

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 91 (2000)

Heft: 3

Artikel: Lebensdauer von Niederspannungskondensatoren für die Blindleistungskompensation

Autor: Bähler, Jean

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-855526>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 17.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Lebensdauer von Niederspannungskondensatoren für die Blindleistungskompensation

Die Lebensdauer eines für die Blindleistungskompensation eingesetzten Kondensators wird durch Materialwahl und Herstellungsverfahren bestimmt. Bei der Wahl der Komponenten müssen dem Anwender die die Lebensdauer bestimmenden Einflussfaktoren bekannt sein. Der Artikel soll dazu beitragen, Fehlentscheidungen zu vermeiden.

Allgemeine Einteilung der Kondensatoren

Bild 1 bietet einen Überblick über eine mögliche Einteilung der Kondensatoren nach ihrer Kapazität [1] und ihrer Struktur [2]. Aus den aufgeführten Daten kann geschlossen werden, dass sich nur die Familie der Folie/Papier-Kondensatoren (F/P-K) für die Blindleistungskompensation eignet. Die anderen Familien können theoretisch verwendet werden, haben aber entweder einen zu tiefen Kapazitätsbereich, sind nur für Gleichstromanwen-

Adresse des Autors

Jean Bähler, Dipl. Masch.-Ing. HTL, MBA
Montena Components SA, 1728 Rossens

dungen geeignet und/oder liegen nicht in einem konkurrenzfähigen Preissegment.

Die Familie der F/P-K kann nach ihrem Anwendungsbereich weiter unterteilt werden (Bild 2). Da sich dieser Bericht nur auf die Niederspannungs-Blindleistungskondensatoren bezieht, werden andere Anwendungen im Bild nicht erwähnt. Die Kondensatoren für die Blindleistungskompensation [3] können weiter nach ihrem Fertigungsverfahren unterteilt werden (Bild 3). Direkt mit dem Fertigungsverfahren ist die Materialwahl und die Konstruktion des Kondensators verbunden. Alle drei Faktoren haben einen wichtigen Einfluss auf die Lebensdauer der Kondensatoren.

Aufbau eines Kondensators

Ein Kondensator für die Blindleistungskompensation wird durch einen Wickelprozess hergestellt, bei dem die Ausgangsmaterialien, eine leitende Schicht und ein Dielektrikum, gemein-

sam gewickelt werden. Dabei entstehen eine Vielzahl paralleler Kondensatoren, die durch Kontaktieren untereinander verbunden werden. Der Aufbau ist gemäss Bild 4 abwechselungsweise Dielektrikum und Leitermaterial. Daraus ist zu erkennen, dass das Dielektrikum die

ganze Spannungsdifferenz aushalten muss. Dies ist ein wichtiger Punkt in der Dimensionierung des Kondensators, weil die Lebensdauer direkt davon abhängt. Aus dem rechten Teil des Bildes kann die Formel 1 abgeleitet werden:

$$C_{Gesamt} = C_1 + C_2 + \dots + C_n = \sum_{i=1}^n C_i \quad (1)$$

Ein einzelnes Kondensatorelement wird wie folgt bestimmt (Formel 2):

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r \cdot A}{d} \quad (2)$$

C = Kapazität

ϵ_0 = Elektrische Feldkonstante

$\approx 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ A} \cdot \text{s}/(\text{V} \cdot \text{m})$

$\approx 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$

ϵ_r = Dielektrizitätszahl

Bild 1 Einteilung der Kondensatoren (Quelle: Reed Business Information, 1997; Lindner, 1989)

