

Folienkondensatoren: Besser als Elkos

„Stromausfall in Hannover: 15.000 Haushalte saßen im Dunkeln“ - so lautete die Schlagzeile im Sommer 2011



Bild 1: DC-Leistungskondensatoren PK16/E50

Die Ursache war unscheinbar: Ein bereits vor einiger Zeit ausgefallener Elektrolytkondensator hatte eine Schaltbaugruppe lahmgelegt und bei einer Unstabilität im Stromnetz schließlich zum Blackout geführt, weil eben jene Baugruppe falsch reagierte. Mit Folienkondensatoren wäre das nicht passiert – sie sind deutlich langzeitstabiler, gerade bei hoher Belastung. Folienkondensatoren werden überwiegend in technischen Systemen eingesetzt, in denen elektrische Energie kurzzeitig gespeichert, schnell aufgenommen oder abgegeben werden muss. Die Auswahl des optimalen Kondensators erfordert allerdings genaue Kenntnis der Applikation.

AC-Kondensatoren werden auch bei nichtsinusförmigen Spannungen und impulsförmigen Strömen eingesetzt; beispielsweise als Dämpfungskondensatoren in Verbindung mit Widerständen zur Dämpfung von Spannungsspitzen von Halbleitern, als Kommutierungskondensatoren in Thyristorschaltungen, in Filterkreisen als Oberwellen-Saugfilter oder als Stoßentladungskondensatoren in Röntgen- oder Magnetisierungsanlagen.

DC-Kondensatoren werden wiederum überwiegend in Spannungswandlersystemen zur Glättung von überlagerten Wechselspannungsanteilen und Ripple-Strömen eingesetzt. Weitere typische Anwendungen sind Motorsteuerungen, USV-Anla-

gen, Photovoltaik-Wechselrichter und HGÜ (Hochspannungsgleichstromübertragung).

Aufbau und elektrische Eigenschaften

Der klassische zylindrische Folienkondensator ist immer noch die zuverlässigste Bauform, da hier im Unterschied zu flachgepressten oder ovalen Wickeln keine Quetschungen mit Dielektrika-Schwächung auftreten und auch die Kühlung einfacher ist als bei einem Array prismatischer Bausteine. Der Zylinder setzt sich aus zwei Lagen flächenförmiger Elektroden zusammen, die mittels eines Dielektrikums aus Kunststoff isoliert sind. Diese Anordnung ist auf einen Wickelkörper aufgerollt und wird an den Stirnseiten kontaktiert (Bild 2). Das erzielt eine niederinduktive elektrische Kontaktierung des Wickels mit zugleich hoher Strombelastbarkeit. Der Füllstoff besteht aus Isoliergas, Polyurethanharz oder biologisch abbaubarem Pflanzenöl. Er schützt den Wickel im abgedichteten Kondensatorgehäuse vor Korrosion und Alterung.

Die Kapazität wird maßgeblich durch die Eigenschaften des Dielektrikums und die verwickelte Fläche bestimmt. Die grundlegenden Zusammenhänge zur Kapazität lassen sich anhand eines Plattenkondensators verdeutlichen. In Abhängigkeit der drei Parameter ϵ , A und d ergibt sich die Kapazität $C = \epsilon A/d$. Dabei bezeichnet A den Flächen-

inhalt der von den Elektroden eingeschlossenen Fläche, d den Abstand der Elektroden zueinander und ϵ die Dielektrizitätskonstante. Die Kapazität wird demnach durch die Wahl des Dielektrikums und durch die mechanischen Abmaße A und d beeinflusst. Demnach existieren mehrere Freiheitsgrade für das elektrische und mechanische Design eines Kondensators. Hierbei verfolgt jeder Hersteller seine eigene Philosophie; das von HY-LINE Power Components vertretene Unternehmen Electronicon präferiert beispielsweise den Aufbau von kurzen und dicken Kondensatoren: in einem kurzen Wickel entstehen dank des kürzeren Stromweges geringere Verluste, während der größere Durchmesser eine höhere Stromaufnahmefähigkeit begünstigt.

