

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН И ПАРАМЕТРОВ КОНДЕНСАТОРОВ

U — напряжение; U_n — номинальное напряжение;
 U_t — предельно допустимое напряжение в интервале температур;
 U_p — предельно допустимое напряжение в интервале давлений;
 U_n — импульсное напряжение;
 Uf — предельно допустимое переменное напряжение;
 U_m — допустимая амплитуда напряжения пульсирующего или импульсного тока и размах напряжения ;
 C — емкость;
 C_n — номинальная емкость; $ДС_n$ — относительное изменение емкости;
 $R_{из}$ — сопротивление изоляции;
 $R_{из\ в-в}$ — сопротивление изоляции между выводами; $R_{из\ в-к}$ — сопротивление изоляции между соединенными вместе выводами и корпусом;
 Z — полное сопротивление;
 T_c — постоянная времени конденсатора;
 r — сопротивление обкладок;
 I_n — номинальный ток; I_n — импульсный ток; $I_{ут}$ — ток утечки; $tg\delta$ — тангенс угла потерь
 A — вносимое затухание;
 $ТКЕ$ — температурный коэффициент емкости;
 k_t — коэффициент снижения напряжения от температуры;
 k_f — коэффициент снижения напряжения от частоты
 t — температура
 f — частота электрического тока; f_n — частота следования импульсов;
 τ — длительность импульса; T_f — длительность фронта;
 T — время;
 P — давление

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Раздел первый

КЛАССИФИКАЦИЯ И СИСТЕМА УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ КОНДЕНСАТОРОВ

1.1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ

Конденсатор — это элемент электрической цепи, состоящий из проводящих электродов (обкладок), разделенных диэлектриком и предназначенный для использования его емкости.

Емкость конденсатора есть отношение заряда конденсатора к разности потенциалов, которую заряд сообщает конденсатору

$$C = q/u,$$

где C - емкость, Ф; q — заряд, Кл; u — разность потенциалов на обкладках конденсатора, В.

За единицу емкости в международной системе СИ принимают емкость такого конденсатора, у которого потенциал возрастает на один вольт при сообщении ему заряда один **кулон** (Кл). Эту единицу называют **фарадой** (Ф). Для практических целей она слишком велика, поэтому на практике используют более мелкие единицы емкости **микрофараду** (мкФ), **нанофараду** (нФ) и **пикофараду** (пФ) $1 \text{ пФ} = 10^6 \text{ мкФ} = 10^9 \text{ нФ} = 10^{12} \text{ пФ}$.

Для конденсатора, обкладки которого представляют собой плоские пластины одинакового размера, разделенные диэлектриком, емкость (Ф) в системе СИ определяется из выражения

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d},$$

где ϵ_0 — электрическая постоянная вакуума, равная $8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м; ϵ_r — относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика (величина безразмерная); S — площадь пластины, м²; d — толщина диэлектрика, м.

В качестве диэлектрика в конденсаторах используются органические и неорганические материалы, в том числе оксидные пленки некоторых металлов. Значения относительной диэлектрической проницаемости для некоторых материалов, используемых в конденсаторах, приведены в табл. 1 1.

При приложении к конденсатору постоянного напряжения происходит его заряд; при этом затрачивается определенная работа, выражаемая в **джоулях** (Дж). Она равна запасенной потенциальной энергии

$$W = CU^2/2.$$

Для сравнения конденсаторов используют удельные характеристики, представляющие собой отношение основных характеристик конденсатора к его объему V или массе m .

Таблица 1.1. Относительные диэлектрические проницаемости некоторых материалов

Материал	ϵ_r	Материал	ϵ_r
Воздух	1,0006	Конденсаторная бумага	3,5 — 6,5
Кварц	2,8	Триацетат и ацетобутират	3,5 — 4
Стекло	4—16	Поликарбонат	2,8—3
Слюда	6-8	Полиэтилентерефталат (лавсан)	3,2-3,4
Стеклоэмаль	10 — 20	Полистирол	2,5
Стеклокерамика	15 — 450	Полипропилен	2,2-2,3
Керамика	12 — 230	Политетрафторэтилен (фторопласт)	2—2, 1
Сегнетокерамика	900 — 8000	Оксидные пленки	10-46

