



ELECTRONICON[®]
always in charge



**CAPACITORS
FOR POWER ELECTRONICS**
KONDENSATOREN FÜR DIE LEISTUNGSELEKTRONIK

www.electronicon.com Issue 03/2013



E57 / E59 / SR17™ AC AND DC CAPACITORS WITH LARGE CAPACITANCES



STANDARD OR SPECIAL - YOUR CHOICE

ELECTRONICON
always in charge

www.electronicon.com Issue 04/2013



DC CAPACITORS
DC KONDENSATOREN



ELECTRONICON
always in charge

www.electronicon.com Issue 05/2013



E51/E53/E55 AC/DC FILM CAPACITORS



HIGH VOLTAGES, HEAVY CURRENTS, AND LOW INDUCTANCE.

ELECTRONICON
always in charge

CAPACITORS FOR POWER ELECTRONICS

www.electronicon.com Issue 05/2013



DC CAPACITORS



HERMETICAL CASE WITH AUTONOMOUS SAFETY MECHANISM

ELECTRONICON
always in charge

www.electronicon.com Issue 03/2014



E62-3ph and 3HF HEAVY DUTY THREE PHASE AC FILTER CAPACITORS



HIGH-END FOR THE HEART OF YOUR AC FILTER

ELECTRONICON
always in charge

www.electronicon.com



E62 AND E64 HEAVY DUTY AC CAPACITORS



THE PERFECT CHOICE FOR YOUR AC/DC APPLICATION

ELECTRONICON
always in charge

COMPONENTS FOR POWER FACTOR CORRECTION

www.electronicon.com Issue 04/2014



KEY COMPONENTS FOR POWER FACTOR CORRECTION IN 50Hz MAINS



FACTORY MATCHED TO OPERATE IN PERFECT HARMONY

ELECTRONICON
always in charge

www.electronicon.com



MSD™ FKO-MV™ DSC™ MEDIUM VOLTAGE CAPACITORS AND REACTORS



THE ECO-FRIENDLY ALTERNATIVE

ELECTRONICON
always in charge

ELECTRONICON
always in charge



CAPACITORS FOR POWER ELECTRONICS
KONDENSATOREN FÜR DIE LEISTUNGSELEKTRONIK

CAPACITORS FOR POWER ELECTRONICS

KONDENSATOREN FÜR DIE LEISTUNGSELEKTRONIK

ELECTRONICON KONDENSATOREN GMBH GERA • GERMANY

TABLE OF CONTENTS

FIELDS OF APPLICATION	6
DESIGN PRINCIPLES, SELECTION CRITERIA	12
GENERAL REMARKS	12
INTERNAL CONSTRUCTION	14
Dielectric – Impregnants	
SAFE OPERATION	16
Self-Healing Dielectric – Protection Against Accidental Contact / Overvoltages / Overload (BAM, Pressure switch, Relief valves)	
DEFINITIONS AND SELECTION CRITERIA	20
CLIMATIC CONDITIONS	27
LIFETIME AND FIT-RATE	30
TESTING CAPACITORS	36
Measurement and Monitoring of the Capacitor Temperature – PT100 – Thermocouples – Partial Discharge Tests – Instructions for Acceptance Tests and Inspection	
SELECTING CAPACITORS	48
SELECTION GUIDE	50
A. Capacitor for an AC application	51
B. Capacitor for a DC link application	54
C. Pulse Discharge Capacitor	58
D. AC Filter capacitor	62
INSTALLING AND USING CAPACITORS	68
Mounting Position – Mounting Location/Cooling – Vibration – Stress – Connection – Fixing Torque – Discharge – Earthing – Environment for Storage and Operation – Environmental Compatibility – Disposal	
ANNEX	78
ZVEI-Safety Data Sheet – Certificates – Packing Details – Conversion Charts	

ANWENDUNGSBEREICHE	6
DESIGN-GRUNDLAGEN, AUSWAHLKRITERIEN	12
ALLGEMEINE HINWEISE	12
INNERER AUFBAU	14
Dielektrikum – Füllstoffe	
BETRIEBSSICHERHEIT	16
Selbstheilendes Dielektrikum – Berührungssicherheit – Schutz gegen Überspannungen / Überlastung (BAM, Druckschalter, Überdruckventil)	
BEGRIFFE UND AUSWAHLKRITERIEN	20
FEUCHTEKLASSEN	27
LEBENSDAUER UND FIT-RATE	30
KONDENSATOREN PRÜFEN	36
Messung und Überwachung der Kondensatortemperatur – PT100 – Thermoelemente – Teilentladungsprüfungen – Hinweise für Freigabetests und Wareneingangsprüfung	
KONDENSATOREN AUSWÄHLEN	48
BERECHNUNGSBEISPIELE	50
A. Wechselspannungskondensator	51
B. Zwischenkreiskondensator	54
C. Pulsentladekondensator	58
D. Kondensator für Wechselspannungsfilter	62
KONDENSATOREN EINBAUEN UND BETREIBEN	68
Einbaulage – Einbauort/Kühlung – Schwingungsbelastung – Anschluss – Anzugs-Drehmomente – Entladung – Erdung – Umgebung für Lagerung und Betrieb – Umweltverträglichkeit – Entsorgung	
ANHANG	78
ZVEI- Sicherheitshinweise – Zertifikate – Verpackungsdaten – Umrechnungstabellen	

FIELDS OF APPLICATION ANWENDUNGSBEREICHE

Capacitors for power electronics can be used for a wide variety of applications, even where extremely non-sinusoidal voltages and pulsed currents are present.

Both AC and DC capacitors are available. AC capacitors are periodically recharged during operation, DC capacitors are periodically charged and discharged without recharge.

AC CAPACITORS serve as damping or snubber capacitors connected in series with a resistor, and are designed for the damping of undesirable voltage spikes caused by the so-called carrier storage effect during the switching of power semiconductors. When applied as commutation capacitors, they are switched in parallel to a thyristor and designed to quench its conductive state. Since commutating capacitors are periodically and abruptly recharged, the peak current will substantially exceed the rms value.

Further, AC capacitors are used in low-detuned or close-tuned filter circuits for filtering or absorbing harmonics.

As pulse discharge capacitors, they are useful in applications with reversing voltages, e.g. in magnetizing equipment.

Series E62, E62-3ph, E53, E54, E65, E93, 275, 276, E90 have been designed primarily for AC use. Further, specially adapted capacitors from the E51, E60, E56 and E59 ranges are available for AC applications on request.

The scope of application for **DC CAPACITORS** is similarly diverse:

Smoothing capacitors serve for the reduction of the AC component of fluctuating DC voltage, e.g., in power supplies in radio and television technology (transmitters) high-voltage testing equipment, DC controllers, measurement and control technology, cascaded circuits for generation of high DC voltage a.m.o. Supporting capacitors, DC-Filter or DC link capacitors are used for energy storage in intermediate DC circuits, e.g. in frequency converters for poly-phase drives, transistor and thyristor converters. They must be able to absorb and release very high currents within short periods, the peak value of the current being substantially greater than the rms value.

Surge (Pulse) discharge capacitors are also capable of supplying or absorbing extreme short-time current surges. They are usually operated in discharge applications with non-reversing voltages, and at low repetition frequencies, e.g. in laser technology and lightning generators.

Practically all our single phase capacitors can be used in DC applications.

Kondensatoren für die Leistungselektronik sind universell einsetzbare Kondensatoren, die auch mit stark von der Sinusform abweichenden Spannungen und mit impulsförmigen Strömen betrieben werden können. Wechselspannungskondensatoren werden im Betrieb periodisch umgeladen, Gleichspannungskondensatoren werden periodisch aufgeladen und entladen, wobei keine Umladung erfolgt.

WECHSELSPANNUNGSKONDENSATOREN dienen unter anderem als Bedämpfungskondensatoren, in Reihe mit einem ohmschen Widerstand, zur Dämpfung von Spannungsspitzen, die beim Abschalten von Leistungshalbleitern durch den sogenannten Trägerstauereffekt entstehen. In der Anwendung als Kommutierungskondensatoren werden sie zum Löschen des leitenden Zustandes eines Thyristors benutzt, indem sie durch Parallelschalten zum Thyristor den Strom kurzzeitig übernehmen. Bei der periodischen stoßartigen Umladung können die Stromscheitelwerte dabei wesentlich höher als die Effektivwerte sein.

Desweiteren finden Wechselspannungskondensatoren Anwendung in abgestimmten oder verstimmt Filterkreisen zur Filterung oder gezielten Absaugung von Oberwellen. Als Stoßentladekondensatoren werden sie in Anwendungen mit durchschwingender Spannungskurve eingesetzt, z. B. in Magnetisierungsanlagen.

Für Wechselspannungsanwendungen sind v.a. die Reihen E62, E62-3ph, E53, E54, E65, E93, 275, 276, E90 ausgelegt. Speziell angepasste Ausführungen in den Reihen E51, E60, E56 und E59 sind auf Anfrage ebenfalls erhältlich.

Der Anwendungsbereich für **GLEICHSPANNUNGSKONDENSATOREN** ist ebenso weit gefächert: Als Glättungskondensatoren dienen sie der Verringerung des Wechselspannungsanteils pulsierender Gleichspannung, zum Beispiel in Stromversorgungen der Rundfunk- und Fernseh-technik (Sender), Hochspannungs-Prüfgeräten, Gleichspannungsreglern, in der Mess- und Regeltechnik, in Kaskadenschaltungen zur Erzeugung hoher Gleichspannung, u.v.a. Stütz-, Gleichspannungsfiler- oder Zwischenkreiskondensatoren werden eingesetzt als Energiespeicher in Gleichspannungszwischenkreisen, z.B. in Frequenzumrichtern von Drehstromantrieben, Transistor- und Thyristorumrichtern. Dabei müssen sie kurzzeitig sehr hohe Ströme abgeben und aufnehmen können.

Auch Stoßentladekondensatoren sind in der Lage, kurzzeitig starke Stoßströme abzugeben; sie werden vor allem bei Entladevorgängen mit nicht durchschwingendem Spannungsverlauf eingesetzt, und meist mit niedrigen Folgefrequenzen betrieben, z.B. in der Lasertechnik und in Blitzgeneratoren.

Praktisch alle unsere einphasigen Kondensatoren sind für den Einsatz in Gleichspannungsanwendungen geeignet.

A close-up photograph showing a person's hand operating a digital torque wrench. The wrench has a black handle with a red digital display and several orange buttons labeled with letters (L, C, M, H, T, Z). The silver-colored shaft of the wrench is inserted into a hexagonal bolt. This bolt is part of a larger assembly consisting of a copper plate with several holes, mounted on a grey base. Other similar bolts and copper plates are visible in the background, suggesting an industrial or laboratory setting. A teal-colored text box is overlaid on the right side of the image.

FIELDS OF APPLICATION

ANWENDUNGSBEREICHE

APPLICATION MATRIX ANWENDUNGSMATRIX



Fields of application Anwendungsgebiete		E50 DC	E51 AC/DC	E53 E55 AC/DC
Transportation Transport	traction converters Bahnrichter	✓		✓
	auxiliary converters Hilfsumrichter	✓		
	railway substations Bahnstromumformer			
	urban transport städtischer Nahverkehr	✓		✓
	hybrid drives Hybridantriebe	✓		
	e-mobility/charging infrastructure E-Mobilität/Ladeinfrastruktur			
	cranes Kräne	✓		
	aviation Flugzeugbau			
	shipbuilding Schiffbau			
Electrical drives elektrische Antriebe	elevators Aufzüge	✓		✓
	pumps, ventilation, asynchronous motors Pumpen, Ventilatoren, Asynchr.mot.			
	frequency controlled drives frequenzgesteuerte Antriebe	✓		
Energetics Energietechnik	power factor correction Blindleistungskompensation			
	active harmonic filters Aktivfilter	✓		
	passive harmonic filters Saugkreise			
	wind power generators Windgeneratoren	✓		
	solar inverters Solarwechselrichter	✓		✓
	generators Generatoren		✓	
	HVDC HGÜ		✓	
	energy storage Energiepufferung	✓		
	medium voltage converters Mittelspannungsumrichter		✓	
Industry Industrie	welding equipment Schweißgeräte	✓		✓
	induction heating 50/60Hz Induktionserwärmung 50/60Hz			✓
	rectifiers Gleichrichter	✓	✓	
	pulse generators Pulsgeneratoren			✓
	high/medium frequency generators Hoch-/Mittelfrequenz-Generatoren			
	magnetizing equipment Magnetisiergeräte	✓	✓	
	filters (broadband, line, sinus) Filter (Breitband-, Sinus-, Netz-)			
	HV test and measuring equipment Hochspannungsprüf- und -meßtechnik		✓	✓
Power supplies Stromversorg.	UPS, standby power supplies USV, Standby-Stromversorgungen	✓		✓
Medical engineering Medizintechnik	X-ray Röntgen	✓	✓	✓
	laser	✓	✓	
	MRT			✓
	defibrillators Defibrillatoren			
Lighting Lichttechnik	fluorescent/gas discharge lighting Leuchtstoff-/Gasentladungslampen			
	flash light generators Blitzlichtgeneratoren			
Household appl. Hausgeräte				



E54 AC	E56 E59 AC/DC	E57 DC	E60 E67 DC	E61 E80 DC	E62 E65 AC	E62-3ph E65-3ph AC	E62-3HF AC	E63 DC	E64 AC	E70 AC	E90 AC	275...280 AC
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓				
✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓					
	✓	✓	✓	✓								
		✓	✓	✓								
	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
		✓	✓	✓	✓			✓	✓			
✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓			✓
			✓	✓	✓	✓						
			✓	✓	✓	✓	✓		✓			
	✓		✓	✓	✓	✓						
					✓	✓	✓				✓	✓
	✓		✓	✓	✓	✓	✓				✓	✓
	✓		✓		✓	✓	✓					✓
✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓					
✓	✓											
✓	✓		✓									
✓	✓				✓	✓	✓					
	✓		✓	✓	✓	✓						
	✓	✓	✓	✓								
	✓		✓	✓								
	✓				✓	✓	✓					✓
✓	✓			✓	✓	✓	✓		✓		✓	
			✓	✓	✓	✓		✓	✓			
	✓	✓	✓	✓				✓				
			✓	✓								
✓				✓								
					✓			✓	✓			
									✓			
									✓			
									✓			



2. b. $444 \mu F$

+3000V

0

$U_q = 600V$
 $U_{em} = 21V$



APPLICATION NOTES AND SELECTION GUIDE

ANWENDUNGSHINWEISE UND BERECHNUNGSBEISPIELE

General Remarks

Our catalogues and data sheets outline the typical technical and mechanical characteristics of the described capacitor. The stated values are based on reference type tests, as well as empirical and experimental experience. The real values of individual capacitors may differ within the stated, or commonly known, tolerances. Any information given in our catalogues or data sheets therefore describes the component in general terms and does not constitute any guarantee of individual technical values.

Custom-made capacitors are designed to the best of our knowledge, based on the specifications and additional information received from the customer. The phrase "According to customer specification" means that such custom-designed capacitors are based on the parameters of the specification with the exception of deviations declared officially by Electronicon in writing (e.g. Clause-by-Clause protocol, CbC). ELECTRONICON cannot be held responsible for failures arising out of operation under circumstances unknown at the time of electrical design and construction.

It is the responsibility of the user to ensure the suitability and safety of operation of our components under the specific conditions of his application by dedicated tests.

Safe operation of the capacitors can be expected only if all safety recommendations as well as electrical and thermal specifications as stated on the label, in the data sheets, catalogues and the accompanying mounting instructions are strictly observed, and recommended safety devices are used as intended. Please consider the "General Safety Recommendations" of the power capacitor manufacturers organized in the German ZVEI (see pgs. 80ff, or <https://www.electronicon.com/en/downloads/application-notes-and-general-information>).

ELECTRONICON cannot accept responsibility for whatever damage may arise out of a non-observance.

The terms and abbreviations used in this brochure are based mainly on the actual standard for power electronics capacitors, IEC 61071, however, minor deviations may occur.

Allgemeine Anmerkungen

Unsere Kataloge und Datenblätter beschreiben die typischen technischen und mechanischen Eigenschaften des jeweiligen Kondensators. Die angegebenen Werte basieren auf Referenztests sowie auf empirischen und experimentellen Erfahrungen. Die tatsächlichen Werte der einzelnen Kondensatoren können innerhalb der angegebenen oder allgemein üblichen Toleranzen abweichen. Alle Informationen in unseren Katalogen und Datenblättern beschreiben daher das Bauteil in allgemeiner Form und stellen keine Garantie für einzelne technische Werte dar.

Maßgeschneiderte Kondensatoren werden nach bestem Wissen auf Grundlage der Spezifikationen und Zusatzinformationen des Kunden entwickelt; das heißt, dass solche Kondensatoren die Parameter der Spezifikation erfüllen mit Ausnahme jener Abweichungen, die offiziell von ELECTRONICON in schriftlicher Form (z. B. in einem Punkt-für-Punkt-Protokoll, "CbC") deklariert wurden.

ELECTRONICON kann keine Verantwortung für Ausfälle übernehmen, die sich aus einem Betrieb unter Verhältnissen ergeben, die zum Zeitpunkt von elektrischem Design und Konstruktion unbekannt waren.

Es liegt in der Verantwortung des Verwenders, durch spezielle Tests die Eignung und Betriebssicherheit unserer Komponenten unter den konkreten Einsatzbedingungen seiner Anwendung sicherzustellen.

Ein sicherer Betrieb der Kondensatoren ist nur dann zu erwarten, wenn alle Sicherheitsempfehlungen sowie die auf dem Etikett, in den Datenblättern, Katalogen und den begleitenden Montageanleitungen angegebenen elektrischen und thermischen Grenzwerte eingehalten und die empfohlenen Sicherheitseinrichtungen bestimmungsgemäß verwendet werden. Bitte beachten Sie die "Allgemeinen Sicherheitsempfehlungen" der im deutschen ZVEI organisierten Hersteller von Leistungskondensatoren (siehe Seiten 84ff, oder <https://www.electronicon.com/de/downloads/application-notes-and-general-information>).

ELECTRONICON übernimmt keine Haftung für Schäden, die sich aus einer Nichtbeachtung ergeben.

Die in diesem Heft verwendeten Begriffe und Abkürzungen orientieren sich - mit geringfügigen Abweichungen - weitestgehend an der gültigen Norm für Kondensatoren der Leistungselektronik, IEC 61071.

DEUTSCHE NORM

DIN EN 61881-1
(VDE 0115-430-1)

Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und

Design Principles, Criteria for Selection

Designgrundlagen, Auswahlkriterien

DEUTSCHE NORM

DIN EN 61071
(VDE 0560-120)

Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach dem beschlossenen Genehmigungsverfahren in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und ist gegeben worden.

erbetriebliche 7

Januar 200

IEC 610

Edition 2



INTERNATIONAL
STANDARD

NORME
INTERNATIONALE

1:2
amande

capacitors for power electronic
pour électro

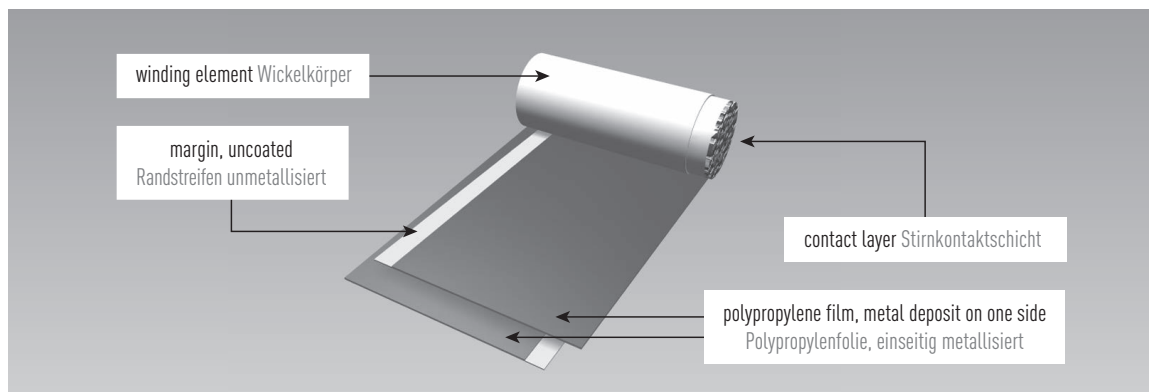
Dielectric



MKP-type capacitors are based on a low-loss dielectric formed by pure polypropylene film. A thin self-healing mixture of zinc and aluminium is metallized under vacuum directly onto one side of the PP-film. In some cases, additional unmetallized layers are added between the metallized ones (MKPi).

Dielektrikum

Kondensatoren in MKP-Technologie basieren auf verlustarmem Dielektrikum aus reiner Polypropylenfolie. Eine selbstheilende Mischung aus Zink und Aluminium wird unter Vakuum direkt auf eine Seite der Polypropylenfolie aufgedampft. Bei zweilagigem Aufbau werden zwischen den metallisierten Bahnen zusätzlich unmetallisierte Bahnen angeordnet (MKPi).



The plastic film is wound into stable cylindrical windings on the most modern automated equipment. The ends of the capacitor windings are contacted by spraying with a metal contact layer, facilitating a high current load and ensuring a low-inductance connection between the terminals and windings.

Die auf modernsten Maschinen hergestellten zylindrischen Wickel werden an beiden Enden durch Aufsprühen einer Metallschicht kontaktiert. Hierdurch wird eine hohe Strombelastbarkeit sowie eine niederinduktive Verbindung zwischen den Anschlüssen und den Wickeln garantiert.

Our long-term experience as well as on-going research and improvements in this technology ensure the excellent self-healing characteristics of the dielectric and a long operating life of our capacitors.

Langjährige Erfahrung, ständige Forschungen und eine stetige Weiterentwicklung dieser Technologie sind Grundlage für die lange Betriebsdauer und die guten Selbstheilungseigenschaften unserer Kondensatoren.



The link between PP-film and zinc contact layer is highly stressed during high surge or rms currents and therefore considered very critical for the operating life and reliability of the capacitor. By cutting the film for heavy-duty applications in a wavelike manner, our well-proven SineCut™-technology increases the contact surface between film and zinc layer and reduces this strain substantially.

Die Verbindung zwischen Folie und Stirnkontaktschicht wird bei hohen Stoß- und Effektivströmen außerordentlich hoch belastet und gilt als besonders kritisch für Lebensdauer und Funktionssicherheit des Kondensators. Für anspruchsvolle Anwendungen reduzieren wir diese Belastung mit unserem bewährten SineCut™-Verfahren, indem wir durch wellenförmiges Schneiden der Folienbahnen die Auflagefläche der Stirnkontaktschicht deutlich vergrößern.

INTERNAL CONSTRUCTION INNERER AUFBAU

Impregnants

The use of filling materials in capacitors is necessary in order to shield the capacitor electrodes from oxygen, humidity, and other environmental interference. Without such protection, the metal coating would corrode, an increasing number of partial discharge effects would occur, the capacitor would lose more and more of its capacitance, and suffer increased dielectric losses and a reduced operating life.

Therefore, an elaborate vacuum-drying procedure is initiated immediately after insertion of the winding elements into the capacitor case and biologically degradable plant oil, solid PUR resin or inert insulation gas are introduced. That protects the winding from environmental influence and provides an extended life-expectancy and stable capacitance.

ELECTRONICON does not use any impregnants or fillers which cause harm to the environment, such as PCB or SF₆.

Füllstoffe

Die Verwendung von Füllstoffen ist unerlässlich, um die Elektroden des Kondensators vor Sauerstoff, Feuchtigkeit und anderen Umwelteinflüssen abzusichern. Ohne einen solchen Schutz würden die Metallbeläge korrodieren und Teilentladungseffekte zunehmen. Stetiger Kapazitätsabbau, steigende dielektrische Verluste und eine verkürzte Lebensdauer wären die Folge.

Nach dem Einbau der Wickel in das Kondensatorgehäuse und sorgfältiger Vakuumtrocknung wird dieses daher mit biologisch abbaubarem Pflanzenöl bzw. aushärtendem Polyurethanharz oder mit neutralem Isoliergas aufgefüllt. Das schützt den Wickel vor Umwelteinflüssen und verhilft dem Kondensator zu einer langen Lebensdauer und stabiler Kapazität.

ELECTRONICON verwendet keine Füllstoffe mit umweltschädigenden Bestandteilen, wie z.B. PCB oder das Isoliergas SF₆.



SAFE OPERATION BETRIEBSSICHERHEIT

Protection Against Overvoltages and Short Circuits: Self-Healing Dielectric



All dielectric structures used in our capacitors are "self-healing": In the event of a voltage breakdown the metal layers around the breakdown channel are evaporated by the temperature of the electric arc that forms between the electrodes. The evaporated metal particles are removed within a few microseconds and pushed away from the breakdown spot by the pressure generated in the centre of the breakdown. An insulation area is formed which is reliably resistive and voltage proof for all operating requirements of the capacitor. The capacitor remains fully functional during and after the breakdown.

Schutz gegen Überspannungen und Kurzschlüsse: Selbstheilendes Dielektrikum

Alle in unseren Kondensatoren eingesetzten dielektrischen Strukturen sind selbstheilend. Im Falle eines Kurzschlusses (Spannungsdurchschlag) verdampfen die Metallbeläge um den Durchschlagspunkt herum infolge des Lichtbogens, der sich zwischen den Elektroden bildet. Innerhalb weniger Mikrosekunden wird der Metaldampf durch den beim Durchschlag entstehenden Überdruck vom Zentrum des Durchschlages weggedrückt. Auf diese Weise bildet sich eine belagfreie Zone rings um den Durchschlagspunkt, wodurch dieser vollständig isoliert wird. Der Kondensator bleibt während und nach dem Durchschlag voll funktionsfähig.

Self-healing breakdown
selbstheilender Durchschlag



Protection Against Accidental Contact

All capacitors are checked by a routine voltage test between shorted terminations and case with a voltage which corresponds at least to the levels specified by IEC 61071.

Accessible capacitors must be earthed at the bottom stud or with an additional earthing clamp.



The CAPA**GRIP**™ terminal block of designs K, L and M (1/3) is rated IP20, i.e. it is protected against accidental finger contact with live parts. CAPA**FIX** terminals can be shielded by a snap-on cover. All other capacitors are not explicitly protected against accidental contact.

Berührungssicherheit

Alle Kondensatoren werden 100%ig der Isolationsprüfung zwischen kurzgeschlossenen Anschlüssen und Gehäuse mit einer Prüfspannung unterzogen, welche mindestens den Werten nach IEC 61071 entspricht. Trotzdem sind zugängliche Kondensatoren mittels des Bodenbolzens oder einer Metallschelle zu erden.

Das CAPA**GRIP**™ Anschlusselement der Bauformen K, L und M (1/3) weist den Schutzgrad IP20 auf; es ist vor Fingerkontakt mit spannungsführenden Teilen geschützt. CAPA**FIX**-Klemmen können mit einer aufsteckbaren Abdeckung versehen werden. Alle anderen Anschlussarten sind nicht explizit berührungsgeschützt.

Protection Against Overvoltages and External Short Circuits

As shown above, the capacitors are self-healing and regenerate themselves after breakdowns of the dielectric. For voltages within the permitted testing and operating maximum the capacitors are overvoltage-proof. They are also proof against external short circuits so long as the resulting surge discharges do not exceed the specified current limits (I_s).

Sicherheit bei Überspannungen und äußeren Kurzschlüssen

Die Kondensatoren sind aufgrund des oben beschriebenen Aufbaus überspannungsfest. Sie regenerieren sich nach einem Durchschlag im Dielektrikum selbst, sofern die zulässigen Prüf- und Betriebsspannungen nicht überschritten werden. Sie sind außerdem sicher gegen äußere Kurzschlüsse, sofern bei den dabei entstehenden Stoßentladungen die zugelassenen Grenzströme (I_s) nicht überschritten werden.

$1.1 \times U_n$	30% of the service period der Betriebszeit
$1.15 \times U_n$	30 min/d
$1.2 \times U_n$	5 min/d
$1.3 \times U_n$	1 min/d
$1.5 \times U_n$	100 ms¹ no more than 1000 times max. 1000 mal

Permitted Overvoltages acc. to IEC 61071 (¹exceeding the IEC rating)
Zulässige Überspannungen nach IEC 61071 (¹länger als IEC-Wert)

Protection Against Overload and Failure at the End of Useful Service Life

In the event of overvoltage or thermal overload or ageing at the end of the capacitor's service life, an increasing number of self-healing breakdowns may cause disintegration of the dielectric film and rising pressure inside the capacitor.

Protection for cylindrical capacitors: BAM

To prevent their case from bursting, series E62 ... E65 capacitors, as well as all capacitors for power factor correction (series 275 ... 280) are fitted with an obligatory «break action mechanism» (BAM). This safety mechanism is based on an attenuated spot at one or several of the connecting wires inside the capacitor. With rising pressure the case starts to expand, mainly by opening the folded crimp and pushing the lid upwards. As a result, the prepared connecting wires are separated at the attenuated spot, and the current path is interrupted irreversibly.

It has to be noted that this safety system can act properly only within the permitted limits of loads and overloads.

Schutz gegen Überlastung und Fehlfunktionen am Ende der Lebensdauer

Bei spannungsmäßiger oder thermischer Überlastung bzw. am Ende der Lebensdauer kann durch zahlreiche Selbstheilungsdurchschläge und Zersetzung des Dielektrikums ein Überdruck im Kondensator entstehen.

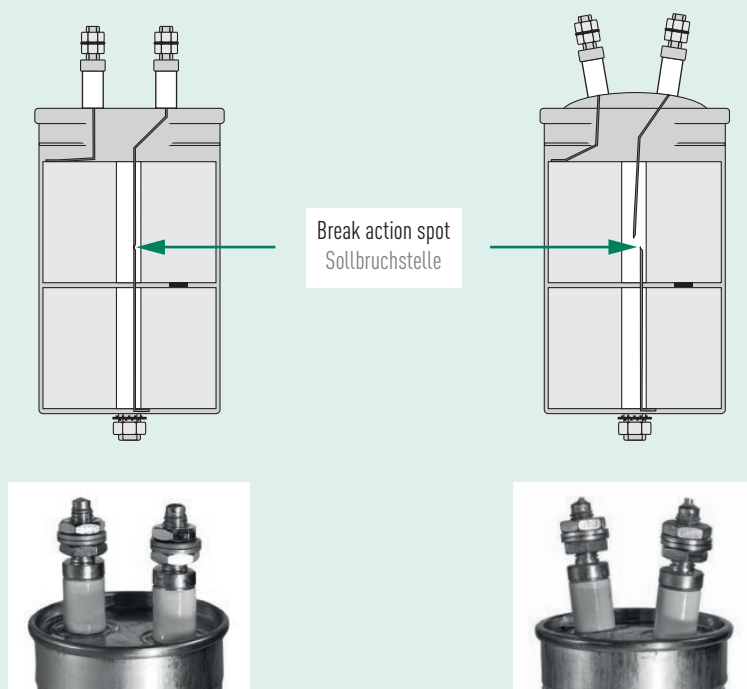
Schutz für zylindrische Kondensatoren: BAM

Um ein Bersten ihrer Gehäuse zu verhindern, sind die Kondensatoren der Baureihen E62 ... E65 sowie alle Kondensatoren für die Blindleistungskompensation (275 ... 280) generell mit einer Überdruck-Abreißsicherung (BAM) versehen. Diese Sicherung besteht aus einer Sollbruchstelle in einem bzw. mehreren der inneren Anschlussdrähte. Bei einem Überdruck im Kondensator verlängert sich das Gehäuse durch das Öffnen der gestauchten Sicke bzw. Wölbung des Metalldeckels und die Stromzufuhr zu den Kondensatorwickeln wird an der Sollbruchstelle irreversibel unterbrochen.

Dieses Sicherungsprinzip kann nur innerhalb der zulässigen Be- und Überlastungsgrenzen zuverlässig wirken.



Principle of the break action mechanism (BAM) Prinzip der Überdruck-Abreißsicherung (BAM)

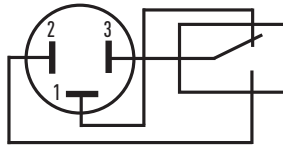




Protection for box-type capacitors: Pressure Switch

In the event of electric faults, pyrolysis of the polypropylene will produce organic gases. For capacitors which are not actively monitored by the electronics of the application, we recommend installing a pressure switch that enables reliable monitoring of the internal pressure. Its signal can be used for safe disconnection of the capacitor in the event of malfunctioning, in order to prevent rupture and explosion.

The switch can be used in NC (normally closed), NO (normally open) or SPDT (single-pole-double-throw) configuration.



Der Schalter eignet sich als Öffnerkontakt (NC), Schließer (NO) oder Umschalter (SPDT).

! Capacitors with activated pressure switch must not be re-commissioned even after the internal pressure would have reduced again. The monitoring circuit must be designed in such way that the capacitors are locked against re-connection.

! Caution! Capacitors with activated pressure switch may still be pressurised by organic gasses as our switch remains hermetical during and after the switching action.

The standard switch with silver plated contacts can be used for the following signal currents (please consult us for information related to the special version with gold plated contacts):

Schutz für eckige Kondensatoren: Druckschalter

Bei elektrischen Ausfällen werden durch Pyrolyse des Polypropylens organische Gase freigesetzt. Bei Kondensatoren, die nicht aktiv durch die Elektronik der Anwendung überwacht werden, empfehlen wir die Verwendung eines Druckschalters, der eine zuverlässige Überwachung des Innendrucks ermöglicht. Sein Signal kann im Falle von Fehlfunktionen zur sicheren Abschaltung des Kondensators verwendet werden, um Zerbersten und Explosion zu verhindern.

Kondensatoren mit aktiviertem Druckschalter dürfen selbst nach Normalisierung des Innendrucks nicht wieder in Betrieb genommen werden. Die Überwachungsschaltung muss die Kondensatoren gegen Wiedereinschalten sichern.

Da unser Schalter während und nach dem Schaltvorgang hermetisch bleibt, können Kondensatoren mit aktiviertem Druckschalter auch nach langer Zeit noch unter Druck organischer Gase stehen.

Der Standardschalter mit versilberten Kontakten kann für die nachstehend aufgeführten Signalströme verwendet werden (bitte kontaktieren Sie uns für Informationen bezüglich der speziellen Version mit vergoldeten Kontakten):

type of load Art der Last	maximum monitoring voltage maximale Signalspannung	permitted monitoring current zulässiger Signalstrom
inductive load (e.g. coupling relays) induktive Last (z.B. Koppelrelais)	AC 250V rms	3mA ... 2A
	DC 24V	3mA ... 1A
ohmic load (e.g. SPS input, acoustic signal) ohmsche Last (z.B. SPS-Eingang, akustisches Signal)	AC 250V rms	3mA ... 4A
	DC 250V	(1A lamp load Lampenlast)
	DC 24V	3mA ... 0.1A

! It must be ensured, by appropriate measures, that the capacitors do not form any hazard to their environment in the event of failure or malfunction of the safety mechanism.

The bulge of the housing specified in the dimensional drawing of the data sheet describes the maximum deformation that can occur due to production. When designing your application, please bear in mind that this is not the maximum expansion which may occur in the event of a fault due to pressure build-up.

! Even capacitors equipped with pressure switch may develop a bulge before the switch is triggered. Please consult us if you have any doubts about the air clearances to neighbouring components or installations.

Durch geeignete Maßnahmen ist sicherzustellen, dass die Kondensatoren bei Versagen oder Fehlfunktion des Sicherheitsmechanismus keine Gefahr für ihre Umgebung darstellen.

