

Оценка срока службы электролитических конденсаторов

Др. Арне Альбертсен, Jianghai Europe Electronic Components GmbH

Введение

Алюминиевые электролитические конденсаторы имеют важное значение для функционирования множества электронных устройств. Постоянно растущий спрос на все более эффективные устройства, расширение использования возобновляемых источников энергии и постоянный рост электронной начинки в автомобилях продвинули использование данных компонентов.

Во многих случаях, срок службы электронных устройств напрямую связан со сроком службы электролитических конденсаторов, установленных в устройствах [9]. Для обеспечения надежной работы электронных устройств в течение определенного периода, необходимо тщательно изучить основные свойства электролитических конденсаторов. В настоящей статье рассмотрена конструкция электролитических конденсаторов и объяснены связанные термины, такие как ЭПС, ток пульсаций, самонагревание, химическая стабильность и срок службы. Для определения приблизительного срока службы электролитического конденсатора, предназначенного для определенной области применения, используются два инструмента оценки, определенные ниже и проиллюстрированные на примере.

Конструкция электролитических конденсаторов

Алюминиевые электролитические конденсаторы объединяют в себе свойства диэлектрической прочности, начиная с нескольких вольт до приблизительно 700 В и широкий диапазон электрических емкостей от 1 мк. Ф и до более 1 Ф, сохраняя при этом компактные размеры. Шероховатая анодная фольга покрывается тонким диэлектрическим слоем и вся площадь поверхности находится в контакте с подогнанным катодом и электролитом (Рис. 1).

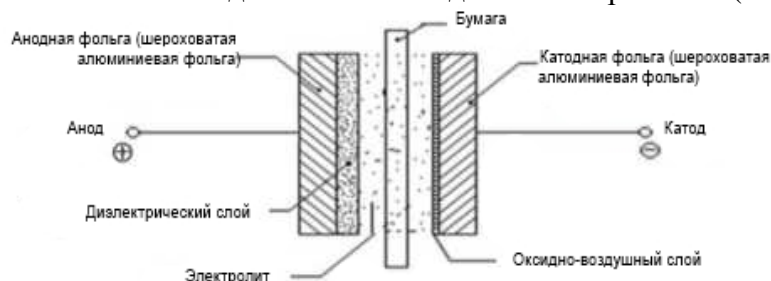


Рис. 1. Внутреннее устройство электролитического конденсатора

Жидкий электролит характеризует конструкцию электролитического конденсатора и его наличие имеет определенные технические характеристики.

- Протекание электрического тока через электролит устанавливается за счет движения ионов. Повышение температуры электролита снижает тем самым его вязкость и, в свою очередь, понижает электрическое сопротивление (ЭПС).
- Температура кипения электролита определяет верхний предел температуры и ограничивает максимально допустимое самонагревание, вызванное током пульсаций во взаимосвязи с температурой окружающей среды.
- Потеря электролита, вызванная электрохимическими реакциями в диэлектрическом слое (самонагревание) и диффузией через изоляционный слой (высыхание), приводит к отклонениям электрических параметров электролитического конденсатора и к ограниченному сроку службы.



Эквивалентное последовательное сопротивление ЭПС

Значение ЭПС (эквивалентного последовательного сопротивления) позволяет легко провести расчет тепловых потерь, возникающих в процессе эксплуатации электролитических конденсаторов, при наложении пульсирующего напряжения на компенсирующее напряжение смещения постоянного тока [1]. Эквивалентное последовательное сопротивление ЭПС и сопротивление $R_{\text{утечки}}$ (при параллельном соединении с идеальным конденсатором C) в настоящей статье не рассматриваются.

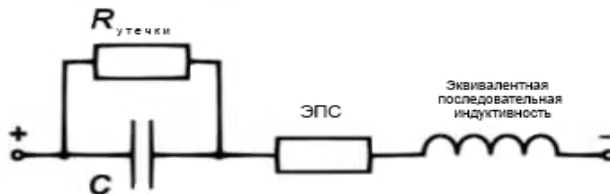


Рис. 2. Эквивалентная цепь электролитического конденсатора

ЭПС (Рис. 2) определяется суммой практически неизменной части, части, зависящей от частоты, и части, зависящей от температуры [2]:

$$\text{ЭПС} = R_0 + R_d + R_e$$

1. Практически неизменное активное сопротивление фольги, соединительных наконечников и впаянных клемм

$$R_0 \cong \text{const.} \quad \text{типовые значения } R_0: 10 \text{ мОм.}$$

2. Зависящее от частоты сопротивление диэлектрического слоя (Рис. 3 (а))

$$R_d(f) = \frac{D_{ox}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

где	D_{ox}	Тангенс угла диэлектрических потерь
	f	Частота
	C	Ёмкость электролитического конденсатора

Частотная зависимость возникает из-за диэлектрических потерь, вызываемых выравниванием небольших диполей в оксидном слое при подаче напряжения [3]. Данная часть ЭПС имеет большее влияние на электролитические конденсаторы с высоким номинальным напряжением, в связи с более толстым оксидным слоем (приблизительно 1.4 нм/В). Типовые значения тангенса угла диэлектрических потерь $D_{ox} = 0.06 \dots 0.1$.

