

## Sicherheitshinweise

### Allgemeine Sicherheitshinweise zur Verwendung von Starkstromkondensatoren

#### I. Geltungsbereich

Dieses Sicherheitsdatenblatt gilt für die im Folgenden genannten Starkstromkondensatoren und Normen. Damit soll der Stand der Technik, der im Regelfall bei allen einschlägigen Liefer- und Leistungsverträgen einzuhalten ist, beschrieben werden.

- Leistungskondensatoren für Blindstromkompensation (PFC) bis 1000 V  
IEC / DIN EN 60831 und 60931
- Leistungskondensatoren für Blindstromkompensation (PFC) über 1000 V  
IEC / DIN EN 60871
- Leistungskondensatoren für induktive Wärmeerzeugung (PFC)  
IEC / DIN EN 60110
- Kondensatoren für die Leistungselektronik (PEC)  
IEC / DIN EN 61071
- Kondensatoren für Bahnanwendungen (PEC)  
IEC / DIN EN 61881
- Leuchtenkondensatoren (AC)  
IEC / DIN EN 61048/49
- Motorkondensatoren (AC)  
IEC / DIN EN 60252
- Überspannungsschutzkondensatoren  
DIN VDE / 0560-3  
(derzeit keine gültige IEC)

#### II. Allgemeine Sicherheitsregeln

Starkstromkondensatoren sind elektrische Ladungsspeicher und deshalb stets mit Vorsicht zu handhaben. Sie können auch nach dem Abschalten über längere Zeiträume noch mit lebensgefährlich hohen Spannungen geladen sein. Gleiches gilt für alle Anlagenteile und Geräte, die in elektrisch leitender Verbindung zum Kondensator stehen. Grundsätzlich sind die allgemeinen Regeln der Elektrotechnik für den Umgang mit spannungsführenden Teilen in elektrischen Anlagen zu beachten.

#### III. Allgemeine Lager- und Einsatzbedingungen

- Grundsätzlich sind die Montage, Applikations- und Wartungshinweise des Herstellers und die einschlägigen Normen zu beachten.
- Kondensatoren dürfen zu keinem Zeitpunkt außerhalb der spezifizierten Temperaturbereiche gelagert oder eingesetzt werden.
- Kondensatoren dürfen nicht in korrosiver Atmosphäre gelagert oder betrieben werden, insbesondere dann nicht, wenn Chloride, Sulfide, Säuren, Laugen, Salze, organische Lösemittel oder ähnliche Substanzen auftreten.

- In staub- und schmutzgefährdeter Umgebung ist eine regelmäßige Kontrolle und Wartung, insbesondere der Anschlussklemmen und Isolatoren, unbedingt erforderlich um eine Kriechwegebildung zwischen potentialführenden Teilen untereinander und/oder zum Schutzleiter/Erde zu verhindern.
- Die im Datenblatt angegebenen maximalen Temperaturen (incl. Eigenerwärmung), Spannungen, Ströme, Leistungen, thermische Widerstände, Frequenzen, Entladezeiten und Schalthäufigkeiten sind einzuhalten.
- Für ausreichende Abführung der Verlustwärme (Belüftung, Kühlung) oder im Fehlerfall austretende Gase und Flüssigkeiten ist Sorge zu tragen. Geforderte Mindestabstände z. B. zu Wärmequellen sind einzuhalten.
- Angegebene Drehmomente für elektrische Anschlüsse und Befestigungselemente sind einzuhalten.
- Mechanisch oder elektrisch beschädigte, undichte oder anderweitig vorgeschädigte Kondensatoren dürfen nicht eingesetzt oder weiterverwendet werden.
- Vorhandene Schutzeinrichtungen der Kondensatoren dürfen nicht manipuliert, entfernt oder in ihrer Funktion beeinträchtigt werden.

## IV. Schutzeinrichtungen

- Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die bekannten internen Schutzeinrichtungen:

Schutzeinrichtung / Schutzmechanismus	Anwendungsbereich		
	PEC	PFC	AC
Ohne Schutzeinrichtung	X		
Ausschließlich Selbstheilung <sup>1)</sup>	X	X	X
Einzelnen oder in Kombination			
Verbesserte Selbstheilung <sup>2)</sup>	X		
Überdruckunterbrecher	X	X	X
Überdruckschalter	X	X	X
Überdruckventil	X	X	
Verstärktes Gehäuse	X	X	
Segmentierter Film	X	X	X
Wickelsicherung		X	X

Tabelle 1: Überblick über die bekannten internen Schutzeinrichtungen und Anwendungsbereiche

1) Selbstheilung kennzeichnet die Kondensatorstechnologie. Selbstheilfähigkeit stellt noch keinen Schutzmechanismus dar!

