



Справочник



Алюминиевые электролитические конденсаторы

Содержание

Обзор типов	7
Основные применения	12
Список типономиналов	13
Предостережения и предупреждения	15
Общее техническое описание	19
1. Основы конструкции алюминиевых электролитических (АЭ) конденсаторов	19
2. Стандарты и спецификации	22
2.1. Конденсаторы общего назначения и с увеличенным сроком службы	22
2.2. Стандарты	22
3. Электрические параметры	25
3.1. Напряжение	25
3.2. Емкость	26
3.3. Тангенс угла потерь $\tan \delta$	29
3.4. Собственная индуктивность ESL	30
3.5. Эквивалентное последовательное сопротивление (ESR)	30
3.6. Полное сопротивление Z	31
3.7. Ток утечки I_{leak}	32
3.8. Электрическая прочность и сопротивление изоляции изолирующего покрытия	36
4. Пульсирующий ток	36
4.1. Общие положения	36
4.2. Зависимость пульсирующего тока от частоты	37
4.3. Зависимость пульсирующего тока от температуры	37
5. Срок службы	37
5.1. Рабочие параметры	37
5.2. Охлаждение	38
5.3. Вычисление срока службы	40
6. Батареи конденсаторов	44
6.1. Параллельное включение алюминиевых электролитических конденсаторов	44
6.2. Последовательное включение алюминиевых электролитических конденсаторов	45
6.3. Комбинированное параллельно-последовательное включение конденсаторов	46
7. Климатические условия	47
7.1. Минимально допустимая рабочая температура	47
7.2. Максимально допустимая рабочая температура	48
7.3. Температура хранения	48
7.4. Климатические группы МЭК (IEC)	49
8. Воспламеняемость	49
8.1. Пассивная воспламеняемость	49
8.2. Активная воспламеняемость	49

Содержание

9.	Устойчивость к механическим воздействиям	49
9.1.	Устойчивость к вибрациям	49
9.2.	Работа в условиях пониженного атмосферного давления	50
9.3.	Прочность выводов	50
10.	Обслуживание	50
11.	Установка	50
11.1.	Установочные положения конденсаторов с выводами под винт	50
11.2.	Герметизация и склеивание алюминиевых электролитических конденсаторов	51
11.3.	Максимальные крутящие моменты	52
11.4.	Установка радиальных конденсаторов	52
11.5.	Пайка	52
11.6.	Очищающие средства	53
12.	Дезинфекция окуриванием	54
13.	Маркировка конденсаторов	54
14.	Упаковка	55
14.1.	Этикетка со штрих-кодом	56
15.	Структура кода заказа (типономинал)	56
Вопросы качества и экологии		59
1.	Вопросы качества продукции Epcos	59
1.1.	Основные положения	59
1.2.	Система управления качеством	59
1.3.	Сертификация	59
1.4.	Этапы производства и контроля качества	59
1.5.	Качество поставки	61
1.6.	Критерии отказа	61
1.7.	Входной контроль изделий со стороны заказчика	61
1.8.	Срок службы и надежность	61
1.9.	Прослеживаемость	62
1.10.	Электрические параметры	62
1.11.	Размеры	62
1.12.	Выходной контроль	62
1.13.	Оценка приемлемого уровня качества	63
1.14.	Правила эксплуатации	64
1.15.	Рекламации	64
2.	Система мер по охране окружающей среды	65
2.1.	Экологическая политика	65
2.2.	Система мер по охране окружающей среды	65
2.3.	Сертификация	65
2.4.	RoHS	66
2.5.	Запрещенные и опасные вещества в изделиях	66
2.6.	Информация о содержании материалов в изделиях	66
2.7.	Утилизация	66

Предостережения и предупреждения

Личная безопасность

Компания EPCOS использует электролиты, которые оптимизированы как для основного применения, так и в отношении безопасности и экологической совместимости. Они не содержат вредных для здоровья веществ, как, например, растворители диметилформамид (DMF) или диметилацетамид (DMAC).

Кроме того, для высоковольтных конденсаторов EPCOS использует самогасящиеся электролиты, в состав которых входят пламязадерживающие вещества, способные быстро погасить возникшее возгорание.

По возможности EPCOS не применяет опасных химикатов при производстве электролитов. Однако в исключительных случаях для достижения определенных физических и электрических свойств такие материалы приходится использовать, так как в настоящее время для них нет безопасной замены. Хотя количество опасных материалов в продукции EPCOS сведено до минимума, при использовании алюминиевых электролитических конденсаторов должны соблюдаться следующие правила:

Необходимо избегать попадания электролита в глаза и на кожу.

Если все же электролит попал на кожу, необходимо немедленно смыть его проточной водой.

При попадании электролита в глаза их промывают в течение 10 мин большим количеством воды.

Если неприятные ощущения сохраняются, необходимо обратиться к врачу.

Стараться не вдыхать пары и аэрозоли электролита. Рабочие места и другие помещения, где находится электролит, должны хорошо проветриваться. Одежду, загрязненную электролитом, необходимо заменить и прополоскать в воде.

Предостережения и предупреждения

Безопасность изделий

В приведенную ниже таблицу сведены инструкции безопасности, которые необходимо соблюдать при работе с электролитическими конденсаторами. Детальное описание можно найти в соответствующих разделах главы «Общее техническое описание».

Тема	Меры безопасности	Соответствующий раздел главы «Общее техническое описание»
Полярность	Проверяйте правильность полярности при подключении полярных конденсаторов	1. «Основы конструкции ...»
Обратное напряжение	Используйте диод для исключения переполюсовки	3.1.6. «Обратное напряжение»
Верхняя граница температурного диапазона	Не превышайте верхнюю границу температурного диапазона	7.2. «Максимально допустимая рабочая температура»
Обслуживание	Работающие конденсаторы надо периодически осматривать. Перед осмотром конденсаторы необходимо обесточить и разрядить. Выводы конденсаторов не должны подвергаться механическим воздействиям	10. «Обслуживание»
Установка конденсаторов с выводами под винт	Не устанавливайте конденсаторы предохранительным клапаном вниз	11.1. «Установочные положения конденсаторов с выводами под винт»
Установка радиальных конденсаторов	Чрезмерное механическое воздействие на выводы может привести к повреждению внутренней структуры радиальных конденсаторов. Избегайте давящих или растягивающих воздействий на выводы. Не меняйте положение конденсаторов после спаивания в плату. Не поднимайте печатную плату за припаянные конденсаторы. Не спаивайте конденсаторы в отверстия с несоответствующими расстояниями	11.4. «Установка радиальных конденсаторов»
Надежность выводов	При закручивании резьбовых соединений крутящий момент не должен превышать следующих значений: M5 — 2 Н·м, M6 — 2.5 Н·м	11.3. «Максимальные крутящие моменты»
Пайка	Время пайки и температура припоя не должны превышать безопасных пределов	11.5. «Пайка»

Предостережения и предупреждения

Тема	Меры безопасности	Соответствующий раздел главы «Общее техническое описание»
Пайка, очищающие средства	При использовании моющих средств с галогенизированными углеводородами не допускайте их попадания на алюминиевые электролитические конденсаторы	11.6. «Очищающие средства»
Пассивная воспламеняемость	Не устанавливайте конденсаторы вблизи открытых источников огня или мощных электрических цепей	8.1. «Пассивная воспламеняемость»
Активная воспламеняемость	Избегайте перегрузки конденсаторов	8.2. «Активная воспламеняемость»
		Соответствующий раздел главы «Конденсаторы с выводами под винт»
Электрическая прочность изолирующей пленки	Старайтесь не повредить изолирующую пленку, особенно при использовании кольцевых зажимов для крепления	«Выводы под винт, Аксессуары»

1. Основы конструкции алюминиевых электролитических конденсаторов

Алюминиевые электролитические конденсаторы (далее — АЭ конденсаторы) занимают особое положение среди остальных типов конденсаторов благодаря принципу их работы, основанному на электрохимических процессах.

АЭ конденсаторы нашли широкое применение благодаря следующим преимуществам:

- высокая удельная емкость (емкость на единицу объема), позволяющая изготавливать конденсаторы емкостью до 1 Ф;
- высокий максимально допустимый пульсирующий ток;
- высокая надежность;
- оптимальное отношение цена/производительность.

Как и остальные конденсаторы, АЭ конденсаторы состоят из двух проводящих электричество обкладок, разделенных слоем диэлектрика. Один из электродов, называемый анодом, сделан из алюминиевой фольги с увеличенной эффективной площадью поверхности и покрыт диэлектрическим слоем оксида алюминия (Al_2O_3). В отличие от других конденсаторов в АЭ конденсаторах вторым электродом, называемым катодом, служит проводящая жидкость, называемая электролитом. Вторая алюминиевая фольга, называемая катодной фольгой, служит контактной поверхностью для проходящего через электролит тока.

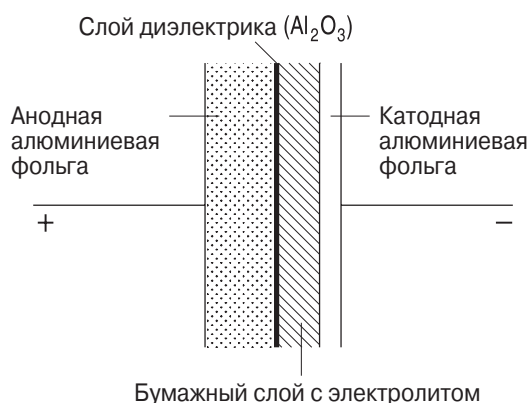


Рис. 1.
Внутреннее строение алюминиевого электролитического конденсатора

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{A}{d}$$

C	Емкость	Ф
ε_0	Абсолютная диэлектрическая постоянная	Ас/Вм
ε_r	Относительная диэлектрическая постоянная	(9.5 для Al_2O_3)
A	Площадь поверхности одного из электродов	м ²
d	Межэлектродное расстояние	м

С целью увеличения емкости анодная фольга подвергается процессу травления. Получающиеся при этом микроуглубления увеличивают эффективную площадь поверхности до 200 раз. Меняя параметры процесса травления, добиваются нужной структуры и степени травления в соответствии с требованиями.

Общее техническое описание

Полученная таким образом фольга позволяет изготавливать очень компактные АЭ конденсаторы и широко применяется в настоящее время. Хотя электрические характеристики АЭ конденсаторов с гладкой фольгой (без травления) несколько лучше, они имеют значительно бóльшие размеры и используются только для специальных целей.

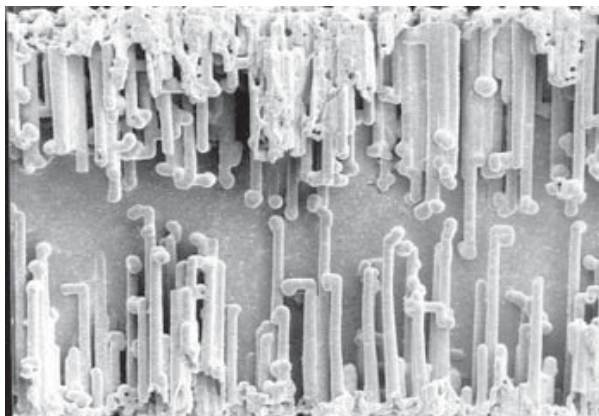


Рис. 2.
Анодная фольга для высоковольтных конденсаторов (увеличение 400х)

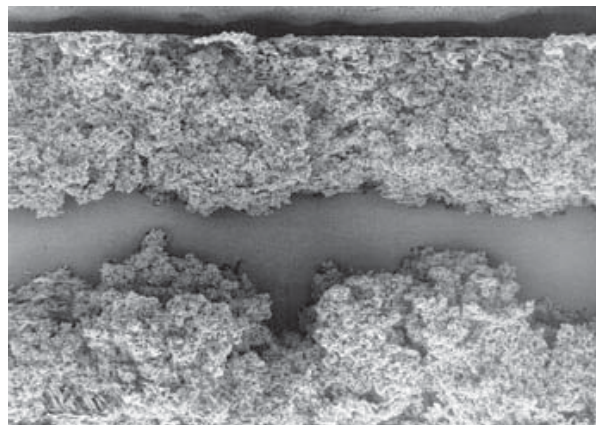
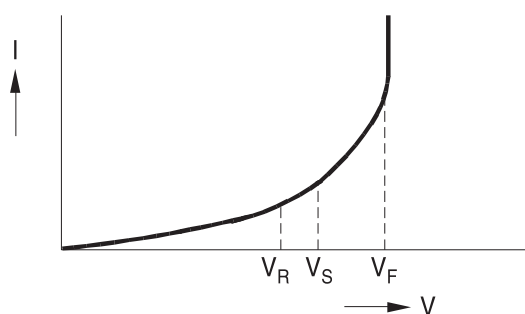


Рис. 3.
Анодная фольга для низковольтных конденсаторов (увеличение 400х)

Для получения диэлектрического слоя анод подвергается процессу окисления (формирования слоя оксида алюминия на фольге). Толщина слоя пропорциональна формирующему напряжению с коэффициентом 1.2 нм/В. Даже для высоковольтных конденсаторов толщина слоя составляет менее 1 мкм, что позволяет получить очень маленькое межэлектродное расстояние. Это одна из причин высокой удельной емкости АЭ конденсаторов (например, минимальная толщина бумажного диэлектрика равна 6...8 мкм).

Стенки полученных при травлении микроуглублений будут покрываться слоем оксида, толщина которого будет определяться величиной формирующего напряжения. Таким образом, требуемые размеры микроуглублений, а значит, и параметры химического травления будут зависеть от диапазона рабочих напряжений конденсатора.

При увеличении напряжения на конденсаторе сопротивление оксидного слоя уменьшается, что приводит к быстрому росту тока. Вид вольт-амперной характеристики конденсатора приведен на Рис. 4.



V_R — Номинальное напряжение
 V_S — Напряжение перенапряжения
 V_F — Напряжение формирования

Рис. 4.
Вольт-амперная характеристика алюминиевого электролитического конденсатора

Когда напряжение на конденсаторе превышает величину формирующего напряжения, процесс формирования начинается заново, сопровождаясь выделением большого количества газа и теплоты. На графике этот эффект отображается в виде излома кривой при $V = V_F$. Для обеспечения высокой безопасности работы конденсатора номинальное напряжение V_R должно находиться на квазилинейном участке вольт-амперной характеристики. Если конденсатор подвергается импульсному напряжению V_S в течение коротких периодов времени, то значение V_S должно лежать между номинальным и формирующим напряжением. Таким образом, надежность конденсатора существенно зависит от разности между формирующим и рабочим напряжением (так называемого сверханодирования). Высокое сверханодирование позволяет производить высоконадежные конденсаторы, обозначаемые в соответствии с МЭК 60384-1 как тип «LL» (с увеличенным сроком службы).

Так как в электролитических конденсаторах в качестве катода используется жидкость, они также называются «жидкостными» или «нетвердотельными» конденсаторами. Преимущество жидкости состоит в том, что она заполняет собой микроуглубления травления, оптимально вписываясь в структуру анода.

Две алюминиевые фольги отделены друг от друга слоем бумаги. Бумажная прослойка выполняет в конденсаторе несколько функций. Она является носителем электролита, которым предварительно пропитывается. Кроме того, она механически разделяет анод и катод, защищая их от короткого замыкания и обеспечивая необходимую диэлектрическую изоляцию между фольгой анода и катода.

