

DIN EN 62823

ICS 29.200

Einsprüche bis 2013-12-18

Entwurf**Thyristorventile für thyristorgesteuerte Reihenkondensatoren (TCSC) –
Elektrische Prüfung
(IEC 22F/309/CD:2013)**

Thyristor valves for thyristor controlled series capacitors (TCSC) –
Electrical testing
(IEC 22F/309/CD:2013)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2013-10-18 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 online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (Hausanschrift: Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main).

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

Gesamtumfang 71 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Inhalt

	Seite
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 TCSC-Ventil und Ventilbetrieb im Allgemeinen	8
4.1 TCSC-Anlage und TCSC-Ventil	8
4.2 TSC-Ventilstrom und -spannung bei kapazitivem Anhebungsbetrieb	9
4.3 Typische Betriebsarten von TCSC-Anlagen	12
5 Allgemeine Anforderungen	13
5.1 Richtlinien für die Durchführung von Typprüfungen	13
5.2 Prüfbedingungen für dielektrische Prüfungen	13
5.3 Prüfbedingungen für Funktionsprüfungen	14
5.4 Kriterien für die erfolgreiche Typprüfung	15
6 Zusammenfassung der Prüfungen	17
7 Dielektrische Prüfungen zwischen den Ventilanschlüssen und dem Ventilgehäuse	18
7.1 Zweck der Prüfungen	18
7.2 Prüfling	18
7.3 Prüfanforderungen	18
8 Dielektrische Prüfungen zwischen den Ventilanschlüssen	19
8.1 Zweck der Prüfungen	19
8.2 Prüfling	20
8.3 Prüfanforderungen	20
9 Periodische Zünd- und Löschprüfungen	22
9.1 Zweck der Prüfungen	22
9.2 Prüfling	22
9.3 Prüfanforderungen	22
10 Fehlerstromprüfungen	26
10.1 Zweck der Prüfungen	26
10.2 Prüfling	26
10.3 Prüfanforderungen	26
11 Prüfung der Störfestigkeit des Ventils gegen elektromagnetische Störgrößen	27
11.1 Zweck der Prüfungen	27
11.2 Prüfling	28
11.3 Prüfanforderungen	28
12 Prüfung von speziellen Funktionsmerkmalen	28
12.1 Zweck der Prüfungen	28
12.2 Prüflinge	28
12.3 Prüfanforderungen	28
13 Stückprüfungen	28

	Seite
13.1 Sichtprüfung	29
13.2 Überprüfung der Verbindungen.....	29
13.3 Überprüfung des Spannungsteilerkreises	29
13.4 Überprüfung der Stehspannungsfestigkeit.....	29
13.5 Teilentladungsprüfung.....	29
13.6 Überprüfung der Hilfseinrichtungen	29
13.7 Überprüfung der Zündung	29
13.8 Druckprüfung des Kühlsystems	29
14 Angabe der Ergebnisse der Typprüfung	29
Anhang A (informativ) Betrachtungen zum Betrieb und zur Bemessung von TCSC-Ventilen.....	31
Anhang B (informativ) Ausfallsicherheit von Ventilkomponenten.....	36
Anhang C Literaturhinweise	37
Bilder	
Bild 1 – Typische Schaltung und Nomenklatur einer TCSC-Anlage	9
Bild 2 – TCSC-Teilsegment	9
Bild 3 – TCSC-Wellenformen im eingeschwungenen Zustand bei einem Steuerwinkel α und einer Stromflussdauer σ	10
Bild 4 – Thyristorventilspannung in einem TCSC.....	10
Bild 5 – Beispiel für den Betriebsbereich von TCSC	12
Bild A.1 – Stationäre betriebsfrequente TCSC-Blindwiderstandscharakteristik nach Gleichung A-1 mit $\lambda = 2,5$	32
Tabellen	
Tabelle 1 – Zulässige Anzahl von Thyristorplatzausfällen während der Typprüfungen.....	16
Tabelle 2 – Prüfungen	17
Tabelle A.1 – Verhältnis von Scheitelwert und Effektivwert der Spannungen	31

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 22F/309/CD:2013 „Thyristor valves for thyristor controlled series capacitors (TCSC) – Electrical testing“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

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

Das internationale Dokument wurde vom SC 22F „Power electronics for electrical transmission and distribution systems“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und 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 dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium K 331 „Leistungselektronik“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

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.

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

Thyristorventile für thyristorgesteuerte Reihenkondensatoren (TCSC) – Elektrische Prüfung

1 Anwendungsbereich

In dieser Internationalen Norm werden Stück- und Typprüfungen an Thyristorventilen festgelegt, die in Anlagen mit thyristorgesteuerten Reihenkondensatoren (en: thyristor controlled series capacitor – TCSC) für die Wechselstromübertragung zum Einsatz kommen.

Die Prüfungen, die in dieser Norm festgelegt sind, beruhen auf luftisolierten Ventilen, die im kapazitiven Anhebungsbetrieb oder im Überbrückungsbetrieb arbeiten. Für andere Ventiltypen und Ventile, die im induktiven Anhebungsbetrieb arbeiten, sind die Prüfanforderungen und Annahmekriterien zwischen Käufer und Lieferant zu vereinbaren.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, 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 60060-1, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

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

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

IEC 61954, *Power electronics for electrical transmission and distribution systems – Testing of thyristor valves for static VAR compensators*

IEC 60270, *High-voltage test techniques – Partial discharge measurements*

IEC 60143-1, *Series capacitors for power systems – Part 1: General – Performance, testing and rating – Safety requirements – Guide for installation and operation*

3 Begriffe

3.1

Thyristorventil

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

3.2

Ventilabschnitt

ein elektrischer Aufbau, der aus einer Anzahl von Thyristoren und weiteren Bauelementen besteht und der die proportionalen elektrischen Eigenschaften eines vollständigen Ventils hat

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieser Begriff wird vorrangig für die Festlegung eines Prüflings bei der Prüfung von Ventilen verwendet.

3.3

Thyristor-(ventil-)platz

ein Teil eines Ventils, das aus antiparallelgeschalteten Thyristoren zusammen mit ihren unmittelbaren Hilfseinrichtungen und gegebenenfalls der Drossel besteht

3.4**redundante Thyristorplätze**

maximale Anzahl der Thyristorplätze in dem Thyristorventil, die von außen oder intern während des Betriebs 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

3.5**Ventilüberspannungsableiter**

ein Überspannungsableiter, der parallel zu einem Ventil geschaltet wird

3.6**Ventilelektronik**

elektronische Stromkreise auf Ventilpotential, die Steuerfunktionen ausführen

3.7**Ventilschnittstelle(-Elektronik)(-Einheit)**

eine Elektroneinheit, die die Schnittstelle zwischen der Steuereinrichtung auf Erdpotential und der Ventilelektronik darstellt

Anmerkung 1 zum Begriff: Wenn Ventilschnittstellen-Elektroneinheiten eingesetzt werden, dann werden diese typischerweise in der Nähe des Ventils bzw. der Ventile auf Erdpotential angeordnet.

Anmerkung 2 zum Begriff: Für diese Einheit wird auch der Begriff „Fußpunktelektronik“ (FPE) angewendet.