Die in der Maßzeichnung des Datenblatts angegebene Bauchung des Gehäuses beschreibt die maximal auftretende fertigungsbedingte Verformung. Bitte berücksichtigen Sie beim Design Ihrer Anwendung, dass dies nicht die maximale Ausdehnung ist, welche im Fehlerfall durch Druckaufbau eintreten kann.

Auch bei Kondensatoren mit Druckschalter kann vor dem Auslösen des Schalters eine Bauchung entstehen. Bitte konsultieren Sie uns, falls Sie Zweifel bezüglich der Luftstrecken zu benachbarten Komponenten oder Installationen haben.

Pressure relief valves

Pressure relief valves are designed to open in the event of rising pressure within the capacitor. They do not provide any information about the event of fault.

However, it must be noted that most of the generated gases are flammable and may create explosive mixes with oxygen when released into atmosphere. Therefore we do not recommend using such devices and will install pressure valves only on explicit request of the customer.

MIND HAZARDS OF EXPLOSION AND FIRE

Capacitors consist mainly of polypropylene (up to 90%), i.e. their energy content is relatively high. They may rupture and ignite as a result of internal faults or external overload (e.g. temperature, overvoltage, harmonic distortion). It must therefore be ensured, by appropriate measures, that they do not form any hazard to their environment in the event of failure or malfunction of the safety mechanism. (See "General safety recommendations" on pages 80ff.)

FIRE LOAD: approx. 40 MJ/kg

EXTINGUISH WITH: solid extinguishing agent, CO₂, foam

Druckablassventile

Druckablassventile öffnen sich im Falle eines Druckanstiegs im Kondensator. Sie liefern jedoch keine Informationen über das Ausfallereignis.

Es ist jedoch zu beachten, dass die meisten der bei Pyrolyse freigesetzten Gase brennbar sind und in Kombination mit dem Sauerstoff der umgebenden Luft explosive Gemische bilden können. Wir installieren deshalb solche Druckventile nur auf ausdrücklichen Kundenwunsch.

BERSTRISIKO UND BRANDLAST BEACHTEN

Kondensatoren bestehen zu bis zu 90% aus Polypropylen, d.h. ihre Brandlast ist relativ hoch. Infolge von internen Fehlern oder externen Faktoren (z.B. Temperatur, Überspannung, Oberschwingungen) können sie platzen und sich entzünden. Deshalb ist durch geeignete Maßnahmen dafür zu sorgen, dass sie im Fehlerfall bzw. bei einem Versagen der Sicherungsmechanismen kein Risiko für ihre Umgebung darstellen. (Siehe "Allgemeine Sicherheitshinweise" auf S. 84ff.)

BRANDLAST: ca. 40MJ/kg

LÖSCHMITTEL: Trockenlöschmittel, CO₂, Schaum



DEFINITIONS AND SELECTION CRITERIA BEGRIFFE UND AUSWAHLKRITERIEN



Rated capacitance C_N

Capacitance value rated at 20°C / 50 Hz. Decreases with rising temperature, and vice versa.



Rated Voltage U_N

The maximum or peak voltage of either polarity of a reversing or non-reversing type wave form for which the capacitor has been designed and rated (unlike other standards for AC capacitors, the rated voltage U_{NAC} is not the rms value).

Bemessungsspannung (Nennspannung) U_N

Höchst- bzw. Scheitelwert der Spannung, für die der Kondensator dimensioniert und benannt ist (abweichend von anderen Normen für Wechselspannungskondensatoren ist U_{NAC} nicht der Effektivwert!)

As a rule, capacitors with a rated voltage of ≥ 2.5 kV DC are designed with internal series connection. Depending on the application, this may require the insertion of internal sharing resistors to avoid overvoltages caused by shifting loads.

Please consult us if your application includes operating voltages of ≥ 2.5 kV DC during considerable periods of operation.



Non recurrent surge voltage U_S

Voltages beyond the rated voltage induced by switching or faults of the system or any part of it. Unless stated otherwise, a maximum count of up to 1000 events with a maximum duration of 100ms must not be exceeded.



RMS voltage U_{rms}

Root mean square of max. permissible value of sinusoidal AC voltage in continuous operation. In power electronics, the rms voltage is usually not the rated voltage value of the capacitor.



Ripple voltage U_r

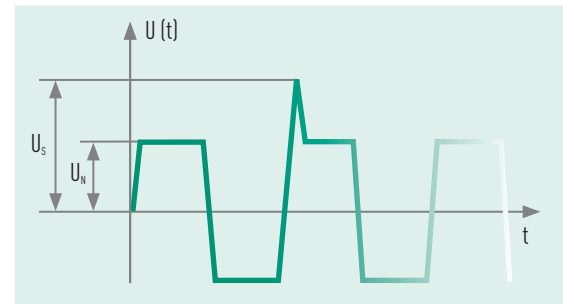
Maximum peak-to-peak value of the alternating component of the uni-directional voltage. This value is stated only for DC-capacitors. The peak-to-peak value of AC- and AC/DC-types is always $2 \times U_{NAC}$.

Überlagerte Wechselspannung U_r

Maximalwert des dauerhaft zulässigen Spitze-Spitze-Wertes der einer DC-Spannung überlagerten Wechselspannung. Dieser Wert wird nur bei DC-Kondensatoren angegeben. Bei AC und AC/DC-Typen beträgt der zulässige Spitze-Spitze-Wert $2 \times U_{NAC}$.

Bemessungskapazität (Nennkapazität) C_N

Nennwert der Kapazität, bezogen auf 20°C / 50 Hz. Sinkt mit steigender Temperatur, und umgekehrt.



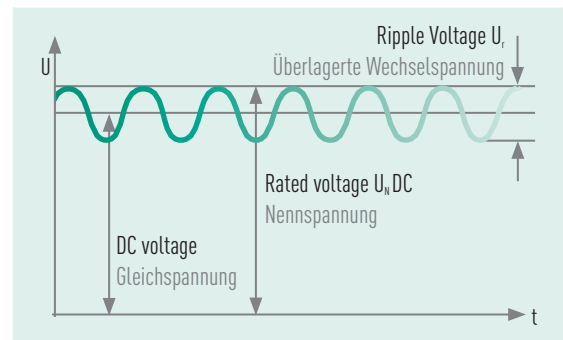
Kondensatoren mit Nennspannungen ≥ 2.5 kV DC sind i.d.R. mit einer inneren Serienschaltung ausgestattet. Je nach Anwendung kann dies den Einsatz innerer Symmetrierwiderstände zur Vermeidung von Spannungsunterschieden infolge Ladungsverschiebung erforderlich machen. Bitte konsultieren Sie uns insbesondere dann, wenn Ihre Anwendung über längere Zeiträume hinweg eine Belastung mit ≥ 2.5 kV DC vorsieht.

Stoßspitzenspannung U_S

Höchster Spitzenwert, der vereinzelt kurzzeitig im Störfall auftreten darf. Falls nicht anders angegeben, darf eine maximale Anzahl von 1000 Spitzen mit einer Höchstdauer von jeweils 100 ms nicht überschritten werden.

Effektive Wechselspannung U_{rms}

Maximal zulässiger Effektivwert von sinusförmiger Wechselspannung im Dauerbetrieb. In der Leistungselektronik ist der Effektivwert in der Regel nicht der Nennwert des Kondensators.



Voltage test between terminals U_{TT} (U_{BB})

Routine test of all capacitors conducted at room temperature, prior to delivery. A limited number of repetitive tests with 90% of the test voltage stated in the data sheet may be carried out at room temperature at the user's location.

Prüfspannung Belag/Belag U_{TT} (U_{BB})

Prüfspannung, mit der alle Kondensatoren als Stückprüfung zwischen den Anschlüssen vor der Auslieferung geprüft werden. Eine begrenzte Anzahl von Wiederholungsprüfungen beim Anwender ist mit dem 0,9-fachen Wert der Prüfspannung bei Raumtemperatur zulässig.

Voltage test btw. terminals and case U_{TC} (U_{BG})

Routine test of all capacitors between short-circuited terminals and case, conducted at room temperature. One repetition of the test may be carried out at the user's location at room temperature.

Prüfspannung Belag/Gehäuse U_{TC} (U_{BG})

Prüfspannung, mit der alle Kondensatoren zwischen kurzgeschlossenen Anschlüssen und Gehäuse als Stückprüfung vor der Auslieferung geprüft werden. Einmalige Wiederholungsprüfung beim Anwender bei Raumtemperatur ist zulässig.

Insulation voltage U_i

RMS value of the AC voltage for which the insulation terminals-to-case has been designed and tested.

Based on the test voltage U_{BG} stated in the catalogue, the value of U_i can be calculated as follows:

Isolationsspannung U_i

Effektivwert der Wechselspannung, nach der die Isolation zwischen den Anschlüssen und dem Gehäuse bemessen und geprüft ist.

Aus der im Katalog angegebenen Prüfspannung U_{BG} lässt sich der Wert U_i wie folgt berechnen:

$$U_i = \frac{U_{BG} - 1000V}{2}$$

Rate of voltage rise $(du/dt)_{max}$

Maximum permitted repetitive rate of voltage rise of the operational voltage. Essential for the size of the repetitive peak current $\hat{I}$.

Flankensteilheit der Spannung $(du/dt)_{max}$

Periodischer Maximalwert der Flankensteilheit der Betriebsspannung. Ausschlaggebend für die Höhe des wiederkehrenden Spitzenstroms $\hat{I}$.

$$\hat{I} = C_N \times (du/dt)_{max}$$

Max. non-repetitive rate of voltage rise $(du/dt)_s$

Peak rate of voltage rise that may occur non-repetitively and briefly in the event of a fault.

Stoß-Flankensteilheit $(du/dt)_s$

Höchster Spitzenwert der Flankensteilheit der Spannung, der vereinzelt im Störfall auftreten darf.

$$I_s = C_N \times (du/dt)_s$$

I_s = non-repetitive peak current Stoßspitzenstrom

Maximum current I_{max}

Maximum rms value of permissible current in continuous operation. The values given in the data sheets are related either to the specified maximum power dissipation or the current limits of the connection terminals or internal wiring.

Maximalstrom I_{max}

Maximaler Effektivwert des im Dauerbetrieb zulässigen Stromes. Die im Datenblatt angegebenen Werte ergeben sich entweder aus der maximal zulässigen Verlustleistung oder der Stromtragfähigkeit von Anschlüssen bzw. innerer Verschaltung.

Peak current $\hat{I}$

Max. permitted repetitive current amplitude during continuous operation.

Spitzenstrom $\hat{I}$

Periodisch zulässiger Scheitelwert des Stromes im Dauerbetrieb.



Non-repetitive peak current (surge) I_s

Maximum current that may occur non-repetitively and briefly in the event of a fault. Please consult us for the maximum permissible count of such events during the capacitor's lifetime.

Stoßspitzenstrom I_s

Höchster Spitzenwert, der vereinzelt kurzzeitig im Störfall auftreten darf. Bitte konsultieren Sie uns zur maximal zulässigen Anzahl solcher Ereignisse während der Betriebsdauer des Kondensators.



Series resistance R_s

Equivalent resistance representing the sum of the Ohmic resistances occurring inside the capacitor; essential for calculation of the current dependent power losses. Mind: This value does NOT consider variations of the resistance due to temperature or higher frequencies (skin effects). In extreme conditions, this value may rise substantially.

Please consult us if in doubt about the specific conditions and effects of your application. (For 3ph-capacitors, see pg. 63)

Serienwiderstand R_s

Ersatzwiderstand, welcher die Summe der im Kondensator auftretenden Ohmschen Widerstände repräsentiert; maßgebend für die Berechnung der Stromwärmeverluste. Achtung: berücksichtigt NICHT temperatur- oder frequenzbedingte Abweichungen (Skin-Effekt) und kann in Extremfällen deutlich ansteigen.

Bitte konsultieren Sie uns im Zweifelsfalle zu den spezifischen Verhältnissen Ihrer Anwendung. (Für dreiphasige Berechnung siehe S. 63)

$$P_{VR} = I_{eff}^2 \times R_s$$

P_{VR} = current dependent power losses Stromwärmeverluste



Equivalent Series Resistance R_{ESR}

Represents the sum of all loss resistances occurring in the capacitor (i.e. R_s incl. effects of temperature and frequency, and dielectric power losses). It depends on frequency and is essential for the calculation of the capacitor's total power losses P_V .

Serienersatzwiderstand R_{ESR}

Repräsentiert die Summe aller im Kondensator auftretenden Verlustwiderstände (d.h. R_s inkl. Temperatur- und Frequenzeffekte, plus dielektrische Verluste). Er ist frequenzabhängig und maßgebend für die Berechnung der Gesamtverluste des Kondensators P_V .

$$R_{ESR} = R_s + \frac{\tan \delta_0}{2\pi f \times C_n}$$

$$P_V = I_{rms}^2 \times R_{ESR}$$

P_V = capacitor's total power losses Gesamtverluste Kondensator



Self-inductance L_e

Represents the sum of all inductive elements which are – for mechanical and construction reasons – contained in any capacitor.

Eigeninduktivität L_e

Repräsentiert die Summe aller induktiv wirkenden Elemente, die konstruktionsbedingt in jedem Kondensator enthalten sind.



Auto-resonant frequency f_{res}

The capacitance and self-inductance of any capacitor form a series resonant circuit. Above the auto-resonant frequency, the inductive part of this LC-circuit prevails. The capacitor would then behave as an inductance.

Eigenresonanzfrequenz f_{res}

Kapazität und Eigeninduktivität eines jeden Kondensators bilden de facto einen Reihenresonanzkreis. Oberhalb der Resonanzfrequenz überwiegt in diesem LC-Kreis der induktive Anteil, der Kondensator wirkt dann nicht mehr als Kapazität.

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_e \times C_n}}$$



Rated energy contents E_n

Energy stored in the capacitor when charged at rated voltage.

Nennenergiegehalt E_n

Bei Nennspannung im geladenen Kondensator gespeicherte Energie.

$$E_n = \frac{C_n}{2} \times U_n^2$$

Ambient temperature Θ_{amb} (also: Θ_u)

Temperature of the air directly surrounding the capacitor inside the application, measured 10 cm away (or in the middle between two neighbouring capacitors, whichever is closer) and at 2/3 of its case height.

Attention: This specification assumes a homogeneous heat distribution in the application environment of the capacitor. If necessary, make adjustments to account for specific heat sources or heat build-up.

Lower category temperature Θ_{min}

Lowest permissible ambient temperature at which a capacitor can be put into operation.

Upper category temperature Θ_{max}

Highest permissible temperature during continuous operation, i.e. temperature at the hottest point of the capacitor case. It is, however, not sufficient to monitor the surface temperature. Life-span and safe operation crucially depend on the observance of the hotspot temperature.

Hotspot temperature $\Theta_{HOTSPOT}$

Temperature at the hottest spot inside the capacitor. It has to be noted that, depending on the thermal power dissipation generated inside the capacitor, there is always a temperature difference between hotspot and surface. As the hotspot is usually not accessible for measurement, $\Theta_{HOTSPOT}$ must be calculated based on the data stated in the catalogue or data sheet:

$$\Theta_{HOTSPOT} = \Theta_{amb} + P_V \times R_{th}$$

$$P_V = I_{rms}^2 \times R_S + Q \times \tan\delta_0$$

Umgebungstemperatur Θ_{amb} (auch: Θ_u)

Temperatur der Luft in der unmittelbaren Umgebung des Kondensators im Inneren der Anwendung, gemessen in 10 cm Entfernung (oder in der Mitte zwischen zwei benachbarten Kondensatoren, je nachdem, was näher liegt) und auf 2/3 seiner Gehäusehöhe.

Achtung: Diese Angabe geht von einer homogenen Wärmeverteilung im Anwendungsumfeld des Kondensators aus. Bitte berücksichtigen Sie gegebenenfalls andere Wärmequellen oder Wärme-Staus durch eine entsprechende Anpassung.

Untere Grenztemperatur Θ_{min}

Niedrigste Umgebungstemperatur, bei der der Kondensator in Betrieb genommen werden darf.

Obere Grenztemperatur Θ_{max}

Höchste zulässige Temperatur an der heißesten Stelle der Kondensatoroberfläche, bei der der Kondensator dauerhaft betrieben werden darf. Es ist jedoch nicht ausreichend, die Oberflächentemperatur zu kontrollieren. Entscheidend für Lebensdauer und sicheren Betrieb ist die Einhaltung der Hotspot-Temperatur.

Hotspot-Temperatur $\Theta_{HOTSPOT}$

Temperatur der heißesten Stelle im Kondensatorinneren. Es ist zu beachten, dass in Abhängigkeit von der im Kondensatorinneren generierten Verlustleistung stets ein Gefälle zwischen Hotspot und der Oberfläche besteht. Da die Hotspot-Temperatur einer Messung nicht zugänglich ist, muss die Ermittlung rechnerisch mit Hilfe der Angaben im Datenblatt/Katalog erfolgen:

P_V : thermal power dissipation Verlustleistung

Q : reactive power of the capacitor Blindleistung des Kondensators

I_{rms} : rms value of operating current Effektivwert des Betriebsstroms

$R_S, \tan\delta_0$: acc. to data sheet/catalogue nach Datenblatt/Katalog



No thermal dissipation losses are admissible when operating a capacitor at an ambient temperature equal to the upper category temperature, i.e. I_{rms} and Q shall be zero (operation at pure DC voltage)!

Wenn der Kondensator bei einer Umgebungstemperatur gleich der oberen Grenztemperatur betrieben werden soll, ist keine Verlustleistung mehr zulässig, d.h. I_{rms} und Q müssen gleich Null sein (reiner Gleichspannungsbetrieb)!

**Dielectric dissipation factor $\tan\delta_0$**

Constant dissipation factor of the dielectric material for all capacitors at their rated frequency. The typical loss factor of PP film is approx. 2×10^{-4} .

Dielektrischer Verlustfaktor $\tan\delta_0$

Konstanter Verlustfaktor des Dielektrikums für alle Kondensatoren bei Nennfrequenz. Der typische Verlustfaktor von Polypropylenfolie beträgt ca. 2×10^{-4} .

**Loss factor of the capacitor $\tan\delta$**

Loss factor of the capacitor at sinusoidal AC voltage and applied frequency. It is calculated as follows:

Verlustfaktor des Kondensators $\tan\delta$

Verlustfaktor des Kondensators bei sinusförmiger Wechselspannung und Einsatzfrequenz. Er errechnet sich wie folgt:



$$\tan\delta(f) = \tan\delta_0 + R_S \times 2\pi f \times C_H$$

f = operating frequency Einsatzfrequenz

R_{th}**Thermal resistance R_{th}**

The thermal resistance indicates by how many degrees the capacitor temperature at the hotspot rises above the temperature of the ambient air per Watt of the heat dissipation losses. It depends on a variety of factors. Hence the values shown in our data sheets refer to one single operating point only which is valid for still air/natural convection cooling.

With forced cooling, R_{th} is reduced. Mind that the maximum Hotspot-temperature must not be exceeded even with active cooling. Temperature balance will only be reached in as short a time as a few minutes, or as long as over 24 hours, depending on the size of the capacitor.

- ! During storage or operation, the solidified filling resin in our box-shaped capacitors may detach from the inside of the case walls. The R_{th} ratings in our data sheets consider this effect already.
- ! We recommend a test set-up with thermal elements (type PT100) for exact values, or to contact ELECTRONICON's staff for detailed support.

Altitude Höhe	R _{th}
1000 m	see data sheet siehe Datenblatt
2000 m	1.1 × R _{th}
3000 m	1.2 × R _{th}
4000 m	1.3 × R _{th}
5000 m	1.5 × R _{th}

Thermischer Widerstand R_{th}

Der Thermische Widerstand gibt an, um wieviel Grad sich der Kondensator im Hotspot gegenüber der Temperatur umgebender Luft pro Watt Verlustleistung erwärmt. Der thermische Widerstand hängt von einer Vielzahl verschiedener Faktoren ab. Daher stellt der Wert in den Datentabellen nur einen Arbeitspunkt dar, welcher für ruhende Luft/Selbstkühlung gilt.

Bei aktiver Luftkühlung wird der thermische Widerstand kleiner. Die maximale Hotspot-Temperatur ist jedoch auch bei aktiver Kühlung stets einzuhalten. Je nach Größe kann es zwischen wenigen Minuten und mehr als 24 h dauern, bis der Kondensator diese Endtemperatur erreicht hat.

Die Harzfüllung unserer rechteckigen Kondensatoren kann sich mitunter während Lagerung oder Betrieb von den Gehäuseinnenwänden ablösen. Die R_{th}-Werte in unseren Datenblättern berücksichtigen diesen Umstand bereits.

Zur Ermittlung exakter Werte empfehlen wir einen Versuchsaufbau mit Thermoelementen oder die Kontaktaufnahme mit ELECTRONICON.

Correction factors for R_{th} depending on altitude a.s.l.
Korrekturfaktoren für den R_{th} in Abhängigkeit von der Höhe ü.NN

P_{max}**Maximum power dissipation P_{max}**

Maximum permitted power dissipation for the capacitor's operation.

$$P_{\max} = \frac{\theta_{\text{HOTSPOT}} - \theta_{\text{amb}}}{R_{\text{th}}}$$

The power dissipation of the capacitor is determined by the combination of the applied voltages and resulting currents (see the calculation examples on pages 48ff).

As a rule, our data sheets contain a curve of the permitted power dissipation (or power "losses") of the capacitor during its operation, in correlation with the ambient temperature θ_{amb} . This curve is set to ensure that the maximum operating temperature (θ_{max}) stated in the data sheet is not exceeded in the capacitor's hotspot (θ_{HOTSPOT}). θ_{HOTSPOT} is relevant for the FIT rate of the capacitor (see pgs. 30ff).

Höchste Verlustleistung P_{max}

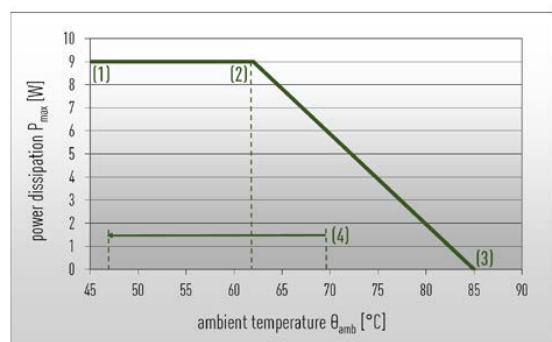
Maximal zulässige Verlustleistung für den Betrieb des Kondensators.

Die Wärmeverluste des Kondensators werden bestimmt durch die Kombination aus den angelegten Spannungen und resultierenden Strömen (siehe hierzu die Berechnungsbeispiele auf den Seiten 48ff).

Unsere Datenblätter enthalten in der Regel eine Kurve der zulässigen Verlustleistung des betriebenen Kondensators in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur θ_{amb} . Diese Kurve ist so eingestellt, dass die im Datenblatt angegebene maximale Betriebstemperatur (θ_{max}) im Hotspot des Kondensators (θ_{HOTSPOT}) nicht überschritten wird. Der θ_{HOTSPOT} ist relevant für die FIT-Rate des Kondensators (siehe S. 30ff).

This curve specifies the recommended limits for continuous operation in order to confine the temperature rise vs. θ_{amb} to a controllable level. Please note that it is therefore not possible to combine the maximum rated current I_{max} with maximum rated voltage (U_N and U_L or U_{ms}) for every capacitor. This is particularly the case with AC capacitors, as the dielectric power dissipation makes a particularly large contribution here.

Please consult us if your application involves special conditions or short-term loads that exceed the values in the curve.



In this case, P_{max} is generally limited to 9 W (1). The temperature rise generated here is approximately 23 Kelvin for the example capacitor. It can be calculated by multiplying this value P_{max} by the thermal resistance R_{th} stated in the data sheet.

However, above an ambient temperature of 62°C (2), the maximum permissible operating temperature in the hotspot of the capacitor would be exceeded. Operation at higher ambient temperatures is therefore only possible in a de-rated mode, with correspondingly lower power dissipation, until no current must flow at all in the capacitor at an ambient temperature of 85°C (3).

Attention:

The curve shows the maximum permissible power dissipation at which the limits are not exceeded. Continuous operation at the upper limit temperature is possible, but can lead to an undesirably high failure rate (see pg. 30ff). In our example, with the specified power dissipation of 9W, continuous operation at a maximum ambient temperature of 47°C would be desirable. This would correspond to a hotspot temperature of 70°C (4) and result in a low FIT rate.

Diese Kurve gibt die empfohlenen Grenzen für den Dauerbetrieb vor, um den Temperaturhub gegenüber der Umgebungstemperatur auf ein kontrollierbares Maß zu begrenzen. Bitte beachten Sie, dass deshalb nicht bei jedem Kondensator der maximale Nennstrom mit der maximalen Nennspannung kombinierbar ist. Dies ist insbesondere bei AC-Kondensatoren der Fall, da hier die dielektrischen Verluste einen besonders hohen Beitrag liefern.

Bitte konsultieren Sie uns, wenn Ihre Anwendung spezielle Bedingungen oder Kurzzeitbelastungen enthält, welche über die Werte der Kurve hinausgehen.

Example of a power dissipation curve taken from the data sheet of an E62 series AC capacitor.

Beispiel einer Kurve zur Verlustleistung aus dem Datenblatt eines AC-Kondensators der E62-Reihe.

Im vorliegenden Fall ist P_{max} generell auf 9 W begrenzt (1). Der hierbei erzeugte Temperaturanstieg beträgt bei dem Beispielskondensator ca. 23 Kelvin. Er lässt sich durch Multiplikation dieses Wertes P_{max} mit dem im Datenblatt angegebenen thermischen Widerstand R_{th} errechnen.

Ab einer Umgebungstemperatur von 62°C (2) würde jedoch die maximal zulässige Betriebstemperatur im Hotspot des Kondensators überschritten. Daher ist ein Betrieb bei höheren Umgebungstemperaturen nur noch im abgedrosselten Regime möglich, bei dem entsprechend weniger Verlustleistung erzeugt wird, bis bei 85°C Umgebungstemperatur im Kondensator dann gar kein Strom mehr fließen darf (3).

Achtung:

Die Kurve zeigt die maximal zulässige Verlustleistung, bei der die Grenzwerte nicht überschritten werden. Ein dauerhafter Betrieb bei oberer Grenztemperatur ist zwar möglich, kann jedoch zu einer unerwünscht hohen Ausfallrate führen (siehe S. 30ff). In unserem Beispiel wäre z.B. bei der spezifizierten Verlustleistung von 9 W ein dauerhafter Einsatz bei einer Umgebungstemperatur von nicht mehr als 47°C anzustreben (4). Dies entspräche dann einer Hotspot-Temperatur von 70°C mit angestrebter niedriger FIT-Rate.

**Clearance in air L**

The shortest distance between conducting parts of the terminals or between terminals and case. In this catalogue, we state only the shorter one. Must be adapted depending on pollution and altitude. (see also conversion charts on page 92)

**Creepage distance K**

The shortest distance along an insulated surface between conducting parts of the terminals or between terminals and case. In this catalogue, we state only the shorter one.

Luftstrecke L

Kürzeste Strecke zwischen leitenden Teilen der Anschlüsse bzw. zwischen Anschlüssen und Gehäuse. In diesem Katalog wird stets die kürzere von beiden angegeben. Muß je nach Verschmutzungsgrad und Einsatzhöhe angepaßt werden. (s.a. Umrechnungstabellen S. 92)

Kriechstrecke K

Kürzeste Strecke entlang der Isolierung zwischen leitenden Teilen der Anschlüsse bzw. zwischen Anschlüssen und Gehäuse. In diesem Katalog wird stets die kürzere von beiden angegeben.

Climatic Conditions, Humidity Classes

Unless stated otherwise in the individual data sheets, the environmental conditions given in this chapter apply for our entire range of products. They are based on **railway standard IEC 62498-1** and describe the suitability for certain ambient conditions of humidity, temperature and altitude. These values shall not be exceeded during storage and operation.

Additionally, our inhouse climatic classes "C" and "G" describe special application conditions for some of our capacitor ranges which go beyond the specifications of IEC 62498-1.

The classes refer to the atmospheric conditions of the operating environment. In particular, IEC DIN EN 62498-1 states temperature limits for the operation **inside cubicles**; this is expected to be the most common way of application for the capacitors of our power electronics ranges. The limits for the hotspot temperature as stated in the catalogues or data sheets must not be exceeded.

Our classification by humidity classes is based on long-year empirical experience and hard to be simulated by specific accelerated tests. Tests with 85%RH / 85°C are possible for all capacitors with humidity class TX/C and selected models with class T1.

Klimabedingungen, Feuchteklassen

Sofern nicht anders in den individuellen Datenblättern angegeben, gelten die nachstehenden Umgebungsbedingungen für unser gesamtes Kondensatorspektrum. Sie orientieren sich an den Vorgaben der **Bahnnorm IEC 62498-1** und beschreiben die Eignung für bestimmte Feuchte- und Temperaturbedingungen sowie die Einsatzhöhe. Diese Werte dürfen bei Betrieb und Lagerung nicht überschritten werden.

Daneben beschreiben unsere hauseigenen Klimaklassen „C“ und „G“ besondere Anwendungsbedingungen für einige unserer Kondensatorreihen, welche über die Werte der IEC 62498-1 hinausgehen.

Die Klassen beziehen sich auf die atmosphärischen Bedingungen der Anwendungsumgebung. IEC DIN EN 62498-1 gibt Temperaturgrenzwerte für den Betrieb **innerhalb von Gehäusen** an. Für unsere Leistungselektronikkondensatoren ist dies die typischste Verwendungsart. Unabhängig davon dürfen die Hotspot-Grenzwerte aus Katalog oder Datenblatt nicht überschritten werden.

Unsere Einstufung in Feuchteklassen basiert auf langjährigen Felderfahrungen und ist schwer durch gezielte Beschleunigungstests zu simulieren. Prüfungen mit 85%RH / 85°C sind für alle Baureihen mit Feuchteklasse TX/C sowie ausgewählte Modelle mit Klasse T1 möglich.



Product range Produktreihe	Altitude a.s.l. ¹⁾ Höhe über NN	Temperature class ²⁾ Temperaturklasse	Humidity class ³⁾ Feuchteklasse	occas. condensation gelegentl. Betauung
E12...E33	AX (2000 m)	TX	T1 ⁴⁾	-
E50 PK16, E80, E53-H	AX (2000 m)	TX	T1 ⁴⁾	-
E50 SR17	AX (4000 m)	TX	TX, C	✓
E51	AX (2000 m)	T3	T1 ⁴⁾	-
E52...E55	AX (2000 m)	T3	G	-
E56, E59	AX (4000 m)	TX	TX, C	✓
E57	AX (2000 m)	TX	T1 ⁴⁾	-
E60	AX (4000 m)	TX	TX, C	✓
E61	AX (2000 m)	T6	T1 ⁴⁾	-
E62, E63, E62-3ph (design B, D, E only)	AX (2000 m)	TX	T1 ⁴⁾	-
E62, E62-3ph/3HF, E63, E65, E67, E69	AX (2000 m)	TX	TX, C	✓
E64 HT	AX (2000 m)	TX	T1 ⁴⁾	-
E70, E78	AX (4000 m)	TX	TX, C	✓
E90...E92	AX (2000 m)	TX	TX, C	✓
E93	AX (2000 m)	TX	T1 ⁴⁾	-
266, 276 (design D only)	AX (2000 m)	TX	T1 ⁴⁾	-
275...280 (except design D)	AX (2000 m)	TX	TX, C	✓

1) Max. altitude stated in brackets, other values available on request. Maximale Höhe in Klammern, andere Werte auf Anfrage.

2) Temperature inside the surrounding compartment. Consult our catalogues and individual data sheets for details on the full scope of applicable temperatures.
Temperatur im umgebenden Gehäuse. Für detaillierte Angaben zum vollen Temperaturbereich siehe unsere Kataloge und individuellen Datenblätter.

3) See corresponding curves on pgs. 28/29_vgl. zugehörige Kurven S. 28/29

4) RH limited to 95%_RH begrenzt auf maximal 95%

Remarks on Altitude:

All capacitors can be operated at least up to 2000 m a.s.l., and on request in many cases at even higher altitudes.
However please mind that thermal resistance R_{θ} and air clearance L vary with changing atmospheric pressure.

Remarks on Humidity:

The humidity levels stated by the IEC standard are related to the outside atmosphere. The dotted lines in the diagrams on pgs. 28/29 describe our approximate humidity limits for temperatures inside cubicles that go beyond the levels covered by the IEC standard. corresponding levels for higher temperatures as applicable inside cubicles. Please consider the limitations on condensation and 100% humidity in the chart on pg. 27.

Apart from the limit values shown in the following diagrams, IEC 62498-1 specifies the following average humidity load:

annual average	Jahresdurchschnitt
30 days/year continuously	30 Tage/Jahr dauerhaft
all other days occasionally	alle anderen Tage gelegentlich

Please note our deviating specifications for climate class T1 and consult us if in doubt about specific operating conditions.

Anmerkungen zur Einsatzhöhe:

Alle Kondensatoren können mindestens bis zu 2000 m ü.NN, in vielen Fällen auf Anfrage auch höher betrieben werden. Dabei ist die Abhängigkeit des thermischen Widerstands R_{θ} und der Luftstrecke L von sich änderndem atmosphärischen Druck zu beachten.

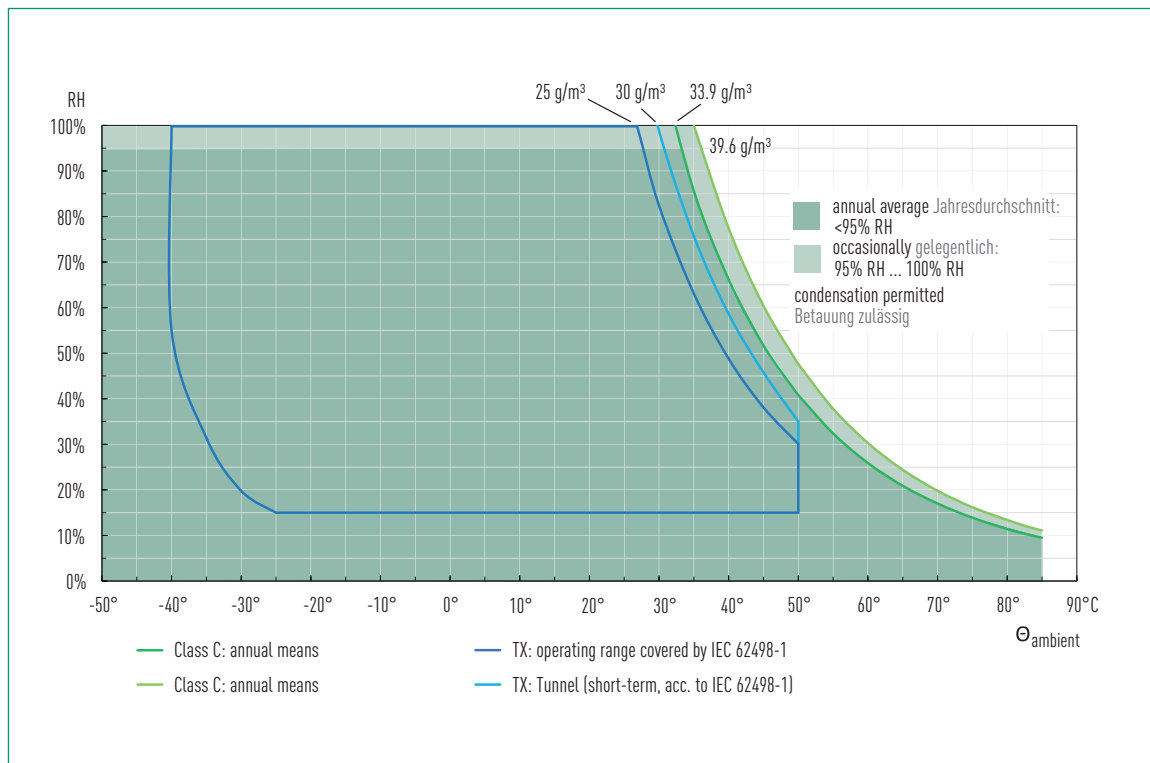
Anmerkungen zur Luftfeuchtigkeit:

Die Feuchtigkeitswerte aus der IEC-Norm beziehen sich auf die äußere Atmosphäre. Die gestrichelten Linien in den Diagrammen auf S. 28/29 beschreiben unsere unverbindlichen Richtwerte für die Luftfeuchte bei Gehäusetemperaturen, welche über das von der IEC-Norm erfasste Niveau hinausgehen. Bitte beachten Sie die Einschränkungen zu Betauung und 100% RH in der Tabelle auf S. 27.