3. Сопротивление электролитного раствора, зависящее от температуры, в комбинации с разделительной бумагой (Рис. 3 (б)) может быть оценено на основании известного значения комнатной температуры $R_e(25^\circ\text{C})$ посредством [3]:

$$R_e(T) = R_e(25^\circ\text{C}) \cdot 2^{-\left|\frac{T-25}{A}\right|^B}$$

Сопротивление системы, собранной из электролита и разделительной бумаги в 10 раз больше чем собственное сопротивление электролитного раствора. Не проводящая электрический ток бумага заменяет часть объема, ранее занимаемого проводящим электролитом, и поэтому их комбинация приводит к меньшей проводимости. Типовые значения для электролитических конденсаторов с электролитами на основе этилен гликоля – $A = 40$ и $B = 0.6$ [3].



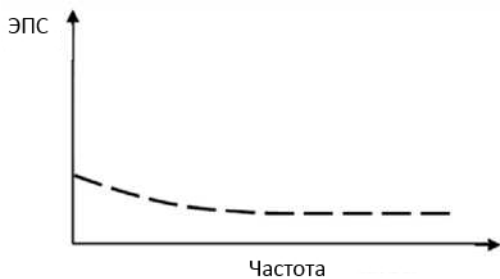


Рис. 3(а): Зависимость ЭПС от частоты

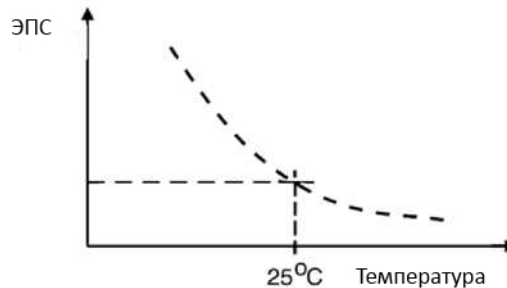


Рис. 3(б): Зависимость ЭПС от температуры

Для упрощения применения значений ЭПС, показывающих зависимость от частоты, температуры и даже временную зависимость, компания Jianghai приводит максимальные значения ЭПС в дополнение к типовым значениям ЭПС. Для получения надежной и прочной конструкции, приведенные максимальные значения ЭПС должны использоваться при выборе компонентов.

Пульсирующий ток

Для большинства применений, напряжение переменного тока или пульсирующее напряжение существует над напряжением постоянного тока и вызывает ток пульсаций и самонагревание электролитического конденсатора. Рассмотрим среднеквадратичное значение номинальных токов пульсаций, так как токи любой частоты вносят свой вклад в самонагревание [8].

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

I_A	Среднеквадратичное значение номинального тока пульсаций.
$I_{f1} \dots I_{fn}$	Среднеквадратичные значения токов пульсаций при частотах $f1 \dots fn$
$F_{f1} \dots F_{fn}$	Поправочный множитель для токов при частотах $f1 \dots fn$
$F_{fn} = \sqrt{\frac{\text{ЭПС}(f_0)}{\text{ЭПС}(f_i)}}$	где f_0 = эталонная частота номинального тока пульсаций

Поправочные множители для различных частот исходят из частотной зависимости ЭПС. Для простоты использования, поправочные множители для токов определенных частот сводятся в таблицы в спецификациях вместо приведения отношений ЭПС для различных частот. Поведение ЭПС и частот зависит также от номинального напряжения, во многих спецификациях приведены таблицы поправочных множителей для определенных диапазонов напряжений.

Самонагревание электролитических конденсаторов в процессе работы

В процессе работы, температура электролитического конденсатора поднимается выше температуры среды. Температура внутренней части электролитического конденсатора превышает температуру внешней поверхности конденсатора и в устойчивом состоянии приложенная электрическая мощность P_{el} соответствует тепловой мощности P_{th} рассеиваемой в окружающую среду.

$$P_{el} = P_{th}$$



Основными механизмами охлаждения электролитических конденсаторов являются тепловое излучение и (естественная или вынужденная) конвекция (Рис. 4). При больших размерах корпуса конденсаторов, охлаждение при помощи теплового излучения обычно является более эффективным, чем эффект охлаждения в результате конвекции (вынужденное охлаждение может быть использовано для увеличения эффекта конвекции).