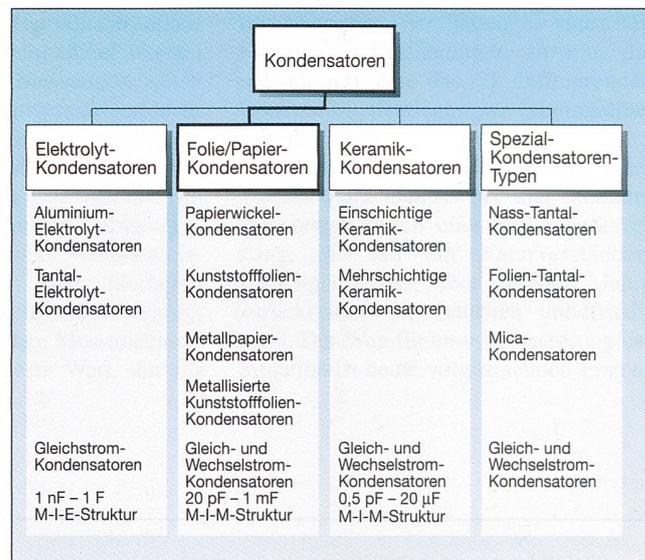
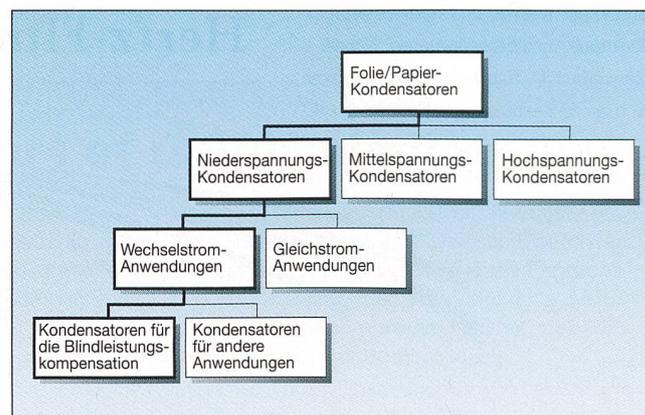


Bild 2 Einteilung von Folien/Papier-Kondensatoren



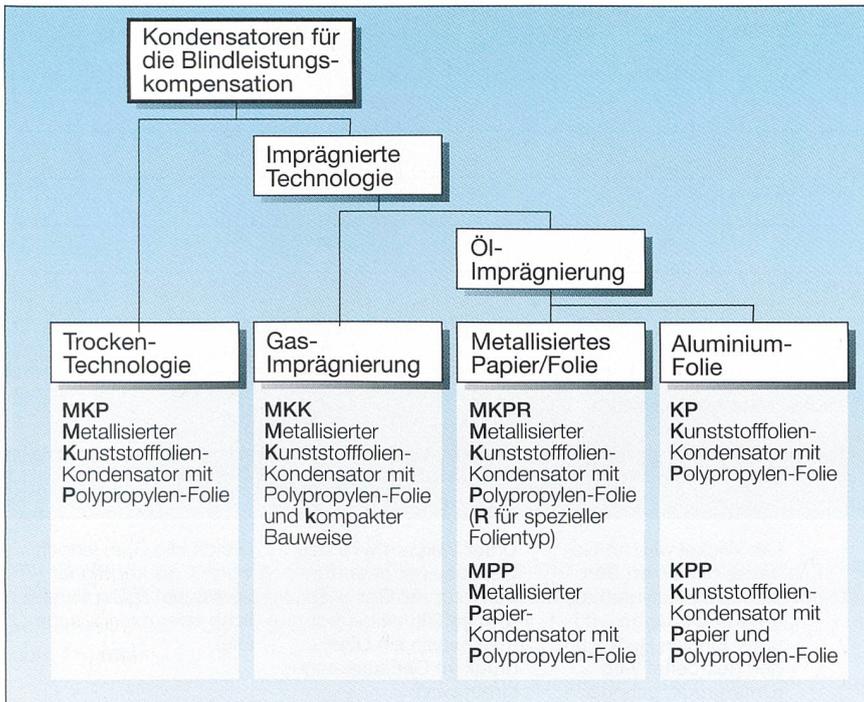


Bild 3 Einteilung von Kondensatoren für die Blindleistungskompensation

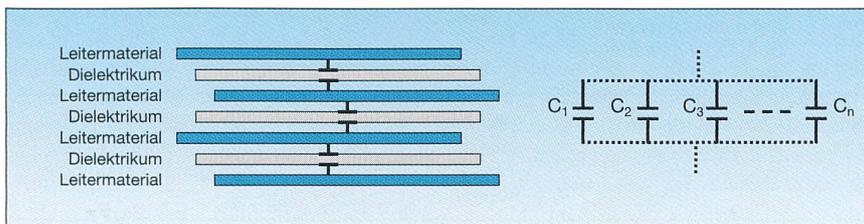


Bild 4 Aufbau eines Kondensators

A = Wirksame Oberfläche
 d = Abstand Leitermaterial

E = Durchschlagsfestigkeit des Dielektrikums

Dabei ist der Abstand des Leitermaterials (Formel 3):

