

DIN EN 61071
(VDE 0560-120)
DIN

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

VDE

ICS 31.060.70

Einsprüche bis 2016-12-14

Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 61071
(VDE 0560-120):2008-01

Entwurf
Kondensatoren der Leistungselektronik

Capacitors for power electronics

Condensateurs pour électronique de puissance

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2016-10-14 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal 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@vde.com 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 in DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

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

Gesamtumfang 88 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist ...

Nationales Vorwort

Um der deutschen Öffentlichkeit frühzeitig eine Einspruchsmöglichkeit zu geben, wird mit diesem Deutschen Norm-Entwurf bereits ein Vorab-Dokument des demnächst erscheinenden CDV „Capacitors for power electronics“ (CDV, en: Committee Draft for Vote) unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

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

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

Das internationale Dokument wurde vom TC 33 „Power capacitors and their applications“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet.

Bei der Abstimmung zu dem Europäischen Schluss-Entwurf bei CENELEC und dem Internationalen Schluss-Entwurf bei IEC [Final Draft International Standard (FDIS)] sind jeweils nur „JA/NEIN“-Entscheidungen möglich, wobei „NEIN“-Entscheidungen fundiert begründet werden müssen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium K 341 „Leistungskondensatoren“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

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

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

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

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO [und/oder] IEC sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Änderungen

Gegenüber **DIN EN 61071 (VDE 0560-120):2008-01** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Einführung neuer Begriffe und Definitionen;
- b) Klarstellung der Stoßentladungsprüfung;
- c) Richtwerte zum Messprozedere während der Prüfung der thermischen Stabilität;
- d) Klarstellung der Prüfung der Selbstheilungseigenschaften;
- e) Klarstellung der Lebensdauerprüfung;

- f) Klarstellung der Zerstörungsprüfung;
- g) Aktualisierung der normativen Verweise;
- h) Generelle Überarbeitung der Edition;
- i) die deutsche Fassung wurde in den [Abschnitten 2](#) und [3](#) an die aktuellen Standardtexte angepasst.

Kondensatoren der Leistungselektronik

Inhalt

Seite

Nationales Vorwort.....	2
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	7
4 Betriebsbedingungen.....	12
4.1 Normale Betriebsbedingungen	12
4.2 Ungewöhnliche Betriebsbedingungen	13
5 Qualitätsanforderungen und Prüfungen	14
5.1 Prüfanforderungen.....	14
5.2 Einteilung der Prüfungen	14
5.3 Kapazitäts- und $\tan \delta$ -Messung (Stückprüfung)	15
5.4 Messung des Tangens des Verlustwinkels ($\tan \delta$) eines Kondensators (Typprüfung)	16
5.5 Spannungsprüfung zwischen den Anschlussklemmen	16
5.6 Wechselspannungsprüfung zwischen Anschlussklemmen und Gehäuse	17
5.7 Prüfung der inneren Entladevorrichtung.....	18
5.8 Dichtheitsprüfung.....	18
5.9 Stoßentladungsprüfung	18
5.10 Prüfung der thermischen Stabilität	19
5.11 Prüfung der Selbstheilungseigenschaften.....	20
5.12 Messung der Resonanzfrequenz	20
5.13 Klimaprüfungen	21
5.14 Mechanische Prüfungen.....	21
5.15 Lebensdauerprüfung	22
5.16 Zerstörungsprüfung	24
5.17 Abschaltprüfung an internen Sicherungen	29
6 Überlastungen	31
6.1 Größte zulässige Spannungen.....	31
7 Sicherheitsanforderungen	32
7.1 Entladevorrichtungen.....	32
7.2 Gehäuseanschlüsse	32
7.3 Umweltschutz	32
7.4 Weitere Sicherheitsanforderungen.....	32
8 Aufschriften.....	33
8.1 Aufschriften auf Einheiten.....	33
9 Anleitung für Installation und Betrieb.....	33
9.1 Allgemeines	33

9.2	Wahl der Bemessungsspannung	34
9.3	Betriebstemperatur	34
9.4	Besondere Betriebsbedingungen	35
9.5	Überspannungen	35
9.6	Überstrombelastungen	36
9.7	Schaltgeräte und Schutzeinrichtungen	36
9.8	Auswahl der Kriech- und Luftstrecken	36
9.9	Verbindungen	36
9.10	Parallelschaltung von Kondensatoren	37
9.11	Reihenschaltung von Kondensatoren	37
9.12	Magnetische Verluste und Wirbelströme	37
9.13	Leitfaden zum Schutz durch interne Sicherungen und Abschalter in Kondensatoren	37
9.14	Leitfaden für ungeschützte Kondensatoren	38
	Anhang A (informativ) Kurvenformen	39
	Anhang B (normativ) Betriebsgrenzwerte für Kondensatoren bei sinusförmiger Spannung als Funktion der Frequenz und bei Höchsttemperatur ($\theta_{\max}$)	41
	Anhang C (normativ) Verfahren zur Messung der Resonanzfrequenz – Beispiele	43
	Literaturhinweise	45
Bilder		
	Bild 1 – Anordnung für die Zerstörungsprüfung	26
	Bild 2 – Quelle N , Gleichstrom, Typ 1	28
	Bild 3 – Quelle N , Gleichstrom, Typ 2	28
	Bild A.1 – Beispiel für Kurvenformen und ihre entsprechenden Stromkreise	40
	Bild B.1 – Bedingungen der Stromversorgung	41
	Bild C.1 – Messschaltung	43
	Bild C.2 – Beziehung zwischen der Spannung über dem Kondensator und der Versorgungsfrequenz	43
	Bild C.3 – Kurvenform des Entladungsstromes	44
Tabellen		
	Tabelle 1 – Prüfspannung zwischen den Anschlussklemmen	16
	Tabelle 2 – Prüfung der Widerstandsfähigkeit der Anschlussklemmen	21
	Tabelle 3 – Lebensdauerprüfung	23
	Tabelle 4 – Zerstörungsprüfung in Abhängigkeit von der Art des Sicherheitssystems	24
	Tabelle 5 – Größte zulässige Spannungen	31

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm gilt für Kondensatoren für den Einsatz in der Leistungselektronik.

Die Betriebsfrequenz des Netzes, in dem diese Kondensatoren eingesetzt werden, beträgt üblicherweise bis zu 15 kHz, während Impulsfrequenzen das 5-fache bis 10-fache der Betriebsfrequenz betragen dürfen.

Die Norm unterscheidet zwischen Wechselstrom- und Gleichstromkondensatoren, die als Bauelemente angesehen werden, wenn sie in einem Gehäuse eingebaut sind.

Diese Norm behandelt einen sehr großen Bereich von Kondensatortechnologien für zahlreiche Anwendungen wie Überspannungsschutz, Gleichstrom- und Wechselstromfilter, Schaltstromkreise, Gleichstromspeicherung, Hilfs-Wechselrichter usw.

Folgende Kondensatoren sind nicht Teil dieser Norm:

- Kondensatoren für Anlagen zur induktiven Wärmeerzeugung, die mit Frequenzen zwischen 40 Hz und 24 000 Hz betrieben werden (siehe IEC 60110-1 und IEC 60110-2);
- Motorkondensatoren und ähnliche Anwendungen (siehe IEC 60252-1 und IEC 60252-2);
- Kondensatoren, die in Schaltungen zur Sperrung von einer oder mehreren Oberschwingung(en) in Starkstromnetzen verwendet werden;
- kleine Wechselstromkondensatoren, wie sie für Leuchtstoff- und Entladungslampen eingesetzt werden (siehe IEC 61048 und IEC 61049);
- Funkentstörkondensatoren (siehe IEC 60384-14);
- Parallelkondensatoren für Wechselspannungs-Starkstromanlagen mit einer Bemessungsspannung über 1 000 V (siehe IEC 60871-1 und IEC 60871-2);
- selbstheilende Leistungs-Parallelkondensatoren für Wechselstromanlagen mit einer Bemessungsspannung bis einschließlich 1 000 V (siehe IEC 60831-1 und IEC 60831-2);
- nichtselbstheilende Leistungs-Parallelkondensatoren für Wechselstromanlagen mit einer Bemessungsspannung bis einschließlich 1 000 V (siehe IEC 60931-1 und IEC 60931-2);
- Kondensatoren, die nicht in Schaltungen der Leistungselektronik verwendet werden;
- Reihenkondensatoren für Starkstromanlagen (siehe IEC 60143);
- Kopplungskondensatoren und kapazitive Teiler (siehe IEC 60358);
- Kondensatoren für Mikrowellenkochgeräte (siehe IEC 61270-1);
- Kondensatoren für Bahnanwendungen (siehe IEC 61881).