3.8**thyristorgesteuerte Reihenkontensator-(TCSC-)Bank**

Baugruppe aus Thyristorventilen, TCSC-Drosselspule(n), Kondensatoren und zugehörigen Hilfseinrichtungen, wie Aufbau, Stützisolatoren, Schalter und Schutzvorrichtungen sowie mit der Steuereinrichtung, die für eine vollständige Betriebsanlage erforderlich ist

3.9**TCSC-Drosselspule**

L

eine oder mehr Drosselspule(n), die in Reihe an das Thyristorventil angeschlossen ist (sind)

3.10**Thyristorventilbehälter**

auf der Plattform montierter Behälter, welcher das (die) Thyristorventil(e) und die zugehörige Ventilkühlung und Ventilelektronik aufnimmt

3.11**zeitweilige Überlast**

zeitweilige Überlastbarkeit (üblicherweise mit einer Dauer von einigen Sekunden, weniger als 10 s) des TCSC bei Bemessungsfrequenz und im Umgebungstemperaturbereich (siehe Bild 5)

3.12**Ventilsperrung**

Verfahren, ein weiteres Zünden eines steuerbaren Ventils durch Sperren der Ventilsteuerimpulse zu verhindern

3.13**Ventil deblockieren**

Verfahren, das das Zünden eines steuerbaren Ventils durch Aufhebung des Ventilsperrzustandes erlaubt

3.14**Schutzzündung des Ventils**

Mittel zum Schutz der Thyristoren vor Überspannung durch deren Zünden bei einer vorbestimmten Spannung

3.15

Leitungsstrom

i_L

betriebsfrequenter Außenleiterstrom (siehe Bild 2)

3.16

Bemessungsstrom

I_N

Effektivwert des Leitungsstroms (I_L), bei dem der TCSC den Dauerbetrieb mit Bemessungsblindwiderstand (X_N) und Bemessungsspannung (U_N) ausführen sollte

3.17

Ventilstrom

i_V

Strom durch das Thyristorventil (siehe Bild 2)

3.18

Überbrückungsstrom

Strom durch das Thyristorventil, das parallel zum Reihenkondensator liegt, wenn der Reihenkondensator überbrückt wird

3.19

Kondensatorspannung

U_C

Spannung über dem TCSC (siehe Bild 2)

3.20

Nennblindwiderstand

X_N

Nennwert des betriebsfrequenten Blindwiderstandes für jeden Außenleiter des TCSC bei Nennanhebungsfaktor

3.21

TCSC-Bemessungsspannung

U_N

betriebsfrequente Spannung über jedem Außenleiter des TCSC, die bei Nenn-Blindwiderstand (X_N), Bemessungsstrom (I_N) und -frequenz im Umgebungstemperaturbereich ununterbrochen gesteuert werden kann

3.22

scheinbarer Blindwiderstand

$X(\alpha)$

betriebsfrequenter scheinbarer Blindwiderstand des TCSC als Funktion des Thyristorsteuerwinkels (α) (siehe Bild 3)

3.23

Bemessungskapazität

C_N

Kapazitätswert, für den der TCSC-Kondensator bemessen wurde

3.24

physikalischer Blindwiderstand

X_C

betriebsfrequenter Blindwiderstand für jeden Außenleiter der TCSC-Bank bei gesperrten Thyristoren und bei einer Innentemperatur des Kondensatordielektrikums von 20 °C

$$X_C = 1/(a_N \times C_N)$$

3.25**Anhebungsfaktor** k_B das Verhältnis von $X(\alpha)$ dividiert durch X_C

$$k_B = X(\alpha) / X_C$$

3.26**Stromflussdauer** σ

Teil einer Netzhalbperiode, in dem sich das Thyristorventil im leitenden Zustand befindet (siehe Bild 3)

$$\sigma = 2\beta$$

3.27**Steuerwinkel** α im elektrischen Winkelmaß angegebene Zeit vom Nulldurchgang der Kondensatorspannung (U_C) bis zum Beginn des Stromflusses durch das Thyristorventil (siehe Bild 3)**3.28****innerer Fehler**

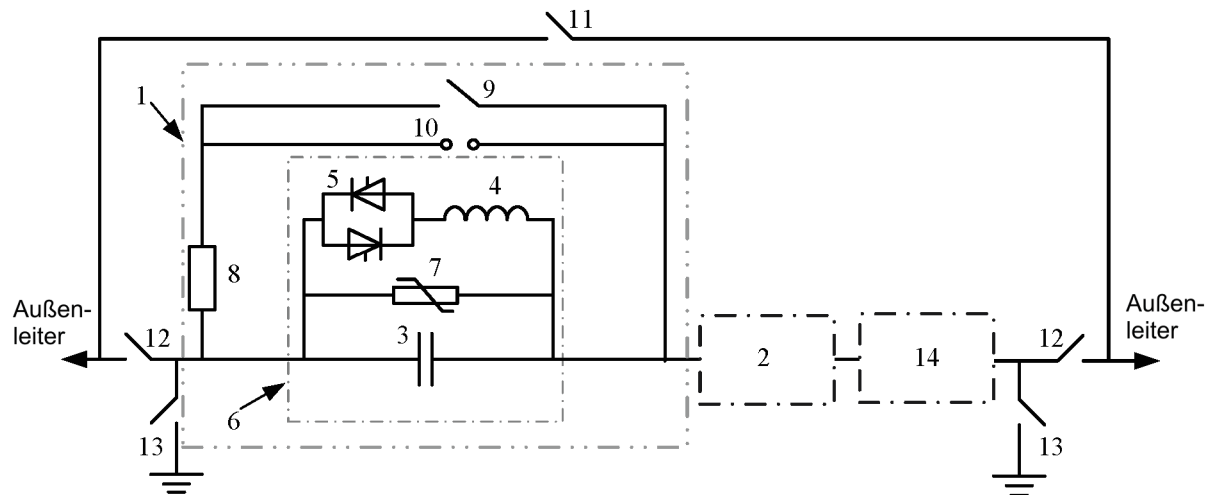
ein innerer Fehler ist ein Leitungsfehler, der innerhalb des geschützten Leitungsabschnitts auftritt, in dem sich das TCSC-Reihenteilsegment befindet

3.29**äußerer Fehler**

ein äußerer Fehler ist ein Leitungsfehler, der außerhalb des geschützten Leitungsabschnitts auftritt, in dem sich das TCSC-Reihenteilsegment befindet

4 TCSC-Ventil und Ventilbetrieb im Allgemeinen**4.1 TCSC-Anlage und TCSC-Ventil**

Der Reihenblindwiderstand der Übertragungsleitung kann durch Kombinationen von unregelmäßig Reihenkondensatoren (FSC) und steuerbaren Segmenten auf TCSC-Basis kompensiert werden, Bild 1. In einem TCSC-Teilsegment wird eine thyristorgesteuerte Drosselspule (TCR) parallel zu einer Kondensatorbank eingesetzt, Bild 2. Das im TCSC-Teilsegment verwendete Thyristorventil ist ein TCSC-Ventil (siehe Bild 1, Nr. 5).