Neben den Grenzwerten in den nachfolgenden Diagrammen geht IEC 62498-1 von den folgenden jährlichen Durchschnittbelastungen aus:

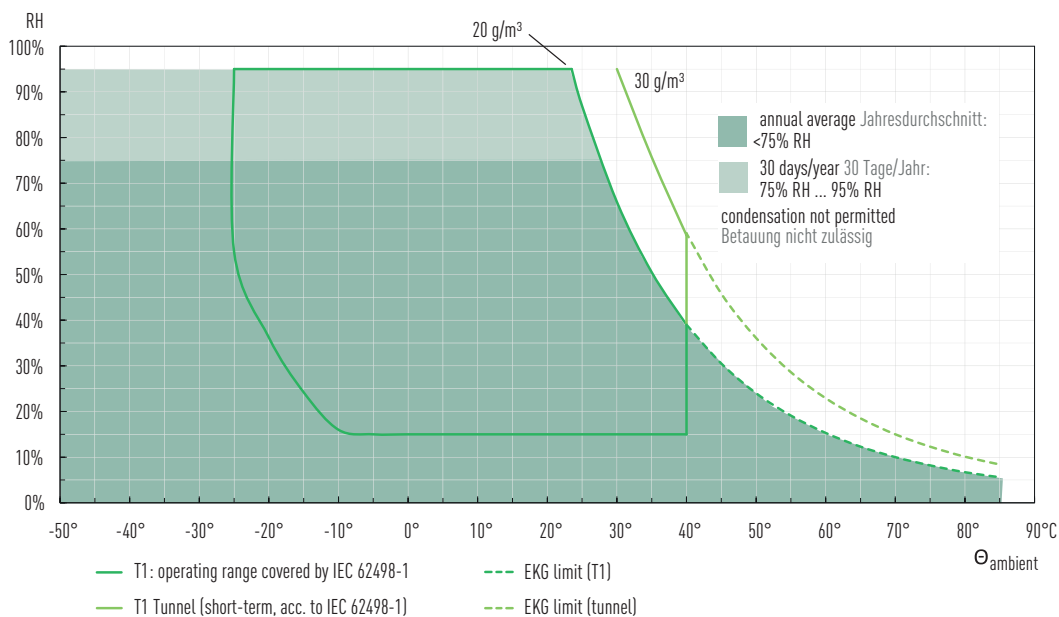
<75% RH
75% ... 95% RH
95% ... 100% RH

Bitte beachten Sie unsere abweichenden Vorgaben für die Klimaklasse T1 und halten bei Zweifeln zu bestimmten Einsatzbedingungen mit uns Rücksprache.

Humidity Classes C and TX**Feuchteklassen C und TX**

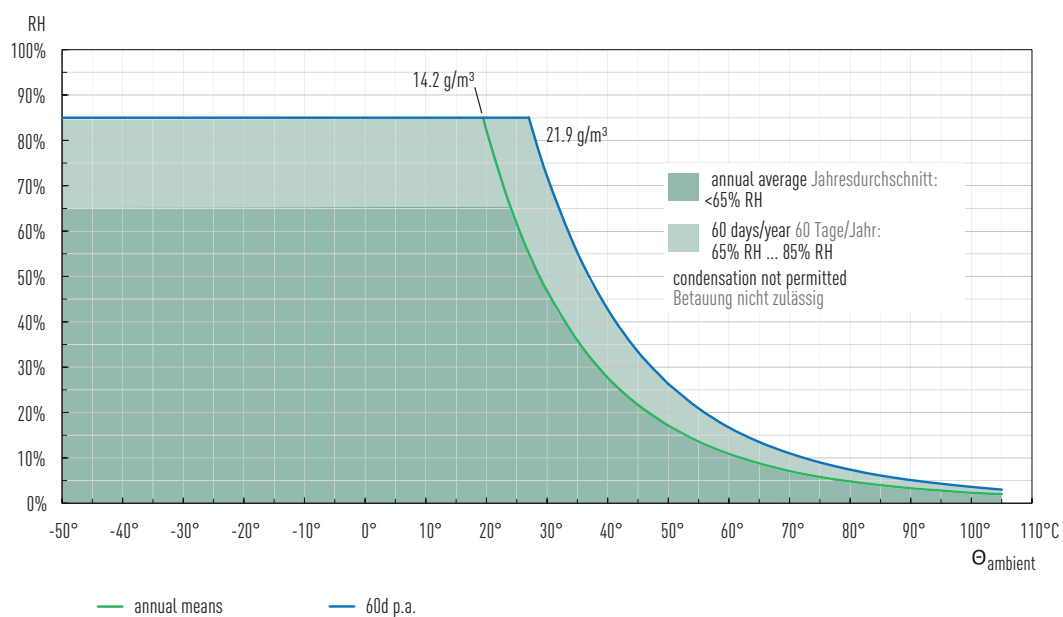
Humidity Class T1

Feuchtekategorie T1



Humidity Class G

Feuchtekategorie G



LIFETIME vs. FAILURE RATE LEBENSDAUER vs. AUSFALLRATE

Lifetime Statements

Statements on lifetime can become misleading as they may imply unreasonable assumptions; with clever de-rating of temperatures and operating voltages, one may create the illusion that a capacitor should last a million hours or more, while such statement would be purely theoretical and impossible to prove (even more so that most of the design features used in modern capacitors have not been in use for more than 20 years and would therefore not be backed up by any empirical references).

Another problem with lifetime statements is that they do not inform about failures during the "rated" lifetime, and – in turn – may create the impression that after the expiration of the "rated" lifetime, the capacitor shall be exhausted, or fail. Any engineer will agree from own experience that in reality, there are components which may last much longer even under harder conditions, whilst others may fail prematurely.

In the lifetime graphic (1), statements for more than 300,000 hrs are cut off as they are technically unreasonable. For higher HOTSPOT temperatures, no statements are made regarding operation at overvoltage: the simultaneous operation at limit values results in unpredictable conditions. Here, the statement of a FIT rate – that reflects the growing risk at such extreme conditions – would be of far better use. In der Lebensdauerkurve (1) sind Angaben zu mehr als 300.000 h abgeschnitten, da sie technisch unvernünftig sind. Für höhere HOTSPOT-Temperaturen werden keine Angaben mehr zum Betrieb bei Überspannung getroffen: der gleichzeitige Betrieb unter Grenzbedingungen mündet in unvorhersagbaren Verhältnissen. Hier ist die Angabe einer FIT-Rate, welche die wachsenden Risiken bei derartigen Extrembedingungen reflektiert, wesentlich nutzbringender.

FIT Rate (Failures in Time)



By reflecting the probability (in other words: risk) of failures during the operating period under selected operating conditions, it provides information on what effects to expect when de-rating (or over-loading) a capacitor.

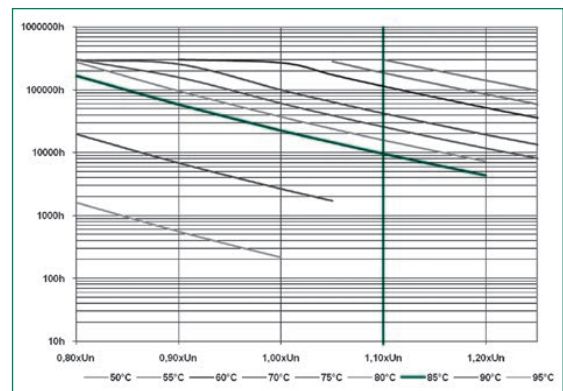
The failure probability of a component is a statistical value which is described by a log-normal distribution:

$$N = N_0 \times e^{-\lambda t}$$

Lebensdauerangaben

Angaben zur Lebensdauer können in die Irre führen, da sie unrealistische Annahmen einschließen können: mit einer geschickten Kombination von Betriebstemperaturen und -spannungen ließe sich so die Illusion von einer Million und mehr Betriebsstunden erzeugen, eine rein theoretische und schwerlich nachweisbare Angabe (umso mehr, als die meisten technischen Merkmale moderner Kondensatoren nicht länger als 20 Jahre im praktischen Einsatz erprobt und längere Lebensdauerangaben somit kaum durch empirische Daten unterlegt sind).

Ein weiteres Problem von Lebensdauerangaben ist, daß sie keine Auskunft über Ausfälle während der "Nenn"lebensdauer geben und im Gegenzug den Eindruck erwecken können, daß nach Ablauf der angegebenen Lebensdauer der Kondensator „verbraucht“ wäre oder ausfiele. Aus eigener Praxis kennt hingegen jeder Ingenieur Komponenten, welche selbst unter härteren Einsatzbedingungen die angegebene Lebenserwartung bei weitem überdauern, während andere vorzeitig ausfallen können.



pic.1

FIT Rate (Failures in Time)

Widerspiegelt die Wahrscheinlichkeit (mit anderen Worten: das Risiko) von Ausfällen während der Nutzungsdauer unter bestimmten Betriebsbedingungen und liefert Informationen über die zu erwartenden Konsequenzen aus einer übermäßigen oder schonenderen Belastung eines Kondensators.

Die Ausfallwahrscheinlichkeit eines Bauelementes ist eine statistische Größe, die mit Hilfe einer Normalverteilung beschrieben wird:

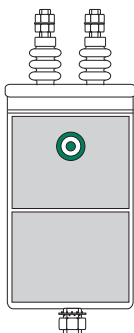
- N = number of functional components after period t
Anzahl der nach der Zeit t intakten Bauelemente
- N_0 = total number of components at time $t = 0$
Gesamtzahl der Bauelemente zum Zeitpunkt $t = 0$
- λ = failure rate Ausfallrate



λ is the failure rate, which alternatively is also stated as the so-called FIT-rate (FIT = Failures In Time = $\lambda \times 10^9$). Service cycles may be calculated based on the so-called MTBF value (mean time between failures): $MTBF = 1/\lambda$.

The failure rate is very closely linked with the operating temperature and the operating voltage applied to the capacitor.

As standard, our FIT rates are related to a realistic (from a technical and statistical point of view) operating interval of $t=100,000$ hours, assuming a capacitor hotspot temperature of 70°C . Hotspot is the only reliable criterion in relation to the capacitor's temperature stress. The outside temperatures may be comparably low, however with high electrical stress the temperature rise in the capacitor may be substantial due to the power dissipation losses produced inside. This could result in the same temperature stress as a generally high ambient temperature.



The simultaneous operation of capacitors at highest permissible voltage and operating temperature should be avoided; otherwise, failure rates may increase beyond reasonable technical reliability.

In fact, a FIT rate of 50 would mean, for example: "If 10,000 capacitors are operated simultaneously for 100,000 hours at rated voltage and with a hotspot temperature of no more than 70°C , then out of this batch no more than 50 pcs may fail during the entire period." Any period during which the hotspot temperature is lower than 70°C , or the real operating voltage is less than rated voltage, will contribute to a reduction of the FIT rate.

After the reference interval, the capacitors will continue operating; however the probability of failures may change. It shall be noted that the statements on FIT rates are based mainly on long-year empirical experience; at ELECTRONICON, we are conducting numerous and regular reliability tests to verify and back up our empirical knowledge. However dedicated studies designed to prove FIT rates would require the test of thousands of capacitors, over hundreds of thousands of hours, which is technically and commercially impossible. Even the use of statistical methods and accelerated ageing factors encounters physical and chemical limits.

Hence lifetime formulas such as

$$\text{Lifetime (U)} = \left(\frac{U_N}{U_{op}} \right)^n \quad \text{and} \quad \text{Lifetime (\Theta)} = 2^{\left(\frac{\Theta_{rated} - \Theta_{operating}}{7 K} \right)}$$

should not be used to calculate absolute figures of expected lifetime. These rules and formulas are mainly designed to give an approximate feeling for the importance of voltage and temperature.

Dabei ist λ die Ausfallrate, die alternativ auch als FIT-Rate angegeben wird (FIT = Failures In Time = $\lambda \times 10^9$). Zur Berechnung von Wartungszyklen wird mitunter auch der sogenannte MTBF (mean time between failures) verwendet. Hier gilt die Beziehung: $MTBF = 1/\lambda$.

Die Ausfallrate ist stark abhängig von der Temperatur und der Betriebsfeldstärke. Die FIT-Raten im Katalogsortiment beziehen sich auf ein aus technischer und statistischer Sicht realistisches Betriebsintervall von 100.000 Stunden bei Nennspannung, unter Annahme einer Dielektrikums-temperatur (=Hotspot-Temperatur) von 70°C . Der Hotspot ist in diesem Zusammenhang bedeutsam, da er das einzige zuverlässige Kriterium in Bezug auf die thermische Belastung des Kondensators liefert. So kann die Außentemperatur verhältnismäßig niedrig sein, während im Innern des Kondensators die infolge der elektrischen Belastung freigesetzte Verlustleistung einen erheblichen Temperaturanstieg bewirken kann. Dies führt u.U. zur selben thermischen Belastung wie eine allgemein hohe Umgebungstemperatur.

Der Betrieb von Kondensatoren mit maximal zulässiger Spannung bei höchster zulässiger Betriebstemperatur sollte daher vermieden werden, andernfalls können die Ausfallraten so hoch werden, dass keine technisch sinnvollen Zuverlässigkeiten mehr gewährleistet sind.

De facto bedeutet eine FIT-Rate von 50 beispielsweise: "Wenn 10.000 Kondensatoren eines Loses gleichzeitig 100.000 h bei Nennspannung und mit einer HOTSPOT-Temperatur von nicht mehr als 70°C betrieben werden, dann ist während der gesamten Betriebsdauer mit dem Ausfall von nicht mehr als 50 Stück dieses Loses zu rechnen." Jeder Zeitraum mit einer HOTSPOT-Temperatur unter 70°C , oder einer Spannung unterhalb der Nennspannung, trägt zu einer Reduzierung der FIT-Rate bei.

Nach Ablauf des Referenzzeitraums werden die Kondensatoren auch weiterhin funktionieren, allerdings kann sich die Ausfallwahrscheinlichkeit ändern. Die FIT-Angaben beruhen vor allem auf langjährigen empirischen Erfahrungen; daneben führt ELECTRONICON zahlreiche regelmäßige Zuverlässigkeitsprüfungen durch, um diese Erkenntnisse zu überprüfen und zu untermauern. Gezielte Studien, um FIT-Raten zu beweisen, würden jedoch den gleichzeitigen Test tausender Kondensatoren über hunderttausende Stunden erfordern, ein technisch und kommerziell unmögliches Unterfangen. Selbst die Verwendung statistischer Methoden und beschleunigter Alterungsfaktoren hat hierbei physikalische und chemische Grenzen.

Daher sollten Lebensdauerformeln wie

$$\text{Lebensdauer (U)} = \left(\frac{U_N}{U_{op}} \right)^n \quad \text{und} \quad \text{Lebensdauer (\Theta)} = 2^{\left(\frac{\Theta_{Nenn} - \Theta_{Betrieb}}{7 K} \right)}$$

nicht für die Errechnung absoluter Lebensdauerangaben verwendet werden. Diese Regeln und Formeln sollen v.a einen Eindruck vom Einfluß der Faktoren Temperatur und Spannung vermitteln.

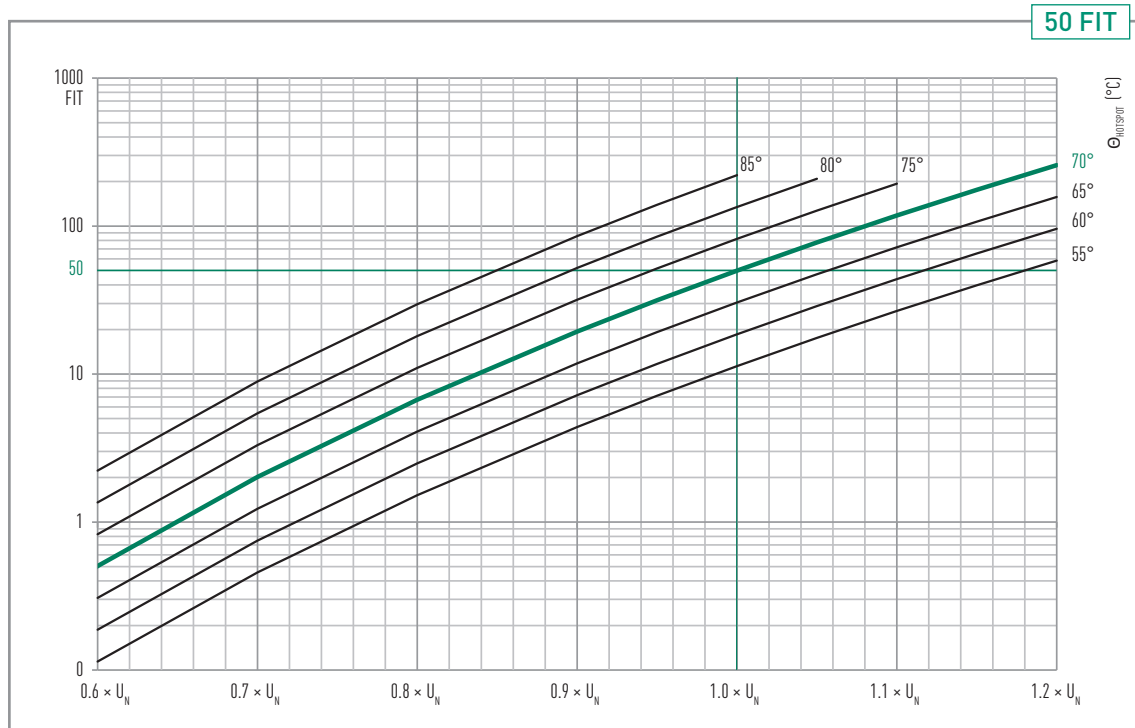
All standard items of ELECTRONICON are designed and dimensioned to comply with their FIT rate as stated in the catalogue or special data sheet. FIT rate statements related to longer reference intervals can be made on request. Further, capacitor designs can be adapted on request to achieve lower FIT at the intended operating conditions.

Alle Standardtypen von ELECTRONICON sind so konstruiert und ausgelegt, daß sie den im Katalog oder speziellem Datenblatt angegebenen FIT-Raten gerecht werden. FIT-Raten-Angaben zu längeren Betrachtungszeiträumen sind auf Anfrage erhältlich. Darüber hinaus können Kondensatoren speziell angepasst werden, um die FIT-Rate für die beabsichtigten Einsatzbedingungen zu beeinflussen und zu verbessern.

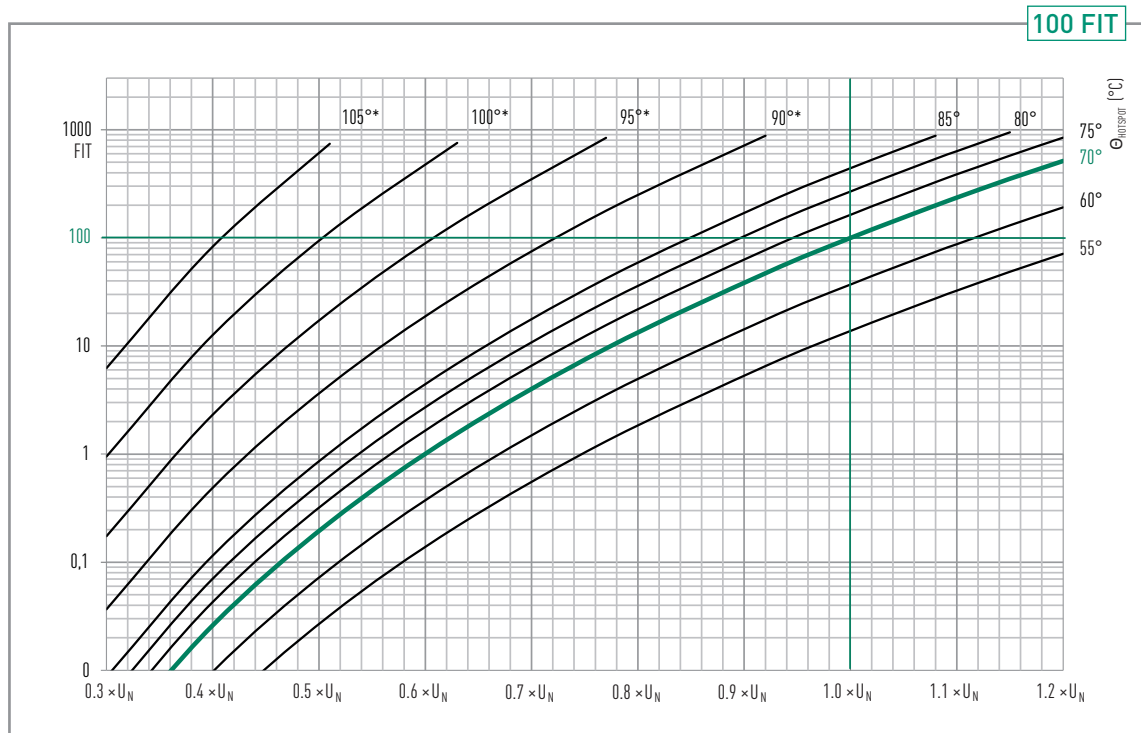
Based on our current state of knowledge derived from test data and experience, we quote the following FIT rates for our standard products at the a.m. conditions:

Basierend auf unserem in Tests und aus Erfahrungswerten gewonnenen derzeitigen Erkenntnisstand geben wir für die o.a. Bedingungen folgende FIT-Raten an:

50 FIT usually applicable to DC ranges E50, E51, E63, E53-H, E55, E60, E61, E80
zutreffend auf Baureihen E50, E51, E63, E53-H, E55, E60, E61, E80

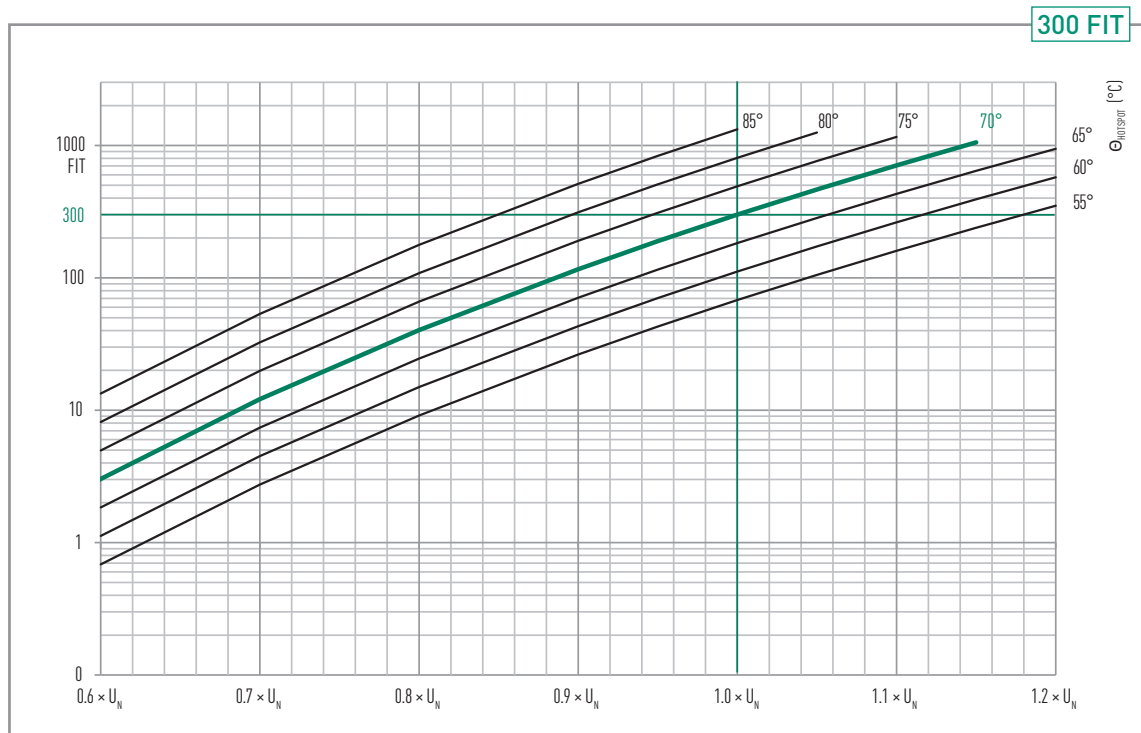


100 FIT usually applicable to AC ranges E62, E65, E53-LI, E57, E51, E54, E67
 zutreffend auf Baureihen E62, E65, E53-LI, E57, E51, E54, E67

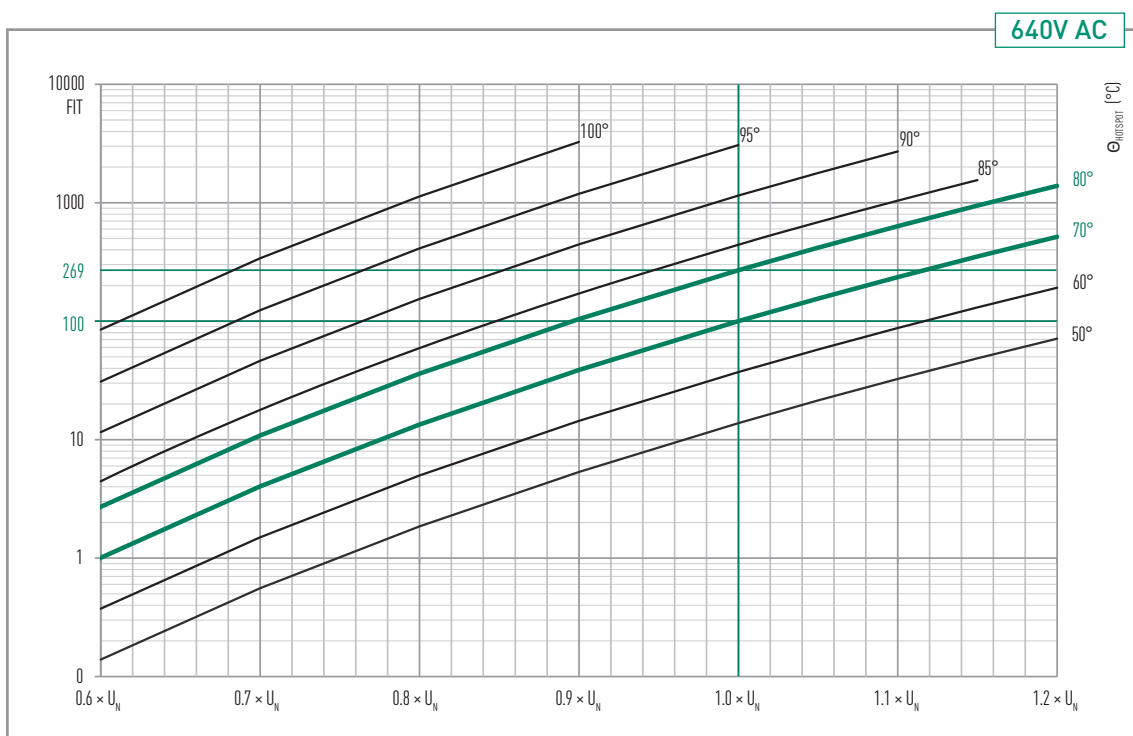
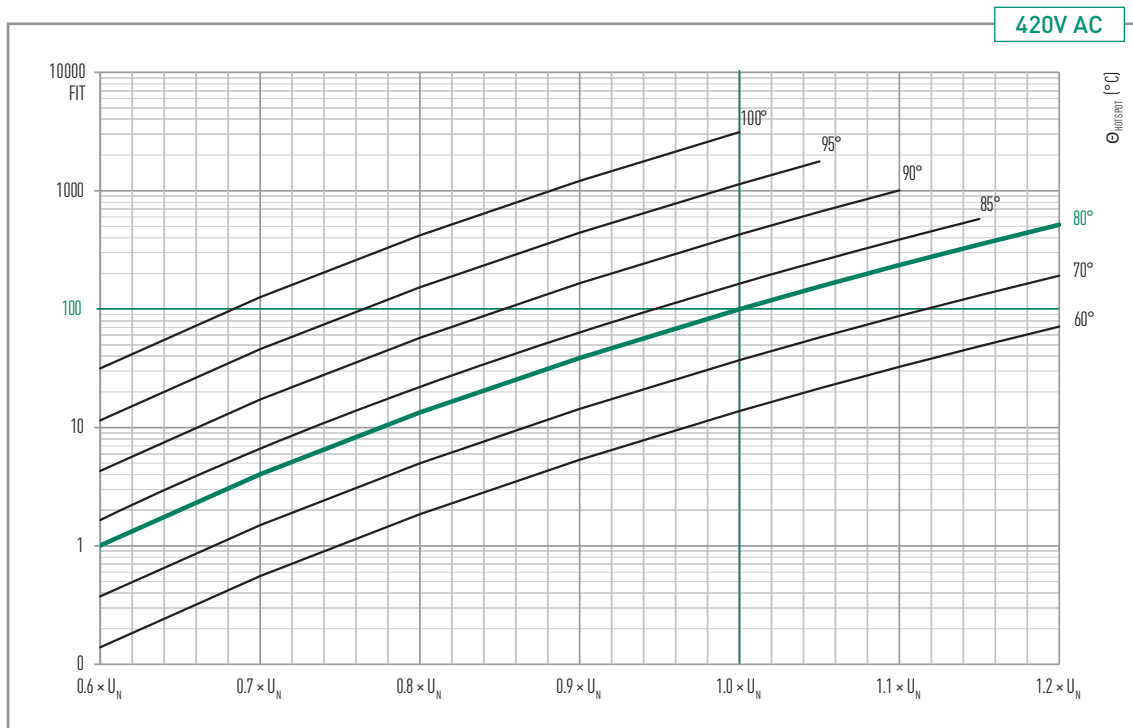


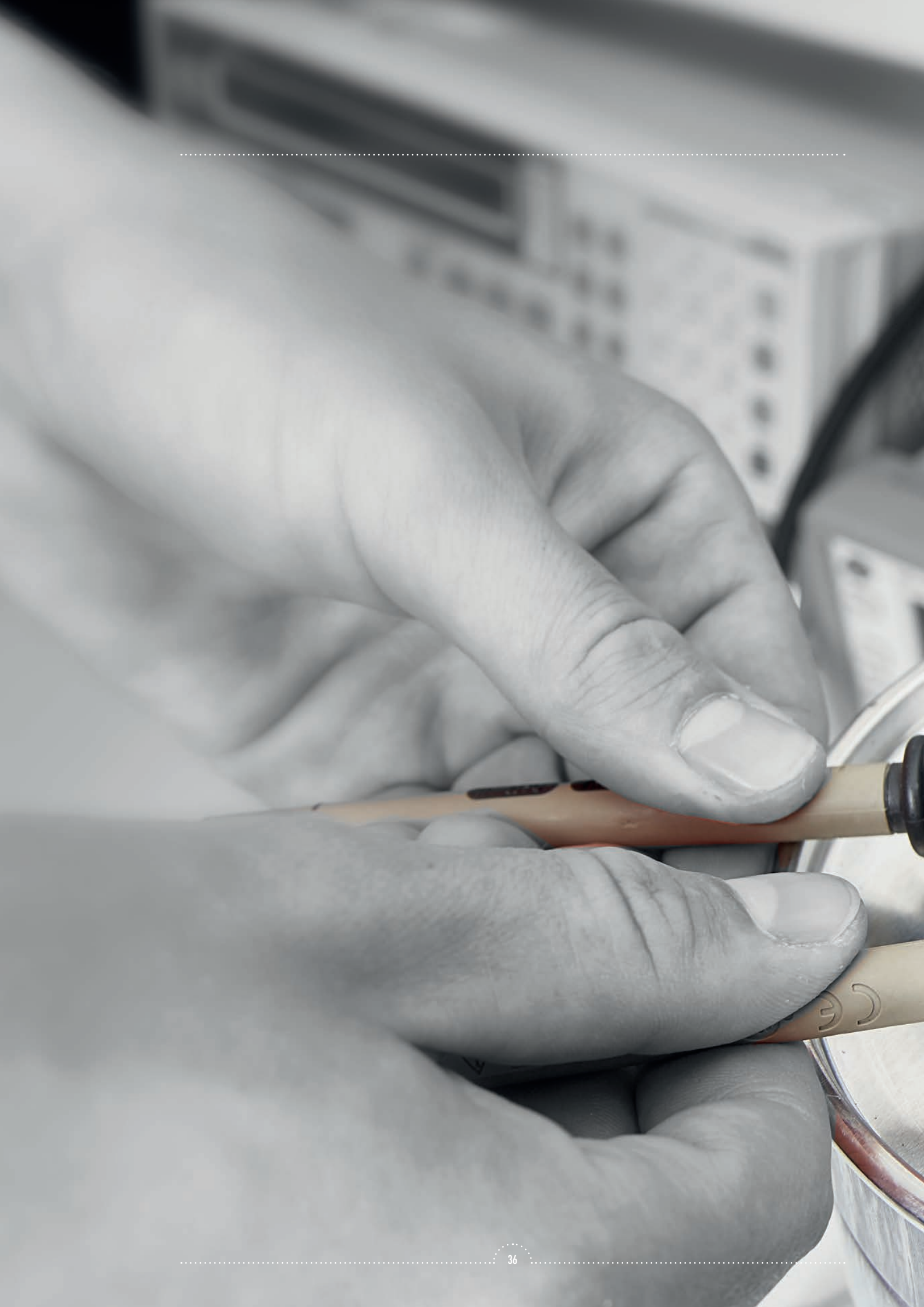
* applicable only to items with proper temperature rating_nur zutreffend für Kondensatoren mit entsprechendem Temperaturbereich

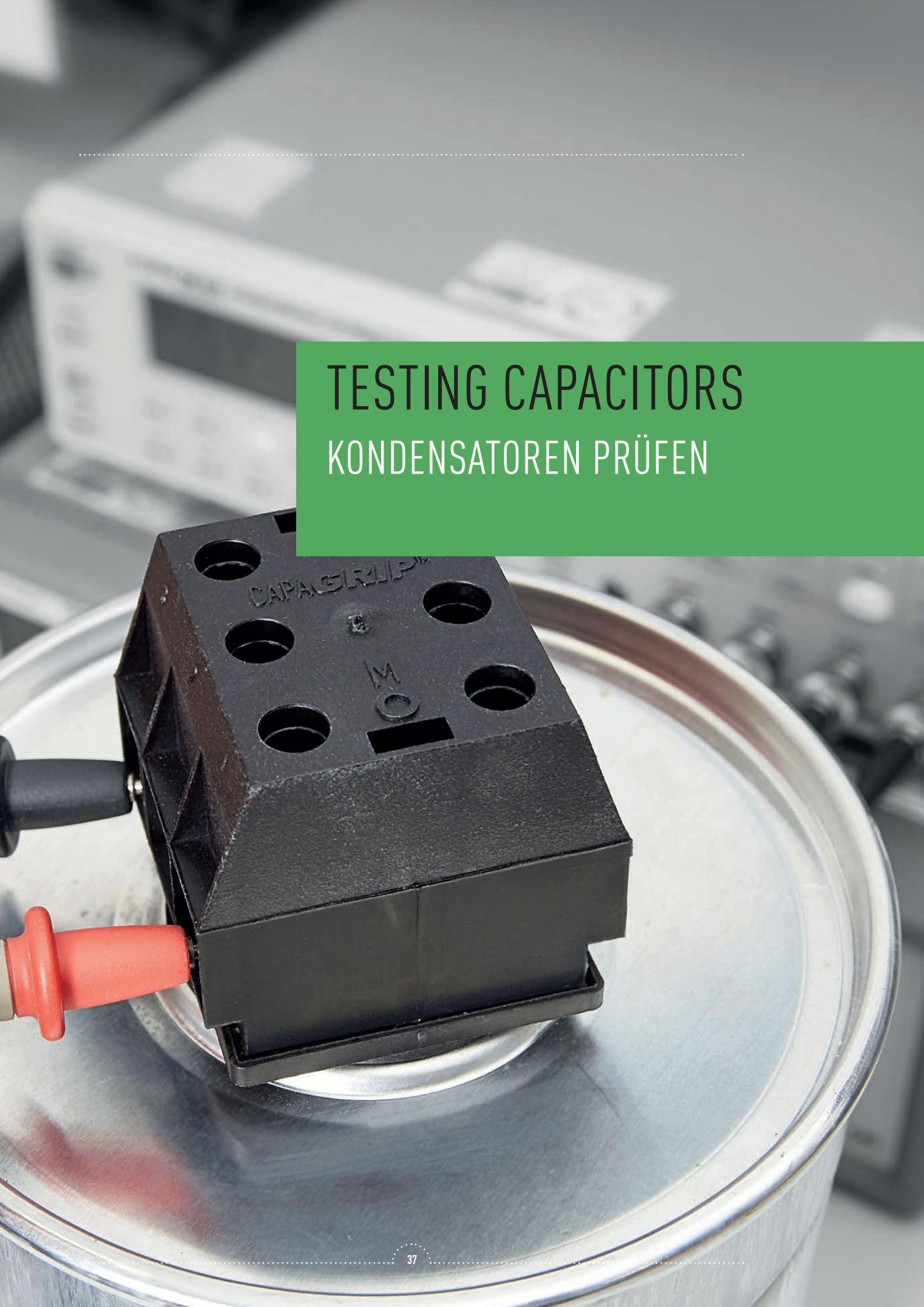
300 FIT usually applicable to DC and AC ranges E56, E59
 zutreffend auf DC und AC Baureihen E56, E59



FIT Rate usually applicable to AC range E64
üblicherweise zutreffend auf Baureihe E64







TESTING CAPACITORS

KONDENSATOREN PRÜFEN

TESTING CAPACITORS PRÜFEN VON KONDENSATOREN

Measurement and Monitoring of the Capacitor Temperature



Conducting tests on capacitors requires detailed knowledge about source and nature of the acquired data to ensure correct interpretation.

