplätzen kurzgeschlossen und mit dem Erdpotential verbunden werden.

Zu detaillierten Anforderungen an den Prüfling siehe 4.4.1.1.

5.3.1 Wechselfspannungsprüfung

5.3.1.1 Zweck

Siehe 4.2.1.2.

5.3.1.2 Prüfwerte und Kurvenformen

U_{tv1} und U_{tv2} haben eine sinusförmige Kurvenform mit einer Frequenz von 50 Hz oder 60 Hz, die von den Prüfmöglichkeiten abhängt.

Der Wert der Prüfspannung U_{tv1} hängt vom Schutzsystem des Ventils ab und entspricht dem kleineren Wert von U_{tv11} und U_{tv12} . Wo weder U_{tv11} noch U_{tv12} bestimmt werden kann, muss U_{tv13} verwendet werden.

U_{tv11} wird aus der VBO-Schutzzündung des Ventils ermittelt.

U_{tv12} wird aus der Schutzwirkung des Überspannungsableiters bestimmt.

U_{tv13} wird aus der höchsten zeitweiligen Überspannung, die auftreten kann, ermittelt.

U_{tv11} , U_{tv12} und U_{tv13} werden wie folgt berechnet:

$$U_{tv11} = \frac{k_{s11} \times U_1}{\sqrt{2}}$$

Dabei ist

U_1 der höchste Augenblickswert der Spannung zwischen den Ventilanschlüssen, der garantiert, dass das VBO-Schutzzündsystem, sofern eingebaut, nicht anspricht;

k_{s11} ein Prüfsicherheitsfaktor;

$k_{s11} = 0,95$.

$$U_{tv12} = \frac{k_{s12} \times U_2}{\sqrt{2}}$$

Dabei ist

U_2 die Schutzspannung des Überspannungsableiters, sofern eingebaut, der parallel zu den Ventilanschlüssen geschaltet ist;

k_{s12} ein Prüfsicherheitsfaktor;

$k_{s12} = 1,1$.

$$U_{tv13} = \frac{k_{s13} \times U_3}{\sqrt{2}}$$

Dabei ist

U_3 der Scheitelwert der höchsten periodischen Überspannung, einschließlich Löschüberschwingen, über den Ventilanschlüssen für den festgelegten ungünstigsten zeitweiligen Überspannungszustand;

k_{s13} ein Prüfsicherheitsfaktor;

$k_{s13} = 1,3$.

ANMERKUNG Die vorgeschriebene Prüfung kann einige Ventilbauelemente thermisch unrealistisch überbeanspruchen. Wo dies der Fall ist, darf, nach Vereinbarung zwischen Käufer und Lieferant, die Stehwechselfspannungsprüfung über 1 min durch mehrere kürzere Prüfungen ersetzt werden, deren Mindestdauer aus der höchstmöglichen Dauer des Überspannungszustandes multipliziert mit 2 ist, wobei aber die Gesamtdauer nicht kleiner als 1 min sein darf.

Die Prüfspannung U_{tv2} muss die niedrigere von U_{tv1} und U_{tv21} sein.

$$U_{tv21} = \frac{k_{s2} \times U_{mv2}}{\sqrt{2}}$$

Dabei ist

U_{mv2} der Scheitelwert der höchsten periodischen Spannung, einschließlich Löschüberschwingen, die über den Ventilanschlüssen während des ungünstigsten gleich bleibenden Betriebszustandes auftritt;

k_{s2} ein Prüfsicherheitsfaktor;

$k_{s2} = 1,15$.

5.3.1.3 Durchführung der Prüfungen

Die Prüfung besteht aus dem Anlegen der festgelegten Prüfspannungen zwischen den beiden Ventilanschlüssen für die festgelegte Dauer. Ein Anschluss des Ventils darf geerdet werden.

- Die Spannung ist in etwa 10 s von 50 % auf 100 % von U_{tv1} zu erhöhen.
- U_{tv1} ist 1 min beizubehalten.
- Die Spannung ist auf U_{tv2} zu verringern.

— Entwurf —

E DIN IEC 61954 (VDE 0553-100):2009-12

- d) U_{tv2} ist 10 min beizubehalten, der Teilentladungspegel ist aufzuzeichnen und dann die Spannung auf Null zu verringern.
- e) Der Spitzenwert der periodischen Teilentladung, der während der letzten Minute von Schritt d) aufgezeichnet wurde, muss kleiner als 200 pC sein, vorausgesetzt, dass die Bauelemente im Ventil, die für die Teilentladung empfindlich sind, getrennt geprüft wurden, oder muss kleiner als 50 pC sein, wenn sie nicht geprüft wurden.
- f) Die Messung der Einsatz- und Löschspannung muss nach IEC 60270 durchgeführt werden.

Falls VBO-Schutzzündung vorgesehen ist, darf sie während dieser Prüfung nicht ansprechen.

5.3.2 Schaltstoßspannungsprüfung

5.3.2.1 Zweck

Siehe 4.2.1.2. Ein zusätzlicher Zweck ist, die Unempfindlichkeit des Ventil gegen elektromagnetische Störungen nachzuweisen (siehe Abschnitt 7).

5.3.2.2 Prüfwerte und Kurvenformen

- Kurvenform 1:

Es ist eine 20/200- μ s-Kurvenform, die sich einer typischen Löschkurvenform annähert, oder eine gleichwertige Näherung zu verwenden, wenn diese durch Netzstudien unterstützt wird.

- Kurvenform 2:

Es ist eine genormte 250/2500- μ s-Kurvenform zu verwenden.

a) Prüfung 1

Diese Prüfung ist vorgesehen, um nachzuweisen, dass das Schutzzündsystem des Ventils (sofern für die Ventilbauart zutreffend) bei Spannungswerten bis zur Prüfspannung nicht anspricht.

Die Prüfspannung U_{tsv1} wird wie folgt bestimmt:

$$U_{tsv1} = k_s \times U_{pf} \quad (\text{Kurvenformen 1 und 2})$$

Dabei ist

U_{pf} der Wert der Stoßspannung, dem das Ventil ohne Anfangsauslösung des Schutzzündsystems unter Betriebsbedingungen widerstehen muss;

k_s ein Prüfsicherheitsfaktor;

$k_s = 1,05$.

b) Prüfung 2

Diese Prüfung ist vorgesehen, um die Ventilisolierung und die sichere Arbeitsweise des Schutzzündsystems nachzuweisen (sofern für die Ventilbauart zutreffend).

- **Durch Stoßspannungsableiter geschützte Ventile:**

Die unbeeinflusste Prüfspannung U_{tsv2} wird wie folgt bestimmt:

$$U_{tsv2} = k_s \times U_{cms} \quad (\text{Kurvenformen 1 und 2})$$

Dabei ist

U_{cms} der Schutzpegel des Überspannungsableiters;

k_s ein Prüfsicherheitsfaktor;

$k_s = 1,1$.

– **Durch VBO geschützte Ventile:**

Die unbeeinflusste Prüfspannung $U_{\text{tsv}2}$ wird wie folgt bestimmt:

$$U_{\text{tsv}2} = k_s \times U_{\text{VBO}} \quad (\text{Kurvenformen 1 und 2})$$

Dabei ist

U_{VBO} der höchste VBO-Schutzspannungspegel mit betriebsfähigen redundanten Thyristorplätzen;

k_s ein Prüfsicherheitsfaktor;

$k_s = 1,1$.

Die oberen und unteren Grenzwerte des Schwellenwertes der VBO-Schutzzündung mit betriebsfähigen redundanten Thyristorplätzen müssen vom Hersteller angegeben werden und es muss überprüft werden, dass die beobachtete Spannung bei der Zündung zwischen diesen beiden Grenzwerten liegt.

Die Prüfung muss wiederholt werden, wobei die Ventilelektronik anfangs nicht aktiviert ist.

ANMERKUNG Für Ventilausführungen, in denen die regulären Zündschaltkreise unabhängig von der Hauptstromversorgung versorgt werden, ist diese zusätzliche Prüfung nicht anwendbar.

c) Prüfung 3

Diese Prüfung ist vorgesehen, um die Ventilisolierung nachzuweisen, wenn weder Überspannungsableiter noch VBO verwendet werden.

$$U_{\text{tsv}2} = k_s \times U_{\text{cms}} \quad (\text{Kurvenformen 1 und 2})$$

Dabei ist

U_{cms} die unbeeinflusste Schaltstoßspannung nach IEC 60071 oder durch Untersuchungen der Isolationskoordination bestimmt;

k_s ein Prüfsicherheitsfaktor;

$k_s = 1,3$.

Das Ventil muss der Prüfspannung ohne Schalten oder Durchbruch der Isolierung widerstehen.

5.3.2.3 Durchführung der Prüfungen

Jede dieser Prüfungen muss aus drei Anwendungen der Schaltstoßspannung mit jeder Polarität zwischen den Ventilanschlüssen bestehen, wobei ein Anschluss geerdet ist.

Anstelle der Umkehr der Polarität des Stoßspannungsgenerators darf die Prüfung mit einer Polarität des Stoßspannungsgenerators und Vertauschen der Ventilanschlüsse durchgeführt werden.

5.4 Funktionsprüfungen

5.4.1 Prüfung mit periodischer Zündung und Löschung

5.4.1.1 Zweck

Der Hauptzweck dieser Prüfung ist, das Schaltvermögen des Ventils bei überhöhter Spannung und überhöhtem Strom während des periodischen Einschalt- und Ausschaltbetriebes nachzuweisen. Diese Prüfung bestätigt auch die richtige Betriebsweise des Teiler-/Dämpfungsnetzwerkes, das für die Sicherstellung einer gleichmäßigen Spannungaufteilung vorgesehen ist.

E DIN IEC 61954 (VDE 0553-100):2009-12

Falls die Ventilbauart den Dauerbetrieb der einzelnen Schutzzündungen (wie z. B. VBO) zulässt, muss diese Prüfung verwendet werden, um die zuverlässige Arbeitsweise des Schutzzündungsstromkreises selbst und den Dämpfungstromkreis am beeinflussteten Thyristorplatz zu bestätigen.

5.4.1.2 Prüfwerte und Kurvenformen

Das Ventil sollte zeigen, dass es der kombinierten Spannungs- und Strombeanspruchung, die sich aus zeitweiligen Überspannungen ergibt, widerstehen kann. Daher müssen die Prüfbedingungen der festgelegten ungünstigsten zeitabhängigen Systemüberspannung (Lastzyklus) entsprechen, bei der der SVC im Betrieb bleiben muss, wobei die Steuerungs- und Schutzkennwerte der Anordnung zu berücksichtigen sind. Es muss im Besonderen nachgewiesen werden, dass das Ventil die höchste Spannung (einschließlich Lösüberschwingen) in Verbindung mit der höchsten Sperrschichttemperatur des Thyristors, die durch einen Lastzyklus gegeben ist, blockieren kann.

