



**CAPACITOR
COMPETENCE**

since 1958

ELKO-LEBENSDAUER BEI ZYKLISCHEN LASTPROFILEN

Fachartikel von Dr. Arne Albertsen



ENGINEERED SOLUTIONS

JIANGHAI EUROPE

Electronic Components GmbH

Elko-Lebensdauer bei zyklischen Lastprofilen

Dr. Arne Albertsen, Jianghai Europe Electronic Components GmbH

Einleitung

Aluminium-Elektrolytkondensatoren („Alu-Elkos“, „Elkos“) stellen einen wichtigen Bestandteil vieler Geräte der Leistungselektronik dar. Erhöhte Anforderungen an die Energieeffizienz, die expandierende Nutzung erneuerbarer Energie und der stetig wachsende Elektronikanteil im Automobilbau haben die weite Verbreitung dieser Bauelemente vorangetrieben.

In vielen Applikationen hängen Lebensdauer und Zuverlässigkeit des Gerätes direkt von den entsprechenden Parametern der Elkos ab. Während frühere Beiträge [1], [2] des Autors das Thema Lebensdauerabschätzung und Zuverlässigkeit beleuchteten und [3] die Grenzen der Spannungsfestigkeit von Elkos aufzeigte, geht der vorliegende Artikel auf die Elko-Lebensdauer bei zyklisch wiederkehrenden Lastprofilen ein.

Lebensdauerabschätzung von Elkos

Aluminium-Elektrolytkondensatoren vereinen Spannungsfestigkeiten im Bereich von wenigen Volt bis zu ca. 750 V und einen weiten Kapazitätsbereich von 1 μF bis über 1 F bei gleichzeitig kompaktem Aufbau. Eine hoch aufgeraute Anodenfolie mit einer dünnen Dielektrikumsschicht wird dabei vollflächig von einer passgenauen Kathode, der Elektrolytflüssigkeit, kontaktiert (Abb. 1).

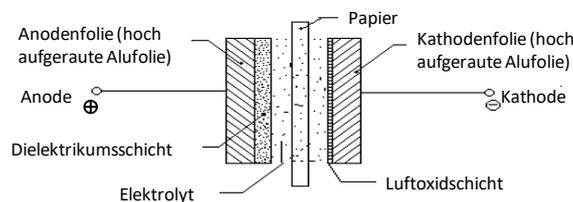


Abb. 1: Innerer Aufbau eines Alu-Elkos

Der flüssige Elektrolyt im Elko ist die Hauptursache für seine endliche Lebensdauer und die kontinuierliche Drift seiner elektrischen Parameter [1].

Um den Anwendern Hilfsmittel für die Abschätzung der Lebensdauer von Elkos in einer Applikation zu geben, hat Jianghai ein Lebensdauermodell für Elkos entwickelt, das die zu erwartende Lebensdauer bei kontinuierlichem Betrieb in einem zulässigen, stationären Betriebspunkt angibt [1]. Dabei ist der Betriebspunkt gekennzeichnet durch Temperatur, Ripplestrom und die am Elko anliegende Spannung. Zulässige Betriebspunkte gestatten einen Betrieb des Elkos [2] unterhalb der Siedetemperatur des Elektrolyten [1] und vermeiden Überspannungen [3]. Ein stationärer Betrieb stellt sich dann ein, wenn die Verweildauer in einem Betriebspunkt groß gegen die thermische Zeitkonstante des Bauteils ist. Je nach Abmessung des betrachteten Bauteils liegen die Zeitkonstanten zum Erreichen eines thermischen Gleichgewichtszustandes im Bereich von wenigen zehn Sekunden bis hin zu einigen Minuten.

Als Eingangsgrößen verwendet das Lebensdauermodell neben den Datenblattangaben des Elkos (Nenn-Ripplestromtragfähigkeit I_R , obere Kategorietemperatur T_0 und Nennspannung U_R) die applikationsbezogenen Parameter wie Umgebungstemperatur T_A , Ripplestrom I_A und die im Betrieb angelegte Spannung U_A . Bei Zwangskühlung ist ein entsprechend der Luftgeschwindigkeit modifizierter Wert für den Ripplestrom zu berücksichtigen.