The temperature measured on the surface of the can does not reflect the temperature in the hotspot. The latter can only be calculated by means of the thermal resistance R_{th} or measured directly with inserted thermal elements.

ELECTRONICON's R_{th} describes the typical drop between the hotspot temperature and the air temperature measured approx. 10 cm away from the case surface.

Mind that some manufacturers state the R_{th} between hotspot and can surface. Usually, this pretends a lower value of R_{th} because the can has a higher temperature than the surrounding air. Other manufacturers do not quote any value for R_{th} , making evaluation of the hotspot temperature very difficult.

PT100 resistance thermometers

For development and acceptance tests, ELECTRONICON offers special samples with integrated thermal sensors. They allow for exact determination of the temperatures inside the component.

Unless requested otherwise by the customer, we usually place platinum resistance thermometers of the PT100 type, in the expected hottest spot(s).

Please consider the following remarks when testing capacitors with integrated thermal elements:

- ! The signal wires of the thermal elements may impair the hermetical sealing of the case. Capacitors with such elements may leak their filling liquids, and are not suitable for climatic tests or accelerated life-time tests.
- ! The signal wires may impair the internal insulation. Capacitors with such elements are therefore not suitable for permanent operation or tests of insulation strength (TC) or partial discharge.

Technical Features Technische Eckwerte

Type Typ	platinum thermometer
Standard	IEC 60751
measurement range Meßbereich	-200° ... +850°C
reference value Referenzwert	100 Ω @ 0°C
cable length Kabellänge	1m; on request up to 3 m 1m, bis 3 m auf Anfrage

Messung und Überwachung der Kondensator-temperatur

Die Durchführung von Tests an Kondensatoren erfordert detaillierte Klarheit über Quelle und Art der erfassten Daten, um eine korrekte Interpretation sicherzustellen.

Die auf der Gehäuseoberfläche gemessene Temperatur spiegelt nicht die Temperatur im Hotspot wider. Diese kann nur über den thermischen Widerstand R_{th} berechnet oder direkt mit eingebauten Thermofühlern gemessen werden.

Der R_{th} von ELECTRONICON beschreibt das typische Gefälle zwischen der Hotspot-Temperatur und der gemessenen Lufttemperatur in ca. 10cm Entfernung von der Gehäuseoberfläche.

Beachten Sie, dass einige Hersteller den R_{th} zwischen Hotspot und Oberfläche angeben. In der Regel suggeriert dies einen niedrigeren R_{th} -Wert, da das Gehäuse eine höhere Temperatur als die Umgebungsluft hat. Andere Hersteller geben überhaupt keinen Wert für den R_{th} an, was eine Einschätzung der Hotspot-Temperatur sehr schwierig macht.

PT100 Widerstandsthermometer

Für Entwicklungs- und Freigabeproofungen bietet ELECTRONICON spezielle Muster mit integrierten Thermosensoren an. Sie ermöglichen eine genaue Bestimmung der Innentemperaturen.

Sofern vom Kunden nicht anders gewünscht, positionieren wir gewöhnlich Platin-Widerstandsthermometer vom Typ PT100 an den zu erwartenden heißesten Stellen.

Bitte beachten Sie beim Testen von Kondensatoren mit integrierten Thermoelementen die folgenden Einschränkungen:

Die Signaldrähte der Thermoelemente können die hermetische Abdichtung des Gehäuses beeinträchtigen. Kondensatoren mit solchen Elementen können Füllmittel verlieren und sind nicht für beschleunigte Klima-/Lebensdauertests geeignet. Signalleitungen können die innere Isolierung beeinträchtigen. Kondensatoren mit solchen Elementen eignen sich nicht für Dauerbetrieb, Isolations- (TC) oder Teilentladungsprüfungen.

Related Formulas Zugehörige Formeln

$$\begin{aligned} -200^{\circ} \dots 0^{\circ}\text{C}: & \quad R_t = R(t) = R_0 (1 + At + Bt^2 + C(t-100^{\circ}\text{C})^3) \\ 0^{\circ} \dots 850^{\circ}\text{C}: & \quad R_t = R(t) = R_0 (1 + At + Bt^2) \end{aligned}$$

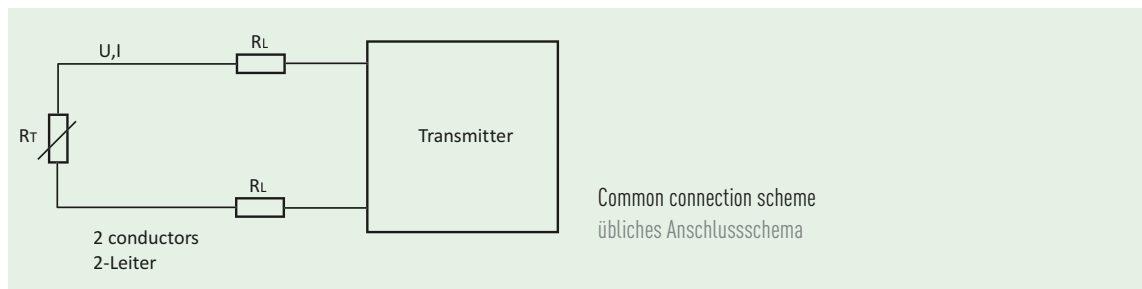
$$\begin{aligned} A &= 3.9083 \times 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \\ B &= -5.775 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-2} \\ C &= -4.183 \times 10^{-12} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-4} \end{aligned}$$

The cable resistances R_L of our standard PT100 elements can be neglected and require no special adjustment.

Standardized conversion charts for PT100 are available from common web sites such as www.pt100.de.

Die Kabelwiderstände R_L unserer PT100-Elemente können vernachlässigt werden und erfordern keine besondere Anpassung.

Standardisierte Umrechnungstabellen für PT100 sind auf einschlägigen Webseiten wie www.pt100.de verfügbar.

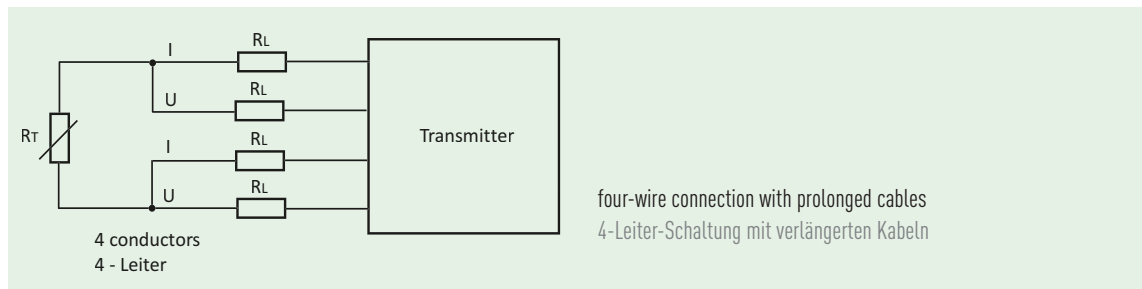


Important note: If the leads need to be extended, for example to connect with more remote measuring equipment, a three- or four-wire circuitry must be used (depending on the type of transmitter/measuring device). Otherwise, significant measurement errors will occur, and excessive temperatures are likely to be indicated.

Wichtiger Hinweis: Wenn diese Leitungen verlängert werden müssen, z.B. für den Anschluss an weiter entfernte Messgeräte, so muss eine Drei- oder Vier-Leiter-Schaltung verwendet werden (abhängig vom Typ des Messumformers/Messgeräts). Andernfalls kommt es zu signifikanten Messfehlern und es werden mit hoher Wahrscheinlichkeit überhöhte Temperaturwerte ausgelesen.

The (recommended) four-wire circuitry separates the supply of a constant current completely from the measurement over two separate wires, and the influence of the conductor resistance is eliminated entirely.

Die (empfohlene) Vier-Leiter-Schaltung trennt über zwei separate Drähte die Versorgung mit konstantem Strom vollständig von der Messung, und der Einfluss des Leiterwiderstandes wird damit zuverlässig eliminiert.



Thermocouples

Another common means of measuring the temperature is the thermocouple ("TK").

Other than PT100, all kinds of thermocouples generate a very low voltage of a few microvolts per degree only. Therefore the signal requires substantial amplification. However considering the typical environment in which such measurements are made, there is a substantial risk of electrical interference and signal distortion.

It is a common experience that not many measuring devices can provide the necessary filtering to ensure reliable measurement. This is the reason why ELECTRONICON recommends using PT100 instead of thermocouples.

Thermoelemente

Ein weiteres gebräuchliches Mittel zum Messen der Temperatur ist das Thermoelement ("TK").

Anders als PT100 erzeugen alle Arten von Thermoelementen eine sehr niedrige Spannung von nur wenigen Mikrovolt pro Grad. Deshalb erfordert das Signal eine wesentliche Verstärkung. In Anbetracht der typischen Umgebung, in der solche Messungen durchgeführt werden, besteht jedoch ein hohes Risiko von elektrischen Störungen und Signalverzerrungen.

Die allgemeine Erfahrung besagt, dass nicht viele Messgeräte die notwendige Filterung bereitstellen können, um eine zuverlässige Messung zu gewährleisten. Daher empfiehlt ELECTRONICON die Verwendung von PT100 anstelle von Thermoelementen.



Partial Discharge (PD) Measurements

PD measurements on capacitors are intended to detect potential faulty spots in the insulation in order to prevent future failures as partial discharges may weaken the insulation between life parts and the housing as well as within the dielectric. An essential pre-condition for harmful partial discharges is the presence of AC voltage with a certain minimum level. Pure DC voltage or low-level AC voltages do usually not produce relevant partial discharges.

DC partial discharges happen mostly in enclosed air bubbles; due to their low energy density and rare repetition rate, they are much less harmful than AC discharges.

The procedures for PD measurements are described in IEC 60270 "High voltage test techniques – PD measurements"; clause 4.1.2.4. of IEC 60664 "Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – part 1" outlines typical requirements and criteria for PD tests in low voltage systems up to 1000 V_{AC}.

Since most DC applications contain not more than 2000 V_{ripple} (corresponding to 1000 V_{AC}), the described approach appears to make sense for DC systems with higher voltages as well.

Ripple voltages >2000 V as well as pure AC applications with more than 1000 V_{AC} are covered by standard IEC EN 61287-1; its methodology is similar to IEC 60664 but specifies other test voltages and periods.

All calculations are based on the value of recurring peak voltage U_p or U_m respectively, which is defined in the standard as follows:

"recurring peak voltage (U_p):

maximum peak value of periodic excursions of the voltage waveform resulting from distortions of an a.c. voltage or from a.c. components superimposed on a d.c. voltage.

NOTE: Random overvoltages, for example due to occasional switching, are not considered to be recurring peak voltages."

This definition is very clear for AC capacitors and leaves no room for misinterpretation. However there is frequent misunderstanding when it comes to DC capacitors where the combined level of DC voltage plus AC ripple component is mistaken as the reference level for U_p . If applied to the calculation of test voltage between terminals and case, this would result in unnecessary oversizing of the capacitor's insulation, if applied to the calculation of the test voltage between terminals – in destruction of the capacitor.

The term "periodic excursions" describes the repetitive deviation from the standard shape which is, in the case of DC capacitors, the waveform of the AC ripple component, but NOT the total voltage level including basic DC voltage.

Teilentladungsmessungen (TE)

TE-Messungen an Kondensatoren sollen potenzielle Fehlstellen in der Isolierung erkennen, um zukünftige Ausfälle zu verhindern, da Teilentladungen die Isolierung zum Gehäuse sowie im Dielektrikum schwächen können. Eine wesentliche Voraussetzung für schädliche Teilentladungen ist das Vorhandensein einer Wechselspannung mit einem bestimmten Mindestpegel. Reine DC- oder niedrige AC-Spannungen erzeugen normalerweise keine relevanten Teilentladungen.

DC-Teilentladungen treten überwiegend in eingeschlossenen Luftblasen auf und sind wegen ihrer niedrigeren Wiederholrate und Energiedichte wesentlich weniger gefährlich als AC-Teilentladungen.

Die Verfahren für TE-Messungen sind in IEC 60270 "Hochspannungsprüfverfahren – TE-Messungen" beschrieben; Abschnitt 4.1.2.4. der IEC 60664 "Isolationskoordination für elektrische Betriebsmittel in Niederspannungsanlagen – Teil 1" beschreibt typische Anforderungen und Kriterien für TE-Tests in Niederspannungsanlagen bis 1000 V_{AC}.

Da die meisten DC-Anwendungen nicht mehr als 2000 V_{ripple} (entsprechend 1000 V_{AC}) beinhalten, erscheint die beschriebene Herangehensweise auch für Systeme mit höheren DC-Spannungen sinnvoll.

Bei Ripple-Spannungen >2000V sowie für reine AC-Anwendungen mit mehr als 1000 V_{AC} findet hingegen der Standard IEC EN 61287-1 Anwendung. Seine Methodik ähnelt der von IEC 60664, sieht aber im Detail andere Prüfzeiten und -spannungen vor.

Alle Berechnungen basieren auf dem Wert der wiederkehrenden Spitzenspannung U_p bzw. U_m , der im Standard wie folgt definiert ist:

„Wiederkehrende Spitzenspannung (U_p):

maximaler Spitzenwert periodischer Abweichungen der Spannungs-kurve, die aus Verzerrungen einer Wechselspannung oder einer auf Gleichspannung überlagerten Wechselspannung resultieren.

HINWEIS: Zufällige Überspannungen, z.B. aufgrund gelegentlichen Schaltens, werden nicht als wiederkehrende Spitzenspannungen angesehen."

Diese Definition lässt bei AC-Kondensatoren keinen Raum für Fehlinterpretationen. Es gibt jedoch häufig Missverständnisse bzgl. DC-Kondensatoren, bei denen der kombinierte Pegel aus DC- zzgl. überlagelter AC-Komponente als Referenzpegel für U_p fehlinterpretiert wird. Bei der Berechnung der Prüfspannung zwischen Anschlüssen und Gehäuse kann dies zu unnötiger Überdimensionierung der Kondensatorisolierung führen, bei der Berechnung der Prüfspannung zwischen den Anschlüssen – zur Zerstörung des Kondensators.

Der Ausdruck "periodische Abweichungen" beschreibt die wiederholte Abweichung von der Standardform, im Falle von DC-Kondensatoren also die überlagerte Wechselspannung, aber eben NICHT den Gesamtpegel einschließlich der Gleichspannung.

The calculation basis for the PD test voltages for an application with 6 kV_{DC} and 1000V_{AC} ripple would be:

Die Berechnungsgrundlage für die TE-Prüfspannungen zu einer Anwendung mit 6 kV_{DC} und 1000 V_{AC} Ripple wäre:



correct richtig: $U_p = 1000 \text{ V}_{\text{ripple}} / 2 = 500 \text{ V}_{\text{AC}}$ or $354 \text{ V}_{\text{rms}}$
 wrong falsch: $U_p = 6000 \text{ V}_{\text{DC}} + 1000 \text{ V}_{\text{AC}} / 2 = 6500 \text{ V}_{\text{AC}}$ or $4600 \text{ V}_{\text{rms}}$

Based on the calculated U_p , IEC 60664-1 assumes a minimum PD extinction voltage for all insulation types of $U_{p0} = 1.2 U_p$ plus an additional safety factor of 1.25 for reinforced insulation:

Auf dieser Grundlage veranschlagt IEC 60664-1 für alle Isolationstypen eine minimale TE-Aussetzspannung $U_{p0} = 1,2 U_p$ zzgl. eines Sicherheitsfaktors von 1,25 für verstärkte Isolierungen:

$$U_{p0} = 1.25 (1.2 \times U_p) = 1.5 \times U_p$$

The standard now defines the test voltage for reinforced insulation as

Die Norm definiert nun die Prüfspannung für verstärkte Isolierung als

$$U_{\text{test}} = 1.2 \times U_{p0} = 1.8 \times U_p$$

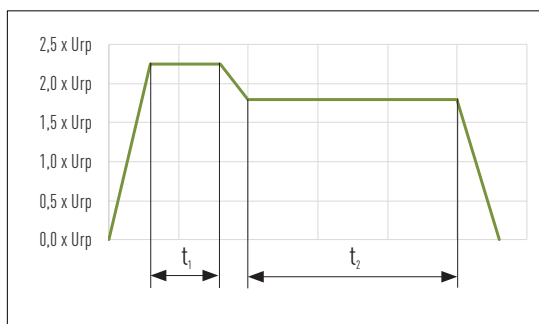
With respect to the expected hysteresis between inception voltage U_i and extinction voltage U_e , the test is required to ramp up to $1.25 U_i$ first:

Mit Bezug auf die erwartete Hysterese zwischen Einsetzspannung U_i und Aussetzspannung U_e muss der Test zunächst auf $1,25 U_{\text{test}}$ hochfahren:

$$U_{\text{test1}} = 1.25 \times U_i = 2.25 \times U_p$$

If no PD > 10 pC have occurred for a period t_1 , the test voltage shall then be reduced to zero. If PD > 10pC have occurred within a period t_1 , the test voltage shall be reduced to U_{test} and held for a second test period t_2

Treten für einen Zeitraum t_1 keine TE > 10 pC auf, wird die Prüfspannung auf Null reduziert. Anderenfalls wird die Prüfspannung auf U_{test} abgesenkt und für eine zweite Testperiode t_2 gehalten:



For our example, this would mean:

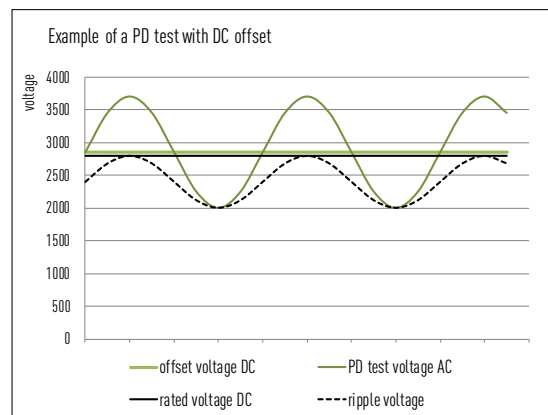
Für unser Beispiel würde dies bedeuten:

ramp-up to Anstieg auf
 then reducing to danach Absenkung auf

$$2.25 \times U_p = 2.25 \times 354 \text{ V}_{\text{rms}} = 797 \text{ V}_{\text{rms}}, \\ 1.8 \times U_p = 1.8 \times 354 \text{ V}_{\text{rms}} = 637 \text{ V}_{\text{rms}}$$

! For DC capacitors, a test voltage combining a DC voltage offset with a superposed AC voltage often represents a practical option. This way, the test of the insulation system is conducted closely to the actual conditions of the application, but without overreaching AC stress.

Für Gleichspannungskondensatoren stellt häufig die Kombination der Testspannung aus DC-Offset und überlagerter Wechselspannung eine praktikable Variante dar. Auf diese Weise orientiert sich der Test des Isolationssystems sehr nah an den tatsächlichen Bedingungen der Anwendung, jedoch ohne übersteigerte AC-Belastung.



Which PD level makes sense?

During recent years, it has become popular among a growing number of customers to specify very low PD levels at high test voltages between terminals and capacitor case.

Long-term insulation tests on large capacitors with initial PD levels of >50 pC and >500 pC revealed that even after 8000 (!) hours of steady exposure to an AC-voltage of $1.77 \times U_n$, the insulation of these capacitors did not produce any signs of deterioration! Therefore, comparably high PD levels are not necessarily an indicator of insulation problems, the less so as capacitors often have extensive insulation surfaces (in the tested capacitors: ca. 70 dm^2 !).

For safe operation, PD levels of $< 1...2 \text{ pC/dm}^2$ of capacitor surface are sufficient. Moreover, the measuring voltage for PD inception and extinction requested by the customer should reflect the real AC voltage occurring between capacitor terminals and housing during operation. In most applications, this voltage is just within the rated AC voltage U_n , in DC applications within the permitted AC ripple voltage U_r .

It is important to avoid partial discharges at concentrated spots, (e.g. metal tips pointing towards or into the insulation, insufficiently dimensioned terminal bushings). These spots may create flashovers during operation under permanent stress. Such spots of potential fault, however, can be detected by thorough PD measurement as they create a completely different picture. Typically, with rising test voltage the PD level in such spots increases with an avalanche effect.

The high (and mostly unjustified) PD requirements dictate very extensive insulation of the large capacitor surface. This is mostly provided by a

Welches TE-Niveau ist sinnvoll?

In jüngster Zeit spezifiziert eine wachsende Anzahl von Kunden sehr niedrige PD-Pegel bei hohen Testspannungen zwischen Anschlüssen und Kondensatorgehäuse.

In Langzeit-Isolationstests an großen Kondensatoren mit TE-Anfangswerten von >50 pC und >500 pC zeigte deren Isolierung selbst nach 8000 (!) Stunden Dauerbelastung mit einer AC-Spannung von $1.77 \times U_n$ keinerlei Anzeichen einer Verschlechterung! Relativ hohe TE-Werte sind daher nicht unbedingt ein Indikator für Isolationsprobleme, umso weniger angesichts der teilweise enormen Isolationsflächen (bei den getesteten Kondensatoren: ca. 70 dm^2 !).

Für einen sicheren Betrieb sind PD-Pegel von $< 1...2 \text{ pC/dm}^2$ Kondensatorfläche ausreichend. Zudem sollten die vom Kunden gewünschten TE-Ein- und Aussetzspannungen die während des Betriebs real zwischen Anschlüssen und Gehäuse wirksame Wechselspannung widerspiegeln. In den meisten Anwendungen liegt diese Spannung innerhalb der zulässigen Wechselspannung U_n , bei DC-Anwendungen innerhalb der erlaubten Rippelspannung U_r .

Es ist wichtig, konzentrierte Teilentladungen zu vermeiden (z. B. auf oder in die Isolierung gerichtete Metallspitzen, unzureichend bemessene Isolatoren). Derartige Fehlerstellen können unter Dauerlast zu Überschlagen führen. Sie werden jedoch durch gründliche TE-Messungen erkannt, da sie ein völlig anderes Bild erzeugen. Typischerweise wächst der TE-Pegel an Schwachstellen dieser Art mit steigender Prüfspannung lawinenartig an.

Die hohen (und meist ungerechtfertigten) TE-Forderungen führen zu übertriebener Isolation der großen Kondensatorflächen. Diese muss

larger separation layer between the winding elements and the walls of the case. However, this also increases the thermal insulation. It worsens the thermal resistance of the capacitor, reducing its life expectancy when operated with high currents (and high power losses).

In the interest of product safety, reliability, and cost, excessive PD requirements should therefore be avoided.

meist durch eine dickere Trennschicht zwischen Wickeln und Gehäusewänden erzielt werden, welche jedoch gleichzeitig eine sehr gute Wärmedämmung darstellt. Das verschlechtert den thermischen Widerstand des Kondensators und verringert seine Lebenserwartung bei Betrieb mit hohen Strömen (und hoher Verlustleistung).

Im Interesse von Produktsicherheit, Zuverlässigkeit und Kosten sollten übertriebene PD-Anforderungen daher vermieden werden.



ZVEI - Guidelines on PD-Measurements

Determining the Self-Inductance L_e

The self-inductance of power capacitors cannot be measured by means of an LCR-bridge for two reasons:

1. The tolerance band of any LCR bridge is too wide for a reliable measurement of the self-inductance of power electronics capacitors.
2. Whenever a capacitor is measured, the LCR bridge is connected with a series of a.) very large capacitance, b.) very small inductance, and c.) series resistance (i.e. sum of all conductors in the capacitor including terminals, wires, film coating, etc.) Both C and R_s represent such large and dominating values that it is practically impossible to get a reasonable reading of L.

IEC 61071 section 5.12. contains detailed instructions how to determine the self-inductance of capacitors indirectly through calculation from the resonance frequency. There are two different procedures.

Procedure 1: Frequency Run Method

Required measuring equipment: frequency generator, amplifier and high-definition circuit analyzer

By the help of the frequency generator, a defined frequency range is checked. Simultaneously, the voltage change is read by a voltmeter. The frequency value at which the voltage value reaches its minimum defines the resonance point of the capacitor.

Afterwards, the self-inductance is calculated by the Thomson formula:

$$f_{\text{res}} = \frac{1}{2\pi \times \sqrt{L \times C}}$$

Procedure 2: Surge Discharge Method

A digital oscilloscope records the curve of the discharge during a surge discharge of the capacitor. Afterwards, the resonance frequency is identified by the numbers of intersection points over time scale.

Method 2 includes a factor of uncertainty: the external inductance of the measuring circuit. Hence procedure 1 is our preferred method.

Bestimmung der Eigeninduktivität L_e

Die Eigeninduktivität von Leistungskondensatoren kann aus zwei Gründen nicht mit einer LCR-Brücke gemessen werden:

1. Das Toleranzband einer LCR-Brücke ist zu breit für eine zuverlässige Messung der Eigeninduktivität von LE-Kondensatoren.
2. Bei einer Kondensatormessung ist die LCR-Brücke mit einer Reihenschaltung von a.) sehr großer Kapazität, b.) sehr kleiner Induktivität und c.) Serienwiderstand (d.h. Summe aller Leiter im Kondensator z.B. Anschlüsse, Drähte, Metallisierung, usw.) verbunden. C und R_s stellen dabei so große und dominierende Werte dar, dass eine vernünftige Anzeige von L praktisch unmöglich ist.

IEC 61071 Abschnitt 5.12. enthält detaillierte Anweisungen zur indirekten Bestimmung der Eigeninduktivität von Kondensatoren mittels Berechnung über die Resonanzfrequenz. Es gibt zwei verschiedene Verfahren.

Verfahren 1: Frequenzlaufmethode

Erforderliche Ausrüstung: Frequenzgenerator, Verstärker und hochauflösender Schaltungsanalysator

Mit Hilfe des Frequenzgenerators wird ein definierter Frequenzbereich abgeprüft. Gleichzeitig wird die Spannungsänderung mittels Voltmeter überwacht. Der Frequenzwert, bei dem der Spannungswert sein Minimum erreicht, definiert den Resonanzpunkt des Kondensators.

Danach wird die Eigeninduktivität nach der Thomson-Formel berechnet:



Instructions for Acceptance Tests and Incoming Goods inspection

To avoid misunderstandings or misinterpretations during acceptance tests or incoming goods inspection, the following FAQ should be considered. If in doubt, contact ELECTRONICON to agree specific criteria:

Subject	Problem	Comment
Weight	Measured weight of large capacitors differs from specified value	Make sure to use proper equipment for verifying the weight of large capacitors. Due to manufacturing tolerances the ratio of film and filling resin may vary, and weight may deviate from the rated value by up to 10%.
Dimensions	Measured dimensions differ from the statements in data sheet.	Unless explicitly stated otherwise, the dimensions given in data sheets and catalogue sketches are quoted with a standard tolerance acc. to EN ISO 13920 BE. Ask for a detailed technical drawing or STEP-file if you want to ensure clear agreement on critical dimensions.
Optical appearance	Stains, finger prints, scratches, small dents, housing bulges	Superficial flaws such as slight scratches, colour variations of the material, finger prints, small dents, slight unevenness of the surface or production-related bulges within the tolerances specified in the data sheet do not represent a fault and cannot be accepted as a reason for rejects or claims under warranty.
Optical appearance	Shiny edges on metal-housed box-capacitors	The welding seams of stainless steel cases without shot-blasting have been cleaned and treated by electrochemical and mechanical procedures to restore the anti-corrosive functions of the stainless steel. Colour changes caused by this procedure are entirely normal. They are irrelevant for function, safety and reliability of the capacitor and cannot be accepted as a reason for rejects or claims under warranty.
Fastening torque	Terminal bushings give way under application of the specified fastening torque.	The fastening torques stated in our data sheets or catalogues refer to the electrical connection only. Please mind that unless stated otherwise, all bushings shall be countered during fastening in order to avoid transfer of the torque onto the insulator body.
Terminal insulators	The insulators on box-shaped capacitors seem to be movable.	Plastic parts may be subject to a certain settlement under tension; it is quite common that the insulator as well as other parts "relax" slightly after their installation in production. This has been considered by our fastening torques during assembly. Please consult us in advance if planning to install a goods inwards inspection of the terminal or insulator torque.
Acoustic check	Knocking on the case walls of large box capacitors produces a "hollow" sound.	During the solidification process or operation, the filling resin inside the capacitor may detach from the case walls in some areas. Such detachment has been taken into consideration when determining the thermal resistance value of the capacitor (R_{th}) and is uncritical for thermal balance and mechanical stability of the capacitor. "Hollow sounds" are not accepted as a reason for claims.
Noise	A humming noise is heard inside the capacitor when testing with high voltages.	Slight constant humming may occur due to mechanical tensions inside the polypropylene. Such tensions may have occurred during thermal conditioning or vacuum drying process. Such humming is uncritical and no reason for technical or safety concern. It will therefore not be accepted as a reason for claims. Please observe the limitations for repetitive tests between terminals as described in chapter "Definitions and Selection Criteria".

Subject	Problem	Comment
Noise	There is a cracking noise when testing the capacitor with high voltages.	The crackles may be caused by partial discharges inside the insulation system. Contact our staff if you hear repetitive or constant crackling. Attention: Please observe the limitations for repetitive tests between terminals and case as described in chapter "Definitions and Selection Criteria".
Loss factor $\tan\delta$	Measured values are higher than in data sheet.	The data sheet states only the dielectric loss factor of polypropylene ($\sim 2 \times 10^{-4}$). It must not be mistaken for the loss factor of the complete capacitor which, depending on testing frequency and construction, may be higher by up to factor 15. Many measurement devices (e.g. standard LCR bridges) are not suitable for determining the loss factor of large capacitors.
Series resistance R_s	The measured resistance of the capacitor differs from the R_s value stated in the data sheet/catalogue.	It is impossible to measure the R_s of a capacitor. Any device will only measure an ESR which is influenced by the dielectric losses and the measuring frequency. The R_s stated in our data sheets is a calculated DC-value based on design data and the known material characteristics. It reflects the current power losses of the capacitor and enables the user to evaluate the temperature stress in his application. When measuring between two terminals of a three-phase capacitor, the measurement will always read a combination of capacitances connected in series and parallel. The values in the data sheet reflect an average of all calculated current power losses of the capacitor, distributed equally over all three phases. This will give the user a basis for his calculations.
Self-inductance L_s	How can I measure the self-inductance?	Direct measurement of the L_s is not possible. It can only be determined by indirect methods (e.g. via auto-resonant frequency). The conditions of measurement and the equipment used for the test may have a very big influence on the results, especially when conducted on large size capacitors. Any such measurement should therefore be discussed with ELECTRONICON in advance.
Leakage current between terminals and case	Measurement between terminals and case shows a comparably high leakage current of several Milliampères.	Live parts inside the capacitor may form a parasitic capacitance with adjacent housing parts. In large capacitors with metal case, parasitic capacitances of up to 10 nF have been observed which will – depending on the applied AC test voltage – cause a considerable parasitic capacitive current. This is a physical phenomenon and not a sign of insulation problems.
Leakage current between terminals	Measurement between the terminals shows a considerable leakage current contradicting the value calculated from rated insulation resistance.	In large capacitors, there are several polarisation processes during the charging; it may take up to one hour until the final status has been reached. If in doubt, permit sufficient time for the capacitor to get charged and the field to stabilize. Depending on the power of the applied charging and measuring devices, it may take considerable time until the capacitor is fully charged. Premature measurement may be misinterpreted as an insulation problem.

Wichtige Hinweise für Freigabetests und Wareneingangsprüfung

Um Missverständnisse oder Fehlinterpretationen bei Freigabetests oder Wareneingangskontrollen zu vermeiden, sollten die folgenden Ausführungen berücksichtigt werden. Wenden Sie sich im Zweifelsfall an ELECTRONICON, um bestimmte Kriterien zu vereinbaren.