Для низкочастотных конденсаторов основными удельными характеристиками являются *удельная емкость* $C_{уд}$ (мкФ/см³) или *удельный заряд* $q_{уд}$ (мкКл/см³)

$$C_{уд} = C/V \text{ или } q_{уд} = CU/V.$$

Для высокочастотных* высоковольтных конденсаторов удобной характеристикой является *удельная реактивная мощность* (ВА/см³)

$$P_{уд} = wCU^2/V.$$

Для энергоемких накопительных конденсаторов используются *удельная энергия* $W_{уд}$ (Дж/см³) и *удельная масса* $m_{уд}$ (г/Дж)

$$W_{уд} = CU^2/2V, \quad m_{уд} = 2m/CU^2.$$

1.2. КЛАССИФИКАЦИЯ КОНДЕНСАТОРОВ

В данном Справочнике приведены две классификации: одна весьма общая (рис. 1.1), в которой ряд признаков присущ не только конденсаторам, но и многим другим электронным элементам, например по назначению, по способу защиты, по способу монтажа и т. п., и вторая — конкретная, относящаяся только к конденсаторам (рис. 1.2). В основу ее положено дальнейшее деление групп конденсаторов по виду диэлектрика на подгруппы, связанные с использованием их в конкретных цепях аппаратуры, назначением и выполняемой функцией, например, низковольтные и высоковольтные, низкочастотные и высокочастотные, импульсные и пусковые, полярные и неполярные, помехоподавляющие и дозиметрические и др.

В зависимости от назначения конденсаторы разделяются на две большие группы: общего и специального назначения.

Группа общего назначения включает в себя широко применяемые конденсаторы, используемые практически в большинстве видов и классов аппаратуры. Традиционно к ней относят наиболее распространенные низковольтные конденсаторы, к которым не предъявляются особые требования.

Все остальные конденсаторы являются специальными. К ним относятся: высоковольтные, импульсные, помехоподавляющие, дозиметрические, пусковые и др.

По характеру изменения емкости различают конденсаторы постоянной емкости, переменной емкости и подстроечные (см. рис. 1.1).

Из названия конденсаторов постоянной емкости вытекает, что их емкость является фиксированной и в процессе эксплуатации не регулируется.

Конденсаторы переменной емкости допускают изменение емкости в процессе функционирования аппаратуры. Управление емкостью может осуществляться механически, электрическим напряжением (вариконды) и температурой (термоконденсаторы). Их применяют для плавной настройки колебательных контуров, в цепях автоматики и т. п.

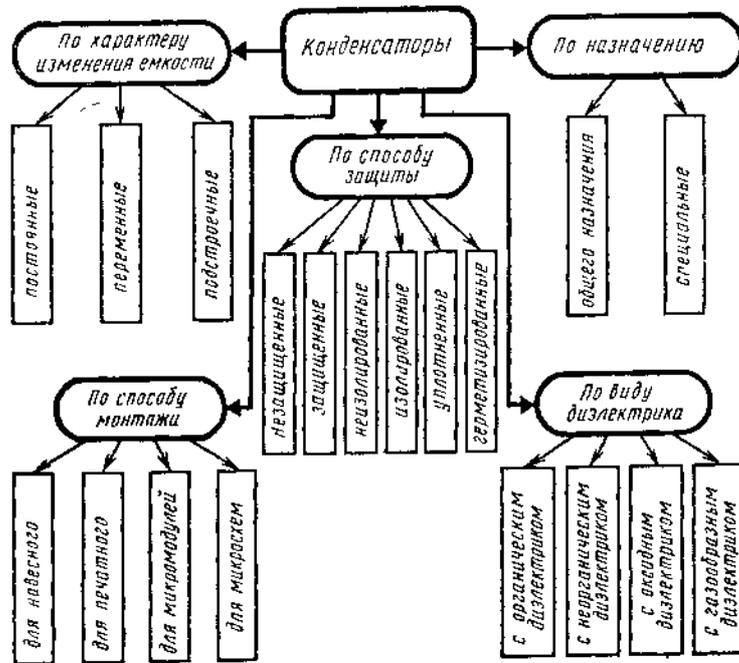


Рис. 1.1. Общая классификация конденсаторов

Емкость подстроенных конденсаторов изменяется при разовой или периодической регулировке и не изменяется в процессе функционирования аппаратуры. Их используют для подстройки и выравнивания начальных емкостей сопрягаемых контуров, для периодической подстройки и регулировки цепей схем, где требуется незначительное изменение емкости и т. п.