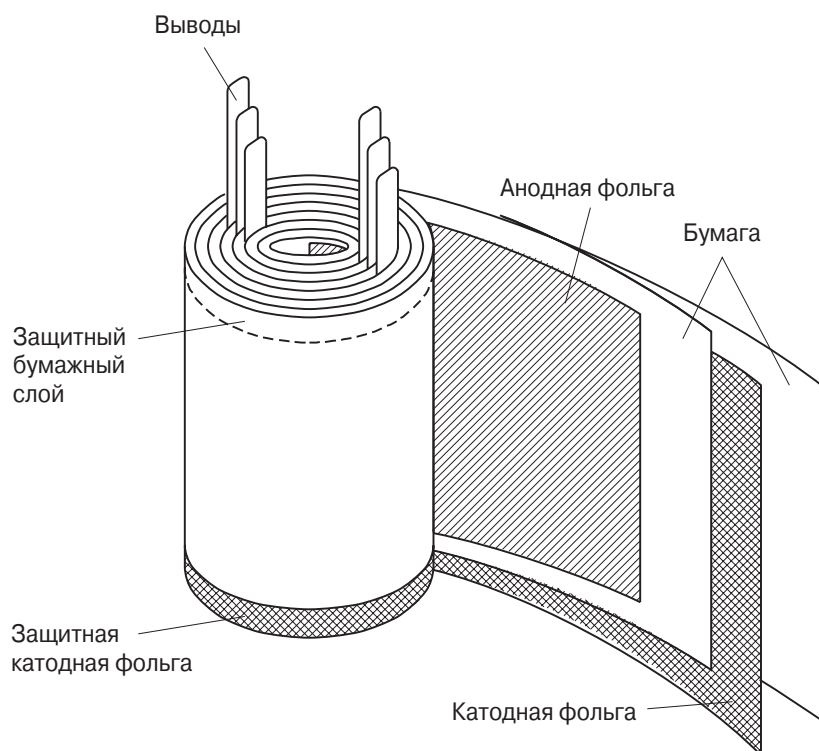


Рис. 5.
Строение намотки алюминиевого электролитического конденсатора

АЭ конденсатор, имеющий описанное выше строение, будет работать правильно только при подключении анода, имеющего сформированную фольгу, к положительному полюсу, а катода — к отрицательному полюсу. Противоположная полярность вызовет электролитический процесс, который приведет к формированию диэлектрического слоя на фольге катода. При этом может произойти разрушение конденсатора, вызванное сильным разогревом и выделением большого количества газа. Кроме того, емкость катода, которая включена последовательно с емкостью анода, с ростом оксидного слоя на катоде будет резко падать, что приведет к значительному уменьшению емкости конденсатора.

В связи с этим электролитический конденсатор описанной конструкции может работать только с постоянным напряжением. На постоянное напряжение может накладываться переменное пульсирующее напряжение, но при этом на аноде всегда должен быть плюс. Такие конденсаторы называются полярными, и именно они используются в большинстве применений.

Хотя полярные конденсаторы не допускают переполюсовки, обратная полярность до 1.5 В допустима на короткие промежутки времени, так как формирование оксидного слоя на катоде при этом напряжении только начинается. (Это связано с тем, что фольга катода покрыта воздушно-оксидным слоем, который соответствует анодированному диэлектрическому слою и имеет напряжение пробоя приблизительно 1.5 В.)

2. Стандарты и спецификации

2.1. Конденсаторы общего назначения и с увеличенным сроком службы

АЭ конденсаторы с точки зрения надежности делятся на две основные группы: конденсаторы повышенной надежности и конденсаторы общего назначения. Это разделение также зафиксировано в соответствующем стандарте МЭК.

В документах МЭК АЭ конденсаторы повышенной надежности определяются как «изделие с длительным сроком службы». Такие конденсаторы маркируются обозначением «LL». Кроме «сверханодирования», описанного в разд. 1, применяются и другие меры для повышения надежности. Так, для изготовления высоконадежных конденсаторов отбираются еще более чистые материалы. Дополнительное усложнение конструкции таких конденсаторов влияет как на размер корпуса, так и на цену.

АЭ конденсаторы общего применения в документах МЭК имеют категорию общего назначения.

2.2. Стандарты

Международным стандартом для алюминиевых электролитических конденсаторов является МЭК 60384-4, который в Германии известен как DIN IEC 60384-4. В будущем немецкие стандарты будут приведены в соответствие со стандартом МЭК или стандартом EN 130300, который имеет то же самое техническое содержание, что и стандарт МЭК.

Общее техническое описание

Упомянутые выше отраслевые спецификации дополняются рядом частных технических условий, которые касаются конкретных типов конструкции (например, электролитические конденсаторы с аксиальными гибкими выводами). Часто эти детальные спецификации устанавливают лучшие электрические параметры, чем отраслевые спецификации. Детальные спецификации также включают максимально допустимые размеры для заданных значений емкости и номинального напряжения.

Номинальные емкости, перечисленные в последних спецификациях, соответствуют ряду E3 или E6. Номинальные значения напряжения стандартизированы в соответствии с рядом R5, в особых случаях номинальное напряжение выбирается исходя из конкретных требований.

К алюминиевым электролитическим конденсаторам с жидким электролитом применимы следующие стандарты:

МЭК 60384-1 (идентичен с DIN EN 60384-1, EN 60384-1):

Общая спецификация:

Конденсаторы постоянной емкости для использования в электронном оборудовании

МЭК 60384-4 (идентичен с DIN IEC 60384-4, EN 130300):

Частичная (выборочная) спецификация:

Алюминиевые электролитические конденсаторы с твердым и жидким электролитом

МЭК 60384-4-1 (идентичен с DIN IEC 60384-4-1, EN 130300):

Полная детальная спецификация спецификация:

Алюминиевые электролитические конденсаторы с жидким электролитом

В докладе R040-001 Европейского комитета стандартизации электротехники (CENELEC) «Руководство по применению алюминиевых электролитических конденсаторов» приводятся важные замечания относительно правильного использования АЭ конденсаторов.

Общее техническое описание

Технические характеристики АЭ конденсаторов, производимых EPCOS, соответствуют подробным спецификациям CECC (если таковые имеются). Приведенная ниже таблица устанавливает связь между сериями конденсаторов EPCOS и соответствующим стандартом CECC.

Номер спецификации CECC	Сопоставимые серии и типы конструкций конденсаторов EPCOS
CECC 30301-801	B43697 B43698 B43699
CECC 30301-802	B41691, B41791 B41692, B41792 B41693, B41793 B41694, B41794 B41695, B41795 B41696, B41796 B43693, B43793
CECC 30301-803 CECC 30301-807	B43455, B43457 B43456, B43458 B43560, B43580 B43564, B43584
CECC 30301-804	B41554 B41550, B41570
CECC 30301-805	B43510, B43520 B43511, B43521
CECC 30301-806	B41303 B43305
CECC 30301-808	B43514, B43524
CECC 30301-809	B41605 B41607 B43504 B43505 B43508
CECC 30301-810	B41456, B41458 B41560, B41580 B43454, B43474
CECC 30301-811	B43501 B43540

3. Электрические параметры

3.1. Напряжение

3.1.1. Номинальное напряжение V_R

Номинальное напряжение V_R — постоянное напряжение, на которое рассчитан конденсатор и которое указано на его корпусе. АЭ конденсаторы с номинальным напряжением менее 100 В относятся к низковольтным, более 100 В — к высоковольтным (см. разд. 15).

3.1.2. Рабочее напряжение V_{op}

Непрерывная работа конденсаторов возможна при значениях полного напряжения (с учетом наложенного пульсирующего напряжения) от 0 В вплоть до номинального значения во всем диапазоне рабочих температур. Допускаются короткие импульсы обратного напряжения до -1.5 В (см. разд. 3.1.6).

3.1.3. Импульсное напряжение V_S

Импульсное напряжение — максимальное кратковременное напряжение (до 5 раз по 1 мин. в течение часа), которое может выдержать конденсатор. МЭК 60384-4 определяет величину импульсного напряжения через номинальное значение следующим образом:

для $V_R \leq 315$ В — $V_S = 1.15 \cdot V_R$;

для $V_R > 315$ В — $V_S = 1.10 \cdot V_R$

3.1.4. Переходные процессы

Некоторые типы конденсаторов EPCOS могут выдерживать выбросы напряжения, превышающие значение импульсного напряжения V_S . Параметры переходных процессов сильно зависят от конкретного применения, поэтому величина допустимого импульсного напряжения рассчитывается исходя из требований заказчика.

3.1.5. Наложённое переменное напряжение

Чтобы наложенное на постоянный уровень переменное напряжение, называемое пульсирующим напряжением, не нарушало нормальную работу конденсатора, необходимо, чтобы:

- сумма постоянного и наложенного переменного напряжения не превышала номинального значения;
- пульсации тока не превышали номинального значения (см. разд. 4);
- полярность напряжения не изменялась.

3.1.6. Обратное напряжение

Так как АЭ конденсаторы являются полярными приборами, нужно следить за соблюдением полярности. При необходимости для предотвращения изменения полярности параллельно конденсатору подключается диод. Прямое падение напряжения на диоде составляет приблизительно 0.8 В, что допустимо. Также допускается обратное напряжение до 1.5 В продолжительностью менее 1 с, если режим работы не является непрерывным.

3.2. Емкость

3.2.1. Емкость по переменному и постоянному току

Для определения емкости конденсатора можно использовать как переменное напряжение, так и постоянное. В первом случае измеряется комплексное сопротивление конденсатора переменному току, во втором — измеряется заряд на конденсаторе при определенном постоянном напряжении. Емкость, измеренная по постоянному току, оказывается в 1.1...1.5 раза больше емкости по переменному току, причем максимальное расхождение наблюдается для низковольтных конденсаторов.

Если конденсаторы используются для сглаживания пульсаций или связи по переменному току, то обычно определяют емкость по переменному току.

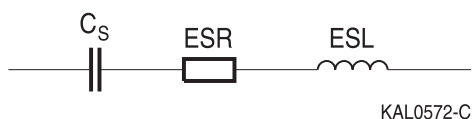


Рис. 6.

Упрощенная эквивалентная схема электролитического конденсатора

Для этого измеряется емкостная составляющая эквивалентной последовательной схемы (последовательная емкость C_S) при напряжении до 0.5 В. Так как емкость по переменному току зависит от частоты и температуры измерения, то стандартами МЭК 60384-1 и МЭК 60384-4 определены частоты измерения 100 и 120 Гц при температуре 20 °С (по требованию могут использоваться другие значения).

Если конденсатор применяется в таймерах или схемах разряда, то важнее знать емкость по постоянному току. Если известна емкость по переменному току, то для определения емкости по постоянному току используются коэффициенты пересчета.

Если же все-таки требуется измерить точную емкость по постоянному току, то используется метод однократного заряда и разряда конденсатора. Описание метода дано в отдельном стандарте DIN 41328-4, так как общие стандарты МЭК не содержат спецификаций для определения емкости по постоянному току.

3.2.2. Номинальная емкость C_R

Номинальная емкость C_R — это емкость по переменному току, на которую спроектирован конденсатор и которая указана на его корпусе. Значения емкости определяются в соответствии со стандартами МЭК 60384-1 и МЭК 60384-4. Значения номиналов берутся из стандартных рядов E3 или E6.

В соответствии со стандартом МЭК 60384-4 емкость C_R конденсаторов EPCOS определяется на частоте 100 или 120 Гц при температуре 20 °С.

3.2.3. Допуск емкости

Допуск емкости — это диапазон, в пределах которого фактическая величина емкости конкретного конденсатора может отклоняться от своего номинального значения. Для указания допуска на самом конденсаторе используются условные обозначения в соответствии с МЭК 60062, которые также указываются в коде заказа (см. разд. 13 «Маркировка конденсаторов»).

3.2.4. Зависимость емкости от температуры

При снижении температуры увеличивается емкость электролита, что приводит к уменьшению емкости. Типовые зависимости емкости от температуры для разных напряжений приведены на Рис. 7.

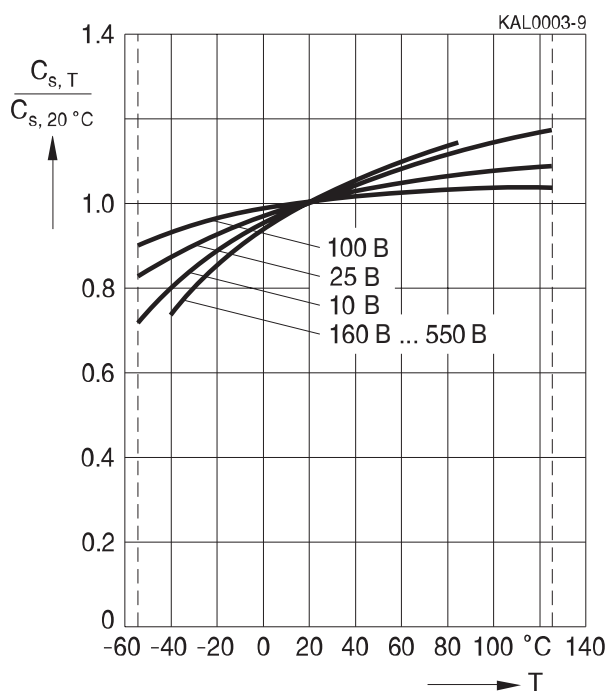


Рис. 7.
Нормированная зависимость величины емкости C_S от температуры
(относительно емкости по переменному току при 20 °C и 100 Гц)

Для низковольтных конденсаторов эта характеристика имеет более высокую крутизну, так же как и для конденсаторов с более глубоким травлением анодной фольги.

Для работы при температурах значительно ниже нуля используется специальный электролит, которому соответствует самая пологая кривая на Рис. 7.

При измерении емкости методом постоянного тока температурная зависимость оказывается менее выраженной, чем при использовании переменного тока.

3.2.5. Зависимость емкости от частоты

Значение емкости по переменному току зависит не только от температуры, но и от частоты измерения. На Рис. 8 приведены типовые зависимости емкости от частоты. Для частот, на которых емкостная составляющая эквивалентной схемы является доминирующей, значение емкости может быть получено, используя зависимость полного сопротивления конденсатора от частоты:

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot Z}$$

C — Емкость F
f — Частота Гц
Z — Импеданс Ом

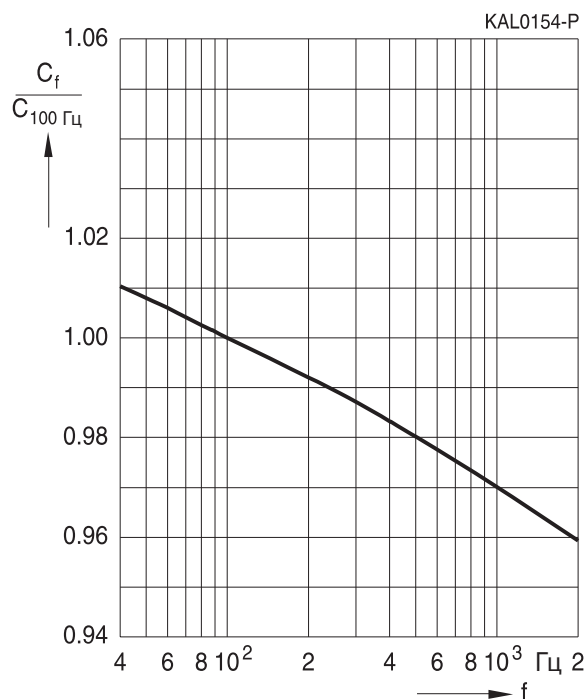


Рис. 8.
Типовая нормированная зависимость емкости C от частоты f

3.2.6. Испытание на заряд-разряд

Частые циклы заряда/разряда могут привести к уменьшению емкости конденсатора. Исходя из особенностей строения АЭ конденсаторов, EPCOS проводит испытания своих конденсаторов на устойчивость к многократным циклам заряда-разряда. Испытания проводятся в соответствии со стандартом МЭК 60384-4 и гарантируют, что 10⁶ циклов переключения вызовут уменьшение емкости не более чем на 10%.

3.3. Тангенс угла потерь $\tan \delta$

Тангенс угла потерь $\tan \delta$ — это отношение эквивалентного последовательного сопротивления к реактивной емкостной составляющей в эквивалентной последовательной схеме, которое можно рассматривать также как отношение мощности потерь к реактивной мощности для синусоидальных напряжений.