Рис. 4. Механизмы охлаждения электролитических конденсаторов

Способность излучать тепло в инфракрасном спектральном диапазоне основано на свойствах материала площади поверхности A электролитического конденсатора, относящихся к черному телу, электролитический конденсатор, закрытый изолирующей муфтой, имеет коэффициент излучения (излучающую способность) $\varepsilon = 0.85$, в то время, как чистая поверхность электролитического конденсатора имеет коэффициент излучения всего лишь $\varepsilon = 0.4$ [5]. Цвет муфты при длинах волн видимой области спектра (приблизительно 400 ~ 700 нм) значения не имеет.

Тепловое излучение подчиняется закону Стефана-Больцмана:

$$P_{rad} = \varepsilon \sigma A (T_s^4 - T_a^4) \\ = h_{rad} \cdot A \cdot \Delta T$$

где	$\varepsilon \cong 0,85$	коэффициент излучения
	$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$	постоянная Стефана-Больцмана
	A	площадь поверхности эл. конденсатора (без изоляции)
	$h_{rad} = \varepsilon \sigma (T_s + T_a)(T_s^2 + T_a^2)$	коэффициент теплоотдачи излучением
	T_s	температура поверхности эл. конденсатора
	T_a	температура окружающей среды
	$\Delta T = T_s - T_a$	температурный перепад

Для естественной конвекции имеем:

$$P_{conv} = h_{free} \cdot A \cdot \Delta T$$

где	$h_{free} = 1,32 \cdot \left[\frac{\Delta T}{D} \right]^{1/4}$	коэффициент теплоотдачи конвекцией
	D	диаметр электролитического конденсатора

Для случая естественной конвекции совместно с тепловым излучением, обычно наблюдаются следующие численные значения коэффициентов полного теплопереноса:

$$h_{tot} = h_{free} + h_{rad} \cong 13,5 \sim 17 \frac{W}{m^2 K}$$



В случае вынужденного воздушного охлаждения со скоростью потока воздуха v (в м/с), общий коэффициент теплопереноса может быть аппроксимирован согласно [5]:

$$h_{tot} \cong 5 + 17 \cdot [v + 0,1]^{0,66}$$

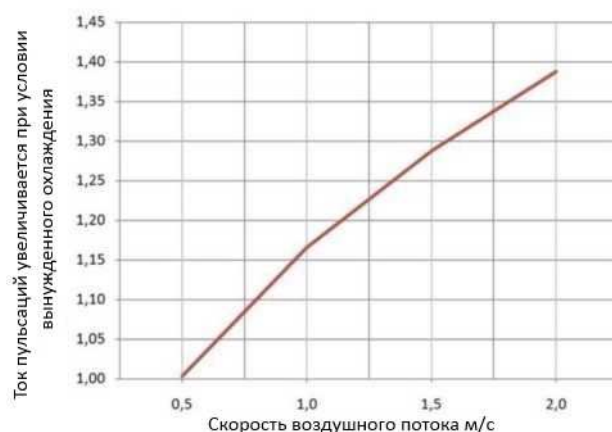


Рис. 5. Повышение допустимой нагрузки тока пульсаций при вынужденной конвекции

При использовании вынужденного охлаждения со скоростью потока воздуха $v = 1 \sim 2$ м/с, вклад конвекции в общий эффект охлаждения может быть существенно увеличен в сравнении с естественной конвекцией ($v \lesssim 0,5$ м/с) (Рис. 5).

Теплопроводность применяется только к электролитическим конденсаторам небольшой емкости с аксиальными выводами и при использовании охлаждающей жидкости. Индивидуальные эквивалентные тепловые сопротивления каждого охлаждающего механизма могут быть сложены вместе в единое тепловое сопротивление R_{th} . Температурный перепад ΔT электролитического конденсатора с площадью поверхности A при наложении тока пульсаций I :

$$\Delta T = I^2 \cdot ESR \cdot R_{th}$$

Где
$$R_{th} = \frac{1}{h_{tot} \cdot A}$$

Следующим шагом будет более глубокий анализ термических свойств электролитических конденсаторов для оценки внутренней температуры, как наиболее важного параметра, влияющего на оценку срока службы электролитического конденсатора. Температура внутренней части T_c может быть оценена

$$T_c = \Delta T \cdot \frac{R_{th}^{inside}}{R_{th}} + T_s$$

где суммарное тепловое сопротивление в осевом и радиальном направлении численно составляют

порядок
$$R_{th}^{inside} \cong 1 \sim 3 \frac{K}{W}.$$

На практике, измерения температуры поверхности на дне конденсатора представляет хорошее приближение к значению внутренней температуры для электролитических конденсаторов с радиальными выводами и небольших конденсаторов размером до 25 мм в диаметре, с защелкивающимися фиксаторами. Для конденсаторов с большим размером корпуса, рекомендуется проводить прямые измерения внутренней температуры посредством термопары. Компания Jianghai поставляет электролитические конденсаторы с предварительно установленной термопарой с целью проведения оценки по запросу.