Thema	Problem	Anmerkungen
Gewicht	Das gemessene Gewicht großer Kondensatoren unterscheidet sich vom angegebenen Wert.	Stellen Sie sicher, dass Sie die richtige Ausrüstung verwenden, um das Gewicht großer Kondensatoren zu überprüfen. Aufgrund von Fertigungstoleranzen kann das Verhältnis von Folie und Füllharz variieren und das Gewicht um bis zu 10% vom Nennwert abweichen.
Abmessungen	Gemessene mechanische Abmessungen weichen von den Angaben im Datenblatt ab.	Wenn nicht ausdrücklich anders angegeben, werden die in Datenblättern und Katalogskizzen angegebenen Maße mit einer Standardtoleranz nach EN ISO 13920 BE angegeben. Fordern Sie eine detaillierte technische Zeichnung oder STEP-Datei an, wenn Sie eine eindeutige Übereinstimmung der kritischen Abmessungen sicherstellen möchten.
Optisches Erscheinungsbild	Flecken, Fingerabdrücke, Kratzer, kleine Dellen, Gehäuseausbuchtung	Oberflächliche Beeinträchtigungen wie leichte Kratzer, Farbabweichungen des Materials, Fingerabdrücke, kleine Dellen, leichte Unebenheiten der Oberfläche oder fertigungsbedingte Ausbuchtungen im Rahmen der Toleranzen laut Datenblatt sind kein Fehler und können nicht als Grund für Beanstandungen oder Gewährleistungsansprüche akzeptiert werden.
Optisches Erscheinungsbild	Glänzende Kanten an Metallgehäuse-Kondensatoren	Die Schweißnähte von ungestrahlten Edelstahlgehäusen werden gereinigt und durch elektrochemische und mechanische Verfahren behandelt, um den Korrosionsschutz des rostfreien Stahls wiederherzustellen. Farbveränderungen, die durch dieses Verfahren verursacht werden, sind völlig normal. Sie sind für Funktion, Sicherheit und Zuverlässigkeit des Kondensators irrelevant und können nicht als Grund für Reklamationen oder Garantieansprüche akzeptiert werden.
Befestigungsdrehmoment	Gewindebolzen geben bei Anwendung des vorgeschriebenen Anzugsdrehmoments nach.	Die in unseren Datenblättern oder Katalogen angegebenen Anzugsmomente beziehen sich nur auf den elektrischen Anschluss. Bitte beachten Sie, dass, wenn nicht anders angegeben, alle Gewindebolzen während der Befestigung gekontert werden, um eine Übertragung des Drehmoments auf den Isolatorkörper zu vermeiden.
Isolatorkörper	Die Isolatoren auf Kondensatoren der E56/E59-Reihe lassen sich bewegen.	Beachten Sie, dass sich Kunststoffteile unter mechanischer Spannung nach einer Weile „setzen“ können; nicht selten „entspannt“ sich der Isolator sowie andere Teile nach ihrem Einbau etwas. Dies wurde durch unsere Befestigungsdrehmomente während der Montage berücksichtigt. Bitte konsultieren Sie uns im Voraus, wenn Sie eine Wareneingangsprüfung von Klemmen- oder Isolator Drehmomenten planen.
Akustische Prüfung	Klopfen an den Gehäusewänden großer eckiger Kondensatoren erzeugt einen "hohlen" Klang.	Während des Aushärtens kann sich das Füllharz innerhalb des Kondensators in einigen Bereichen von den Gehäusewänden lösen. Eine solche Ablösung wurde bei der Bestimmung des Widerstandswerts des Kondensators (R_{th}) bereits berücksichtigt und ist für das thermische Gleichgewicht und die mechanische Stabilität des Kondensators unkritisch. "Hohltöne" werden nicht als Reklamationsgrund akzeptiert.
Geräusche	Beim Testen mit hohen Spannungen ist ein Brummen im Kondensator zu hören.	Geringfügiges konstantes Brummen kann durch mechanische Spannungen im Inneren des Polypropylens auftreten, welche während der thermischen Konditionierung oder im Vakuumtrocknungsprozess entstanden sein können. Das Summen ist unkritisch und kein Grund für technische oder Sicherheitsbedenken. Es kann daher nicht als Reklamationsgrund akzeptiert werden. Bitte beachten Sie die Einschränkungen für Wiederholungsprüfungen zwischen den Anschlüssen (siehe Kapitel "Definitionen und Auswahlkriterien").

Thema	Problem	Anmerkungen
Geräusche	Beim Testen des Kondensators mit hohen Spannungen ist ein Knistern zu hören.	Das Knistern kann seinen Ursprung in Teilentladungen innerhalb des Isolationssystems haben. Konsultieren Sie uns, wenn Sie wiederholtes oder andauerndes Knistern hören. Achtung: Bitte beachten Sie die Einschränkungen für Wiederholungsprüfungen zwischen Anschlüssen und Gehäuse , wie im Kapitel "Definitionen und Auswahlkriterien" beschrieben.
Verlustfaktor $\tan\delta$	Die gemessenen Werte sind höher als im Datenblatt angegeben.	Das Datenblatt gibt nur den dielektrischen Verlustfaktor von Polypropylen an ($\sim 2 \times 10^{-4}$). Es darf nicht mit dem Verlustfaktor des gesamten Kondensators verwechselt werden, der je nach Frequenz und Konstruktion um bis zu Faktor 15 höher sein kann. Viele Messvorrichtungen (z. B. Standard-LCR-Brücken) sind nicht zur Bestimmung des Verlustfaktors großer Kondensatoren geeignet.
Serienwiderstand R_s	Der gemessene Widerstand des Kondensators weicht von dem im Datenblatt / Katalog angegebenen R_s -Wert ab.	Es ist unmöglich, den R_s eines Kondensators zu messen. Jedes Gerät misst nur einen ESR, der durch die dielektrischen Verluste und die Messfrequenz bestimmt wird. Der R_s in unseren Datenblättern ist ein errechneter Gleichstromwert, der auf Design-Daten und den bekannten Materialeigenschaften basiert. Er spiegelt die aktuellen Leistungsverluste des Kondensators wider und ermöglicht dem Benutzer, die Temperaturbelastung in seiner Anwendung zu bewerten. Bei der Messung zwischen zwei Anschlüssen eines Dreiphasen-Kondensators wird immer eine Kombination von Kapazitäten abgelesen, die in Reihe und parallel geschaltet sind. Die Werte im Datenblatt spiegeln einen Mittelwert aller berechneten aktuellen Leistungsverluste des Kondensators wider, die gleichmäßig über alle drei Phasen verteilt sind. Dies gibt dem Benutzer eine Basis für seine Berechnungen.
Eigeninduktivität L_e	Wie kann ich die Eigeninduktivität messen?	Eine direkte Messung des L_e ist nicht möglich. Er kann nur durch indirekte Verfahren (z. B. über die Eigenresonanzfrequenz) bestimmt werden. Die Bedingungen der Messung und die für den Test verwendete Ausrüstung können insbesondere bei großen Kondensatoren einen sehr hohen Einfluss auf die Ergebnisse haben. Eine solche Messung sollte daher vorab mit ELECTRONICON abgestimmt werden.
Leckstrom zwischen Anschlüssen und Gehäuse	Die Messung zwischen den Anschlüssen und dem Gehäuse zeigt einen relativ hohen Leckstrom von einigen Milliampere.	Aktive Teile innerhalb des Kondensators können parasitäre Kapazitäten mit benachbarten Gehäuseteilen bilden. In großen Kondensatoren mit Metallgehäuse wurden parasitäre Kapazitäten von bis zu 10 nF beobachtet, die - abhängig von der anliegenden Wechselspannung - einen erheblichen parasitären kapazitiven Strom verursachen. Dies ist ein physikalisches Phänomen und kein Anzeichen für einen Isolationsfehler.
Leckstrom zwischen den Anschlüssen	Die Messung zwischen den Klemmen zeigt einen erheblichen Leckstrom, der dem aus dem Isolationswiderstand berechneten Wert widerspricht.	In großen Kondensatoren gibt es mehrere Polarisationsprozesse während des Ladens. Es kann bis zu einer Stunde dauern, bis der endgültige Status erreicht ist. Lassen Sie im Zweifelsfall genügend Zeit, damit der Kondensator geladen werden und sich das Feld stabilisieren kann. Abhängig von der Leistung der verwendeten Lade- und Messgeräte kann es eine beträchtliche Zeit dauern, bis der Kondensator vollständig geladen ist. Verfrühtes Messen kann als Isolationsproblem fehlinterpretiert werden.

When selecting the proper capacitor for an application, the criteria voltage, current and dissipation losses have to be evaluated step by step as described below. Our catalogues and data sheets contain typical data for each respective item. Any calculations based on such data should be verified by tests in the intended application. ELECTRONICON warrants the compliance of its components with the values stated in data sheets and catalogues but cannot accept responsibility for the compatibility with the customer's application.

Typically, the selection of capacitors for a special application should be as demonstrated in the examples on the following pages.

Bei der Auswahl des Kondensators für eine Anwendung werden nacheinander die Kriterien Spannung, Strom und Verlustleistung abgeprüft. Unsere Kataloge und Datenblätter enthalten typische Werte für die jeweiligen Typen. Alle darauf basierenden Berechnungen sollten durch konkrete Versuche in der vorgesehenen Anwendung gegengeprüft werden. ELECTRONICON gewährleistet die Übereinstimmung ihrer Komponenten mit den in Datenblättern und Katalogen zugesagten Eigenschaften, kann jedoch keine pauschale Verantwortung für den Einsatz in konkreten Kundenanwendungen übernehmen.

Der Ablauf der Berechnung für die Auswahl eines Kondensators für einen speziellen Einsatzfall wird auf den folgenden Seiten anhand von typischen Beispielen dargestellt.

SELECTING CAPACITORS KONDENSATOREN AUSWÄHLEN

100V AC / 700...5000V DC

(a)

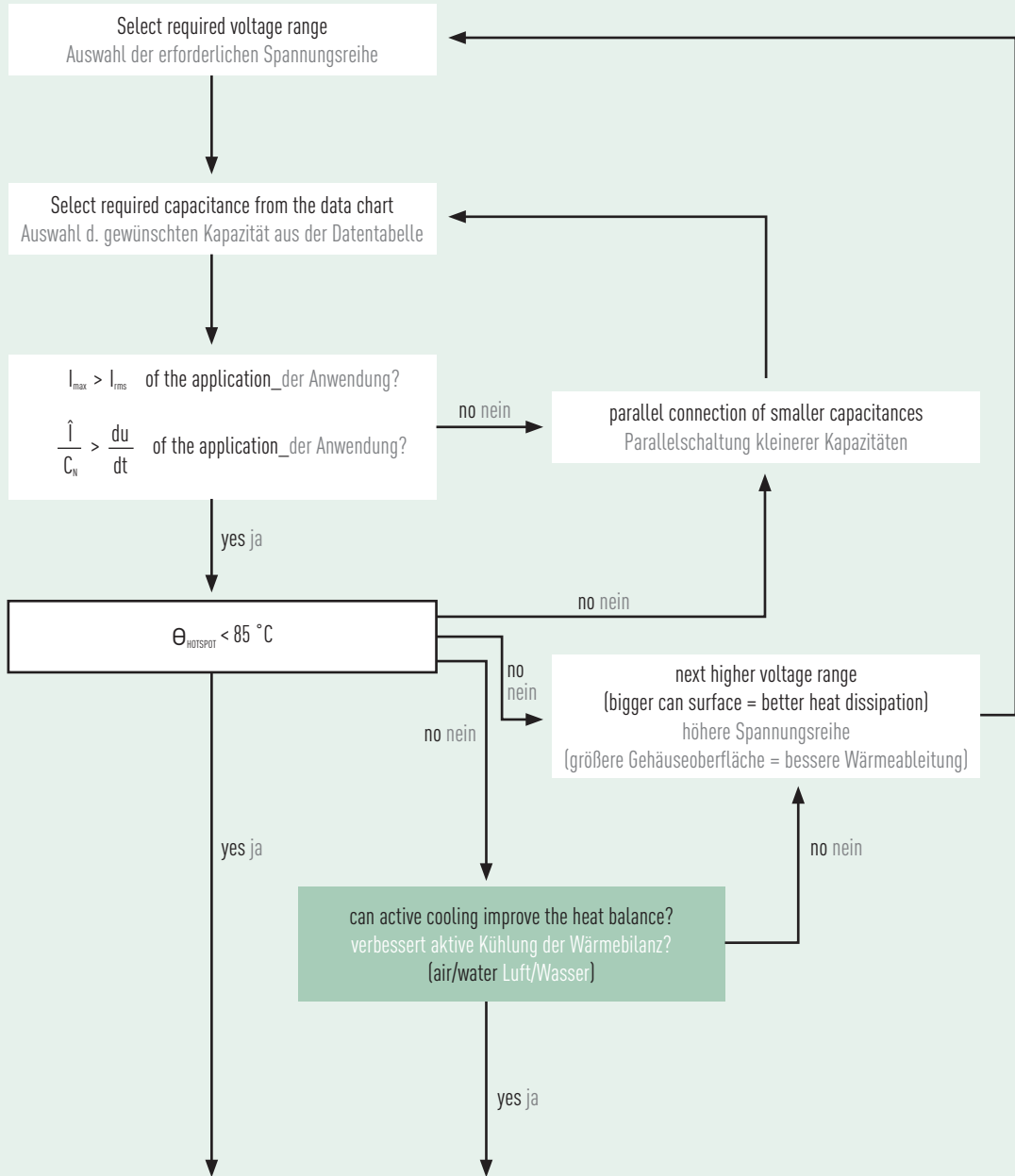
C_p (μF)	R_s (mΩ)	f_{res} (kHz)	R_{th} (K/W)	I_{max} (A)	I_s (kA)	U_{rms} 720V	U_s 25V
1.5	5.3	440	26	22	10	0.3	0.9
2.2	4.6	320	18	16	10	0.25	0.9
3	6.9	280	16	10	10	0.35	1.05
4	5.6	250	14	12	10	0.45	1.35
5	4.8	220	12	16	16	0.6	1.8
6.8	3.9	170	12	12	16	0.8	2.4
8	4.4	159	10	10	16	0.5	1.7
10	3.9	139	10	16	16	0.6	2.1
12	3.6	124	8.7	16	16	0.7	2.6
15	5.9	120	7.2	16	16	0.9	2.9
16	3.6	119	7.2	16	16	0.95	3.1
18	2.7	90	5.0	16	16	1.0	3.5
20	1.3	74	4.6	16	16	1.2	4.9
28	1.1	71	4.1	16	16	1.6	5.7
33	1.1	64	3.7	16	16	1.9	6.7

(b)

Prüfen Sie den ausgewählten Kondensator auf ausreichendes I_{max} und f_{res} .
des geplanten Kondensators muss mindestens dem errechneten
Anwendung entsprechen.

Errechnen des
n.)
P

SELECTION GUIDE BERECHNUNGSBEISPIELE



Review of selected capacitor Überprüfung der favorisierten Kondensatoren:

Mounting environment, creepage and clearance distances, etc.

(Is the permitted ambient temperature obeyed? Unhindered cooling and air circulation?)

Einbauverhältnisse und Isolationsstrecken im eingebauten Zustand

(Einhaltung der zulässigen Umgebungstemperatur? Ist die Konvektion ungehindert?)

A. Evaluation of a capacitor for an AC application Kondensator für Wechselspannungsanwendung

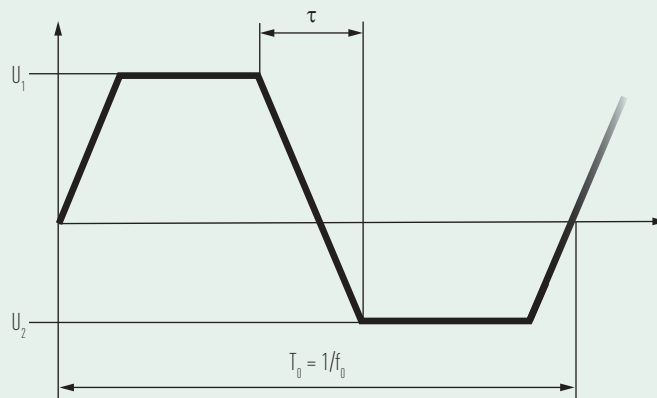
A capacitor with a capacitance of 20 μF is needed for a trapezoidal voltage waveform.

Ein Kondensator mit einer Kapazität von 20 μF soll bei einer linear umschwingenden Trapezspannung betrieben werden.



$$\begin{aligned} U_1 &= 1000 \text{ V} & U_2 &= -500 \text{ V} \\ f_0 &= 1/T_0 = 120 \text{ Hz} \\ \tau &= dt = 100 \mu\text{s} \end{aligned}$$

peak voltage of each polarity_Spitzenspannung
ac frequency_Wechselspannungsfrequenz
time of voltage reversal_Umschwingzeit



Choice of the rated voltage:

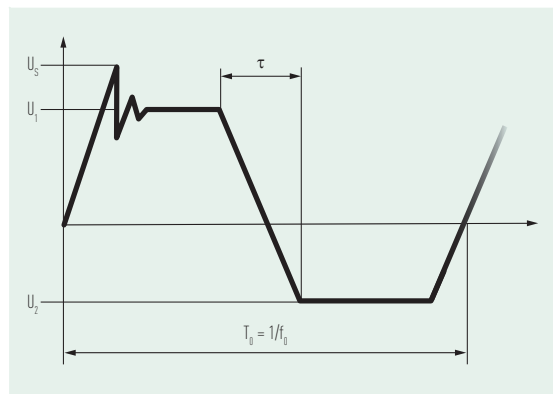
The rated voltage of the capacitor must be equal to or bigger than the higher one of the two voltages U_1 and U_2 , i.e.: $U_N \geq 1000 \text{ V}$.

An AC capacitor, e.g. from the E62 series will have to be selected **(a)**.

Wahl der Nennspannung:

Die Nennspannung des Kondensators muss größer oder gleich der größeren der beiden Spannungen U_1 oder U_2 sein, d.h.: $U_N \geq 1000 \text{ V}$.

Es ist ein Wechselspannungskondensator, z. B. aus der Baureihe E62 zu wählen **(a)**.



Short-term non-periodical voltage peaks beyond U_1 or U_2 must not exceed the permitted Non recurrent surge voltage U_s stated in the data charts.

Voltage peaks counting more than 1000 or exceeding U_s shall be considered as rated voltage.

Nichtperiodische kurzzeitige Spannungsspitzen über U_1 oder U_2 hinaus dürfen die zulässige Stoßspitzenspannung (U_s) nicht überschreiten. Spannungsspitzen, welche mehr als 1000 mal auftreten oder U_s übersteigen, müssen als Nennspannung berücksichtigt werden.



- 2 Calculate the **rate of voltage rise** for proper determination of current ratings.

Um die Strombelastung kalkulieren zu können, muss zunächst die **Flankensteilheit des Spannungsanstiegs** bestimmt werden:

$$\frac{du}{dt} = \frac{|U_1| + |U_2|}{dt} = \frac{1500 \text{ V}}{100 \mu\text{s}} = 15 \text{ V}/\mu\text{s}$$

- 3 Determine **repetitive peak current and rms current**, based on the calculated du/dt-value and the given data of f_0 and τ . (b)

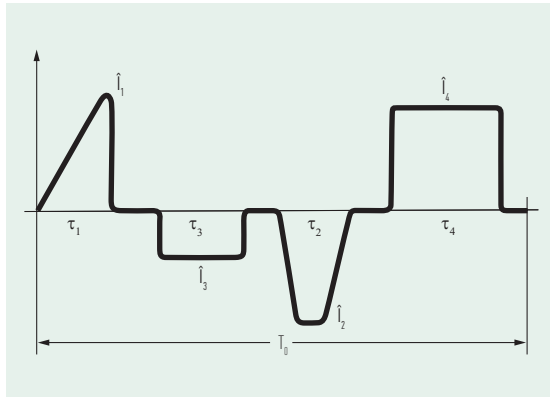
Aus dem errechneten Wert du/dt und den bekannten Größen f_0 und τ lassen sich der **periodisch auftretende Spitzenstrom und der Effektivstrom** bestimmen: (b)

$$\hat{I} = C \times (du/dt) = 20 \mu\text{F} \times 15 \text{ V}/\mu\text{s} = 300 \text{ A}$$

$$I_{\text{eff}} = \hat{I} \times \sqrt{2 \times f_0 \times \tau} = 300 \times \sqrt{2 \times 120 \times 100 \times 10^{-6}} = 46.5 \text{ A}$$

- ! In a mix of sinusoidal and rectangular current pulses (see pic.), the rated value I_{max} must not be exceeded.

Bei einer Mischung aus rechteck- und sinusförmigen Stromimpulsen (s.u.) darf der zulässige Wert für I_{max} nicht überschritten werden.



$$I_{\text{max}} = \sqrt{\frac{1}{T_0} \times \left[\frac{\hat{I}_1^2}{2} \times \tau_1 + \frac{\hat{I}_2^2}{2} \times \tau_2 + \hat{I}_3^2 \times \tau_3 + \hat{I}_4^2 \times \tau_4 \right]}$$

E62.XXX
AC/DC

420...4000V AC / 700...5000V DC

(a)

C_p (μF)	R_s (mΩ)	f_m (Hz)	R_{th} (K/W)	I_{max} (A)	$\hat{I}$ (kA)	I_s (kA)	$D \times L$ (mm)
U _N 1680V DC / 1000V AC				U _{max} 720V		U _s 2500V	
1.5	5.3	500	26	10	0.3	0.9	30 x 50
2.2	4.6	440	22	16	0.25	0.8	35 x 50
3	6.9	320	18	10	0.35	1.05	30 x 60
4	5.6	280	16	10	0.45	1.35	35 x 60
5	4.8	250	14	20	0.6	1.8	40 x 60
6.8	3.9	220	12	20	0.8	2.4	45 x 60
8	4	170	12	16	0.5	1.4	45 x 60
10	7.8	159	10	32	0.6	1.7	50 x 60
12	5.9	139	10	16	0.7	2.1	55 x 60
15	5.5	124	8.7	16	0.9	2.6	60 x 60
16	3.6	120	7.2	40	0.95	2.9	65 x 60
18	2.7	119	7.2	40	1.0	3.1	65 x 60
20	3.7	110	7.2	50	1.2	3.5	75 x 60
28	1.3	80	5.0	50	1.6	4.9	85 x 100
33	1.1	74	4.5	50	1.9	5.7	95 x 100
38	4.1	70	4.3	20	1.0	3.0	65 x 100
63	0.9	60	3.7	70	1.4	4.7	100 x 100

(b)

chart A.1

- 4 Verify the **compliance of the ratings for I_{max} and $\hat{I}$** of the selected capacitor. I_{max} must at least correspond to the calculated rms current of the application.

Überprüfen Sie den ausgewählten Kondensator auf **ausreichendes I_{max} und $\hat{I}$** . Der Wert I_{max} muss mindestens dem errechneten Effektivstrom der Anwendung entsprechen.

The **rate of voltage rise** of the application must not exceed the maximum permitted rate of voltage rise of the selected capacitor:

$$\left(\frac{d_u}{d_t} \right)_{\max} \leq \frac{\hat{I}}{C_N}$$

$$15 \frac{\text{V}}{\mu\text{s}} \leq \frac{1200 \text{ A}}{20 \mu\text{F}} = 60 \frac{\text{V}}{\mu\text{s}}$$

Above all, the operating life of the capacitors depends on the internal temperature during operation, and the field strength in the dielectric. The capacitors have been designed for a minimum service life of at least 100,000 hrs (depending on range). These values are rated for the hotspot temperatures specified in the selection charts.

It must therefore be verified whether the selected capacitor can be operated as intended under the expected ambient conditions.

Determine the heat dissipation losses of the capacitor under the intended operating conditions; acc. to IEC 61071:

$$P_V = P_{V0} + P_{VR} = \hat{U}^2 \pi \times f_a \times C \times \tan \delta_0 + I_{\text{eff}}^2 \times R_s$$

For the calculation of the power losses of non-symmetric voltages, $\hat{U}$ has to be defined as $(U_1 + U_2)/2^*$. In our example, the power dissipation factor is

$$P_V = P_{V0} + P_{VR} = 0.85 \text{ W} + 2.59 \text{ W} = 3.44 \text{ W}^{**}$$

The values $\tan \delta_0 = 2 \times 10^{-4}$ and $R_s = 1.2 \text{ m}\Omega$ were taken from the E62 data chart (c), (d).

$$* \hat{U} = \frac{1000 \text{ V} + 500 \text{ V}}{2} = 750 \text{ V}$$

$$** P_V = 750^2 \text{ V}^2 \times 3.1416 \times 120 \text{ Hz} \times 0.00002 \text{ F} \times 2 \cdot 10^{-4} + 46.5^2 \text{ A}^2 \times 0.0012 \Omega = 0.85 \text{ W} + 2.59 \text{ W} = 3.44 \text{ W}$$

C, Toleranz tolerance $\pm 10\%$ (optional $\pm 5\%$)

$\tan \delta_0$ 2×10^{-4} (c)

Grenztemperaturen operating temperatures

Θ_{amb} ... Θ_{max} $-25 \dots +85^\circ\text{C}$

Θ_{max} $< 85^\circ\text{C}$

Lagertemperatur storing temperature $-40 \dots +85^\circ\text{C}$

Failure rate 100 FIT (f)

reference service life_Referenzbetriebsdauer 100000 h, Θ_{max} $< 70^\circ$

Der **Spannungsanstieg** der Anwendung darf nicht den maximal zulässigen Spannungsanstieg des gewählten Kondensators übersteigen:

Die Lebensdauer der Kondensatoren hängt vor allem von der Betriebstemperatur im Inneren des Kondensators, sowie von der Feldstärkebeanspruchung im Dielektrikum ab. Die Kondensatoren sind dimensioniert für eine Lebensdauer von mindestens 100.000 Stunden (baureihenabhängig). Diese Werte gelten für die in den Auswahltabellen angegebenen Hotspot-Temperaturen. Es muss daher überprüft werden, ob der ausgewählte Kondensator bei der zu erwartenden Umgebungstemperatur wie beabsichtigt betrieben werden kann.

Zunächst ist die **Verlustleistung des Kondensators** bei den beabsichtigten Einsatzbedingungen zu bestimmen; nach IEC 61071 berechnet sie sich wie folgt:

Für $\hat{U}$ ist im Falle einer unsymmetrischen Spannung der Wert $(U_1 + U_2)/2$ zur Leistungsberechnung zu verwenden*. Es ergibt sich für den angegebenen Betriebsfall eine Verlustleistung von

$P_V = P_{V0} + P_{VR} = 0.85 \text{ W} + 2.59 \text{ W} = 3.44 \text{ W}^{**}$, wobei für die Berechnung die Werte $\tan \delta_0 = 2 \times 10^{-4}$ und $R_s = 1.2 \text{ m}\Omega$ aus der Datentabelle E62 verwendet wurden (c), (d).

(d)		(e)							
C_N (μF)	R_s ($\text{m}\Omega$)	f_a (kHz)	R_{th} (K/W)	I_{max} (A)	I (kA)	I (kA)	$D \times L$ (mm)	V_{max} (V)	V_{eff} (V)
U_{max} 1680V DC / 1000V AC				U_{max} 720V		U_s 2500V	U_s 1250V		
10	3	159	10	32	0.6	1.7	50 x 85	10	10
12	5	139	10	16	0.7	2.1	55 x 85	10	10
15	5	124	8	16	0.9	2.6	60 x 85	10	10
16	5	120	7	40	0.95	2.9	65 x 95	10	10
18	2	119	7.1	40	1.0	3.1	65 x 95	10	10
20	1.2	95	5.7	50	1.2	3.5	75 x 105	10	10
28	1.3	80	5.0	50	1.6	4.9	85 x 105	10	10

chart A.2

Use the value of thermal resistance R_{th} taken from the capacitor chart (e) to **calculate the temperature difference** between the ambient temperature and the hottest spot inside the capacitor:

$$\Delta \Theta = R_{th} \times P_V = 5.7 \text{ K/W} \times 3.44 \text{ W} = 20 \text{ K}$$

Mit Hilfe des thermischen Widerstandes R_{th} aus der Kondensatorentabelle (e) lässt sich die **Differenz zwischen Umgebungstemperatur und dem heißesten Punkt im Kondensatorinneren** ermitteln.

Calculate the maximum ambient temperature for the target FIT-Rate during 100,000 h. **(f)**

Für die Erreichung der gewünschten FIT-Rate bei 100.000 h Betriebsdauer wird die zulässige Umgebungstemperatur wie folgt berechnet: **(f)**

$$\Theta_{amb} = \Theta_{HOTSPOT} - \Delta\Theta = 70^{\circ}\text{C} - 20\text{ K} = 50^{\circ}\text{C}$$

8

Determination of the failure rate for varying voltage and temperature conditions

Berechnung der Ausfallrate für geplantes Spannungs-/Temperaturspektrum des Kondensators

share of operation period Anteil an Betriebsdauer	operating voltage U_{op} Betriebsspannung	Θ_{amb}	$\Theta_{HOTSPOT}$	U_{op} / U_N	FIT Rate*	FIT × share Anteil
80 %	1000 V	45 °C	65 °C	1.0	ca. 60	48
20 %	900 V	55 °C	75 °C	0.9	ca. 65	13
total						61

* taken from diagram "100 FIT" _entnommen aus Diagramm „100 FIT“

chart A.3

The FIT rate for this load is 61, $\lambda = 6.1 \times 10^{-8} \text{ h}^{-1}$.

This failure rate is valid for a reference period of 100,000 hrs and may rise afterwards.

Die FIT-Rate beträgt für diese Belastung 61, $\lambda = 6.1 \times 10^{-8} \text{ h}^{-1}$.

Diese Ausfallrate gilt für einen Betrachtungszeitraum von 100.000 h und kann danach ansteigen.



B. Capacitor for a DC link application DC Kondensator für einen Zwischenkreis

The DC link of a converter shall provide an rms current of 500A. The DC link voltage is expected to be 1073V DC'. The converter is working with a pulse frequency of 2 kHz.
The DC link capacitance shall be 6000 µF.

Der Zwischenkreis eines Umrichters soll einen Effektivstrom von 500A liefern. Es wird von einer Zwischenkreisspannung von 1073V DC' ausgegangen. Der Umrichter arbeitet mit einer Pulsfrequenz von 2 kHz.
Die Zwischenkreiskapazität ist auf 6000 µF geplant.

The ambient temperature inside the converter is expected not to exceed 55°C.

Die Umgebungstemperatur innerhalb des Umrichters soll 55°C nicht überschreiten.

$$^1(690 \text{ V}_{ms} \times \sqrt{2} + 10\% = 1073 \text{ V})$$

1

Determination of the ripple voltage U_i

Ermittlung der überlagerten Wechselspannung U_i

$$I = U_{rms} \times \omega \times C \rightarrow U_{rms} = \frac{I}{\omega \times C} = \frac{500 \text{ A}}{2\pi \times 2000 \text{ Hz} \times 6000 \text{ µF}} = 6.6 \text{ V} \rightarrow U_i = 6.6 \text{ V} \times \sqrt{2} \times 2 = 18.7 \text{ V}$$

2

Choice of the rated voltage:

The rated voltage of the capacitor must be equal to or bigger than the applied DC voltage plus ripple voltage, i.e.:

Wahl der Nennspannung:

Die Nennspannung des Kondensators muss größer bzw. gleich der anliegenden Gleichspannung zzgl. überlagerter Wechselspannung sein, d.h.:

$$U_N > U_{dc} + \frac{U_i}{2} = 1073 \text{ V} + 9.4 \text{ V}$$

A DC capacitor with a rated voltage of 1100 V will have to be selected. For DC link applications, we recommend our range PK16™.

Pre-selection of a capacitor from the catalogue

The rms current of 500 A cannot be handled by one single catalogue item. The current load per capacitor can be reduced by dividing the total capacitance into several capacitors.

For demonstration purposes we have picked the following two combinations out of the numerous available options for achieving the required capacitance of 6000 µF:

10 × E50.N17-614NT0 (PK16 605 µF 1100V DC, 85 × 175mm)
5 × E50.R22-125NT0 (PK16 1245 µF 1100V DC, 116 × 220mm)

Es ist ein DC-Kondensator mit einer Nennspannung von 1100 V DC zu wählen. Für Zwischenkreise empfiehlt sich unsere Baureihe PK16™.

Vorauswahl eines Kondensators aus dem Katalogsortiment

Der Effektivstrom von 500 A läßt sich nicht durch einen einzelnen Katalogtyp abdecken. Durch eine Aufteilung auf mehrere Kondensatoren lässt sich die Strombelastung je Kondensator reduzieren.

Aus den zahlreichen Kombinationsmöglichkeiten zur Erreichung der gewünschten Kapazität 6000 µF werden hier exemplarisch zwei gegenübergestellt:

3

C _N (µF)	R _S (mΩ)	R _{th} (K/W)	I _{max} (A)	Î (kA)	I _S (kA)	E _N (Ws)	L _e (nH)	D ₁ × L ₁ (mm)	Design	m (kg)	order no. Bestell-Nr.	pcs Stück
U _N 1100V DC			U _F 250V		U _S 1650V		U _{TT} 1650V DC		U _{TC} 3840V AC/2s			
580	0.88	3.1	80	6.2	18.7	351	45	100 × 155	N5	1.3	E50.Q15-584N57	3 / 1
605	2.4	3.3	40	2.5	7.4	366	50	85 × 175	NT	1.1	E50.N17-614NT0	5 / 1
705	1.1	3.1	65	4.5	13.6	427	35	116 × 125	NT	1.4	E50.R12-714NT0	6 / 1
855	0.84	2.1	100	9.2	27.6	517	60	100 × 230	N5	1.9	E50.Q23-864N57	3 / 1
990	1.2	2.1	80	6.4	19.1	599	60	100 × 230	N5	1.9	E50.Q23-994N57	3 / 1
1000	0.89	2.5	65	6.4	19.3	605	40	136 × 129	NT	2	E50.S12-105NT0	2 / 1
1100	1.4	2.1	65	4.5	13.5	666	50	116 × 180	NT	2.1	E50.R18-115NT0	3 / 1
1245	0.65	1.7	120	13.4	40.2	753	60	116 × 220	NT	2.5	E50.R22-125NT0	3 / 1
1410	0.87	1.7	90	9.1	27.3	853	60	116 × 230	NT	2.6	E50.R23-145NT0	3 / 1

chart B.1

Important Notice:

In large batteries of capacitors connected in parallel, the inductance of bus bars and other means of interconnection may cause interactions between various capacitors within the installation, resulting in an uneven distribution of currents and unpredictable self-resonances. In extreme cases, deviations of up to 50% from the calculated currents have been observed in practice.

Therefore, we strongly recommend

- connection by bus bars with minimized inductance
- current measurements of the individual capacitors of the battery, e.g. with Rogowski coils
- experimental monitoring of the hotspot temperature of selected capacitors to verify the expected current distribution

Wichtiger Hinweis:

In großen Batterien parallelgeschalteter Kondensatoren kann die Induktivität von Sammelschienen und anderen Verbindungselementen Wechselwirkungen zwischen den Kondensatoren hervorrufen, welche in ungleicher Stromverteilung und unvorhersehbaren Eigenresonanzen resultieren können. In Extremfällen wurden Abweichungen von bis zu 50% vom errechneten Kondensatorstrom beobachtet.

Wir empfehlen daher

- den Anschluß mittels niederinduktiver Sammelschienen
- individuelle Strommessungen an den einzelnen Kondensatoren einer Batterie, z.B. mittels Rogowski-Spulen
- probeweise Überwachung der Hotspot-Temperatur ausgewählter Kondensatoren zur Überprüfung der erwarteten Stromaufteilung.