Das Ventil oder der Ventilabschnitt muss Strom- und Spannungskurvenformen ausgesetzt werden, die jenen so nahe wie möglich kommen, denen das Ventil während des Zündens und Löschens bei den nachfolgend festgelegten kritischsten Betriebsbedingungen ausgesetzt ist. Die Dauer des Hauptinteresses bei der Zündung sind die ersten 10 μs bis 20 μs , während das Hauptinteresse beim Löschen 0,2 ms vor und 1 ms nach dem Stromwert Null liegt.

Besonders die nachfolgenden Bedingungen dürfen nicht weniger hart als im Betrieb sein:

- Spannungsamplituden beim Ein- und Ausschalten;
- das di/dt beim Einschalten und mindestens 0,2 ms vor dem Stromwert Null;
- die Sperrschichttemperatur des Thyristors.

Es müssen auch die nachfolgenden Faktoren beachtet werden:

- die Darstellung der Streukapazitäten zwischen den Anschlüssen des Ventils;
- eine ausreichende Amplitude und Dauer des Laststromes, um die Leitung über die volle Fläche der Thyristorsperrschicht zu erreichen.

5.4.1.3 Durchführung der Prüfungen

Die Prüfungen müssen unter Verwendung geeigneter Prüfschaltungen durchgeführt werden, die Einschalt- und Ausschaltbelastungen ergeben, die den entsprechenden Betriebsbedingungen äquivalent sind, wie z. B. eine Wechselstromquelle, die eine Drosselspule in Reihe mit dem Ventilabschnitt oder eine geeignete künstliche Prüfschaltung speist.

Alle Hilfssysteme, die das Verhalten des Ventils bei den nachfolgend festgelegten Betriebsbedingungen beeinflussen können (z. B. erzwungenes Zünden), müssen in Betrieb sein.

Idealerweise würde die Prüfung durch Nachbildung der festgelegten zeitabhängigen Quellenspannung durchgeführt werden. Aus praktischen Gründen darf ein modifiziertes Prüfverfahren wie folgt angewendet werden:

- a) Es sind die höchsten Dauerzustände für Spannung und Strom herzustellen und bis zum Erreichen des thermischen Gleichgewichts beizubehalten.
- b) Die Quellenspannung ist auf den höchsten Wert nach der Überlastkennlinie oder auf den höchsten Wert, für den die Phasenwinkelsteuerung garantiert ist, zu steigern. Es muss ein Prüfsicherheitsfaktor von 1,05 angewendet werden.
- c) Der Zündwinkel ist nahe 90° konstant zu halten, bis der Thyristor die höchste Temperatur erreicht hat, die durch den festgelegten zeitweiligen Überspannungszyklus gegeben ist.
- d) Es ist zu den Dauerbetriebsbedingungen zurückzukehren.

Das Lösüberschwingen, das dem höchsten Rückkehrspannungsschritt entspricht, muss gemessen und überprüft werden, um sicherzustellen, dass es kleiner als der Entwurfswert ist. Falls die Ventilbauart den Dauerbetrieb der VBO-Schutzzündung einzelner Thyristorplätze zulässt, muss diese Eigenschaft unter Dauerbedingungen unter Abschaltung des bestimmungsgemäßen Zündsignals an einem Thyristor über eine

Zeit geprüft werden, die lang genug ist, um das thermische Gleichgewicht der beanspruchten Bauelemente zu erreichen.

ANMERKUNG Der zeitweilige Überlastzyklus für ein TSR-Ventil ist eine Stromüberlast ohne Spannung. Um den Zweck der Prüfung zu erfüllen, muss der Dauerbetrieb, der der Überlastung unmittelbar folgt, ein blockierter Zustand sein. Dies weist die Fähigkeit der überhitzten Thyristoren nach, der Blockierspannung zu widerstehen.

5.4.2 Prüfung der Mindestwechselspannung

5.4.2.1 Zweck

Der Zweck dieser Prüfung ist, die sichere Arbeitsweise des Zündsystems im TCR-Ventil bei der festgelegten Mindestwechselspannung und festgelegten Betriebsbedingungen nachzuweisen.

5.4.2.2 Durchführung der Prüfungen, Prüfwerte und Kurvenformen

Die Durchführung der Prüfung muss wie folgt sein:

- a) Es ist die niedrigste zeitweilige Unterspannung, bei der die TCR steuerbar bleibt, anzulegen und diese über eine Dauer beizubehalten, die mindestens das Doppelte der festgelegten Dauer der zeitweiligen Unterspannung beträgt.
- b) Der Steuerwinkel α ist zwischen α_{\min} und α_{\max} zu verändern.
- c) Der Punkt b) ist durch Verringerung (kontinuierlich oder in Schritten) der Spannung auf Null (oder auf den Eintrittswinkel des Schutzes) zu wiederholen, um nachzuweisen, dass dieser Zustand für das Ventil nicht schädlich ist.

Ein Prüfsicherheitsfaktor von 0,95 muss angewendet werden.

ANMERKUNG In Abhängigkeit von der Ventilbauart kann es erforderlich sein, nach jedem Unterspannungsschritt zum Mindestdauerwert der Wechselspannung zurückzukehren, um die Stromversorgungen am Steueranschluss wiederherzustellen.

5.4.3 Erwärmungsprüfung

5.4.3.1 Zweck

Der Hauptzweck dieser Prüfung ist der Nachweis, dass die Erwärmung der kritischsten wärmeerzeugenden Bauelemente innerhalb festgelegter Grenzwerte liegt, und zu bestätigen, dass keine Bauelemente oder Werkstoffe unter verschiedenen Dauerbetriebsbedingungen übermäßigen Temperaturen ausgesetzt sind, sowie nachzuweisen, dass die vorgesehene Kühlung ausreichend ist.

5.4.3.2 Durchführung der Prüfungen

Das Ventil muss Spannungen und Strömen ausgesetzt werden, die Verluste ergeben, die 5 % größer sind als die im Betrieb unter festgelegten Betriebsbedingungen bei den strengsten Kühlbedingungen auftretenden. Die Prüfung muss nach Erreichen des thermischen Gleichgewichts 30 min fortgesetzt werden.

Es kann mehr als eine Prüfung erforderlich sein, um die Erwärmung einiger Bauelemente zu bestimmen, deren größte thermische Belastungen bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen auftreten können.

Um die Stromtragfähigkeit der Verbindungen (Sammelschienen) zwischen den antiparallelen Thyristoren nachzuweisen, muss die Prüfung mit einem kurzgeschlossenen Thyristorplatz wiederholt werden, z. B. Ersatz eines Thyristors durch einen Metalldummy.

ANMERKUNG Wo die Temperatur des kritischen Teils der wärmeerzeugenden Bauelemente praktisch nicht ermittelt werden kann, wie z. B. die Sperrschichttemperatur von Thyristoren oder die Elementetemperatur der Dämpfungswiderstände, darf eine Messung an einem geeigneten Punkt durchgeführt werden, von dem diese Temperatur abgeleitet werden kann.

6 Typprüfungen an TSC-Ventilen

6.1 Isolationsprüfungen zwischen Ventilanschlüssen und Erdpotential

Bei diesen Prüfungen muss jedes Thyristorventil über den Ventilanschlüssen oder es müssen einzelne Thyristorplätze kurzgeschlossen werden.

Bei Ventilen, die zu einem Mehrfachventil (MVU) gehören, müssen alle Ventile in demselben Aufbau kurzgeschlossen und miteinander verbunden werden. Die Prüfspannung muss zwischen allen Ventilen und Erdpotential angelegt werden.

Zu weiteren detaillierten Anforderungen an den Prüfling siehe 4.4.1.1.

6.1.1 Wechselfspannungs-Gleichspannungsprüfung

6.1.1.1 Zweck

Siehe 4.2.1.1.

6.1.1.2 Prüfwerte und Kurvenformen

a) Prüfspannung U_{ts1} , 1 min

U_{ts1} hat eine sinusförmige Kurvenform, die einem Gleichspannungspegel überlagert ist. U_{ts1} muss nach der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$U_{ts1} = U_{tac1} + U_{tdc1}$$

$$U_{tac1} = k_{s1} \times k_d \times U_{ac1} \times \sin(2\pi ft)$$

$$U_{tdc1} = k_{s1} \times k_d \times U_{dcm1}$$

Dabei ist

U_{dcm1} die höchste Gleichspannung, die nach dem Abschalten beliebiger schnellschaltender Entladungseinrichtungen, z. B. Überspannungsableiter (Abklingzeitkonstante kleiner als 100 ms), nach der Blockierung des Ventils infolge einer Netzstörung über der Kondensatorbatterie stehen bleibt;

U_{ac1} der Spitzenwert der höchsten vorhergesagten Überspannung langer Dauer (ausschließlich der Gleichspannungskomponente), die zwischen jedem Ventilanschluss und Erdpotential auftreten kann;

k_{s1} ein Prüfsicherheitsfaktor;

$k_{s1} = 1,3$;

k_d der Luftdichtekorrekturfaktor am Einbauort (siehe 4.4.1.2);

f die Prüffrequenz (50 Hz oder 60 Hz, von den Prüfmöglichkeiten abhängig).

b) Prüfspannung U_{ts2} , 10 min

U_{ts2} hat eine sinusförmige Kurvenform (siehe 4.2.1). U_{ts2} muss nach der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$U_{ts2} = k_{s2} \times U_{ac2} \times \sin(2\pi ft)$$

Dabei ist

U_{ac2} der Scheitelwert der höchsten Dauerbetriebsspannung, die zwischen jedem beliebigen Ventilanschluss und Erdpotential auftreten kann;

k_{s2} ein Prüfsicherheitsfaktor;

$k_{s2} = 1,15$;

f die Prüffrequenz (50 Hz oder 60 Hz, von den Prüfmöglichkeiten abhängig).

6.1.1.3 Durchführung der Prüfungen

Die Prüfung besteht aus dem Anlegen der festgelegten Prüfspannungen U_{ts1} und U_{ts2} zwischen den beiden miteinander verbundenen Ventilanschlüssen und Erdpotential für die festgelegte Dauer.