Anwendungsbeispiele sind in 9.1 angegeben.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden 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 60068-2-6, *Environmental testing – Part 2: Tests. Test Fc: Vibration (sinusoidal)*

IEC 60068-2-14, *Environmental testing – Part 2: Tests. Test N: Change of temperature*

IEC 60068-2-20, *Environmental testing – Part 2: Tests. Test T: Soldering*

IEC 60068-2-21, *Environmental testing – Part 2: Tests. Test U: Robustness of terminations and integral mounting devices*

IEC 60068-2-78, *Environmental testing – Part 2: Tests. Test Cab: Damp heat, steady state*

IEC 60071-1, *Insulation coordination – Part 1: Definitions, principle and rules*

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

IEC 60269-1, *Low-voltage fuses – Part 1: General requirements*

IEC 60664-1, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests*

IEC 60695-2-11, *Fire hazard testing – Part 2-11: Glowing/hotwire based test methods, Glow-wire flammability test method for end-products*

IEC 60695-2-12, *Fire hazard testing – Part 2-12: Glowing/hotwire based test methods, Glow-wire flammability test method for materials*

IEC 60947-1, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 1: General rules*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Kondensatorelement (oder Element)

Bauelement, das im Wesentlichen aus zwei Elektroden besteht, die durch ein Dielektrikum getrennt sind

[QUELLE: IEV 436-01-03]

3.2

Kondensatoreinheit (oder Einheit)

Anordnung von einem oder mehreren Kondensatorelement(en) in einem Behälter mit herausgeführten Anschlussklemmen

[QUELLE: IEV 436-01-04]

3.3

Kondensatorbatterie

Anzahl von Kondensatoreinheiten, die so geschaltet sind, dass sie zusammen wirken

[QUELLE: IEV 436-01-06]

3.4

Kondensator

allgemeiner Begriff, der verwendet wird, wenn keine Angabe erforderlich ist, ob Bezug auf ein Element, eine Einheit oder eine Kondensatorbatterie genommen wird

3.5

Kondensatoreinrichtung

Baugruppe aus Kondensatoreinheiten und deren Zubehör, die für den Anschluss an eine Anlage der Leistungselektronik vorgesehen ist

3.6

Kondensator der Leistungselektronik

Leistungskondensator, der für den Einsatz in Einrichtungen der Leistungselektronik vorgesehen ist und ständig an einer Spannung oder mit einem Strom mit sinusförmigem und nichtsinusförmigem Kurvenverlauf betrieben werden kann

3.7

Metallfolienkondensator (nicht selbstheilend)

Kondensator, in dem die Elektroden üblicherweise aus Metallfolien bestehen, die durch ein Dielektrikum getrennt sind

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei einem Durchschlag des Dielektrikums stellt der Kondensator die Isolierfähigkeit des Dielektrikums nicht selbst wieder her.

3.8

selbstheilender Kondensator mit metallisiertem Dielektrikum

Kondensator, bei dem wenigstens eine Elektrode aus einem metallischen Niederschlag auf dem Dielektrikum besteht

Anmerkung 1 zum Begriff: Nach einem örtlichen Durchschlag des Dielektrikums werden die elektrischen Eigenschaften des Kondensators schnell und im Wesentlichen wiederhergestellt.

3.9

Wechselstromkondensator

Kondensator, der hauptsächlich für den Betrieb an einer Wechselspannung ausgelegt ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Wechselstromkondensatoren dürfen mit Gleichspannung bis zur Bemessungsspannung nur betrieben werden, wenn der Kondensatorhersteller es zulässt.

3.10

Gleichstromkondensator

Kondensator, der hauptsächlich für den Betrieb an einer Gleichspannung ausgelegt ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Gleichstromkondensatoren dürfen nur an Wechselspannung betrieben werden, wenn der Kondensatorhersteller es zulässt.

3.11

Modellkondensator

Einheit, die eine vollständige Einheit oder ein Element bei einer elektrischen Prüfung nachbildet, ohne den Prüfschärfegrad der elektrischen, thermischen oder mechanischen Bedingungen herabzusetzen

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Modelleinheit kann eine von der vollständigen Einheit verschiedene Größe aufweisen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Es sollte dabei immer die Kombination der Beanspruchungen betrachtet werden, beispielsweise die Kombination aus der Temperatur, den mechanischen Bedingungen und den elektrischen Beanspruchungen.

3.12

interne (Elemente-)Sicherung

Sicherung, die innerhalb einer Kondensatoreinheit in Reihe mit einem Element oder einer Gruppe von Elementen geschaltet ist

[QUELLE: IEC 436-03-16]

3.13

Sicherheitseinrichtungen

3.13.1

Überdruckabschalter

trennendes Bauteil im Inneren eines Kondensators, das den Strompfad bei einem inneren Überdruck unterbricht

3.13.2

Überdruckfühleinrichtung

Einrichtung zur Feststellung eines übermäßigen Anstiegs des Innendruckes, die gewöhnlich zur Betätigung eines elektrischen Schalters und damit zur indirekten Unterbrechung des Strompfades benutzt wird

3.13.3

segmentierter Aufbau der Metallisierung

struktureller Aufbau der Metallschicht über dem Dielektrikum, die so ausgeführt ist, dass ein kleiner Teil des Dielektrikums bei einem örtlichen Kurzschluss oder Durchschlag isoliert wird, um die gesamte Funktionalität der Einheit mit einem vernachlässigbaren Kapazitätsverlust wiederherzustellen

3.13.4

besonderer unsegmentierter Aufbau der Metallisierung

Aufbau der Metallschicht über dem Dielektrikum, die so ausgeführt ist, dass die Selbstheilungseigenschaften bei Spannungen bis U_s die volle Funktionalität bei vernachlässigbarem Kapazitätsverlust garantieren

3.14 sicherheitsbezogene Schutzmaßnahmen

geschützter Kondensator

Kondensator, der einer Zerstörungsprüfung nach 5.16 unterzogen werden kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Geschützte Kondensatoren allein reichen nicht aus, um alle möglichen Gefahren im Fall einer Fehlfunktion zu verhindern.

ungeschützter Kondensator

Kondensator, der die Zerstörungsprüfung nach 5.16 nicht besteht

3.15

Entladevorrichtung eines Kondensators

Bauteil, das in einem Kondensator eingeschlossen sein kann und die Spannung zwischen den Anschlussklemmen innerhalb einer gegebenen Zeit auf nahezu null vermindert, nachdem der Kondensator vom Netz getrennt wurde

[QUELLE: IEV 436-03-15, modifiziert]

3.16

Bemessungswechselspannung

U_N

höchster wiederkehrender Spitzenwert der Betriebsspannung egal welcher Polarität bei sich umkehrendem Kurvenverlauf, für den der Kondensator ausgelegt ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Kurvenverlauf kann viele Formen aufweisen. Beispiele sind im [Anhang A](#) angegeben.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Mittelwert des Kurvenverlaufs darf positiv oder negativ sein.

Anmerkung 3 zum Begriff: Es ist die Bemerkung wichtig, dass die Bemessungswechselspannung kein Effektivwert ist.

3.17

Bemessungsgleichspannung

U_{NDC}

höchste Betriebsspitzenspannung jeder Polarität mit jedoch nichtumkehrendem Kurvenverlauf, für die der Kondensator im Dauerbetrieb ausgelegt ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Dämpfungskondensatoren für abschaltbare Thyristoren (GTO-Thyristoren) können als Gleichstromkondensatoren mit einer überlagerten Wechselspannung, die gleich der Bemessungsgleichspannung ist, $U_{NDC} = U_r$, angesehen werden.

Bei einer Umkehrspannung U_{rev} sollte die Anwendung zwischen Kunde und Hersteller vereinbart werden.

Anmerkung 2 zum Begriff: Wenn die Umkehrspannung klein ist (kleiner als 10 %) wird der Verlauf der Spannungskurve nicht als umgekehrt betrachtet. Für Prüfzwecke sollten U_{NDC} und U_{rev} um die Umkehrspannung U erhöht werden.

3.18

überlagerte Wechselspannung

U_r

Spitze-Spitze-Wert der Wechselkomponente der gleichgerichteten Spannung

3.19

nicht wiederkehrende Stoßspannung

U_s

von einem Schaltvorgang oder einer anderen Störung des Netzes induzierte Spitzenspannung, die für eine begrenzte Anzahl des Auftretens und für eine kürzere Dauer als die der Grundperiodendauer zugelassen ist

3.20

Isolationsspannung

U_i

Effektivwert der sinusförmigen Spannung, für die die Isolierung zwischen den Anschlussklemmen des Kondensators zum Gehäuse oder nach Erde ausgelegt ist

3.21

höchster Spitzenstrom

$\hat{I}$

höchster wiederkehrender Spitzenstrom, der kurzzeitig im Dauerbetrieb auftreten kann

3.22

Höchststrom

$I_{\max}$

Effektivwert des höchsten Stromes im Dauerbetrieb

3.23

höchster Stoßstrom

$\hat{I}_s$

von einem Schaltvorgang oder irgendeiner anderen Störung des Netzes induzierter nicht wiederkehrender Spitzenstrom, der für eine begrenzte Anzahl des Auftretens und für eine kürzere Dauer als die der Grundperiodendauer für den Kondensator zugelassen ist

3.24

Impulsfrequenz

f_p

Impulsfolgefrequenz von periodischen Stromimpulsen

3.25

Stromimpulsdauer

τ

Stromflussdauer während der Ladung oder Entladung des Kondensators von einem Spannungswert auf einen anderen

Anmerkung 1 zum Begriff: Beispiele für Kurvenverläufe von Impulsströmen sind im [Anhang A](#) dargestellt.

3.26

Resonanzfrequenz

f_r

niedrigste Frequenz, bei der die Impedanz des Kondensators den kleinsten Wert annimmt

3.27

Betriebsart

3.26.1^{N1)}

Dauerbetrieb

Betriebszeit, bei der sich ein Kondensator größtenteils im thermischen Gleichgewicht befindet

^{N1)} Nationale Fußnote: Das deutsche Nationale Komitee weist daraufhin, dass es sich hier um eine fehlerhafte Nummerierung handelt.

