



**CAPACITOR
COMPETENCE**

since 1958

ENERGIESPEICHER ODER GLÄTTEISEN?

Alu-Elko vs. Folienkondensator –
Zwischenkreiskondensator-Technologien im Vergleich

Fachartikel von Dr. Arne Albertsen



ENGINEERED SOLUTIONS

JIANGHAI EUROPE
Electronic Components GmbH

Energiespeicher oder Glätteisen?

Alu-Elko vs. Folienkondensator - Zwischenkreiskondensator-Technologien im Vergleich

Dr. Arne Albertsen, Jianghai Europe Electronic Components GmbH

Einleitung

Die Fortschritte der Halbleiterindustrie geben den Trend bei aktuellen und zukünftigen Geräten der Leistungselektronik vor: er zeigt sich insbesondere in geringeren Abmessungen sowie in höheren Spannungen und Taktfrequenzen. Bezogen auf die Zwischenkreiskondensatoren führt dieser Trend jedoch zum Wunsch nach höheren Energiedichten bzw. zu größeren Strombelastungen bei gleichzeitig sinkendem Platzangebot.

Unter diesen Bedingungen bieten vor allem Aluminium-Elektrolytkondensatoren und Kunststoff-Folienkondensatoren vorteilhafte Lösungen. Jianghai hat beide Technologien im Produktionsprogramm und der vorliegende Artikel gibt einen Überblick über die wesentlichen Unterschiede zwischen Alu-Elkos und Folienkondensatoren.

Anwendungen für Zwischenkreiskondensatoren

Im Zwischenkreis (engl. *DC-link*) von Umrichtern gelangen Kondensatoren zum Einsatz, deren Hauptaufgaben (a) die Glättung der die Zwischenkreisspannung überlagernden Brummspannung und (b) die Bereitstellung von elektrischer Energie sind. Abbildung 1 zeigt Blockschaltbilder von Umrichtern, die über einen Gleichspannungszwischenkreis verfügen.

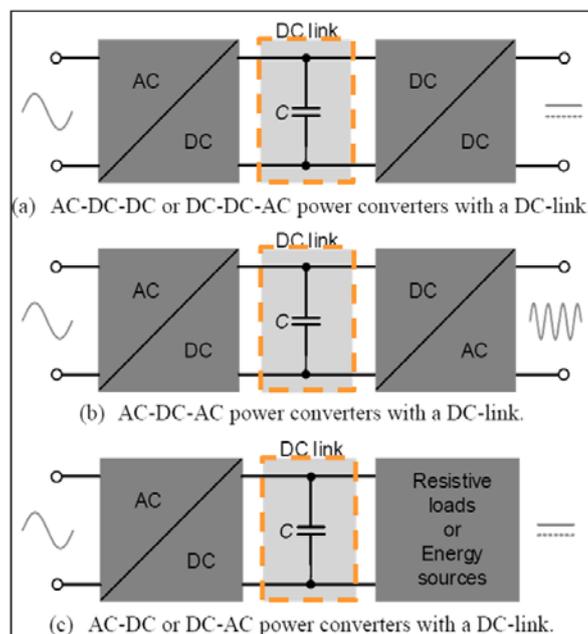


Abb. 1: Beispiele von Umrichtern mit einem Gleichspannungszwischenkreis [6]

Anwendungsbeispiele für Umrichter sind Windkraftanlagen, Photovoltaik-Systeme, USV (unterbrechungsfreie Stromversorgungen), Elektromotorsteuerungen, Elektrofahrzeuge, Beleuchtung und Schweißgeräte. Je nach Anwendungsgebiet existieren unterschiedliche Anforderungen an Lebensdauer, Zuverlässigkeit, Temperatur- und Spannungsfestigkeit sowie die Stromtragfähigkeit und ggf. weitere Parameter des Zwischenkreiskondensators. Da es keine universell einsetzbare Kondensator-Lösung für alle Applikationen gibt, ist eine Auswahl der geeigneten Kondensatoren auf Basis der spezifischen Anforderungen der jeweiligen Anwendung erforderlich.

Elkos und Folienkondensatoren im Vergleich

Abbildung 2 zeigt die Konstruktion und die wesentlichen Materialien eines Aluminium-Elektrolytkondensators (links) sowie eines Polypropylen-Folienkondensators (rechts). Während der aktive Teil des Elkos, der sog. Wickel, aus Aluminium (Anoden- und Kathodenfolie), Papier und Elektrolyt besteht, hat der Folienkondensator metallbedampfte Kunststofffolien.