Для проведения измерений используется та же модель, что и для определения последовательной емкости C_S (см. Рис. 6). Стандарт МЭК 60384-4 определяет следующие максимальные значения:

Номинальное напряжение	$4 \text{ В} < V_R \leq 10 \text{ В}$	$10 \text{ В} < V_R \leq 2.5 \text{ В}$	$25 \text{ В} < V_R \leq 63 \text{ В}$	$63 \text{ В} < V_R$
Максимальное значение для тангенса угла потерь на 100 Гц (стандарт МЭК 60384-4)	0.5	0.35	0.25	0.20

Приведенные значения касаются конденсаторов с максимальным зарядом 100000 мкКл. Для конденсаторов с более высокими максимальными зарядами тангенс угла потерь возрастает пропорционально величине заряда.

3.3.1. Зависимость тангенса угла потерь от частоты и температуры

Так как тангенс угла потерь зависит от емкости, значит, он зависит и от частоты, и от температуры. На Рис. 9, 10 и 11 приведены примеры этих зависимостей для обычно используемых низковольтных и высоковольтных электролитических конденсаторов.

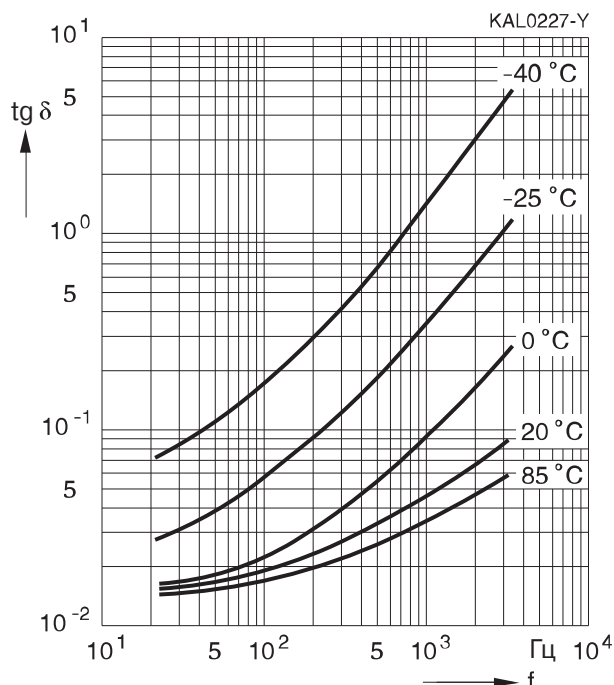


Рис. 9.
Зависимость $\tan \delta$ от частоты и температуры для низковольтного АЭ конденсатора на 100 мкФ/63 В

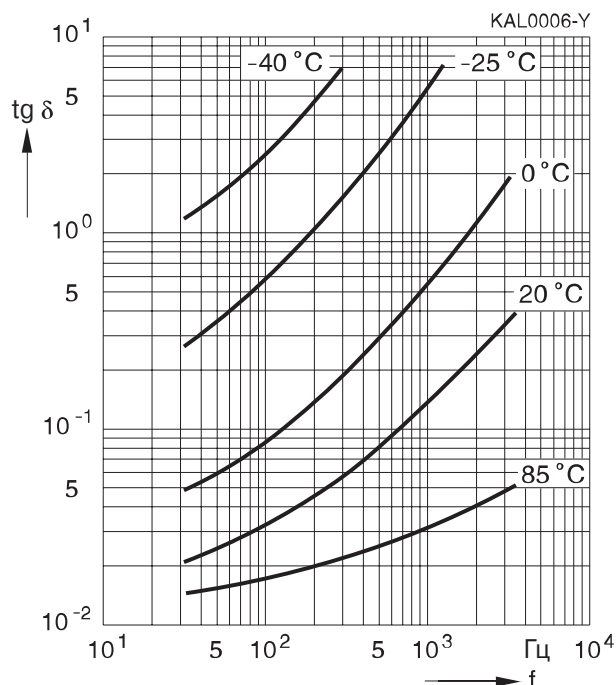


Рис. 10.
Зависимость $\tan \delta$ от частоты и температуры для высоковольтного АЭ конденсатора на 47 мкФ/350 В

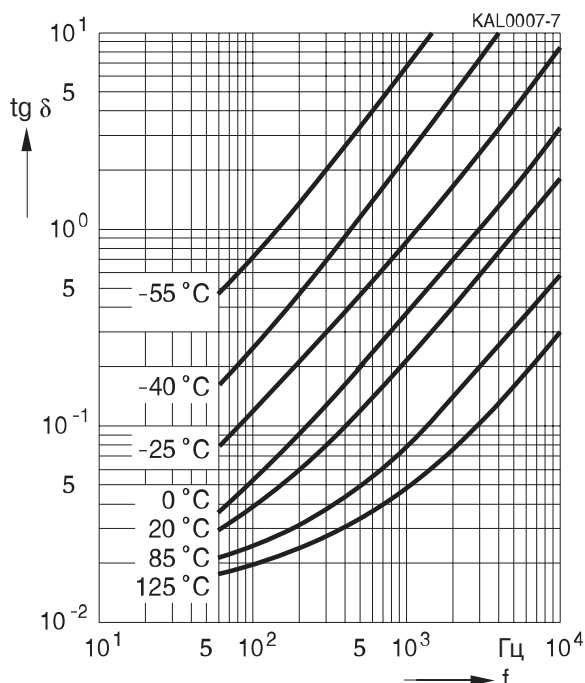


Рис. 11.

Зависимость $\text{tg } \delta$ от частоты и температуры
для низковольтного АЭ конденсатора «SIKOREL 125» на 200 мкФ/40 В

3.4. Собственная индуктивность ESL

Собственная индуктивность конденсатора включает в себя индуктивность выводов и индуктивность внутренней конструкции конденсатора. Она представлена индуктивной составляющей в эквивалентной последовательной схеме на Рис. 6.

3.5. Эквивалентное последовательное сопротивление (ESR)

Эквивалентное последовательное сопротивление (ESR) представлено резистивным компонентом на эквивалентной последовательной схеме. Значение ESR зависит от частоты и температуры и связано с тангенсом угла потерь следующим уравнением:

$$\text{ESR} = \frac{\text{tg } \delta}{\omega \cdot C_S},$$

где ESR — эквивалентное последовательное сопротивление, Ом

$\text{tg } \delta$ — тангенс угла потерь

C_S — последовательная емкость, Ф

При вычислении ESR необходимо учитывать допуски на номинальную емкость конденсатора.

3.6. Полное сопротивление Z

Полное сопротивление конденсатора (импеданс) определяется следующими компонентами последовательной эквивалентной схемы, изображенной на Рис. 12:



Рис. 12.

Упрощенная эквивалентная схема электролитического конденсатора

- 1) емкостное реактивное сопротивление $1/\omega_S$ емкости C_S ,
- 2) диэлектрические потери и омическое сопротивление электролита и выводов (ESR),
- 3) индуктивное реактивное сопротивление ωSL обмотки и выводов конденсатора.

Индуктивное реактивное сопротивление ωSL зависит только от частоты, тогда как $1/\omega_{CS}$ и ESR зависят и от частоты, и от температуры.

Полный импеданс конденсатора определяется характеристиками резистивных и реактивных компонентов. Типовые зависимости полного сопротивления конденсатора от частоты и температуры представлены на Рис. 13 и 14 и имеют следующие особенности:

- Емкостное реактивное сопротивление преобладает на низких частотах.
- С увеличением частоты емкостное реактивное сопротивление ($X_C = 1/\omega_S$) уменьшается, пока не достигнет величины сопротивления электролита.
- На более высоких частотах при постоянной температуре (см. кривую для 20 °C) преобладает сопротивление электролита.
- На резонансной частоте реактивное сопротивление обращается в нуль, так как емкостное и индуктивное реактивное сопротивление взаимно вычитаются.
- Выше резонансной частоты индуктивное сопротивление обмотки и выводов ($X_L = \omega$) начинает преобладать над емкостным, и полный импеданс начинает увеличиваться.

С уменьшением температуры сопротивление электролита довольно быстро увеличивается, что хорошо заметно для низкотемпературных кривых на Рис. 13 и 14, особенно на низких частотах.

Конкретные значения импеданса даются в соответствующих технических описаниях.

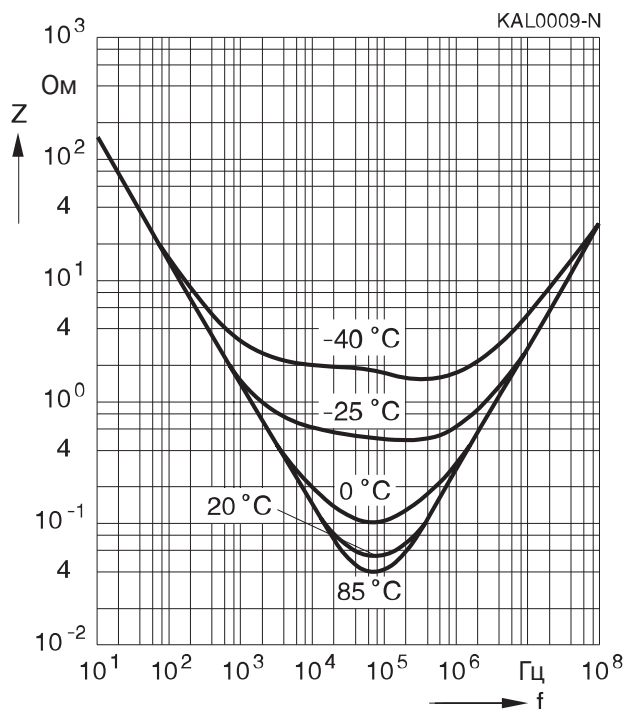


Рис. 13.
Упрощенная зависимость импеданса
от частоты и температуры (100 мкФ/63 В)

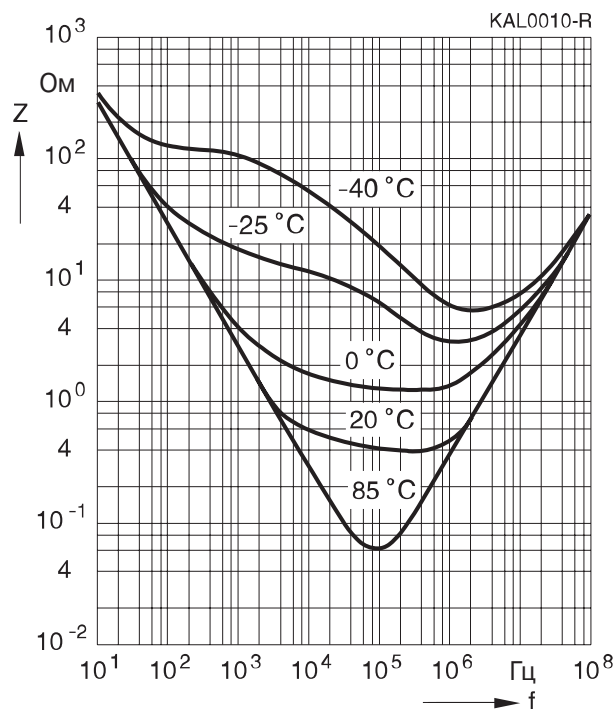


Рис. 14.
Упрощенная зависимость импеданса
от частоты и температуры (47 мкФ/350 В)

3.7. Ток утечки I_{leak}

Ток утечки обусловлен специфическими свойствами слоя оксида алюминия, который служит диэлектриком в АЭ конденсаторах. Поэтому даже спустя длительное время после подачи на конденсатор постоянного напряжения небольшой ток утечки будет продолжать течь через конденсатор. Чем меньше этот ток, тем лучше спроектирован слой диэлектрика.

3.7.1. Зависимость тока утечки от времени и температуры

В первые минуты после подачи напряжения на конденсатор наблюдается начальный бросок тока утечки (см. Рис. 15), особенно если перед этим конденсатор долгое время хранился без подачи на него напряжения. Если напряжение остается на конденсаторе продолжительное время, ток утечки уменьшается и достигает почти постоянного (установившегося) значения.

На Рис. 16 показана зависимость тока утечки от температуры для конденсатора, рассчитанного на 85 °C.

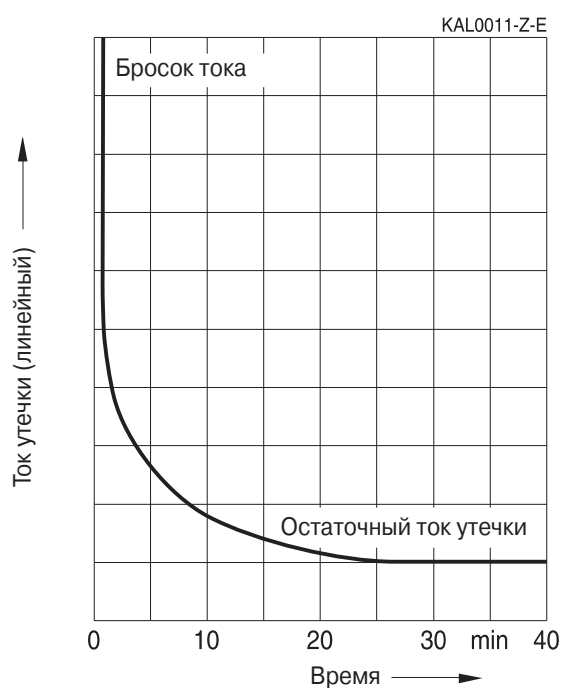


Рис. 15.
Зависимость тока утечки от времени,
в течение которого приложено напряжение

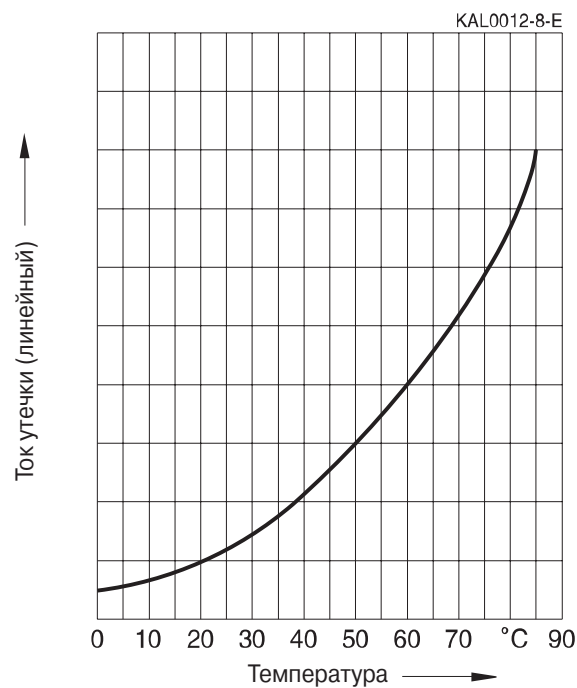


Рис. 16.
Зависимость тока утечки от температуры

3.7.2. Зависимость тока утечки от напряжения на конденсаторе

На Рис. 17 схематично изображена зависимость тока утечки от приложенного напряжения при постоянной температуре.

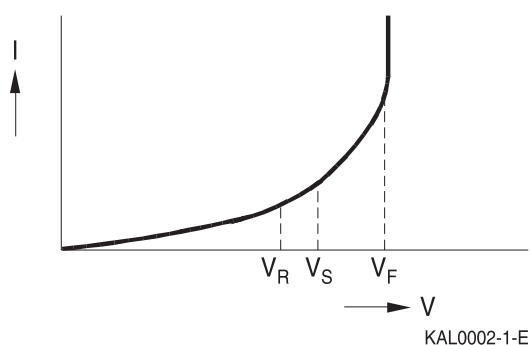


Рис. 17.
Зависимость тока утечки от напряжения

3.7.3. Рабочий ток утечки $I_{\text{leak,op}}$

Рабочий ток утечки — это установившееся значение тока утечки после долгой и непрерывной работы. Для АЭ конденсаторов компании EPCOS значение $I_{\text{leak,op}}$ можно вычислить по приведенной ниже формуле, которая дана для температуры 20 °C.

Для конденсаторов типа LL (с увеличенным сроком службы):

$$I_{\text{leak,op}} = \frac{0.0005 \text{ мкА}}{\text{мкФ} \cdot \text{В}} \cdot C_R \cdot V_R + 1 \text{ мкА}.$$

Для конденсаторов типа GP (общего назначения):

$$I_{\text{leak,op}} = \frac{0.001 \text{ мкА}}{\text{мкФ} \cdot \text{В}} \cdot C_R \cdot V_R + 3 \text{ мкА},$$

где $I_{\text{leak,op}}$ — рабочий ток утечки;

C_R — номинальная емкость;

V_R — номинальное напряжение.