4

Calculation of the power losses of the capacitor

Now, the heat dissipation losses of the capacitor under the intended operating conditions need to be determined; the procedure is similar to that in example A:

Berechnung der Verlustleistung des Kondensators

Nun ist die Verlustleistung des Kondensators bei den beabsichtigten Einsatzbedingungen zu bestimmen; die Vorgehensweise ähnelt der in Beispiel A:

$$P_v = P_{v0} + P_{vr} = \hat{U}^2 \times \pi \times f_0 \times C \times \tan\delta_0 + I_{eff}^2 \times R_s$$

$\hat{U}$ is defined as $U_i/2$ here. For I_{eff} , only a fraction of the total value calculated above is inserted as the current is diverted to several capacitors in parallel.

Für $\hat{U}$ wird hier der Wert $U_i/2$ verwendet. Für I_{eff} ist jeweils ein Bruchteil des Gesamtstromes einzusetzen, da sich der Strom jetzt auf mehrere parallel geschaltete Kondensatoren aufteilt.

In our example, the power dissipation factor is as follows:

Es ergibt sich für den angegebenen Betriebsfall folgende Verlustleistung:

	10 × PK16 605 µF 1100V DC	5 × PK16 1245 µF 1100V DC
series resistance Serienwiderstand R_s	2.4 mΩ	0.65 mΩ
dielectric power losses dielektrische Verluste P_{v0}	0.07 W	0.13 W
resistance power losses Ohmsche Verluste P_{vr}	6.00 W	6.50 W
Total power losses Gesamtverlustleistung P_v	6.07 W	6.63 W

chart B.2

The values $\tan\delta_0 = 2 \times 10^{-4}$ and $R_s = 2.4$ and 0.65 mΩ were taken from the E50 data charts.

Die Werte $\tan\delta_0 = 2 \times 10^{-4}$ und $R_s = 1.3$ and 0.6 mΩ wurden aus den Datentabellen E50 entnommen.

5

Calculation of the temperature rise inside the capacitor

By using the value of thermal resistance R_{th} taken from the capacitor chart we can calculate the temperature difference between the ambient temperature and the hottest spot inside the capacitor:

Berechnung des Temperaturanstiegs im Kondensator

Mit Hilfe des thermischen Widerstandes R_{th} aus der Kondensatorentabelle lässt sich die Temperaturdifferenz zwischen Umgebungstemperatur und dem heißesten Punkt im Kondensatorinneren ermitteln:

$$\begin{aligned} 10 \times \text{PK16 } 605 \mu\text{F } 1100\text{VDC} \\ 5 \times \text{PK16 } 1245 \mu\text{F } 1100\text{VDC} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta\theta &= R_{th} \times P_v = 3.3 \text{ K/W} \times 6.07 \text{ W} = 20 \text{ K} \\ \Delta\theta &= R_{th} \times P_v = 1.7 \text{ K/W} \times 6.63 \text{ W} = 11.3 \text{ K} \end{aligned}$$

6

Evaluation of the ambient temperature

Ten capacitors of 605 µF 1100V DC each or, alternatively, five capacitors of 1245 µF 1100 V DC each can be used for the intended application. However based on the reference HOTSPOT temperature for the basic FIT rate (70°C for 50 FIT), the expected ambient temperature of 55°C is acceptable only for option 2:

Bewertung der Umgebungstemperatur

Für die geplante Anwendung können zehn Kondensatoren mit je 605 µF 1100 V DC oder alternativ fünf Kondensatoren mit je 1245 µF 1100V DC verwendet werden. Ausgehend von der Referenz-HOTSPOT-Temperatur für die Basis-FIT-Rate (70°C für 50 FIT) ist jedoch die erwartete Umgebungstemperatur von 55°C nur für Variante 2 akzeptabel.

$$\begin{aligned} 10 \times \text{PK16 } 605 \mu\text{F } 1100\text{VDC} \\ 5 \times \text{PK16 } 1245 \mu\text{F } 1100\text{VDC} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta_{amb} &= \theta_{HOTPOT} - \Delta\theta = 50^\circ\text{C} \\ \theta_{amb} &= \theta_{HOTPOT} - \Delta\theta = 58.7^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Determination of the Failure Rate

Expected voltage and temperature conditions for option 1 (605 µF):

Berechnung der Ausfallrate

Geplantes Spannungs-/Temperaturspektrum für Option 1 (605 µF):

7

share of operating time Anteil an Betriebsdauer	operating voltage U_{op} Betriebsspannung	Θ_{amb}	$\Theta_{HOTSPOT}$	U_{op} / U_N	FIT Rate*	FIT × share Anteil
80 %	975 V	55 °C	75 °C	0.89	ca. 30	24
10 %	1000 V	55 °C	75 °C	0.91	ca. 33	3.3
10 %	1200 V	60 °C	80 °C	1.09	ca. 300	30
total						ca. 57

chart B.3

* taken from diagramm "50 FIT" _entnommen aus Diagramm „50 FIT“

Evaluation of the same conditions for option 2 (1245 µF)

Bewertung derselben Bedingungen für Option 2 (1245 µF)

8

share of operating time Anteil an Betriebsdauer	operating voltage U_{op} Betriebsspannung	Θ_{amb}	$\Theta_{HOTSPOT}$	U_{op} / U_N	FIT Rate*	FIT × share Anteil
80 %	975 V	55 °C	66 °C	0.89	ca. 12	10
10 %	1000 V	55 °C	66 °C	0.91	ca. 14	1.4
10 %	1200 V	60 °C	71 °C	1.09	ca. 130	13
total						ca. 25

chart B.4

Under these circumstances, the FIT rate for option 2 is approximately 25, $\lambda = 25 \times 10^{-9} h^{-1}$. This failure rate is valid for a reference period of 100,000 hours and may rise afterwards.

Option 1 exceeds the rated FIT rate slightly and will sometimes be operated at overvoltage AND overtemperature.

Even though such short time operation is possible, this approach should be taken only in exceptional cases.

Die FIT-Rate für Variante 2 beträgt unter diesen Betriebsbedingungen etwa 25, $\lambda = 25 \times 10^{-9} h^{-1}$. Diese Ausfallrate gilt für einen Betrachtungszeitraum von 100.000 h und kann danach ansteigen.

Für Variante 1 wird die FIT-Rate leicht überschritten. Außerdem kommt es mitunter zu einem Betrieb bei Überspannung in Verbindung mit Über-temperatur. Obwohl in diesem Rahmen durchaus vertretbar, sollte eine solche Auslegung nur der Ausnahmefall sein.

The a.m. example does not consider variations of the power losses resulting from changing current loads. Use an average value of power losses for the calculation of the HOTSPOT temperature if substantial and frequent fluctuations apply.

Die Beispielrechnung berücksichtigt nicht eine schwankende Verlustleistung infolge wechselnder Strombelastung. Bei häufigen und deutlichen Änderungen ist ein Durchschnittswert für die Berechnung der HOTSPOT-Temperatur anzusetzen.

Optimisation

Example B. demonstrates that it may be worth questioning the intended capacitance.

With 7 pcs of E50.Q15-584N57 (580 µF 1100 VDC in 100 x 155 mm) = 4060 µF, the resulting ripple voltage would rise to 28 V (see formula on page 30), and the calculation would change as follows:

Optimierung

Beispiel B demonstriert, daß es sich lohnen kann, die geplante Kapazität zu hinterfragen.

Mit 7 Stück des Typs E50.Q15-584N57 (580 µF 1100 VDC in 100 x 155 mm) = 4060 µF würde die Ripple-Spannung auf 28 V ansteigen (siehe Formel auf S. 30) und sich folgende Rechnung ergeben:

7 × PK16 580 µF 1100 VDC	
series resistance Serienwiderstand R_s	0.88 mΩ
dielectric power losses P_{vd} dielekt. Verluste	0.14 W
resistance power losses P_{vr} Ohmsche Verluste	4.49 W
Total power losses P_v Gesamtverlustleistung	4.63 W
Temperature rise Temperaturanstieg	$4.63 \times 3.1 \text{ K/W} = 14.4 \text{ K}$
FIT Rate	ca. 38

chart B.5

9



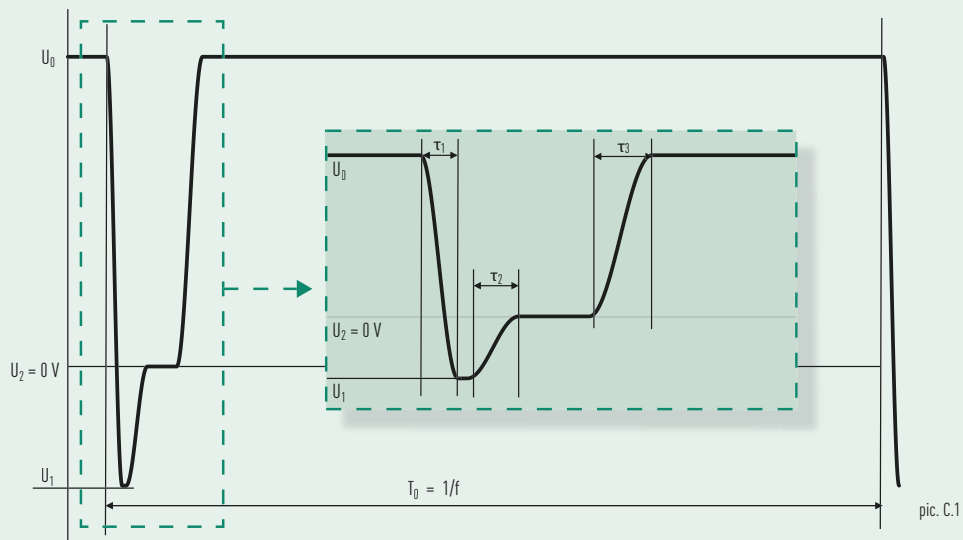
C. Pulse Discharge Capacitor Pulsentladekondensator

A capacitor charged at 2600 VDC is required to discharge an energy of $W_N = 62$ Ws within 400 μ s. This is repeated every 20 ms (T_0). During discharge, the voltage reverses from U_0 to $U_1 = -1000$ V, recovering then in two stages, first within 550 μ s to 0 V, then within 670 μ s back to 2600 V.

Ein auf 2600 VDC geladener Kondensator soll alle 20 ms (T_0) binnen 400 μ s eine Energie von $W_N = 62$ Ws entladen. Während der Entladung fällt die Spannung auf -1000 V und steigt danach zuerst innerhalb von 550 μ s auf 0 V, dann binnen 670 μ s wieder auf 2600 V.

$$\begin{aligned} U_0 &= 2600 \text{ V} & U_1 &= -1000 \text{ V} & U_2 &= 0 \text{ V} \\ f_0 &= 1/T_0 = 50 \text{ Hz} \\ \tau_1 &= dt_1 = 400 \mu\text{s} \\ \tau_2 &= dt_2 = 550 \mu\text{s} \\ \tau_3 &= dt_3 = 670 \mu\text{s} \end{aligned}$$

occurring voltages_auftretende Spannungen
ac frequency_Wechselspannungsfrequenz
time of voltage reversal_Umschwingzeit



1 Choice of the rated voltage

The rated voltage of the capacitor must be equal to, or bigger than, the higher one of the two voltages U_0 and U_1 , i.e. $U_N \geq 2600$ V. Because of the reversing voltage, an AC capacitor, e.g. from the E62 series must be selected **(a)**.

Wahl der Nennspannung

Die Nennspannung des Kondensators muss größer oder gleich der größeren der beiden Spannungen U_0 oder U_1 sein, d.h. $U_N \geq 2600$ V. Wegen der umschlagenden Spannung muss ein Wechselspannungskondensator, z. B. aus der Baureihe E62, gewählt werden **(a)**.

2 Estimation of required capacitance

C_N is calculated based on the target value of $E_N = 62$ Ws, and the voltages $U_0 = 2600$ V, $U_1 = -1000$ V:

Ermittlung der erforderlichen Kapazität

Ausgehend vom Zielwert $E_N = 62$ Ws und den Spannungen $U_0 = 2600$ V, $U_1 = -1000$ V wird C_N wie folgt berechnet:

$$E_N = \frac{1}{2} C_N \times (U_0 - U_1)^2 \rightarrow C_N = 2 \times \frac{E_N}{(U_0 - U_1)^2} = 9.6 \mu\text{F}$$

Selection of suitable capacitor

Even though a DC voltage forms the basis for the application, the voltage pulse with a maximum difference of 3600 V between U_0 and U_1 must be interpreted as a ripple voltage U_r which exceeds by far the permitted ripple voltage ratings available with DC capacitors. It is therefore imperative in a scenario like this to select an AC capacitor with a voltage strength of at least 2600 VAC. A possible candidate could be E62.R28-103CR0 (see chart C.1) with a rated voltage of 4000 VAC and a capacitance of $C_N = 10 \mu\text{F}$ (b).

Auswahl des geeigneten Kondensators

Obwohl dieser Anwendung eine Gleichspannung zugrunde liegt, muss der Spannungsimpuls mit einem Gefälle von 3600 V zwischen U_0 und U_1 als überlagerte Wechselspannung U_r gewertet werden, welche die für DC-Kondensatoren verfügbaren zulässigen AC-Werte bei weitem übersteigt. In einem solchen Szenario ist es daher zwingend erforderlich, einen AC-Kondensator mit einer Spannungsfestigkeit von mindestens 2600 VAC auszuwählen. Dies könnte z.B. E62.R28-103CR0 mit einer Nennspannung von 4000 VAC und einer Kapazität von $10 \mu\text{F}$ sein (b).

3

U _N 4000V AC		U _{rms} 2800V		U _S 7500V		U _{TT} 7500V DC		U _{TC} 8200V AC			
0.2	(a)	5.1	5.7	16	0.7	2.2	150	75 × 105	CR	0.6	E62.M10-201CR0
1	5000	3.9	5	40	0.8	2.4	150	75 × 120	CR	0.6	E62.M12-102CR0
1.8	5000	2.7	4.4	40	1.4	4	150	85 × 120	CR	0.9	E62.N12-182CR0
1.9	5000	2.6	3.9	40	1.4	4	150	95 × 120	CR	0.9	E62.P12-192CR0
2.2	5000	2	3.9	40	1.7	5.1	150	95 × 120	CR	0.9	E62.P12-222CR0
4.7	5000	1.2	2.3	40	3.7	11.1	170	95 × 205	CR	1.6	E62.P20-472CR0
5000	5000	0.8	1.9	80	4.7	14.1	160	116 × 205	CR	2.7	E62.R20-602CR0
10	5000	2.6	1.4	50	6	18	180	116 × 280	CR	3.1	E62.R28-103CR0

(b)

chart C.1

chart C.1

Determine the repetitive peak current $\hat{I}$

The calculation of $\hat{I}$ is based on the formula

Bestimmung des wiederkehrenden Spitzenstroms $\hat{I}$

Die Berechnung des $\hat{I}$ beruht auf der Formel

4

$$\hat{I} = C_N \times dU/dt$$

Three different intervals of voltage transition are described in the application, resulting in a repetitive total current (compare pic C.1).

Die Anwendung enthält drei verschiedene Intervalle des Spannungswechsels, die zu einem sich wiederholenden Gesamtstrom führen (vgl. pic. C.1).

Each transition has to be evaluated separately as follows (period 1 U_0 to U_1 given as an example):

Jeder Wechsel muss separat wie folgt bewertet werden (Beispiel: Intervall 1 U_0 bis U_1):

1. voltage change from 2600 V to -1000 V within 400 μs :

1. Spannungsabfall von 2600 V auf -1000 V binnen 400 μs :

$$dU/dt = 3600 \text{ V} / 400 \mu\text{s} = 9 \text{ V}/\mu\text{s} \quad (\text{linear approximation lineare Annäherung})$$

2. related repetitive peak current:

2. zugehöriger wiederkehrender Spitzenstrom

$$\hat{I} = C_N \times dU/dt = 10 \mu\text{F} \times 9 \text{ V}/\mu\text{s} \approx 90 \text{ A}$$

3. Calculation for all three intervals

3. Berechnung für alle drei Intervalle

interval Intervall j	τ_j (μs)	dU/dt (V/ μs)	$\hat{I}$ (A)
1	400	9	90
2	550	1.8	18
3	670	3.9	39

chart C.2

5

Calculation of rms current

The effective current I_{rms} must be calculated in relation to the share of relevant time intervals τ_i of each interval vs. the total length of the duty cycle ($T_0 = 20 \text{ ms} = 20,000 \text{ } \mu\text{s}$):

Berechnung des Effektivstroms

Der Effektivstrom I_{rms} muss im Verhältnis zum jeweiligen zeitlichen Anteil τ_i jedes Intervalls an der Gesamtzeigedauer ($T_0 = 20 \text{ ms} = 20.000 \text{ } \mu\text{s}$) berechnet werden:

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{\sum_i \hat{I}_i^2 \tau_i}{T_0}} = \sqrt{\frac{(90 \text{ A})^2 \times 0.4 \text{ ms} + (18 \text{ A})^2 \times 0.55 \text{ ms} + (39 \text{ A})^2 \times 0.67 \text{ ms}}{20\,000 \text{ } \mu\text{s}}} \approx 15 \text{ A}$$

6

Verify compliance of $\hat{I}_{\text{max}}$ and $\hat{I}$ ratings of the selected capacitor

The determined values of $\hat{I}$ and I_{rms} correspond well to the respective parameters of the selected capacitor. All calculated values of $\hat{I}$ are below the rated limit $\hat{I} = 6 \text{ kA}$; $I_{\text{rms}} = 15 \text{ A}$ is well below rated $I_{\text{max}} = 50 \text{ A}$.

Überprüfung der Werte $\hat{I}_{\text{max}}$ und $\hat{I}$ des ausgewählten Kondensators

Die errechneten Werte von $\hat{I}$ und I_{rms} passen gut zu den jeweiligen Parametern des ausgewählten Kondensators. Alle berechneten Werte von $\hat{I}$ liegen unter dem Limit $\hat{I} = 6 \text{ kA}$; $I_{\text{rms}} = 15 \text{ A}$ ist deutlich unter dem Wert $I_{\text{max}} = 50 \text{ A}$.

7

Calculate the total power losses of the capacitor

The general formula for the total power losses is

Berechnung der Gesamtverlustleistung des Kondensators

Die allgemeine Formel für die Gesamtverlustleistung lautet

$$P_V = P_{V0} + P_{VR} = Q \times \tan \delta_g + R_s \times I_{\text{rms}}^2$$

Note: Other than with regular AC applications (comp. example A on page 51), there is no single continuous AC-frequency in this case. Hence the calculation of P_{V0} must consider four different time constants, three of which are linked with the voltage transitions during the pulse. It is therefore inevitable to calculate the individual dielectric power losses for each interval:

Hinweis: Anders als bei normalen AC-Anwendungen (vgl. Beispiel A auf Seite 51) gibt es in diesem Fall keine einzelne kontinuierliche AC-Frequenz. Die Berechnung von P_{V0} muss vier verschiedene Zeitkonstanten berücksichtigen, von denen drei mit den Spannungswechseln während des Impulses verbunden sind. Dies macht die individuelle Berechnung der dielektrischen Verlustleistung für jedes Intervall unerlässlich:

$$Q_i = 2\pi f_i \times C_N \times U_{\text{rms},i}^2$$

$U_{\text{rms},i}$ and f_i can be estimated by treating each voltage transition as the first half wave of a cosine curve. An exemplary calculation is done below for interval 1:

$U_{\text{rms},i}$ und f_i können abgeschätzt werden, indem jeder Spannungsübergang als erste Halbwelle einer Cosinuskurve betrachtet wird. Eine beispielhafte Berechnung erfolgt nachstehend für Intervall 1:

$$\hat{U}_1 = \frac{|U_n| + |U_i|}{2} = \frac{2600 \text{ V} + 1000 \text{ V}}{2} = 1800 \text{ V} \rightarrow U_{\text{rms},1} = \frac{\hat{U}_1}{\sqrt{2}} \approx 1273 \text{ V}$$

The frequency for $\hat{U}_1$ is derived as follows:

Die Frequenz für $\hat{U}_1$ wird wie folgt abgeleitet:

$$f_1 = 1/\tau_1 = 1/400 \text{ } \mu\text{s} = 1250 \text{ Hz}$$

This results into the calculation of the reactive power for interval 1:

Dies führt zur Berechnung der Blindleistung für Intervall 1:

$$Q_i = 2\pi f_i \times C_N \times U_{\text{rms},i}^2 = 2\pi \times 1250 \text{ Hz} \times 10 \text{ } \mu\text{F} \times 1273^2 \text{ V}^2 \approx 127 \text{ kvar}$$

Summary of derived voltages, frequencies, reactive power values and duty cycle ratios:

Zusammenfassung der abgeleiteten Spannungen, Frequenzen, Blindleistungswerte und Zeitanteile:

interval Intervall j	$\hat{U}_j$ (V)	$U_{rms,j}$ (V)	τ_j (μ s)	f_j (Hz)	Q_j (kvar)	τ_j/T_0 (%)
1	1800	1273	400	1250	127	2
2	500	354	550	909	7.2	2.75
3	1500	919	670	746	40	3.35

chart C.3

Similar to step 5, the **effective reactive power Q** must be calculated in relation to the relevant time share τ_j of each interval vs. the total duration of the duty cycle $T_0 = 20$ ms (compare chart C.3).

Ähnlich wie in Schritt 5 muss die **effektive Blindleistung Q** im Verhältnis zum jeweiligen Zeitanteil τ_j eines jeden Intervalls an der Gesamtereignisdauer $T_0 = 20$ ms gewichtet werden (vgl. chart C.3).

8

$$Q = \sum_{j=1}^3 \frac{\tau_j}{T_0} \times Q_j = 127 \text{ kvar} \times 2 \% + 7.2 \text{ kvar} \times 2.75 \% + 40 \text{ kvar} \times 3.35 \% \approx 4.1 \text{ kvar}$$

This results into the following **calculation of the total power losses**:

Daraus ergibt sich folgende **Berechnung der Gesamtverlustleistung**:

9

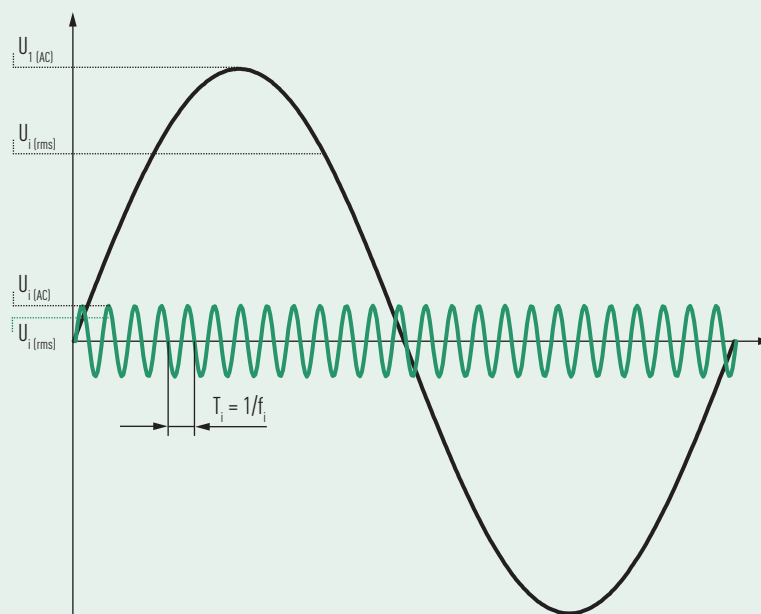
$$P_V = P_{V0} + P_{VR} = Q \times \tan \delta_0 + I_{rms}^2 \times R_s = 4.1 \text{ kvar} \times 2 \times 10^{-4} + (15 \text{ A})^2 \times 2.6 \text{ m}\Omega \approx 0.82 \text{ W} + 0.59 \text{ W} \approx 1.4 \text{ W}$$

The further calculations (temperature rise, FIT rate) are done in the same way as shown in steps 7 and 8 of example A (comp. pgs. 53f).

Die weiteren Berechnungen (Temperaturanstieg, FIT-Rate) erfolgen analog den Schritten 7 und 8 in Beispiel A (vgl. S. 53f).

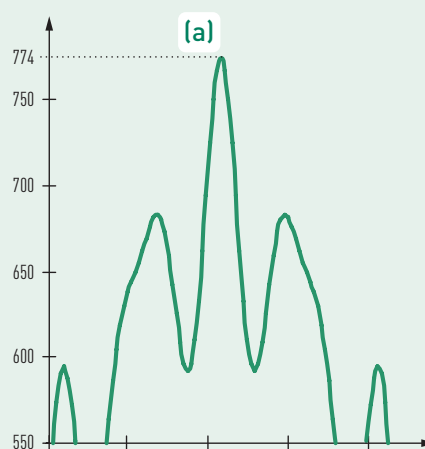
D. AC Filter capacitors (calculation acc. to IEC 61071)

Kondensatoren für WechselspannungsfILTER (Berechnung nach IEC 61071)



A capacitance of $3 \times 50 \mu\text{F}$ (delta-connected) is required for a filter application in a 480 V 60 Hz mains which is distorted by 17th (9%) and 25th harmonic (5%). The peak value of the resulting voltage has been measured to be 774 V **(a)**.

In einem Netz mit 480 V 60 Hz (im Dreieck verschaltet) wird eine Kapazität von $3 \times 50 \mu\text{F}$ für ein Filter benötigt. Die Grundwelle wird durch die 17. (9%) und die 25. Oberwelle (5%) überlagert. Als Scheitelwert der resultierenden Spannung wurde 774 V gemessen **(a)**.



Selection of voltage rating

For AC filter capacitors, the AC voltage rating U_N AC is not determined by the rms value U_{rms} , but by the peak value of the resulting voltage (as measured by an oscilloscope or calculated from available harmonic data.) In any case, U_N AC must be higher.

A three-phase AC-capacitor from the E62.*** series shall be selected. The voltage rating of 850 V would be appropriate (E62.R16-503L30). **(b)**

Auswahl der Nennspannung

Ausschlaggebend für die Bestimmung der Kondensatornennspannung U_N AC ist nicht der Effektivwert U_{rms} , sondern der Scheitelwert der Spannung (gemessen mit Oszilloskop bzw. berechnet aus vorhandenen Angaben zu überlagerten Oberschwingungen); U_N AC muss in jedem Fall darüber liegen. Es ist ein dreiphasiger Wechselspannungskondensator aus der Reihe E62.*** zu wählen. Als geeignete Nennspannung kommt 850 V in Betracht (E62.R16-503L30). **(b)**

3 × 100	3 × 0.6	120	2.1	3 × 80	2.2	6.6	
U_N 850V AC (b)		U_{rms} 600V		U_s 1820V		U_{BB}	
3 × 6.0	3 × 2	100	7.6	3 × 16	0.25	1.25	
3 × 6.7	3 × 2	100	7.6	3 × 16	0.3	0.9	
3 × 9.0	3 × 1.7	100	6.9	3 × 16	0.37	1.11	
3 × 11	3 × 1.8	100	6.9	3 × 16	0.45	1.35	
3 × 12	3 × 1.7	105	6.3	3 × 16	0.5	1.5	
3 × 14	3 × 1.3	130	4.7	3 × 56	0.6	1.8	
3 × 19	3 × 1.2	100	4.7	3 × 56	0.75	2.25	
3 × 25	3 × 1.1	100	4.1	3 × 56	1.0	3.0	
3 × 30	3 × 0.7	100	3.7	3 × 56	1.2	3.6	
3 × 37.5	3 (c)	100	3.5 (d)	3 × 5 (e)	1.5	4.5	
3 × 50	3 × 0.4	100	3.0	3 × 56	2.0	6.0	
3 × 86	3 × 0.5	100	2.1	3 × 56	2.8	8.4	
U_N 1080V AC		U_{rms} 760V		U_s 2300V		U_{BB}	
3 × 4.7	3 × 1.8	100	7.6	3 × 16	0.5	1.5	

chart D.1

Calculation of Power Losses

The hotspot temperature Θ_{hotspot} is crucial for the operating life of a filter capacitor. For determination of the hotspot temperature, the exact harmonic load must be calculated using the formulas and values stated below.

Berechnung der Verlustleistung

Maßgebend für die Lebensdauer eines WechselspannungsfILTERKONDENSATORS ist seine Hotspot-Temperatur Θ_{hotspot} . Für ihre Bestimmung ist die konkrete Oberwellenbelastung wichtig, welche mit Hilfe nachfolgender Formeln und Werte berechnet werden kann.

	Single phase capacitor einphasiger Kondensator	3-phase capacitor (delta-connection) dreiphasiger Kond. (Dreieckschaltung)	3-phase capacitor (star connection) dreiphasiger Kond. (Sternschaltung)
Calculation of the capacitor current for each occurring frequency f_i Berechnung des Kondensatorstroms für jede auftretende Oberwellenfrequenz f_i	$I_i = U_i \times 2\pi f_i \times C$	$I_i = \sqrt{3} \times U_i \times 2\pi f_i \times C$	$I_i = \frac{U_i \times 2\pi f_i \times C}{\sqrt{3}}$
Determination of the reactive power of the capacitor Bestimmung der Blindleistung des Kondensators	$Q_i = U_i \times I_i$	$Q_i = U_i \times I_i \times \sqrt{3}$	
Calculation of the dielectric power losses Berechnung der dielektrischen Verluste	$P_{\text{vD}} = Q_i \times \tan \delta_0 \quad (\tan \delta_0 = 2 \times 10^{-4})$		
Calculation of the current losses Berechnung der Stromwärmeverluste	$P_{\text{vR}} = I_i^2 \times R_s$	$P_{\text{vR}} = I_i^2 \times 3 \times R_s$	

chart D.2

U_i = voltage of the respective harmonic_Spannung der jeweiligen Oberwelle

C = capacitance (3ph capacitors: C of one phase)_Kapazität (bei dreiphasigen Kondensatoren: Kapazität einer Phase)

f_i = harmonic frequency_Oberwellenfrequenz

Q_i = reactive capacitor power at harmonic frequency f_i _Kondensatorblindleistung bei Oberwellenfrequenz f_i

R_s = equivalent series resistance of the capacitor, per phase_Serienwiderstand des Kondensators, je Phase **(c)**

3 Summarize total power losses

Addition der Teilwerte zur Gesamtverlustleistung

Harmonics Oberwellen	$U_{i(rms)}$ (V)	$f_{i(rms)}$ (Hz)	I_i (A)	Q_i (kvar)	P_{vD} (W)	P_{vR} (W)	P_v (W)
H1	480	60	15.7	13.03	2.61	0.29	2.90
H17	43	1020	23.9	1.79	0.36	0.69	1.05
H25	24	1500	19.6	0.81	0.16	0.46	0.62
Σ			34.6*	15.64	3.13	1.44	4.57

chart D.3

$$* I_{total} = \sqrt{\sum_{i=1}^n I_i^2}$$

4 Calculation of the temperature rise inside the capacitor

Berechnung der Eigenerwärmung des Kondensators

$$\Delta\Theta = P_v \times R_{th} = 4.6 \text{ W} \times 3 \text{ K/W} = 13.8 \text{ K}$$

5 Determination of the maximum admissible ambient temperature

Bestimmung der maximal zulässigen Umgebungstemperatur

$$\Theta_{amb} = \Theta_{HOTSPT} - \Delta\Theta = 85^\circ\text{C} - 13.8 \text{ K} = 71.2^\circ\text{C}$$

6 Determination of the Failure Rate for varying voltage and temperature conditions

Berechnung der Ausfallrate für verschiedene Spannungs-/Temperaturspektren des Kondensators

share of operating time Anteil an Betriebsdauer	operating voltage U_{op} Betriebsspannung	Θ_{amb}	Θ_{HOTSPT}	U_{op} / U_N	FIT Rate*	FIT × share Anteil
50 %	800 V	50 °C	64 °C	0.94	ca. 30	15
20 %	850 V	50 °C	64 °C	1.0	ca. 60	12
20 %	800 V	60 °C	74 °C	0.94	ca. 290	60
10 %	850 V	65 °C	79 °C	1.0	ca. 2000	200
total						287

* taken from diagramm "100 FIT" _entnommen aus Diagramm „100 FIT“

chart D.4

The FIT rate for this example is 287, $\lambda = 2.87 \times 10^{-7} \text{ h}^{-1}$. The comparably high failure rate in this case results from the share of time which the capacitor is operated at high voltage and a temperature close to the upper limit.

This failure rate is valid for a reference period of 100,000 hrs and may rise afterwards.

Für dieses Beispiel beträgt die FIT-Rate ca. 287, $\lambda = 2,87 \times 10^{-7} \text{ h}^{-1}$. Die relativ hohe Ausfallrate resultiert in diesem Fall aus dem Anteil, bei dem der Kondensator mit hoher Spannung in der Nähe der oberen Grenztemperatur betrieben wird.

Die Ausfallrate gilt für einen Betrachtungszeitraum von 100.000 h und kann danach ansteigen.

Verification of the current load capability

Abschließend ist die Stromtragfähigkeit zu überprüfen

$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{i=1}^n I_i^2}$$

In the example above, the current per phase is 34.7 A which is well within the permitted rating for type E62.R16-503L30 (acc. to data sheet: 56 A). **(e)**

Für das vorliegende Beispiel ergibt sich ein Strom von 34,7 A je Phase, dies liegt innerhalb des zulässigen Maximalstromes für den Typ E62.R16-503L30 (laut Datenblatt: 56 A). **(e)**

If no detailed harmonic spectrum is available

The following rule of thumb may be applied if the data on harmonic spectrum is insufficient, or only a value of total rms current is available: Assume the rms current to be caused completely by the basic frequency of the application (e.g. 50 Hz); please mind that such rough calculation may give results which are significantly higher than the real power losses. Technically, the selected capacitor would be on the safe side, but most probably oversized. This approximation should therefore be applied only if no detailed data on the harmonic spectrum can be found.

Wenn Daten zum Oberwellenspektrum fehlen

Wenn die Daten zum Oberwellenspektrum unzureichend sind oder nur ein Wert zum Gesamtstrom vorliegt, kann man alternativ von der Annahme ausgehen, dass der Effektivstrom komplett durch die Grundwelle (z.B. 50Hz) verursacht würde. Bitte beachten Sie, dass die Resultate derartiger Überschlagsrechnungen deutlich über den tatsächlichen Leistungsverlusten liegen können. Rein technisch liegt ein derart ausgewählter Kondensator auf der sicheren Seite, wird meist aber überdimensioniert sein. Dieser Überschlag sollte daher nur bei Fehlen genauerer Daten angewendet werden.

	Single phase capacitor einphasiger Kondensator	three phase capacitor dreiphasiger Kond.	
		delta connection Dreieckschaltung	star connection Sternschaltung
Calculation of an equivalent voltage Berechnung einer äquivalenten Spannung	$U_{rms} = \frac{I_{rms}}{2\pi f \times C}$	$U_{rms} = \frac{I_{rms}}{\sqrt{3} \times 2\pi f \times C}$	$U_{rms} = \frac{\sqrt{3} \times I_{rms}}{2\pi f \times C}$
Determination of the reactive power of the capacitor Bestimmung der Blindleistung des Kondensators	$Q_i = U_i \times I_i$	$Q_i = U_i \times I_i \times \sqrt{3}$	
etc. (see page_siehe S. 63)	...	...	

chart D.5

Terminals for HF applications

For applications with high frequency currents, brass terminals shall be preferred to prevent temperature rise from eddy currents which may damage the capacitor, connected cables etc.