Legende

- | | |
|--|--|
| 1 TCSC-Einheit | 8 Entladestrombegrenzer, falls anwendbar |
| 2 Zusätzliche TCSC-Einheit, falls erforderlich | 9 Überbrückungsschalter |
| 3 TCSC-Kondensator | 10 Überbrückungsfunkerstrecke |
| 4 TCSC-Drosselspule | 11 Äußerer Überbrückungstrennschalter |
| 5 TCSC-Thyristorventil | 12 Äußerer Trennschalter |
| 6 TCSC-Teilsegment | 13 Äußerer Erdungsschalter |
| 7 Kondensatorüberspannungsableiter | 14 FSC-Einheit, falls erforderlich |

Bild 1 – Typische Schaltung und Nomenklatur einer TCSC-Anlage

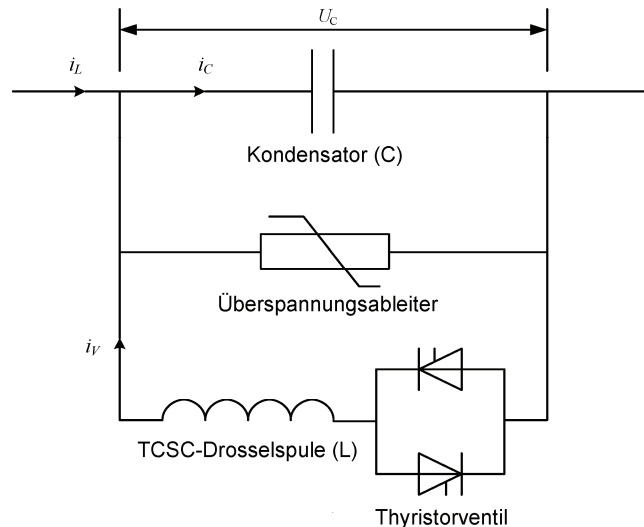


Bild 2 – TCSC-Teilsegment

4.2 TSC-Ventilstrom und -spannung bei kapazitivem Anhebungsbetrieb

Selbst wenn ein TCSC-Ventil theoretisch in einem induktiven Anhebungsbetrieb betrieben werden kann, so wird dieser Betrieb in der Praxis in einer TCSC-Anlage aufgrund der erforderlichen Systemkompensation und weiterer Einschränkungen nicht angewendet. Der kapazitive Anhebungsbetrieb ist eine angewendete Betriebsart eines TCSC-Ventils.

4.2.1 Wellenformen von Ventilstrom und -spannung im kapazitiven Anhebungsbetrieb

Bei sinusförmigen Leitungsstrom und sinusförmiger Leiterspannung (Bild 3a) führt der kapazitive Anhebungsbetrieb des TCSC-Ventils aufgrund des Stromflusses durch die Kondensatorbank, C, und das TCSC-Ventil zu einer Verformung der Sinusform, siehe Bild 3 (b). Dieser Strom erhöht den betriebsfrequenten Spannungsfall über dem TCSC-Teilsegment.

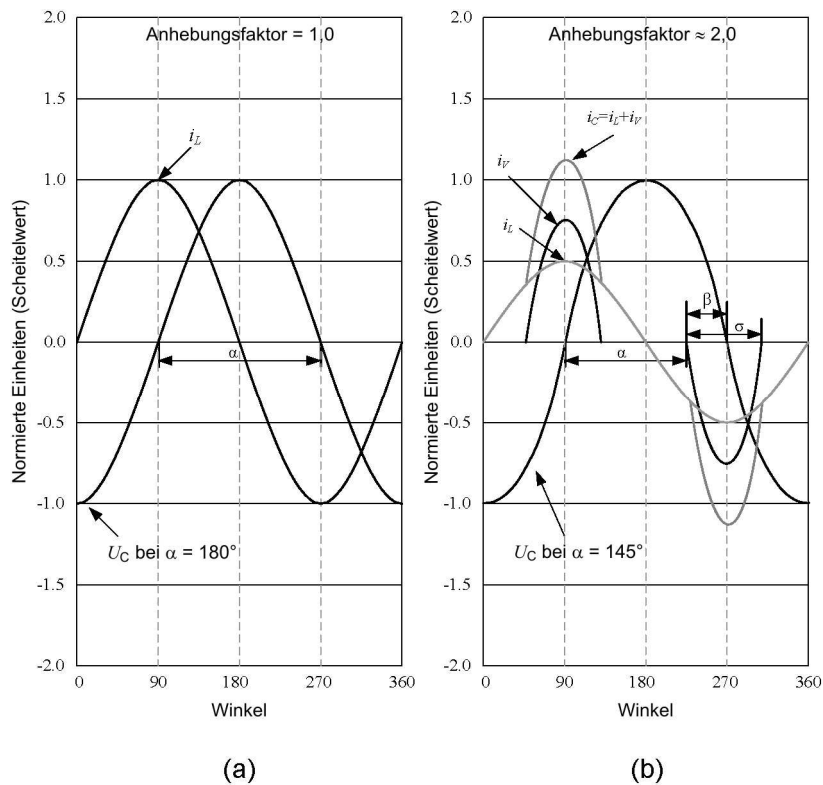


Bild 3 – TCSC-Wellenformen im eingeschwungenen Zustand bei einem Steuerwinkel α und einer Stromflussdauer σ

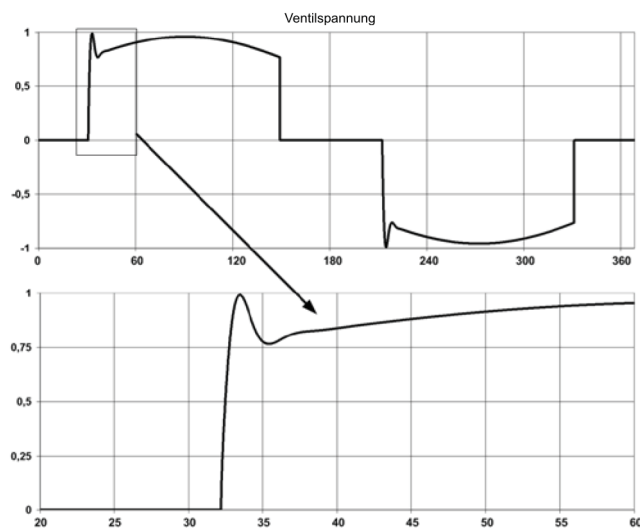


Bild 4 – Thyristorventilspannung in einem TCSC

4.2.2 Gleichungen zur Berechnung der Strom und Spannungsbeanspruchungen von TCSC-Ventilen

4.2.2.1 Kapazitiver Anhebungsbetrieb

Beim kapazitiven Anhebungsbetrieb des TCSC verhält sich der TCSC-Ventilstrom nach folgender Gleichung

$$i_V = (-1)^n \times \frac{\lambda^2 \times i_L}{\lambda^2 - 1} \times \left(\cos \omega_N \times t - \frac{\cos \beta}{\cos \lambda \times \beta} \times \cos \lambda \times \omega_N \times t \right) \quad n \times \pi - \beta \leq \omega_N \times t \leq n \times \pi + \beta$$

$$i_V = 0, \quad n \times \pi + \beta < \omega_N \times t < (n + 1) \times \pi - \beta$$

$$n = 0, 1, 2, 3 \dots$$

Dabei ist

- λ das Verhältnis aus der Eigenfrequenz des LC-Zweigs des TCSC-Teilsegments und der Betriebsfrequenz des Wechselstromnetzes, $\lambda = \frac{1}{\omega_N \times \sqrt{L \times C}}$;
- i_L der Leitungsstrom des Wechselstromnetzes;
- ω_N der Nennwert der Kreisfrequenz des Wechselstromnetzes;
- β die Hälfte des maximalen Stromflusswinkels der TCSC-Ventile in einer Richtung für kapazitive Anhebung bei i_L .

Die Änderungsgeschwindigkeit des Stroms di/dt bei Ein- und Ausschalten am Thyristor wird abgeleitet mit:

$$\left. \frac{di_V}{dt} \right|_{\omega_N \times t = \frac{\pi}{2} + \beta} = \frac{\lambda^2 \times i_L}{\lambda^2 - 1} \times \left[\omega_N \times \sin \beta - \omega_N \times \frac{\cos \beta}{\cos(\lambda \times \beta)} \times \sin(\lambda \times \beta) \right]$$

Der Scheitelwert des Stroms durch das TCSC-Ventil wird berechnet mit

$$i_{v_peak} = \frac{\lambda^2 \times i_L}{\lambda^2 - 1} \times \left[1 - \frac{\cos \beta}{\cos(\lambda \times \beta)} \right]$$

Die Kondensatorspannung U_{C_N} zu den Zeitpunkten des Thyristorein- und -ausschaltens wird berechnet mit

$$U_{C_N} = \frac{\lambda^2 \times i_L}{\lambda^2 - 1} \times X_0 \times [\sin \beta - \lambda \times \cos \beta \times \tan(\lambda \times \beta)]$$

Dabei ist

- X_0 die Impedanz des LC-Zweiges des TCSC-Teilsegments, $X_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$;
- L die Induktivität des LC-Zweiges des TCSC-Teilsegments, Bild 2;
- C die Kapazität des LC-Zweiges des TCSC-Teilsegments, Bild 2.

