



**CAPACITOR
COMPETENCE**

since 1958

Innovation „Made in China“

KONDENSATOR- TECHNOLOGIE

**Fachartikel von Ole Bjørn, Alexander Schedlock
und Dr. Arne Albertsen**



ENGINEERED SOLUTIONS

JIANGHAI EUROPE
Electronic Components GmbH

Innovationen ‚Made in China‘ Kondensator-Technologie

Ole Bjørn, Alexander Schedlock und Dr. Arne Albertsen
Jianghai Europe Electronic Components GmbH

Einleitung

China entwickelt sich kontinuierlich immer weiter in Richtung Technologieführerschaft. Der Bereich Elektronik ist dabei der mit Abstand größte und umfasst unter anderem auch die elektronischen Bauelemente. Die Exporte Chinas sind seit dem Jahr 2000 um den Faktor 16 gestiegen [1]. Der Masterplan der chinesischen Regierung im Mai 2015 zur weiteren Modernisierung der Industrie gibt der Innovationskraft des Landes weiteren Anschub. Die „Made in China 2025“ genannte Strategie ist der erste von drei Schritten auf dem Weg von der verlängerten Werkbank hin zu einer weltweit führenden Industrienation im Jahr 2049 [2].

Neun Handlungsfelder sollen dabei vorrangig bearbeitet werden, um mehr Innovation, Qualität und Effizienz in zehn zentralen Bereichen zu erreichen. Jeder dieser Bereiche (z.B. Künstliche Intelligenz, Robotik, Luft- und Raumfahrt, Medizintechnik, Schnellzüge, Hybrid- und Elektrofahrzeuge, Elektrotechnik [3]) benötigt elektronische Bauelemente, insbesondere auch Kondensatoren. Grund genug, einen tieferen Blick auf bestehende und kommende Innovationen bei Kondensatoren für die Elektronik zu werfen.

Kondensatoren als Energiespeicher

Energiespeicher sind aus unserer modernen Welt nicht mehr wegzudenken. Sei es im Smartphone, im Akkuschauber oder im Auto: viele elektrische Geräte verfügen über einen eigenen Energiespeicher. Kondensatoren jedoch sind nicht unbedingt die erste Technologie, an welche man denkt, wenn es um die Speicherung großer Energiemengen geht.

Das Ragone Diagramm (Abb. 1) zeigt die Leistungsdichte verschiedener Speicher für elektrische Energie bezogen auf deren Energiedichte.

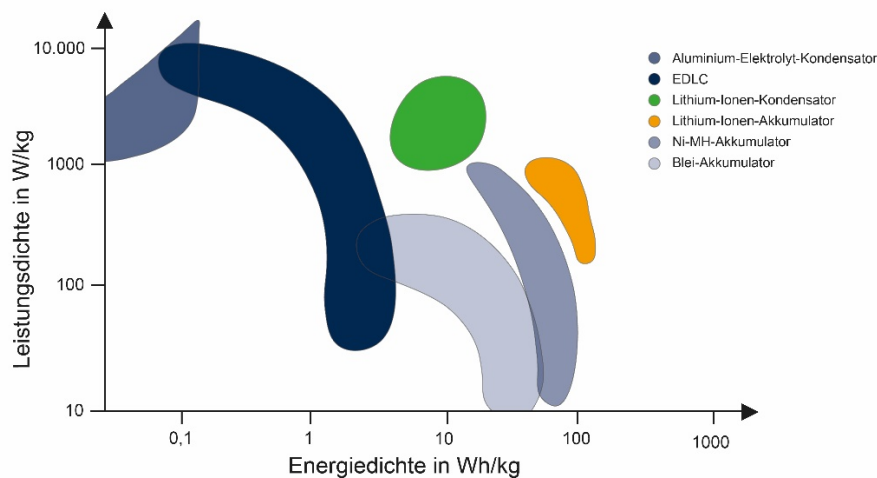


Abb. 1: Ragone Diagramm verschiedener Speicher für elektrische Energie

Je nach Anwendung bieten die verfügbaren Speichermedien jeweils eine passende Lösung. Im Folgenden gehen wir dabei insbesondere auf Aluminium-Elektrolytkondensatoren, EDLC und Lithium-Ionen Kondensatoren von Jianghai ein.