Ein Teil der elektrischen Leistung, die den Kondensator durchfließt, wird in Wärme umgewandelt. Diese Energieumwandlung entsteht durch Polarisationsverluste zwischen den Schichten und im Dielektrikum, die ionische Leitfähigkeit des Imprägnats und den ohmschen Widerstand des Leitermaterials [4]. Dieser

$$d = \frac{U}{E} \quad (3)$$

d = Abstand Leitermaterial
 = Dicke Dielektrikum · Füllfaktor
 U = Spannung

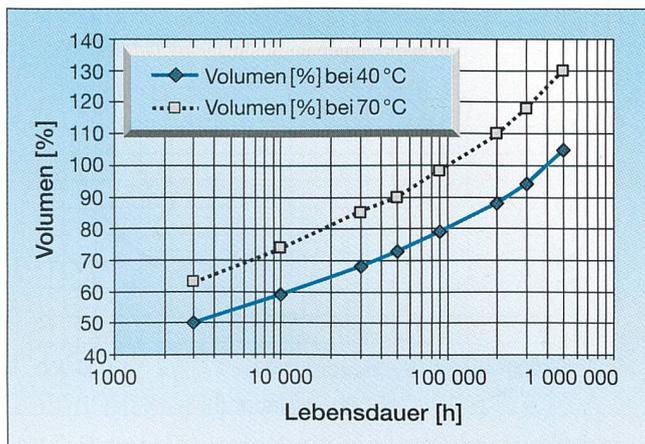


Bild 5 Lebensdauer von Kondensatoren in Abhängigkeit des Volumens bei 40°C und 70°C (Quelle: Montena)

Gesamtverlustfaktor ($\text{tg } \delta$) wird wie folgt definiert (Formel 4):

$$\text{tg } \delta = \text{tg } \delta_0 + 2\pi f \cdot CR_s + \frac{1}{2\pi f \cdot CR_p} \quad (4)$$

$\text{tg } \delta$ = Verlustfaktor Kondensator
 $\text{tg } \delta_0$ = Verlustfaktor des Dielektrikums
 R_s = Serienwiderstand durch Übergangs-, Zuleitungs- und Folienwiderstand
 R_p = Isolationswiderstand

Dank dem Verlustfaktor $\text{tg } \delta$ kann die Verlustleistung des Kondensators wie folgt berechnet werden (Formel 5):

$$P = 2\pi f \cdot CU^2 \cdot \text{tg } \delta \quad (5)$$

P = Verlustleistung

Materialwahl

Die Materialwahl ist die Basis für die damit verbundene Fertigung und die Lebensdauer des Kondensators. Tabelle I zeigt die verschiedenen Materialien, die in Kondensatoren für die Blindleistungskompensation verwendet werden.

Einflussfaktor Volumen

Das Volumen wird hauptsächlich durch die Dicke des Dielektrikums bestimmt. Diese ergibt zusammen mit ihrer Durchschlagsfestigkeit die zulässige Spannung. Der Strom, der den Kondensator durchfließt, steht in direkter linearer Abhängigkeit von der Spannung U . Daraus kann geschlossen werden, dass durch die Erhöhung der Dicke des Dielektrikums der Kondensator eine größere Spannung bzw. einen größeren Strom aushält. Ein solcher Kondensator wird häufig mit der Bezeichnung «verstärkt» versehen, wobei oft die maximal zulässige Spannung auf dem Typenschild des Kondensators verzeichnet ist. Wird nun ein so überdimensionierter Kondensator an eine kleinere Spannung als maximal zulässig angeschlossen, so ist es verständlich, dass dadurch seine Lebensdauer verlängert wird (Bild 6).

Wird zum Beispiel die Dicke des Dielektrikums von $9 \mu\text{m}$ auf $12 \mu\text{m}$, also um den Faktor 1,33, erhöht, vergrößert sich das Volumen um den Faktor 1,77. Die Kosten für das Rohmaterial steigen somit auch um den Faktor 1,77, und die Lebensdauer wird – je nach Temperatur und Nennspannung – etwa 1,5–5mal länger.