3.26.2^{N2)}

Aussetzbetrieb

unterbrochene Funktion oder unterbrochener Betrieb mit unterschiedlichen Belastungen, die in ihrer Dauer mit den Benennungen „Ein“ bzw. „Aus“ oder „High“ bzw. „Low“ beschrieben werden sollte

3.28

thermisches Gleichgewicht

ein Kondensator befindet sich im thermischen Gleichgewicht, wenn die an einer beliebigen Stelle auf seinem Gehäuse oder in seinem Inneren gemessene Temperatur weniger als 3 K über oder unter der Temperatur liegt, die erreicht werden würde, nachdem eine unbegrenzt lange Zeit unter festen Bedingungen der Umgebungstemperatur, Abkühlung und des internen Leistungsverlusts abgewartet wurde

3.29

thermische Zeitkonstante

ein Maß für die Zeit, die ein Kondensator nach einer Änderung der Umgebungstemperatur, einer Abkühlung oder einem internen Leistungsverlust benötigt, um das thermische Gleichgewicht zu erreichen

3.30

tiefste Betriebstemperatur

$\theta_{\min}$

tiefste Temperatur, bei der der Kondensator betrieben werden darf

3.31

Behältererwärmung

$\Delta\theta_{\text{case}}$

Unterschied zwischen der Temperatur der wärmsten Stelle des Behälters und der Temperatur der Kühlluft

3.32

Kühllufttemperatur

θ_{amb}

im eingeschwungenen Zustand an der heißesten Stelle des Kondensators zwischen zwei Einheiten gemessene Temperatur der Kühlluft

Anmerkung 1 zum Begriff: Falls nur eine Einheit vorhanden ist, handelt es sich um die an einer Stelle gemessene Temperatur, die etwa 0,1 m von dem Kondensatorbehälter entfernt und in zwei Dritteln seiner Höhe, gemessen von der Grundfläche, liegt.

3.32.1

Austrittstemperatur des Kühlmittels bei zwangsgekühlten Kondensatoren

Temperatur des Kühlmittels, wenn es aus dem Kondensator austritt, gemessen an der heißesten Stelle

3.32.2

Eintrittstemperatur des Kühlmittels bei zwangsgekühlten Kondensatoren

Temperatur des Kühlmittels, gemessen in der Mitte des Eintrittskanals des Kühlmittels an einer Stelle, die nicht durch die Wärmeableitung des Kondensators beeinflusst ist

3.33

höchste Betriebstemperatur

$\theta_{\max}$

höchste Temperatur des Gehäuses, bei der der Kondensator im eingeschwungenen Zustand betrieben werden darf

3.34

Heißpunkttemperatur

höchste auftretende Temperatur im Dielektrikum eines Kondensators

^{N2)} Nationale Fußnote: Das deutsche Nationale Komitee weist daraufhin, dass es sich hier um eine fehlerhafte Nummerierung handelt.

3.35

eingeschwungener Zustand

vom Kondensator bei konstanter Ausgangsleistung und konstanten Kühlbedingungen erlangtes thermisches Gleichgewicht

3.36

Kondensatorverluste

Wirkleistung, die im Kondensator umgesetzt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Falls nicht anders festgelegt, enthalten die Kondensatorverluste auch die Verluste von Sicherungen und Entladungswiderständen, die Bestandteil des Kondensators sind. Bei Hochfrequenz werden die Kondensatorverluste überwiegend von Verlusten in Verbindungen, Kontakten und Elektroden bestimmt.

[QUELLE: IEV 436-04-10]

3.37

Tangens des Verlustwinkels eines Kondensators

$\tan \delta$

Verhältnis von äquivalentem Serienwiderstand zu kapazitivem Blindwiderstand des Kondensators bei festgelegter sinusförmiger Wechselspannung und Frequenz

$$\tan \delta = R_{\text{esr}} \omega C = \tan \delta + R_s \omega C$$

$\tan \delta$ = dielektrischer Verlustfaktor

[QUELLE: IEV 436-04-11]

3.38

Ersatzserienwiderstand eines Kondensators

R_{esr}

wirksamer Widerstand, der, wenn er mit einem Kondensator mit einem idealen Kapazitätswert in Reihe geschaltet wird, der dem betreffenden Kondensator entspricht, eine Verlustleistung aufweisen würde, die gleich der Wirkleistung ist, die von diesem Kondensator unter festgelegten Betriebsbedingungen umgesetzt wird

3.39

Serienwiderstand

R_s

wirksamer ohmscher Widerstand der Leiter eines Kondensators unter festgelegten Betriebsbedingungen

3.40

höchste Verlustleistung

P_{max}

höchste Verlustleistung, mit der der Kondensator bei der höchsten Gehäusetemperatur belastet werden darf

3.41

höchste Frequenz für die höchste Verlustleistung und den Höchststrom

f_2

Frequenz, bei der der Höchststrom (I_{max}) die höchste Verlustleistung (P_{max}) im Kondensator erzeugt

Anmerkung 1 zum Begriff: Erklärung von f_2 siehe [Anhang B](#).

4 Betriebsbedingungen

4.1 Normale Betriebsbedingungen

Die vorliegende Norm legt Anforderungen für Kondensatoren fest, die für den Einsatz bei folgenden Bedingungen vorgesehen sind.

4.1.1 Einsatzhöhe

Die Einsatzhöhe darf 1 000 m nicht überschreiten, es sei denn, die Auswirkungen auf die Kühlung und die äußere Isolierung werden berücksichtigt.

ANMERKUNG Die Wirkung der Einsatzhöhe auf die Konvektionskühlung und die äußere Isolierung sollte berücksichtigt werden, falls die Einsatzhöhe 1 000 m übersteigt.

4.1.2 Betriebstemperatur ($\theta_{\max}$)

Die obere Grenze der Gehäusetemperatur $\theta_{\max}$, bei der der Kondensator betrieben werden darf, muss üblicherweise aus den Werten 45 °C, 55 °C, 70 °C und 85 °C ausgewählt werden. Eine andere höchste Betriebstemperatur muss zwischen Hersteller und Anwender vereinbart werden.

4.1.3 Betriebstemperatur bei Zwangskühlung

Falls Kondensatoren für eine Zwangskühlung mit flüssigem Kühlmittel vorgesehen sind, müssen die in 4.1.2 festgelegten Betriebstemperaturbedingungen beachtet werden. Die tiefste Eintrittstemperatur des Kühlmittels sollte unter Berücksichtigung der Viskosität des Kühlmittels festgelegt werden.

Es gibt zwei Verfahren für die Festlegung der oberen Temperaturgrenze des Kühlmittels, wobei entweder die Eintritts- oder die Austrittstemperatur verwendet wird.

Falls es nicht anders vereinbart wurde, muss die Wahl des Verfahrens dem Kondensatorhersteller überlassen werden.

Beim Verfahren mit der Eintrittstemperatur muss die Durchflussmenge des Kühlmittels festgelegt werden.

4.2 Ungewöhnliche Betriebsbedingungen

Diese Norm gilt nicht für Kondensatoren mit Betriebsbedingungen, die allgemein nicht den Anforderungen entsprechen, außer es wurde zwischen Hersteller und Käufer anders vereinbart.

Ungewöhnliche Betriebsbedingungen erfordern zusätzliche Messungen, die sicherstellen, dass die Bedingungen dieser Norm selbst unter den ungewöhnlichen Betriebsbedingungen erfüllt werden.

Falls solche ungewöhnlichen Betriebsbedingungen vorhanden sind, muss der Kondensatorhersteller darüber informiert werden.

Ungewöhnliche Betriebsbedingungen sind:

- außergewöhnliche mechanische Schocks und Schwingungen;
- Kühlwasser mit korrosiven oder verstopfenden Partikeln (Seewasser, sehr hartes Wasser);
- korrosive und schleifende Partikel in der Kühlluft;
- Staub in der Kühlluft, vor allem leitender Staub;
- explosives Gas oder explosiver Staub;
- Öldampf, Wasserdampf oder korrosive Substanzen;
- Kernstrahlung;
- ungewöhnliche Lager- oder Transporttemperaturen;
- ungewöhnliche Luftfeuchte (tropische oder subtropische Gebiete);
- übermäßige oder rasche Temperaturänderung (mehr als 5 °C/h) oder Luftfeuchteänderungen (mehr als 5 %/h);
- Betriebsstätten höher als 1 000 m über dem Meeresspiegel;
- überlagerte elektromagnetische Felder;

- übermäßige Überspannungen, soweit sie die in [Abschnitt 6](#) angegebenen Grenzwerte überschreiten.

5 Qualitätsanforderungen und Prüfungen

5.1 Prüfanforderungen

5.1.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt enthält Prüfanforderungen für Kondensatoreinheiten.

5.1.2 Prüfbedingungen

Sofern nicht anders für eine bestimmte Prüfung oder Messung festgelegt, muss die Temperatur des Kondensatordielektrikums im Bereich zwischen +5 °C und +35 °C liegen. Falls Korrekturen erforderlich sind, muss die Referenztemperatur +20 °C betragen, außer es wird zwischen Hersteller und Käufer anders vereinbart.

ANMERKUNG Es wird davon ausgegangen, dass die Temperatur des Dielektrikums unter der Voraussetzung der Umgebungstemperatur entspricht, dass sich der Kondensator während einer ausreichenden Zeit im stromlosen Zustand bei einer konstanten Umgebungstemperatur befindet, um ein thermisches Gleichgewicht zu erreichen.

Die Wechselstromprüfungen und -messungen müssen mit einer im Wesentlichen sinusförmigen Spannung mit einer vom Hersteller festgelegten Frequenz durchgeführt werden.

5.2 Einteilung der Prüfungen

Die Prüfungen werden eingeteilt in Stückprüfungen und Typprüfungen.

