Energiespeicher oder Glätteisen?

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

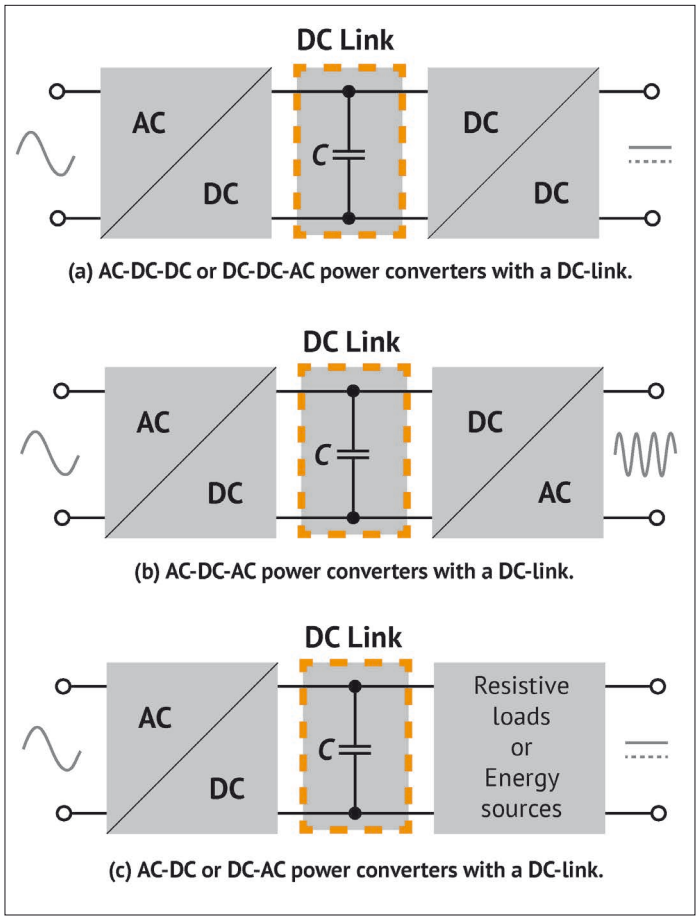


Bild 1: Beispiele von Umrichtern mit einem Gleichspannungszwischenkreis [6]

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. Der folgende 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. Bild 1 zeigt Blockschaltbilder von Umrichtern, die über einen Gleichspannungszwischenkreis verfügen.

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

Bild 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].

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).