Aluminium-Elektrolytkondensatoren – Arbeitspferde der Elektronik

Die Anodenfolie ist sowohl wertmäßig als auch technisch das maßgebliche Vormaterial eines Aluminium-Elektrolytkondensators. Die zwei Prozessschritte Ätzen und Formieren machen aus einer glatten Folie aus reinem Aluminium das Anodenmaterial. Die Abbildungen 2 (a) und 2 (b) zeigen den Querschnitt von geätzten Hochvolt-Anodenfolien für den Einsatz in Aluminium-Elektrolytkondensatoren.

Durch die Strategie der vertikalen Integration verfügt Jianghai über eigene Werke zum Ätzen und zur Formierung des Anodenmaterials und kann daher die Eigenschaften der Folien optimieren. Durch Verbesserungen am Ätzverfahren entstehen gleichförmigere Poren (b), so dass das vorhandene Volumen besser ausgenutzt wird. Dies ermöglicht hohe spezifische Kapazitätswerte und damit kompaktere Kondensatoren.

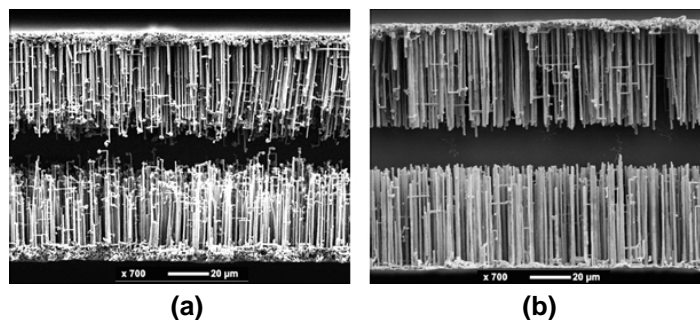


Abb. 2: Querschnitt einer geätzten Anodenfolie

Ein elektrochemisches Verfahren erzeugt die Dielektrikumsschicht auf der Oberfläche der aufgerauten Anodenfolie. Die Güte dieser „Formierung“ bzw. Aufbau und Schichtdicke des Dielektrikums sind dabei wesentliche Schlüssel für eine hohe Zuverlässigkeit und elektrische Leistungsfähigkeit der Elkos im Betrieb.

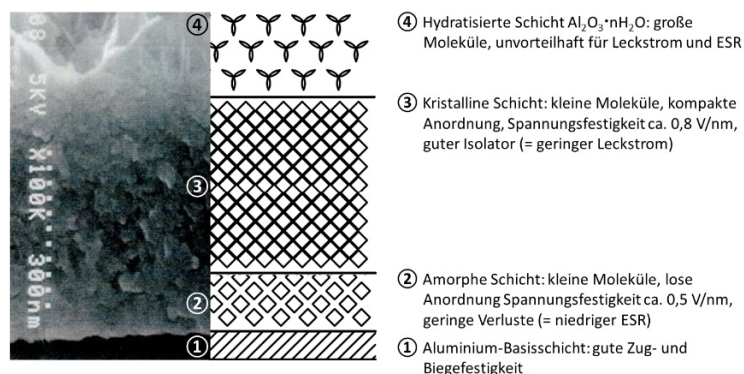


Abb. 3: Schichtaufbau des Aluminiumoxid-Dielektrikums eines Hochvolt-Elkos (links: Elektronenmikroskop-Aufnahme, rechts: schematische Darstellung)

Abbildung 3 zeigt den Schichtaufbau des Dielektrikums im Querschnitt. Auf die Aluminiumfolie ① folgt zunächst eine Schicht amorphen Aluminiumoxids ②, der sich eine kristalline ③ und schließlich eine hydratisierte Schicht ④ anschließen. Ein Ziel bei der Entwicklung von neuen Anodenfolien ist eine

dünnere Hydratschicht bei einer gleichzeitig dickeren amorphen Schicht. Im Ergebnis verfügen die neuartigen Anodenfolien von Jianghai über höhere Stromtragfähigkeiten und geringere ESR-Werte, was sie als „Arbeitspferde“ für Leistungselektronik-Anwendungen qualifiziert.