Приведенные формулы соответствуют номинальному напряжению V_R и температуре 20 °C.

Для других температур полученный результат надо умножить на соответствующие коэффициенты, которые определены в стандартах DIN 41240 и DIN 41332 и приведены в помещенной ниже таблице.

Температура (°C)	0	20	50	60	70	85	125
Коэффициент (типовое значение)	0.5	1	4	5	6	10	12.5

Исключение составляет тип «SIKOREL», для которого надо использовать следующие значения:

Температура (°C)	0	20	55	70	85	105	125
Коэффициент (типовое значение)	0.7	1	2	3	4	5	8

Если приложенное напряжение ниже номинального, то рабочий ток утечки уменьшается в соответствии с приведенной ниже таблицей.

Рабочее напряжение, в % от номинального напряжения V_R	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Типовые значения, в % от рабочего тока утечки $I_{\text{leak,op}}$ (для конденсаторов общего назначения)	3	6	9	14	18	25	40	50	100
Типовые значения, в % от рабочего тока утечки $I_{\text{leak,op}}$ (для конденсаторов с увеличенным сроком службы)	8	14	17	23	30	40	50	70	100

3.7.4. Приемные испытания тока утечки I_{leak}

В связи с зависимостью тока утечки от времени и температуры необходимо задать начальные условия при проведении измерений. В соответствии с EN 130300 ток утечки должен измеряться при 20 °C по истечении 5 минут после приложения номинального напряжения. Измеренное значение сравнивается со значением, полученным из формулы

$$I_{\text{leak}} \leq 0.3 \text{ мкА} \cdot \left(\frac{C_R}{\text{мкФ}} \cdot \frac{V_R}{\text{В}} \right)^{0.7} + 1 \text{ мкА}.$$

Приемные испытания можно проводить и при других значениях температуры в диапазоне от 15 до 35 °C, используя пересчетные коэффициенты из приведенной ниже таблицы:

Температура (°C)	15	20	25	30	35
Коэффициент (значение директивы)	0.8	1	1.5	2	2.5

Поверочные испытания должны проводиться при 20 °C.

3.7.5. Повторное формирование

Согласно МЭК 60384-4 перед приемными испытаниями АЭ конденсаторы необходимо подвергнуть процессу повторного формирования. Это делается для того, чтобы обеспечить одинаковое начальное состояние конденсаторов перед испытаниями и дать возможность сравнивать полученные результаты для разных типов конденсаторов.

Повторное формирование заключается в подаче на конденсатор в течение одного часа номинального напряжения через последовательное сопротивление 100 Ом для $V_R < 100 \text{ В}$ или 1000 Ом для $V_R > 100 \text{ В}$.

По окончании формирования конденсаторы выдерживаются без напряжения в течение 12...48 часов при температуре 15...35 °C. Ток утечки должен быть измерен не позднее 48 часов после процесса формирования.

Если конденсаторы удовлетворяют требованиям для тока утечки без повторного формирования, то предварительную подготовку можно не выполнять.

3.7.6. Зависимость тока утечки от времени хранения без напряжения

При длительном хранении АЭ конденсаторов без приложенного напряжения, особенно при высоких температурах, состояние окисного слоя может ухудшиться. Это связано с тем, что при наличии напряжения ток утечки переносит ионы кислорода к аноду, восстанавливая оксидный слой. Поэтому при подаче напряжения на конденсатор после длительного хранения в нем будет наблюдаться повышенный ток утечки. По мере восстановления оксидного слоя ток утечки будет приближаться к своему нормальному уровню.

АЭ конденсаторы можно хранить без напряжения до двух лет, а конденсаторы серии SIKOREL — до 15 лет без ухудшения их качества. Если разрешенное время хранения не превышено, то на конденсаторы сразу можно подавать номинальное напряжение без проведения повторного формирования, описанного в разд. 3.7.5.

При проектировании схем, включающих АЭ конденсаторы, необходимо учитывать, что в первые минуты после включения ток утечки конденсаторов может в 100 раз превышать номинальный.

При использовании конденсаторов со сроком хранения больше двух лет очень важно знать, рассчитана ли схема на высокие начальные токи утечки. Если устройство, содержащее АЭ конденсаторы, хранилось более двух лет, его нужно включить в рабочее состояние на один час, после чего хранение может быть продолжено.

3.8. Электрическая прочность и сопротивление изоляции изолирующего покрытия

Большинство АЭ конденсаторов, изготовленных EPCOS, покрыто изолирующей пленкой, которая выдерживает не менее 2500 В переменного напряжения и 3500 В постоянного напряжения. Порядок проведения испытаний на электрическую прочность описан в МЭК 60384-4.

При обращении с конденсаторами необходимо соблюдать осторожность, чтобы не повредить изолирующую пленку, особенно при использовании кольцевых зажимов для установки.

Изолирующая оболочка имеет сопротивление изоляции не менее 100 МОм. Порядок проверки сопротивления изоляции также описан в МЭК 60384-4.

Для конденсаторов с верхней рабочей температурой +85 °С и +105 °С используется укороченная изолирующая пленка из поливинилхлорида, некоторые типы могут иметь герметичное покрытие из полиэстера. Конденсаторы с верхней рабочей температурой +125 °С имеют стандартное герметичное покрытие из полиэстера.

4. Пульсирующий ток

4.1. Общие положения

Под пульсирующим током понимается среднеквадратичное значение переменного тока, вызванного пульсирующим напряжением. Максимально допустимое значение пульсаций тока зависит от температуры окружающей среды, площади поверхности конденсатора, через которую рассеивается тепло, тангенса угла потерь $\tan \delta$ (или ESR) и частоты пульсирующего тока.

Длительность срока службы конденсатора в сильной степени зависит от теплового режима его эксплуатации. Поэтому пульсации тока, сопровождаемые выделением тепла, существенно влияют на продолжительность срока службы. При вычислении этого срока используют диаграммы зависимости срока службы от температуры окружающей среды T_A , которые приводятся в технических описаниях (см. разд. 5.3).

С учетом тепла, вызванного пульсациями тока, для некоторых применений может потребоваться конденсатор с более высоким номинальным напряжением или номинальной емкостью, чем требуют электрические параметры устройства.

4.2. Зависимость пульсирующего тока от частоты

Величина пульсирующего тока зависит от тангенса угла потерь, связанного с эквивалентным последовательным сопротивлением. В свою очередь тангенс угла потерь зависит от частоты приложенного напряжения. В результате пульсирующий ток также зависит от частоты. Обычно в технических описаниях приводятся значения максимально допустимого тока пульсаций для частоты 100 или 120 Гц, в некоторых случаях — для частоты 10 или 20 кГц. Кроме того, приводится график нормированных зависимостей для пересчета на другие рабочие частоты.

4.3. Зависимость пульсирующего тока от температуры

В технических описаниях значение максимально допустимого пульсирующего тока дается для верхней границы температурного диапазона данного типа конденсаторов. Для типов с максимальной температурой выше 85 °С дополнительно приводят значения пульсирующего тока при 85 °С (для сравнения).

В технические описания также включают диаграмму с линиями постоянного значения срока службы в координатах температуры окружающей среды и нормированного пульсирующего тока, из которой можно оценить ожидаемый срок службы конденсатора в зависимости от режима работы.

5. Срок службы

Срок службы конденсатора определяется как время, в течение которого интенсивность отказов не превышает установленную. Выход из строя и уход параметров рассматриваются как окончание срока службы (см. также главу «Контроль качества и экологии», разд. 1.8).

Для некоторых устройств уход параметров конденсатора не приводит к отказу оборудования. Для этих устройств фактический срок эксплуатации оказывается больше установленного срока службы. Значения срока службы определяют либо во время полевых испытаний, либо с помощью ускоренных тестов.

Чтобы продлить срок службы, можно использовать более щадящий режим работы (например, более низкое рабочее напряжение, ток или температуру окружающей среды) или применять меры по охлаждению. Кроме стандартных серий EPCOS может изготавливать конденсаторы со сроком службы, соответствующим спецификации заказчика.

5.1. Рабочие параметры

SECC определяет срок службы конденсаторов с жидкими электролитами при следующих значениях рабочих параметров:

- номинальное напряжение;
- номинальный пульсирующий ток (пиковое значение переменного напряжения, наложенного на постоянный уровень, не должно превышать номинальное напряжение);
- номинальная температура.

5.2. Охлаждение

Указанный в технических описаниях срок службы АЭ конденсаторов соответствует естественному охлаждению (тепло от рулона обкладок рассеивается через корпус путем естественной конвекции). При использовании радиаторов, обдува или водяного охлаждения можно увеличить допустимый пульсирующий ток или продлить срок службы конденсатора. И наоборот, затрудненное охлаждение (например, из-за плотной упаковки батареи конденсаторов) или теплоизоляционная герметизация могут привести к уменьшению срока службы.

В конденсаторах с корпусом «Can»-типа для уменьшения теплового сопротивления между рулоном обкладок и основанием корпуса EPCOS устанавливает тепловой мостик.

5.2.1. Охлаждение основания при помощи радиатора

Наибольшее количество тепла рассеивается через основание корпуса, поэтому самый эффективный метод охлаждения — использование радиатора, установленного на основание конденсатора. С этой целью EPCOS предлагает специальную серию высоковольтных конденсаторов с выводами под винт, которая оптимизирована для установки радиатора на основание корпуса. Специальная конструкция включает:

- Две термопрокладки в основании. Первая, толщиной 0.5 мм, закрывает воздушный промежуток на участке основания, не покрытом изолирующей пленкой, а вторая, толщиной 0.2 мм, обеспечивает электрическую изоляцию корпуса.
- Минимизированный допуск (± 0.35 мм) на высоту корпуса конденсатора (Рис. 18) для сведения к минимуму нежелательных механических воздействий на выводы при установке нескольких конденсаторов между радиатором и шиной.
- Дополнительная канавка около основания корпуса для установки фиксирующего зажима, обеспечивающего оптимальный прижим корпуса к радиатору (рекомендуются штатные аксессуары B44030A0165B...A0190B).

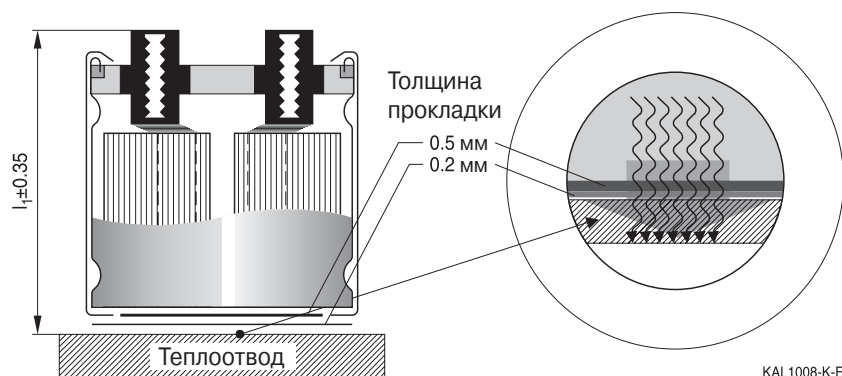


Рис. 18.

Установка радиатора для конденсаторов с выводами под винт

При охлаждении основания с помощью радиатора происходит стабилизация температурного режима. В технических описаниях для этого случая даны более высокие значения номинального переменного тока $I_{AC,R}$ (В) с учетом охлаждения основания, чем значения номинального тока $I_{AC,R}$ для естественного охлаждения. При определении срока службы в диаграммах аналогично вместо температуры окружающей среды T_A надо использовать температуру основания конденсатора T_B (см. также разд. 5.3. Вычисление срока службы).

5.2.2. Принудительное воздушное охлаждение

При естественном охлаждении тепловое сопротивление между корпусом и окружающим воздухом больше, чем внутреннее тепловое сопротивление между рулоном обкладок и корпусом. Чтобы уменьшить сопротивление между корпусом и воздухом, используют принудительное воздушное охлаждение.

Тепловое сопротивление пропорционально разнице температур ΔT . Чтобы вычислить относительное изменение теплового сопротивления, надо, не меняя электрических параметров схемы, измерить разность температур ($T_{\text{case}} - T_A$) при естественной конвекции (ΔT), затем при принудительной конвекции (ΔT^*) и вычислить отношение $\Delta T^*/\Delta T$. Используя полученное значение, из специальных графиков можно определить соответствующее ему отношение I_{AC}^*/I_{AC} , которое показывает, во сколько раз можно увеличить значение пульсирующего тока I_{AC}^* при принудительном охлаждении по сравнению с его номинальным значением I_{AC} при естественном охлаждении, не вызывая при этом изменения срока службы конденсатора.

На Рис. 19 приведены зависимости отношения I_{AC}^*/I_{AC} от измеренного отношения $\Delta T^*/\Delta T$ для различных размеров корпуса при условии, что срок службы конденсатора должен оставаться неизменным.

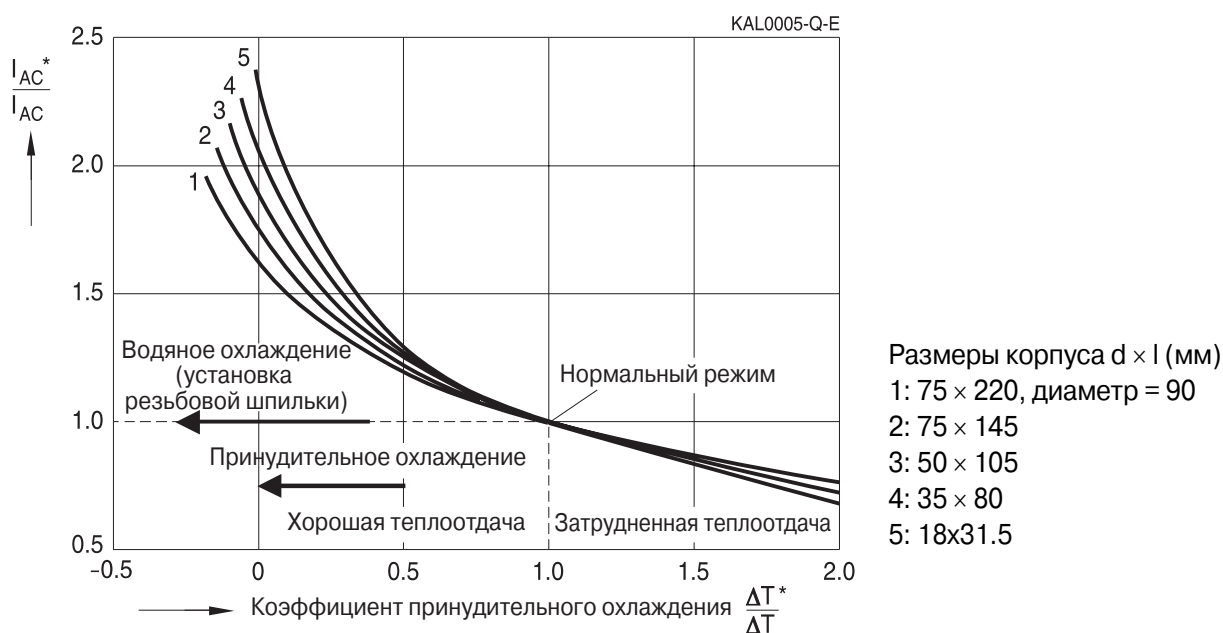


Рис. 19.

Влияние принудительного охлаждения на максимально допустимый ток пульсаций

ΔT — разница температур $\Delta T = T_{\text{case}} - T_A$,

I_{AC} — максимально допустимый пульсирующий ток при естественной конвекции,

$I_{AC}^*, \Delta T^*$ — значения для принудительного охлаждения.

Общее техническое описание

Ниже в таблице приведены типовые значения отношения разности температур, которые могут быть достигнуты при различных скоростях воздушного потока.