Химическая стабильность

Современные системы электролитов представляют собой многокомпонентные смеси, и их химическая стабильность является неотъемлемым условием в течение срока службы электролитического конденсатора. Хорошим показателем оценки химической стабильности является такой параметр как «срок годности при хранении» (Таблица 1, правая колонка). В отличие от обычного хранения электролитических конденсаторов при умеренных температурах, испытание на долговечность при хранении требует проведения ускоренного испытания на срок службы, которое подвергает испытываемые образцы воздействию верхнего предела температур в течение предварительно установленного периода без приложения напряжения. Электролитический конденсатор, не может получить преимущество самонагревания в процессе испытания без приложения напряжения – эта особенность делает испытание на долговечность при хранении особенно трудным. Основные параметры, такие, как ток утечки, электрическая емкость и тангенс угла потерь должны оставаться в заранее определенных пределах после испытания. Большое число значений срока годности при хранении является хорошим показателем химической стабильности, высокой чистоты материала и высокого качества продукции. Результаты данного испытания документируются в спецификациях по всем серийным продуктам компании Jianghai.

Надежность и срок службы

Надежность и срок службы отвечают на такие вопросы, как: «Сколько электролитических конденсаторов могут отказать в процессе эксплуатации для данной области применения?» и «В течение какого срока продержатся электролитические конденсаторы в данной области применения?» Да, указанные два вопроса отличаются, но они связаны друг с другом.

Типовая динамика плотности распределения надежности электролитических конденсаторов, представляет собой так называемую «U-образную кривую» [6]. Интенсивность отказов λ обозначает количество отказов в единицу времени (плотность распределения отказов, единица измерения интенсивности отказов – «отказы за единицу времени» в $\frac{10^{-9} \text{отказов}}{\text{ч}}$).



Рис. 6. Зависимость интенсивности отказов от времени

U-образная кривая на Рис. 6 показывает три отдельных последовательных сегмента:

1. Период ранних отказов («мгновенный выход из строя») с затухающей интенсивностью отказов λ
2. Период, в течение нормального срока службы имеет постоянную интенсивность отказов λ , которая описывает возникновения случайных отказов.
3. Конечный сегмент с увеличением интенсивности отказов λ происходит из-за износа и изменений, превышающих допустимые пределы в конце или после завершения регулярного срока службы.

В процессе производства электролитических конденсаторов, вся продукция проходит обработку на заводе – это шаг технологического процесса аналогичен отбраковке. Поэтому ранние отказы для характерного применения являются редким исключением [1].



Для дальнейшей обработки считаем, что электролитический конденсатор эксплуатируется в течение случайного периода отказов U-образной кривой и что эксплуатационные условия являются «корректными» в пределах спецификации. «Пригодные рабочие условия» определяются допустимыми комбинациями напряжения, полярности, температуры окружающей среды, тока пульсаций, механического напряжения и «чистой» среды (отсутствия химически агрессивных реагентов вблизи электролитического конденсатора).

Окончание срока службы достигается, если определенные параметры превышают предварительно заданные пороговые значения. Обычной практикой является допущение выхода за пределы определенной части характеристик. Отклонение конкретных параметров от предварительно заданных диапазонов не означает полной утраты функциональности электролитического конденсатора, но конструкция конденсатора на характерное применение должна быть выполнена таким образом, чтобы позволить ему функционировать даже при таких неблагоприятных условиях.

Существуют несколько определений и терминов, используемых для описания срока службы электролитического конденсатора:

1. Долговечность

Метод проведения испытания на долговечность описан в стандарте МЭК 60384-4: электролитические конденсаторы эксплуатируются при номинальном напряжении и их верхнем пределе температуры, с приложением тока пульсаций или без него, для наблюдения динамики их электрических параметров (емкости, ЭПС, тока утечки) до достижения определенных пределов.

2. Полезный срок службы

Термин «полезный срок службы» определен в предисловии немецкого стандарта DIN IEC 60384-4 (в настоящее время утратил силу) [1]. Процедура испытания приближена к реальным рабочим условиям характерного применения: в дополнение к напряжению постоянного тока и при верхнем пределе температур, накладывается напряжение пульсаций, которое создает дополнительную термическую нагрузку посредством самонагревания.

При сравнении каталогов спецификаций различных производителей противоречивое использование вышеуказанных терминов становится очевидным. Значения терминов часто перемешиваются и переопределяются. Терминологический диапазон включает «долговечность при полной нагрузке», «полезный срок службы», «износостойкость», «прогнозируемый срок службы», «эксплуатационный ресурс» и «срок работы». В дополнение к различным предельным значениям, определяющим окончание срока службы, некоторые производители используют различные стандарты, позволяющие определенной части испытываемых элементов выходить за пределы заданного диапазона - это делает сравнение значение различных сроков службы, указываемых различными поставщиками еще более сложным.