Einflussfaktor Imprägnierung

Die Imprägnierung schützt den Kondensator gegen Umwelteinflüsse ab (Sauerstoff und Wassermoleküle), die zur

Kondensatortyp (gemäss Bild 3)	Polypropylenfolie	Metallisierte Polypropylenfolie	Papier	Metallisiertes Papier	Aluminiumfolie
MKP		X			
MKK		X			
MKPR		X			
MPP	X			X	
KP	X				X
KPP	X		X		X

Tabelle I Materialzusammensetzung der Kondensatoren für die Blindleistungskompensation

	Qualität des Schutzes	Trocken-Technologie	Gas-Imprägnierung	Öl-Imprägnierung
Fertigungstechnologie		Der Wickel wird im Gehäuse mit einem Duroplast (z.B. Polyurethan) umgossen, wobei oft unter idealen Bedingungen gearbeitet wird (Unterdruck, geringe Luftfeuchtigkeit). Der Wickel kann zuvor noch in Öl getaucht werden, um einen besseren Schutz zu gewährleisten.	Unter Vakuum wird das Gehäuse mit dem Kondensator mit Gas (z.B. SF ₆) gefüllt, wobei normalerweise ein Überdruck im Gehäuse angestrebt wird.	Gleich wie Gas, jedoch wird Öl als Imprägnat verwendet (z.B. pflanzliche oder mineralische Öle)
Polypropylen	Limitierter Schutz, da nur Oberflächenschutz	Geeignet, da keine Imprägnierung	Geeignet, da Gasmoleküle ins Innere des Kondensators eindringen können	Geeignet, jedoch bedingt es eine spezielle Fertigungstechnologie
Papier	Guter Schutz, da sich das Papier mit dem Imprägnat vollsaugt	Schlecht geeignet, da Papier ohne Imprägnierung zu kleine Durchschlagsfestigkeit aufweist	Schlecht geeignet, da Gas-Imprägnierung die Durchschlagsfestigkeit des Papiers kaum erhöht	Ideal, da sich das Papier mit Öl vollsaugen kann und somit den besten Schutz bietet

Tabelle II Einflussfaktor Imprägnierung

Oxidation von Leitermaterial und zum Kurzschluss des Kondensators führen können. Daher ist es wichtig, dass dieser Schutz auch über einen langen Zeitraum effizient erhalten bleibt. Die Qualität der Imprägnierung ist abhängig von der Materialwahl und vom Imprägnierungsprozess. Tabelle II gibt einen Überblick der verschiedenen Imprägnierungen zusammen mit den verschiedenen Materialien.

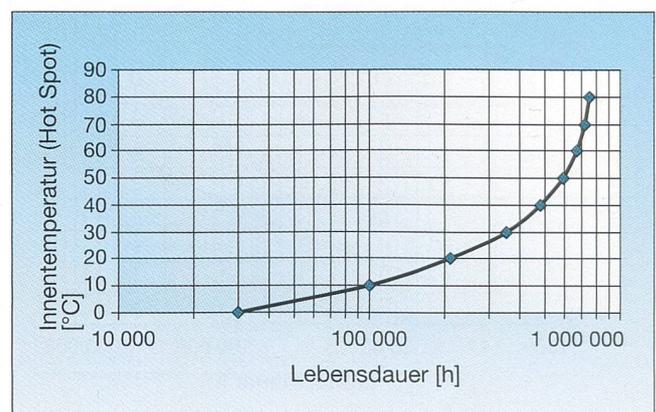
Einflussfaktor Temperatur

Die Lebensdauer des Blindleistungskondensators wird durch die Erhöhung der Betriebstemperatur verkürzt. Schuld daran ist das Alterungsverhalten von Polypropylenfolie, die in allen aufgeführten Kondensatoren vorhanden ist. In den Kondensatortypen KPP und MPP kann mit ölgetränktem Papier das Alterungsverhalten abgeschwächt werden. Bild 6 zeigt die Abhängigkeit der Lebensdauer

von der Temperatur, wobei die höchste im Kondensator auftretende Temperatur verwendet wird (Hot Spot). Gemäss Formel 5 ist wegen der in Wärme umgewandelten Verlustleistung die Innentemperatur des Kondensators höher als die Ausstemperatur. Daher ist es wichtig zu

wissen, wie die Temperatur im Kondensator verteilt und an die Umgebung weitergegeben wird. Ölgefüllte Kondensatoren haben eine bessere Wärmeabgabe als die anderen Kondensatortypen. Die Temperaturverteilung innerhalb des Kondensators ist besser bei Kondensatoren

Bild 6 Lebensdauer von Kondensatoren in Abhängigkeit der Temperatur bei konstantem Volumen (Quelle: Montena)