В зависимости от способа монтажа конденсаторы могут выполняться для печатного и для навесного монтажа, а также для использования в составе микромодулей и микросхем или для сопряжения с ними. Выводы конденсаторов для навесного монтажа могут быть жесткие или мягкие, аксиальные или радиальные из проволоки круглого сечения или ленты, в виде лепестков, с кабельным вводом, в виде проходных шпилек, опорных винтов и т. п. У конденсаторов для

микросхем и микромодулей, а также СВЧ конденсаторов в качестве выводов могут использоваться части их поверхности. У большинства типов оксидных, а также проходных и опорных конденсаторов одна из обкладок соединяется с корпусом, который служит вторым выводом.

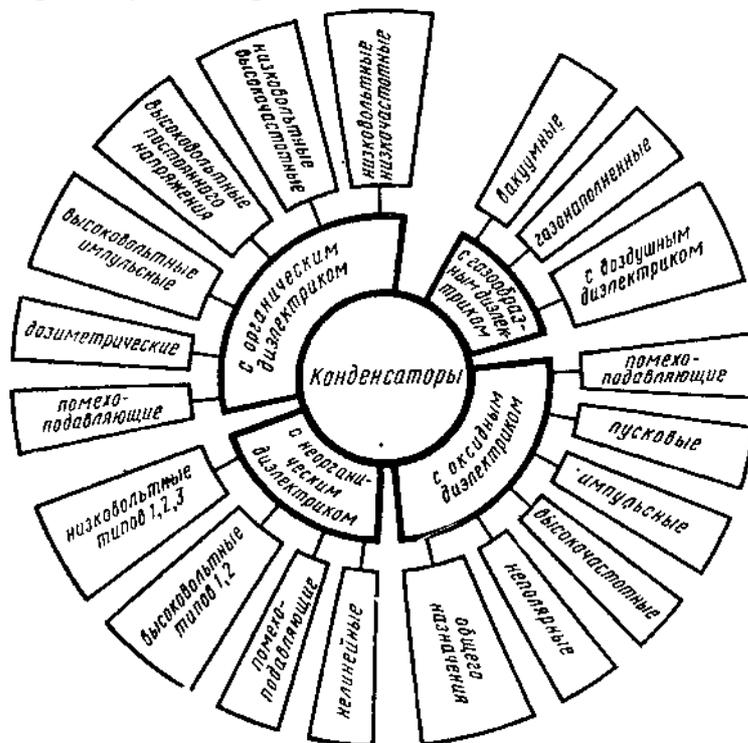


Рис 1.2. Классификация конденсаторов по виду диэлектрика

По характеру защиты от внешних воздействующих факторов конденсаторы выполняются: незащищенными, защищенными, неизолированными, изолированными, уплотненными и герметизированными.

Незащищенные конденсаторы допускают эксплуатацию в условиях повышенной влажности только в составе герметизированной аппаратуры. Защищенные конденсаторы допускают эксплуатацию в аппаратуре любого конструктивного исполнения.

Неизолированные конденсаторы (с покрытием или без покрытия) не допускают касания своим корпусом шасси аппаратуры. Напротив, изолированные конденсаторы имеют достаточно хорошее изоляционное покрытие (компаунды, пластмассы и т. п.) и допускают касания корпусом шасси или токоведущих частей аппаратуры.

Уплотненные конденсаторы имеют уплотненную органическими материалами конструкцию корпуса.

Герметизированные конденсаторы имеют герметичную конструкцию корпуса, который исключает возможность сообщения окружающей среды с его внутренним пространством. Герметизация осуществляется с помощью керамических и металлических корпусов или стеклянных колб.

По виду диэлектрика все конденсаторы можно разделить на группы: с органическим, неорганическим, газообразным и оксидным диэлектриком, который является также неорганическим, но в силу особой специфики характеристик выделен в отдельную группу.

Конденсаторы с органическим диэлектриком. Эти конденсаторы изготавливают обычно намоткой тонких длинных лент конденсаторной бумаги, пленок или их комбинации с металлизированными или фольговыми электродами.

Деление конденсаторов с органической изоляцией на низковольтные (до 1600 В) и высоковольтные (свыше 1600 В) носит чисто условный характер и не для всех типов строго соблюдается. Например, для бумажных конденсаторов границей деления является напряжение 1000 В.

По назначению и используемым диэлектрическим материалам низковольтные конденсаторы можно разделить на низкочастотные и высокочастотные.