Скорость воздушного потока м/с	Отношение разности температур при принудительном и естественном охлаждении $\Delta T^*/\Delta T$
≈ 0.5	0.55
≈ 1.0	0.45
≈ 1.5	0.39
≈ 2.0	0.35

Нарушение конвекции ведет к уменьшению максимально допустимого тока пульсаций по сравнению с номинальным I_{AC} .

Если температура охлаждающей жидкости (например, воды или масла) ниже температуры окружающей среды, то отношение разности температур может быть уменьшено до нуля и даже стать отрицательным. Так как теплоемкость охлаждающей среды имеет конечное значение, линейные законы, используемые для расчета тепловых сопротивлений, в данном случае не применимы. Отношение разности температур начинает зависеть также и от мощности, рассеиваемой непосредственно в конденсаторе. Поэтому при использовании охлаждающей среды необходимо вычислять максимально возможную тепловую нагрузку.

5.3. Вычисление срока службы

В технических описаниях указывается номинальный пульсирующий ток $I_{AC,R}$ для верхней границы температурного диапазона (+85 °C, +105 °C или +125 °C) и для частоты 100 Гц. Для вычисления срока службы конденсатора при требуемых значениях пульсирующего тока (I_{AC}) и температуры окружающей среды используются диаграммы срока службы.

Предварительно находят нормированное значение пульсирующего тока $I_{AC}/I_{AC,R}$, равного отношению требуемого значения пульсирующего тока к номинальному. Затем, используя диаграмму срока службы, находят изокривую, проходящую через точку с заданной температурой окружающей среды и вычисленным нормированным значением пульсирующего тока. Соответствующий этой кривой срок службы и будет искомым. Если ни одна кривая не проходит непосредственно через нужную точку, то значение аппроксимируется, используя ближайшие кривые.

Если частота пульсирующего тока отличается от 100 Гц (которой соответствует номинальное значение тока), то при расчете срока службы необходимо использовать пересчетный коэффициент на нужную частоту. Для этого в технических описаниях для каждой серии конденсаторов приводятся точные графики зависимости нормированных значений пульсирующего тока $I_{AC,f}/I_{AC,100 \text{ Гц}}$ от частоты.

Общее техническое описание

Ниже приводятся примеры расчетов для конденсаторов серии В43564/В43584 с верхней границей температурного диапазона +85 °С. Расчеты проводились для конденсатора со следующими паспортными данными:

Серия В43564 / В43584

V_R , В (DC)	C_R , 100 Гц, 20 °С, мкФ	Размеры корпуса, $d \times l$, мм	ESR_{typ} , 100 Гц, 20 °С, мОм	ESR_{max} , 100 Гц, 20 °С, мОм	Z_{max} , 10 кГц, 20 °С, мОм	$I_{AC,max}$, 100 Гц, 40 °С, А	$I_{AC,R}$, 100 Гц, 85 °С, А	$I_{AC,R(B)}$, 100 Гц, 85 °С, А	Код заказа
400	6800	76.9×143.2	18	27	20	46	17.1	29.7	В435*4А9688 М00#

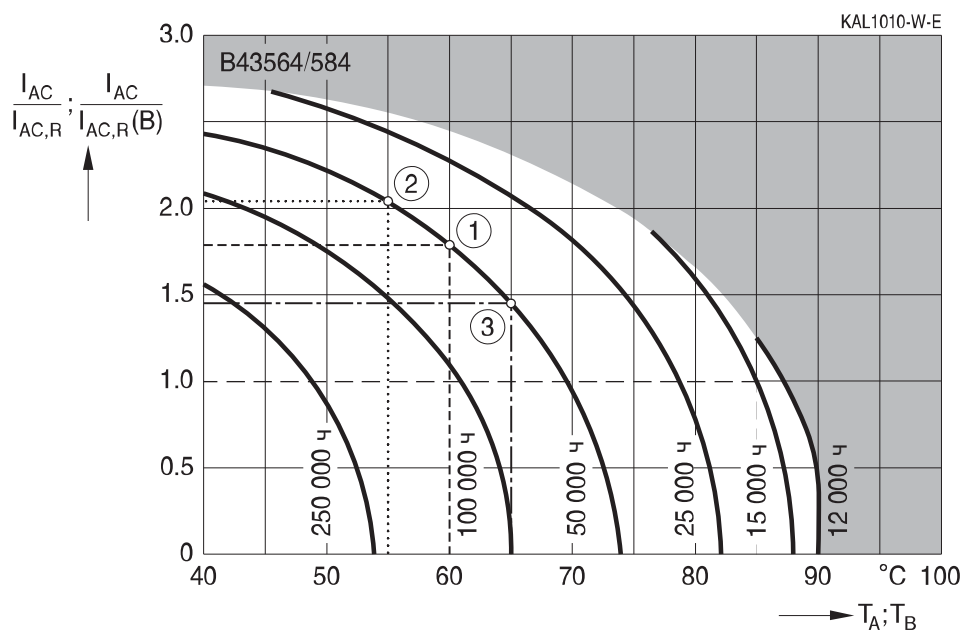


Рис. 20.

Изолинии срока службы для температуры окружающей среды T_A при естественном охлаждении и от температуры основания конденсатора T_B при использовании теплоотвода (серия В43564/В43584)

Пример 1. Вычисление срока службы

Рассчитать срок службы конденсатора в преобразователе частоты со следующими параметрами:

Пульсирующий ток	42 А
Частота	300 Гц
Температура окружающей среды	60 °С

Из графика зависимости нагрузочной способности по току I_{AC} от частоты (см. описание серии В43564 / В43584) находим множитель для частоты 300 Гц — 1.24 и пересчитываем пульсирующий ток на частоту 100 Гц по формуле

$$\frac{42 \text{ А}}{1.24} = 34.2 \text{ А}.$$

Затем определяем нормированное значение пульсирующего тока, используя получающийся эквивалентный пульсирующий ток:

$$\frac{I_{AC}}{I_{AC,R}} = \frac{34.2 \text{ А}}{18.8 \text{ А}} \cong 1.8.$$

На диаграмме срока службы находим изолинию, которая проходит через точку с нормированным значением пульсирующего тока 1.8 и температурой окружающей среды 60 °С. Срок службы, соответствующий этой кривой, и будет искомым:

50 000 ч (см. точку (1) на Рис. 20).

Пример 2. Проверка срока службы при пульсирующем токе с разными частотами

Во многих применениях на конденсаторе складываются пульсирующие токи разных частот. В качестве примера проверим срок службы конденсатора для следующих токов:

Ток I_1 : частота — 300 Гц, среднеквадратичное значение — 46 А

Ток I_2 : частота — 3 кГц, среднеквадратичное значение — 17 А

Температура окружающей среды — 55 °C

Необходимый срок службы — 50000 ч

Из графика нагрузочной способности по току I_{AC} (см. описание серии B43564/B43584) находим множители для частоты 300 Гц — 1.24 и частоты 3 кГц — 1.4. Пересчитываем значения пульсирующих токов на частоту 100 Гц:

$$I_1 = \frac{46 \text{ A}}{1.24} = 37.1 \text{ A}, I_2 = \frac{17 \text{ A}}{1.4} = 12.1 \text{ A}$$

и находим среднеквадратичное значение суммы токов, используя формулу

$$I_{\text{total,RMS}} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2} = \sqrt{(37.1 \text{ A})^2 + (12.1 \text{ A})^2} = 39 \text{ A}.$$

Затем определяем нормированное значение пульсирующего тока, используя получившийся суммарный пульсирующий ток:

$$\frac{I_{AC}}{I_{AC,R}} = \frac{39 \text{ A}}{18.8 \text{ A}} \cong 2.07.$$

На диаграмме срока службы находим изокривую, которая проходит через точку с нормированным пульсирующим током 2.07 и температурой окружающей среды 55 °C. Срок службы 50 000 ч, соответствующий этой кривой (см. точку (2) на Рис. 20), совпадает с требуемым.

Пример 3. Определение максимально допустимого пульсирующего тока при условии охлаждения основания

Вычислить максимально допустимый пульсирующий ток в конденсаторе для преобразователя частоты со следующими параметрами:

Температура основания конденсатора — 65 °C

Срок службы — 50000 ч

На диаграмме срока службы находим изокривую со сроком службы 50 000 ч. Используя эту кривую, определяем нормированный пульсирующий ток для температуры окружающей среды 65 °C —

$I_{AC,R}/I_{AC,R}(B) = 1.45$. Тогда максимально допустимый пульсирующий ток вычисляется по формуле

$$I_{AC,RMS} = 1.45 \cdot I_{AC,R}(B) = 1.45 \cdot 32.6 = \mathbf{47.3} \text{ (см. точку (3) на Рис. 20)}.$$

6. Батареи конденсаторов

Для удовлетворения требованиям конкретного применения не всегда можно обойтись одним конденсатором. Обычно это бывает, когда:

- требуемый электрический заряд не может быть накоплен на одном конденсаторе;
- требуемое напряжение выше номинального;
- один конденсатор не способен рассеять выделяемое тепло при требуемых значениях пульсирующего тока и интенсивности циклов заряда-разряда;
- с помощью одного конденсатора не удастся получить нужные значения таких параметров, как последовательное сопротивление, тангенс угла потерь или индуктивность.

В этих случаях используют батареи, в которых конденсаторы могут соединяться параллельно, последовательно или комбинированно. При определении максимально допустимого пульсирующего тока для батареи конденсаторов необходимо учитывать допуск на емкость, чтобы избежать перегрузки отдельных конденсаторов. Кроме того, при разряде батареи не должно возникать обратное напряжение на отдельных конденсаторах. Правила определения размеров и конфигурации схемы батарей конденсаторов описаны в CENELEC REPORT R040-001:1998. Эти правила разъяснены и дополнены в приведенных ниже параграфах.

6.1. Параллельное включение алюминиевых электролитических конденсаторов

Если в одном из параллельно соединенных конденсаторов происходит внутреннее короткое замыкание, то все остальные конденсаторы начинают разряжаться через него. При больших значениях емкости это может привести к очень большим броскам тока, поэтому следует принять меры, ограничивающие ток КЗ. В батареях конденсаторов для сглаживания пульсаций обычно устанавливают последовательные предохранители для каждого конденсатора, как это показано на Рис. 21.

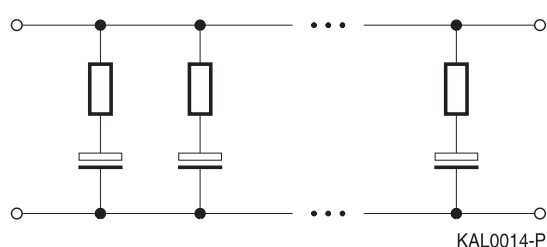


Рис. 21.
Использование предохранителей
для защиты от КЗ батареи конденсаторов
для сглаживания пульсаций

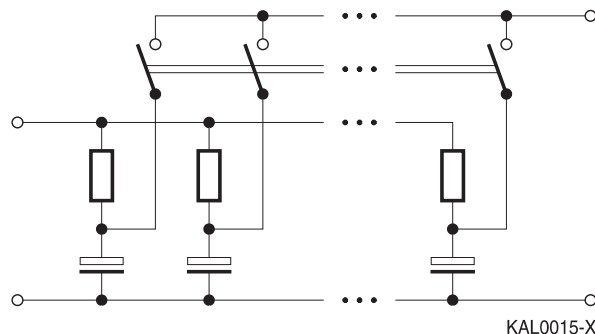


Рис. 22.
Использование зарядных резисторов
для защиты от КЗ

Такой способ не годится для схем заряда-разряда, где требуется большой разрядный ток. В этих случаях используются защитные резисторы при заряде конденсаторов и переключатель для параллельного соединения конденсаторов при разряде (см. Рис. 22).

6.2. Последовательное включение алюминиевых электролитических конденсаторов

При последовательном соединении напряжение на отдельных конденсаторах не должно превышать номинальное значение. Приложенное постоянное напряжение распределяется между конденсаторами пропорционально сопротивлениям их диэлектрических слоев (см. Рис. 23).

Так как эти сопротивления могут сильно отличаться даже для одинаковых типов конденсаторов, то и распределение напряжения может также оказаться значительно неравномерным. При этом напряжение на отдельных конденсаторах может оказаться выше номинального. Чтобы избежать этого, применяются меры принудительного распределения напряжения. Самым безопасным методом является использование электрически изолированных источников напряжения для каждого конденсатора, как показано на Рис. 24.

Если это невозможно, используют выравнивающие сопротивления R_{symm} (см. Рис. 25), которые подключают параллельно каждому конденсатору. Выравнивающие сопротивления должны быть одинаковыми и иметь существенно более низкое сопротивление, чем сопротивление диэлектрического слоя конденсатора.

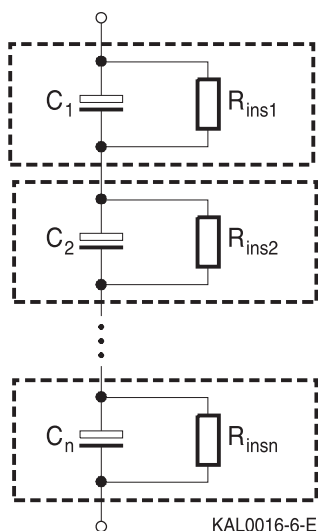


Рис. 23. Последовательное включение (с учетом сопротивлений диэлектрического слоя)

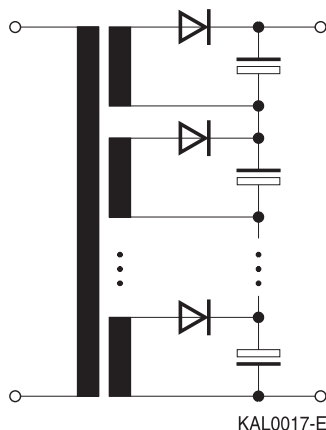


Рис. 24. Последовательное включение с использованием отдельных источников напряжения

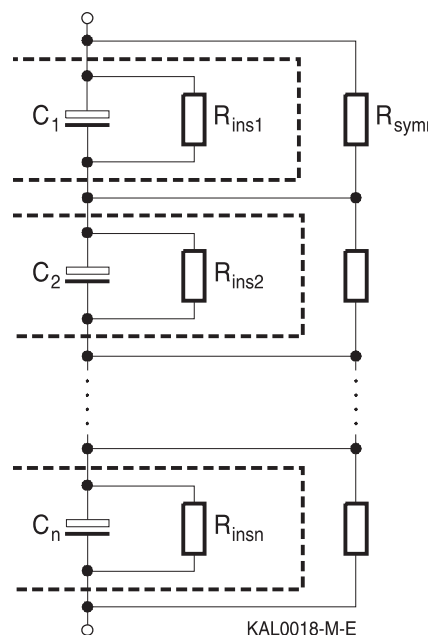


Рис. 25. Последовательное включение с использованием выравнивающих сопротивлений

Из практики рекомендуется, чтобы ток через выравнивающие сопротивления превышал ток утечки в 20 раз. В этом случае значение выравнивающего сопротивления вычисляется по формуле

$$R_{\text{Symm}} = 50 \text{ МОм} \cdot \text{мкФ} \cdot \frac{1}{C_R}$$

Если приложенное напряжение значительно ниже суммы номинальных напряжений конденсаторов в батарее, то описанные выше меры можно не применять.

Как правило, можно не использовать дополнительных элементов, если число последовательно соединенных конденсаторов $n = 2...3$ и полное напряжение не превышает $0.8 \cdot n \cdot V_R$. Конденсаторы при этом должны быть одного номинала и одной и той же марки, чтобы сопротивления диэлектрических слоев не сильно отличались друг от друга.

6.3. Комбинированное параллельно-последовательное включение конденсаторов

При комбинированном включении конденсаторов необходимо пользоваться рекомендациями, описанными выше для каждого вида включения отдельно (см. Рис. 26).