5.2.1 Stückprüfungen

- a) Dichtheitsprüfung (siehe [5.8](#));
- b) äußere Besichtigung (siehe [5.14.2](#));
- c) Spannungsprüfung zwischen den Anschlussklemmen (siehe [5.5.2](#));
- d) Spannungsprüfung zwischen Anschlussklemmen und Gehäuse (siehe [5.6.1](#));
- e) Kapazitäts- und $\tan \delta$ -Messung (siehe [5.3](#));
- f) Prüfung der inneren Entladevorrichtungen (siehe [5.7](#)).

Stückprüfungen müssen vom Hersteller vor der Auslieferung an jedem Kondensator durchgeführt werden.

Auf Anforderung des Käufers muss ein Zertifikat mit den genauen Ergebnissen dieser Prüfungen mitgeliefert werden.

Die Reihenfolge der Prüfungen ist wie oben angegeben.

5.2.2 Typprüfungen

- a) Mechanische Prüfungen (siehe [5.14](#));
- b) Spannungsprüfung zwischen den Anschlussklemmen (siehe [5.5.3](#));
- c) Spannungsprüfung zwischen Anschlussklemmen und Gehäuse (siehe [5.6.2](#));
- d) Stoßentladungsprüfung (siehe [5.9](#));
- e) Prüfung der Selbstheilungseigenschaften (siehe [5.11](#));
- f) Klimaprüfungen (siehe [5.13](#));
- g) Messung des Tangens des Verlustwinkels ($\tan \delta$) des Kondensators (siehe [5.4](#));

- h) Prüfung der thermischen Stabilität (siehe 5.10);
- i) Prüfung der inneren Entladevorrichtungen (siehe 5.7);
- j) Messung der Resonanzfrequenz (siehe 5.12);
- k) Lebensdauerprüfung zwischen den Anschlussklemmen (siehe 5.15);
- l) Abschaltprüfung an Sicherungen (siehe 5.17);
- m) Zerstörungsprüfung (siehe 5.16);
- n) Typprüfungen sind vorgesehen, um die Fehlerfreiheit der Bauart des Kondensators und seine Eignung für den Betrieb unter den Bedingungen zu prüfen, die in dieser Norm angegeben sind.

Die Typprüfungen müssen vom Hersteller durchgeführt werden und der Käufer muss auf Anfrage ein Zertifikat geliefert bekommen, das die Ergebnisse der Prüfungen im Einzelnen enthält.

Wenn es nicht anders festgelegt ist, muss jeder Kondensatorprüfling, der für die Typprüfung vorgesehen ist, zuerst alle Stückprüfungen mit Erfolg bestanden haben.

Diese Prüfungen müssen an einem Kondensator mit einer Bauart durchgeführt worden sein, die mit der des Kondensators nach Vertrag identisch ist, oder an einer Kondensatorbauart, die bei der Prüfung dieselben oder schärfere Prüfbedingungen ergibt.

Es ist nicht von Bedeutung, dass alle Typprüfungen am selben Kondensatorprüfling durchgeführt werden.

5.3 Kapazitäts- und $\tan \delta$ -Messung (Stückprüfung)

5.3.1 Messverfahren

Die Kapazität und $\tan \delta$ müssen mit einer vom Hersteller ausgewählten Spannung und Frequenz gemessen werden.

Das verwendete Verfahren darf keine Fehler enthalten, die von Oberschwingungen und äußeren Zubehöerteilen des zu messenden Kondensators, wie z. B. Drosselspulen und Sperrkreisen in der Messschaltung hervorgerufen werden.

Die Genauigkeit des Messverfahrens muss angegeben und besser als 0,2 % für die Kapazität und 10 % für $\tan \delta$ sein.

ANMERKUNG Für Kondensatoren mit Millifarad-Bereich ist eine geringere Genauigkeit geeignet.

Die Kapazitätsmessung muss nach der Spannungsprüfung zwischen den Anschlussklemmen (siehe 5.5) durchgeführt werden.

Bei Kondensatoren mit inneren Sicherungen muss die Kapazitätsmessung auch vor den Spannungsprüfungen durchgeführt werden.

5.3.2 Kapazitätstoleranzen

Falls es nicht anders festgelegt ist, darf die gemessene Kapazität um nicht mehr als -10 % bis +10 % vom Bemessungswert der Kapazität abweichen.

5.3.3 Verlustanforderungen ($\tan \delta$)

Die Anforderungen an die Kondensatorverluste dürfen zwischen Hersteller und Käufer vereinbart werden.

5.4 Messung des Tangens des Verlustwinkels ($\tan \delta$) eines Kondensators (Typprüfung)

5.4.1 Messungen

Es müssen folgende Messungen durchgeführt werden.

5.4.1.1 Wechselstromkondensatoren

Die Kondensatorverluste ($\tan \delta$) müssen am Ende der Prüfung der thermischen Stabilität (siehe 5.10) durchgeführt werden. Die Messspannung und Frequenz darf zwischen Hersteller und Käufer vereinbart werden.

5.4.1.2 Gleichstromkondensatoren

Die Messung muss am Ende der Prüfung der thermischen Stabilität bei einer Wechselspannung, die der Kondensatorbemessung entspricht, und maximal bei der durch $2\sqrt{2}$ dividierten, überlagerten Wechselspannung (U_r) durchgeführt werden.

5.4.2 Anforderungen an die Verluste

Der nach 5.4.1 gemessene Wert von $\tan \delta$ darf den Wert nicht übersteigen, der vom Hersteller angegeben ist oder der zwischen Hersteller und Käufer vereinbart wurde.

5.5 Spannungsprüfung zwischen den Anschlussklemmen

5.5.1 Allgemeines

Die Prüfungen müssen nach der folgenden Tabelle 1 durchgeführt werden.

Tabelle 1 – Prüfspannung zwischen den Anschlussklemmen

	Wechselstromkondensatoren	Gleichstromkondensatoren	
	Alle Typen	Nicht selbstheilend	Selbstheilend
Prüfwechselspannung, Effektivwert	$1,5 U_N$	–	–
Prüfgleichspannung	$2,15 U_N$	$2 U_{NDC}$	$1,5 U_{NDC}$

Die in Tabelle 1 angegebene Prüfspannung kann reduziert werden, wenn die Kondensatoren für den Aussetzbetrieb (siehe 3.27) oder eine kurze Betriebsdauer vorgesehen sind; die neuen Werte müssen zwischen Hersteller und Käufer vereinbart werden.

ANMERKUNG Die Frequenz der Prüfwechselspannung kann 50 Hz oder 60 Hz betragen.

5.5.2 Stückprüfung

Jeder Kondensator muss 10 s lang bei Umgebungstemperatur einer der Prüfungen nach 5.5.1 unterzogen werden. Die Auswahl ist dem Hersteller überlassen. Während der Prüfung darf weder ein Durchschlag noch ein Überschlag auftreten.

Selbstheilende Durchschläge sind zulässig.

Die Dauer darf unter der Voraussetzung auf 2 s herabgesetzt werden, dass die Spannung um 10 % erhöht wird.

Bei Einheiten, bei denen alle Elemente parallelgeschaltet sind, ist das Ansprechen einer oder mehrerer interner Elementesicherungen unter der Voraussetzung zulässig, dass die Kapazitätstoleranzen noch eingehalten werden.

ANMERKUNG Die Stückprüfung sollte nur einmal durchgeführt werden. Falls sie wiederholt wird, sollte sie bei 90 % des ursprünglichen Werts durchgeführt werden, es sei denn, der Hersteller stimmt einer anderen Festlegung zu.

5.5.3 Typprüfung

Der Kondensator muss 1 min lang einer der Prüfungen nach 5.5.1 unterzogen werden.

Die Auswahl ist dem Hersteller überlassen.

Nach der Spannungsprüfung zwischen den Anschlussklemmen müssen die Kapazität und $\tan \delta$ gemessen werden.

5.6 Wechsellspannungsprüfung zwischen Anschlussklemmen und Gehäuse

5.6.1 Stückprüfung

Einheiten, bei denen alle Anschlussklemmen vom Behälter isoliert sind, müssen 10 s lang einer Spannung ausgesetzt werden, die zwischen den (miteinander verbundenen) Anschlussklemmen und dem Behälter angelegt wird.

Die Werte der Prüfspannungen sind folgende:

$$U_{t\text{-case}} = 2 U_i + 1\,000 \text{ V oder } 2\,000 \text{ V, je nachdem, welcher Wert höher ist;}$$

Dabei ist U_i die Isolationsspannung.

Wird die Prüfspannung um 10 % erhöht, darf die Prüfdauer auf 2 s reduziert werden.

Die Isolationsspannung des Kondensators muss vom Anwender festgelegt werden. Falls es nicht anders festgelegt ist, ist die Isolationsspannung gleich der durch $\sqrt{2}$ dividierten Bemessungsspannung des Kondensators.

Während der Prüfung darf weder ein Durchschlag noch ein Überschlag auftreten. Die Prüfung muss auch dann durchgeführt werden, wenn eine der Anschlussklemmen für den Anschluss an den Behälter im Betrieb vorgesehen ist.

An Einheiten mit einer Anschlussklemme, die ständig mit dem Behälter verbunden ist, braucht die Prüfung nicht durchgeführt zu werden.

An Einheiten mit isolierten Behältern braucht diese Prüfung nicht durchgeführt zu werden.

ANMERKUNG 1 Wenn der Kondensator (mit einem Metallbehälter) mit einer äußeren Überdruckfühleinrichtung ausgerüstet ist, sollten die Anschlussklemmen der Fühleinrichtung miteinander verbunden und an den Behälter angeschlossen werden.