When using screw terminals, select our optimized terminal designs S2 and Z1 (single phase) or S4 and Z3 (three phase). By their construction, these steel terminals avoid eddy and induction currents to prevent temperature problems.

Anschlüsse für hochfrequente Ströme

Für Anwendungen mit hochfrequenten Strömen sind unsere Messinganschlüsse zu bevorzugen. Diese vermeiden Wirbelströme, welche den Kondensator oder angeschlossene Leiter durch Überhitzung schädigen können.

Kommen Reihenklemmen zum Einsatz, so wählen Sie bitte unsere optimierten Anschlüsse S2 und Z1 (einphasig) bzw. S4 und Z3 (dreiphasig). Diese vermeiden durch ihre Konstruktion Wirbel- und Induktionsströme, um Temperaturproblemen vorzubeugen.

Dominating Harmonic Share

Calculation of temperature rise and HOTSPOT temperature is most essential for proper evaluation of the intended operating conditions and their effect on the FIT rate. For the majority of cases, the calculation under point 4 will be sufficient.

In certain filter applications, however, the very nature of the harmonic currents may cause an inhomogeneous distribution of the power losses inside the capacitor, resulting in the occurrence of various destructive "hot spots". We therefore recommend checking the following characteristics before proceeding further; standard catalogue items may not be suitable for your intended application if one or both of the following conditions apply:

1. Total current harmonic distortion (THD) based on the data computed in column 4 of the chart in step 3:

$$THD[\%] = \frac{\sqrt{\sum_{H=2}^{\infty} I_i^2}}{I_1} \times 100 > 200\%$$

2. Ratio between total current power losses P_{vr} and total dielectric power losses P_{vd} (columns 6 and 7 of the chart in step 3):

$$\frac{P_{vr}}{P_{vd}} > 1.5$$

Please turn to ELECTRONICON for individual support and detailed evaluation of your application requirements if any of the above conditions apply.

Dominierende Oberwellenanteile

Die Berechnung der Eigenerwärmung und der HOTSPOT - Temperatur ist für die ordentliche Bewertung der Einsatzbedingungen und deren Einfluß auf die FIT-Rate unumgänglich. Für die Mehrheit der Fälle ist die unter Pkt. 4 angeführte Berechnung ausreichend.

In bestimmten Filteranwendungen rufen speziell geartete Oberwellenströme jedoch eine ungleichmäßige Verteilung der entstehenden Verlustleistungen hervor, welche zur Bildung schädlicher „Hotspots“ im Kondensator führen können. Wir empfehlen im Rahmen der Bewertung auch die Prüfung folgender Kennwerte; Standardtypen aus dem Katalog reichen für Ihre geplante Anwendung u.U. nicht aus, wenn eine oder beide der folgenden Bedingungen gegeben sind:

1. Gesamtklirrfaktor des Stromes (THD) basierend auf den Daten aus Spalte 4 der Tabelle in Schritt 3:

2. Verhältnis zwischen Gesamtstromverlusten P_{vr} und dielektrischen Verlusten P_{vd} (Spalte 6 und 7 aus Tabelle in Schritt 3):

Bitte wenden Sie sich an ELECTRONICON für eine detaillierte Bewertung Ihrer Anwendung und individuelle Beratung, wenn eine der o.g. Bedingungen auftritt.

If the calculated power dissipation is too high

- reduction of the permitted ambient temperature acc. to the FIT-diagrams on pages 32ff, leading to an increase in the permitted power dissipation, forced cooling
- connection of a bigger number of capacitors with smaller capacitance values (increase of the surface area and improved heat dissipation)
- application of capacitors with a rated voltage higher than required by the operating voltage (larger dimensions, greater surface area and power dissipation)
- reduction of the series resistance R_s by changes to the capacitor's internal construction.
- Selection of alternative models with lower R_s

Mögliche Lösungen bei hoher Verlustleistung

- Reduzierung der zulässigen Umgebungstemperatur entsprechend FIT-Diagrammen auf Seiten 32ff, damit Erhöhung der zulässigen Verlustleistung, Anwendung von Zwangskühlung
- Parallelschalten von mehreren Kondensatoren kleinerer Kapazität (Oberflächenvergrößerung für bessere Abführung der Verlustwärme)
- Verwendung von Kondensatoren mit höherer Nennspannung, als die Betriebsspannung es erfordert (größere Abmessungen, dadurch größere Oberfläche und Abführung von Verlustleistung)
- Beeinflussung des Serienwiderstands R_s über Änderungen des inneren Aufbaus der Kondensatoren
- Auswahl von alternativen Modellen mit geringerem R_s

A close-up photograph of a person's hand working on a large, light-colored metal capacitor assembly. The assembly has several circular terminals with screws. The background is a solid light blue color.

Safe operation of the capacitors can be expected only if all electrical and thermal specifications as stated on the label, in the data sheets or catalogues and the following instructions are strictly observed. ELECTRONICON does not accept responsibility for whatever damage may arise out of a non-observance. Please mind the general safety recommendations and requirements of power capacitor manufacturers organized in the ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik und Elektronik e.V. (German Electrical and Manufacturers' Association).

Ein sicherer Betrieb der Kondensatoren ist nur gewährleistet, wenn die elektrischen und thermischen Grenzwerte gemäß Typenschild, Datenblatt bzw. Katalog und die nachfolgenden Anweisungen eingehalten werden.

ELECTRONICON übernimmt keine Verantwortung für Schäden, welche aus einer Nichtbeachtung erwachsen.

Bitte beachten Sie die allgemeinen Sicherheitshinweise der im ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik und Elektronik e.V. – organisierten Hersteller von Starkstromkondensatoren.

A close-up photograph of a person's hand holding a black digital multimeter. The multimeter's red and black test leads are connected to a capacitor on a light-colored printed circuit board (PCB). The capacitor is a small, cylindrical component with two leads. The hand is positioned on the left side of the frame, and the multimeter is angled towards the center. The PCB has several other components, including larger capacitors and a rectangular component with two circular holes. The background is a solid light blue color.

INSTALLING AND USING CAPACITORS

KONDENSATOREN EINBAUEN
UND BETREIBEN

MOUNTING AND OPERATING INSTRUCTIONS

VORSCHRIFTEN ZU EINBAU UND BETRIEB

Mounting Position



MKP capacitors with liquid or viscous filling shall always be installed upright with terminals facing upwards. Please consult our technical department if different mounting position is required.



Capacitors with gas or solid resin filling can be mounted in any position without restriction.

Einbaulage

MKP-Kondensatoren mit flüssiger bzw. viskoser Füllung sollten stets stehend mit dem Anschlusselement nach oben eingebaut werden. Bitte wenden Sie sich für andere Einbausituationen an uns.

Kondensatoren mit Gas- oder ausgehärteter Harzfüllung können ohne Einschränkung in jeder Lage eingebaut werden.

Mounting Location/Cooling



The lifetime of a capacitor depends very much on the average operating temperature. Typically an increase in the ambient temperature of 7 Kelvin will halve the expected life of the capacitor, or double the FIT-rate.

The expected temperature rise of the capacitors can be calculated based on the technical data from the catalogues or individual data sheet (comp. "Selecting Capacitors" on pgs. 48ff).

As a rule, the user has to ensure by a type test that the maximum hotspot temperature stated in the data sheet is not exceeded even under the most critical ambient conditions. If required, we can provide special type test samples with integrated temperature sensors (as standard: PT100, see pg. 38f). Note that the internal heat balance of large capacitors is only reached after up to 24 hours.

! Failure to comply with the operating limits may lead to failure of the safety mechanisms and rupture of the capacitors.

Leave sufficient space between and around the capacitors. The cooling air shall have unimpeded access to the entire lateral surface. Ensure sufficient spacing above the capacitors for unhindered air convection.

The installation of the capacitors directly next to or above heat sources, such as reactors, shall be avoided.

Mind that the width of box-shaped capacitors may increase by up to 10 mm during operation.

Einbauort/Kühlung

Die Lebensdauer eines Kondensators hängt in großem Maße von der durchschnittlichen Betriebstemperatur ab. Im Allgemeinen führt eine Erhöhung der Umgebungstemperatur um 7 Kelvin zu einer Halbierung der Lebensdauer bzw. Verdopplung der FIT-Rate. Der erwartete Temperaturanstieg im Kondensator lässt sich mithilfe der Angaben aus Katalog oder Datenblatt berechnen (vgl. "Kondensatoren auswählen" S. 48ff).

In der Regel muss der Anwender durch eine Typprüfung sicherstellen, dass die vorgeschriebene maximale Hotspot-Temperatur selbst im kritischsten Einsatzfall nicht überschritten wird. Bei Bedarf können wir spezielle Muster mit integrierten Temperatursensoren liefern (i.d.R. PT100, siehe S. 38f). Beachten Sie, daß sich das Wärmegleichgewicht bei großen Kondensatoren erst nach bis zu 24 Stunden einstellt.

Bei Nichteinhaltung der Grenzwerte können Sicherheitseinrichtungen versagen und Kondensatoren ausfallen bzw. platzen.

Lassen Sie ausreichend Platz zwischen und um die Kondensatoren. Kühlluft muss ungehinderten Zugang zu allen Seitenflächen haben. Sorgen Sie auch über den Kondensatoren für ausreichend Platz zur Luftzirkulation.

Kondensatoren dürfen nie direkt neben oder über Wärmequellen wie Drosseln u.ä. angebracht werden.

Es ist zu beachten, dass sich die Breite von eckigen Kondensatoren im Betrieb um bis zu 10 mm ausdehnen kann.

capacitor shape Kondensatorform	convection cooling natürliche Lüftung	forced cooling Zwangslüftung
cylindrical zylindrisch	20 mm	10 mm
box eckig	40...80 mm	20...40 mm

Recommended distance between and around capacitors
Empfohlener Mindestabstand zwischen und um Kondensatoren

Vibration Stress

Most of all, shock and vibration stresses during operation are affecting the fixing elements and the terminals. They should therefore always be checked and tested in the real mounting position.

The capacitors by themselves comply with DIN IEC 60068-2-6 test "FC" as follows:

capacitor weight Kondensatormass	test duration Beanspruchungsdauer	frequency range Frequenzbereich	max. acceleration Max. Beschleunigung	max. displacement amplitude Max. Auslenkung
cyl. zyl. < 0.5 kg	30 cycles Zyklen	10 ... 500 Hz	50 m/s ²	0.35 mm
cyl. zyl. 0.5 ... 3 kg	30 cycles Zyklen	10 ... 500 Hz	10 m/s ²	0.075 mm
cyl. zyl. > 3 kg	information available on request auf Anfrage			
box eckig < 100 kg	10 cycles Zyklen	5 ... 100 Hz	20 m/s ²	7.5 mm
box eckig > 100 kg	information available on request auf Anfrage			

All cylindrical capacitors in stationary operation can be fixed sufficiently using the mounting stud at the base of the can unless described otherwise in special data sheets. We recommend inserting the included toothed washer before fixing the mounting nut.

M8	5 Nm
M12	15 Nm

Schwingungsbelastung

Schock- und Vibrationsbelastungen im Betrieb wirken sich vor allem auf die Befestigungselemente und die Anschlüsse aus. Sie sollten daher stets in der echten Einbaulage überprüft und getestet werden.

Die Kondensatoren selbst genügen der Prüfung "FC" nach DIN IEC 60068-2-6 mit folgenden Werten:

Prinzipiell ist für alle Kondensatoren im stationären Betrieb die Befestigung mittels Bodenbolzen ausreichend. Abweichungen davon werden in separaten Datenblättern dargestellt. Vor dem Befestigen der Mutter ist die Zahnscheibe, die zusammen mit der Befestigungsmutter geliefert wird, aufzuziehen.



Permitted max. torque for the mounting studs
Zulässiges Drehmoment für die Bodenschrauben

Electrical Connection: General Rules

Use standardized **non-magnetic** parts for fastening cables or bus bars to avoid inductive heating of the terminals. We recommend using tinned nuts and screws with nickel barrier to minimise electrochemical corrosion and the creation of whiskers.

Make sure to lock screws or nuts by adequate means against loosening. We recommend the use of spring rings in accordance with DIN 127, e.g. made of spring bronze. Their suitability according to railway standard IEC 61373 Cat.1 Class B has been proven successfully. Connecting cables must be fixed between two nuts and secured against swinging or vibrating during transport and operation.

Capacitor terminals shall not be used as distribution points for cables or bus bars.

Do not bend, or turn, or move the connecting terminals and the tab connectors in any way.

Elektrischer Anschluss: Allgemeine Regeln

Verwenden Sie **nichtmagnetische** Normteile zur Befestigung von Kabeln oder Stromschienen, um eine induktive Erwärmung der Anschlüsse zu vermeiden. Wir empfehlen verzinnnte Muttern bzw. Schrauben mit Nickelsperschicht zum Schutz vor elektrochemischer Korrosion und Whiskerbildung.

Sichern Sie Schrauben oder Muttern durch geeignete Mittel gegen Lockern. Wir empfehlen die Verwendung von Federringen gemäß DIN127, z.B. aus Federbronze. Ihre Eignung nach Bahnnorm IEC 61373 Kat.1 Klasse B wurde erfolgreich nachgewiesen. Anschlusskabel müssen zwischen zwei Muttern fixiert werden sowie gegen Schwingen und Vibrieren bei Betrieb und Transport gesichert sein.

Kondensatoranschlüsse dürfen nicht als Verteilungsstellen für Kabel oder Sammelschienen dienen.

Die Anschlussstücke und Flachstecker dürfen nicht gebogen, verdreht oder in irgendeiner anderen Form bewegt werden.





All electrical connections must be free from tensile forces or other mechanical loads. The connecting cables must be secured against swinging or vibration to prevent the electrical connection from loosening during transport and operation.

The terminal soldering must not be exposed to excessive heat. We do not recommend soldering cables to the terminals. Use appropriate tab connectors where intended to connect the cables.



The connection to connecting bolts should always be made between two nuts including locking elements. The lower nut must be held in place so that no torque above the permissible values is transferred to the insulator body.

Consult us if, for locking purposes, you plan to apply torques other than those recommended by us.

Der Anschluss an Anschlussbolzen sollte stets zwischen zwei Muttern inklusive Sicherungselementen hergestellt werden. Dabei muss die untere Mutter gegengehalten werden, so dass kein Drehmoment oberhalb der zulässigen Werte auf den Isolatorkörper übertragen wird.

Konsultieren Sie uns, wenn Sie aus Sicherheitsgründen andere als die von uns empfohlenen Drehmomente anwenden möchten.



All **CAPAGRIP™** and **CAPAFIX** terminals are equipped with Torx (T20). The use of improper screwdrivers may damage the screws and impair reliable fixation.

Alle **CAPAGRIP™** und **CAPAFIX** Anschlüsse sind mit Torx Schrauben (T20) ausgestattet. Unpassende Schraubwerkzeuge können die Schrauben beschädigen und eine zuverlässige Befestigung beeinträchtigen.

Recommended torque for screw connections
Empfohlene Drehmomente für die Anschlussarten

Alle elektrischen Anschlüsse müssen frei von Zugkräften oder anderer mechanischer Last erfolgen. Die Anschlussleiter sind gegen Schwingen oder Vibration zu sichern, um eine Lockerung der elektrischen Verbindung während Transport und Betrieb zu verhindern.

Lötstellen an den Anschlüssen dürfen nicht übermäßiger Hitze ausgesetzt werden. Es wird nicht empfohlen, die Kabel mit den Anschlüssen zu verlöten. Benutzen Sie, wo vorgesehen, passende Steckverbindungen, um die Kabel anzuschließen.

threaded stud Gewindebolzen	M5	1.5 ... 2 Nm
	M6	2.3 ... 3 Nm
	M8	3.8 ... 5 Nm
	M10	6.8 ... 9 Nm
	M12	10 ... 14 Nm
internal thread Innengewinde	M16	19 ... 25 Nm
	iM5	1.8 ... 2 Nm
	iM6	3.6 ... 4 Nm
	iM8	6 ... 7 Nm
	iM10	8 ... 10 Nm
CAPAGRIP™ / CAPAFIX screw terminal Schraubklemme	iM12	12 ... 14 Nm
	Type K, Z (M4)	1.8 ... 2 Nm
	Type L, S (M5)	2.5 ... 3 Nm
	Type M (M6)	3.2 ... 3.7 Nm
	Type Z (M4)	2 ... 2.7 Nm
toothed rod (polyamide) Zahnstange	Type S (M5)	3.7 ... 4 Nm
	M8	2 Nm
steel strap (holding bracket) Schlauchschelle (Halterung)		1 Nm

Connection of Capacitors with BAM



Capacitors with break-action mechanism shall be connected with sufficiently flexible leads (cables or elastic copper straps) to permit the movement of the mechanism. Sufficient clearance for expansion of the capacitor case must be accommodated above the terminals. Depending on the specific design and the diameter of the capacitors, the case may expand between 5 and 25 mm.



The border crimping must not be held by retaining clamps. Required minimum clearances according to the applicable voltage category must be maintained even after prolongation of the can!

The hermetic sealing of the capacitors is extremely important for a long operating life and for the correct functioning of the break action mechanism.

Anschluss von Kondensatoren mit BAM

Der Anschluss von Kondensatoren mit Überdrucksicherung muss mit flexiblen Leitern (Kabel oder Kupferbänder) erfolgen, um die Funktion der Überdruck-Abreißsicherung nicht zu beeinträchtigen. Über den Anschlüssen ist genügend Platz für die Ausdehnung des Gehäuses im Fehlerfall zu lassen. Die Gehäuseverlängerung beträgt je nach Durchmesser und Bauform zwischen 5 und 25 mm.

Befestigen Sie keine Klammern an der Sicke. Mindestluftstrecken entsprechend der jeweiligen Spannungs-kategorie müssen auch nach Ansprechen der Sicherung gewährleistet sein.

Für eine lange Einsatzdauer und das fehlerfreie Funktionieren der Überdrucksicherung ist eine hermetische Abdichtung der Kondensatoren von höchster Bedeutung.

Please pay special attention not to damage the following critical sealing points:

- the folded edge or border crimping of the lid
- the connection between screw terminal and lid (designs S, Z, K, L, M, MB, W, C6)
- the rubber seal at the base of the tab connectors (designs D, E)
- the soldering at the base of the tab connectors (designs B, D, E)
- the ceramic insulators (designs C2, CR, CD, B2)

Do not hit folded edges, border crimpings and connecting terminals with heavy or sharp objects or tools (e. g. hammer, screw driver).

Connection of box-shaped capacitors

The patented terminal design of our series E56, E59, E70, E78 and E90...92 allows for the repair and exchange of damaged insulator bodies. Due to the special sealing mechanism, it is possible that the insulator may respond to rotating force, e.g. during movement of the ring nut on top of the insulator, by turning itself out of position. In the intended application of the capacitors, there is no need for re-fastening or unfastening the ring nuts.

Avoid any manipulation of the ring nuts unless explicitly agreed with ELECTRONICON as part of a repair action.

Circular movement of the insulator may deform, rupture or displace the silicone seal and impair the insulating and sealing functions of the bushing.

In the event of a repair, always hold the insulator in position during any fastening or unfastening of the ring nut!

Discharge

Most of the capacitors for power factor correction, are equipped with discharge resistors as standard. However, the capacitors for power electronics are not supplied with internal discharge resistors!

If no discharge is provided by external circuits, the capacitors should be equipped with discharge resistors. In any event, the poles of the capacitors must be short-circuited before being touched.

Note that capacitors with nominal voltages above 750 V in particular may regenerate new voltage at their terminals after having been short-circuited just for short periods. This condition results from the internal series connection of the capacitor elements and will be avoided by keeping such capacitors permanently short-circuited during storage and installation.

Es ist darauf zu achten, dass folgende kritischen Dichtungsstellen nicht beschädigt werden:

- Deckelbördelung bzw. -falzverschluss
- die Verbindung zwischen Schraubanschluss und Deckel (Bauformen S, Z, K, L, M, MB, W, C6)
- die Gummidichtung unterhalb des Flachsteckers (Bauformen D, E)
- die Lötstelle im unteren Teil des Flachsteckers (Bauformen B, D, E)
- die Keramikisolatoren (Bauformen C2, CR, CD, B2)



Bearbeiten Sie Bördelungen, Falzverschlüsse und Anschlusssteile nicht mit schweren oder scharfen Objekten bzw. Werkzeugen (z. B. Hammer, Schraubendreher).

Anschluss von eckigen Kondensatoren

Das patentierte Isolator-Design unserer Baureihen E56, E59, E70, E78 und E90 ... 92 ermöglicht die Reparatur und den Austausch von beschädigten Isolatorkörpern. Aufgrund des speziellen Dichtungssystems kann sich der Isolator bei Einwirken einer drehenden Kraft (z.B. bei Bewegen der Ringmutter auf der Isolators oberseite) mitunter aus der Position drehen. Bei bestimmungsgemäßem Einsatz der Kondensatoren ist ein Lösen oder Festziehen der Ringmutter nicht erforderlich.

Vermeiden Sie jegliche Manipulation an den Ringmuttern, außer wenn ausdrücklich mit ELECTRONICON zu Reparaturzwecken vereinbart.

Kreisförmige Bewegungen des Isolators können die Silikondichtung deformieren oder beschädigen, sowie die Isolier- und Dichtungsfunktionen der Durchführung beeinträchtigen.

Arretieren Sie bei einer Reparatur stets den Isolator während des Befestigens oder Lösen der Ringmutter!

Entladung

Die meisten Kondensatoren zur Blindleistungskompensation sind standardmäßig mit Entladewiderständen ausgestattet. Die Kondensatoren für die Leistungselektronik sind jedoch werkseitig nicht mit internen Entladewiderständen versehen!

Falls eine Entladung nach dem Abschalten nicht über Teile der Schaltung gewährleistet ist, so sind Entladewiderstände vorzusehen. Vor dem Berühren der Anschlüsse sind diese in jedem Fall erst kurzzuschließen.

Insbesondere bei Kondensatoren mit Nennspannungen über 750 V ist zu beachten, dass sich nach einem kurzzeitigen Kurzschließen durch Ladungsumverteilung erneut Spannungen an den Anschlüssen aufbauen können (bedingt durch die Reihenschaltung von Kondensatorelementen). Solche Kondensatoren sind daher möglichst immer kurzgeschlossen zu lagern und zu installieren.



Earthing



In order to prevent floating voltage potentials between terminals and case which could cause problems when exceeding the capacitor's rated insulation voltage, metallic cases shall be earthed. Where such earthing is impossible, the case must at least be set to a defined potential within the operating voltage range of the capacitor.

Depending on their construction, capacitors can be earthed at their mounting screw, by means of a separate metal strap or clamp, at designated earthing studs or uncoated zones on the mounting brackets.

Mounting instructions for holding brackets for capacitors in the E50, E62, E63, E67 series

Made from glass-fibre reinforced plastic (UL94-V0) with a brass thread, our clamps are designed to secure capacitors of the series E62, E63, E67 with diameters 116 and 136 mm, as well as series E50 with diameter 136 mm, to each other and to the mounting surface. They provide additional stability during transport and operation.

Erdung

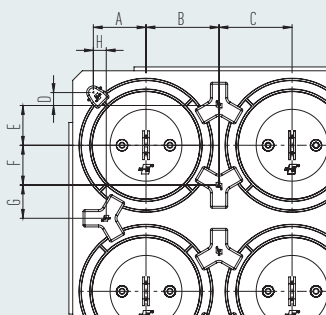
Um zu verhindern, dass zwischen den Klemmen und dem Gehäuse bezugsfreie ("schwebende") Spannungspotentiale auftreten, die beim Überschreiten der Nennisolationsspannung des Kondensators zu Problemen führen können, müssen metallische Gehäuse geerdet werden. Ist eine solche Erdung nicht möglich, ist das Gehäuse zumindest auf ein definiertes Potential innerhalb des Betriebsspannungsbereichs des Kondensators einzustellen.

Abhängig von ihrer Konstruktion können Kondensatoren an der Bodenschraube, mit einer Schelle, an speziellen Erdungsbolzen oder blanken Zonen an den Montagebügeln geerdet werden.

Montagehinweise zu Halteklammern für Kondensatoren der Baureihen E50, E62, E63, E67

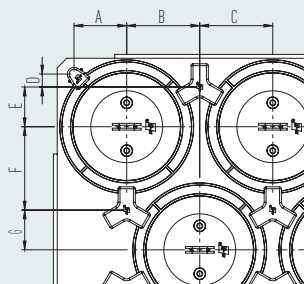
Unsere Klammern aus glasfaserverstärktem Kunststoff (UL94-V0) mit Messinggewinde dienen zur Verankerung von Kondensatoren der Serien E62, E63, E67 mit Durchmesser 116 und 136 mm sowie der Serie E50 mit Durchmesser 136 mm, sowohl untereinander als auch mit der Montagefläche. Sie sorgen für zusätzliche Stabilität bei Transport und Betrieb.

symmetrical positioning symmetrische Anordnung

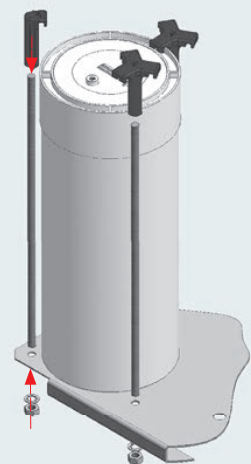


	ø116	ø136
A	47.75	55
B	66	76.25
C	66	76.25
D	9.5	13.5
E	38.25	41.5
F	38.25	41.5
G	27.75	34.75
H	9.25	13.5

offset positioning versetzte Anordnung



	ø116	ø136
A	47.75	55
B	66	76.25
C	66	76.25
D	9.5	13.5
E	38.25	41.5
F	76.75	87
G	38.25	41.5



Assembly of the Mesis® Safety System

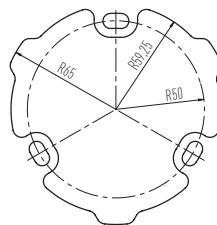
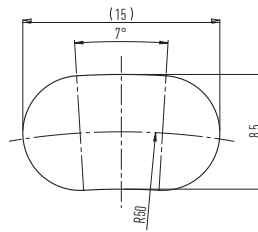
We recommend using slotted holes (8,5 x 15, with a radius of 50 mm) for fixation of the base studs in order to allow for fine adjustment of the terminal position against the bus bar.

Wir empfehlen die Verwendung von Langlöchern (8,5 x 15, mit einem Radius von 50 mm) für die Befestigung der Sockelbolzen, um eine Feinjustierung der Klemmenposition gegenüber der Stromschiene zu ermöglichen.

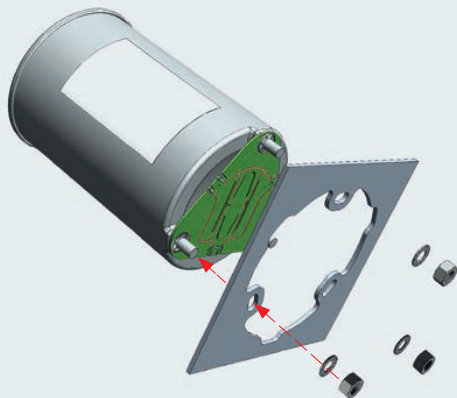
Place the slotted fixing holes on a radius of 50mm and ensure sufficient space for the handling of the Molex-Plug.

Platzieren Sie die Langlöcher zur Befestigung (8,5 x 15) auf einem Radius von 50 mm und sorgen Sie für ausreichend Platz für die Handhabung des Molex-Steckers.

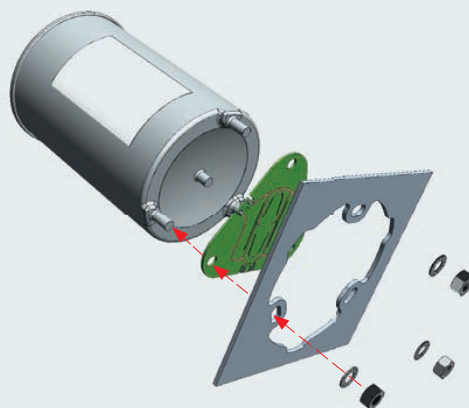
Montage der Mesis®-Sicherung



Mesis® premounted vormontiert



Mesis® supplied as separate item als separates Teil geliefert



Solvent Compatibility



The metal cases of our capacitors are generally resistant to cleaning agents and solvents. However, plastic parts and seals on these capacitors and all plastic cases can be severely damaged by certain solvents (especially acetone), sticker removers or surface cleaners (e.g. Makrysol). We therefore recommend the use of commercially available cleaners for stainless steel, plastic or aluminium for the respective surfaces. With the exception of a few types in the E54 and E61 series, Isopropanol (propyl alcohol) is also suitable for cleaning the metal and plastic surfaces of our capacitors.



Attention: Please avoid any contact of cleaning agents with the labelling on the capacitor labels.

Environment for Storage and Operation



Capacitors shall be stored and operated in dry environment and in conformance with the specified climatic class.



Do not expose capacitors to rain or direct sun.

Do not store or operate capacitors in, or close to, aggressive environments and corrosive atmosphere, e.g. acids, sulphide, chlorine/chlorides, salt mist, etc.

Avoid the deposition of dust and dirt on the capacitors which may compromise the creepage distances between terminals.



Principally, capacitors made of metallized polypropylene do not have a limited shelf life if stored properly. However please note that capacitors in non-hermetical housing may suffer from humidity and other environmental factors if left unused for a long period.

This can also be relevant for capacitors that are already installed. In certain environments, it may therefore be advisable to take additional measures to protect components, assemblies or devices from the effects of moisture during long-term storage.



Please consult us if in doubt about the condition of your capacitors after long storage, shutdown time or storage under unknown circumstances.

Verträglichkeit mit Lösungsmitteln

Die Metallgehäuse unserer Kondensatoren sind prinzipiell unempfindlich gegenüber Reinigungs- und Lösungsmitteln. Kunststoffteile und Dichtungen an diesen Kondensatoren sowie sämtliche Kunststoffgehäuse können jedoch durch bestimmte Lösungsmittel (insbesondere Aceton), Aufkleberentferner oder Oberflächenreiniger (z.B. Makrysol) substantiell geschädigt werden. Wir raten daher zur Verwendung von handelsüblichen Edelstahl-, Kunststoff- bzw. Aluminiumreinigern. Mit Ausnahme einiger weniger Typen der Baureihen E54 und E61 ist auch Isopropanol (Propylalkohol) für die Reinigung der Metall- und Kunststoffoberflächen unserer Kondensatoren geeignet.

Achtung: Bitte jeden Kontakt von Reinigungsmitteln mit der Beschriftung auf den Kondensatoretiketten vermeiden.

Umgebung für Lagerung und Betrieb

Kondensatoren müssen in trockener Umgebung und entsprechend der angegebenen Klimaklasse gelagert und betrieben werden.

Setzen Sie Kondensatoren nicht Regen oder direkter Sonne aus.

Lagern oder betreiben Sie Kondensatoren nicht in bzw. nahe aggressiven Umgebungen und korrosiver Atmosphäre (z.B. Säuren, Sulfide, Chlor / Chloride, Salznebel usw.)

Vermeiden Sie die Ablagerung von Staub und Schmutz auf den Kondensatoren, welche die Kriechstrecken zwischen den Anschlüssen beeinträchtigen könnten.

Grundsätzlich haben Kondensatoren aus metallisiertem Polypropylen bei sachgemäßer Lagerung keine eingeschränkte Haltbarkeit. Bitte beachten Sie jedoch, dass Kondensatoren in nichthermetischen Gehäusen bei länger andauernder Nichtnutzung anfällig für Feuchtigkeit und andere Umwelteinflüsse werden können.

Dies kann auch für Kondensatoren relevant sein, welche bereits verbaut sind. In bestimmten Umgebungen kann es daher empfehlenswert sein, Komponenten, Baugruppen oder Geräte bei langfristiger Lagerung durch zusätzliche Maßnahmen vor Feuchteinwirkung zu schützen.

Bitte wenden Sie sich bei Zweifeln am Zustand Ihrer Kondensatoren nach längerer Lagerung, Stillstandszeit oder unklaren Lagerbedingungen an uns.

Environmental Compatibility

Our capacitors do not contain PCB, solvents, or any other toxic or banned materials. They do not contain hazardous substances acc. to «Chemikalien-Verbotsverordnung» (based on European guidelines 2003/53/EG and 76/769/EWG), «Gefahrstoffverordnung» (GefStoffV) and «Bedarfsgegenstaendeverordnung» (BedGgstV).

They are not classified as «dangerous goods» acc. to transit rules. The capacitors do not contain highly flammable liquids and do not have to be marked under the Regulations for Hazardous Goods. They are rated WGK 0 (water risk category zero «no general threat to water»).

Our products pose no threat to health if applied properly. In case of skin contact with filling liquids, clean the affected areas with water and soap.

All capacitors are made with lead-free solder tin.

Disposal

The impregnants and filling materials contain vegetable oil, polyurethane mixtures or nitrogen. A data sheet about the applied impregnant can be provided by the manufacturer on request.

We recommend disposing of the capacitors through professional recycling centres for electric/electronic waste.

The capacitors can be disposed of as follows:

- Disposal acc. to European Waste Catalogue 200136 (capacitors filled with plant oil/resin).
- Gas filled capacitors do not require any special treatment.
- Solid filling materials: acc. to EWC 080404 («solidified adhesives and sealants»).
- Liquid filling materials which may have emerged from the capacitor shall be absorbed by proper granules and disposed of in accordance with European Waste Catalogue 080410 (PUR resin residues, not solidified).

Caution: When touching or disposing of capacitors with activated break-action mechanism, please consider that even after days and weeks these capacitors may still be charged with high voltages!

Consult your national rules and restrictions for waste and disposal.

Umweltverträglichkeit

Unsere Kondensatoren enthalten kein PCB, keine Lösemittel, oder sonstige giftige oder verbotene Stoffe, keine gefährlichen Inhaltsstoffe gemäß Chemikalien-Verbotsverordnung (ChemVerbotsV), Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) und Bedarfsgegenstände-Verordnung (BedGgstV). Sie stellen kein Gefahrgut im Sinne der Transportvorschriften dar. Es ist keine Kennzeichnung nach Gefahrstoffverordnung erforderlich. Sie unterliegen nicht der TALuft und enthalten keine leicht entzündlichen Flüssigkeiten. Sie sind eingestuft in die WGK 0 (Wassergefährdungsklasse Null, im Allgemeinen nicht wassergefährdend).

Bei sachgemäßer Anwendung gehen vom Produkt keine Gesundheitsgefahren aus. Bei Hautkontakt mit dem Kondensatorfüllmittel sind die betroffenen Hautpartien mit Wasser und Seife zu reinigen.

Alle Kondensatoren sind mit bleifreiem Lötzinn gearbeitet.

Entsorgung

Die verwendeten Füllmittel bestehen aus Pflanzenöl, Polyurethan-Mischungen oder Stickstoff. Ein Sicherheitsdatenblatt des Herstellers über die Füllmittel kann bei Bedarf angefordert werden.

Wir empfehlen, die Entsorgung über Recyclingeinrichtungen für Elektro-/Elektronik-Schrott vorzunehmen.

Die Kondensatoren können wie folgt entsorgt werden:

- Entsorgung nach Abfallschlüssel 200136 (Kondensatoren mit Pflanzenöl/Gießharz gefüllt).
- Gasgefüllte Kondensatoren bedürfen keiner besonderen Behandlung.
- ausgehärtete Füllmittel: nach Abfallschlüssel-/EAK-Nummer 080404 (PUR-Harzrückstände, ausgehärtet).
- Eventuell ausgetretene Füllmittel sind mit ölbindenden Granulaten aufzunehmen und nach Abfallschlüssel EWC 080410 (PUR Harzrückstände, nicht ausgehärtet) zu entsorgen.