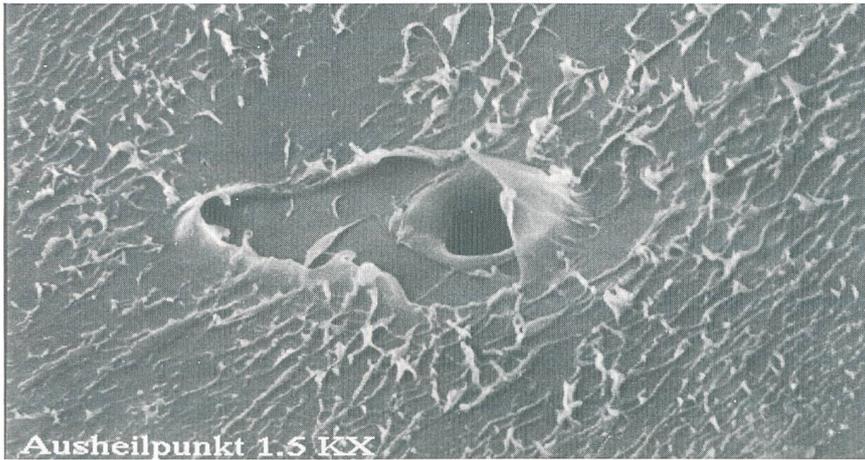


Bild 7 Narbe in metallisierter Polypropylenfolie in 1500-facher Vergrößerung

mit Aluminiumfolie, die etwa 160mal dicker ist als die aufgedampfte Metallschicht auf der Polypropylenfolie bzw. dem Papier.

Einflussfaktor Leitermaterial

Das Leitermaterial bestimmt das Sterbeverhalten des Kondensators und beeinflusst im Wesentlichen dessen Lebensdauer. Man unterscheidet zwischen einer metallisierten Schicht auf Trägermaterial wie Papier bzw. Polypropylenfolie und Aluminiumfolie.

Die metallisierte Schicht auf der Polypropylenfolie bzw. dem Papier ist nur einige hundert Å dick. Da sie im Verhältnis zum Träger so dünn ist, entstehen durch Störungen wie Stromspitzen, Oberschwingungen oder Materialfehler Narben auf der Seite der leitenden Schicht (Bild 7). Diese entstehen durch das Wegbrennen der aktiven Schicht des Kondensators, ohne ihn zu zerstören. Dieses Verhalten wird in der Fachsprache als «selbstheilend» bezeichnet. Wird jedoch

ein Teil der aktiven Schicht weggebrannt, so nimmt gemäss Formel 2 auch die Kapazität ab. Die Abnahme ist abhängig von ihrer Betriebsdauer gemäss Bild 8.

Im Gegensatz dazu hat die Aluminiumfolie ein binäres Sterbeverhalten. Die Kapazität bleibt konstant, bis ein Kurzschluss den Kondensator zerstört (Bild 9). Da jedoch die Materialdicke der Aluminiumfolie gegenüber der metallisierten Schicht ca. 160mal grösser ist, können die Überbelastungen innerhalb des Kondensators wesentlich besser verteilt werden, was die Lebensdauer des Kondensators erhöht. Dieses binäre Sterbeverhalten von Kondensatoren ist die wichtigste Eigenschaft für passive Leistungsfilter, bei denen die Kapazität konstant bleiben muss.

Einflussfaktor Fertigungsprozess

Die Qualität des fertigen Produkts ist einerseits abhängig von der Materialzusammensetzung, andererseits auch vom

Fertigungsprozess und der Qualität der verwendeten Materialien. Faktoren wie Ausbildungsstand und Erfahrung der Mitarbeiter, hoher, moderner Automatisierungsgrad und einwandfreier Maschinenunterhalt helfen mit, ein Produkt mit längerer Lebensdauer zu fertigen. Ebenso hat die Qualität des verwendeten Rohmaterials einen direkten Einfluss.

Einflussfaktor Umweltbedingungen

Eine höhere Qualität der elektrischen Energie – zum Beispiel kleiner Anteil von Oberschwingungen – beeinflusst die Lebensdauer des Kondensators. Aus diesem Grund werden in der Schweiz die Kompensationsanlagen mit Drosselspulen geliefert. Diese helfen mit, die Netzqualität zu erhöhen und dadurch die Belastung des Kondensators zu verringern.