„Energy-Kondensatoren“ für die Zukunft

Schon seit den 1950er Jahren lassen sich größere Energiemengen in Doppelschichtkondensatoren (EDLC; engl.: Electric Double-Layer Capacitor) speichern. Heute sind Doppelschichtkondensatoren als Super Caps, Ultra Caps, Gold Caps und unter vielen weiteren Namen bekannt. Weiterentwickelt erreichen sie Kapazitäten von mehreren hundert Farad und bieten sehr hohe Leistungsdichten (Abb. 1). Hohe Leistungsdichten allein können jedoch nicht gegen die ebenfalls weiterentwickelten Batterien und Akkumulatoren bestehen.

Eine Technologie mit dem Namen „Energy-Capacitors“ verleiht den Kondensatoren als Energiespeicher neuen Schub. Energy-C basiert auf einer Doppelschicht-Technologie und deren Weiterentwicklung zur Serienreife durch Jianghai. Das Energy-C Konzept ermöglicht es, einen für die jeweilige Anwendung passenden Energiespeicher auszuwählen. Energy-C nutzt im Grundsatz zwei Kondensatortypen: den klassischen Doppelschichtkondensator und den neuartigen Lithium-Ionen Kondensator (LiC).

Die Basis beider bildet die EDLC-Technologie, welche entsprechend optimiert mit einer relativ hohen Energiedichte und einer sehr hohen Leistungsdichte besteht (Abb. 1). Zwei symmetrische Aktivkohleelektroden tragen dabei jeweils die namensgebende Doppelschicht (Abb. 4(a)).

Die zweite Technologie mit geänderter Konstruktion ermöglicht eine signifikant höhere Energiedichte. Eine mit Lithium dotierte Graphitelektrode ersetzt eine der beiden symmetrischen Elektroden. Die asymmetrische Konstruktion dieses Lithium-Ionen Kondensators (LiC) erlaubt weitaus höhere Energiedichten, hat jedoch gegenüber dem EDLC geringere Leistungsdichten. Beide Konstruktionen besitzen Stärken, mit denen sie sich für unterschiedliche Einsatzgebiete empfehlen.

In Bezug auf die Energie- und Leistungsdichte positioniert sich der Lithium-Ionen Kondensator (LiC) zwischen dem Doppelschichtkondensator (EDLC) und der Lithium-Ionen Batterie (LiB) (Abb. 1).

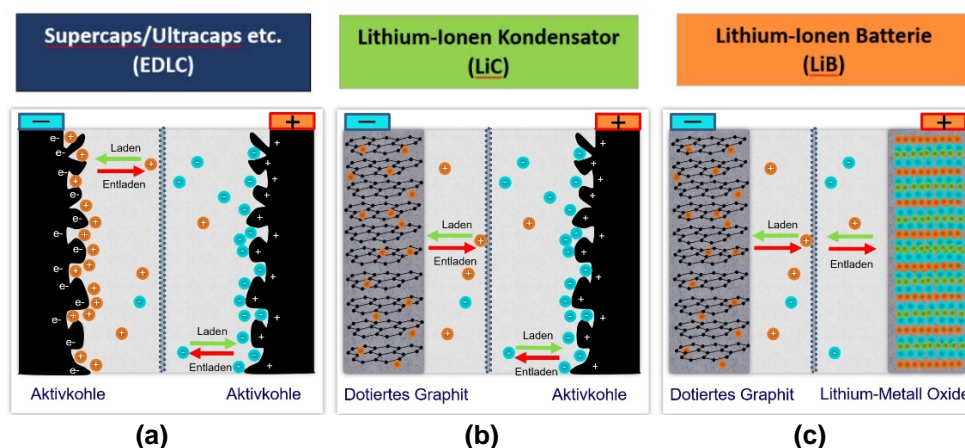


Abb. 4: Elektrodenaufbau der drei Technologien EDLC (a), LiC (b) und LiB (c)

Abbildung 4 zeigt, dass der LiC eine EDLC-Elektrode (Aktivkohle) und eine LiB Elektrode (dotiertes Graphit) besitzt. Dies hat zu Folge, dass der Lithium-Ionen Kondensator sich den Akkumulatoren

annähert. Dabei bleibt der Vorteil schneller Ladung- und Entladung weitestgehend erhalten. Dies ermöglicht viele Ladezyklen im Minutenbereich. Für noch schnellere Lade- und Entladezyklen ist jedoch der EDLC wiederum die bessere Wahl.