Vorsicht beim Berühren und Entsorgen von Kondensatoren, bei denen die Überdrucksicherung angesprochen hat! Noch nach Tagen und Wochen können gefährliche Spannungen auftreten!

Grundsätzlich sind relevante nationale Vorschriften zu beachten.





general

The background of the page is a photograph of a filing cabinet. The cabinet has several drawers, and one of the drawers in the foreground is slightly open, revealing a white label with the word "stuff" written in black cursive. The image is slightly blurred, giving it a soft, artistic feel. A solid teal rectangular box is positioned on the right side of the page, containing the text "ANNEX" and "ANHANG" in white, sans-serif, uppercase letters.

ANNEX ANHANG

Safety Recommendations

General Safety Recommendations and Requirements for the Usage of Power Capacitors

I. Scope

These safety recommendations and requirements apply to the following power capacitors and standards. Their purpose is to describe the state of technology which must as a rule be adhered to in all relevant contracts for goods and services.

- Power capacitors for power factor correction (PFC) up to 1000 V
IEC / DIN EN 60831 and 60931
- Power capacitors for power factor correction (PFC) above 1000 V
IEC / DIN EN 60871
- Power capacitors for induction heating installations (PFC)
IEC / DIN EN 60110
- Capacitors for power electronics (PEC)
IEC / DIN EN 61071
- Capacitors for railway applications (PEC)
IEC / DIN EN 61881
- Lighting capacitors (AC)
IEC / DIN EN 61048/49
- Motor capacitors (AC)
IEC / DIN EN 60252
- Surge capacitors
DIN VDE / 0560-3
(currently no IEC rule available)

II. General safety rules

Since power capacitors are electrical energy storage devices, they must always be handled with caution. Even after being turned off for a relatively long period of time, they can still be charged with potentially lethal high voltages. The same applies to all system components and devices which have an electrically conductive connection to the capacitor. The general rules of good electrical engineering practice must always be complied with when handling live components in electrical systems.

III. General conditions for storage and use

- The manufacturer's installation, application and maintenance instructions and the relevant standards must always be complied with.
- Capacitors must never be stored or used outside the specified temperature ranges.
- Capacitors may not be stored or operated in corrosive atmospheres, particularly not when chlorides, sulfides, acids, alkalis, salts, organic solvents or similar substances are present.

- In dust and dirt-prone environments, regular checks and maintenance (particularly of the terminals and insulators) are absolutely necessary to prevent creation of creepage distances between live parts and/or to the protective conductor/ground.
- The maximum temperatures (including inherent heat), voltages, currents, power, thermal resistances, frequencies, discharge times and switching frequencies specified in the data sheet must be adhered to.
- A means of sufficient dissipation of heat loss (fan, cooling) or escaping gases and liquids in case of malfunction must be provided. Required minimum distances (e.g., to sources of heat) must be maintained.
- Specified torques for electrical connections and fasteners must be adhered to.
- Mechanically or electrically damaged, leaky or otherwise damaged capacitors may not be used or continue to be used.
- Existing protective devices of the capacitors may not be manipulated, removed or impaired in their function.

IV. Protective devices

- The following table gives an overview of the known internal protective devices:

Protective Device/ Protective Mechanism	Application		
	PEC	PFC	AC
Without protective devices	X		
Exclusively self-healing ¹⁾	X	X	X
Singly or in combination:			
Improved self-healing ²⁾	X		
Overpressure interrupter	X	X	X
Overpressure switch	X	X	X
Overpressure valve	X	X	
Reinforced housing	X	X	
Segmented film	X	X	X
Winding fuse		X	X
Thermal fuse			X

Table: overview of the known internal protective devices and areas of application

1) Self-healing defines the capacitor technology. Self-healing capability is not a safety system!

2) Improved self-healing classified as a safety system means that the protective function was tested using special methods. However, the effectiveness of an improved self-healing system cannot be compared with traditional safety devices such as overpressure switches or overpressure interrupter. Improved self-healing can significantly reduce the failure probability though.

- Internal protective devices offer basic protection against certain internal faults, aging and overload.
- Internal protective devices alone are not sufficient to prevent all conceivable dangers in case of malfunction. The so-called self-healing capability is not the same as fail safe system stability.
- Most internal protective devices can interrupt the voltage only within the capacitor.
- They are not used in the classical sense such as cable or device fuses which interrupt the voltage upstream from the faulty system component.
- It is advisable to supplement internal protective devices with external protective devices, for example:
 - short-circuit protection by fuses or circuit breakers/protective relays
 - overload protection for fundamental frequency and harmonics using current measurement
 - load unbalance protection
 - temperature control
- Depending on their protective mechanism, protective devices are subject to technical and functional limits which, when exceeded, will inevitably cause malfunctions. Such violations include excess temperature,

overvoltage, incorrect application, incorrect installation, faulty maintenance, mechanical damage or operation outside the technical limits of the specification.

V. Risk factors for the capacitor

The most frequent risk factors which cause capacitor damage and possibly also the failure of the internal protective devices are:

- Exceeding the permissible temperature on the capacitor surface (every increase in operating temperature of 7 K cuts life expectancy in half).
- Overvoltages, overcurrents and high inrush currents even if they only occur briefly or cyclically (a continuous increase in the operating voltage of the capacitor of 8 % cuts life expectancy in half).
- Network harmonics, resonances created by harmonics or flicker even when they occur only briefly or cyclically.
- Aging of the lighting equipment and consequential excess temperature or high UV stress.
- Failure of other components in a common circuit and consequential overvoltages or overcurrents.
- Interaction with other reactive power components, and also parasitic capacitances (cable) or inductivities in common circuits.
- Even if the test based on the capacitor standard is passed, this does not ensure comprehensive protection against all possible overloading.
 - In some cases, there is a customer request for special tests with extreme overvoltages and temperatures for capacitors without protective devices to prove safety.
 - These additional tests on self-healing PEC capacitors without a safety system (unprotected) are often referred to as “destruction tests” and are not IEC compliant. Furthermore, such tests are unsuitable for evaluating potential risks posed by PEC capacitors or their behavior in the event of a fault.
 - Instead of these tests, critical operating conditions which could lead to the failure of a PEC capacitor (voltage/current/temperature) should be monitored within the application.
- During the operation of thyristor-switched capacitor systems, high DC voltages can occur continuously on the capacitors of compensation systems which are not switched on. These DC voltages must be considered when designing the capacitors and their discharge devices.

VI. Risks when a fault occurs

- Power capacitors can be a significant risk in the case of failure due to their stored energy and/or their properties during operation in networks with high short-circuit power.
 - The use of ever larger capacitors, for example in multi-level high-voltage direct current (HVDC) transmission systems, which are notable for the size, arrangement and number of capacitors, poses particular risks.
 - If energy values exceed 30 kJ per capacitor unit, it is assumed that, in the event of failure, the risk will increase if there is an uncontrolled release of this energy. This poses an additional hazard potential in systems containing several capacitor units due to possible avalanche effects.
- Power capacitors can actively fail when internal or external protective devices are missing, incorrectly dimensioned or have failed. They can burst, burn or, in extreme cases, explode. This also applies to gases escaping from internal protective devices (overpressure valve).
- The gases (e.g., hydrocarbons as decomposition products of the organic insulating materials used) released in case of damage are flammable and can create explosive mixtures. The fire load of a power capacitor is approx. 40 MJ/kg. It is to be noted in this context that depending on size – combustible materials make up around 55 % of the total mass of small capacitors and max. 75 % of large capacitors.

VII. Risk minimisation

- The capacitor manufacturer cannot predict all possible stresses which a power capacitor can be subjected to and which must be taken into account in the design. This means that the user bears crucial coresponsibility here. For this reason alone, safety and quality should be the top priorities when a capacitor is selected. This is why we urgently recommend the use of capacitors with appropriate internal protective devices.

- Capacitors must be checked prior to use to ensure they are suitable for the intended application. This applies in particular if the capacitor has a particular hazard potential due to its proximity to people, as is always the case with traction applications, for example. In this case it is always preferable to use capacitors with protective devices. All influences (parameters) must be taken into account in the risk assessment / suitability test. This also includes possible production errors in the capacitor and their effects on safety in the application. The unhesitating acceptance of the capacitor in an application without a concrete risk assessment can have serious consequences for the safety of the system.
- Particularly with sensitive applications, the internal protective devices of the capacitors must be supplemented by the user with suitable external protective measures. External protective measures are even mandatory when capacitors are used without internal protective devices.
- When power capacitors are used, suitable measures must always be taken to eliminate possible danger to humans, animals and property both during operation and when a failure occurs. This applies to capacitors both with and without protective devices. Regular inspection and maintenance by a competent person is therefore essential.
- Power capacitor manufacturers who are members of the ZVEI will gladly advise users who are planning an application, provide firm recommendations and offer their services.

Contact

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

ZVEI e. V. • Electro and Digital Industry Association • Lyoner Straße 9 • 60528 Frankfurt am Main • Germany
Lobbying Register ID.: R002101 • EU Transparency Register ID: 94770746469-09 • www.zvei.org

Date: 16.03.2023

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 ¹⁾	X	X	X
Einzelnen oder in Kombination			
Verbesserte Selbstheilung ²⁾	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 Kondensatortechnologie. 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

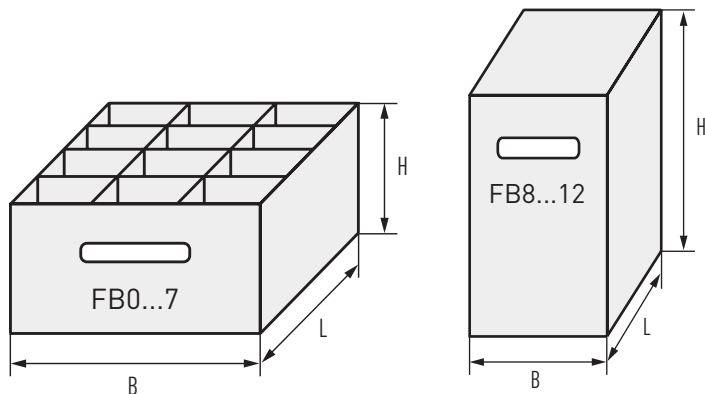
Datum: 16.03.2023

PACKING DETAILS VERPACKUNG

box type Karton Typ	dimensions Abmessung L x B x H (mm)	boxes/pallet Kartons/Palette
FB2	380 × 200 × 140	80
FB4	380 × 200 × 113	120
FB7	380 × 200 × 200	80
FB8	390 × 150 × 260	80
FB10	390 × 150 × 362	56
FB12	390 × 150 × 332	70
FB15	390 × 150 × 438	56
FB33	390 × 150 × 475	42

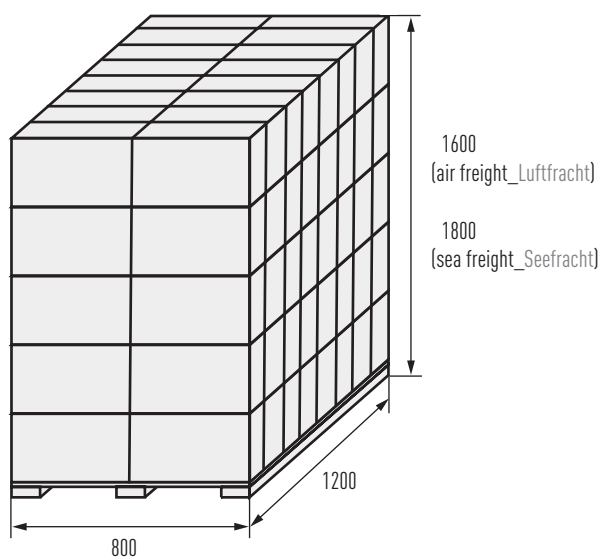
Box Karton

Carton, sealed with paper sticker tape
Karton, verschlossen mit Papierklebeband



Pallet Palette

Standard Euro-Pallet (fumigated if required), wrapped in PP-foil
Standard Euro-Paletten, mit PP-Stretch-Folie umhüllt
(bei Bedarf vorbehandelt gegen Schädlinge)



CONVERSION CHARTS UMRECHNUNGSTABELLEN

Temperature Temperatur

Celsius	Fahrenheit
$1^{\circ}\text{F} = 1^{\circ}\text{C} \times \frac{9}{5} + 32$	
-50	-58
-45	-49
-40	-40
-30	-22
-25	-13
-20	-4
-10	14
0	32
10	50
20	68
30	86
40	104
45	113
50	122
55	131
60	140
65	149
70	158
80	176
85	185
90	194
100	212

Weight Masse

Gramm	Ounce
1 oz = 28.4 g	
5	0.18
10	0.35
20	0.71
30	1.06
40	1.41
50	1.76
60	2.12
70	2.47
80	2.82
90	3.17
100	3.53

Kilogramm	lbs
1 kg = 2.2 lbs	
0.5	1.1
1	2.2
2	4.41
3	6.61
4	8.82
5	11.02
6	13.23
7	15.43
8	17.64
9	19.84
10	22.05

Torque Drehmoment

Newton-Meter	Pound-Force Inches
1 Nm = 8.8 pfi	
0.5	4
1	8
1.5	13
2	17
2.5	22
3	26
3.5	30
4	35
4.5	39
5	44
6	53
7	61
7.5	66
8	70
8.5	75
9	79
9.5	84
10	88

Length Länge

mm	inch	
1 inch = 25.4mm		
6	2/8	0.24
8	3/8	0.31
10	3/8	0.39
13	4/8	0.51
14	4/8	0.55
16	5/8	0.63
17.5	6/8	0.69
20	3/4	0.79
25	1	0.98
30	1 1/8	1.18
32	1 2/8	1.26
35	1 3/8	1.38
37	1 4/8	1.46
40	1 5/8	1.57
42	1 5/8	1.65
42.5	1 5/8	1.67
45	1 6/8	1.77
48	1 7/8	1.89
49	1 7/8	1.93
50	2	1.97
51	2	2.01
55	2 1/8	2.17
58	2 2/8	2.28
60	2 3/8	2.36
62	2 4/8	2.44
64	2 4/8	2.52
67	2 5/8	2.64
70	2 3/4	2.76
75	3	2.95
76	3	2.99
79	3	3.11
80	3 1/8	3.15
81	3 2/8	3.19
85	3 3/8	3.35

mm	inch	
1 inch = 25.4mm		
89	3 4/8	3.5
90	3 1/2	3.54
93	3 1/2	3.66
95	3 1/2	3.74
98	4	3.86
100	3 7/8	3.94
101	4	3.98
105	4 1/8	4.13
109	4 2/8	4.29
110	4 3/8	4.33
116	4 5/8	4.57
120	4 3/4	4.72
122	4 3/4	4.8
125	5	4.92
130	5 1/8	5.12
135	5 3/8	5.31
136	5 3/8	5.35
140	5 1/2	5.51
141	5 1/2	5.55
142	5 1/2	5.59
150	5 7/8	5.91
151	6	5.94
153	6	6.02
160	6 1/4	6.3
164	6 2/4	6.46
165	6 2/4	6.5
170	6 3/4	6.69
176	7	6.93
180	7 1/8	7.09
185	7 2/8	7.28
190	7 1/2	7.48
200	7 7/8	7.87
205	8 1/8	8.07
210	8 1/4	8.27

mm	inch	
1 inch = 25.4mm		
220	8 5/8	8.66
230	9	9.06
240	9 1/2	9.45
245	9 1/2	9.65
250	9 7/8	9.84
252	9 7/8	9.92
260	10 1/4	10.24
270	10 5/8	10.63
280	11	11.02
290	11 3/8	11.42
295	11 5/8	11.61
300	11 3/4	11.81
310	12 1/4	12.2
314	12 1/4	12.36
320	12 5/8	12.6
324	12 6/8	12.76
330	13	12.99
340	13 3/8	13.39
345	13 5/8	13.58
350	13 3/4	13.78
362	14 1/4	14.25
380	15	14.96
390	15 1/4	15.35
393	15 2/4	15.47
395	15 2/4	15.55

Clearance in Air

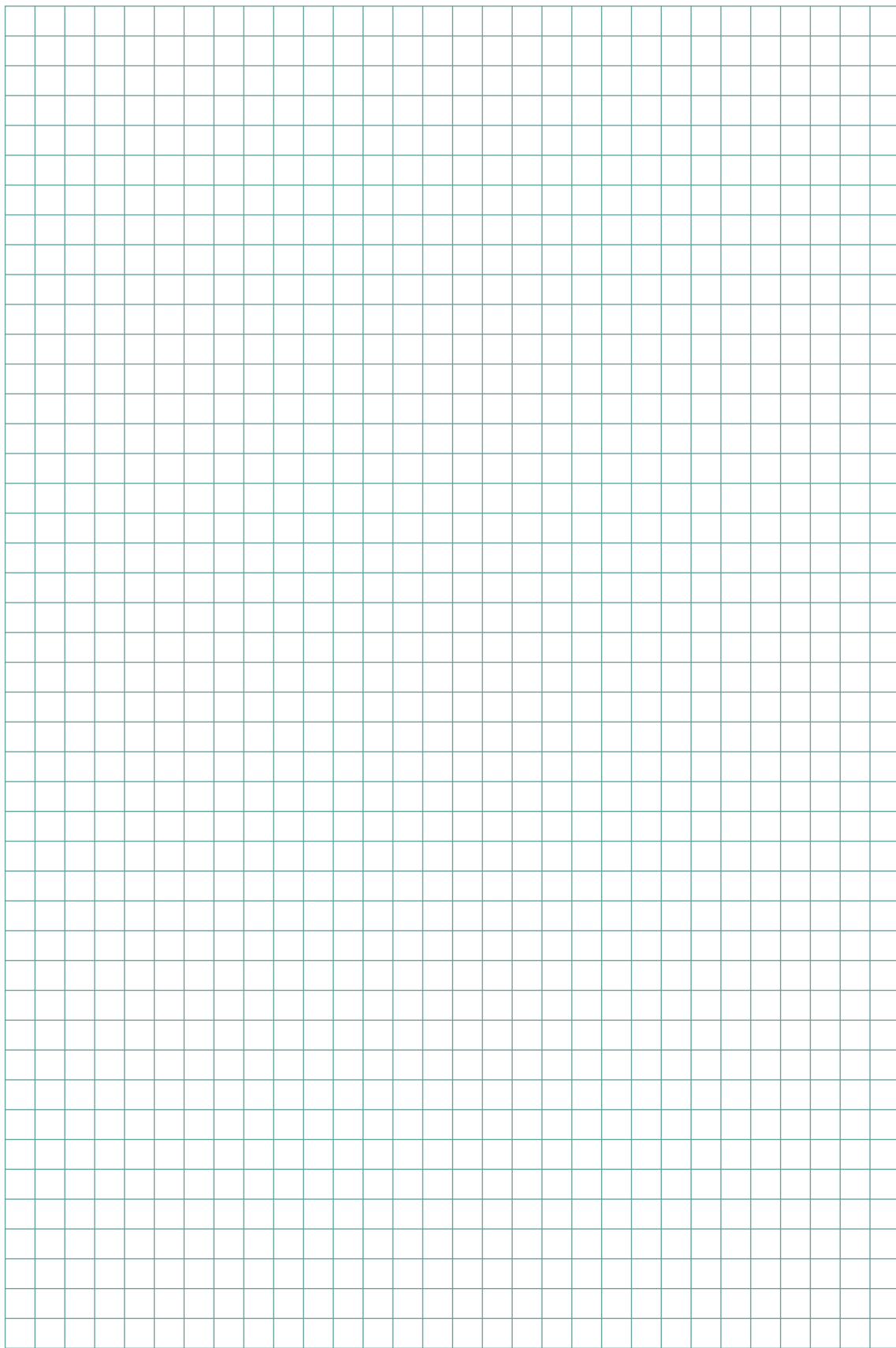
Luftstrecke

surge voltage Stoßspannung	min clearance in air (mm) for altitudes up to 2000m a.s.l. Mindestluftstrecke für Einsatzhöhe bis zu 2000 m ü.NN			
	Level of pollution Verschmutzungsgrad			
kV	1	2	3	4
0.33	0.01	0.1	0.8	1.6
0.4	0.02	0.1	0.8	1.6
0.5	0.04	0.1	0.8	1.6
0.6	0.06	0.2	0.8	1.6
0.8	0.1	0.2	0.8	1.6
1	0.15	0.2	0.8	1.6
1.2	0.25	0.25	0.8	1.6
1.5	0.5	0.5	0.8	1.6
2.0	1	1	1	2

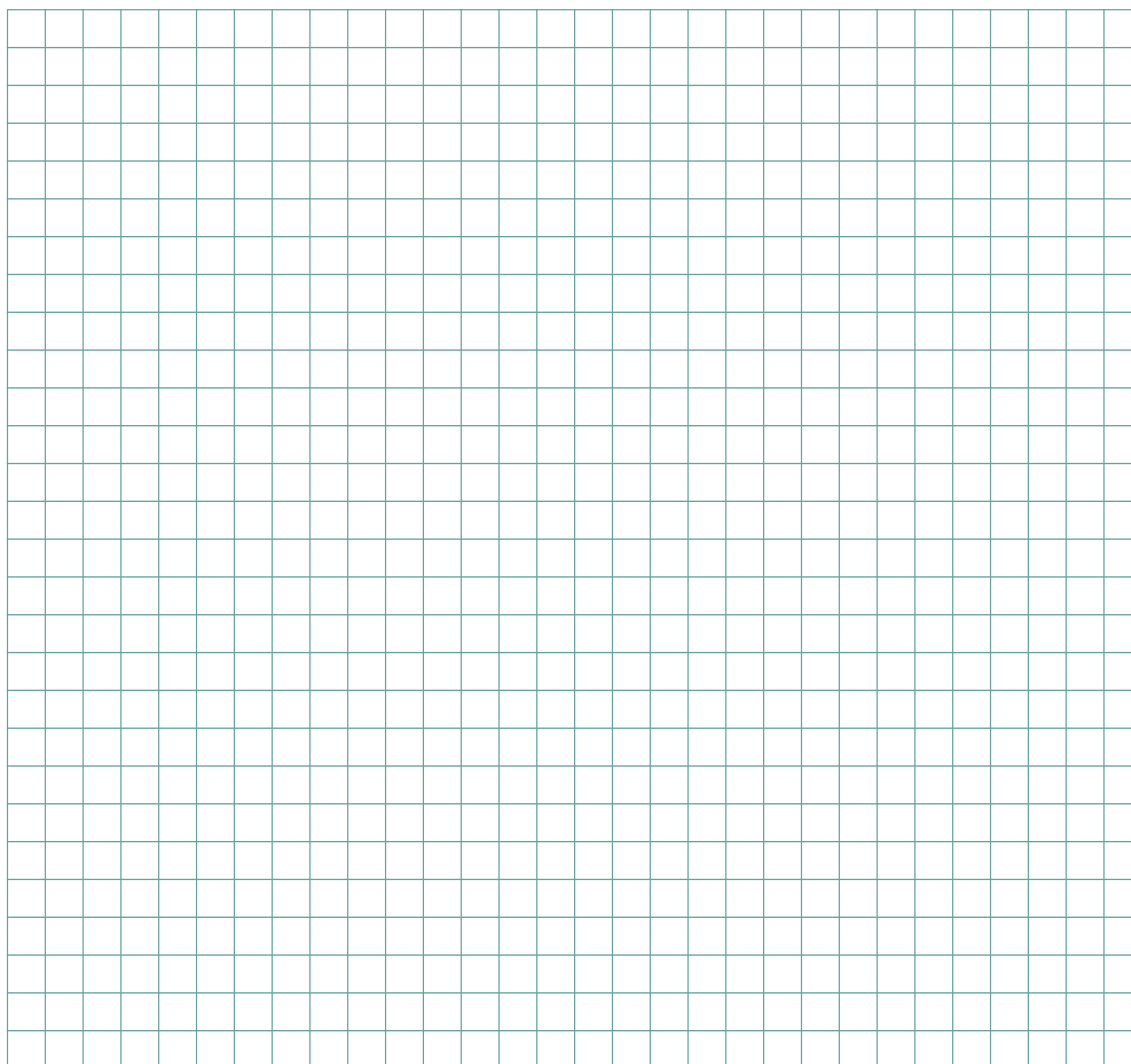
Altitude Correction Factors

Korrekturfaktoren nach Höhe

altitude (meters a.s.l.) Höhe (Meter ü.NN)	normal air pressure (kPa) Normaldruck (kPa)	multiplication factor air clearance Multiplikationsfaktor Luftstrecke
2000	80	1
3000	70	1.14
4000	62	1.29
5000	54	1.48
6000	47	1.7
7000	41	1.95
8000	35.5	2.25
9000	30.5	2.62
10000	26.5	3.02
15000	12	6.67
20000	5.5	14.5



NOTES NOTIZEN



IMPRINT _ IMPRESSUM

Editor_Herausgeber: ELECTRONICON Kondensatoren GmbH

Design/Layout: PUNKT191 Marketing & Design

Photographs_Fotografie/Bildnachweis: Fotostudio Bartel S. 6-7; 36-37; 68-69

S. 10-11: pressmaster/fotolia.com; S. 76-77: elenathewise/123RF.com.

© ELECTRONICON Kondensatoren GmbH, 2024

Any copy or reproduction of this publication - as a whole or in parts - is not permitted without the explicit authorization of ELECTRONICON in writing. We reserve the right for technical amendments and deviations without prior notice. Der Nachdruck oder die Wiedergabe - auch auszugsweise und in jeder Form - unserer Unterlagen ist nur mit unserer schriftlichen Genehmigung zulässig. Technische Änderungen und Abweichungen vorbehalten!

 **ELECTRONICON**® Mesis® and **PKmind**® are registered trademarks of _ sind eingetragene Handelsmarken von ELECTRONICON Kondensatoren GmbH.
CAPAGRIP™ and **SINECUT**™ are trademarks of _ sind Handelsmarken von ELECTRONICON Kondensatoren GmbH.

THE BIG PLUS - MACHINES AND TECHNOLOGY

DAS GROSSE PLUS: MASCHINEN UND TECHNOLOGIE

Over 80 years of experience in metallizing papers and films are as crucial to our success as the 85-year tradition of designing and manufacturing capacitors. Besides the cost advantages and extended quality control, our modern metallizing plant provides for higher flexibility and faster availability of materials than with the majority of our competitors. It is also the foundation of our very own know-how in metal coating techniques and distinguishes our products from all those depending on the expertise of external metallizers.

Our highly versatile collection of winding machines is one of Europe's biggest, and a prerequisite of our huge product variety – matching the requirements of our markets. Manufacturing capacitors in Germany can be highly competitive - thanks to high productivity and automation in key departments.

Mehr als 80 Jahre Erfahrung in der Metallisierung von Papier und Folien sind für unseren Erfolg ebenso entscheidend wie 85 Jahre Tradition in der Entwicklung und Herstellung von Kondensatoren. Neben Kostenvorteilen und erweiterter Qualitätskontrolle verleiht uns unser modernes Bedampfungszentrum eine höhere Flexibilität und schnellere Verfügbarkeit von Materialien als bei vielen unserer Wettbewerber. Es bildet auch die Grundlage unseres eigenen Know-hows in der Metallisierungstechnologie und unterscheidet unsere Produkte von all denen, die auf die Expertise externer Metallisierer angewiesen sind. Unser vielseitiger Park von Wickelmaschinen ist einer der größten in Europa und Voraussetzung für unsere große Produktvielfalt - passend zu den Anforderungen unserer Märkte. Kondensatoren in Deutschland konkurrenzfähig herzustellen ist möglich - dank hoher Produktivität und Automatisierung in Schlüsselbereichen.



MADE IN GERMANY

HERGESTELLT IN DEUTSCHLAND

500 skilled workers are employed in the metallization plant which focuses on the efficient provision of each capacitor's fundamental component – the metallized film, and in our two manufacturing sites: The factory in Gera Keplerstrasse assembles all sorts of cylindrical AC and DC capacitors, and the brand new factory in Gera-Hermsdorf focuses on the assembly and testing of our large box-type capacitors.

The proximity of the three sites allows for tight and continuous quality control. Production in Germany means consistent product quality from well-organized, reliable processes, implemented by a sensible and responsible workforce.

Neben dem Bedampfungszentrum, welches sich auf die effiziente Bereitstellung des Grundmaterials jedes Kondensators - metallisierter Folie - konzentriert, sind in unseren beiden Produktionsstätten über 500 Fachkräfte am Werk: In der Geraer Keplerstraße werden alle Arten von zylindrischen AC- und DC-Kondensatoren gebaut. Die Fabrik in Gera-Hermsdorf beherbergt die Montage und Prüfung unserer Großkondensatoren.

Die Nähe der drei Standorte ermöglicht eine enge und kontinuierliche Qualitätskontrolle. Fertigung in Deutschland steht für gleichbleibende Produktqualität durch gut organisierte, zuverlässige Prozesse, mit Leben erfüllt durch eine verantwortungsbewusste Belegschaft.





INNOVATION INNOVATION

Even after hundreds of years of practical use, capacitors still face new requirements in modern applications. With the experience and know-how of more than 85 years, ELECTRONICON's engineers are always exploring alternative options for improvement, finding new solutions to create products that are even more reliable, more durable, and optimized for all application environments.

Our MKPg™ was one of the world's first truly dry power capacitors. Our PK16™ range heralded the large-scale substitution of electrolytic capacitors in modern converters. MSD™ is our brand name for the world's first medium voltage power capacitor with a self-healing dielectric, in a completely dry design and Mesis® is the first safety device in a cylindrical DC-link capacitor worldwide. ELECTRONICON is not just another supplier of capacitors: we are your partner in making your products superior to those of your competitors.

Selbst nach vielen Jahrzehnten praktischer Verwendung müssen sich Kondensatoren in modernen Anwendungen immer wieder neuen Anforderungen stellen. Mit der Erfahrung und dem Know-how von mehr als 85 Jahren erforschen ELECTRONICON's Ingenieure immer neue Varianten der Verbesserung und Entwicklung von Produkten, die noch zuverlässiger, langlebiger und für alle Anwendungsumgebungen optimiert sind.

Unser MKPg™ war einer der weltweit ersten wirklich trockenen Leistungskondensatoren. Die PK16™-Serie läutete von Gera aus die weitreichende Substitution von Elektrolytkondensatoren in modernen Umrichtern ein. MSD™ lautet unser Markenname für den weltweit ersten Mittelspannungskondensator mit einem selbstheilenden Dielektrikum und in vollkommen ölfreiem Design und mit Mesis® gibt es nun die weltweit erste Sicherung in einem zylindrischen Zwischenkreiskondensator. ELECTRONICON ist nicht bloß noch ein weiterer Lieferant von Kondensatoren: Wir sind Ihr Partner, um Ihren Erzeugnissen einen Wettbewerbsvorteil zu verschaffen.



PATH OF SUCCESS

The tradition of capacitor production in Eastern Thuringia dates back more than 75 years. 1938's small SIEMENS outlet producing DC capacitors for radio appliances has evolved into one of the world's leading specialists in high class capacitors for power factor correction, harmonic filtering, traction and DC link, for white goods, fluorescent lighting and many other AC and DC applications. With its three German manufacturing sites, ELECTRONICON is the country's largest capacitor manufacturer.

1938

SIEMENS & HALSKE open factory for DC capacitors in paper technology, becoming the company's key manufacturing and R&D location for capacitors during WW2.



1948

Nationalization. The newly created "Geraer Kondensatorenwerk" (later to become RFT VEB Elektronik Gera) grows into one of the biggest capacitor factories in the former Eastern Bloc.



1964

Substantial expansion of in-house metal coating facility, a major keystone of today's success: the proprietary know-how in paper and film metallization.

1976

First range of capacitors using metallized polypropylene film.



1992

ELECTRONICON Kondensatoren GmbH emerges from the old RFT / Electronicon GmbH.



1994

Takeover by SYSTEM ELECTRIC GmbH, inventor of modular PFC banks and Germany's leading specialist in industrial power factor correction.

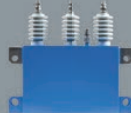
2002

Launch of PK16™ range, pioneering the systematic substitution of electrolytic capacitors in the DC links of industrial converters.



2004

ELECTRONICON's MSD™ range is world's first liquid free high voltage power capacitor with self-healing dielectric.



2011

Opening of new factory in Gera Hermsdorf for production of high power and heavy current capacitors.

2021

Our new E67 GA85 Mesis® becomes World's first protected DC link capacitor with ultra-low self-inductance.



2023

The company is one of the world's top three manufacturers of HVDC capacitors. Annual sales reach a new record level of €87 million.



WEG DES ERFOLGS

Die Tradition der Kondensatorfertigung in Ostthüringen reicht über 80 Jahre zurück. Der kleine SIEMENS-Außenposten von 1938, der damals DC-Kondensatoren für Radiogeräte herstellte, hat sich zu einem der weltweit führenden Spezialisten für hochwertige Kondensatoren für Blindstromkompensation, Oberwellenfilter, Antriebstechnik und Zwischenkreise, für Weiße Ware und viele andere AC- und DC-Anwendungen gewandelt. Mit ihren drei deutschen Produktionsstätten ist ELECTRONICON größter Kondensatorhersteller des Landes und einer der größten weltweit.

1938

SIEMENS & HALSKE eröffnet eine Fabrik für DC-Kondensatoren in Papier-technologie, welche während des 2. Weltkrieges zum wichtigsten Forschungs-, Entwicklungs- und Produktionsstandort für Kondensatoren wird.

1948

Verstaatlichung. Das neu geschaffene Geraer Kondensatorenwerk (später RFT VEB Elektronik Gera) wächst zur größten Kondensatorfabrik im ehemaligen Ostblock heran.

1964

Die deutliche Erweiterung der eigenen Bedampfungsanlagen wird zu einem wichtigen Grundstein für den heutigen Erfolg: das eigene Know-how in der Papier- und Folienmetallisierung.

1976

Erste Serie von Kondensatoren mit metallisierter Polypropylenfolie.

1992

Aus der alten RFT / Electronicon GmbH wird die ELECTRONICON Kondensatoren GmbH ausgegründet.

1994

Übernahme durch die SYSTEM ELECTRIC GmbH, Pionier im Bau modularer Kompensationsanlagen und Deutschlands führender Spezialist für industrielle Blindleistungskompensation.

2002

Einführung der PK16™ -Serie, welche die systematische Substitution von Elektrolytkondensatoren in Umrichterzwischenkreisen einläutet.

2004

Die MSD™ -Serie von ELECTRONICON ist der weltweit erste selbstheilende und flüssigkeitsfreie Hochspannungskondensator.

2011

Eröffnung eines neuen Werkes in Gera Hermsdorf zur Produktion von großen Starkstromkondensatoren.

2021

Unser neuer E67 GA85 Mesis® ist der weltweit erste gesicherte Zwischenkreis-kondensator mit extrem niedriger Eigeninduktivität.

2023

Das Unternehmen gehört zu den drei weltweit führenden Herstellern von HGÜ-Kondensatoren. Der Jahresumsatz erreicht einen neuen Rekordstand von 87 Mio €.

200.003-020021

ELECTRONICON Kondensatoren GmbH
Germany • 07549 Gera • Keplerstrasse 2
Fon +49 365 / 734 61 00 • Fax +49 365 / 734 61 10
www.electronicon.com • info@electronicon.com