- a) Die Spannung ist in etwa 10 s von 50 % auf 100 % von U_{ts1} zu erhöhen.
- b) U_{ts1} ist 1 min beizubehalten.
- c) Die Spannung ist auf U_{ts2} zu verringern.
- d) U_{ts2} ist 3 h beizubehalten, der Teilentladungspegel ist aufzuzeichnen und dann die Spannung auf Null zu verringern.
- e) Der Scheitelwert der periodischen Teilentladung, der während der letzten Minute von Schritt d) aufgezeichnet wurde, muss kleiner als 200 pC sein, vorausgesetzt, dass die Bauelemente im Ventil, die für die Teilentladung empfindlich sind, getrennt geprüft wurden, oder er muss kleiner als 50 pC sein, wenn sie nicht geprüft wurden.
- f) Die Messung der Einsatz- und Löschspannung muss nach IEC 60270 für Wechselspannungsprüfungen durchgeführt werden.

6.1.1.4 Alternative Prüfungen

Die Prüfung mit zusammengesetzter Wechsel- und Gleichspannungen darf durch eine Wechselspannungsprüfung und eine Gleichspannungsprüfung, die getrennt durchgeführt werden, ersetzt werden.

a) Wechselspannungsprüfung

Die Prüfung besteht aus dem Anlegen der festgelegten Prüfspannungen $U_{t1(ac)}$ und $U_{t2(ac)}$ zwischen den beiden miteinander verbundenen Ventilanschlüssen und Erdpotential für die festgelegte Dauer. $U_{t1(ac)}$ und $U_{t2(ac)}$ haben eine sinusförmige Kurvenform mit einer Frequenz von 50 Hz oder 60 Hz, die von den Prüfmöglichkeiten abhängt.

$$U_{t1(ac)} = k_{s1} \times k_d \times (U_{ac1} + U_{dcm1}) / \sqrt{2}$$

$$U_{t2(ac)} = k_{s2} \times U_{ac2} / \sqrt{2}$$

Zu Festlegungen siehe 6.1.1.2.

- 1) Die Spannung ist in etwa 10 s von 50 % auf 100 % von $U_{t1(ac)}$ zu erhöhen.
- 2) $U_{t1(ac)}$ ist 1 min beizubehalten.
- 3) Die Spannung ist auf $U_{t2(ac)}$ zu verringern.
- 4) $U_{t2(ac)}$ ist 10 min beizubehalten, der Teilentladungspegel ist aufzuzeichnen und dann die Spannung auf Null zu verringern.
- 5) Der Spitzenwert der periodischen Teilentladung, der während der letzten Minute von Schritt d) aufgezeichnet wurde, muss kleiner als 200 pC sein, vorausgesetzt, dass die Bauelemente im Ventil, die für die Teilentladung empfindlich sind, getrennt geprüft wurden oder er muss kleiner als 50 pC sein, wenn sie nicht geprüft wurden.
- 6) Die Messung der Einsatz- und Löschspannung muss nach IEC 60270 durchgeführt werden.

— Entwurf —

E DIN IEC 61954 (VDE 0553-100):2009-12

b) Gleichspannungsprüfung

Die Prüfung besteht aus dem Anlegen der festgelegten Prüfgleichspannung $U_{t1(dc)}$ zwischen den beiden miteinander verbundenen Ventilanschlüssen und Erdpotential für die festgelegte Dauer.

$$U_{t1(dc)} = k_{s1} \times k_d \sqrt{\left(\frac{U_{ac1}}{\sqrt{2}}\right)^2 + U_{dc1}^2}$$

Zu Festlegungen siehe 6.1.1.2.

Die Prüfung muss mit beiden Polaritäten der Gleichspannungskomponente durchgeführt werden.

- 1) Die Spannung ist in etwa 10 s von 50 % auf 100 % von $U_{t1(dc)}$ zu erhöhen.
- 2) $U_{t1(dc)}$ ist 1 min beizubehalten.
- 3) Die Spannung ist auf Null zu verringern.

6.1.2 Blitzstoßspannungsprüfung

6.1.2.1 Zweck

Siehe 4.2.1.1.

6.1.2.2 Prüfwerte und Kurvenformen

Es muss die genormte 1,2/50- μ s-Kurvenform nach IEC 60060 verwendet werden.

Der Spitzenwert der Prüfspannung ist die genormte Blitz-Stehstoßspannung nach IEC 60071-1, Tabelle 2 oder 3.

6.1.2.3 Durchführung der Prüfungen

Die Prüfung muss aus drei Anwendungen der Blitzstoßspannung mit positiver Polarität und drei Anwendungen mit negativer Polarität zwischen Erdpotential und zwei miteinander verbundenen Ventilanschlüssen bestehen.

6.2 Isolationsprüfungen zwischen Ventilen (nur für MVU)

Bei diesen Prüfungen muss jedes Thyristorventil über den Ventilanschlüssen oder den einzelnen Thyristorplätzen kurzgeschlossen werden.

Die Prüfungen müssen wiederholt werden, um die Isolierung zwischen zwei beliebigen Ventilen, die im selben Aufbau angeordnet sind, zu bestätigen, sofern nicht die geometrische Anordnung des MVU dies unmöglich macht.

6.2.1 Wechselspannungs-Gleichspannungsprüfung

6.2.1.1 Zweck

Siehe 4.2.1.1.

6.2.1.2 Prüfwerte und Kurvenformen

a) Prüfspannung U_{tvv1} , 1 min

U_{tvv1} hat eine sinusförmige Kurvenform, die einem Gleichspannungspegel überlagert ist. U_{tvv1} muss nach der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$U_{tvv1} = U_{tac1} + U_{tdc1}$$

$$U_{tac1} = k_{s1} \times k_d \times U_{ac1} \times \sin(2\pi ft)$$

$$U_{tdc1} = k_{s1} \times k_d \times U_{dcm1} \times k_{dc}$$

Dabei ist

U_{dcm1} die höchste Gleichspannung, die nach dem Abschalten beliebiger schnellschaltender Entladungseinrichtungen, z. B. Überspannungsableiter (Abklingzeitkonstante kleiner als 100 ms), nach der Blockierung des Ventils infolge einer Netzstörung über der Kondensatorbatterie stehen bleibt;

U_{ac1} der Scheitelwert der höchsten vorhergesagten Überspannung langer Dauer (ausschließlich der Gleichspannungskomponente), die zwischen benachbarten Ventilanschlüssen auftreten kann;

k_{s1} ein Prüfsicherheitsfaktor;

$k_{s1} = 1,3$;

k_d der Luftdichtekorrekturfaktor am Einbauort (siehe 4.4.1.1);

$k_{dc} = 2$. Es darf ein alternativer Wert, z. B. 1, verwendet werden, wenn der Lieferant zur Zufriedenheit des Käufers nachweisen kann, dass diese Zahl für die MVU-Bauart gilt;

f die Prüffrequenz (50 Hz oder 60 Hz, von den Prüfmöglichkeiten abhängig).

b) Prüfspannung U_{tvv2} , 10 min

U_{tvv2} hat eine sinusförmige Kurvenform (siehe 4.2.1). U_{tvv2} muss nach der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$U_{tvv2} = k_{s2} \times U_{ac2} \times \sin(2\pi ft)$$

Dabei ist

U_{ac2} der Scheitelwert der höchsten Dauerbetriebsspannung, die zwischen benachbarten Ventilanschlüssen und Erdpotential auftreten kann;

k_{s2} ein Prüfsicherheitsfaktor;

$k_{s2} = 1,15$;

f die Prüffrequenz (50 Hz oder 60 Hz, von den Prüfmöglichkeiten abhängig).

6.2.1.3 Durchführung der Prüfungen

Die Prüfung besteht aus dem Anlegen der festgelegten Prüfspannungen U_{tvv1} und U_{tvv2} zwischen den Ventilen für die festgelegte Dauer. Die Prüfspannung U_{tac1} oder U_{tac2} darf zwischen den Anschlüssen (miteinander kurzgeschlossen) und Erdpotential des einen Ventils und die Gleichspannung U_{tdc1} oder U_{tdc2} zwischen den Anschlüssen (alle miteinander kurzgeschlossen) aller verbleibenden Ventile und Erdpotential angelegt werden. Es sind auch andere Anordnungen der Kombination von Wechsel- und Gleichspannungen möglich.

— Entwurf —

E DIN IEC 61954 (VDE 0553-100):2009-12

- a) Die Spannung ist in etwa 10 s von 50 % auf 100 % von $U_{\text{tvv}1}$ zu erhöhen.
- b) $U_{\text{tvv}1}$ ist 1 min beizubehalten.
- c) Die Spannung ist auf $U_{\text{tvv}2}$ zu verringern.
- d) $U_{\text{tvv}2}$ ist 10 min beizubehalten, der Teilentladungspegel ist aufzuzeichnen und dann die Spannung auf Null zu verringern.
- e) Der Spitzenwert der periodischen Teilentladung, der während der letzten Minute von Schritt d) aufgezeichnet wurde, muss kleiner als 200 pC sein, vorausgesetzt, dass die Bauelemente im Ventil, die für die Teilentladung empfindlich sind, getrennt geprüft wurden, oder er muss kleiner als 50 pC sein, wenn sie nicht geprüft wurden.
- f) Die Messung der Einsatz- und Löschspannung muss für Wechselspannungsprüfungen nach IEC 60270 durchgeführt werden.

6.2.1.4 Alternative Prüfungen

Die Prüfung mit zusammenwirkenden Wechsel- und Gleichspannungen darf durch eine Wechselspannungsprüfung und eine Gleichspannungsprüfung, die getrennt durchgeführt werden, ersetzt werden.

a) Wechselspannungsprüfung

Die Prüfung besteht aus dem Anlegen der festgelegten Prüfspannungen $U_{\text{t}1(\text{ac})}$ und $U_{\text{t}2(\text{ac})}$ zwischen den beiden Ventilen für die festgelegte Dauer. $U_{\text{t}1(\text{ac})}$ und $U_{\text{t}2(\text{ac})}$ haben eine sinusförmige Kurvenform mit einer Frequenz von 50 Hz oder 60 Hz, die von den Prüfmöglichkeiten abhängt.

$$U_{\text{t}1(\text{ac})} = k_{\text{s}1} \times k_{\text{d}} \times (U_{\text{ac}1} + k_{\text{dc}} + U_{\text{dcm}1}) / \sqrt{2}$$

$$U_{\text{t}2(\text{ac})} = k_{\text{s}2} \times U_{\text{ac}2} / \sqrt{2}$$

Zu Festlegungen siehe 6.2.1.2.