К **низкочастотным пленочным** относятся конденсаторы на основе полярных и слабополярных органических пленок (бумажные, металлобумажные, полиэтилентерефталатные, комбинированные, лакопленочные, поликарбонатные и полипропиленовые), тангенс угла диэлектрических потерь которых имеет резко выраженную зависимость от частоты. Они способны работать на частотах до 10^4 — 10^5 Гц при существенном снижении амплитуды переменной составляющей напряжения с увеличением частоты.

К **высокочастотным пленочным** относятся конденсаторы на основе неполярных органических пленок (полистирольные и фторопластовые), имеющих малое значение тангенса угла диэлектрических потерь, не зависящее от частоты. Они допускают работу на частотах до 10^5 — 10^7 Гц. Верхний предел по частоте зависит от конструкции обкладок и контактного узла и от емкости. К этой группе относят и некоторые типы конденсаторов на основе слабополярной полипропиленовой пленки.

Высоковольтные конденсаторы можно разделить на высоковольтные постоянного напряжения и высоковольтные импульсные.

В качестве диэлектрика высоковольтных конденсаторов постоянного напряжения используют: бумагу, полистирол, политетрафторэтилен (фторопласт), полиэтилентерефталат (лавсан) и сочетание бумаги и синтетических пленок (комбинированные).

Высоковольтные импульсные конденсаторы в большинстве случаев делают на основе бумажного- и комбинированного диэлектриков.

Основное требование, предъявляемое к высоковольтным конденсаторам, — высокая электрическая прочность. Поэтому часто прибегают к использованию комбинированного диэлектрика, состоящего, например, из слоев бумаги и пленки, слоев различных органических пленок и слоя жидкого диэлектрика (пропитанная конденсаторная бумага). Комбинированные конденсаторы обладают повышенной по сравнению с бумажными конденсаторами электрической прочностью, надежностью и имеют более высокое сопротивление изоляции.

Высоковольтные импульсные конденсаторы наряду с высокой

электрической прочностью и сравнительно большими емкостями должны допускать быстрые разряды, т. е. пропускать большие токи. Следовательно, их собственная индуктивность должна быть малой, чтобы не искажать формы импульсов. Этим требованиям лучше всего удовлетворяют конденсаторы бумажные, металлобумажные и комбинированные.

Дозиметрические конденсаторы работают в цепях с низким уровнем токовых нагрузок. Поэтому они должны обладать очень малым саморазрядом, большим сопротивлением изоляции, а следовательно, и большой постоянной времени. Лучше всего для этой цели подходят фторопластовые конденсаторы.

Помехоподавляющие конденсаторы предназначены для ослабления электромагнитных помех в широком диапазоне частот. Они имеют малую собственную индуктивность, в результате чего повышается резонансная частота и полоса подавляемых частот. Кроме того, для повышения безопасности обслуживающего персонала, помехоподавляющие конденсаторы должны иметь высокую электрическую прочность изоляции. Помехоподавляющие конденсаторы делают бумажные, комбинированные и пленочные (в основном лавсановые).

Конденсаторы с неорганическим диэлектриком. Конденсаторы с неорганическим диэлектриком можно разделить на три группы: низковольтные, высоковольтные и Помехоподавляющие. В качестве диэлектрика в них используется керамика, стекло, стеклоэмаль, стеклокерамика и слюда. Обкладки выполняются в виде тонкого слоя металла, нанесенного на диэлектрик путем непосредственной его металлизации, или в виде тонкой фольги.

Группа низковольтных конденсаторов включает в себя низкочастотные и высокочастотные конденсаторы.

По назначению они подразделяются на три типа:

тип 1 — конденсаторы, предназначенные для использования в резонансных контурах или других цепях, где малые потери и высокая стабильность емкости имеют существенное значение;

тип 2 — конденсаторы, предназначенные для использования в цепях фильтров, блокировки и развязки или других цепях, где малые потери и высокая стабильность емкости не имеют существенного значения;

тип 3 — керамические конденсаторы с барьерным слоем, предназначенные для работы в тех же цепях, что и конденсаторы типа 2, но имеющие несколько меньшее значение сопротивления изоляции и большее значение тангенса угла диэлектрических потерь, что ограничивает область применения низкими частотами.

Обычно конденсаторы типа 1 считаются высокочастотными, а типов 2 и 3 — низкочастотными. Определенной границы по частоте между конденсаторами типов 1 и 2 не существует. Высокочастотные конденсаторы работают в цепях с частотой до сотен мегагерц, а некоторые типы используют в гигагерцевом диапазоне.