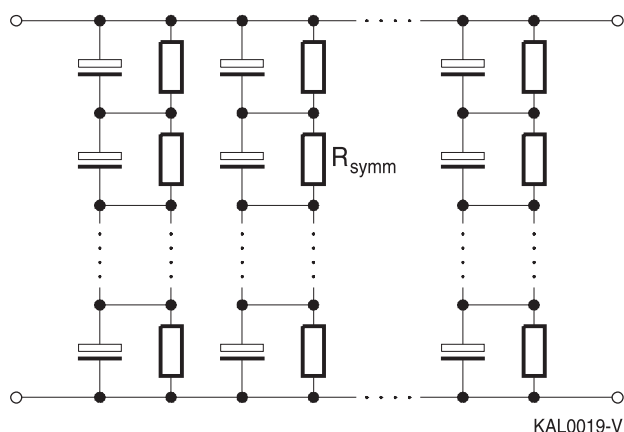


Рис. 26.
Комбинированное параллельно-последовательное включение (с выравнивающими резисторами для каждого конденсатора)

Если использовать последовательное соединение групп параллельно соединенных конденсаторов, то можно обойтись одним выравнивающим сопротивлением для каждой параллельной группы, как это показано на Рис. 27.

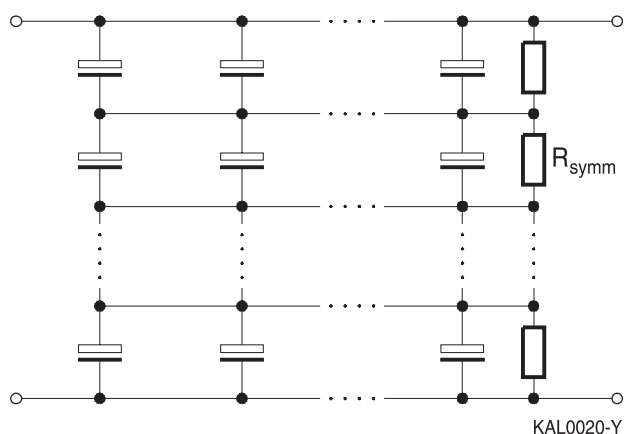


Рис. 27.
Комбинированное параллельно-последовательное включение (с объединением конденсаторов в параллельные группы)

Хотя это решение менее сложное, оно имеет один серьезный недостаток: при коротком замыкании в одном из конденсаторов схемы на Рис. 26 перераспределение полного напряжения произойдет только внутри той ветви, где находился данный конденсатор. При той же неисправности в схеме на Рис. 27 перераспределение затронет конденсаторы во всех оставшихся параллельных группах, что значительно увеличит риск выхода из строя из-за перенапряжения.

По той же самой причине внутренние параллельные соединения не должны использоваться в параллельных группах, подключенных последовательно без выравнивающего сопротивления.

7. Климатические условия

Так как электрические параметры и надежность конденсаторов зависят от конкретных климатических условий, необходимо знать, при каких климатических условиях (таких, как температура и влажность) параметры конденсатора останутся в пределах своих номинальных допусков. Допустимые пределы для температуры и влажности приводятся в технических описаниях для каждого типа конденсаторов и имеют кодовую форму в соответствии со стандартами климатической группы МЭК (см. разд. 7.4).

7.1. Минимально допустимая рабочая температура (нижняя граница температурного диапазона)

Снижение температуры приводит к уменьшению проводимости электролита и соответственно к увеличению его сопротивления. В результате происходит увеличение импеданса и тангенса угла потерь (или эквивалентного последовательного сопротивления) конденсатора. Так как в большинстве случаев увеличение этих параметров разрешено только до некоторого предела, для АЭ конденсаторов установлены минимально допустимые рабочие температуры, называемые нижней границей температурного диапазона и включенные в стандарты климатической группы МЭК.

Необходимо отметить, что тепло, производимое пульсирующим током, протекающим через конденсатор, будет повышать его температуру относительно окружающей, препятствуя уходу параметров и обеспечивая функционирование устройства даже при температурах за пределами нижней границы температурного диапазона. Хотя конденсатор может работать при температуре ниже указанной в спецификации, изменения внутреннего сопротивления и емкости должны быть приняты во внимание.

Типовые зависимости импеданса и емкости конденсатора от температуры для конденсатора с нижней границей температурного диапазона -25°C приведены на Рис. 28 и 29.

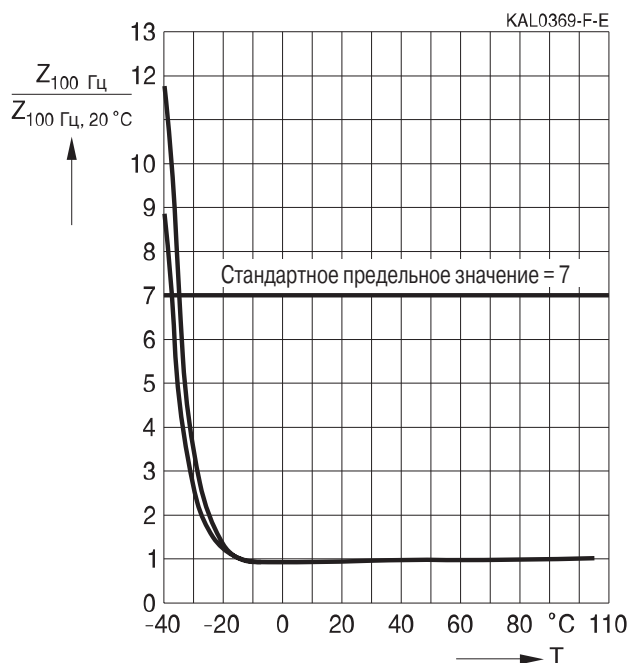


Рис. 28

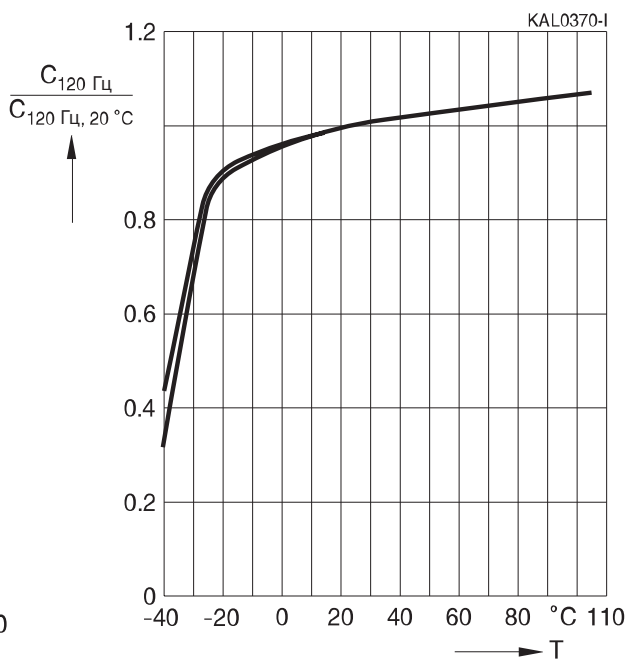


Рис. 29

7.2. Максимально допустимая рабочая температура (верхняя граница температурного диапазона)

Верхняя граница температурного диапазона — максимально допустимая температура окружающей среды, при которой гарантируется непрерывная работа конденсатора. Она зависит от особенностей конструкции конденсатора и устанавливается в соответствующей климатической группе МЭК. Превышение этой температуры может привести к преждевременному выходу конденсатора из строя.

Конденсаторы некоторых серий способны выдерживать температуру выше верхней границы в течение коротких промежутков времени. Подробности приводятся в конкретных технических описаниях.

Так как срок службы и надежность уменьшаются с ростом температуры, то по возможности рекомендуется работа при более низкой температуре. По той же причине при размещении АЭ конденсаторов в оборудовании следует выбирать наиболее прохладные места.

7.3. Температура хранения

Хотя АЭ конденсаторы можно хранить без напряжения при температурах вплоть до верхней границы температурного диапазона, более высокие температуры хранения могут уменьшить стабильность тока утечки, срок службы и надежность. Во избежание ухудшения параметров не рекомендуется хранить конденсаторы при температурах выше +40 °C и желательно, чтобы температура была ниже +25 °C.

Стандарты для АЭ конденсаторов определяют в качестве температуры хранения нижнюю границу температурного диапазона. АЭ конденсаторы компании EPCOS могут храниться без ухудшения параметров вплоть до самой низкой установленной температуры -65 °C.

7.4. Климатические группы МЭК (IEC)

В соответствии с МЭК 60068-1, климатическая группа включает три подгруппы чисел, отделенных косой чертой друг от друга.

Пример: 40/085/56

- 1-я подгруппа: Нижняя граница температурного диапазона (температурный предел), при которой проводится тест А (на устойчивость к холоду) в соответствии с МЭК 60068-2-1.
- 2-я подгруппа: Верхняя граница температурного диапазона (температурный предел), при которой проводится тест В (на устойчивость к сухому нагреву) в соответствии с МЭК 60068-2-1.
- 3-я подгруппа: Число дней, продолжительность теста «Cab» (в термостате) при относительной влажности $93 \pm 2/-3\%$ и температуре окружающей среды 40°C , в соответствии с МЭК 60068-2-78.

8. Воспламеняемость

8.1. Пассивная воспламеняемость

Огонь или сильноточные электрические цепи могут привести к воспламенению расположенных рядом компонентов. Правила испытания конденсаторов на воспламеняемость даны в п. 38 соответствующей спецификации СЕСС 30 000 (Согласованная система оценки качества электронных компонентов; общая спецификация: конденсаторы постоянной емкости) с ссылкой на публикацию МЭК 69-2-2 (Тест на прожиг иглой). Также в СЕСС 30 000 дана классификация групп воспламеняемости и перечислены требования и правила обращения для каждой группы. Большинство АЭ конденсаторов отвечает требованиям группы С.

8.2. Активная воспламеняемость

Иногда причиной воспламенения конденсатора может послужить сильная перегрузка или дефект самого конденсатора. Еще одной причиной воспламенения может быть следующее: во время работы в АЭ конденсаторах с жидким электролитом вырабатывается небольшое количество водорода, которое в обычных условиях незаметно выходит через корпус. Но в отдельных случаях водород может скапливаться, создавая угрозу воспламенения при наличии искры.

Таким образом, для уменьшения вероятности воспламенения в особых случаях следует применять специальные меры (например, дополнительная герметизация оборудования для горнодобывающей промышленности).

9. Устойчивость к механическим воздействиям

9.1. Устойчивость к вибрациям

Значения устойчивости к вибрациям приводятся в технических описаниях.

9.2. Работа в условиях пониженного атмосферного давления

АЭ конденсаторы могут использоваться на любой высоте (в соответствии с EN 130300 подп. 4.11.4).

9.3. Прочность выводов

Допустимые механические нагрузки на выводы указываются в соответствующих спецификациях. Выводы АЭ конденсаторов, приведенных в этом справочнике, отвечают условиям испытаний, определенным в МЭК 60068-2-21. Максимальные крутящие моменты для выводов под винт даны в разд. 11.3.

10. Обслуживание

Общая информация относительно использования АЭ конденсаторов в аппаратуре приведена в CENELEC R040-001 (гл. 1—19). В документе рассматриваются такие темы, как требования и меры безопасности, установка в оборудовании с источниками тепла, импульсное напряжение, пожароопасность, схемы параллельного и последовательного соединения конденсаторов.

При использовании конденсаторов в промышленных установках необходимо проводить периодические осмотры. Перед осмотром необходимо обесточить цепи и разрядить конденсаторы. Во время проверки следует соблюдать правильную полярность, например при измерении емкости с помощью вольтметра. Кроме того, выводы конденсаторов не должны подвергаться механическим воздействиям. Ниже перечислены неисправности, на которые проверяются конденсаторы во время периодических осмотров:

- Существенное повреждение внешнего вида: нарушение герметичности, утечка электролита и т.д.
- Несоответствие электрических характеристик: ток утечки, емкость, $\tan \delta$ и другие характеристики, указанные в каталогах или спецификациях продукции.

При обнаружении неисправности конденсатор надо заменить или принять адекватные меры.

11. Установка

11.1. Установочные положения конденсаторов с выводами под винт

Во время работы в АЭ конденсаторах всегда есть ток утечки, который вызывает электролиз. С одной стороны, кислород, произведенный электролизом, восстанавливает диэлектрический слой, но, с другой стороны, освобожденный водород может привести к увеличению внутреннего давления конденсатора.

Для предотвращения разрушения конденсатора, вызванного увеличением внутреннего давления при перегрузках, в конденсаторах устанавливают предохранительный клапан, выпускающий газ наружу при достижении определенного уровня внутреннего давления.

Во избежание вытекания электролита через предохранительный клапан необходимо устанавливать конденсаторы клапаном вверх. На Рис. 30 приведены рекомендованные установочные положения для конденсаторов с предохранительным клапаном.

Пример:

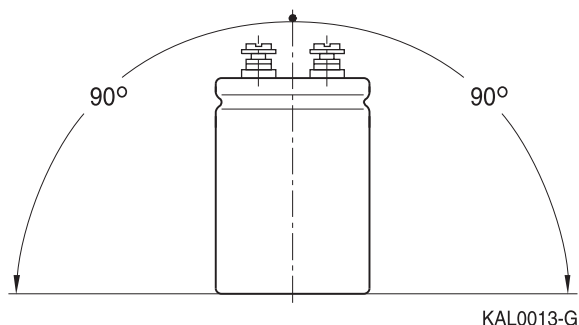


Рис. 30.
Рекомендованный диапазон установочных положений

- Вертикальная установка особенно рекомендуется при закреплении конденсатора с помощью выводов, резьбовой шпильки или около основания.
- При горизонтальной установке предохранительный клапан должен быть в «12-часовом» положении.

Другие установочные положения не вызовут прямого повреждения конденсатора, но могут привести к последующим серьезным повреждениям устройства из-за утечки электролита через предохранительный клапан.

11.2. Герметизация и склеивание алюминиевых электролитических конденсаторов

При использовании компаунда или клея необходимо обратить внимание на следующее:

- Заливочный компаунд или клей не должны содержать галогены или другие коррозионные вещества.
- Заливочный компаунд или клей не должны нарушать функцию предохранительного клапана.
- Горячий заливочный компаунд или клей могут нагреть конденсатор. По возможности следует избегать температур, превышающих верхнюю границу температурного диапазона.
- Температуры выше 150 °C могут повредить изоляцию.
- Отверждение компаунда или клея при повышенной температуре может привести к увеличенному току утечки конденсаторов при первом включении. На продолжительность срока службы это обычно не влияет.
- Вследствие низкой теплопроводности компаунда ухудшается отток тепла от конденсатора, что приводит к большему нагреву и сокращению срока службы.
- Давление нагретого заливочного компаунда на корпус конденсатора не должно превышать 20 бар.
- Поливинилхлоридная термоусадочная изолирующая пленка может содержать вещества, которые с течением времени могут агрессивно реагировать с заливочным компаундом или клеем.
- Если конденсатор закрепляется только с помощью клея, то механическая прочность монтажа определяется прочностью изолирующей пленки.

11.3. Максимальные крутящие моменты

В приведенной ниже таблице указаны максимально допустимые крутящие моменты при затягивании выводов под винт или крепежных гаек.

Резьба	Максимальный крутящий момент (Н•м)
M5	2.0
M6	2.5
M8	4.0
M12	10.0

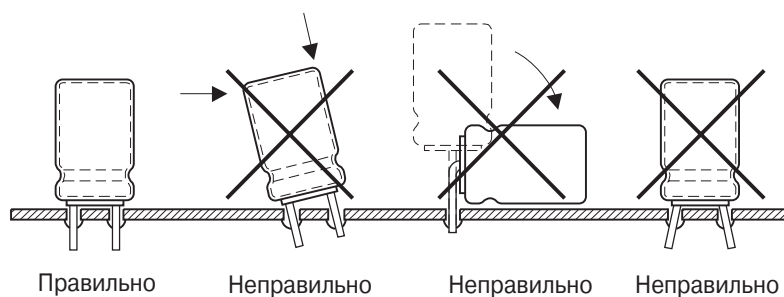
11.4. Установка радиальных конденсаторов

Чтобы не нарушить внутреннюю структуру радиальных конденсаторов, следует избегать чрезмерных механических воздействий на их выводы. Надавливание, натяжение, изгиб и другие воздействия могут привести к разрыву выводов или внутренних элементов, что в свою очередь может проявиться как увеличение тока утечки, нестабильность емкости, утечка электролита, разрыв или короткое замыкание.