- 1) Die Spannung ist in etwa 10 s von 50 % auf 100 % von $U_{\text{t}1(\text{ac})}$ zu erhöhen.
- 2) $U_{\text{t}1(\text{ac})}$ ist 1 min beizubehalten.
- 3) Die Spannung ist auf $U_{\text{t}2(\text{ac})}$ zu verringern.
- 4) $U_{\text{t}2(\text{ac})}$ ist 10 min beizubehalten, der Teilentladungspegel ist aufzuzeichnen und dann die Spannung auf Null zu verringern.
- 5) Der Spitzenwert der periodischen Teilentladung, der während der letzten Minute von Schritt d) aufgezeichnet wurde, muss kleiner als 200 pC sein, vorausgesetzt, dass die Bauelemente im MVU, die für die Teilentladung empfindlich sind, getrennt geprüft wurden, oder er muss kleiner als 50 pC sein, wenn sie nicht geprüft wurden.
- 6) Die Messung der Einsatz- und Löschspannung muss nach IEC 60270 durchgeführt werden.

b) Gleichspannungsprüfung

Die Prüfung besteht aus dem Anlegen der festgelegten Prüfgleichspannung $U_{\text{t}1(\text{dc})}$ zwischen zwei miteinander verbundenen Ventilanschlüssen und Erdpotential für die festgelegte Dauer.

$$U_{\text{t}1(\text{dc})} = k_{\text{s}1} \times k_{\text{d}} \sqrt{\left(\frac{U_{\text{ac}1}}{\sqrt{2}}\right)^2 + (k_{\text{dc}} + U_{\text{dcm}1})^2}$$

Zu Festlegungen siehe 6.2.1.2.

Die Prüfung muss mit beiden Polaritäten der Gleichspannungskomponente durchgeführt werden.

- 1) Die Spannung ist in etwa 10 s von 50 % auf 100 % von $U_{t1(dc)}$ zu erhöhen.
- 2) $U_{t1(dc)}$ ist 1 min beizubehalten.
- 3) Die Spannung ist auf Null zu verringern.

6.2.2 Blitzstoßspannungsprüfung

6.2.2.1 Zweck

Siehe 4.2.1.1.

6.2.2.2 Prüfwerte und Kurvenformen

Es muss die genormte 1,2/50- μ s-Kurvenform nach IEC 60060 verwendet werden.

Der Spitzenwert der Prüfspannung ist die genormte Blitz-Stehstoßspannung nach IEC 60071-1, Tabelle 2 oder 3.

6.2.2.3 Durchführung der Prüfungen

Die Prüfung muss aus drei Anwendungen der Blitzstoßspannung mit positiver Polarität und drei Anwendungen mit negativer Polarität zwischen den Ventilen bestehen.

6.3 Isolationsprüfungen zwischen Ventilanschlüssen

Für Ventile, die zu einem Mehrfachventil gehören, brauchen diese Prüfungen nur an einem Ventil durchgeführt zu werden. Alle anderen Ventile in demselben Aufbau müssen über den Ventilanschlüssen oder den einzelnen Thyristorplätzen kurzgeschlossen und mit Erdpotential verbunden werden.

6.3.1 Wechselfspannungs-Gleichspannungsprüfung

6.3.1.1 Zweck

Siehe 4.2.1.2.

6.3.1.2 Prüfwerte und Kurvenformen

a) Prüfspannung U_{tv1} , 1 min

U_{tv1} hat eine sinusförmige Kurvenform, die einem Gleichspannungspegel überlagert ist. U_{tv1} muss nach der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$U_{tv1} = U_{tac1} + U_{tdc1}$$

$$U_{tac1} = k_{s1} \times U_{ac1} \times \sin(2\pi ft)$$

$$U_{tdc1} = k_{s1} \times U_{dcm1}$$

Dabei ist

U_{dcm1} die höchste Gleichspannung, die nach dem Abschalten beliebiger schnellschaltender Entladungseinrichtungen, z. B. Überspannungsableiter (Abklingzeitkonstante kleiner als 100 ms), nach der Blockierung des Ventils infolge einer Netzstörung über der Kondensatorbatterie stehen bleibt;

U_{ac1} der Scheitelwert der höchsten Überspannung langer Dauer (ausschließlich der Gleichspannungskomponente), die über dem Ventil auftreten kann;

k_{s1} ein Prüfsicherheitsfaktor;

$k_{s1} = 1,1$, falls die Spannung durch einen Stoßspannungsableiter begrenzt wird;

$k_{s1} = 1,30$, wenn kein Überspannungsableiter eingebaut ist;

f die Prüffrequenz (50 Hz oder 60 Hz, von den Prüfmöglichkeiten abhängig).

— Entwurf —

E DIN IEC 61954 (VDE 0553-100):2009-12

b) Prüfspannung U_{tv2} , 10 min

U_{tv2} hat eine sinusförmige Kurvenform (siehe 4.2.1). U_{tv2} muss nach der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$U_{tv2} = k_{s2} \times U_{ac2} \times \sin(2\pi ft)$$

Dabei ist

U_{ac2} der Scheitelwert der höchsten Dauerbetriebsspannung, die zwischen Ventilanschlüssen auftreten kann;

k_{s2} ein Prüfsicherheitsfaktor;

$k_{s2} = 1,15$;

f die Prüffrequenz (50 Hz oder 60 Hz, von den Prüfmöglichkeiten abhängig).

6.3.1.3 Durchführung der Prüfungen

Die Prüfung besteht aus dem Anlegen der festgelegten Prüfspannungen U_{tv1} und U_{tv2} zwischen den beiden Ventilanschlüssen für die festgelegte Dauer. Ein Anschluss des Ventils darf geerdet sein.

- a) Die Spannung ist in etwa 10 s von 50 % auf 100 % von U_{tv1} zu erhöhen.
- b) U_{tv1} ist 1 min beizubehalten.
- c) Die Spannung ist auf U_{tv2} zu verringern.
- d) U_{tv2} ist 10 min beizubehalten, der Teilentladungspegel ist aufzuzeichnen und dann die Spannung auf Null zu verringern.
- e) Der Spitzenwert der periodischen Teilentladung, der während der letzten Minute von Schritt d) aufgezeichnet wurde, muss kleiner als 200 pC sein, vorausgesetzt, dass die Bauelemente im Ventil, die für die Teilentladung empfindlich sind, getrennt geprüft wurden, oder er muss kleiner als 50 pC sein, wenn sie nicht geprüft wurden. Die Anzahl der Impulse, die 300 pC übersteigen, darf 15 je Minute, gemittelt über die Aufzeichnungsdauer, nicht überschreiten. Von diesen dürfen nicht mehr als sieben Impulse je Minute 500 pC, nicht mehr als drei Impulse je Minute 1 000 pC und nicht mehr als ein Impuls je Minute 2 000 pC überschreiten.
- f) Die Messung der Einsatz- und Löschespannung muss für Wechselspannungsprüfungen nach IEC 60270 durchgeführt werden.

6.3.1.4 Alternative Prüfungen

Die Prüfung mit zusammengesetzten Wechsel- und Gleichspannungen darf durch eine Wechselspannungsprüfung und eine Gleichspannungsprüfung, die getrennt durchzuführen sind, ersetzt werden.

a) Wechselspannungsprüfung

Die Prüfung besteht aus dem Anlegen der festgelegten Prüfspannungen $U_{t1(ac)}$ und $U_{t2(ac)}$ zwischen den beiden Ventilanschlüssen für die festgelegte Dauer. $U_{t1(ac)}$ und $U_{t2(ac)}$ haben eine sinusförmige Kurvenform mit einer Frequenz von 50 Hz oder 60 Hz, die von den Prüfmöglichkeiten abhängt.

$$U_{t1(ac)} = k_{s1} \times (U_{ac1} + U_{dcn1}) / \sqrt{2}$$

$$U_{t2(ac)} = k_{s2} \times U_{ac2} / \sqrt{2}$$

Zu Festlegungen siehe 6.3.1.2.

- 1) Die Spannung ist in etwa 10 s von 50 % auf 100 % von $U_{t1(ac)}$ zu erhöhen.
- 2) $U_{t1(ac)}$ ist 1 min beizubehalten.
- 3) Die Spannung ist auf $U_{t2(ac)}$ zu verringern.
- 4) $U_{t2(ac)}$ ist 10 min beizubehalten, der Teilentladungspegel ist aufzuzeichnen und dann die Spannung auf Null zu verringern.
- 5) Der Spitzenwert der periodischen Teilentladung, der während der letzten Minute von Schritt d) aufgezeichnet wurde, muss kleiner als 200 pC sein, vorausgesetzt, dass die Bauelemente im Ventil, die für die Teilentladung empfindlich sind, getrennt geprüft wurden oder er muss kleiner als 50 pC sein, wenn sie nicht geprüft wurden.
- 6) Die Messung der Einsatz- und Löschspannung muss nach IEC 60270 durchgeführt werden.

ANMERKUNG Die vorgeschriebene Prüfung kann einige Ventilbauelemente thermisch unrealistisch überbeanspruchen. Wo dies der Fall ist, darf, nach Vereinbarung zwischen Käufer und Lieferant, die Stehwechselfspannungsprüfung über 1 min durch mehrere kürzere Prüfungen ersetzt werden, deren Mindestdauer aus der höchstmöglichen Dauer des Überspannungszustandes multipliziert mit 2 ist, wobei aber die Gesamtdauer nicht kleiner als 1 min sein darf.

b) Gleichspannungsprüfung

Die Prüfung besteht aus dem Anlegen der festgelegten Prüfgleichspannung $U_{t1(dc)}$ zwischen den beiden miteinander verbundenen Ventilanschlüssen und Erdpotential für die festgelegte Dauer.

$$U_{t1(dc)} = k_{s1} \sqrt{\left(\frac{U_{ac1}}{\sqrt{2}}\right)^2 + U_{dc1}^2}$$

Zu Festlegungen siehe 6.3.1.2.

Die Prüfung muss mit beiden Polaritäten der Gleichspannungskomponente durchgeführt werden.

- 1) Die Spannung ist in etwa 10 s von 50 % auf 100 % von $U_{t1(dc)}$ zu erhöhen.
- 2) $U_{t1(dc)}$ ist 1 min beizubehalten.
- 3) Die Spannung ist auf Null zu verringern.

6.3.2 Schaltstoßspannungsprüfung

6.3.2.1 Zweck

Siehe 4.2.1.2.

Der Hauptzweck dieser Prüfung ist, die Spannungsfestigkeit des Ventils einschließlich der Nichtauslösung der VBO-Schutzzündungsstromkreise, sofern vorhanden, nachzuweisen. Diese Prüfung überprüft die richtige Koordinierung zwischen dem Schutzpegel des Überspannungsableiters und dem Schwellwert der Schutzzündung des Ventils. Ein zusätzlicher Zweck ist, die Unempfindlichkeit des Ventil gegen elektromagnetische Störungen nachzuweisen (siehe Abschnitt 7).