2) Verbesserte Selbstheilung als Schutzmechanismus setzt voraus, dass die Schutzfunktion in einem gesonderten Test praktisch nachgewiesen wurde. Allerdings stellt auch eine verbesserte Selbstheilung keine z.B. mit einem Überdruckschalter vergleichbare Schutzeinrichtung dar, sondern reduziert lediglich signifikant die Ausfallwahrscheinlichkeit.

- Interne Schutzeinrichtungen bieten einen Basisschutz bei bestimmten inneren Fehlern, Alterungserscheinungen und Überlastfällen. Vorhandene Schutzeinrichtungen der Kondensatoren dürfen nicht manipuliert, entfernt oder in ihrer Funktion beeinträchtigt werden.
- Interne Schutzeinrichtungen sind allein nicht ausreichend, um alle im Fehlerfall denkbare Gefahren abzuwenden. Die so genannte Selbstheilfähigkeit darf nicht mit Ausfallsicherheit gleichgesetzt werden.
- Die meisten internen Schutzeinrichtungen können die Spannung nur innerhalb des Kondensators unterbrechen. Sie sind keine Sicherungen im klassischen Sinne wie Leitungs- oder Geräteschutzsicherungen, die die Spannung vor dem fehlerhaften Anlagenteil unterbrechen.
- Es ist empfehlenswert interne Schutzeinrichtungen durch externe Schutzeinrichtung zu ergänzen wie z. B.:
  - Kurzschlusschutz durch Sicherungen oder Leistungsschalter / Schutzrelais
  - Überlastschutz für Grund- und Oberschwingungen mittels Strommessung
  - Unsymmetrieschutz
  - Temperaturüberwachung

- Schutzeinrichtungen unterliegen, abhängig vom Schutzmechanismus, technischen und funktionellen Grenzen, deren Überschreitung zwangsläufig zu Fehlern führt. Solche Überschreitungen können sein: Übertemperatur, Überspannung, falsche Applikation, falsche Installation, mangelhafte Wartung, mechanische Beschädigung, Betrieb außerhalb der technischen Grenzen der Spezifikation.

## V. Risikofaktoren für den Kondensator

Die Risikofaktoren, die am häufigsten zu Kondensatorschäden und möglicherweise auch zum Versagen der internen Schutzeinrichtungen führen, sind:

- Überschreiten der zulässigen Temperatur an der Kondensatoroberfläche (jede Temperaturerhöhung von 7° K halbiert die Lebenserwartung).
- Spannungserhöhungen, Überströme und hohe Einschaltströme, auch wenn sie nur kurzzeitig oder periodisch auftreten (eine dauerhafte Erhöhung der Betriebsspannung des Kondensators von 8 Prozent halbiert die Lebenserwartung).
- Netzüberschwingungen, Anregung von Resonanzen durch Oberschwingungen oder Flicker, auch wenn sie nur kurzzeitig oder periodisch auftreten.  
Alterungserscheinungen an Leuchtmitteln und damit verbundene Übertemperatur oder hohe UV-Belastung  
Ausfall anderer Bauelemente in einer gemeinsamen Schaltung und damit verbundene Überspannungen oder Überströme.
- Wechselwirkungen mit anderen Blindleistungselementen, auch parasitären Kapazitäten (Kabel) oder Induktivitäten, in gemeinsamen Schaltungen.
- Die bestandene Prüfung nach Kondensatornorm garantiert keine umfassende Sicherheit gegen Überlastungsmöglichkeiten.
  - Teilweise besteht für Kondensatoren ohne Schutzeinrichtungen der Kundenwunsch nach Sonderprüfungen mit extremen Überspannungen und Temperaturen zum Nachweis der Sicherheit.
  - Solche zusätzlichen, „Zerstörungsprüfungen“ genannten Tests, an selbstheilenden PEC-Kondensatoren ohne Schutzeinrichtung (unprotected) sind nicht IEC-konform und untauglich das Gefährdungspotential solcher Kondensatoren, bzw. deren Verhalten im Fehlerfall, zu bewerten.
  - Stattdessen sollten kritische Zustände von PEC-Kondensatoren, welche zum Ausfall führen könnten, z. B. durch eine geeignete Überwachung (Strom/Spannung/Temperatur) innerhalb der Anwendung erkannt werden.
- Beim Betrieb bestimmter thyristorgeschalteter Kondensatoranlagen können an den Kondensatoren nicht eingeschalteter Kompensationsstufen dauerhaft hohe Gleichspannungen auftreten. Diese DC-Spannungen sind bei der Auslegung der Kondensatoren sowie deren Entladeeinrichtungen zu berücksichtigen.