Die über dem TCSC-Ventil auftretende Kondensator-Scheitelspannung ist

$$U_P = \lambda \times i_L \times X_0 \times \left[1 + \frac{\lambda \times (\cos \beta \times \tan(\lambda \times \beta) - \lambda \times \sin \beta)}{\lambda^2 - 1} \right]$$

Der kapazitive Anhebungsfaktor des TCSC-Teilsegments wird berechnet mit

$$k_B = 1 + \frac{2}{\pi} \times \frac{\lambda^2}{\lambda^2 - 1} \times \left\{ \frac{2 \times \cos^2 \beta}{\lambda^2 - 1} \times [\lambda \times \tan(\lambda \times \beta) - \tan \beta] - \beta - \frac{\sin(2 \times \beta)}{\beta} \right\}$$

4.2.2.2 Überbrückungsbetrieb

Beim Überbrückungsbetrieb des TCSC-Ventils arbeitet das TCSC-Ventil mit vollem Stromfluss und das Ventil führt einen sinusförmigen betriebsfrequenten Strom von

$$i_{\text{bypass}} = \frac{1}{1 - \omega_N^2 \times L \times C} \times i_L$$

Die Kondensatorspannung im Überbrückungsbetrieb verhält sich nach folgender Gleichung

$$U_C = \frac{-i_L}{(\lambda^2 - 1) \times \omega_N \times C}$$

4.3 Typische Betriebsarten von TCSC-Anlagen

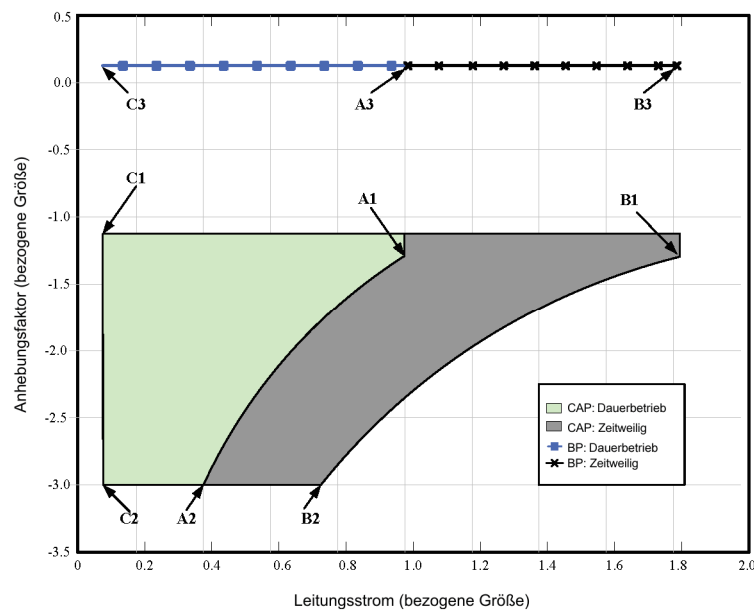


Bild 5 – Beispiel für den Betriebsbereich von TCSC

- Bereich des dauerbetriebenen kapazitiven Anhebungsbetriebs
- Bereich des zeitweiligen kapazitiven Anhebungsbetriebs
- Dauerbetriebener Überbrückungsbetrieb
- Zeitweiliger Überbrückungsbetrieb

5 Allgemeine Anforderungen

5.1 Richtlinien für die Durchführung von Typprüfungen

5.1.1 Zugesicherter Nachweis

Jede Konstruktion eines Ventils muss den Typprüfungen unterzogen werden, die in dieser Norm festgelegt sind. Wenn das Ventil einem zuvor geprüften Ventil nachweisbar ähnlich ist, darf der Lieferant anstelle der Durchführung einer Typprüfung einen Prüfbericht einer vorigen Typprüfung zur Bestätigung durch den Käufer vorlegen.

5.1.1.1 Prüfling

Die beschriebenen Prüfungen gelten für das Ventil (oder die Ventilabschnitte), den Ventilaufbau und diejenigen Teile des Kühlmittelverteilsystems sowie die Zünd- und Überwachungskreise, die sich innerhalb des Ventilaufbaus befinden oder die zwischen dem Ventilaufbau und -Plattform angeschlossen sind. Weitere Einrichtungen, wie Ventilsteuerung und -schutz und die Ventilaußenseiteelektronik können während der Prüfung für den Nachweis der korrekten Funktion des Ventils unbedingt notwendig sein, werden jedoch nicht selbst den Ventilprüfungen unterzogen.

- a) Bestimmte Typprüfungen können entweder an einem vollständigen Ventil oder an Ventilabschnitten durchgeführt werden, wie es in Tabelle 2 angegeben ist. Bei Typprüfungen an Ventilabschnitten muss die Gesamtanzahl der geprüften Ventilabschnitte mindestens so groß wie die Anzahl in einem vollständigen Ventil sein.
- b) Die selben Ventilabschnitte müssen für alle Typprüfungen verwendet werden, sofern nicht anders angegeben.

5.1.2 Reihenfolge der Prüfungen

Vor dem Beginn der Typprüfungen sollten das Ventil, die Ventilabschnitte und/oder deren Bauelemente die Stückprüfungen zum Nachweis der ordnungsgemäßen Herstellung überstanden haben.

Die festgelegten Typprüfungen dürfen in beliebiger Reihenfolge durchgeführt werden.

5.1.3 Umgebungstemperatur bei der Prüfung

Die Prüfungen sind bei der Umgebungstemperatur der Prüfstelle durchzuführen, sofern nicht anders festgelegt.

5.1.4 Frequenz bei der Prüfung

Die Wechsellspannungsprüfungen dürfen bei 50 Hz oder 60 Hz durchgeführt werden. Für die Funktionsprüfungen werden in 5.3.1 spezifische Anforderungen hinsichtlich der Frequenz bei der Prüfung angegeben.

5.1.5 Prüfberichte

Zum Abschluss der Typprüfungen muss der Lieferant Berichte der Typprüfungen nach Abschnitt 14 erarbeiten.

5.2 Prüfbedingungen für dielektrische Prüfungen

5.2.1 Allgemeines

Dielektrische Prüfungen sind an einem vollständig zusammengebauten Ventil durchzuführen.

Das Ventil muss mit allen Hilfsbauelementen zusammengebaut, ausgenommen des Ventilüberspannungsableiters, sofern verwendet. Die Ventilelektronik ist mit Spannung zu versorgen, sofern nicht

anders festgelegt. Insbesondere die Kühl- und Isolierflüssigkeiten müssen sich in einem Zustand befinden, der die Betriebsbedingungen repräsentiert, wie beispielsweise die Leitfähigkeit,; davon ausgenommen sind die Durchflussrate und der Frostschutzmittelanteil, die herabgesetzt sein dürfen. Wenn für die ordnungsgemäße Darstellung der Beanspruchungen während der Prüfungen ein äußerer Gegenstand oder eine äußere Einrichtung am Aufbau notwendig ist, dann müssen sie bei der Prüfung vorhanden sein oder nachgebildet werden. Metallische Teile des Ventilaufbaus, die nicht an der Prüfung beteiligt sind, müssen kurzgeschlossen und in einer für die Prüfung in Frage kommenden Weise an die Gehäuseerde angeschlossen werden.