6.3.2.2 Prüfwerte und Kurvenformen

– Kurvenform 1:

Es ist eine 20/200- μ s-Kurvenform, die sich einer typischen Löschkurvenform annähert, oder eine gleichwertige Näherung zu verwenden, wenn diese durch Netzstudien unterstützt wird.

– Kurvenform 2:

Es muss eine genormte 250/2500- μ s-Kurvenform verwendet werden.

— Entwurf —

E DIN IEC 61954 (VDE 0553-100):2009-12

a) Durch Stoßspannungsableiter geschützte Ventile

Die Prüfspannung muss nach der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$U_{\text{tsv}} = k_{\text{S}} \times U_{\text{cms}} \quad (\text{Kurvenformen 1 und 2})$$

Dabei ist

U_{cms} der Schutzpegel des Überspannungsableiters für Schaltstoßspannungen;

k_{S} ein Prüfsicherheitsfaktor;

$k_{\text{S}} = 1,1$.

b) Nicht durch Stoßspannungsableiter geschützte Ventile

Die Prüfspannung muss nach der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$U_{\text{tsv}} = k_{\text{S}} \times U_{\text{cms}} \quad (\text{Kurvenformen 1 und 2})$$

Dabei ist

U_{cms} die unbeeinflusste Schaltstoßspannung nach IEC 60071 oder wie durch Studien der Isolationskoordination bestimmt;

k_{S} ein Sicherheitsfaktor

$k_{\text{S}} = 1,3$.

Das Ventil muss der Prüfung ohne Schalten oder Durchbruch der Isolierung widerstehen.

6.3.2.3 Durchführung der Prüfungen

Es müssen drei Anwendungen mit jeder Polarität der Schaltstoßspannung der festgelegten Amplitude und Kurvenform zwischen den Ventilanschlüssen angelegt werden, wobei ein Anschluss geerdet werden darf.

Anstelle der Umkehr der Polarität des Stoßspannungsgenerators darf die Prüfung mit einer Polarität des Stoßspannungsgenerators und Vertauschen der Ventilanschlüsse durchgeführt werden.

ANMERKUNG Die Schutzzündung, sofern vorhanden, darf während der Prüfung nicht ausgelöst werden.

6.4 Funktionsprüfungen

6.4.1 Überstromprüfungen

Der Hauptzweck dieser Prüfungen ist, die richtige Bemessung des Ventils während Überstrombedingungen nachzuweisen, die durch die Zündung des Ventils in Momenten verursacht wird, in denen die Spannung zwischen seinen Anschlüssen nicht Null ist.

Die Überstromprüfungen dürfen mit einem Schwingkreis durchgeführt werden, der aus einer Drosselspule und einem Kondensator besteht und von einer Stromquelle mit der Grundfrequenz oder der aus einer geeigneten synthetischen Prüfschaltung gespeist wird.

6.4.1.1 Überstrom mit nachfolgender Blockierung

6.4.1.1.1 Zweck

Der Zweck der Prüfung ist, die richtige Bemessung des Ventils in Bezug auf die Spannungsbeanspruchung bei erhöhter, durch Überstrom erzeugter Thyristorsperrschichttemperatur nachzuweisen. Es muss der Nachweis sowohl für die vorwärts als auch für die rückwärts wiederangelegte Spannung geführt werden.

6.4.1.1.2 Prüfwerte und Kurvenformen

Die wichtigsten zu reproduzierenden Parameter sind die Amplitude und das Zeitverhalten der wiederangelegten Spannung (vorwärts und rückwärts) sowie die entsprechende Thyristortemperatur. Es ist auch eine entsprechende Darstellung von di/dt und der Sprungwiederkehrspannung wichtig.

Der Stromlaufplan eines TSC-Zweiges ist in Bild 1 dargestellt.

Die Kurvenform des Prüfstromes muss einen Stromstoß oder zwei Stromstöße enthalten, der (die) einen Scheitelwert von mindestens dem höchsten Wert des Überstromes hat (haben), nach dem Blockierung zulässig ist. Der ungünstigste Fall des Überstromes und der entsprechenden wiederangelegten Spannung (Sprung- und Scheitelwert) muss unter Berücksichtigung des Zündmomentes und der Anzahl der Stromstöße aus den Netzstudien bestimmt werden, die nachfolgende Ereignisfolgen verwenden:

- a) Das Ventil muss bei der höchsten Netzspannung, die durch die SVC-Steuerung und die Schutzsysteme zugelassen wird, blockiert werden.
- b) Das Ventil muss mit der vorstehend angegebenen Netzspannung bei geladenen Kondensatoren gezündet werden. Es muss, kurz bevor die Spannung zwischen seinen Anschlüssen ihren Höchstwert erreicht, gezündet werden. Wenn ein Schutzsystem eingebaut ist, um die Zündung bei hohen Spannungspegeln zu verhindern, muss die Zündung an dem Grenzwert erfolgen, der durch den Schutz eingestellt ist. Diese Zündung des Ventils muss den Stromstoß bestimmen.
- c) Das Ventil muss beim ersten Nulldurchgang des Stromes blockiert werden, um die höchste Rückwärtsbeanspruchung des Ventils zu definieren (siehe Bild 2). Die Sprungspannung muss direkt nach der Ventilblockierung angegeben werden und darf das Lösüberschwingen des Ventilstromes nicht einschließen. Als Scheitelspannung muss die höchste nachfolgende Spannungsspitze innerhalb der Grundwellenperiode angegeben werden.
- d) Das Ventil muss beim zweiten Nulldurchgang des Stromes blockiert werden, um die höchste Vorwärtsbeanspruchung des Ventils zu definieren (siehe Bild 3). Die Sprungspannung muss direkt nach der Ventilblockierung angegeben werden und darf das Lösüberschwingen des Ventilstromes nicht einschließen. Als Scheitelspannung muss die höchste nachfolgende Spannungsspitze innerhalb der Grundwellenperiode angegeben werden.

Die Frequenz des Prüfstromes sollte etwa der Resonanzfrequenz des tatsächlichen TSC-Stromkreises entsprechen.

Falls ein Stoßspannungsableiter verwendet wird, um die Ventilspannung zu begrenzen, darf ein spezieller Überspannungsableiter in die Prüfschaltung einbezogen werden, der nach der Anzahl der zu prüfenden Thyristorplätze bemessen ist.

6.4.1.1.3 Durchführung der Prüfung

Die Prüfung sollte so durchgeführt werden, dass beide Leitungsrichtungen der Thyristorketten geprüft werden.

- a) Das Ventil (oder der Ventilabschnitt) ist auf einen Zustand vorzuwärmen, der der höchsten Temperatur im Dauerbetrieb entspricht.
- b) Das Ventil (oder der Ventilabschnitt) ist dem ungünstigsten Strom und der zugehörigen wiederkehrenden Spannung, die nach 6.4.1.1.2 bestimmt wurde, auszusetzen.

ANMERKUNG Die Prüfung darf eine oder zwei Leiterschleifen oder beides enthalten, es kommt darauf an, dass der Prüfzweck erfüllt wird.

6.4.1.2 Überstrom ohne Blockierung

6.4.1.2.1 Zweck

Der Zweck dieser Prüfung ist der Nachweis der richtigen Bemessung des Ventils in Bezug auf die Wärmewirkungen und elektromagnetischen Kräfte, die durch den größten Überstrom hervorgerufen werden, dem das Ventil im Betrieb ausgesetzt sein kann.

E DIN IEC 61954 (VDE 0553-100):2009-12

6.4.1.2.2 Prüfwerte und Kurvenformen

Der Prüfstrom muss eine gedämpfte sinusförmige Stromschwingung oder eine geeignete gleichwertige Darstellung sein, die einen Scheitelwert des Stroms mit einem Gesamtstromintegral I^2t und einen Spitzenwert der Sperrschichttemperatur des Thyristors ergibt, die nicht niedriger als im Betrieb sind.

Die Frequenz des Prüfstromes sollte etwa der Resonanzfrequenz des tatsächlichen TSC-Stromkreises entsprechen.

6.4.1.2.3 Durchführung der Prüfung

- a) Das Ventil (oder der Ventilabschnitt) ist auf einen Zustand vorzuwärmen, der der höchsten Temperatur im Dauerbetrieb entspricht.
- b) Das Ventil (oder der Ventilabschnitt) ist dem Überstrom auszusetzen.

6.4.2 Prüfung der Mindestwechselspannung

6.4.2.1 Zweck

Der Zweck dieser Prüfung ist der Nachweis der sicheren Arbeitsweise des Zündsystems im TCR-Ventil bei der festgelegten Mindestwechselspannung und festgelegten Betriebsbedingungen.

6.4.2.2 Durchführung der Prüfungen, Prüfwerte und Kurvenformen

Die Durchführung der Prüfung muss wie folgt sein:

- a) Es ist eine niedrigste zeitweilige Unterspannung, bei der die TCR steuerbar bleibt, anzulegen und das Ventil über eine Dauer im leitfähigen Zustand zu halten, die mindestens das Doppelte der festgelegten Dauer der zeitweiligen Unterspannung beträgt.
- b) Der Punkt a) ist durch Verringerung (kontinuierlich oder in Schritten) der Spannung auf Null (oder auf den Eintrittswinkel des Schutzes) zu wiederholen, um nachzuweisen, dass dieser Zustand für das Ventil nicht schädlich ist.

ANMERKUNG In Abhängigkeit von der Ventilbauart kann es erforderlich sein, nach jedem Unterspannungsschritt zum Mindestdauerwert der Wechselspannung zurückzukehren, um die Stromversorgungen der Steuerelektrode wiederherzustellen.

Ein Prüfsicherheitsfaktor von 0,95 ist anzuwenden.

6.4.3 Erwärmungsprüfung

6.4.3.1 Zweck

Der Hauptzweck dieser Prüfung ist der Nachweis, dass die Erwärmung der kritischsten wärmeerzeugenden Bauelemente innerhalb festgelegter Grenzwerte liegt, und zu bestätigen, dass keine Bauelemente oder Werkstoffe unter verschiedenen Dauerbetriebsbedingungen übermäßigen Temperaturen ausgesetzt sind, sowie nachzuweisen, dass die vorgesehene Kühlung ausreichend ist.

6.4.3.2 Durchführung der Prüfungen

Das Ventil muss Spannungen und Strömen ausgesetzt werden, die Verluste ergeben, die 5 % größer sind als die im Betrieb unter festgelegten Betriebsbedingungen bei den strengsten Kühlbedingungen auftretenden. Die Prüfung muss nach Erreichen des thermischen Gleichgewichts 30 min fortgesetzt werden.

Es kann mehr als eine Prüfung erforderlich sein, um die Erwärmung von Bauelementen zu bestimmen, deren größte thermische Belastungen bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen auftreten können.