Die Trägerfolie von MKP-Folienkondensatoren besteht aus Polypropylen und wird in der Regel unter Vakuum mit Zink und Aluminium unter Vakuum bedampft. Das Polypropylen dient zum einen als Träger- und Isolierungsmaterial für die aufgedampfte Elektrode und zum anderen als Dielektrikum. Electronicon besitzt eine eigene Metallisierung, wodurch ein hoher Qualitätsstandard gesichert ist und zugleich durch optimierte Herstellungsprozesse ein verlustarmes und selbstheilendes Dielektrikum hergestellt wird. Die metallisierten Folien werden zugeschnitten, zu Wickeln zusammengerollt und durch Auf-

Autor:



Kai Asmacher, Field Application Engineer, HY-LINE Power Components Vertriebs GmbH, Unterhaching

sprühen einer Metallschicht an den Stirnflächen kontaktiert. Dadurch wird eine niederinduktive elektrische Kontaktierung des Wickels mit zugleich hoher Strombelastbarkeit erzielt. Mittels eines Füllstoffes – Isoliergas, Polyurethanharz oder biologisch abbaubares Pflanzenöl – wird der Wickel im abgedichteten Kondensatorgehäuse vor Korrosion und Alterung geschützt.

Einsatz- und Betriebsbedingungen

Die Überprüfung der Einsatzfähigkeit eines Kondensators in der Zielapplikation erfordert sowohl die Betrachtung des elektrischen Spannungs- und Stromprofils am Kondensator als auch die Berücksichtigung von mechanischen und thermischen Randbedingungen. Für das elektrische Belastungsprofil sind die effektiven Nenn- und Spitzenwerte von Spannung und Strom, sowie die Häufigkeit und Dauer während der Betriebszeit relevant. Zudem muss der Anwender die Flankensteilheit der Spannungsänderungen und die Stromstoßbelastung berücksichtigt. Zulässige Überspannungen liegen für Polypropylenkondensatoren bei $1,1 \dots 1,5 \times U_N$, wobei dazu Häufigkeiten im Bereich von 30% der Betriebszeit bis zu 100 ms beziehungsweise bis zu 1000 Mal zugelassen sind (IEC61071). Ein Vergleich der elektrischen Anforderungen mit den Angaben in den Datenblättern des jeweiligen Kondensators muss stattfinden. Des Weiteren sollten die klimatischen Betriebsbedingungen wie Umgebungstemperatur, Luftfeuchtigkeit oder auch die mechanische Beanspruchung, Einschränkungen beim verfügbaren Bauraum oder besondere ökologische Anforderungen Berücksichtigung finden. Genaue Kenntnis sowohl der Applikation als auch der physikalischen Umgebungsbedingungen sind designrelevant und müssen bei der Auswahl stets mit einfließen.

Validierung des Kondensators

Ist die benötigte Kapazität für die Zielapplikation bekannt und ein geeigneter Folienkondensator unter Berücksichtigung des Spannungs- und Stromprofil ausgewählt, findet eine Überprüfung und Validierung

des Kondensators hinsichtlich der Verlustleistung und thermischen Belastung statt. Das Betrachten der Verlustleistung unter thermischen Betriebsaspekten ist auf Grund von Verfügbarkeits- und Ausfallbetrachtungen relevant. Aus diesem Grund hier eine Kurzdarstellung des Zusammenhangs zwischen Verlustleistung und Temperatur am Kondensator:

Die Hotspot-Temperatur θ_{HOTSPOT} beschreibt die höchste Temperatur im Inneren des Kondensators. Üblicherweise bildet sich ein Hotspot bei etwa 2/3 der Kondensatorhöhe aus. Die messtechnische Erfassung dieser Temperatur ist im normalen Betrieb nicht möglich. Unter Berücksichtigung der Umgebungstemperatur θ_U schätzt man die Temperatur im Kondensatorinneren mit $\theta_{\text{HOTSPOT}} = \theta_U + \Delta T$ ab. Der Temperaturunterschied ΔT zwischen θ_{HOTSPOT} und θ_U lässt sich mittels des Wärmewiderstandes R_{th} des Kondensators und der Kondensatorverlustleistung P_V zu $\Delta T = R_{\text{th}} \times P_V$ bestimmen. Die Verlustleistung besteht im einfachsten Fall aus den ohmschen Verlusten P_{VR} und den dielektrischen Verlusten P_{VD} , die sich aus $P_V = \dot{U}^2 \times \pi \times f_0 \times C \times \tan\delta_0 + I_{\text{eff}}^2 \times R_S$ ergeben. Dabei bezeichnen \dot{U} den Scheitelwert des Wechsellspannungsanteils, f_0 die Frequenz, $\tan\delta_0$ den Verlustfaktor, I_{eff} den Effektivstrom und R_S den Serienwiderstand des Kondensators.