5.2.2 Behandlung von Redundanz bei dielektrische Prüfungen

Sofern nicht anders angegeben, sind alle dielektrische Prüfungen an einem vollständigen Ventil mit kurzgeschlossenen redundanten Thyristorplätzen durchzuführen.

5.2.3 Atmosphärischer Korrekturfaktor

Wenn es im betreffenden Abschnitt festgelegt ist, muss auf die Prüfspannung die atmosphärische Korrektur nach IEC 60060-1 angewendet werden. Die Korrektur ist auf die folgenden Bezugsbedingungen anzuwenden:

– Druck:

Wenn die Isolationskoordination des geprüften Teils des Thyristorventils auf den genormten Bemessungsspannungen nach IEC 60071-1 beruht, werden die Korrekturfaktoren nur für Höhen über 1 000 m angewendet. Bei einer Höhenlage des Ortes, an dem die Einrichtung installiert werden soll, unter 1 000 m ist somit der Normalluftdruck ($b_0 = 101,3 \text{ kPa}$) ohne Korrektur für die Höhe anzuwenden. Bei einer Höhe $> 1 000 \text{ m}$ ist das Standardverfahren nach IEC 60060-1 anzuwenden, mit der Ausnahme, dass der Normalluftdruck b_0 durch den Luftdruck entsprechend einer Höhe von 1 000 m ($b_1 000 \text{ m}$) ersetzt wird.

Wenn die Isolationskoordination des geprüften Teils des Thyristorventils nicht auf den genormten Bemessungsspannungen nach IEC 60071-1 beruht, dann wird das Standardverfahren nach IEC 60060-1 mit dem Bezugsluftdruck b_0 ($b_0 = 101,3 \text{ kPa}$) angewendet.

– Temperatur:

Höchste Lufttemperatur in der Ventilhalle ($^{\circ}\text{C}$).

– Luftfeuchte:

Niedrigste absolute Luftfeuchte in der Ventilhalle (g/m^3).

Die anzuwendenden Werte sind vom Lieferanten festzulegen.

5.3 Prüfbedingungen für Funktionsprüfungen

5.3.1 Allgemeines

Es sollte möglichst ein vollständiges Thyristorventil geprüft werden. Anderenfalls dürfen die Prüfungen an Abschnitten des Thyristorventils durchgeführt werden. Die Auswahl hängt im Wesentlichen von der Konstruktion des Thyristorventils und den zur Verfügung stehen Prüfmöglichkeiten ab. Bei empfohlenen Prüfungen an Abschnitten des Thyristorventils gelten die in dieser Norm festgelegten Prüfungen für Thyristorventilabschnitte mit fünf oder mehr in Reihe geschalteten Thyristorplätzen. Werden Prüfungen an Thyristorventilabschnitten mit weniger als fünf Thyristorplätzen empfohlen, muss die Anzahl der in Reihe geschalteten Thyristorplätze in einem Thyristorventilabschnitt kleiner als drei sein.

Funktionsprüfungen dürfen bei einer Netzfrequenz durchgeführt werden, die sich von der Betriebsfrequenz unterscheidet, z. B. 50 Hz anstelle von 60 Hz und umgekehrt. Einige Funktionsbeanspruchungen, wie Schaltverluste oder I^2t des Kurzschlussstroms, werden während der Prüfungen durch die jeweilige Netzfrequenz beeinflusst. Beim Auftreten dieser Situation sind die Prüfbedingungen zu überprüfen und es sind

— Entwurf —

entsprechende Änderungen vorzunehmen, mit denen sichergestellt wird, dass die Ventilbeanspruchungen mindestens so hoch sind, als wenn die Prüfungen bei der Betriebsfrequenz vorgenommen werden.

Das Kühlmittel muss in einem für die Betriebsbedingungen repräsentativen Zustand sein. Durchfluss und Temperatur sind hierbei auf die ungünstigsten Werte entsprechend der in Frage kommenden Prüfung einzustellen. Der Anteil des Frostschutzmittels sollte vorzugsweise wie unter Betriebsbedingungen sein, wo sich dies jedoch nicht praktisch umsetzen lässt, ist ein zwischen Lieferant und Käufer vereinbarter Korrekturfaktor anzuwenden. Die Sperrschichttemperatur des Thyristors darf bei den Funktionsprüfungen nicht niedriger als die Temperatur während des Betriebs sein, sofern nicht anders festgelegt.

5.3.2 Betrachtung der Redundanz bei den Funktionsprüfungen

Für die Funktionsprüfungen dürfen redundante Ventilplätze nicht kurzgeschlossen werden. Die verwendeten Prüfspannungen sind mit Hilfe des Skalierungsfaktors k_n einzustellen:

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

Dabei ist

N_{tut} die Anzahl der in Reihe geschalteten Thyristorplätze im Prüfling;

N_t die Anzahl der in Reihe geschalteten Thyristorplätze im Ventil;

N_r die Anzahl der redundanten, in Reihe geschalteten Thyristorplätze im Ventil.

5.4 Kriterien für die erfolgreiche Typprüfung

Die Erfahrungen in der Industrie zeigen, dass es selbst bei der sorgfältigsten Auslegung der Ventile nicht möglich ist, vereinzelte zufällige Ausfälle von Bauelementen des Thyristorplatzes im Betrieb zu vermeiden. Auch wenn diese Ausfälle beanspruchungsbezogen sein können, werden sie bis zu einem Umfang als zufällig angesehen, da die Ausfallursache oder die Beziehung zwischen Ausfallrate und Beanspruchung nicht vorhergesagt werden kann oder sich quantitativ nicht genau bestimmen lässt. Bei den Typprüfungen werden die Ventile oder Ventilabschnitte innerhalb einer kurzen Zeitspanne mehreren Beanspruchungen unterzogen, die im Allgemeinen den ungünstigsten Beanspruchungen entsprechen, denen das Betriebsmittel nicht mehr als einige Male während der gesamten Lebensdauer des Ventils ausgesetzt ist. Unter Berücksichtigung des vorstehend Aufgeführten werden die Kriterien für eine erfolgreiche Durchführung der Typprüfung, die nachfolgend beschrieben werden, deshalb eine kleine Anzahl von Thyristorplätzen zulassen, die während der Typprüfung ausfallen dürfen, vorausgesetzt, dass die Ausfälle selten auftreten und kein Muster aufweisen, welches einen Hinweis auf eine unzureichende Auslegung liefert.

5.4.1 Für Ventilplätze geltende Kriterien

- a) Wenn nach einer der in Abschnitt 6 aufgeführten Typprüfung die Anzahl der ausgefallenen Thyristorplätze größer als der Wert ist, der in Tabelle 1, Spalte 2, festgelegt ist, dann ist das Ventil so anzusehen, dass es die Typprüfungen nicht bestanden hat.
- b) Wenn nach einer Typprüfung ein Thyristorplatz (oder mehrere, wenn sie noch innerhalb der Grenzen nach Tabelle 1, Spalte 2 liegen) kurzgeschlossen worden ist, dann sind die ausgefallenen Plätze zu erneuern und diese Typprüfung ist zu wiederholen.
- c) Wenn die aufsummierte Anzahl der kurzgeschlossenen Thyristorplätze während aller Typprüfungen die in Tabelle 1, Spalte 3, angegebene Anzahl überschreitet, dann ist das Ventil so anzusehen, dass es das Programm der Typprüfungen nicht bestanden hat.
- d) Wenn die Typprüfungen an Ventilabschnitten durchgeführt werden, gelten die vorstehend genannten Annahmebedingungen auch, weil die Anzahl der geprüften Ventilabschnitte nicht kleiner sein darf, als die Anzahl der Abschnitte in einem vollständigen Ventil (siehe 5.1.2 a)).
- e) Das Ventil oder die Ventilabschnitte sind nach jeder Typprüfung zu kontrollieren, um zu bestimmen, ob Thyristorplätze kurzgeschlossen worden sind oder nicht. Ausgefallene Thyristoren oder Hilfs-

bauelemente, die während oder am Ende einer Typprüfung gefunden werden, dürfen vor der weiteren Prüfung ersetzt werden.