ANMERKUNG 2 Die Spannungsprüfung zwischen der Überdruckfühleinrichtung und dem Behälter sollte zwischen Käufer und Hersteller vereinbart werden.

ANMERKUNG 3 Diese Prüfung kann höchstens zweimal an demselben Kondensator durchgeführt werden.

5.6.2 Typprüfung

An Einheiten, bei denen alle Anschlussklemmen vom Behälter isoliert sind, muss die Prüfung nach 5.6.1 mit demselben Spannungswert, jedoch mit einer Dauer von 1 min durchgeführt werden. Kondensatoren mit

Isolierbehälter müssen während der Prüfung dicht mit einer Metallfolie umwickelt sein. Die Folie muss mit einer Anschlussklemme der Prüfstromversorgung verbunden werden.

5.7 Prüfung der inneren Entladevorrichtung

Der Widerstand der inneren Entladevorrichtung, falls vorhanden, muss entweder durch eine Widerstandsmessung oder durch Messung der Selbstentladungszeit überprüft werden.

Die Prüfung muss nach den Spannungsprüfungen nach 5.5 durchgeführt werden.

5.8 Dichtheitsprüfung

Die (unbeschichtete) Einheit muss einer Prüfung unterzogen werden, mit der wirksam jede Undichtheit von Behälter und Anschlüssen festgestellt wird. Das Prüfverfahren ist dem Hersteller überlassen, der das betreffende Verfahren beschreiben muss.

Wird vom Hersteller kein Verfahren angegeben, muss folgendes Prüfverfahren durchgeführt werden.

Stromlose Kondensatoreinheiten müssen auf eine gleichmäßige Temperatur erwärmt werden, die mindestens ihrer höchsten Betriebstemperatur zuzüglich 5 °C entspricht, und mindestens für die dreifache Dauer der thermischen Konstanten, wenigstens aber 2 h lang, bei dieser Temperatur gehalten werden.

Es darf kein Undichtheit auftreten. Die Verwendung eines geeigneten Anzeigegeräts wird empfohlen.

Die Quelle der Undichtheit des Kondensators muss durch Sichtprüfung ermittelt werden können.

Die Prüflage der Kondensatoreinheit muss nach Vereinbarung zwischen Hersteller und Käufer festgelegt werden, wobei die Anwendungslage der Einrichtung zu berücksichtigen ist.

ANMERKUNG Falls der Kondensator keine Flüssigkeit enthält, wird die Entscheidung zur Durchführung dieser Prüfung dem Hersteller überlassen und sollte an Stichproben durchgeführt werden.

5.9 Stoßentladungsprüfung

Die Einheiten müssen mit Gleichstrom geladen und dann über eine Kurzschließvorrichtung, die so nahe wie möglich am Kondensator angeordnet ist, entladen werden. Sie müssen fünf derartigen Entladungen ausgesetzt werden.

Im Anschluss an diese Prüfung müssen die Einheiten einer Spannungsprüfung zwischen den Anschlussklemmen (siehe 5.5) unterzogen werden.

Die Kapazität muss vor der (Stoß-)Entladungsprüfung und nach der Spannungsprüfung gemessen werden.

Die zwei Messungen dürfen nicht um einen höheren Betrag voneinander abweichen, als er entweder einem Durchschlag eines Elementes oder dem Durchbrennen einer inneren Sicherung entspricht.

Bei selbstheilenden Kondensatoren muss die Kapazitätsänderung kleiner als $\pm 1 \%$ sein.

Die folgende Gleichung muss überprüft werden: $\tan \delta \leq 1,2 \times \tan \delta_0 + 1 \times 10^{-4}$.

Dabei ist $\tan \delta$ der Wert nach der Prüfung und $\tan \delta_0$ der Wert vor der Prüfung.

Bei Kondensatoren ohne festgelegte Stoßstrombegrenzung (kurzschlussichere Kondensatoren), muss die Prüfspannung für die Stoßentladungsprüfung $1,1 U_{NDC}$ entsprechen.

Höhere Prüfspannungen als $1,1 U_{NDC}$ müssen zwischen Hersteller und Anwender vereinbart werden.

Falls jedoch ein höchster Stoßstrom festgelegt ist, muss der Entladungsstrom durch Verringerung der Ladespannung und/oder Erhöhung der Impedanz des Entladestromkreises abgeglichen werden auf:

$$\hat{I}_{\text{test}} = 1,1 \hat{I}_s$$

ANMERKUNG Es ist die Energie zu beachten, die im Kondensator während der Stoßentladungsprüfung gespeichert ist.

5.10 Prüfung der thermischen Stabilität

5.10.1 Allgemeines

Die Prüfung wird sowohl an Wechselstrom- als auch Gleichstromkondensatoren durchgeführt und liefert folgende Angaben über die geprüften Kondensatoren:

- a) sie bestimmt die thermische Stabilität des Kondensators unter Überlastbedingungen;
- b) sie stellt die Bedingungen des Kondensators her, mit denen eine reproduzierbare Verlustmessung ermöglicht wird.

5.10.2 Durchführung der Messung

Eine Kondensatoreinheit muss in einem Gehäuse angeordnet werden, wobei folgende Kühltemperatur eingehalten werden muss:

- a) bei natürlicher Kühlung, die höchste Umgebungstemperatur (θ_{amb}), bei der der Kondensator im eingeschwungenen Zustand bei $P_{\text{max}} + 5^\circ\text{C}$ betrieben werden kann;
- b) bei Zwangskühlung, die festgelegte Austrittstemperatur des Kühlmittels, bei der der Kondensator im eingeschwungenen Zustand bei $P_{\text{max}} + 5^\circ\text{C}$ betrieben werden kann.

Nachdem alle Teile des Kondensators die Temperatur des Kühlmittels angenommen haben, wird an den Kondensator für eine Dauer von mindestens 48 h eine Wechselspannung mit im Wesentlichen sinusförmigem Kurvenverlauf angelegt.

Der Spannungswert und die Frequenz müssen während der Prüfung konstant gehalten werden.

Die Stromversorgungsbedingungen entsprechen denen nach [Anhang B](#) mit der Leistung von $1,21 P_{\text{max}}$.

Bei reinen Wechselstromkondensatoren ist die höchste Blindleistung die Grundlage für die Bestimmung der Prüfbedingungen und Berechnungen. Die Prüfung der thermischen Stabilität sollte mit einer Blindleistung von $Q_{\text{test}} = 1,21 Q$ [$Q_{\text{test}} = 1,1 U_r \cdot 1,1 I_r$] durchgeführt werden, was $1,21 P_{\text{max}}$ entspricht.

Über mindestens 6 h muss die Temperatur des Gehäuses nahe der Oberseite mindestens viermal gemessen werden. Während dieser Dauer von 6 h darf sich die Temperatur um nicht mehr als 1 K erhöhen.

Sollte eine größere Änderung beobachtet werden, darf die Prüfung fortgesetzt werden, bis die vorstehend angegebene Anforderung bei vier aufeinanderfolgenden Messungen innerhalb einer Dauer von 6 h erfüllt wird.

Vor und nach der Prüfung muss die Kapazität innerhalb des in [5.1.2](#) für die Prüfung angegebenen Temperaturbereiches gemessen und beide Messungen auf dieselbe Dielektrikumstemperatur korrigiert werden.

Der Unterschied zwischen den beiden Messungen muss bei nicht selbstheilenden Kondensatoren kleiner sein als der Betrag, der entweder einem Durchschlag eines Elementes oder dem Ansprechen einer internen Sicherung entspricht.

Bei selbstheilenden Kondensatoren muss die Änderung der Kapazität weniger als $\pm 1\%$ betragen.

Am Ende dieser Prüfung wird die $\tan \delta$ -Messung (siehe 5.4.1) durchgeführt.

Die folgende Gleichung muss überprüft werden: $\tan \delta \leq 1,2 \times \tan \delta_0 + 1 \times 10^{-4}$.

Dabei ist $\tan \delta$ der Wert nach der Prüfung und $\tan \delta_0$ der Wert vor der Prüfung.

ANMERKUNG 1 Bei der Prüfung, ob die Kondensatorverluste oder die Temperaturbedingungen erfüllt sind, sollten Schwankungen der Spannung, Frequenz und Kühlmitteltemperatur während der Prüfung berücksichtigt werden. Aus diesem Grund wird angeraten, diese Parameter und die Gehäusetemperatur als Funktion der Zeit aufzuzeichnen.

ANMERKUNG 2 Die Prüfung darf nach Vereinbarung zwischen Hersteller und Käufer unter der Voraussetzung mit einer nichtsinusförmigen Spannung durchgeführt werden, dass der Wert der Verlustleistung bei $1,21 P_{\max}$ bleibt.

ANMERKUNG 3 Die Prüfung dient nicht dem Zweck, für die Endanwendung repräsentativ zu sein.

5.11 Prüfung der Selbstheilungseigenschaften

Zweck dieser Prüfung ist, das Vorhandensein von selbstheilender Technologie zu bestätigen. Diese Prüfung gilt nur für selbstheilende Kondensatoren und darf an einer vollständigen Einheit, an einem einzelnen Element oder an einer Gruppe von Elementen, die Bestandteil der Einheit sind, unter der Voraussetzung durchgeführt werden, dass die zu prüfenden Elemente mit den in der Einheit verwendeten Elementen übereinstimmen und ihr Zustand dem Zustand in der Einheit gleicht. Die Entscheidung bleibt dem Hersteller überlassen.