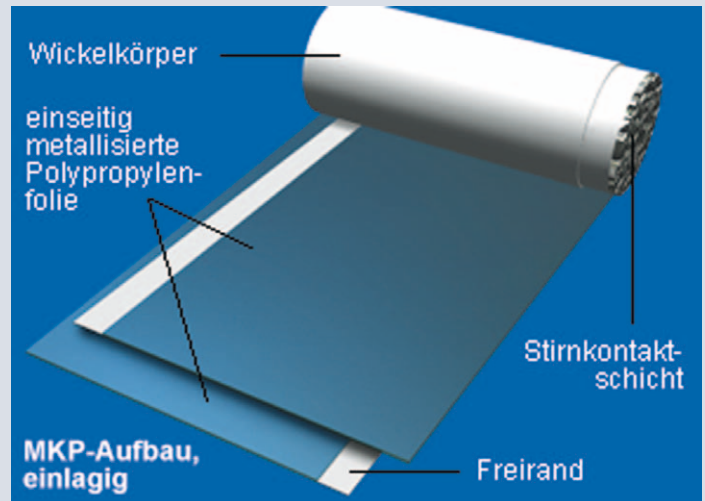


Bild 2: Aufbau eines Folienkondensators

Lebensdauer versus FIT

Die FIT-Rate (Failures In Time) beschreibt die Ausfallwahrscheinlichkeit eines Bauteils während eines bestimmten Betrachtungszeitraums unter definierten Betriebsbedingungen. Die Ausfallwahrscheinlichkeit ist eine statistische Größe auf Grundlage der Normalverteilung, womit sich das statistische Ausfallrisiko während der Nutzungsdauer abbilden lässt. Dieser Ansatz betrachtet eine gewisse Losgröße und beschreibt letztendlich die Worst-Case-Ausfallwahrscheinlichkeit während der Nutzungsdauer dieses Loses. Der Parameter FIT berechnet sich zu $\text{FIT} = \lambda \times 10^9$,

wobei λ die Ausfallrate beschreibt. Der MTBF-Wert (Mean Time Between Failures) gibt den Kehrwert der Ausfallrate ($\text{MTBF} = 1/\lambda$) an. Die Anzahl der nach t funktionsfähigen Bauteilen N wird mit der Formel $N = N_0 \times e^{(-\lambda t)}$ bestimmt, wobei N_0 die Losgröße zum Zeitpunkt $t = 0$ und t die Betriebsstunden bezeichnet. Das Ausfallrisiko hängt maßgeblich von der Betriebsspannung und der Hotspot-Temperatur ab. Die resultierende FIT-Rate lässt sich logarithmischen Diagrammen (Bild 3) entnehmen. Das Diagramm verdeutlicht den Zusammenhang zwischen FIT-Rate, Betriebsspannung und Hotspot-Temperatur. Dementsprechend ist die gezielte Beeinflussung