Um die Stromtragfähigkeit der Verbindungen zwischen den antiparallelen Thyristoren nachzuweisen, muss die Prüfung mit einem kurzgeschlossenen Thyristorplatz wiederholt werden, z. B. durch Ersatz eines Thyristors durch einen Metalldummy.

ANMERKUNG Wo die Temperatur des kritischen Teils der wärmeerzeugenden Bauelemente praktisch nicht ermittelt werden kann, wie z. B. die Sperrschichttemperatur des Thyristors oder die Elementetemperatur der Dämpfungswiderstände, darf eine Messung an einem geeigneten Punkt durchgeführt werden, von dem diese Temperatur abgeleitet werden kann.

7 Prüfung der elektromagnetischen Störungen

7.1 Zweck

Der Zweck dieser Prüfungen ist der Nachweis der Unempfindlichkeit des Ventils gegen elektromagnetische Strahlung, die durch äußere Ereignisse oder durch das Schalten anderer in der Nähe befindlicher Ventile hervorgerufen wird.

Die Prüfung muss nachweisen, dass infolge der elektromagnetischen Strahlung:

- keine störende Zündung der Thyristoren auftritt;
- keine falsche Anzeige von Thyristorplatzausfällen oder fehlerhaften Signalen auftritt, die durch die Ventilelektronik an die Steuerungs- und Schutzsysteme des Stromrichters gesendet werden.

ANMERKUNG Die Prüfungen zum Nachweis der Unempfindlichkeit des Ventils gegen elektromagnetische Störungen gelten in dieser Norm nur für das Thyristorventil und den Teil des Signalübertragungssystems, der das Ventil mit Erde verbindet. Der Nachweis der Unempfindlichkeit einer auf Erdpotential angeordneten Ausrüstung gegen elektromagnetische Störgrößen und die Charakterisierung des Ventils als Quelle von elektromagnetischen Störgrößen für andere Betriebsmittel liegen nicht im Anwendungsbereich dieser Norm.

7.2 Durchführung der Prüfung

Die Unempfindlichkeit gegen elektromagnetische Störungen wird durch Überwachung des Ventils während der Prüfung der Schaltimpulse und nichtperiodischen Zündung nachgewiesen. Im ersten Fall wird das Ventil, das dem Schaltimpuls ausgesetzt ist, auch auf Unempfindlichkeit gegen elektromagnetische Störung überwacht. Im zweiten Fall muss ein zusätzliches Prüfventil in der Nähe des Ventils angeordnet werden, das der Prüfung mit nichtperiodischer Zündung ausgesetzt ist. Dieses zusätzliche Prüfobjekt muss auf elektromagnetische Störung überwacht werden.

Die geometrischen Anordnungen der Prüfventile müssen dem Betriebseinsatz entsprechen.

7.2.1 Schaltstoßspannungsprüfung

Die Prüfung wird als Teil der TCR/TSR- und TSC-Typprüfung durchgeführt (siehe 5.3.2.1 bzw. 6.3.2.1).

Die Elektronik des zu prüfenden Ventils muss mit Energie versorgt werden.

Jene Teile der Elektronik der Ventilbasis, die für den sicheren Informationsaustausch mit dem Prüfventil erforderlich sind, müssen in die Prüfung einbezogen werden.

Das Annahmekriterium der Prüfung ist, dass keine fehlerhafte Ventilzündung oder falsche Anzeige vom Ventil an das Steuerungs- oder Schutzsystem auftritt. Das Kriterium gilt sowohl für das zu prüfende Ventil als auch das Hilfsventil, sofern angebracht.

7.2.2 Prüfung der nichtperiodischen Zündung

Die Prüfung wird als Teil der unverbindlichen TCR/TSR- und TSC-Prüfung durchgeführt (siehe 9.3 bzw. 10.2).

Die Elektronik des zu prüfenden Ventils muss mit Energie versorgt werden.

Jene Teile der Elektronik der Ventilbasis, die für den sicheren Informationsaustausch mit dem Prüfventil erforderlich sind, müssen in die Prüfung einbezogen werden.

An die Anschlüsse des Prüfobjektes muss eine Betriebsspannung mit Grundfrequenz (bestimmungsgemäße Betriebsspannung) angelegt werden. Die Prüfung muss nahe des Spitzenwertes der Spannung und bei beiden Polaritäten der Spannung durchgeführt werden.

ANMERKUNG In vielen Fällen können die Zielstellungen der Prüfung der nichtperiodischen Zündung durch andere Prüfungen erfüllt werden, z. B. bei TCR durch die Schaltstoßspannungsprüfung mit VBO-Zündung und bei TSC durch Überstromprüfungen.

Das Annahmekriterium der Prüfung ist, dass keine fehlerhafte Ventilzündung oder falsche Anzeige vom Ventil an das Steuerungs- oder Schutzsystem auftritt. Dieses Kriterium gilt sowohl für das Prüfobjekt als auch für das Hilfsventil.

8 Abnahmeprüfungen

Die festgelegten Prüfungen legen die geforderte Mindestprüfung fest. Der Lieferant muss eine detaillierte Beschreibung der Prüfverfahren, die den Zweck der Prüfung erfüllen, bereitstellen.

8.1 Sichtprüfung

Zweck der Prüfung:

- a) Prüfung, dass alle Werkstoffe und Bauelemente unbeschädigt und richtig eingebaut sind;
- b) Überprüfung der Daten der eingebauten Bauelemente;
- c) Prüfung der Kriech- und Luftstrecken im Ventil.

8.2 Prüfung der Anschlüsse und Verbindungen

Zweck der Prüfung:

- a) Prüfung, dass alle den Hauptstrom führenden Verbindungen richtig ausgeführt sind;
- b) Prüfung der Klemmkraft der Thyristoren;
- c) Prüfung der inneren Verdrahtung.

8.3 Prüfung der Spannungsteiler-/Dämpfungsstromkreise

Zweck der Prüfung ist die Überprüfung der Parameter der Spannungsteiler-/Dämpfungsstromkreise (Widerstand und Kapazität) und sicherzustellen, dass die Spannungsteilung zwischen in Reihe geschalteten Thyristoren richtig ist.

8.4 Prüfung der Spannungsfestigkeit

Zweck der Prüfung ist die Überprüfung, dass die Thyristorplatz der Spannung widerstehen, die dem höchsten für das Ventil festgelegten Wert entspricht.

8.5 Prüfung der Hilfseinrichtungen

Zweck der Prüfung ist die Überprüfung, dass die Hilfseinrichtungen (wie z. B. Überwachungs- und Schutzstromkreise) jedes Thyristorplatzes und derjenigen für das vollständige Ventil (oder für Ventilabschnitte) richtig arbeiten.

8.6 Zündprüfung

Zweck der Prüfung ist die Überprüfung, dass die Thyristoren in jedem Thyristorplatz bei den Zündsignalen richtig einschalten.

8.7 Prüfung des Kühlsystemdruckes

Zweck der Prüfung:

- a) Prüfung, dass keine Leckstellen vorhanden sind;
- b) Prüfung des ausreichenden Durchflusses, sowohl im vollständigen Ventil als auch in alle Teilkreisen;
- c) Prüfung des Differenzdruckes.

8.8 Teilentladungsprüfungen

Für den Nachweis der korrekten Herstellung müssen Käufer und Lieferant vereinbaren, welche Bauteile und Baugruppen für die Konstruktion kritisch sind, und es müssen geeignete Teilentladungsprüfungen durchgeführt werden.

9 Unverbindliche Prüfungen für TCR- und TSR-Ventile

9.1 Überstromprüfung

9.1.1 Überstrom mit nachfolgender Blockierung

9.1.1.1 Zweck

Diese Prüfung bestätigt die Fähigkeit des Ventils, einem Überstrom mit nachfolgender Blockierung bei einer Thyristortemperatur zu widerstehen, der dem höchsten von Ventilsteuerung und -schutz zugelassenen Wert entspricht. Die Prüfung berücksichtigt den Zustand des behafteten Gleichstromes, bei dem der Überstrom durch Blockierung bei hohem di/dt beendet wird.

ANMERKUNG In vielen Fällen kann dem Zweck dieser Prüfung durch die Prüfung mit periodischem Zünden und Löschen (5.4.1) nachgekommen werden, in diesem Fall darf diese Prüfung weggelassen werden.

9.1.1.2 Prüfwerte und Kurvenformen

Das Ventil muss einer wiederangelegten Spannung ausgesetzt werden, die der Löschkurvenform nach Betriebserfahrungen entspricht. Die wiederangelegte Spannung darf entweder durch einen separaten Stoßspannungsgenerator oder von der Prüfschaltung selbst erzeugt werden.

Kurvenform 1: Es ist eine 20/200- μ s-Kurvenform, die sich einer typischen Löschkurvenform annähert, oder eine gleichwertige Näherung zu verwenden, wenn diese durch Netzstudien unterstützt wird.

$$U_{tsv} = k_s \times U_{cms} \quad (\text{Kurvenform 1})$$

Dabei ist

U_{cms} der niedrigste Schutzpegel des Ventils, der vom Stoßspannungsableiter oder VBO angegeben wird, oder der garantierte Spannungsfestigkeitspegel des Ventils, für das kein Überspannungsschutz vorgesehen ist;

k_s ein Prüfsicherheitsfaktor;

$k_s = 0,9$.

E DIN IEC 61954 (VDE 0553-100):2009-12

9.1.1.3 Durchführung der Prüfungen

- a) Es sind die höchsten Dauerbedingungen für den Strom herzustellen und beizubehalten, bis das thermische Gleichgewicht bei gleich bleibender Sperrschichttemperatur erreicht ist.
- b) Das Ventil ist mit einem entsprechenden Prüfstrom zu belasten, um die Sperrschichttemperatur auf den Höchstwert zu steigern, der durch Ventilsteuerung und -schutz zugelassen ist.
- c) Das Ventil ist bei einem repräsentativen di/dr zu blockieren.
- d) Das Ventil ist der Rückwärts-Löschüberschwingung auszusetzen.

9.1.2 Überstrom ohne Blockierung

9.1.2.1 Zweck

Es werden Fehlerzustände angenommen, bei denen der Strom die Bemessungsgrenze überschreitet. Diese Prüfung weist die Fähigkeit des Ventils nach, einem Überstrom ohne Blockierung zu widerstehen, bis der SVC auslöst.

9.1.2.2 Prüfwerte und Kurvenformen

Der Prüfstrom muss einen Spitzenwert und eine Erwärmungswirkung haben, die der festgelegten ungünstigsten zeitabhängigen Überspannung entsprechen, so dass beide Leitungsrichtungen geprüft werden. Die Prüfdauer muss auf dem SVC-Schutzsystem basieren.