Die Besonderheit des Elkos ist seine „flüssige Kathode“: die hoch aufgeraute, mit Aluminiumoxid als Dielektrikum beschichtete Anodenfolie lässt sich durch die elektrisch leitende Elektrolytflüssigkeit vollflächig kontaktieren, um so die hohe spezifische Kapazität dieser Technologie zu realisieren [1].

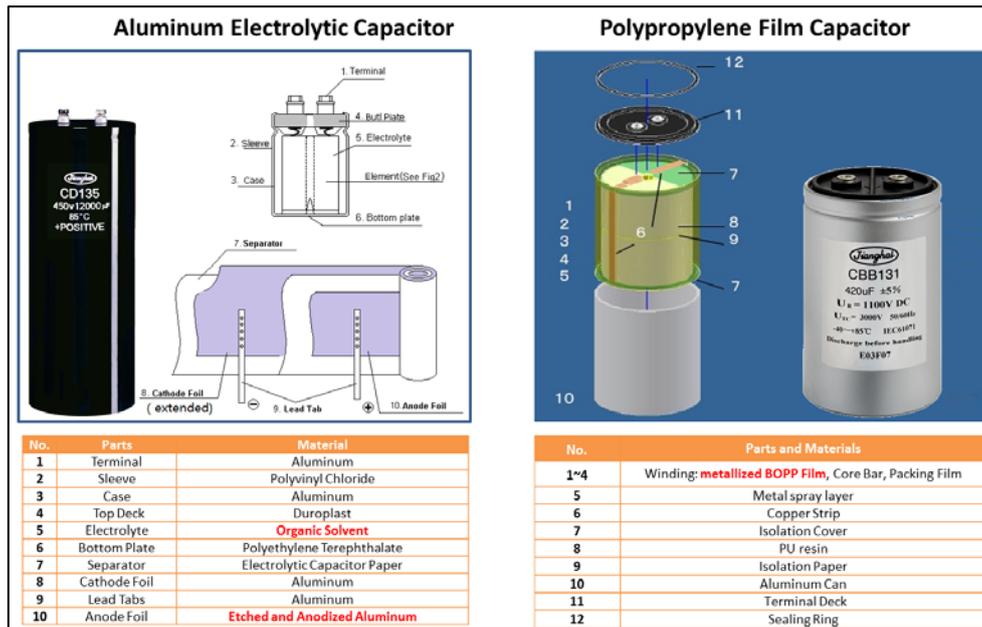


Abb. 2: Aufbau und Materialien von Elko (links) und Folienkondensator (rechts) im Vergleich

Der Folienkondensator hat einen Aufbau aus trockenen Materialien: die Kondensatorplatten bestehen aus Metalldampf, der auf einer Kunststofffolie (dem Dielektrikum) abgeschieden wurde. Beim Dielektrikum handelt es sich in der Regel um Polypropylen, welches aus in longitudinaler als auch in horizontaler Richtung angeordneten Polymerketten besteht (engl. *BOPP* für *biaxially oriented polypropylene*).

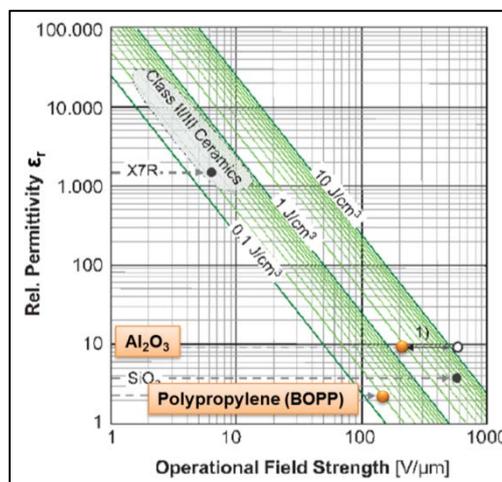


Abb. 3: Energiedichten von Aluminiumoxid und Polypropylen im Vergleich [4]

Die unterschiedlichen elektrischen Eigenschaften der beiden Technologien resultieren aus den verschiedenen in ihnen eingesetzten Materialien. Abbildung 3 zeigt die Energiedichten für einige ausgewählte Dielektrika im Vergleich. Technisch realisierbare Alu-Elkos haben eine bis zu zehnfach höhere Energiedichte als Folienkondensatoren mit Polypropylenfolie.