Der Kondensator oder das Element muss 10 s lang einer Gleichspannung mit dem 1,1-fachen Wert der nicht wiederkehrenden Stoßspannung (U_s) oder einem Wert gleich der Stückprüfungsspannung ($1,5 U_N$ für Wechselstromkondensatoren, $1,5 U_{NDC}$ für Gleichstromkondensatoren) ausgesetzt werden, je nachdem, welcher Wert höher ist.

Wenn während dieser Zeit weniger als fünf Durchschläge auftreten, muss die Spannung langsam erhöht werden, bis von Prüfbeginn an fünf oder mehr Durchschläge erfolgt sind oder bis die Spannung den 2,5-fachen Wert der Bemessungsspannung erreicht hat.

Wenn nach Erreichen von $2,5 U_N$ weniger als fünf Durchschläge innerhalb 10 s aufgetreten sind, muss die Prüfung beendet werden.

Vor und nach der Prüfung müssen die Kapazität und $\tan \delta$ gemessen werden. Es ist keine Kapazitätsänderung gleich/größer als 0,5 % zulässig.

Die folgende Gleichung muss überprüft werden: $\tan \delta \leq 1,1 \tan \delta_0 + 1 \times 10^{-4}$.

Dabei ist $\tan \delta$ der Wert nach der Prüfung und $\tan \delta_0$ der Wert vor der Prüfung.

5.12 Messung der Resonanzfrequenz

Die Resonanzfrequenz muss im Temperaturbereich nach 5.1.2 mit einem Verfahren gemessen werden, das Fehler, die durch Anschlüsse und Zubehör hervorgerufen werden, auf ein Mindestmaß begrenzt.

Das geeignete Messverfahren darf aus den beiden in Anhang C angegebenen Beispielen ausgewählt werden.

Die Messung ist nicht für alle Anwendungsfälle erforderlich.

ANMERKUNG 1 Aus der Resonanzfrequenz wird die Selbstinduktivität berechnet, und dieser Wert der Selbstinduktivität sollte den zwischen Hersteller und Käufer vereinbarten Wert nicht überschreiten.

ANMERKUNG 2 Für den ordnungsgemäßen Betrieb moderner Einrichtungen kann es erforderlich sein, dass der Kondensator eine sehr geringe Selbstinduktivität besitzt.

5.13 Klimaprüfungen

5.13.1 Temperaturwechsel

Die Temperaturwechselprüfung muss nach IEC 60068-2-14, Prüfung Na oder Nb, nach Vereinbarung zwischen Käufer und Hersteller mit der oberen und unteren Grenztemperatur des Kondensators durchgeführt werden.

Prüfung Nb muss mit einer Übergangszeit von etwa 1 h (1 K/min) durchgeführt werden.

5.13.2 Feuchte Wärme, konstant

Die Prüfung mit feuchter Wärme, konstant, (Prüfung Ca) muss nach IEC 60068-2-78 mit einer Prüfschärfe entsprechend der Standortkategorie des Kondensators durchgeführt werden. Vor Beginn der Langzeitprüfung muss die Kapazität bei den Prüfbedingungen nach 5.1.2 gemessen werden. Nach Abschluss der Prüfung im konstanten Zustand muss der Kondensator einer Spannungsprüfung zwischen den Anschlussklemmen nach 5.5.1 und der Spannungsprüfung zwischen den Anschlussklemmen und dem Behälter nach 5.6.1 unterzogen werden.

Zum Schluss muss die Kapazitätsmessung nach 5.3.1 bei stabiler Prüfbedingung nach 5.1.2 durchgeführt werden.

Bei keinem Prüfling darf ein Durchschlag oder Überslag auftreten. Selbstheilende Durchschläge sind zulässig. Die Kapazitätsänderung darf 2 % nicht überschreiten.

5.14 Mechanische Prüfungen

5.14.1 Mechanische Prüfungen der Anschlussklemmen

Die Widerstandsfähigkeit der Anschlussklemmen muss nach Tabelle 2 geprüft werden.

Tabelle 2 – Prüfung der Widerstandsfähigkeit der Anschlussklemmen

Nr.	Prüfungen oder Messungen	Betriebsverhalten		Prüfkriterien
1	Zugfestigkeit der Verbindungskabel und Lötverbindungen	IEC 60068-2-21	Ua1	Einzeln mit dem Kondensatorgewicht, mindestens 10 N
2	Biegefestigkeit der Anschlüsse		Ub1	Anzahl der Biegezyklen: 2
3	Biegefestigkeit der Lötflächen und Flachsteckschuhe		Ub2	Anzahl der Biegezyklen auch für Lötflächen mit Anschlussdrähten: 2
4	Torsionswiderstand von axialen Anschlüssen		Uc	Prüfschärfe 2
5	Drehmomentwiderstand von angeschraubten Elementen		Ud	Prüfschärfe 2
6	Lötbarkeit und Wärmebeständigkeit von Lötverbindungen	IEC 60068-2-20		Lötkolben mit 350 °C, Größe A

5.14.2 Äußere Besichtigung

Kondensatoren werden einer Sichtprüfung unterzogen und die Ausführung, Kennzeichnung und Gesamtmaße überprüft.

5.14.3 Schwingen und Schocken

Diese Prüfung muss nur auf Anfrage des Anwenders und wie mit dem Hersteller vereinbart, durchgeführt werden.

a) Schwingen nach IEC 60068-2-6

- 1) Für Kondensatoren mit einem Gewicht bis 3 kg:

$$f = 10 \text{ Hz bis } 55 \text{ Hz};$$

$$a = \pm 0,35 \text{ mm}.$$

Prüfdauer je Achse = 10 Frequenzperioden (3 Achsen, jeweils um 90° versetzt), 1 Oktave je 1 min.

- 2) Für Kondensatoren mit einem Gewicht über 3 kg: Die Auswahl der Prüfbedingungen muss zwischen Hersteller und Anwender vereinbart werden.

b) Schocks: Die Auswahl der Prüfbedingungen muss zwischen Hersteller und Anwender vereinbart werden.

Vor und nach den mechanischen Prüfungen muss die Kapazität gemessen werden. Es dürfen keine Kapazitätsänderungen gleich/größer 0,5 % zulässig sein.

5.15 Lebensdauerprüfung

Der Zweck der Lebensdauerprüfung ist der Nachweis des Betriebsverhaltens des Kondensators unter den tatsächlich beim Betrieb auftretenden Bedingungen.

Die Lebensdauerprüfung muss an einer vollständigen Einheit oder einem Modellkondensator durchgeführt werden.

5.15.1 Vorbehandlung der Einheiten vor der Prüfung

Die Einheit muss bei stillstehender Luft mit einer Temperatur von mindestens +10 °C 16 h bis 24 h lang dem 1,1-fachen Wert von U_N ausgesetzt werden. Es muss zugelassen werden, dass die Einheit abkühlt und das thermische Gleichgewicht bei Raumtemperatur nach der Konditionierung erreicht.

ANMERKUNG Das Verfahren ist dem Hersteller überlassen.

5.15.2 Messung der Anfangskapazität und des Verlustfaktors

Die Einheit muss auf Kapazität und $\tan \delta$ nach 5.3 bei den Prüfbedingungen nach 5.1.2 geprüft werden. Die während der Messung herrschende Umgebungstemperatur muss aufgezeichnet werden.

5.15.3 Lebensdauerprüfung

Die Prüfkammer muss auf eine Temperatur nahe der Prüftemperatur erwärmt werden.

Die Prüfeinheit wird in die erwärmte Kammer gelegt und unter den geeigneten Bedingungen nach Tabelle 3 an Spannung angeschlossen. Wechselstrom- und Gleichstromkondensatoren müssen der zutreffenden Prüfung nach den Angaben des Herstellers unterzogen werden. Wenn die Einheit die Prüftemperatur erreicht hat, werden die Kühl-/Heizbedingungen so eingestellt, dass sich diese Temperatur stabilisiert. Nach dieser Anfangsstabilisierung sind keine Änderungen der Kühl-/Heiztemperatur zulässig.

Die Prüftemperatur ist die höchste Gehäusetemperatur ($\theta_{\max}$) bei den Höchstwerten der Dauerbetriebsbedingungen, d. h. mit Ausnahme kurzzeitiger und außergewöhnlicher Bedingungen.

Die Prüfspannung U_t (reine Gleichspannung, die U_{NDC} entspricht oder sinusförmige Wechselspannung mit einer Spitzenspannung gleich U_N multipliziert mit dem Beschleunigungsfaktor) muss angelegt werden.

Nach Tabelle 3 kann ein anderer Beschleunigungsfaktor/eine andere Prüfdauer ausgewählt werden. Die Wahl bleibt dem Hersteller überlassen. Nach der Hälfte der Lebensdauerprüfung muss der Kondensator von der Versorgung getrennt, bei stillstehender Luft auf Umgebungstemperatur abgekühlt und, wie nach 5.9, 1 000 Entladungen unterzogen werden, jedoch mit einem Spitzenstrom von $1,4 \hat{I}$, wobei $\hat{I}$ der höchste Spitzenstrom ist (siehe 3.20).

Die Häufigkeit der Entladungen muss vom Hersteller festgelegt werden.

Im Anschluss an die 1 000 Stoßentladungen muss der Kondensator wieder mit Spannung versorgt werden, um die Prüfung zu beenden.