9.1.2.3 Durchführung der Prüfungen

Die Prüfschaltung muss eine Reihenschaltung aus netzfrequenter Stromquelle mit dem Prüfobjekt und einer Drossel oder ein geeigneter vergleichbarer Stromkreis sein. Am Ende der Prüfung braucht an das Ventil keine Spannung angelegt zu werden.

- a) Das Ventil oder der Ventilabschnitt ist so weit zu erwärmen, dass die Thyristorsperrschichten die höchste Dauerbetriebstemperatur erreichen.
- b) Das Ventil ist der festgelegten Stromkurvenform auszusetzen.

9.2 Positive Spannungstransiente während der Sperrverzögerungsprüfung

9.2.1 Zweck

Es muss nachgewiesen werden, dass das Ventil nicht beschädigt wird, wenn ein positiver Schaltspannungsstoß in irgendeinem Augenblick nach der Stromlöschung auftritt.

ANMERKUNG Wo ein äußerer Schutz am Ventil vorgesehen ist, um zuzulassen, dass ein Ventil solch einem Ereignis widersteht, sollte dieser Schutz in die Prüfung einbezogen werden.

9.2.2 Prüfwerte und Kurvenformen

Kurvenform 1: Es ist eine 20/200- μ s-Kurvenform, die sich einer typischen Löschkurvenform annähert, oder eine gleichwertige Näherung zu verwenden, wenn diese durch Netzstudien unterstützt wird.

$$U_{tsv} = k_s \times U_{cms} \quad (\text{Kurvenform 1})$$

Dabei ist

U_{cms} der niedrigste Schutzpegel des Ventils, der vom Stoßspannungsableiter oder VBO angegeben wird, oder der garantierte Spannungsfestigkeitspegel des Ventils, für das kein Überspannungsschutz vorgesehen ist;

k_s ein Prüfsicherheitsfaktor;

$k_s = 0,9$.

Diese Stoßspannung ändert die Polarität der Ventilspannung nach der Stromlöschung in eine Polarität, die die Thyristoren, die ihre Stromleitung gerade beendet haben, in Vorwärtsrichtung unter Vorspannung setzt.

Für eine an einem Ventilabschnitt durchgeführte Prüfung muss die Amplitude von U_{tsv} nach 4.4.3.2 proportional skaliert sein.

9.2.3 Durchführung der Prüfungen

- a) Es ist ein solcher Strom durch das Ventil fließen zu lassen, dass die Thyristorsperrschicht vollständig belastet wird und das di/dt beim Abschalten korrekt ist.
- b) Das Ventil ist bei höchster Sperrschichtdauerterperatur zu blockieren.
- c) Das Ventil oder der Ventilabschnitt ist den vorstehend festgelegten unbeeinflussten Spannungsimpulsen auszusetzen.

Die Stoßspannungen müssen in mindestens fünf Zeitsprüngen zwischen dem Löschen des Stromes und der vollständigen Erholung des Ventils angelegt werden.

Die Prüfung muss in beiden Leitungsrichtungen des Ventils durchgeführt werden.

9.3 Prüfung der nichtperiodischen Zündung

9.3.1 Zweck

Der Zweck dieser Prüfung der nichtperiodischen Zündung ist, die Eignung der Thyristoren und zugehörigen elektrischen Stromkreise hinsichtlich der Strom- und Spannungsbeanspruchungen beim Einschalten unter nichtperiodischen Bedingungen zu prüfen. Ein zusätzlicher Zweck ist, die Unempfindlichkeit des Ventils gegen elektromagnetische Störungen nachzuweisen (siehe Abschnitt 7).

ANMERKUNG In vielen Fällen kann der Zweck dieser Prüfung durch die Schaltstoßspannungsprüfung zwischen den Anschlüssen des Ventils (5.3.2) erfüllt werden, in diesem Fall darf diese Prüfung weggelassen werden.

9.3.2 Prüfwerte und Kurvenformen

Die Prüfung muss bei Raumtemperatur an einem vollständigen Ventil durchgeführt werden.

Die Prüfschaltung muss eine Schaltstoßspannung an das Ventil anlegen und das Ventil muss am Spitzenwert der Stoßspannung in den Leitungszustand gesteuert werden. Die Hauptaufgabe der Prüfschaltung nach der Zündung des Ventils ist, den richtigen Ventilstrom beim Einschalten hervorzubringen. Der wichtige Zeitrahmen sind die ersten 10 μs bis 20 μs der Stromleitung.

Der Stoßspannungsgenerator muss nach seiner wirksamen Quellenimpedanz ausgewählt werden, um einen Einschaltstromstoß zu erzeugen, der mindestens so groß wie die Entladung der Streukapazitäten im Einsatz ist.

Die Einschaltbeanspruchungen und die geforderte Prüfschaltung sind von dem Verfahren abhängig, das für den Schutz der Ventile gegen transiente Überspannungen gewählt wurde.

Kurvenform 2: Es muss eine genormte 250/2500- μs -Kurvenform verwendet werden.

a) Durch Stoßspannungsableiter geschützte Ventile

Die unbeeinflusste Prüfspannung U_{tsv2} muss wie folgt bestimmt werden:

$$U_{tsv2} = k_s \times U_{cms} \quad (\text{Kurvenform 2})$$

Dabei ist

U_{cms} der Schutzpegel des Überspannungsableiters;

k_s ein Prüfsicherheitsfaktor;

$k_s = 1,0$.

E DIN IEC 61954 (VDE 0553-100):2009-12

Die Impedanz des Stoßspannungsgenerators muss so gewählt werden, dass nicht nur der Einschaltstrom, der sich aus der Entladung der Streukapazitäten ergibt, erzeugt wird, sondern auch der, der durch die Kommutierung des Stoßspannungsableiterstromes entsteht.

Um dies zu erreichen, können zwei Verfahren angewendet werden:

- 1) Parallelkondensatorverfahren: Bei diesem Verfahren wird ein Kondensator parallel zum Prüfventil geschaltet, dessen Wert eine Stromentladung ergibt, die mindestens so groß ist, wie für die Kommutierung des Überspannungsableiterstromes vorhergesagt. Das Ventil wird in den Leitungszustand gesteuert, wenn die Spannung U_{tsv2} erreicht.
- 2) Stoßspannungsableiterverfahren: Bei diesem Verfahren wird parallel zu den Ventilanschlüssen ein Stoßspannungsableiter geschaltet und die Prüfspannung über eine Induktivität angelegt, die für eine TCR-Drossel repräsentativ ist. Wenn der Strom im Überspannungsableiter die vorgeschriebene Höhe erreicht, muss das Ventil in den Leitungszustand gesteuert werden.

Bedingt durch die Begrenzungen der praktischen Größe des Stoßspannungsgenerators ist das Stoßspannungsableiterverfahren nur für Ventile mit Niederspannungsbemessung geeignet.

Wo ein Schutz gegen die Zündung des Ventils während der Augenblicke mit Stromfluss im Überspannungsableiter vorgesehen ist, braucht die Kommutierung des Überspannungsableiterstromes nicht berücksichtigt zu werden. Daher darf die Prüfspannung U_{cms} auf die höchste Spannung reduziert werden, bei der der Überspannungsableiter nicht leitend wird.

b) Durch VBO geschütztes Ventil

Die unbeeinflusste Prüfspannung U_{tsv2} muss wie folgt bestimmt werden:

$$U_{tsv2} = k_s \times U_{VBO} \quad (\text{Kurvenform 2})$$

Dabei ist

U_{VBO} der Mindestschutzspannungspegel des VBO;

k_s ein Prüfsicherheitsfaktor;

$k_s = 0,95$.

Falls gezeigt werden kann, dass die Zündsteuerung durch die VBO-Wirkung der üblichen Zündung gleichbedeutend ist, kann die Prüfung entfallen, da der Prüfzweck schon mit der Schaltstoßspannungsprüfung zwischen den Anschlüssen des Ventils nachgewiesen wurde (siehe 5.3.2).

c) Ventile ohne vorgesehenen Schutz

$$U_{tsv2} = k_s \times U_{cms} \quad (\text{Kurvenform 2})$$

Dabei ist

U_{cms} der unbeeinflusste Schaltstoßspannungspegel nach IEC 60071-1, Tabelle 3 oder wie durch Isolationskoordinationsstudien bestimmt;

k_s ein Prüfsicherheitsfaktor;

$k_s = 1,3$.

9.3.3 Durchführung der Prüfungen

Ein Anschluss des Ventils darf geerdet werden.

Es sind drei Schaltstoßspannungsimpulse anzulegen. Das Ventil muss beim Scheitelwert der Schaltstoßspannungen in die Leitfähigkeit gesteuert werden. Der Vorgang ist für die entgegengesetzte Polarität zu wiederholen (alternativ sind die Anschlüsse des Ventils zu vertauschen).

10 Unverbindliche Prüfungen an TSC-Ventilen

10.1 Positive Spannungstransiente während der Sperrverzögerungsprüfung

10.1.1 Prüfzweck

Es muss nachgewiesen werden, dass das Ventil nicht beschädigt wird, wenn eine positive Schaltstoßspannung in irgendeinem Augenblick nach der Stromlöschung auftritt.

ANMERKUNG Wo ein äußerer Schutz am Ventil vorgesehen ist, um zuzulassen, dass ein Ventil solch einem Ereignis widersteht, sollte dieser Schutz in die Prüfung einbezogen werden.

10.1.2 Prüfwerte und Kurvenformen

Kurvenform 1: Es ist eine 20/200- μ s-Kurvenform, die sich einer typischen Löschkurvenform annähert, oder eine gleichwertige Näherung zu verwenden, wenn diese durch Netzstudien unterstützt wird.

Die unbeeinflusste Prüfspannung U_{tsv} muss nach folgender Gleichung berechnet werden:

$$U_{tsv} = k_s \times U_{cms} \quad (\text{Kurvenform 1})$$

Dabei ist

U_{cms} der niedrigste Schaltstoßspannungsschutzpegel des Ventils, der vom Stoßspannungsableiter festgelegt wird, oder der garantierte Spannungsfestigkeitspegel des Ventils, für das kein Überspannungsschutz vorgesehen ist;

k_s ein Prüffaktor;

$k_s = 0,9$.

Diese Stoßspannung ändert die Polarität der Ventilspannung nach der Stromlöschung in eine Polarität, die die Thyristoren, die ihre Stromleitung gerade beendet haben, in Vorwärtsrichtung unter Vorspannung setzt. Für die an einem Ventilabschnitt durchgeführte Prüfung, muss die Amplitude von U_{tsv} entsprechend 4.4.3.2 proportional skaliert werden.