Da der elektrische Strom in Alu-Elkos per Ionenleitung durch den Elektrolyten fließt, hat die Viskosität des Elektrolyten einen maßgeblichen Einfluss auf die Temperaturabhängigkeit der ESR-Werte: bei niedrigen Temperaturen wird der Elektrolyt zäh und hemmt damit die freie Bewegung der Ionen, was in einen höheren ESR-Wert mündet. Bei Temperaturen ab ca. 60°C verändert sich der ESR dagegen kaum noch [1]. Auch die Kapazität eines Alu-Elkos sinkt bei fallenden Temperaturen um einen zweistelligen Prozentsatz. Dagegen zeigen sich ESR und Kapazität des Folienkondensators weitgehend unbeeindruckt von Temperaturschwankungen: während die Kapazität über den gesamten Temperaturbereich hinweg nur mehr um 3 ~ 5 % variiert, bleibt der ESR-Wert nahezu konstant.

Ähnlich sieht es bei der Veränderung dieser beiden Parameter gegenüber der Frequenz aus: Beim Elko zeigen sowohl Kapazität als auch ESR eine starke Frequenzabhängigkeit [1], während diese beim Folienkondensator über den technisch interessanten Bereich von ca. 100 Hz bis 200 kHz kaum zu erkennen ist.

Bei der Spannungsfestigkeit liegt der Folienkondensator vor dem Elko: die Spannungen an einem Element können bis zu 1500 V betragen, während sie beim Elko auf max. 650 V begrenzt sind [3]. Diese Spannungsbeschränkung beim Elko führt dazu, dass häufig mehrere Elkos in Serie und parallel zu einer „Bank“ zusammengeschaltet werden. Bei der Serienschaltung von Elkos ist eine aktive oder passive Symmetrierung vorteilhaft, um eine gleichmäßige Aufteilung der Zwischenkreisspannung auf die einzelnen Kondensatoren zu gewährleisten. Dieser zusätzliche Aufwand kann sich durchaus lohnen, wie die relativ neue „3-level Umrichter“-Topologie mit geringeren Verlusten, kleineren Belastungen des Zwischenkreises und niedrigeren spezifische Kosten bei Umrichtern mit höheren Ausgangsleistungen und Schaltfrequenzen eindrucksvoll belegt [5].

	Alu-Elko	Folienkondensator
häufiges Ausfallbild	Änderungsausfall offen	Änderungsausfall offen
häufige Ausfallursache	Elektrolytverlust (Austrocknen) Elektrochemische Reaktionen	Feuchtigkeitskorrosion Verlust der verfügbaren Dielektrikumsfläche
wichtigste Stressfaktoren	$T_{Umgebung}$, $U_{Betrieb}$, Iripple	$T_{Umgebung}$, $U_{Betrieb}$, Feuchte
„selbstheilend“	ja	ja

Tabelle 1: Alterung, Ausfälle und die wichtigsten Stressoren im Vergleich (nach [2], [6])

Tabelle 1 zeigt die wichtigsten Stressfaktoren und Ausfallbilder bzw. -ursachen im Vergleich. Sowohl Elkos als auch Folienkondensatoren werden als „selbstheilend“ bezeichnet. Defekte in der Oxidschicht von Elkos werden dabei aus dem Sauerstoffvorrat des Elektrolyten durch anodische Oxidation repariert. Fehlstellen beim Folienkondensator dagegen brennen weg, wodurch sie zwar elektrisch isoliert werden, aber jeweils einen kleinen Kapazitätsverlust verursachen.

Unter der Voraussetzung durchgängig zulässiger Betriebsbedingungen zeigen beide Technologien ein „gutmütiges“ Ausfallverhalten, das überwiegend durch Änderungsausfälle charakterisiert ist.

Die Betriebsparameter Temperatur, Spannung und Strom bestimmen die Lebensdauer von Elkos. Bei Folienkondensatoren limitieren Temperatur, Spannung und Feuchte die Nutzungsdauer. Der Einfluss des Stromes auf die Lebensdauer geht bei Folienkondensatoren nicht in die Betrachtungen ein, da die

aus ihm resultierende Eigenerwärmung im Betrieb durch die niedrigen ESR-Werte vernachlässigbar gering ist. Dabei liegen typische Änderungsgrenzen am Ende der Lebensdauer bei einer Verdopplung bis Verdreifachung der ESR-Werte für beide Technologien. Übliche Kapazitätsverluste am Ende der Lebensdauer betragen 3 % bei Folienkondensatoren und 30 % bei Alu-Elkos.