При использовании радиальных конденсаторов следует соблюдать следующие меры предосторожности:

- Не сдвигать конденсатор после впаивания в плату.
- Не поднимать печатную плату за припаянные конденсаторы.
- Не впаивать конденсатор в отверстия на печатной плате с несоответствующим расстоянием между ними.

Пример:



KAL1071-D-E

Рис. 31.

Правила установки радиальных конденсаторов

11.5. Пайка

- Чрезмерная длительность или температура пайки могут ухудшить характеристики конденсатора или нарушить изоляцию изолирующей пленки.
- Следует избегать контакта изолирующей пленки с паяльником.
- Условия пайки (предварительный разогрев, температура припоя и время погружения) должны соответствовать предписаниям в спецификациях изделия.

11.6. Очищающие средства

Очищающие средства на основе галогенированных углеводородов при попадании на конденсаторы могут вызвать их серьезное повреждение. Эти растворители могут растворить или разложить изолирующую пленку и уменьшить ее изолирующие свойства ниже допустимого уровня. Места сварки могут вздуться и разойтись, что может привести к попаданию растворителя внутрь и преждевременному отказу.

Из вышесказанного следует, что при использовании растворителей, содержащих галогенированный углеводород, для очистки печатных плат после пайки и удаления остатков флюса следует принимать меры, препятствующие попаданию растворителя на конденсаторы.

Если не удастся избежать контакта растворителя с конденсаторами, необходимо использовать растворители, не содержащие галоген.

Растворители, не содержащие галоген:

Этанол (денатуранты)
Пропанол
Изопропиловый спирт
Изобутанол
Пропиленгликольэфир
Диэтиленгликольдибутилэфир

Опасные растворители:

Ниже приведен список опасных галогенированных углеводородов и других растворителей, часто используемых как очищающие средства в электронной промышленности как в чистом виде, так и смешанных с другими растворителями:

Трихлортрифторэтан (торговые марки Фреон, Хладон, Frigene)
Трихлорэтилен
Трихлорэтан (торговые марки Хлортен, Wacker 3x1)
Тетрахлорэтилен (торговая марка В)
Метиленхлорид
Хлороформ
Тетрахлорметан
Ацетон
Метилэтилкетон
Этилацетат
Бутилацетат

Однако существует оборудование для очистки печатной платы, которое, несмотря на применение галогенированных растворителей, производит полную очистку за очень короткое время (четырёх-камерный сверхзвуковой очищающий процесс). Кроме того, используемые процессы гарантируют, что фактически никакой растворитель не остается на очищенных частях.

Общее техническое описание

При использовании такого оборудования для соблюдения общих мер предосторожности в связи с воздействием галогенированных растворителей на АЭ конденсаторы необходимо выполнение следующих условий:

1. Очищающий период в каждой камере не должен превысить 1 мин.
2. На заключительном этапе должны использоваться только пары растворителя при температуре 50 °C или ниже.
3. Сразу после очищающего процесса должно быть обеспечено достаточное высыхание, чтобы испарился любой конденсированный остаточный растворитель.
4. Загрязненные очищающие средства должны регулярно заменяться, как это определено изготовителем и другими инструкциями.

12. Дезинфекция окуриванием

Во многих странах международный груз подвергается обработке окуриванием с применением галогенированных химикатов (например, бромид метила) с целью уничтожения вредных насекомых, особенно при использовании деревянной упаковки. Проникая через картонные коробки, полимерные сумки или другие упаковочные материалы внутрь электронного оборудования, галогенированный газ может вызвать коррозию АЭ конденсаторов. Кроме того, проникая через изоляцию внутрь АЭ конденсаторов, галогенированный газ может вызвать внутреннюю коррозию и привести к внутреннему обрыву.

13. Маркировка конденсаторов

Ниже приведен пример маркировки конденсаторов EPCOS:

	Производитель (логотип)
LL	Тип
B43501A2108M	Типономинал (код заказа)
1000 µF (M)	Номинальная емкость, допуск (в виде кода)
200 VDC 40/085/56	Номинальное напряжение, климатическая группа (код МЭК)
08.06	Месяц и год изготовления

KAL1009-T-E

Рис. 32. Пример маркировки

Условное обозначение допустимых отклонений (допусков) емкости в соответствии с IEC 60062:

Кодовый знак	Допустимое отклонение	Кодовый знак	Допуск емкости
A	Специальный допуск	R	-20% / + 30%
K	±10%	S	-20% / + 50%
M	±20%	T	-10% / + 50%
N	±30%	B	-10% / + 100%
Q	-10% / + 30%	Y	0% / + 50%
		Z	-20% / + 80%

Общее техническое описание

Климатическая группа определяется согласно МЭК 60068-1 (см. разд. 7.4). При отсутствии места на корпусе числа заменяются буквами в соответствии с приведенными ниже таблицами, например: 40/085/56 заменяется на GPF.

1-й символ (нижняя граница температурного диапазона)

Кодовый знак	F	G	H
Температура (°C)	-55	-40	-25

2-й символ (верхняя граница температурного диапазона)

Кодовый знак	K	M	P	S	U
Температура (°C)	+ 125	+ 105 (+100)	+85	+70	+60

3-й символ (влажность)

Символ F — соответствует тесту «Cab» (термостат) длительностью 56 дней (стандарт МЭК 60068-2-78).

14. Упаковка

При изготовлении упаковки EPCOS учитывает аспекты защиты окружающей среды. Это означает, что только экологически совместимые материалы используются для упаковки, а количество упаковки сведено к минимуму. Кроме того, EPCOS также соблюдает немецкие стандарты по упаковке.

В связи с вышесказанным и в целях повышения удобства EPCOS придерживается следующих правил при упаковке своей продукции:

- Использование стандартизированных европоддонов.
- Товары закрепляются на поддонах с использованием ремней и краевых фиксаторов, сделанных из экологически совместимых пластмасс (PE или PP).
- Транспортные картонные коробки (транспортная упаковка) сертифицированы и имеют эмблему RESY.
- Разделительные слои между поддонами и картонными коробками сделаны из одного материала, в основном из бумаги или картона.
- Бумага используется в качестве дополнительного материала и наполнителя.
- Транспортная упаковка заклеивается пластмассовой лентой в целях обеспечения рециркуляции.
- В соответствии с соглашением мы готовы забирать упаковочный материал (особенно специальные пластмассовые упаковки для конкретных изделий). Однако мы просим наших клиентов посылать картонные коробки, рифленый картон, бумагу и т.д. в компании по переработке или уничтожению отходов во избежание ненужной транспортировки пустых упаковочных материалов.

14.1. Этикетка со штрих-кодом

Упаковка всех компонентов EPCOS имеет этикетку со штрих-кодом, устанавливающую тип, код заказа, количество, дату изготовления и номера партии. Это дает возможность проследить весь процесс производства компонента вместе с его партией и отчетом об испытаниях.



- (1P) Код заказа
- (9 K) Порядковый номер изделия
- (D) Код даты (yywwdd)
- (T) Номер партии
- (Q) Количество

Рис. 33.

Пример этикетки со штрих-кодом

15. Структура кода заказа (типономинал)

Все технические изделия EPCOS идентифицированы уникальным типономиналом (который идентичен коду заказа). Указывая типономиналы при оформлении заказа, заказчик ускоряет и облегчает обработку его заказа. Все компоненты поставляются в соответствии с указанными типономиналами.

Типономинал состоит из 15 цифр и включает три группы данных. Каждая группа начинается с символа, за которым следуют цифры.

Порядк. номер	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	V														
	Блок 1						Блок 2					Блок 3			
Порядковый номер	Значение														
1	V = пассивные компоненты														
2	4 = электролитические конденсаторы														
3	1 = низковольтный диапазон ≤ 100 В (DC) 3 = высоковольтный диапазон ≥ 150 В (DC)														
4...6	Тип														

Общее техническое описание

7	Вариант конструкции				
8	Номинальное напряжение				
	Низковольтный диапазон, В (DC)	Высоковольтный диапазон, В (DC)			
	1: 3	1: 150, 160			
	2: 6.3	2: 200*), 250			
	3: 10, 12	3: 300, 385*)			
	4: 15, 16	4:350			
	5: 25	5:450			
	6: 30, 50	6:500			
	7: 35, 40	7:510, 520, 550*)			
	8: 63, 70	8: 330, 600*)			
	9: 100	9: 360*), 400*)			
	0: специальное	0: специальное			
*) Обозначение с номером кода «0» возможно для старых типов.					
9...11	Емкость Емкость приводится в кодовой форме. Примеры: Порядковый номер: 9 10 11 B 4 3 5 0 1 A 9 <table border="1"><tr><td>1</td><td>5</td><td>7</td></tr></table> = 15 · 10 ⁷ пФ = 150 мкФ		1	5	7
1	5	7			
12	Допуск емкости (стандарт МЭК 60062), A: Специальный допуск S:–20 / + 50% K: ±10% T:–10 / + 50% M: ±20% V:–10 / + 100% N: ±30% Y:–0 / + 50% Q:–10 / + 30% Z:–20 / + 80% R:–20 / + 30%				
13, 14, 15	Код для обозначения специальных версий, типов выводов и корпуса. Конденсаторы с выводами под винт: Код версии для установки радиатора и версии с низкой индуктивностью Конденсаторы с защелкиваемыми выводами: Код версий с укороченными или тремя выводами Конденсаторы с аксиальными и разведенными выводами: Код упаковки Радиальные конденсаторы: Код типа упаковки или упаковочной ленты, конфигурации выводов (изогнутые, укороченные) и версии с защитой от переполюсовки				

Основные цели компании Epcos

Как один из лидеров в области производства электронных компонентов, компания Epcos уделяет много внимания качеству своей продукции и мерам безопасности окружающей среды.

1. Вопросы качества продукции Epcos

1.1. Основные положения

- Вопросы качества продукции и услуг являются одним из ключевых моментов деятельности компании Epcos, направленной на наиболее полное удовлетворение запросов своих клиентов.
- Компания Epcos стремится к тому, чтобы качество ее продукции соответствовало самым высоким требованиям международных стандартов.

1.2. Система управления качеством

Система управления качеством компании Epcos соответствует стандарту ISO/TS 16949:2002 и включает следующие пункты:

- Большинство изделий и технологических процессов соответствуют правилам APQP¹⁾;
- Средства поддержания и контроля качества, такие, как FMEA²⁾, DoE³⁾ и SPC⁴⁾, с регулярными проверками, сводят риск к минимуму и способствуют дальнейшему повышению качества в соединении.

1.3. Сертификация

Система управления качеством создает условия для получения заводами и торговыми организациями компании Epcos сертификатов в соответствии со стандартами ISO 9001:2000 и ISO/TS 16949:2002. На сайте Epos, расположенному по адресу www.epcos.com/quality можно ознакомиться с содержанием сертификатов компании.

1.4. Этапы производства и контроля качества

Структурные подразделения разрабатывают методические и рабочие инструкции для осуществления общей политики компании по контролю за качеством изделий.

Ниже приведена диаграмма, иллюстрирующая последовательность контроля качества при производстве алюминиевых электролитических конденсаторов.

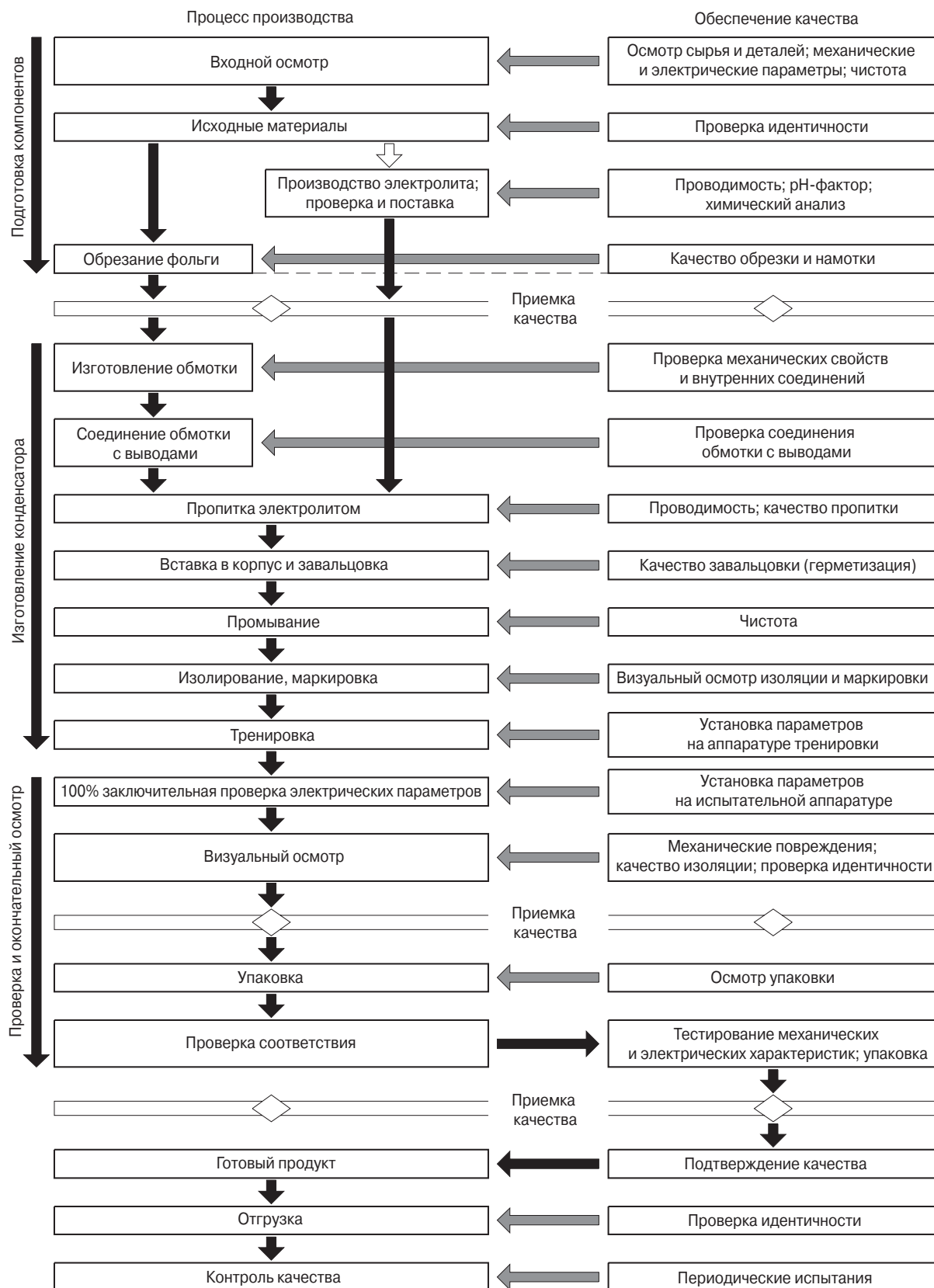
¹⁾ APQP (Advanced Product Quality Planning) — Перспективное планирование качества продукции

²⁾ FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) — Анализ характера и последствий отказов

³⁾ DoE (Design of Experiments) — Планирование экспериментов

⁴⁾ SPC (Statistical Process Control) — Система статистического контроля производственных процессов

Вопросы качества и экологии



1.5. Качество поставки

Под качеством поставки понимается выполнение всех условий, оговоренных в договоре поставки.

1.6. Критерии отказа

Компонент считается дефектным, если хотя бы одна из его характеристик не соответствует значениям, указанным в техническом описании или в согласованной спецификации поставки.

1.7. Входной контроль изделий со стороны заказчика

В соответствии со стандартом ISO 2859-1 (совпадающим с MILSTD 105 D и IEC 60410) для входного контроля изделий рекомендуется пользоваться случайной выборкой

Правила проведения испытаний установлены в соответствующих стандартах. Допустимые отклонения требованиям

1.8. Срок службы и надежность

Срок службы, как показатель надежности, соответствует периоду времени, в течении которого происходят только случайные отказы. Другими словами это период, во время которого частота отказов остается практически неизменной (отказы в начале и конце периода эксплуатации не учитываются). Фактическая частота отказов в сильной степени зависит от условий эксплуатации.