10.1.3 Durchführung der Prüfungen

- Es ist ein solcher Strom durch das Ventil fließen zu lassen, dass die Thyristorsperrschicht vollständig belastet wird und das di/dt beim Abschalten korrekt ist.
- Das Ventil ist bei höchster Sperrschichtdauertemperatur zu blockieren.
- Das Ventil oder der Ventilabschnitt ist den vorstehend festgelegten unbeeinflussten Spannungsimpulsen auszusetzen.

Die Stoßspannungen müssen in mindestens fünf Zeitsprüngen zwischen dem Löschen des Stromes und der vollständigen Erholung des Ventils angelegt werden.

Die Prüfung muss in beiden Leitungsrichtungen des Ventils durchgeführt werden.

10.2 Prüfung der nichtperiodischen Zündung

10.2.1 Zweck

Der Zweck dieser Prüfung der nichtperiodischen Zündung ist, die Eignung der Thyristoren und zugehörigen elektrischen Stromkreise hinsichtlich der Strom- und Spannungsbeanspruchungen beim Einschalten unter nichtperiodischen Bedingungen zu prüfen. Ein zusätzlicher Zweck ist, die Unempfindlichkeit des Ventils gegen elektromagnetische Störungen nachzuweisen (siehe Abschnitt 7).

ANMERKUNG In vielen Fällen kann der Zweck dieser Prüfung durch die Überstromprüfung (siehe 6.4.1) erfüllt werden, in diesem Fall darf diese Prüfung weggelassen werden.

— Entwurf —

E DIN IEC 61954 (VDE 0553-100):2009-12

10.2.2 Prüfwerte und Kurvenformen

Die Prüfung muss bei Raumtemperatur an einem vollständigen Ventil durchgeführt werden.

Die Prüfschaltung muss eine Schaltstoßspannung an das Ventil anlegen und das Ventil muss am Scheitelpunkt der Stoßspannung in den Leitungszustand getriggert werden. Die Hauptaufgabe der Prüfschaltung nach der Zündung des Ventils ist, den richtigen Ventilstrom beim Einschalten hervorzubringen. Der wichtige Zeitrahmen sind die ersten 10 µs bis 20 µs der Stromleitung.

Der Stoßspannungsgenerator muss nach seiner wirksamen Quellenimpedanz ausgewählt werden, um einen Einschaltstromstoß zu erzeugen, der mindestens so groß wie die Entladung der Streukapazitäten im Einsatz ist.

Die Einschaltbeanspruchungen und die geforderte Prüfschaltung sind von dem Verfahren abhängig, das für den Schutz der Ventile gegen transiente Überspannungen gewählt wurde.

Die Impedanz des Stoßspannungsgenerators muss so gewählt werden, dass nicht nur der Einschaltstrom, der sich aus der Entladung der Streukapazitäten ergibt, erzeugt wird, sondern auch der, der durch die Kommutierung des Stoßspannungsableiterstromes, wo dies auftreten kann, entsteht.

Kurvenform 2: Es muss eine genormte 250/2500-µs-Kurvenform verwendet werden.

a) Durch Stoßspannungsableiter geschützte Ventile

Die unbeeinflusste Prüfspannung U_{tsv2} muss nach folgender Gleichung berechnet werden:

$$U_{tsv2} = k_s \times U_{cms} \quad (\text{Kurvenform 2})$$

Dabei ist

U_{cms} der Schutzpegel des Überspannungsableiters für Schaltstoßspannungen;

k_s ein Prüfsicherheitsfaktor;

$k_s = 1,0$.

Um dies zu erreichen, können zwei Verfahren angewendet werden:

- 1) Parallelkondensatorverfahren: Bei diesem Verfahren wird ein Kondensator parallel zum Prüfventil geschaltet, dessen Wert eine Stromentladung ergibt, die mindestens so groß ist, wie für die Kommutierung des Überspannungsableiterstromes vorhergesagt.
- 2) Stoßspannungsableiterverfahren: Bei diesem Verfahren wird parallel zu den Ventilanschlüssen ein Stoßspannungsableiter geschaltet und die Prüfspannung über eine Induktivität angelegt, die für eine TCR-Drossel repräsentativ ist. Wenn der Strom im Überspannungsableiter die vorgeschriebene Höhe erreicht, muss das Ventil in den Leitungszustand gesteuert werden.

Bedingt durch die Begrenzungen der praktischen Größe des Stoßspannungsgenerators ist das Stoßspannungsableiterverfahren nur für Ventile mit Niederspannungsbemessung geeignet.

Wo ein Schutz gegen die Zündung des Ventils während der Augenblicke mit Stromfluss im Überspannungsableiter vorgesehen ist, braucht die Kommutierung des Überspannungsableiterstromes nicht berücksichtigt zu werden. Daher darf die Prüfspannung U_{cms} auf die höchste Spannung verringert werden, bei der der Überspannungsableiter nicht leitend wird. In der Überstromprüfung (6.4.1) kann der Zweck dieser Prüfung bereits nachgewiesen worden sein, in diesem Fall darf die Prüfung entfallen.

b) Ventile ohne vorgesehenen Schutz

Die unbeeinflusste Prüfspannung U_{tsv2} muss nach folgender Gleichung berechnet werden:

$$U_{tsv2} = k_s \times U_{cms} \quad (\text{Kurvenform 2})$$

Dabei ist

U_{cms} der unbeeinflusste Schaltstoßspannungspegel nach IEC 60071-1, Tabelle 3, oder wie durch Isolationskoordinationsstudien bestimmt;

k_s ein Prüfsicherheitsfaktor;

$k_s = 1,3$.

10.2.3 Durchführung der Prüfungen

Ein Anschluss des Ventils darf geerdet werden.

Es sind drei Schaltstoßspannungsimpulse anzulegen; wenn die Spannung U_{tsv2} erreicht, wird das Ventil in die Leitfähigkeit gesteuert. Der Vorgang ist für die entgegengesetzte Polarität zu wiederholen (alternativ sind die Anschlüsse des Ventils zu vertauschen).

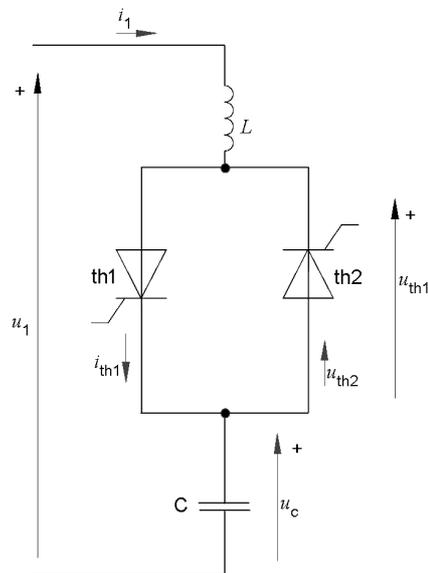
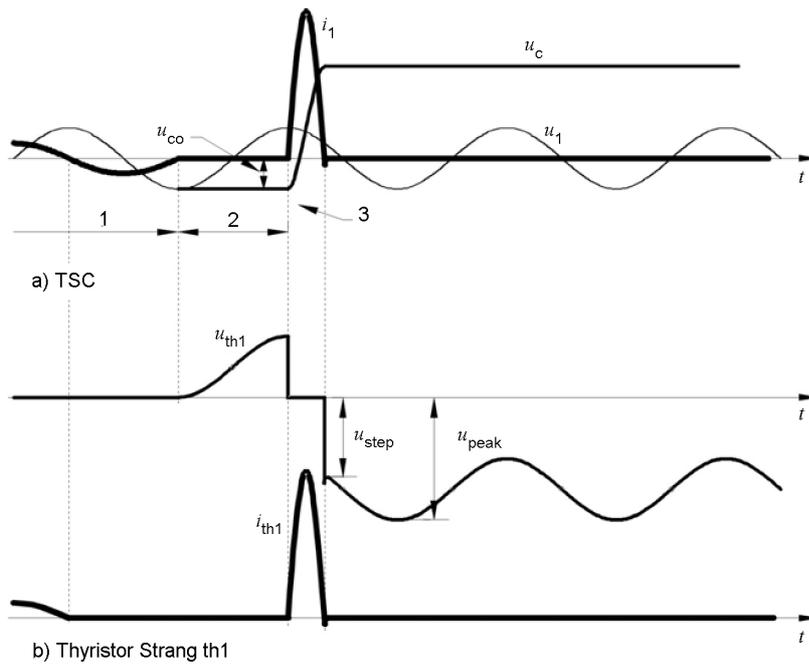


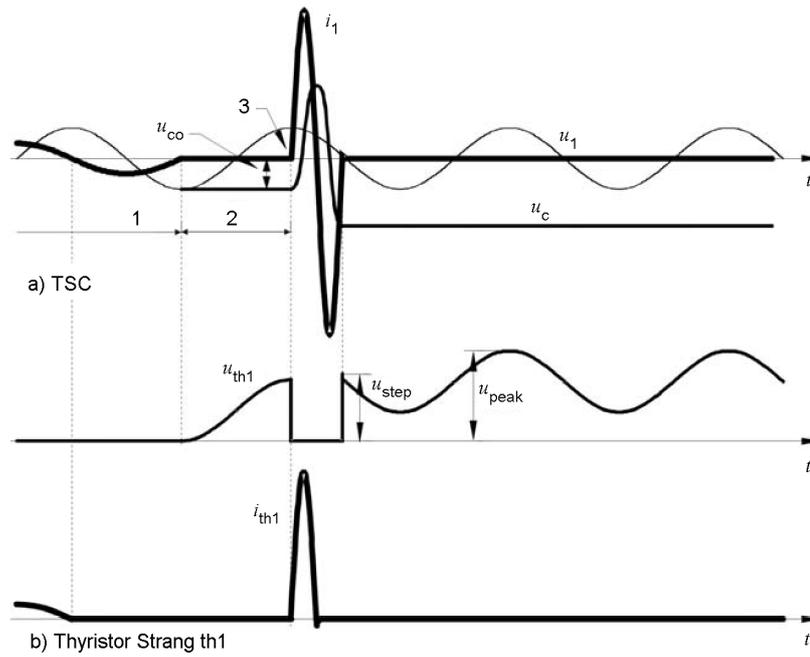
Bild 1 – TSC-Zweig



Legende:

- 1 Bestimmungsgemäßer Betrieb
- 2 Blockiert
- 3 Ventil gezündet
- u_{co} Spannung des geladenen Kondensators C

Bild 2 – Einschleifen-Überstrom



Legende:

- 1 Bestimmungsgemäßer Betrieb
- 2 Blockiert
- 3 Ventil gezündet
- u_{co} Spannung des geladenen Kondensators C

Bild 3 – Zweischleifen-Überstrom