В настоящее время, не существует действующих единых стандартов, которые могли бы быть использованы для получения точных определений терминов и их значений. Комитет по стандартизации США разработал предложения касательно стандартизации условий проведения испытаний, опубликованное как EIA IS-749 («Испытание срока службы до полного износа для сетевых выпрямителей») для испытания эксплуатационного ресурса электролитических конденсаторов, расположенных за сетевыми выпрямителями [4].

До выпуска и внедрения общеприменимых стандартов, компания Jianghai решила опубликовать все необходимые определения и условия испытаний в спецификации (Таблица 1).



	Полезный срок службы		Долговечность при полной нагрузке	Испытание на долговечность	Срок службы при хранении	
Срок службы	7000 ч	>200000 ч	5000 ч	5000 ч	1000 ч	
Ток утечки	Не превышает указанное значение		Не превышает указанное значение	Не превышает указанное значение	Не превышает указанное значение	
Изменение емкости	В пределах $\pm 30\%$ от первоначального значения		В пределах $\pm 20\%$ от первоначального значения	В пределах $\pm 20\%$ от первоначального значения	В пределах $\pm 20\%$ от первоначального значения	
Тангенс угла потерь	Не более чем 300% от указанного значения		Не более чем 200% от указанного значения	Не более чем 200% от указанного значения	Не более чем 200% от указанного значения	
Условие:						
Приложенное напряжение	U_R	U_R	U_R	U_R	$U_R=0$	После испытания: Будет наложено U_R в течение 30 мин. >24 ч до измерения
Приложенный ток	I_R	$1,6 \times I_R$	I_R	$I_R = 0$	$I_R = 0$	
Приложенная температура	105 °C	40 °C	105 °C	105 °C	105 °C	
Статистический разброс, %	$\leq 1\%$	$\leq 1\%$	0%	МЭК 60384	0%	

Таблица 1. Полное описание условий проведения испытания и допустимых диапазонов измерений

В дополнение к более ориентированной на рынок характеристике, такой, как «полезный срок службы», компания Jianghai также публикует четко определенные характеристики, как «долговечность при полной нагрузке» и «износостойкость», обеспечивая большую прозрачность для конечного пользователя. Испытания на долговечность при хранении предоставляются для указания химической стабильности электролитических конденсаторов и тем самым пользователь, читающий спецификацию получает полную картину характеристик серии электролитических конденсаторов.

График срока службы и модель срока службы электролитических конденсаторов

Для обеспечения пользователей продукцией инструментами для оценки срока службы электролитических конденсаторов, компания Jianghai разработала график срока службы и вычислительную модель срока службы. В то время, как графики срока службы учитывают наиболее важные параметры (температура, ток пульсаций) и графически показывают возможные комбинации данных параметров, вычислительная модель срока службы также учитывает влияние фактического рабочего напряжения на срок службы. Использование этих двух инструментов возможно для множества областей применения конденсаторов. Однако, специальные условия (например, эксплуатация при условиях близких к физическим пределам температуры, неправильная форма тока пульсаций, специальная конструкция электролитического конденсатора и др.) могут ограничивать применимость оценки, полученной с использованием данных инструментов. Для каждой области применения, результаты, полученные при использовании какого-либо инструмента, необходимо подтвердить у поставщика.

Жидкий электролит внутри электролитического конденсатора является основной причиной ограниченного срока службы и непрерывного изменения его электрических параметров [7]. Ухудшение электрохимических свойств, форсированное повышением температуры и напряжения, может быть оценено посредством использования полуэмпирической модели срока службы.

Графики срока службы, подготовленные компанией Jianghai, для многих серий продукции выведены из вычислительной модели срока службы - серая площадь на графике показывает какие комбинации тока пульсаций и температур окружающей среды могут привести к температурам слишком близким или даже превышающим температуру кипения электролита (Рис. 7). Данные условия нагрузки могут применяться только при подтверждении со стороны компании Jianghai.

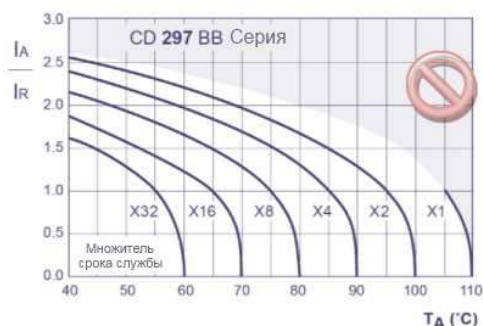


Рис. 7. График срока службы для серии электролитических конденсаторов CD_297_BB производства Jianghai



Вычислительная модель срока службы обеспечивает оценку срока службы электролитического конденсатора для характерной области применения.

В качестве входных данных модели срока службы используются некоторые характерные параметры для типа электролитического конденсатора, взятые из спецификации, наряду с некоторыми параметрами, характерными для области применения, такими как температура окружающей среды, нагрузка по току пульсаций и фактически приложенное напряжение в процессе работы. В случае вынужденного охлаждения, необходимо соответствующим образом скорректировать возможность нагрузки тока пульсаций.