Ein wichtiges Kriterium bei der Entscheidung für eine Technologie sind die Kosten: bei der Energiespeicherung liegt hier der Elko deutlich (ca. um einen Faktor drei) vor dem Folienkondensator, während in Bezug auf die Stromtragfähigkeit die Folienkondensatoren dem Elko (ca. um einen Faktor zwei) überlegen sind. Diese deutlichen Unterschiede lassen vermuten, dass auch in Zukunft beide Technologien am Markt zur Verfügung stehen.

Zusammenfassung

Moderne Leistungselektronik-Designs erfordern kompakte Zwischenkreiskondensatoren mit langen Lebensdauern. Aluminium-Elektrolytkondensatoren überzeugen mit hohen spezifischen Energiedichten und Folienkondensatoren punkten mit großer Stromtragfähigkeit.

Beide Technologien haben bedingt durch ihre Konstruktion und die verwendeten Materialien physikalische Grenzen. Die Auswahl eines geeigneten Zwischenkreiskondensators hängt daher im Einzelfall von den Erfordernissen der jeweiligen Anwendung ab. Dabei ist eine intensive Projektbegleitung für die jeweilige Applikation durch den Kondensator-Hersteller immer erforderlich.

Literatur

- [1] Albertsen, A., Lebe lang und in Frieden! Hilfsmittel für eine praxisnahe Elko-Lebensdauerabschätzung, *Elektronik Components* 2009, 22-28 (2009)
- [2] Albertsen, A., Auf eine sichere Bank setzen – Zuverlässigkeit von Elektrolytkondensatoren, *Elektronik Components* 2010, 14-17 (2010)
- [3] Albertsen, A., Gebührenden Abstand einhalten! – Spannungsfestigkeitsbetrachtungen bei Elektrolytkondensatoren, *Elektronik Power*, 54-57 (2011)
- [4] Marz, M., Schletz, A., Eckardt, B., Egelkraut, S., Rauh, H., Power electronics system integration for electric and hybrid vehicles, in: *Proc. International Conference on Integrated Power Electronics Systems (CIPS)*, 2010
- [5] Toigo, I., Zanettin, C., Di Lella, M., IGBT-Modulplattform: Hohe Zuverlässigkeit von USV-Systemen mit leistungsstarken 3-Level-Wechselrichtern, *Elektronik Praxis* (2011)
- [6] Wang, H., Blaabjerg, F., Reliability of capacitors for DC-link applications – An overview, in: *Proc. IEEE Energy Convers. Congr. and Expo.*, 2013, pp. 1866-1873

Unternehmen

Die Jianghai Europe Electronic Components GmbH mit Sitz und Warenlager in Krefeld und Kempen unterstützt die europäischen Kunden der Nantong Jianghai Capacitor Co., Ltd. (Jianghai) in Nantong, China. Jianghai wurde im Jahre 1958 gegründet. Während Jianghai am Anfang vor allem spezielle chemische Produkte (wie z.B. Elektrolytsysteme) entwickelte und produzierte, kamen ab 1970 Aluminium-Elektrolytkondensatoren und geätzte und formierte Anodenfolien hinzu. Folien-, Polymer-, Doppelschicht und Lithium-Ionen Kondensatoren komplementieren das Produktportfolio. Jianghai ist der größte chinesische Elko-Hersteller und zählt im weltweiten Vergleich zu den drei führenden Herstellern von Snap-in und Schraubanschlusselkos.

Autor



Dr. Arne Albertsen studierte Physik mit dem Schwerpunkt Angewandte Physik an der Universität Kiel. Nach Diplom (1992) und Doktorarbeit (1994) über die Messung und Analyse von Stromzeitreihen aus Ionenkanälen in biologischen Membranen wechselte er in die Industrie, wo er in verschiedenen Bereichen des umwelt- und verfahrenstechnischen Anlagenbaus tätig war. Seit 2001 widmet er sich als Mitarbeiter führender Hersteller (BCcomponents bzw. Vishay und KOA) dem Marketing und Vertrieb von passiven und diskreten aktiven Bauelementen. Seit November 2008 zeichnet er als Senior Sales Manager bei Jianghai Europe Electronic Components GmbH (Krefeld) verantwortlich für die Betreuung europäischer Key-Account-Kunden. Die

Schwerpunkte der Tätigkeit von Dr. Albertsen liegen im Bereich des Design-ins und der Anwendungsunterstützung für Kondensatoren in professionellen Industrieapplikationen. Dr. Albertsen ist seit 2011 ehrenamtlich als Experte für Elektrolytkondensatoren und stellvertretender Obmann im Normungsgremium „K611“ der DKE Deutschen Kommission Elektrotechnik im DIN und VDE tätig.

www.jianghai-europe.com

a.albertsen@jianghai-europe.com