Schlussfolgerung

Die Lebensdauer der Kondensatoren für die Blindleistungskompensation ist von vielen Einflussfaktoren abhängig. Welchen Einfluss jeder einzelne Faktor im Besonderen auf den Kondensator hat, ist nicht eindeutig definierbar. Bild 10 gibt deshalb einen Überblick über die verschiedenen Kondensatortypen und ihre Lebensdauer, beruhend auf Erfahrungswerten. Die Wahrscheinlichkeit wurde mit 95% angenommen. Der breite Zeitraum ist hauptsächlich auf die verschiedenen oben erwähnten Einflussfaktoren zurückzuführen.

Dieser Bericht bietet eine Entscheidungshilfe beim Kauf von Kondensatoren im Allgemeinen und Kondensatoren für Blindleistungskompensation im Speziellen. Es ist verständlich, dass Kondensatoren

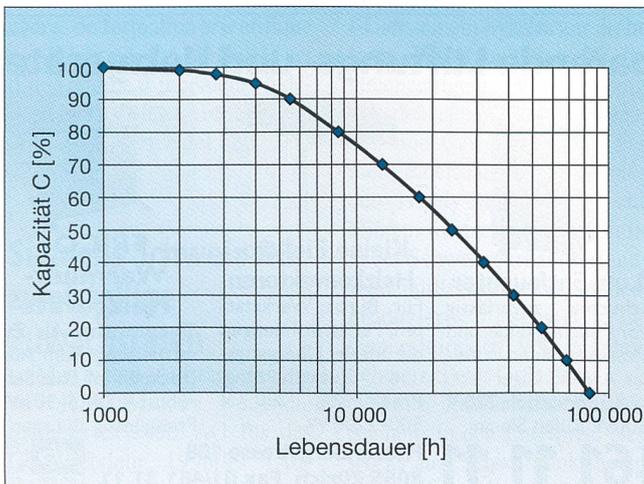


Bild 8 Sterbeverhalten von Kondensatoren mit metallisiertem Dielektrikum

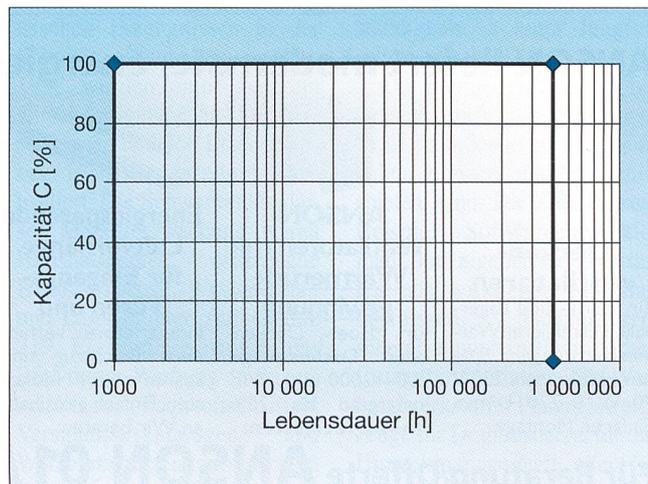


Bild 9 Sterbeverhalten von Kondensatoren mit Aluminiumfolie

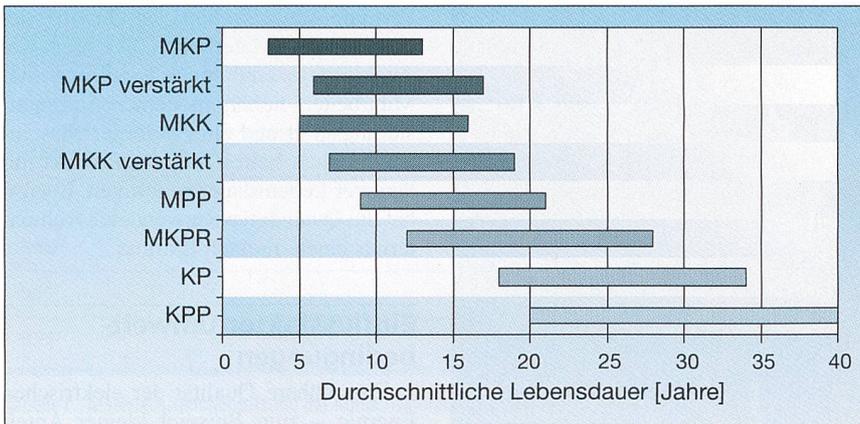


Bild 10 Durchschnittliche Lebensdauer von Kondensatoren für die Blindleistungskompensation