Структура вычислительной модели срока службы

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

где	L	резльтирующий срок службы
	L_0	срок службы при номинальных значениях тока пульсаций и верхнего предела температур (согласно спецификации)
	K_T	температурный коэффициент (температура окружающей среды)
	K_R	поправка на ток пульсаций (самонагревание)
	K_V	коэффициент усиления по напряжению (рабочее напряжение)

Температурный коэффициент K_T

Срок службы электролитических конденсаторов следует общепромышленному прочно устоявшемуся «правилу 10 кельвинов», определенному Аррениусом: падение температуры окружающей среды на 10 К удваивает срок службы [1, 3, 4, 6, 9]. Формула для температурного коэффициента K_T гласит:

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

где	T_0	верхний предел температур
	T_A	температура окружающей среды для характерного применения

Ток пульсаций K_R

Компания Jianghai проводит оценку влияния налагаемого тока пульсаций на самонагревание и, в свою очередь, на срок службы электролитического конденсатора по следующей формуле:

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

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

и	I_A	ток пульсаций в данной области применения
	I_R	номинальный ток пульсаций при верхнем пределе температуры
	ΔT_0	повышение внутренней температуры электролитического конденсатора (обычно 5 К при $T_0 = 105^\circ\text{C}$ и 10 К при $T_0 = 85^\circ\text{C}$)
	K_i	эмпирический коэффициент запаса прочности, определяемый как

$$\begin{aligned} T_0 = 105^\circ\text{C}: & \quad I > I_R: K_i = 4 \\ & \quad I \leq I_R: K_i = 2 \\ T_0 = 85^\circ\text{C}: & \quad K_i = 2 \end{aligned}$$



Коэффициент усиления по напряжению K_V

Для электролитических конденсаторов малого размера с радиальными выводами, потеря электролита в зависимости от температуры (как было смоделировано уравнением Аррениуса) определяет модель срока службы. Поэтому $K_V = 1$ для электролитических конденсаторов с радиальными выводами. Для конденсаторов среднего и большого размеров (с зажимными и винтовыми фиксаторами), влияние фактически приложенного напряжения оказывает определенное влияние на срок службы, в связи с тем, что рабочие напряжения меньше номинального напряжения оказывают меньшую нагрузку на диэлектрический слой. Чем ближе значение рабочего напряжения к номинальному напряжению, тем больше электролита потребляется на самонагревание небольших дефектов диэлектрического слоя. Самонагревание (и тем самым, потребление электролита) также экспоненциально зависит от температуры. И наоборот, более низкое рабочее напряжение в сравнении с номинальным напряжением может существенно продлить срок службы электролитических конденсаторов [4].

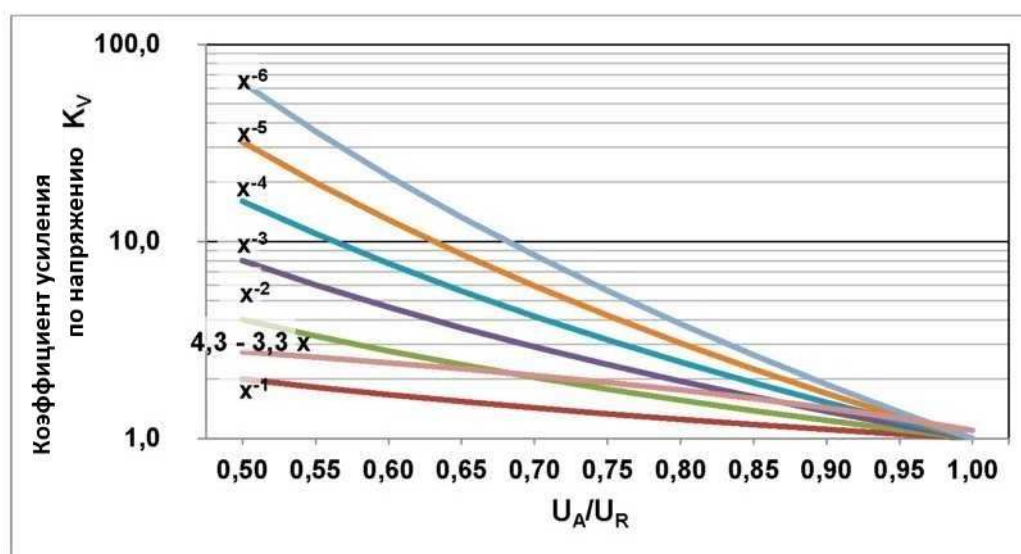


Рис. 8. для различных поставщиков [4]

Компания Jianghai оценивает влияние фактически приложенного рабочего напряжения на срок службы больших электролитических конденсаторов с защелочными или винтовыми фиксаторами посредством эмпирически выведенной формулы. Рабочие напряжения в два и более раз меньше номинального напряжения считаются непрактичными и не рассматриваются в данной модели. Для сравнения результатов моделей других поставщиков, компанией Jianghai специально была выбрана экспонента $n = 2,5$, тем самым предлагая «умеренную» оценку (Рис. 8).