- f) Zum Abschluss des Prüfprogramms sind das Ventil oder die Ventilabschnitte einer Reihe von Kontrollprüfungen zu unterziehen, zu denen mindestens gehören:
- Kontrolle der Stehspannung der Thyristorplätze in Durchlass- und Sperrrichtung;
 - Kontrolle der Steuerschaltungen, sofern anwendbar;
 - Kontrolle der Überwachungseinrichtungen;
 - Kontrolle der Thyristorplatz-Schutzschaltungen mit transienten Spannungen, die über und unter der (den) Schutzeinstellung(en) liegen, sofern anwendbar;
 - Kontrolle der Spannungsteilerkreise.
- g) Kurzschlüsse von Thyristorplätzen, die während der Kontrollprüfungen auftreten, müssen als Teil der vorstehend definierten Annahmekriterien gezählt werden. Zusätzlich zu den kurzgeschlossenen Plätzen darf die Gesamtanzahl der Thyristorplätze mit Ausfällen, die keinen Kurzschluss des Thyristorplatzes zur Folge haben, die aber während des Typprüfprogramms und den anschließenden Kontrollprüfungen entdeckt werden, nicht die Anzahl überschreiten, die in Tabelle 1, Spalte 4, angegeben ist. Wenn die Gesamtanzahl derartiger Plätze die in Tabelle 1, Spalte 4, angegebene Anzahl überschreitet, dann müssen die Arten der Ausfälle überprüft werden und gegebenenfalls sind zusätzliche Maßnahmen zwischen Lieferant und Käufer zu vereinbaren.
- h) Bei der Anwendung eines prozentualen Kriteriums zur Bestimmung der maximal zulässigen Anzahl von kurzgeschlossenen Thyristorplätzen und der maximal zulässigen Anzahl von Plätzen mit Fehlern, die nicht zu einem Kurzschluss in einem Thyristorplatz geführt haben, ist es die gängige Praxis, alle Anteile auf die nächsthöhere ganze Zahl aufzurunden, wie es in Tabelle 1 dargestellt ist.

Tabelle 1 – Zulässige Anzahl von Thyristorplatzausfällen während der Typprüfungen

Anzahl der Thyristorplätze in einem vollständigen Ventil abzüglich der Anzahl redundanter Plätze	Anzahl der Thyristorplätze, die bei einer der Typprüfungen kurzgeschlossen werden dürfen	Anzahl der Thyristorplätze, die bei allen Typprüfungen kurzgeschlossen werden dürfen	Zusätzliche Anzahl der Thyristorplätze, die bei allen Typprüfungen, die zu einem Fehler, jedoch nicht zu einem Kurzschließen führten
≤ 33	1	2	2
34 bis 67	2	3	3
> 67	2	4	4

Die Verteilung von kurzgeschlossenen Plätzen und von anderen Fehlern der Thyristorplätze am Ende aller Typprüfungen muss im Wesentlichen zufällig sein und darf kein Muster aufweisen, welches einen Hinweis auf eine unzureichende Auslegung liefert.

5.4.2 Für das Ventil als Ganzes geltende Kriterien

Die Zerstörung oder der äußere Überschlag über gemeinsame elektrische Bauelemente, die mit mehr als einem Thyristorplatz des Ventils in Zusammenhang stehen, oder ein Durchschlag eines dielektrischen Materials, welches ein Teil des Ventilaufbaus, von Kühlrohren, Lichtwellenleitern oder anderen Isolierteilen des Pulsübertragungs- und -verteilungssystems ist, sind nicht zulässig.

Die Oberflächentemperaturen von Bauelementen und Leitern mit den dazugehörigen stromführenden Verbindungen und Anschlüssen und die Temperatur von angrenzenden Montageoberflächen müssen zu jeder Zeit innerhalb der Grenzwerte bleiben, die durch die Konstruktion zugelassen werden.

6 Zusammenfassung der Prüfungen

Die Prüfungen, die in den folgenden Abschnitten beschrieben werden, sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2 – Prüfungen

Prüfung	Abschnitt	Prüfling
Dielektrische Prüfungen zwischen Ventilanschlüssen und der Erde des Ventilgehäuses (Typprüfungen)		
Wechselspannungsprüfung	7.2	Ventil
Blitzstoßspannungsprüfung	7.3	Ventil
Dielektrische Prüfungen zwischen den Ventilanschlüssen (Typprüfungen)		
Wechselspannungsprüfung	8.2	Ventil
Schaltstoßspannungsprüfung	8.3	Ventil
Funktionsprüfungen (Typprüfungen)		
Prüfung des Dauerbetriebs mit maximaler kapazitiver Anhebung	9.3.1	Ventil oder Ventilabschnitt
Prüfung des zeitweiligen Betriebs mit maximaler kapazitiven Anhebung	9.3.2	Ventil oder Ventilabschnitt
Prüfung der kleinsten kapazitiven Anhebung	9.3.3	Ventil oder Ventilabschnitt
Betrieb bei maximaler zeitweiliger Leitungsstrom-überbrückung	9.3.4.1	Ventil oder Ventilabschnitt
Betrieb bei kleinster zeitweiliger Leitungsstrom-überbrückung	9.3.4.2	Ventil oder Ventilabschnitt
Fehlerstrom ohne nachfolgendes Sperren	10.3.1	Ventil oder Ventilabschnitt
Fehlerstrom mit nachfolgendem Sperren	10.3.2	Ventil oder Ventilabschnitt
Prüfung der Störfestigkeit des Ventils gegen elektromagnetische Störgrößen		
Schaltstoßspannungsprüfung	11.3	Ventil
Stückprüfungen		
Sichtprüfung	13.1	
Überprüfung der Verbindungen	13.2	
Überprüfung des Spannungsteilerkreises	13.3	
Überprüfung der Stehspannungsfestigkeit	13.4	
Teilentladungsprüfung	13.5	
Überprüfung der Hilfseinrichtungen	13.6	
Überprüfung der Zündung	13.7	
Druckprüfung des Kühlsystems	13.8	

7 Dielektrische Prüfungen zwischen den Ventilanschlüssen und dem Ventilgehäuse

7.1 Zweck der Prüfungen

Die Hauptziele dieser Prüfungen sind:

- zur Vermeidung von Überschlügen wurden ausreichende Luftstrecken vorgesehen;
- in der Isolierung des Ventilaufbaus, der Kühlrohre, der Lichtwellenleiter und weiteren Isolierteilen der Pulsübertragungs- und -verteilungssysteme treten keine Durchschläge auf;
- die Teilentladungseinsetz- und -löschspannungen liegen über der höchsten Betriebsspannung im eingeschwungenen Zustand, die über dem Ventilaufbau auftritt.

ANMERKUNG Diese Prüfungen sind nicht für Konstruktionen anwendbar, bei denen weder die Ventilbasis (sowie weitere isolierende Bauelemente, die mit der Ventilbasis im Zusammenhang stehen) noch die Kühlrohre und Lichtwellenleiter an den Hochspannungsanschluss des Ventils angeschlossen sind. Die Luftstrecke zwischen dem Hochspannungsanschluss des Ventils und dem Ventilgehäuse muss in diesem Fall IEC 60071-2 entsprechen oder ist zwischen Lieferant und Käufer zu vereinbaren.