## VI. Risiken im Fehlerfall

- Starkstromkondensatoren können aufgrund ihrer gespeicherten Energie und/oder ihrer Eigenschaften beim Betrieb in Netzen mit hohen Kurzschlussleistungen im Fehlerfall ein erhebliches Risiko darstellen.
  - Der Einsatz von immer größeren Kondensatoren, wie z.B. in Multilevel-HGÜ-Anwendungen (HGÜ: Hochspannungs- Gleichstrom-Übertragung), welche hinsichtlich Größe, Anordnung und Anzahl von Kondensatoren besonders herausragen, bergen besondere Gefahren.
  - Für Energieinhalte von mehr als 30 kJ pro Kondensatoreinheit ist im Fehlerfall bei einer unkontrollierten Freisetzung dieser Energie von einer Potenzierung des Risikos auszugehen. Dies führt bei Anlagen mit mehreren Kondensatoreinheiten durch mögliche Lawineneffekte zu einem zusätzlichen Gefährdungspotenzial.
- Starkstromkondensatoren können bei fehlenden, falsch dimensionierten oder versagenden internen oder externen Schutzeinrichtungen aktiv ausfallen. Sie können platzen, brennen oder im Extremfall explodieren.
- Im Schadensfall austretende Gase (z. B. Kohlenwasserstoffe als Zersetzungsprodukte der eingesetzten organischen Isoliermaterialien) sind brennbar und können explosive Gemische ergeben. Das gilt auch für die aus internen Schutzeinrichtungen (Überdruckventil) austretenden Gase.
- Die Brandlast eines Starkstromkondensators beträgt ca. 40 MJ/kg. Dabei ist zu beachten, dass abhängig von der Größe und bezogen auf die Gesamtmasse des Kondensators bei kleinen Baugrößen etwa 55 Prozent und bei großen maximal 75 Prozent aus brennbaren Materialien bestehen.

## VII. Risikominimierung

- Der Kondensatorhersteller kann nicht alle Belastungsmöglichkeiten eines Starkstromkondensators voraussehen und in der Konstruktion berücksichtigen. Hier trägt der Anwender entscheidende Mitverantwortung. Schon deshalb sollten bei der Kondensatorauswahl Sicherheit und Qualität an erster Stelle stehen. Deshalb ist dringend zu empfehlen, Kondensatoren mit entsprechenden internen Schutzeinrichtungen einzusetzen.
- Kondensatoren sind im Vorfeld der Anwendung auf ihre Eignung für den vorgesehenen Einsatzfall zu prüfen. Das gilt insbesondere dann, wenn der Kondensator durch seine räumliche Nähe zu Personen ein besonderes Gefährdungspotential aufweist, wie dies z.B. bei Traktionsanwendungen immer der Fall ist. In diesem Fall sind stets Kondensatoren mit Schutzrichtungen bevorzugt zu verwenden. Bei der Risikobewertung / Eignungsprüfung sind alle Einflüsse (Parameter) zu berücksichtigen. Das schließt auch mögliche Produktionsfehler des Kondensators und deren Auswirkungen auf die Sicherheit in der Anwendung mit ein. Die bedenkenlose Übernahme des Kondensators in eine Anwendung ohne konkrete Risikobewertung kann schwerwiegende Folgen für die Anlagensicherheit haben.
- Besonders bei sensiblen Anwendungen müssen die internen Schutzeinrichtungen der Kondensatoren vom Anwender durch geeignete externe Schutzmaßnahmen ergänzt werden. Externe Schutzmaßnahmen sind beim Einsatz von Kondensatoren ohne interne Schutzeinrichtungen sogar zwingend erforderlich.
- Grundsätzlich ist beim Einsatz von Leistungskondensatoren durch geeignete Maßnahmen dafür zu sorgen, dass sowohl im Betriebs-, als auch im Schadensfall keine Gefahren für Menschen, Tiere und Sachen entstehen. Dies gilt für Kondensatoren ohne und mit Schutzeinrichtungen. Dazu sind eine regelmäßige, fachgerechte Prüfung und Wartung erforderlich.
- Die im ZVEI organisierten Starkstromkondensatorhersteller sind gerne bereit, den Anwender schon im Vorfeld des Einsatzes zu beraten und konkrete Anwendungsempfehlungen zu geben sowie Serviceleistungen anzubieten.

### Kontakt

Dr. Marcus Dietrich • Geschäftsführer Fachverband Power Capacitors and Power Quality •  
Tel.: +49 69 6302462 • Mobil: +49 162 2664928 • E-Mail: marcus.dietrich@zvei.org

ZVEI e. V. • Verband der Elektro- und Digitalindustrie • Lyoner Straße 9 • 60528 Frankfurt am Main  
Lobbyregisternr.: R002101 • EU Transparenzregister ID: 94770746469-09 • www.zvei.org

Datum: 16.03.2023