Neben den **Ladezeiten** gibt es weitere Argumente der Energy-Cs, die gegenüber den Akkumulatoren bestehen:

Im Bereich **Zyklusfestigkeit** und **Lebensdauer** sind die Energy-Cs den Akkumulatoren weit voraus. Spricht man bei Lithium-Ionen Akkumulatoren von knapp tausend Zyklen, so kommen die LiC auf mehreren zehntausend Zyklen und die Doppelschichtkondensatoren erreichen sogar Werte von vielen hunderttausend Zyklen.

Die spezielle Konstruktion und Materialkombination des Lithium-Ionen Kondensators sorgt für **Stabilität** und **Ladungserhalt** auch bei hohen Temperaturen. Bleiben sowohl Akkumulatoren und LiC bei Raumtemperatur noch stabil und entladen sich über 2500 h weniger als 5 %, verliert ein EDLC schon 30% der Ladung nach 2000 h. Bei 60°C erhöht sich der Entladung erheblich durch die beschleunigten chemischen Reaktionen zwischen Elektrolyten und Elektrodenmaterial aus. Die Folge dieser chemischen Reaktionen ist ein erhöhter Leckstrom und dieser führt zum Ladungsverlust bei Akkumulatoren und EDLCs gleichermaßen. Während die Leckströme des Li-C weiterhin gering ausfallen, verliert nun auch der Lithium-Ionen Akkumulator nach 2500h bis zu 30% seiner Ladung. Bei den EDLCs erfolgt dies bereits nach 500 Stunden. Bei Anwendungen des Energy-Harvesting bietet der Li-C hier deutliche Vorteile.

Beim Thema **Sicherheit** und **Zuverlässigkeit** kann der LiC ebenfalls punkten: er ist genauso sicher wie ein EDLC, bedingt durch das spezielle Verfahren, welches die Lithium-Ionen fest in den Molekularverband der Kohlenstoffstruktur einbettet („Dotierung“). Anders als bei Lithium-Akkumulatoren brauchen keine aufwendigen Konstruktionen eingesetzt werden, um die Gefahr eines thermischen Davondriftens mit den bekannten Risiken der Brände zu reduzieren. Durch die Dotierung gibt es im Kondensator weder metallisches Lithium noch Lithiumoxid. Das Dotierungs-Verfahren ermöglicht somit, dass sich der Kondensator selbst bei mechanischer Beschädigung, hoher Temperatur, Über- oder Tiefentladung stets in einem sicheren Zustand befindet.

Die Produktion eines LiC benötigt weniger als 3 % der Lithiummenge einer LiB gleichen Volumens. Neben dem Aspekt des effizienten Ressourceneinsatzes ergibt sich ein geringeres **Gewicht** bzw. eine **kleine Bauform** als schöner Nebeneffekt.

Insgesamt bietet die LiC-Technologie als Teil des Energy-C Konzepts von Jianghai viele Vorteile. Doch in dieser Technologie steckt noch weiteres Potenzial. Zukünftig sollen Energiedichten von 50 Wh/kg und Leistungsdichten von mehr als 30 kW/kg erreicht werden. Hier forscht Jianghai an neuen Elektrodenmaterialien, welche die Leitfähigkeit weiter steigern sollen. Optimierte Elektrolyte erweitern zudem den Temperaturbereich des Bauteils bzw. steigern die Temperaturstabilität.

Das Ragone Diagramm (Abb. 1) deutet bereits an, dass der Lithium-Ionen Kondensator einen neuen Bereich für Anwendungen erschließt, die zuvor weder Akkumulatoren noch alle anderen Kondensatoren abdeckten. Das Energy-C Konzept als Ganzes stellt damit eine neue Technologie dar für vorhandene und zukünftige Applikationen der Energiespeicherung. Bleibt noch der Hinweis, dass die beschriebenen Kondensatoren heute bei Jianghai bereits in Serie gefertigt werden und sich bereits unter Realbedingungen bewähren.