7.2 Prüfling

Der Prüfling ist die Ventilbasis, die an den Hochspannungsanschluss des Ventils angeschlossen ist. Diese Ventilbasis darf ein repräsentatives separates Objekt einschließlich der Darstellung angrenzender Teile des Ventils sein. Es müssen alle Zusatzbauteile angebracht sein. Das Kühlmittel muss für die Zwecke der Prüfung in einem repräsentativen Zustand für die ungünstigsten Betriebsbedingungen sein.

Wenn für die Prüfung ein vollständiges Ventil vorgestellt wird, ist auf den ordnungsgemäßen Anschluss des Niederspannungsanschlusses des Ventils während der Prüfung zu achten.

7.3 Prüfanforderungen

7.3.1 Wechsellspannungsprüfung

7.3.1.1 Prüfwerte und Wellenformen

a) Prüfspannung U_{ts1} , 1 min

Die Prüfung wird mit einer 1-Minuten-Prüfspannung U_{ts1} und einer 10-Minuten-Prüfspannung U_{ts2} durchgeführt, die sinusförmige Wellenformen mit einer Frequenz von 50 Hz oder 60 Hz, je nach Prüfstelle, haben. Die Prüfspannung U_{ts1} ist zu berechnen mit

$$U_{ts1} = \frac{U_{s1}}{\sqrt{2}} \times k_1 \times k_t$$

Dabei ist

U_{s1} der Scheitelwert der höchsten wiederkehrenden Betriebsspannung, einschließlich Löschüberschwingung, über der Ventilbasis (üblicherweise abgeleitet aus dem Betrieb mit maximaler zeitweiliger Überlast bei der kapazitiven Anhebung im Arbeitspunkt B2 in Bild 5);

U_{ts1} die 1-min-Prüfspannung;

k_1 ist ein Prüfsicherheitsfaktor;

$k_1 = 1,30$;

k_t der atmosphärische Korrekturfaktor nach 5.2.3.

— Entwurf —

b) Prüfspannung U_{ts2} , 10 min

$$U_{ts2} = \frac{U_{s2}}{\sqrt{2}} \times k_2$$

Dabei ist

U_{s2} der Scheitelwert der höchsten Dauerbetriebsspannung, einschließlich Lösüberschwingung, über der Ventilbasis (üblicherweise abgeleitet aus dem Dauerbetrieb mit maximaler kapazitiver Anhebung im Arbeitspunkt A2 in Bild 5);

k_2 ist ein Prüfsicherheitsfaktor;

$k_2 = 1,20$ für die 10-min-Prüfung.

7.3.1.2 Durchführung der Prüfung

Für die Prüfung werden die festgelegten Prüfspannungen U_{ts1} und U_{ts2} für die festgelegte Dauer zwischen dem Hochspannungsanschluss des Ventils und dem Ventilgehäuse angelegt.

- Die Spannung wird in etwa 10 s von 50 % auf 100 % U_{ts1} erhöht;
- U_{ts1} wird für 1 min beibehalten;
- Verringern der Spannung auf U_{ts2} ;
- U_{ts2} wird für 10 min beibehalten, die Teilentladungspegel werden aufgezeichnet und anschließend wird die Spannung auf null verringert;
- der Spitzenwert der periodischen Teilentladung, der während der letzten Minute in Schritt d) aufgezeichnet worden ist, muss kleiner als 200 pC sein, vorausgesetzt, dass die für Teilentladungen empfindlichen Bauelemente im Ventil gesondert geprüft worden sind, oder alternativ 50 pC, wenn sie nicht geprüft worden sind;
- die Messung der Einsetz- und Löschspannung muss nach IEC 60270 durchgeführt werden.

7.3.2 Blitzstoßspannungsprüfung

Die genormte Wellenform 1,2/50 µs der Blitzstoßspannung nach IEC 60060-1 ist anzuwenden.

Die TCSC-Bemessungsspannung U_N ist die Basisspannung zur Festlegung der Blitzstoßspannung und der Scheitelwert der Prüfspannung muss die genormte Steh-Blitzstoßspannung nach IEC 60071-1 sein.

Die Prüfung besteht aus dem Anlegen der Blitzstoßspannungen dreimal mit positiver Polarität und dreimal mit negativer Polarität zwischen dem Hochspannungsanschluss des Ventils und dem Ventilgehäuse.

8 Dielektrische Prüfungen zwischen den Ventilanschlüssen

8.1 Zweck der Prüfungen

Mit diesen Prüfungen wird die Konstruktion des Ventils hinsichtlich der Überspannungsfestigkeit zwischen seinen Anschlüssen überprüft. Mit den Prüfungen ist nachzuweisen, dass

- ausreichende innere Isolierung vorgesehen worden ist, damit das Ventil den festgelegten Spannungen widerstehen kann;
- die Teilentladungs-Einsetz- und -Löschspannungen über der höchsten stationären Betriebsspannung liegen, die am Ventil auftreten;
- das Überspannungs-Schutzzündsystem (sofern vorhanden) wie vorgesehen arbeitet;

- die Thyristoren eine ausreichende dv/dt -Leistungsfähigkeit für die Betriebsbedingungen besitzen (in den meisten Fällen sind die festgelegten Prüfungen ausreichend, jedoch können in Ausnahmefällen zusätzliche Prüfungen erforderlich sein).

8.2 Prüfling

Der Prüfling ist ein vollständiges Ventil mit allen angebauten Zusatzbauteilen, mit Ausnahme des Ventilüberspannungsableiters, sofern vorhanden. Das Kühlmittel muss sich in einem Zustand befinden, der typisch für die Betriebsbedingungen ist, außer das die Durchflussrate verringert werden kann. Wenn für die Darstellung der Beanspruchungen während der Prüfung ein äußeres Objekt am Aufbau notwendig ist, dann muss es für die Prüfung vorhanden sein oder nachgebildet werden.

Der Prüfling, der für die dielektrischen Prüfungen des Ventils verwendet wird, lässt üblicherweise keine Anwendung der atmosphärischen Korrektur auf die festgelegten Prüfspannungen ohne Überbeanspruchung der Thyristoren oder weiterer innerer Bauelemente zu. Aus diesem Grund wird für die dielektrischen Prüfungen zwischen den Ventilanschlüssen kein atmosphärischer Korrekturfaktor angewendet. Der Lieferant muss nachweisen, dass die Auswirkungen der atmosphärischen Bedingungen auf das innere Stehvermögen des Ventils als ausreichend zugesagt werden.

8.3 Prüfanforderungen

8.3.1 Wechsellspannungsprüfung

8.3.1.1 Prüfwerte und Wellenformen

Die Prüfung wird mit einer 1-Minuten-Prüfspannung U_{tv1} und einer 10-Minuten-Prüfspannung U_{tv2} durchgeführt, die sinusförmige Wellenformen mit einer Frequenz von 50 Hz oder 60 Hz, je nach Prüfstelle, haben.

$$U_{tv1} = \frac{U_{v1}}{\sqrt{2}} \times k_3$$

Dabei ist

U_{v1} der Scheitelwert der höchsten wiederkehrenden Betriebsspannung, einschließlich Löschoberschwingung, über dem Ventil (üblicherweise abgeleitet aus dem Betrieb mit maximaler zeitweiliger Überlast bei der kapazitiven Anhebung im Arbeitspunkt B2 in Bild 5 oder der Schutzpegel des Reihen-kondensators);

k_3 ist ein Prüfsicherheitsfaktor;

$k_3 = 1,10$.