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

где

U_R

номинальное напряжение

U_A

фактическое рабочее напряжение

n

экспонента, определенная как:

$$0.5 \leq \frac{U_A}{U_R} \leq 1 \quad \rightarrow \quad n = 2.5$$

$$0 \leq \frac{U_A}{U_R} < 0.5 \quad \rightarrow \quad n = 0$$

Пример оценки срока службы

Нижеследующий пример предполагается в качестве иллюстрации практического применения графика срока службы и модели срока службы.



Пусть имеется электролитический конденсатор на 105 °С, тип 390 мкФ, 400 В, 35x45 мм из серии CD_297_BB производства компании Jianghai, монтируемый с защелкой, эксплуатируемый при температуре окружающей среды $T_A = 55$ °С и токе пульсаций 2.51 A_{rms} при 20 кГц. Фактическое рабочее напряжение равняется номинальному напряжению в 400 В, следовательно только температура окружающей среды и нагрузка от тока пульсаций учитываются в оценке срока службы. Предполагается, что охлаждение выполнено посредством естественной конвекции и излучения.

Спецификация указывает номинальный ток пульсаций в 1.27 A_{rms} при 120 Гц и 105 °С и частотную поправку в 1.4 для частот, превышающих 10 кГц и номинальных напряжений 315 ~ 450 В. Срок службы («полезный срок службы») указан как 7000 ч при номинальном режиме нагрузки.

Отношение фактического, определяемого частотой тока пульсации и номинального тока пульсаций вычисляется как:

$$\frac{I_A}{I_R} = \frac{2,51 A_{rms}}{1,27 A_{rms}} = 1.41$$

Из графика срока службы (Рис. 9) мы получаем приближенное значение множителя срока службы 16 на пересечении температуры окружающей среды и отношения тока пульсаций. Оценка «полезного срока службы» электролитического конденсатора для данной области применения при указанных эксплуатационных условиях:

$$L = L_0 \cdot 16 = 7,000 \text{ ч} \cdot 16 = 112,000 \text{ ч} \cong 13 \text{ лет}$$

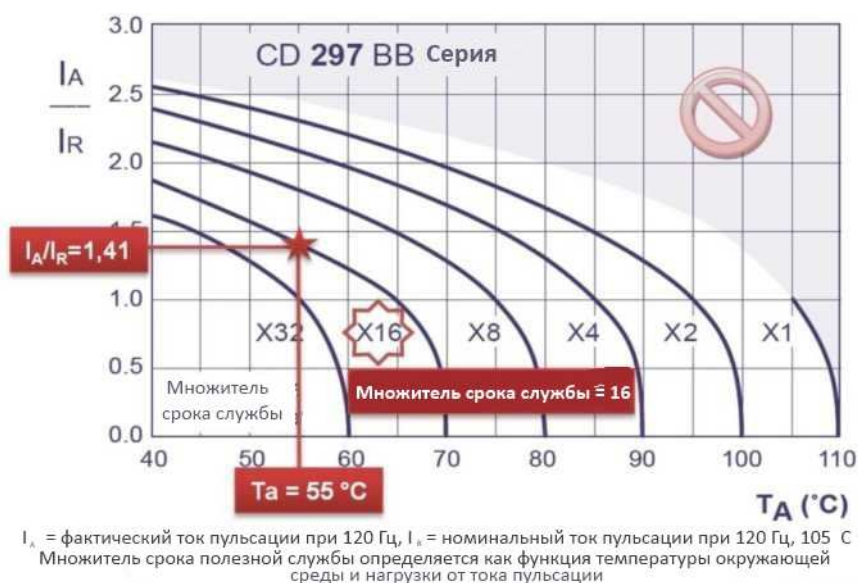


Рис. 9. Множитель срока службы определен по пересечению фактических параметров эксплуатации

В альтернативном варианте, срок службы также может быть оценен посредством использования вычислительной модели срока службы:

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



$$= L_0 \cdot 2^{\frac{T_0 - T_A}{10K}} \cdot K_i \left[1 - \left(\frac{I_A}{I_R} \right)^2 \right]^{\frac{\Delta T_0}{10K}} \cdot \left(\frac{U_A}{U_R} \right)^{-n}$$

Подставляем значения

$$L_0 = 7,000 \text{ ч}$$

$$T_0 = 105 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_A = 55 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$K_i = 4$$

$$I_A = \frac{2.51 A_{\text{rms}}}{1.4} = 1.79 A_{\text{rms}}$$

$$I_R = 1.27 A_{\text{rms}}$$

$$\Delta T_0 = 5 \text{ K}$$

$$U_A = U_R: \quad 0.5 \leq \frac{U_A}{U_R} \leq 1 \rightarrow n = 2.5$$

получим

$$\begin{aligned} L &= 7,000 \text{ ч} \cdot 32 \cdot 0.5 \cdot 1 \\ &= 7,000 \text{ ч} \cdot 16 = 112,000 \text{ ч} \cong 13 \text{ лет} \end{aligned}$$

Результат оценки с помощью численных вычислений соответствует результату, полученному из графического решения, использующего диаграмму срока службы.