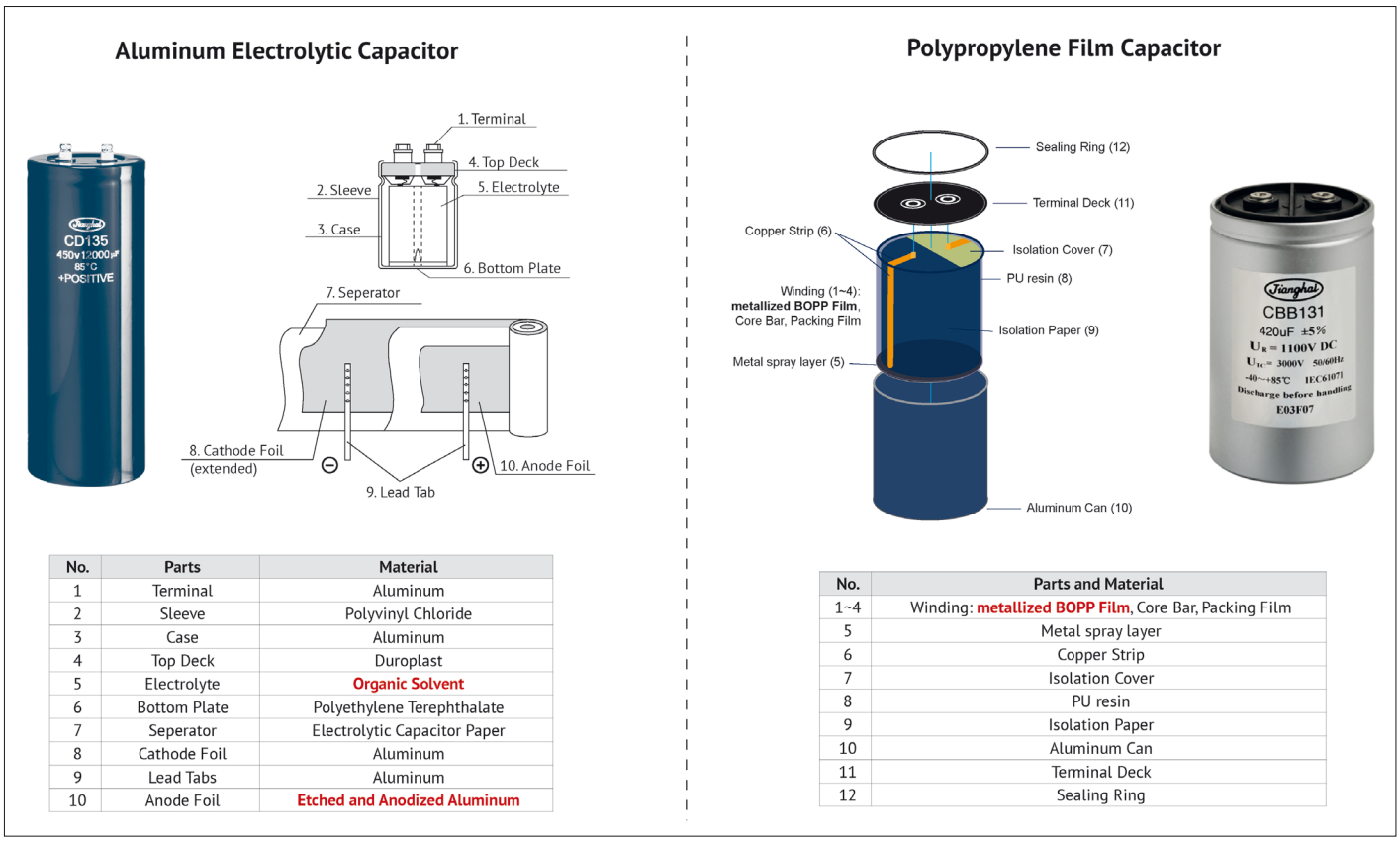
Unterschiedliche Eigenschaften

Die unterschiedlichen elektrischen Eigenschaften der beiden Technologien resultieren aus den verschiedenen in ihnen eingesetzten Materialien. Bild 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.

Autor:
Dr. Arne Albertsen, Senior Sales Manager bei Jianghai Europe Electronic Components GmbH (Krefeld)

Jianghai Europe Electronic Components GmbH
www.jianghai-europe.com



No.	Parts	Material
1	Terminal	Aluminum
2	Sleeve	Polyvinyl Chloride
3	Case	Aluminum
4	Top Deck	Duroplast
5	Electrolyte	**Organic Solvent**
6	Bottom Plate	Polyethylene Terephthalate
7	Seperator	Electrolytic Capacitor Paper
8	Cathode Foil	Aluminum
9	Lead Tabs	Aluminum
10	Anode Foil	**Etched and Anodized Aluminum**

No.	Parts and Material
1~4	Winding: **metallized BOPP Film**, Core Bar, Packing Film
5	Metal spray layer
6	Copper Strip
7	Isolation Cover
8	PU resin
9	Isolation Paper
10	Aluminum Can
11	Terminal Deck
12	Sealing Ring

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

Frequenzabhängigkeit

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.

Spannungsfestigkeit

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	$T_{Umgebung}$, $U_{Betrieb}$, I_{ripple}	$T_{Umgebung}$, $U_{Betrieb}$, Feuchte
„SELBSTHEILEND“	ja	ja

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

Alterung, Ausfälle und die wichtigsten Stressoren

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 Tempera-

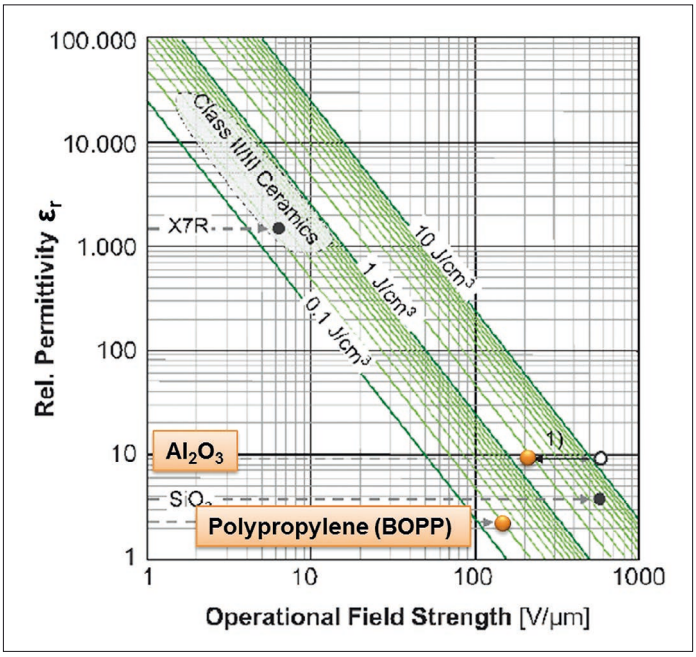


Bild 3: Energiedichten von Aluminiumoxid und Polypropylen im Vergleich [4]

tur, 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.

Kosten

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 ◄