ANMERKUNG Bei der vorgeschriebenen Prüfung können einige Ventilkomponenten unangemessen thermisch überbeansprucht werden. Wo dies der Fall ist, sollten Lieferant und Käufer vereinbaren, die 1-min-Wechsellspannungsprüfung durch mehrere kürzere Prüfungen zu ersetzen, deren Mindestdauer aus der maximal möglichen Dauer der festgelegten Überspannungsbedingung multipliziert mit 2 abgeleitet wird, jedoch mit einer Gesamtdauer, die nicht kleiner als 1 min sein darf.

$$U_{tv2} = \frac{U_{v2}}{\sqrt{2}} \times k_{tv2}$$

Dabei ist

U_{v2} der Scheitelwert der höchsten Dauerbetriebsspannung, einschließlich Löschoberschwingung, über dem Ventil (üblicherweise abgeleitet aus dem Dauerbetrieb mit maximaler kapazitiver Anhebung im Arbeitspunkt A2 in Bild 5);

k_3 ist ein Prüfsicherheitsfaktor;

$k_3 = 1,10$.

8.3.1.2 Durchführung der Prüfung

Für die Prüfung werden die festgelegten Prüfspannungen für die festgelegte Dauer zwischen den zwei Ventilanschlüssen, von denen ein Anschluss geerdet ist, angelegt.

- Die Spannung wird in etwa 10 s von 50 % auf 100 % U_{tv1} erhöht;
- U_{tv1} wird für 1 min beibehalten;
- Verringern der Spannung auf U_{tv2} ;
- U_{tv2} wird für 10 min beibehalten, die Teilentladungspegel werden aufgezeichnet und anschließend wird die Spannung auf null verringert;
- der Spitzenwert der periodischen Teilentladung, der während der letzten Minute in Schritt d) aufgezeichnet worden ist, muss kleiner als 200 pC sein, vorausgesetzt, dass die für Teilentladungen empfindlichen Bauelemente im Ventil gesondert geprüft worden sind, oder alternativ 50 pC, wenn sie nicht geprüft worden sind;
- die Messung der Einsetz- und Löschspannung muss nach IEC 60270 durchgeführt werden.

Während dieser Prüfung darf kein Schutzzünden des Ventils auftreten, sofern diese Möglichkeit vorgesehen ist.

8.3.2 Schaltstoßspannungsprüfung

8.3.2.1 Prüfwerte und Wellenformen

Die genormte Wellenform 250/2500 µs der Schaltstoßspannung nach IEC 60060-1 ist anzuwenden.

- Für ein Ventil mit Schutz durch Ventilüberspannungsableiter muss die Spannung U_{tsv} für die Schaltstoßspannung des Ventils bestimmt werden mit

$$U_{tsv} = SIPL_v \times k_4$$

Dabei ist

$SIPL_v$ der Schaltstoß-Schutzpegel des Ventilüberspannungsableiters;

k_4 ist ein Prüfsicherheitsfaktor;

$k_4 = 1,10$.

- Für ein Ventil ohne Schutz durch Ventilüberspannungsableiter muss die Spannung U_{tsv} für die Schaltstoßspannung des Ventils bestimmt werden mit

$$U_{tsv} = U_{valve} \times k_5$$

Dabei ist

U_{valve} die höchste unbeeinflusste Schaltstoßspannung über den Ventilanschlüssen entsprechend den Untersuchungen der Isolationskoordination des Systems;

k_5 ist ein Prüfsicherheitsfaktor;

$k_5 = 1,15$.

Wenn das Ventil ein Schutzzündsystem gegen Überspannungen besitzt, welches während der Prüfung anspricht, müssen Schaltstoßspannungen mit vereinbarter Amplitude fünfmal zusätzlich angelegt werden, bei denen das Ventil nicht zündet. Bei den zusätzlichen Prüfungen muss die Ventilelektronik eingeschaltet sein.

8.3.2.2 Durchführung der Prüfung

Bei jeder dieser Prüfungen werden die Schaltstoßspannungen zwischen den Ventilanschlüssen, von denen ein Anschluss geerdet ist, dreimal mit jeder Polarität angelegt. Anstelle der Polaritätsumkehr des Stoß-

spannungsgenerators, darf die Prüfung mit einer Polarität des Stoßspannungsgenerators und Umklemmen an den Ventilanschlüssen durchgeführt werden.

9 Periodische Zünd- und Löschprüfungen

9.1 Zweck der Prüfungen

Die Hauptziele dieser Prüfungen sind:

- Überprüfung der Eignung der Thyristorplätze und der zugehörigen Stromkreise in einem Ventil hinsichtlich der Strom-, Spannungs- und Temperaturbeanspruchungen beim Einschalten und Ausschalten unter den ungünstigsten wiederkehrenden Beanspruchungsbedingungen;
- Nachweis des korrekten Betriebsverhaltens des Ventils in der Betriebsart mit der kleinsten kapazitiven Anhebung bei kleinstem Leitungsstrom und gleichzeitigem kleinsten Zündwinkel.

9.2 Prüfling

Der Prüfling ist entweder ein vollständiges Ventil oder Ventilabschnitte, siehe 5.3.1. Das zu prüfende Ventil oder die zu prüfenden Ventilabschnitte müssen mit den Hilfsbauelementen zusammengebaut sein, die für den ordnungsgemäßen Betrieb des Ventils notwendig sind.

Das Kühlmittel muss in einem für die Betriebsbedingungen repräsentativen Zustand sein. Durchfluss und Temperatur sind hierbei auf die ungünstigsten Werte entsprechend der in Frage kommenden Prüfung einzustellen.

9.3 Prüfanforderungen

Zu verwenden ist eine Wechselstromquelle, wie ein Prüfkreis, der hierfür geeignet, jedoch in der Praxis nicht anwendbar ist. Alternativ geeignete Prüfkreise, wie ein geeigneter synthetischer Prüfkreis, müssen Beanspruchungen erzeugen, die den entsprechenden Betriebsbedingungen gleichwertig sind.

Das Ventil oder die Ventilabschnitte müssen Wellenformen von Strom und Spannung ausgesetzt werden, die so gut wie möglich denen entsprechen, die am Ventil beim Zünden und Löschen unter den nachfolgend festgelegten kritischsten Betriebsbedingungen auftreten. Das Zeitintervall für die Hauptuntersuchung des Zündens sind die ersten 10 μs bis 20 μs , während für das Löschen das Zeitintervall von 0,2 ms vor bis 1,0 ms nach dem Stromnulldurchgang von Interesse ist.

Dabei dürfen die folgenden Bedingungen nicht weniger streng als im Betrieb sein:

- Spannungswerte beim Ein- und Ausschalten;
- Spannungsscheitelwerte in Erholungszeiten;
- Stromsteilheiten beim Einschalten und mindestens für 0,2 ms vor dem Stromnulldurchgang;
- Sperrschichttemperatur des Thyristors.

Die folgenden Faktoren müssen ebenfalls berücksichtigt werden:

- Darstellung der Streukapazität zwischen den Ventilanschlüssen;
- ausreichende Größe und Dauer des Laststroms, um einen vollflächigen Stromfluss der Thyristor-sperrschicht zu erreichen.

9.3.1 Prüfung des Dauerbetriebs mit maximaler kapazitiver Anhebung

9.3.1.1 Prüfwerte und Wellenformen

Prüfstrom und -spannung müssen vom Betriebsstrom bei Dauerbetrieb mit maximaler kapazitiver Anhebung bei maximalem kapazitiven Anhebungsfaktor, Arbeitspunkt A2 in Bild 5, und bei höchster Umgebungstemperatur abgeleitet werden.