Tabelle 3 – Lebensdauerprüfung

Kondensatortyp	U_t	Prüfschritte	Temperatur	Dauer oder Anzahl der Entladungen
Gleichstrom	$1,4 U_{NDC}$	$1,4 U_{NDC}$	Prüftemperatur	250 h
		$1,4 \hat{I}$	Raumtemperatur (siehe 5.1.2)	1 000-mal
		$1,4 U_{NDC}$	Prüftemperatur	250 h
	$1,3 U_{NDC}$	$1,3 U_{NDC}$	Prüftemperatur	500 h
		$1,4 \hat{I}$	Raumtemperatur (siehe 5.1.2)	1 000-mal
		$1,3 U_{NDC}$	Prüftemperatur	500 h
Wechselstrom	$1,35 U_N$ (siehe Anmerkung 1)	$1,35 U_N$	Prüftemperatur	250 h
		$1,4 \hat{I}$	Raumtemperatur (siehe 5.1.2)	1 000-mal
		$1,35 U_N$	Prüftemperatur	250 h
	$1,25 U_N$ (siehe Anmerkung 1)	$1,25 U_N$	Prüftemperatur	500 h
		$1,4 \hat{I}$	Raumtemperatur (siehe 5.1.2)	1 000-mal
		$1,25 U_N$	Prüftemperatur	500 h

ANMERKUNG 1 Die Bedingungen während dieser Prüfung können sich von den Betriebsbedingungen unterscheiden, z. B. 50 Hz oder 60 Hz für alle Wechselstromkondensatoren.

ANMERKUNG 2 Wenn die Gehäusetemperatur θ_{max} überschreitet, darf eine zusätzliche Kühlung verwendet werden.

ANMERKUNG 3 Dämpfungskondensatoren für abschaltbare Thyristoren (GTO-Thyristoren) können nach Vereinbarung zwischen Anwender und Hersteller mit einer überlagerten Wechselspannung (gleichgerichtet) $U_t = U_r = (1,25 \text{ oder } 1,35) U_N$, wie bei Wechselstromkondensatoren, geprüft werden.

ANMERKUNG 1 Aufgrund der Dauer der Prüfung sind Spannungsunterbrechungen zulässig. Während dieser Unterbrechungen muss die Einheit in der geregelten Umgebung verbleiben. Bei Leistungsverlusten in der Kammer, muss die Umgebungsprüftemperatur für 12 h erreicht werden, bevor die Einheiten wieder an Spannung gelegt werden.

ANMERKUNG 2 Der Zweck der Prüfung ist nicht, die Lebensdauer des Kondensators vorauszubestimmen, sondern die Fähigkeit des Kondensators zum Betrieb unter strengen Bedingungen nachzuweisen.

5.15.4 Abschließende Kapazitäts- und $\tan \delta$ -Messung

Die Messung wird nach 5.3 innerhalb von 2 Tagen nach Abschluss der Lebensdauerprüfung durchgeführt. Die Umgebungstemperatur während der abschließenden Messungen darf nicht um mehr als $\pm 2^\circ\text{K}$ von der Temperatur abweichen, die während der Eingangsmessungen aufgezeichnet wurde.

5.15.5 Annahmekriterien

Die in den Abschnitten 5 und 7 durchgeführte Kapazitätsmessung darf um höchstens 3 % vom Anfangswert abweichen. Die Verluste sind aufzuzeichnen.

Wenn die Einheit/der Kondensator die Prüfung nicht bestanden hat, wird die Prüfung wiederholt und es sind keine weiteren Ausfälle zulässig.

5.16 Zerstörungsprüfung

5.16.1 Allgemeines

Diese Prüfung wird durchgeführt, um einen Nachweis für das Verhalten des Kondensators und die einwandfreie Funktion der Sicherheitseinrichtungen innerhalb der spezifizierten Grenzen zu erhalten. Es kann nicht sichergestellt werden, dass während dieser Prüfung ein vollständig sicherer Ausfall auftritt.

Diese Prüfung muss an geschützten Kondensatoren (siehe 8.1.1) durchgeführt werden. Folgende Anmerkungen sollten berücksichtigt werden.

Nicht selbstheilende Kondensatoren, die durch interne Sicherungen geschützt sind, sollten 5.17 entsprechen. Bei diesem Kondensatortyp wird eine Übereinstimmung mit 5.17 als gleichwertig mit einer Übereinstimmung mit 5.16 betrachtet.

Kondensatoren ohne Abschaltvorrichtung, die aber mit einer Überdruckfühleinrichtung ausgerüstet oder zum Betrieb mit einer solchen Einrichtung vorgesehen sind, müssen dieser Prüfung unterzogen werden und folgende Aufschrift tragen „Sicherer Betrieb nur mit Überdruckfühleinrichtung“.

ANMERKUNG 1 Da sich die tatsächlichen Bedingungen beim Betrieb erheblich unterscheiden können, kann auch das Verhalten am Ende der Lebensdauer unterschiedlich sein. Bei der Anwendung sollten gespeicherte Energie, erwarteter Kurzschlussstrom, Dauer des Fehlerstromes (usw.) berücksichtigt werden. Die Übereinstimmung mit 5.16 stellt ein sicheres Lebensdauerende eines Kondensators nicht sicher.

ANMERKUNG 2 Ein erfolgreicher Abschluss der Prüfung ist nicht ausreichend, um den vollständig sicheren Ausfall der in Betrieb stehenden Bauteile sicherzustellen. Aus diesem Grund besteht ein Restrisiko für Brand und/oder Explosionen, das sorgfältig berücksichtigt werden sollte.

Die Zerstörungsprüfung muss unter Berücksichtigung der Art der Sicherheitssysteme und der Hauptanwendung der Kondensatoren nach Tabelle 4 durchgeführt werden. Es ist dem Hersteller überlassen, ob die Prüfung mit Gleichstrom-Wechselstrom-Zyklen oder Gleichstrom-Gleichstrom-Zyklen durchgeführt wird. Die Zeit bis zum Abschalten des Kondensators von der Stromversorgung nach einem Fehler muss vom Hersteller vorgegeben werden.

Tabelle 4 – Zerstörungsprüfung in Abhängigkeit von der Art des Sicherheitssystems

Typ der Einheit	Sicherheitssystem	Hauptanwendung	Prüfabschnitt
Selbstheilend	1. Überdruckfühleinrichtung	Wechselstrom	5.16.2
		Gleichstrom	5.16.3
	2. Überdruckabschalter	Wechselstrom	5.16.2
		Gleichstrom	5.16.3
	3. Segmentierte oder unsegmentierte Metallisierung	Gleichstrom/Wechselstrom	5.16.3
Nicht selbstheilend	1. Überdruckfühleinrichtung	Wechselstrom	5.16.2
		Gleichstrom	5.16.3
	2. Interne Sicherungen	Wechselstrom	5.17

5.16.2 Prüffolge für Wechselstromkondensatoren

Die Prüfung muss an einer Kondensatoreinheit durchgeführt werden.

Sofern vom Hersteller festgelegt, darf ein Kondensator verwendet werden, der die Lebensdauerprüfung bestanden hat.

Der Grundsatz der Prüfung ist es, Ausfälle in einem oder mehreren Element(en) durch eine Gleichstromversorgung mit einem hohen Innenwiderstand zu bewirken und anschließend das Verhalten des Kondensators mit dem Anlegen einer Wechselspannung zu prüfen. Der Ausfall von nicht selbstheilenden Kondensatoren ohne interne Sicherungen kann nach den Verfahren in 5.17.4 bewirkt werden. Die Auswahl bleibt dem Hersteller überlassen. Der Kondensator muss in einen Umluftofen eingebaut werden, dessen Temperatur der höchsten Umgebungslufttemperatur der Betriebstemperatur des Kondensators entspricht.

Wenn alle Kondensatorteile die Temperatur des Ofens angenommen haben, muss folgende Prüffolge mit der in Bild 1 angegebenen Schaltung durchgeführt werden. Anstelle der Sicherung in Bild 1 wird bei einem durch eine Überdruckfühleinrichtung geschützten Kondensator ein Leistungsschalter benutzt, der durch die Überdruckfühleinrichtung gesteuert wird.

- Mit den Wahlschaltern H und K auf Stellung 1 bzw. „a“ wird die Wechselspannungsquelle N auf $1,3 U_N$ eingestellt und der Kondensatorstrom aufgezeichnet.
- Die Gleichspannungsquelle T wird auf die Spannung und den Kurzschlussstrom, die vom Hersteller angegeben sind, eingestellt; Schalter H wird dann auf Stellung 2 gestellt.
- Schalter H wird auf Stellung 3 und Schalter K auf Stellung „b“ gestellt, um die Prüfgleichspannung für eine bestimmte vom Hersteller angegebene Zeit an den Kondensator anzulegen.
- Schalter K wird dann wieder auf Stellung „a“ gestellt, um die Prüfwechselspannung für eine Dauer von 5 min an den Kondensator anzulegen, der Strom wird erneut aufgezeichnet.

Folgende Zustände können eintreten:

- Das Stromstärkemessgerät I und das Spannungsmessgerät U zeigen beide null an: In diesem Fall muss die Sicherung F oder der Zustand der Überspannungsfühleinrichtung überprüft werden. Wenn die Sicherung F durchgebrannt ist, muss sie ausgetauscht werden. Dann wird die Spannung N an den Kondensator angelegt, und wenn die Sicherung wieder durchbrennt oder die Überdruckfühleinrichtung anspricht, wird der Vorgang abgebrochen.

Wenn die Sicherung F nicht durchbrennt oder die Überdruckfühleinrichtung nicht angesprochen hat, wird der Vorgang fortgesetzt und die Spannungen T und N werden an den Kondensator angelegt, wie in den Punkten c) und d) beschrieben, wobei nur Schalter K benutzt wird.

- Der vom Stromstärkemessgerät I angezeigte Strom ist null und das Spannungsmessgerät U zeigt $1,3 U_N$ an.