Резюме

Алюминиевые электролитические конденсаторы зачастую определяют срок службы электронных устройств. Глубокое знание некоторых основных параметров и концепций старения этих компонентов необходимы для обеспечения надежной конструкции электронных устройств с прогнозируемым сроком службы.

В статье разъяснены типовые электрические и тепловые свойства электролитических конденсаторов, а также приведены определения надежности и срока службы. Для проведения оценки срока службы доступны два метода: графический подход (диаграмма срока службы) и численное вычисление (модель срока службы).

Применимость моделей и их результатов зависит от конкретного типа продукта и характерного применения. Проведение консультаций с поставщиком является основой для получения методической помощи при разработке проекта и подтверждения любых оценок.

Практический пример показывает, как методы, представленные в настоящей статье, могут быть использованы для проведения оценки срока службы электролитического конденсатора, рассчитанного на специальное применение.



Ссылки на источники

- [1] Both, J., Aluminium-Elektrolytkondensatoren, Teil 1 - Ripplestrom und Teil 2- Lebensdauerberechnung, BC Components, February 10, 2000
- [2] Gasperi, M. L., A Method for Predicting the Expected Life of Bus Capacitors, IEEE Industry Applications Society, Annual Meeting, New Orleans, Louisiana, October 5-9, 1997
- [3] Mirsky, G., Determining end-of-life, ESR, and lifetime calculations for electrolytic capacitors at higher temperatures, EDN, August 20, 2008
- [4] Parler, S.G., Deriving Life Multipliers for Aluminum Electrolytic Capacitors, IEEE Power Electronics Society Newsletter, vol. 16, no.1, 11-12, February 2004
- [5] Parler, S.G., Thermal Modeling of Aluminum Electrolytic Capacitors, IEEE Industry Applications Society Conference, October 1999
- [6] Stiny, L., Handbuch passiver elektronischer Bauelemente, Franzis Verlag, Poing, 2007
- [7] Thiesbürger, K.H., Der Elektrolytkondensator, Roederstein, Landshut, 1991
- [8] van de Steeg, T., Selecting electrolytic capacitors for power supplies, DATAWEEK Electronics & Communications Technology, Issue February 28, 2001
- [9] Venet, P., A. Lahyani, G. Grellet, A. Ah-Jaco, Influence of aging on electrolytic capacitors function in static converters: Fault prediction method, Eur. Phys. J. AP 5, 71-83 (1999)

Информация о компании

Компания Jianghai Europe Electronic Components GmbH имеет офис и склад в г. Крефельд (Германия) и оказывает поддержку европейским клиентам компании Nantong Jianghai Capacitor Co., Ltd. (Jianghai), расположенной в г. Наньтун, Китай. Компания Jianghai была основана в 1958 году на месте текущей штаб-квартиры – приблизительно в двух часах езды на автомобиле к северу от г. Шанхай. На заре своей деятельности, компания Jianghai разрабатывала и производила специализированную химическую продукцию (например, растворы электролита). В 1970 году было запущено производство электролитических конденсаторов и, в течение последующих лет, новое производство анодной фольги, рассчитанной на низкое и высокое напряжение дополнили портфель продукции Jianghai. Являясь лидирующим производителем в Китае, компания Jianghai является также одним из крупнейших в мире производителей электролитических конденсаторов с защелкивающимися или винтовыми фиксаторами.

Об авторе



Д-р. Арне Альбертсен изучал физику со специализацией по прикладной физике в Кильском университете. После защиты диплома (1992) и докторской диссертации (1994), которые были посвящены стохастическому анализу временных рядов системы переноса через биофизическую мембрану, он сделал промышленную карьеру в строительстве завода по специализированной очистке сточных вод и технологиям генерации возобновляемой энергии. В 2001 году он начал работать с ведущими производителями электронных компонентов, такими как BCcomponents, Vishay, и KOA. Он работал на управляющих должностях в проектировании, продажах и маркетинге пассивных и активных дискретных компонентов. до того, как перешел работать в компанию Jianghai Europe Electronic Components в ноябре 2008 года. В текущей должности менеджера по продажам и маркетингу, д-р. Альбертсен отвечал за поддержку европейских поставщиков комплектующих и дистрибьюторов.

www.jianghai-europe.com

a.albertsen@jianghai-europe.com