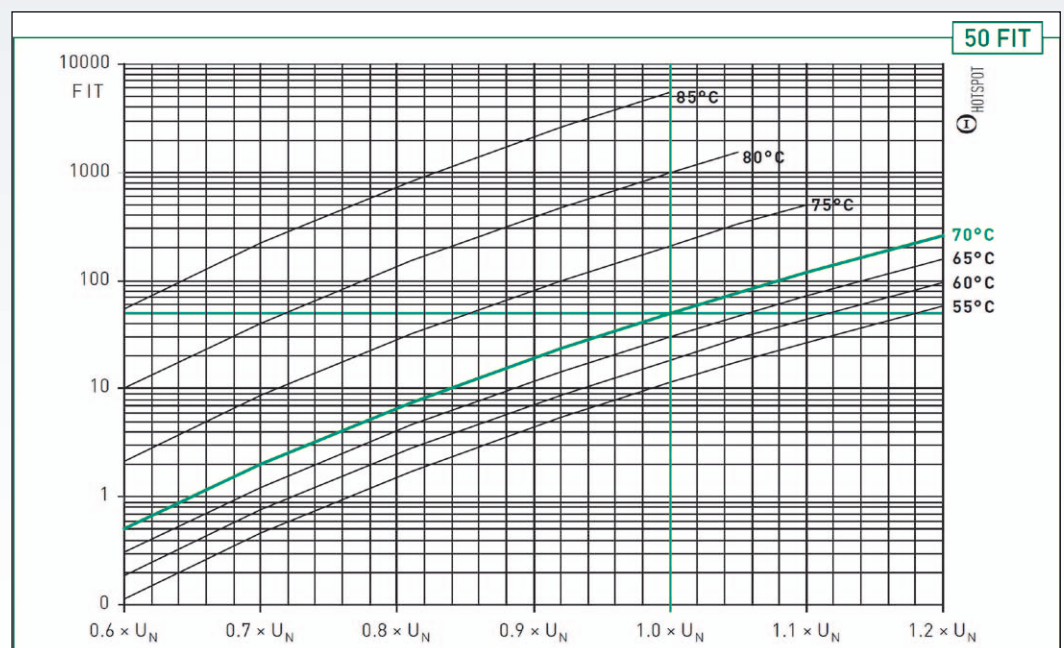


Bild 3: Logarithmisches Diagramm zur Bestimmung der FIT-Rate

sung der FIT-Rate durch die Variation der Betriebsbedingungen möglich. Eine FIT-Rate von 50 bedeutet zum Beispiel, dass beim Betrieb von 10.000 Kondensatoren mit einem Ausfall von nicht mehr als 50 Kondensatoren über eine Betriebszeit von 100.000 Stunden (also 10^9 Bauelementstunden) zu rechnen ist – Betrieb bei Nennspannung und einer Hotspot-Temperatur von maximal 70 °C vorausgesetzt. Diese FIT-Rate gilt für einen definierten Betrachtungszeitraum (Electronicon betrachtet normalerweise 100.000 Stunden) und kann danach ansteigen. Sie betrifft dabei weder eine Aussage über den zu erwartenden Zeitpunkt der Ausfälle, noch über die Gesamtlebensdauer des betrachteten Loses.

Vorteile gegenüber Elkos

Mit Elektrolytkondensatoren ist eine relativ hohe Kapazität bei geringen Kosten realisierbar. Demgegenüber stehen Nachteile wie geringe Toleranz gegenüber Überspannungen und Stromüber-

lastung, hoher ESR und daraus resultierend eine hohe Verlustleistung, hohe Leckströme, Gefahr von Austrocknung und hohe Kapazitätstoleranzen. Somit ist in vielen Applikationen der Einsatz von Folienkondensatoren vorteilhaft. Ihre Zuverlässigkeit, geringe FIT-Rate, lange Lebensdauer, kompakte Bauform und niederinduktiver Anschluss bringen kommerzielle und technische Vorzüge mit sich. Durch die hohe Wechselstrombelastungsfähigkeit von Folienkondensatoren lässt sich der Ersatz von Elkos in den überwiegenden Fällen mit einer deutlich geringeren Kapazität realisieren, wodurch sich sogar Platz- und Kostenvorteile ergeben können. Die von Elkos bekannte Reihenschaltung zum Erhöhen der Spannungsfestigkeit und die zugleich benötigte Symmetrierschaltung zur Spannungsaufteilung können entfallen, da Folienkondensatoren direkt bis in den kV-Bereich in der benötigten Nennspannung verfügbar sind. Somit resultiert eine deutliche Minimierung des Schaltungs-

aufwands. Sollte die Kapazität eines einzelnen Kondensators nicht ausreichen oder eine höhere Strombelastbarkeit gefordert sein, ist eine Parallelschaltung möglich. Zusammenfassend ergeben sich diverse Vorteile von Folienkondensatoren gegenüber Elkos:

Vorteile von Folienkondensatoren

- Höhere Spannungsfestigkeit (Elkos zirka 450 V, MKP bis zu 50 kV)
- Höhere Stromfestigkeit: bis zu fünf Mal höher
(Elko: $I_{rms} \approx 20$ A/mF versus MKP $I_{rms} \approx 100$ A/mF)
- Minimierte Verlustleistung (Polypropylenfolie: $\tan \delta = 2 \times 10^{-4}$)
- Erhebliche Verringerung der Eigeninduktivität und des Serienwiderstandes
- Niedrige Produktionstoleranzen (bis zu $\pm 5\%$ gegenüber $\pm 20\%$)
- Eliminierung der Symmetrierwiderstände
- Geringe Temperaturabhängigkeit der Kapazität

- Geringe Frequenzabhängigkeit der Kapazität
- Hohe Durchschlagsfestigkeit (Polypropylenfolie bis zu 650 V/ μ m)
- Temperaturbereich von - 40 bis + 85 °C
- Hohe Zuverlässigkeit (50 FIT bei 70 °C Hotspot-Temperatur)
- Geringe Wartungskosten
- Selbstheilendes Dielektrikum

Die Auswahl eines geeigneten Folienkondensators muss auf Grundlage der Kondensatoreigenschaften und der applikationsspezifischen Randbedingungen erfolgen. Dabei ergeben sich einige Freiheitsgrade für Entwickler hinsichtlich der Kondensator-Auswahl, so dass elektrische- und mechanische Anforderungen, sowie die gewünschte Lebensdauer erfüllt werden. Die HY-LINE Power Components bietet Applikationssupport und unterstützt bei der Auswahl geeigneter Folienkondensatoren.

■ *HY-LINE Power Components*
Vertriebs GmbH
www.hy-line.de