In diesem Fall wird der Vorgang abgebrochen.

- Der vom Stromstärkemessgerät I angezeigte Strom ist größer als null. In diesem Fall wird der Vorgang, wie in den Punkten b), c) und d) beschrieben, fortgesetzt.

Wenn nach mehrfacher Wiederholung dieses Verfahrens die Restkapazität größer ist als 0 oder 10 % des Ursprungswerts im Fall selbstheilender Kondensatoren in abgesicherter segmentierter Ausführung, darf ein weiterer Prüfling eingesetzt werden und/oder die Prüfspannung und die Prüfzeit dürfen erhöht werden oder die Einheit muss einem von außen zugeführten Überdruck ausgesetzt werden, bis der Abschalter oder die Überdruckfühleinrichtung angesprochen hat. Der Wert dieses Drucks muss vom Hersteller angegeben werden.

Wenn das Verfahren abgebrochen wird, wird der Kondensator auf Umgebungstemperatur abgekühlt und die Spannungsprüfung zwischen den Anschlussklemmen sowie zwischen Anschlussklemmen und Gehäuse wird nach 5.5 und 5.6 ausgeführt. Bei Auslösung der Überdruckfühleinrichtung ist keine Spannungsprüfung zwischen den Anschlussklemmen erforderlich. Der Zustand der Fühleinrichtung nach dem Abkühlen auf Umgebungstemperatur muss berichtet werden.

Der Kurzschlussstrom der Spannungsquelle N an den Kondensatoranschlüssen sollte größer als $5 I_{\max}$ sein.

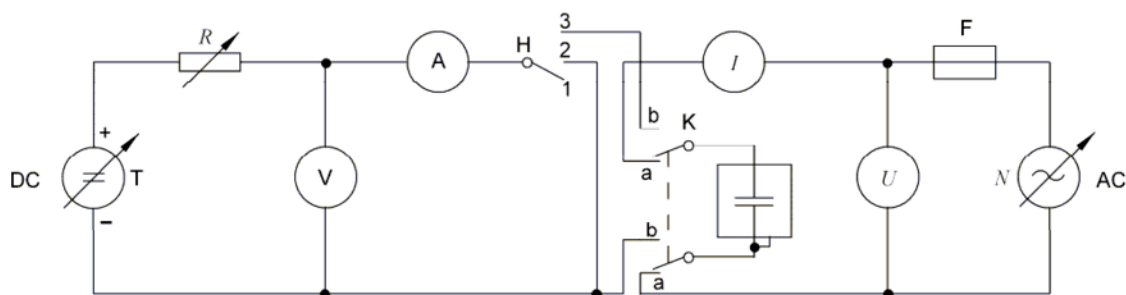


Bild 1 – Anordnung für die Zerstörungsprüfung

Der Bemessungsstrom I der Sicherung darf nicht kleiner als $2 I_{\max}$ sein.

Es müssen Sicherungen nach IEC 60269-1 verwendet werden.

ANMERKUNG 1 Wird die Kondensatoreinheit in Parallelschaltung mit anderen Einheiten verwendet, sollte die Prüfung durchgeführt werden, indem eine entsprechende Kapazität parallel zur Quelle N geschaltet wird.

ANMERKUNG 2 Wenn die Kondensatoreinheit zu groß oder zu klein ist, um die Prüfparameter zu erfüllen, sollte die Prüfung nach Vereinbarung zwischen Hersteller und Käufer durchgeführt werden.

ANMERKUNG 3 Bei ungeschützten Kondensatoren wächst das Risiko einer Explosion mit der Dauer des Kurzschlussstromflusses.

Der Anwender kann theoretische Informationen angeben, während der Hersteller die I^2t -Kennlinie vorgeben kann; diese Information kann den Entwickler bei der Einschätzung des Explosionsrisikos unterstützen.

5.16.3 Prüffolge für Gleichstromkondensatoren

Die Prüfung ist an einer Kondensatoreinheit durchzuführen. Sofern vom Hersteller festgelegt, darf ein Kondensator verwendet werden, der die Lebensdauerprüfung bestanden hat. Der Grundsatz der Prüfung ist es, Ausfälle in einem oder mehreren Element(en) durch eine Gleichstromversorgung mit einem hohen Innenwiderstand zu bewirken und anschließend das Verhalten des Kondensators durch Anlegen einer hohen Gleichspannung mit einer überlagerten Wechselspannung oder, ersatzweise, durch Anlegen einer Wechsel- oder Gleichniederspannung mit geringem Innenwiderstand zu prüfen.

Der Ausfall von nicht selbstheilenden Kondensatoren mit internen Sicherungen darf nach den Verfahren in 5.17.4 bewirkt werden. Die Auswahl bleibt dem Hersteller überlassen.

Der Kondensator muss in einen Umluftofen eingebaut werden, dessen Temperatur der höchsten Umgebungslufttemperatur der Betriebstemperatur des Kondensators entspricht.

Wenn alle Kondensatorteile die Temperatur des Ofens angenommen haben, muss folgende Prüffolge mit der in Bild 1 angegebenen Schaltung durchgeführt werden: die Quelle N ist ein Gleichstromgenerator mit einer überlagerten Wechselspannung (Wechselspannungskomponente).

In Bild 2 ist ein Beispiel des Generators N angegeben.

Der Bemessungsstrom der Sicherung F darf nicht kleiner als $2 I_{\max}$ sein. Es müssen Sicherungen nach IEC 60269-1 verwendet werden. Anstelle der Sicherung in Bild 2 wird bei einem durch eine Überdruckfühleinrichtung geschützten Kondensator ein Leistungsschalter benutzt, der durch die Überdruckfühleinrichtung gesteuert wird.

- Mit den Wahlschaltern H und K in Stellung 1 bzw. „a“ wird die Wechselspannungsquelle N auf $1,3 U_{\text{NDC}}$ und $1,1 I_{\text{N}}$ eingestellt.
- Die Gleichspannungsquelle T wird auf den vom Hersteller angegebenen Wert eingestellt; Schalter H wird dann auf Stellung 2 gestellt.

- c) Schalter H wird in Stellung 3 gestellt und Schalter K auf Stellung „b“, um die Prüfgleichspannung T für eine bestimmte vom Hersteller angegebene Zeit an den Kondensator anzulegen.
- d) Schalter K wird dann wieder auf Stellung „a“ gestellt, um die überlagerte Prüfspannung N für eine Dauer von 5 min an den Kondensator anzulegen, während der Strom aufgezeichnet wird.

Folgende Zustände können eintreten:

- 1) Das Stromstärkemessgerät I und das Spannungsmessgerät U zeigen beide null an.
In diesem Fall muss die Sicherung oder der Zustand der Überspannungsfühleinrichtung überprüft werden. Wenn die Sicherung F durchgebrannt ist, muss sie ausgetauscht werden. Dann wird die Spannung N an den Kondensator angelegt, und wenn die Sicherung wieder durchbrennt oder die Überdruckfühleinrichtung anspricht, wird der Vorgang abgebrochen. Wenn die Sicherung F nicht durchbrennt oder die Überdruckfühleinrichtung nicht anspricht, wird der Vorgang fortgesetzt und die Spannungen T und N werden an den Kondensator angelegt, wie in den Punkten c) und d) beschrieben, wobei nur Schalter K benutzt wird.
- 2) Der vom Stromstärkemessgerät I angezeigte Strom ist null und das Spannungsmessgerät U zeigt $1,3 U_{NDC}$ an.
In diesem Fall wird das Verfahren abgebrochen und die Kapazität überprüft.
Wenn die Kapazität größer als null ist, wird der Vorgang nach den Punkten b), c) und d) fortgesetzt.
- 3) Der vom Stromstärkemessgerät I angezeigte Strom ist größer als null.
In diesem Fall wird der Vorgang wie in den Punkten b), c) und d) beschrieben fortgesetzt.

Wenn nach mehrfacher Wiederholung dieses Verfahrens die Restkapazität größer ist als 0 oder 10 % des Ursprungswertes im Fall von selbstheilenden Kondensatoren mit abgesicherter segmentierter Ausführung, darf ein weiterer Prüfling eingesetzt werden und/oder die Prüfspannung und die Prüfzeit dürfen erhöht werden oder die Einheit muss einem von außen zugeführten Überdruck ausgesetzt werden, bis der Abschalte oder die Überdruckfühleinrichtung angesprochen hat. Der Wert dieses Drucks muss vom Hersteller angegeben werden.

Wenn das Verfahren abgebrochen wird, wird der Kondensator auf Umgebungstemperatur abgekühlt und die Spannungsprüfung zwischen den Anschlussklemmen sowie Anschlussklemmen und Gehäuse wird nach 5.5 und 5.6 ausgeführt.

Bei Auslösung der Überdruckfühleinrichtung ist keine Spannungsprüfung zwischen den Anschlussklemmen erforderlich.

Wenn keine Einrichtung nach Bild 2 zur Verfügung steht, kann eine Quelle N nach Bild 3 verwendet werden. In diesem Fall wird von einer Diodenbrücke ein hoher Gleichstrom erzeugt. Die Gleichstrom- und Wechselstromgeneratoren müssen einstellbar sein.

5.16.3 a) muss wie folgt modifiziert werden: „Mit den Wahlschaltern H und K in Stellung 1 bzw. „a“ muss die Spannungsquelle N auf $1,3 U_N$ eingestellt werden.“

Der Kurzschlussstrom der Spannungsquelle N an den Kondensatoranschlüssen sollte größer als $5 I_{max}$ sein.