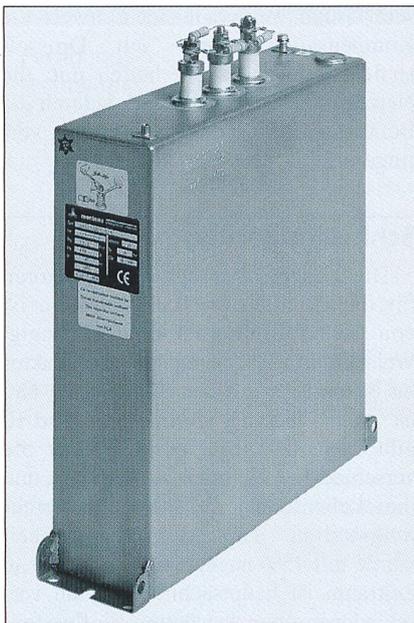


Bild 11 KPP-Kondensator Typ Condar H

satoren mit kürzerer Lebenserwartung im Preis günstiger sind (siehe zum Beispiel «Einflussfaktor Volumen»). Für Benutzer, die eine kurze Amortisationsdauer suchen, ist der Preis einziges Entsch-

zungskriterium. Sie werden automatisch Kondensatoren mit einer kürzeren Lebenserwartung wählen. Wenn die Qualität der Investition im Vordergrund steht, werden oft Kondensatoren mit hoher Lebenserwartung eingesetzt (Bild 11). Durch die längere Amortisationsdauer werden die höheren Kosten oft vernachlässigbar.

Literatur

- [1] Profile of the Worldwide Capacitor Industry: Market Prospects to 2001. Sutton, UK: Reed Business Information, 1997.
- [2] H. Lindner, H. Bauer, C. Lehmann: Taschenbuch der Elektrotechnik und Elektronik. Thun: Verlag Harri Deutsch, 1989.
- [3] J. Bähler: Blindenergie verringern – Kosten senken. Bulletin SEV/VSE 90(1999).
- [4] R. Gallay: Les condensateurs électriques de puissance de haute densité d'énergie. Journée de la recherche de l'EPFL, Lausanne, Novembre 1997.

Durée de vie pour les condensateurs de compensation d'énergie réactive BT

La durée de vie des condensateurs utilisés pour la compensation d'énergie réactive [1] est partiellement définie par ses composants et son processus de fabrication. Cet article a pour but de mieux informer l'acheteur et l'utilisateur de ces condensateurs, et de mettre en évidence ces facteurs d'influence pour éviter de mauvaises décisions. Il peut être commandé directement dans la version française chez Montena Components SA, 1728 Rossens.

ANSON liefert modernste, energiesparende Lüftungs- und Heizgeräte:



Decken-ventilatoren

für Fabrik- und Lagerhallen. Eliminieren Wärmeschichtungen. Sparen Heizkosten. 230 W. 0–220 U/min. Einfache Montage.



ANSON-Ventilatoren mit Wärmerückgewinnung

für Mauer-, Decken- oder Dachmontage. 200–12000 m³/h. Wirkungsgrad bis 75%. Vom Spezialisten:

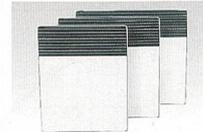


Energiesparende Luftvorhänge für Eingangstüren und

Industrietore verhindern Durchzug und sparen massiv Heizkosten. Einfach einzubauen. Wir beraten:



Luft-Entfeuchter schützen zuverlässig vor Feuchtigkeits- und Wasserschäden in Keller, Archiv, Lager etc. Vollautomatisch 220 V 600W. Rufen Sie an



Kleine Elektro-Heizkonvektoren Für Büros, Werkstätten, Ferienwohnungen die ideale Übergangs- und Zusatzheizung. Preisgünstig. 230 V 500–2200 W.



FRICO-Warmluft-Heizgeräte

Transportabel. Als Zusatzheizung. Zum Austrocknen im Bau. Sehr robust. 400 V 6–30 kW. Preisgünstig ab Lager.

Für Beratung/Offerte **ANSON 01/461 11 11**

Friesenbergstrasse 108
8055 Zürich Fax 01/461 31 11