1.8.1. Интенсивность отказов (установившееся значение)

Интенсивность отказов определяется как отношение процента отказавших изделий к длительности испытаний и выражается в FIT (количество отказов, приходящихся на 10^9 произведения числа компонентов на время испытания) или в процентах отказов на 1000 ч.

$1 \text{ FIT} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ ч}^{-1}$ (FIT — от английского сокращения Failure In Time)

Пример расчета интенсивности отказов λ_{test} на основании данных испытания срока службы:

Число тестируемых изделий $N = 8000$

Длительность испытаний $t_b = 25000 \text{ ч}$

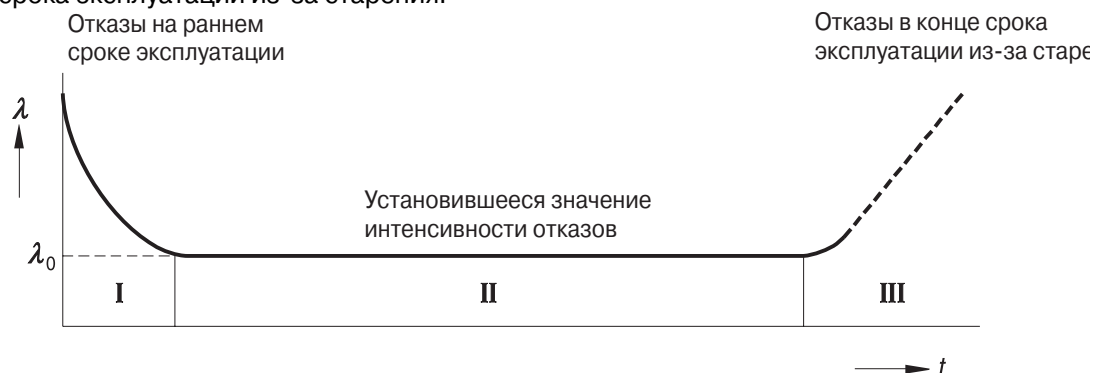
Число отказов $n = 2$

$$\lambda_{\text{test}} = \frac{n}{N} \cdot \frac{1}{t_b} = \frac{2}{8000} \cdot \frac{1}{25000 \text{ ч}} = 10 \text{ FIT} = 0.001 \% / 1000 \text{ ч}$$

Спецификации интенсивности отказов должны включать в себя критерии отказов, эксплуатационные режимы и состояние окружающей среды.

График интенсивности отказов от времени состоит из трех характерных периодов:

I — период отказов на раннем сроке эксплуатации, II — рабочий период, III — период отказов в конце срока эксплуатации из-за старения.



KAL0021-7-E

Если не указано иначе, в спецификациях приводится значение интенсивности отказов λ_0 для рабочего периода (II), внутри которого оно может считаться постоянной величиной.

1.8.2. Пересчетные коэффициенты для интенсивностей отказов

Значения интенсивности отказов для разных режимов эксплуатации и состояния окружающей среды могут быть получены, используя пересчетные коэффициенты, которые приводятся в стандарте EN 61709.

1.9. Прослеживаемость

Каждая партия изделий имеет сопроводительную документацию, отражающую все стадии ее производства. Завершение производства и результаты испытаний регистрируются в SAP R/3. Это позволяет проследить весь путь производства каждой партии.

Код, нанесенный на упаковку, позволяет идентифицировать партию изделий после отгрузки.

1.10. Электрические параметры

Условия проведения измерений описываются в главе «Общее техническое описание». Параметры и допустимые допуски на них приводятся в соответствующих технических описаниях изделия.

1.11. Размеры

Размеры изделия указаны на габаритных чертежах, приведенных в технических описаниях.

1.12. Выходной контроль

Выходной контроль алюминиевых электролитических конденсаторов оценивается в соответствии со спецификациями, разработанными внутри компании Epcos и основанными на стандарте IEC 60384-4.

1.13. Оценка приемлемого уровня качества (AQL)

Приемлемый уровень качества, имеющий английскую аббревиатуру AQL = Acceptable Quality Level), определяется на основании случайной выборки в соответствии со стандартом DIN ISO 2859-1 (совпадает с MIL STD 105D и IEC 60410).

Если в выборке процент непригодных изделий и изделий с несоответствующими характеристиками не превышает установленных максимальных значений приемлемого уровня качества (см. 1.13.2), то, в соответствии со стандартом, партия считается принятой с вероятностью 90%. В поставках продукции Epcos процент изделий с несоответствующими характеристиками, как правило, значительно ниже установленного значения приемлемого уровня качества, а число непригодных изделий считается равным нулю.

1.13.1. Классификация непригодности и несоответствия техническим условиям

Несоответствие техническим условиям означает, что реальные характеристики изделия не удовлетворяют значениям, приведенным в техническом описании или в согласованной спецификации поставки. Непригодность означает невозможность использования изделия.

Классификация непригодности в соответствии с CECC(Sec)2873, критерии 1...8:

- неправильная или отсутствующая маркировка изделия (если ее наличие определено в спецификации и если ее отсутствие может привести к неправильному использованию изделия);
- отсутствующие или непригодные выводы;
- нарушенная или недостаточная герметизация (если ее наличие определено техническими условиями);
- обрыв или короткое замыкание;
- уход емкости более чем в три раза превышает допустимое отклонение;
- отсутствие маркировки полярности выводов;
- ток утечки превышает либо установленный предел более чем в 10 раз либо 100 мкА;
- импеданс более чем в три раза отличается от номинального значения;
- неодинаковая ориентация изделий на упаковочной ленте;
- наличие в поставке изделий других типов.

Классификация несоответствия техническим условиям:

- несоответствие электрических параметров спецификациям;
- несоответствие механических параметров (неправильные размеры, повреждение корпуса, неразборчивая маркировка, согнутые выводы).

1.13.2. Определение ПУК

Процент изделий, имеющих перечисленные выше непригодности и несоответствия, не должен превышать следующих значений:

- | | |
|---|--------|
| – непригодности (электрические и механические) | 0.065; |
| – суммарная величина электрических несоответствий | 0.25; |
| – суммарная величина механических несоответствий | 0.25. |

1.14. Правила эксплуатации

Во избежание преждевременного выхода из строя изделия должны использоваться в соответствии с их техническими спецификациями и инструкциями по эксплуатации. Несоблюдение эксплуатационных режимов и руководящих документов может привести к неисправностям или другим нежелательным последствиям, например, увеличению интенсивности отказов. Основные правила перечислены в «Важных замечаниях» на стр. 2.

При возникновении вопросов, связанных с эксплуатацией изделий Epcos, следует обратиться к специалистам компании, которые помогут устранить возникшие проблемы.

1.15. Рекламации

При возникновении отказа следует обратиться в местное представительство компании Epcos, которая должна зарегистрировать вашу жалобу как RMA⁵⁾ документ и направить ее в соответствующий технический отдел для быстрой обработки.

При рассмотрении жалоб Epcos применяет методику в соответствии с 8D-отчет⁶⁾,

В соответствии с формой 8D-отчета рассмотрение рекламаций осуществляется междисциплинарными группами, задачей которых является принятие быстрых мер по устранению причин возникновения неисправности и возмещение ущерба, причиненного заказчику.

Чтобы при рассмотрении рекламации не возникало проблем, желательно вместе с рекламацией предоставить следующие данные:

- число изделий, подлежащих рекламации или возврату;
- описание неисправности или повреждения;
- когда и при каких обстоятельствах была обнаружена неисправность;
- данные логистики (код даты, номер накладной);
- параметры режима эксплуатации;
- продолжительность работы до возникновения неисправности;
- условия измерений, если рекламация касается несоответствия параметров.

Повреждения, связанные с транспортировкой, следует описать более подробно и при необходимости пометить, чтобы их можно было отличить от возможных дальнейших повреждений при обратной транспортировке. Следует осмотреть оригинальную упаковку и при наличии повреждений также описать их. Во избежании дальнейших повреждений рекомендуется отправлять изделия в оригинальной упаковке.

При получении поврежденного товара запишите это повреждение в сопроводительные документы и заверьте подписью представителя транспортной компании.

⁵⁾ RMA (Return of Material Authorization) — Разрешение на возврат материалов

⁶⁾ 8D (8 disciplines) — форма для рекламации, состоящая из 8 пунктов

2. Система мер по охране окружающей среды

2.1. Экологическая политика

Экологическая политика компании Epcos направлена на разработку и осуществление мер, обеспечивающих минимальное воздействие на окружающую среду.

Исходя из этого EPCOS определяет следующие принципы своей экологической политики:

- Помимо соблюдения законодательных и административных норм, компания Epcos осуществляет меры по уменьшению воздействия на окружающую среду и снижению потребления энергии природных ресурсов.
- Компания Epcos принимает все возможные меры по защите окружающей среды.
- При планировании и производстве изделий возможность нанесения вреда окружающей среде учитывается на самых ранних стадиях.
- Система мер по охране окружающей среды обеспечивает эффективное проведение в жизнь экологической политики компании Epcos. Входящие в нее технические и организационные мероприятия регулярно проверяются и совершенствуются.
- От каждого служащего компания требует осознание ответственности за сохранение окружающей среды. В связи с этим одной из задач управления является постоянное повышение информированности служащих об экологической политике компании.
- Компания Epcos развивает сотрудничество со своими деловыми партнерами для совместного решения экологических проблем. Поставки сопровождаются информацией о том, как избежать или минимизировать вредное воздействие на окружающую среду при эксплуатации изделий. Компания Epcos работает в духе сотрудничества с органами власти, отвечающими за экологию.

2.2. Система мер по охране окружающей среды

При проведении экологической политики компания Epcos руководствуется системой мер по охране окружающей среды, основанной на стандарте ISO 14001. Соответствующие документы размещены во внутренней сети компании и доступны для всех служащих.

2.3. Сертификация

Система мер по охране окружающей среды позволило компании Epcos произвести сертификацию всех своих заводов в соответствии со стандартом ISO 14001. Сертификаты размещены в интернете на сайте Epcos:

www.epcos.com/environmental_management

2.4. RoHS

Аббревиатура RoHS переводится как ограничения на использование опасных материалов в производстве электрического и электронного оборудования (RoHS — Restriction of Hazardous Substances). Изделия считаются RoHS-совместимыми, если они отвечают требованиям перечисленных ниже инструкций и вытекающим из них законодательным нормам, принятым на территории данного государства.

- Директива 2002/95/EC Европейского парламента и Совета от 27 января 2003 по ограничению использования определенных опасных веществ в электрическом и электронном оборудовании.
- Решение Комиссии от 18 августа 2005, дополняющее Директиву 2002/95/EC с целью установления максимальных значений концентрации для определенных опасных веществ в электрическом и электронном оборудовании (2005/618/IEC)
- Решения Комиссии от 13 октября 2005, 21 октября 2005 и от 21 апреля 2006, исправляющие и дополняющие Приложения к Директиве 2002/95/EC (2005/717/EC; 2005/747/EC; 2006/310/EC)

2.5. Запрещенные и опасные вещества в изделиях

Система мер по охране окружающей среды включает в себя обязательный список запрещенных и специальных веществ. Компания Epcos постоянно осуществляет и развивает меры, позволяющие оптимизировать процесс производства своих изделий с точки зрения экологической совместимости и избежать использование опасных веществ.

Разработка нового проекта осуществляется с привлечением государственного инспектора по экологии, который оказывает содействие в оценке воздействия на окружающую среду рассматриваемого проекта. Экологические аспекты производственного процесса рассматриваются и заносятся в проектную экспертизу.

2.6. Информация о содержании материалов в изделиях

Информация о материалах, используемых в изделиях определенной серии, приводится в интернете (www.epcos.com/material) в виде типового перечня используемых веществ для отдельных изделий серии. Материалы перечислены с указанием процентного содержания в изделии.

В соответствии с IEC 61906 PAS, в списке присутствуют все материалы с процентным содержанием выше 0.1%. Приведенные спецификации являются типовыми и приводятся только в целях информации. Реальные значения для конкретных изделий данного типа могут немного отличаться от приведенных.

2.7. Утилизация

Все алюминиевые электролитические конденсаторы позволяют утилизацию, многократное использование и переработку.

Тем не менее при утилизации необходимо соблюдать законодательные акты, устанавливающие правила утилизации на территории данного государства.

Условные обозначения

Символ	Русский язык	Английский язык
	Емкость	Capacitance
C_R	Номинальная емкость	Rated capacitance
C_S	Последовательное емкостное сопротивление	Series capacitance
$C_{S,T}$	Последовательное емкостное сопротивление при температуре T	Series capacitance at temperature T
C_f	Емкость на частоте f	Capacitance at frequency f
d	Диаметр корпуса конденсатора, номинальное значение	Case diameter, nominal dimension
d_{max}	Диаметр корпуса конденсатора, максимальное значение	Maximum case diameter
ESL	Собственная индуктивность	Self-inductance
ESR	Эквивалентное последовательное сопротивление	Equivalent series resistance
ESR_f	Эквивалентное последовательное сопротивление на частоте f	Equivalent series resistance at frequency f
ESR_T	Эквивалентное последовательное сопротивление при температуре T	Equivalent series resistance at temperature T
f	Частота	Frequency
I	Ток	Current
I_{AC}	Переменный ток (пульсирующий ток)	Alternating current (ripple current)
$I_{AC,rms}$	Среднеквадратичное значение переменного тока	Root-mean-square value of alternating current
$I_{AC,f}$	Пульсирующий ток на частоте f	Ripple current at frequency f
$I_{AC,max}$	Максимально допустимый пульсирующий ток	Maximum permissible ripple current
$I_{AC,R}$	Номинальный пульсирующий ток	Rated ripple current
$I_{AC,R(B)}$	Номинальный пульсирующий ток при охлаждении основания	Rated ripple current for base cooling
I_{leak}	Ток утечки	Leakage current
$I_{leak,op}$	Рабочий ток утечки	Operating leakage current
l	Длина корпуса конденсатора, номинальное значение	Case length, nominal dimension
l_{max}	Длина корпуса конденсатора, максимальное значение (без выводов и резьбовой шпильки)	Maximum case length (without terminals and mounting stud)
R	Сопротивление	Resistance
R_{ins}	Сопротивление изоляции	Insulation resistance
R_{symm}	Выравнивающее сопротивление	Balancing resistance
T	Температура	Temperature
ΔT	Перепад температуры	Temperature difference
T_A	Температура окружающей среды	Ambient temperature
T_C	Температура корпуса	Case temperature
T_B	Температура основания конденсатора	Capacitor base temperature
t	Время	Time
Δt	Период времени	Period
t_b	Срок службы (часы работы)	Service life (operating hours)
V	Напряжение	Voltage

Условные обозначения

Символ	Русский язык	Английский язык
V_F	Напряжение формирования	Forming voltage
V_{op}	Рабочее напряжение	Operating voltage
V_R	Номинальное постоянное напряжение	Rated voltage, DC voltage
V_S	Импульсное напряжение	Surge voltage
X_C	Емкостная реактивная составляющая	Capacitive reactance
X_L	Индуктивное сопротивление	Inductive reactance
Z	Импеданс	Impedance
Z_T	Импеданс при температуре	Impedance at temperature
$\tan \delta$	Тангенс угла потерь	Dissipation factor
λ	Интенсивность отказов	Failure rate
ε_0	Абсолютная диэлектрическая проницаемость	Absolute permittivity
ε_r	Относительная диэлектрическая проницаемость	Relative permittivity
ω	Угловая скорость; $2 \cdot \pi \cdot f$	Angular velocity; $2 \cdot \pi \cdot f$

Примечание:

Все размеры даны в мм.



Подготовлен по инициативе российского представительства компании EPCOS

115114, Москва, ул. Летниковская, 11/10, стр. 5

Тел.: +7 (495) 737-16-65