Das Jianghai-Lebensdauermodell hat die Struktur

$$L = L_0 \cdot K_T \cdot K_R \cdot K_V$$

mit L resultierende Lebensdauer
 L_0 Lebensdauer bei Nennripple und oberer Kategorietemperatur (Datenblatt)

$$K_T = 2^{\frac{T_0 - T_A}{10K}}$$

Temperaturfaktor (Umgebungstemperatur)

$$K_R = K_i^A \cdot \frac{\Delta T_0}{10K}$$

Ripplestromfaktor (Eigenerwärmung im Betrieb)

$$A = 1 - \left(\frac{I_A}{I_R}\right)^2$$

ΔT_0 Kerntemperaturanstieg des Elkos (typ. 3,5~5 K bei $T_0 = 105^\circ\text{C}$ und 3,5~10 K bei $T_0 = 85^\circ\text{C}$)

K_i empirisch gewonnener Sicherheitsfaktor, definiert als

$$T_0 = 105^\circ\text{C}: \quad I > I_R: \quad K_i = 4$$

$$I \leq I_R: \quad K_i = 2$$

$$T_0 = 85^\circ\text{C}: \quad K_i = 2$$

$$K_V = \left(\frac{U_A}{U_R}\right)^{-n}$$

Spannungsfaktor (Betriebsspannung)

wobei n Exponent, definiert als:

$$0,6 \leq \frac{U_A}{U_R} \leq 1 \rightarrow n = 2,5$$

$$0 \leq \frac{U_A}{U_R} < 0,6 \rightarrow K_V = 3,59$$

In die folgenden Betrachtungen geht der Effektivwert (quadratische Mittelwert) der gewichteten Rippleströme ein, denn Ströme aller Frequenzen tragen ihren Anteil zum Entstehen der Wärmeleistung bei:

$$I_A = \sqrt{\left(\frac{I_{f1}}{F_{f1}}\right)^2 + \left(\frac{I_{f2}}{F_{f2}}\right)^2 + \dots + \left(\frac{I_{fn}}{F_{fn}}\right)^2}$$

I_A Effektivwert der gewichteten Rippleströme

$I_{f1} \dots I_{fn}$ Effektivwerte der Rippleströme bei den Frequenzen $f1 \dots fn$

$F_{f1} \dots F_{fn}$ Korrekturfaktoren für den Strom bei Frequenzen $f1 \dots fn$

$$F_{fi} = \sqrt{\frac{ESR(f_0)}{ESR(f_i)}} \quad \text{mit } f_0 = \text{Bezugsfrequenz des Nenn-Ripplestromes (120 Hz oder 100 kHz)}$$

Die Korrekturfaktoren für Ströme unterschiedlicher Frequenzen haben ihren Ursprung in der Frequenzabhängigkeit des ESR und sie werden im Datenblatt direkt als Stromkorrekturfaktoren für jede Baureihe tabelliert.

Weitere Details sowie Erläuterungen zu den Formeln sind in [1] ausgeführt.

Lastprofile von Elkos

Vielen Anwendungen im industriellen Einsatz haben zyklisch wiederkehrende Lastprofile, die z.B. aus wiederholt ablaufenden mechanischen Transport- oder Fertigungsvorgängen resultieren.

Wenn man die Lastzustände nach ihrer jeweiligen Verweildauer in den verschiedenen Betriebspunkten absteigend sortiert, erhält man eine Zeitreihe der Temperaturen, Rippleströme und der am Elko anliegenden Spannungen wie in Abbildung 2.

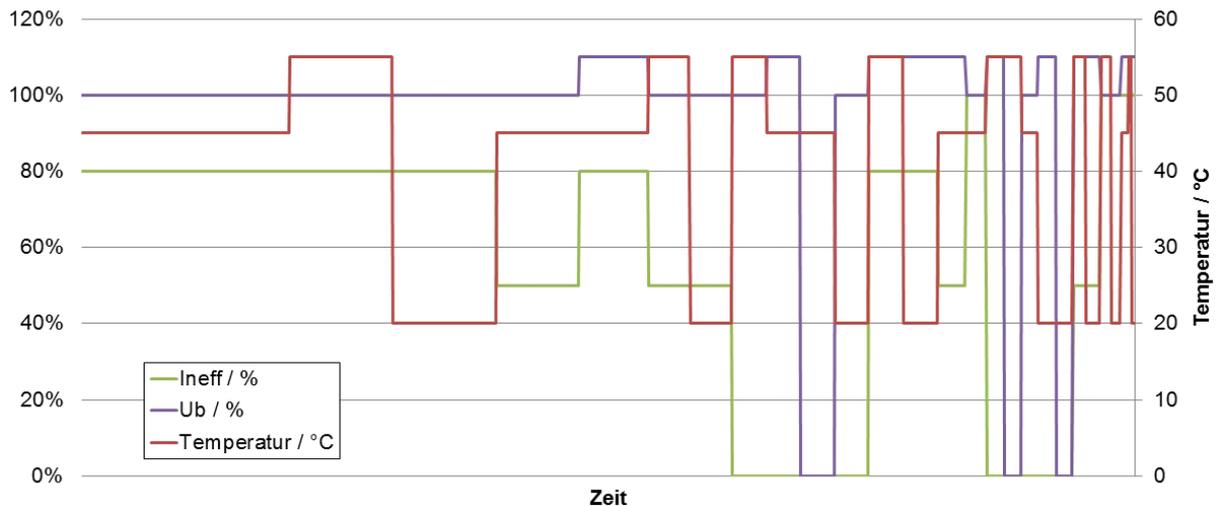


Abb. 2: Lastprofil für den Betrieb eines Alu-Elkos im Zwischenkreis eines Umrichters