Zusammenfassung

China befindet sich auf dem Weg zu einer weltweit führenden Industrienation. Innovation, Qualität und Effizienz gewinnen kontinuierlich an Bedeutung. Bei der Produktion elektronischer Bauelemente kommt die Entwicklung und Herstellung des Vormaterials zur Wertschöpfungskette hinzu. Dadurch gewinnen kommerzielle und technologische Aspekte gleichermaßen an Gewicht.

Der Beitrag zeigt beispielhaft für einige Kondensatoren der Elektronik, welche Innovationen bei Aluminium Elektrolytkondensatoren und Energy-C Speichern bestehen bzw. zu erwarten sind. So sorgen fortschrittliche Verfahrenstechniken und neue Rezepturen für Aluminium-Elektrolytkondensator Anodenfolien für hohe Zuverlässigkeit und elektrische Leistungsfähigkeit.

Energy-C Module nutzen modernste Materialien und Verfahren und ermöglichen dadurch Speicherdichten, die bislang Batterien vorbehalten waren. Hohe Temperaturstabilität und Zyklfestigkeit erschließen neue Anwendungsbereiche, die zuvor technisch nicht abgedeckt werden konnten.

Literatur

- [1] Frank Malerius und Bernd Schaaf: China dominiert bei Hochtechnologieexporten, Germany Trade & Invest, 28.08.2017
<https://www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/suche,t=china-dominiert-bei-hochtechnologieexporten,did=1776212.html> (abgerufen am 08.08.2018)
- [2] Jost Wübbeke: Made in China 2025 - Die Kampfansage an Deutschland, ZEIT ONLINE, 27.05.2015, <https://www.zeit.de/wirtschaft/2015-05/china-industrie-technologie-innovation> (abgerufen am 08.08.2018)
- [3] The State Council of the Peoples' Republic of China: 'Made in China 2025' plan issued, 19.05.2015, http://english.gov.cn/policies/latest_releases/2015/05/19/content_281475110703534.htm (abgerufen am 08.08.2018)

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.

Autoren



Dipl.-Ing. Ole Bjørn studierte Elektrotechnik an der TU Hannover. Nach der Diplomarbeit (1996) in der freien Wirtschaft und einer Zeit als Produktmanager in der Medizintechnik erfolgte der Einstieg in den technischen Vertrieb (1998) als Sales Engineer bei Philips im Bereich der passiven Bauteile. In den Folgejahren wurde das wissenschaftliche Profil dank der engen Zusammenarbeit zwischen Kundenentwicklungen und den produktionstechnischen Möglichkeiten der verschiedenen Werke geschärft, wobei auch die kommerzielle Verantwortung unter dem Rechtsnachfolger BCcomponents, später Vishay stieg. Mit der Gründung der Jianghai Europe Electronic Components im Jahr 2003 konnten alle Erfahrungen aus Management, Sales, Marketing und Technik in das neue Unternehmen einfließen. In der Funktion des Geschäftsführers koordiniert Herr Bjørn heute die gesamten Aktivitäten der Jianghai Gruppe in Europa.



Alexander Schedlock beendete an der Fachschule für Technik Heinrich-Hertz-Berufskollege in Düsseldorf sein Examen als Staat. Gepr. Techniker in Fachrichtung Elektrotechnik. Nach der erfolgreichen Ausbildung zum IT-Systemelektroniker (2010) arbeitete er als Servicetechniker im Außendienst und konnte so Erfahrung mit Endgeräten verschiedener Applikationen erlangen. Nebenberuflich studierte er vier Jahre an der Fachschule für Elektrotechnik und schloss 2017 erfolgreich sein staatliches Fachschulexamen ab. Seit 2018 arbeitet er im Vertriebsteam von Jianghai Europe Electronic Components GmbH als Technical Sales Manager und betreut europaweit Kunden bei technischen Designs. Herr Schedlock ist Ansprechpartner für den Bereich Energy-Capacitors.



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

info@jianghai-europe.com