Um die Lebensdauer eines Elkos abschätzen, der wiederholt dem gezeigten Lastprofil ausgesetzt wird, bedient man sich der Lebensdauerfaktoren K_T , K_R und K_V . Die Lebensdauerfaktoren gestatten die Berechnung einer äquivalenten Betriebsdauer $t(T_0, I_R, U_R)$ des Elkos unter Nennlastbedingungen zu jeder Verweildauer $t(T_A, I_A, U_A)$ in einem Betriebspunkt des Profils. Es gilt

$$t(T_0, I_R, U_R) = t(T_A, I_A, U_A) / (K_T \cdot K_R \cdot K_V)$$

Die Summe der äquivalenten Verweildauern aller Betriebspunkte des Profils muss dabei kleiner oder gleich der im Datenblatt angegebenen Elko-Lebensdauer sein – ansonsten könnte das gesamte Lastprofil nicht innerhalb eines Elko-Lebens durchlaufen werden.

Tabelle 1 zeigt das Beispiel eines Elkos, der im Zwischenkreis eines Frequenzumrichters einer Motorsteuerung eingesetzt wird. Als Elko-Typ dient hier ein Bauteil aus der Jianghai-Schraubanschlussbaureihe CD_138S_WP, das eine Lebensdauer „useful life“ von 15.000 h bei einem Nennripple von 14,3 A_{rms} bei 100 Hz und 85 °C sowie einer Nennspannung von 400 V aufweist.

Das Lastprofil in Tabelle 1 zeigt in Auszügen die Verweildauern in bestimmten Betriebspunkten während eines Jahres. Die Zyklusdauer von 1 Jahr = 8.760 Stunden entspricht in Bezug auf den Alterungseffekt des betrachteten Elkos einem Zeitraum von 1.303 Stunden Betrieb unter Nennlast. Beim erstmaligen Durchlaufen des Profils würden somit 1.303 der zu Beginn verfügbaren 15.000 Stunden Elko-Lebensdauer bei Nennlast aufgezehrt.

Verweildauer Stunden	Umgebungs- temperatur $T_A / ^\circ\text{C}$	Ripplestrom I_A / Aeff	Spannung U_A / V	Lebensdauer- Faktor $K_T \cdot K_R \cdot K_V$	äquivalente Verweildauer bei Nennlast (I_R, T_0, U_R) Stunden
1.724	45	25,1	360	6,4	270
860	55	25,1	360	3,2	269
860	20	25,1	360	36,1	24
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
29	20	31,4	396	6,7	4
8.760					1.303

Tab. 1: Lastprofil (Ausschnitt) mit Verweildauern und äquivalenten Verweildauern bei Nennlast

Der gesamte Lebensdauervorrat des Elkos reicht aus, um $15.000 \text{ h} / 1.303 \text{ h} \cong 11,5$ Zyklen des Lastprofils zu durchlaufen. Da ein Durchlauf in dem gewählten Beispielprofil ein Jahr dauert, entsprechen 11,5 Zyklen einer Gesamtlebensdauer des Elkos in der Applikation von 11,5 Jahren.

Zusammenfassung

Aluminium-Elektrolytkondensatoren beeinflussen durch ihre endliche Lebensdauer die Brauchbarkeitsdauer der Geräte, in denen sie eingesetzt sind. Die Kenntnis einiger wesentlicher Parameter dieser Bauelemente, die durch den in ihnen enthaltenen flüssigen Elektrolyten eine Besonderheit unter den elektronischen Bauteilen darstellen, ist zur sicheren Auslegung von Geräten unabdingbar.

Die typischen Einflussfaktoren auf die Lebensdauer sowie ein Elko-Lastprofil werden erläutert. Als Hilfsmittel zum erfolgreichen Einsatz steht das Beispiel einer Lebensdauerabschätzung bei einem zyklisch wiederkehrenden Elko-Lastprofil zur Verfügung.

Die Anwendbarkeit der allgemein formulierten und an einem Beispiel illustrierten Leitlinien hängt im Einzelfall von der Baureihe und der Applikation ab. Daher sind eine intensive Projektbegleitung und Bestätigung der Anforderungen für die jeweilige Applikation durch den Elko-Hersteller jeweils 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)

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