Слюдяные и стеклоэмалевые (стеклянные) конденсаторы относятся к конденсаторам типа 1, стеклокерамические могут быть как типа 1, так и типа 2, керамические — трех типов.

Высоковольтные конденсаторы большой и малой реактивной мощности делаются в основном с диэлектриком из керамики и слюды. По назначению они могут быть типов 1 и 2 и так же, как низковольтные конденсаторы, они разделяются на высокочастотные и низкочастотные.

Основным параметром для высоковольтных низкочастотных конденсаторов является удельная энергия, поэтому керамику для них

подбирают с большой диэлектрической проницаемостью. Для высокочастотных конденсаторов основным параметром является допустимая реактивная мощность. Она характеризует нагрузочную способность конденсатора при наличии больших напряжений высокой частоты. Для увеличения реактивной мощности выбирают керамику с малыми потерями, а конструкцию и выводы конденсаторов рассчитывают на возможность прохождения больших токов.

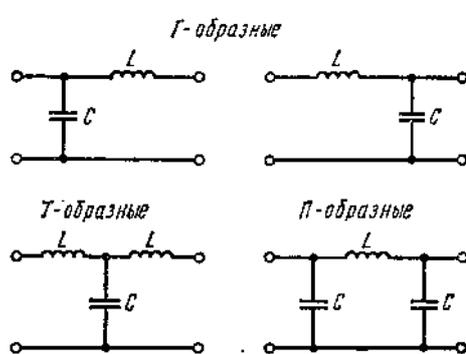
Высоковольтные слюдяные конденсаторы делают фольговыми, так как они предназначены для работы при повышенных токовых нагрузках.

Помехоподавляющие конденсаторы с неорганическим керамическим диэлектриком разделяются на опорные и проходные. Их основное назначение — подавление промышленных и высокочастотных помех, создаваемых промышленными и бытовыми приборами, выпрямительными устройствами и др., а также помех атмосферных и помех, излучаемых различными радиоэлектронными устройствами, т. е. по существу они являются фильтрами нижних частот. К этой группе, исходя из функционального назначения и конструктивного исполнения, условно можно отнести керамические фильтры.

Опорные конденсаторы — это конденсаторы, одним из выводов которых является опорная металлическая пластина с резьбовым креплением.

Проходные конденсаторы делают коаксиальными — один из выводов которых представляет собой токонесущий стержень, по которому протекает полный ток внешней цепи, и некоаксиальными — через выводы которых протекает полный ток внешней цепи.

Проходные керамические конденсаторы имеют конструкцию трубчатого или дискового типа в виде многослойных монолитных шайб.



Если в конденсаторах с целью повышения резонансной частоты принимаются меры к уменьшению собственной индуктивности, то в фильтрах, наоборот, к емкости добавляют внешнюю индуктивность (ферритовый сердечник) либо используют индуктивность выводов. При этом в зависимости от соединения емкости и индуктивности возможны следующие схемы включения: Г-образные, Т-образные и П-образные (рис. 1.3).

Рис. 1.3. Электрические схемы

Конденсаторы с оксидным диэлектриком (старое название — электролитические). Они разделяются на конденсаторы: общего назначения, неполярные, высокочастотные, импульсные, пусковые и помехоподавляющие. В качестве диэлектрика в них, используется оксидный слой, образуемый электрохимическим путем на аноде — металлической обкладке из некоторых металлов.

В зависимости от материала анода оксидные конденсаторы подразделяют на алюминиевые, танталовые и ниобиевые.

Второй обкладкой конденсатора — катодом служит электролит, пропитывающий бумажную или тканевую прокладку в оксидно-электролитических (жидкостных) алюминиевых и танталовых конденсаторах, жидкий или гелеобразный электролит в танталовых объемно-пористых конденсаторах и полупроводник (двуокись марганца) в оксидно-полупроводниковых конденсаторах.

Конденсаторы с оксидным диэлектриком — низковольтные, с относительно большими потерями, но в отличие от других типов низковольтных конденсаторов имеют несравнимо большие заряды и большие емкости (от единиц до сотен тысяч микрофард). Они используются в фильтрах источников электропитания, цепях развязки, шунтирующих и переходных цепях полупроводниковых устройств на низких частотах и т. п.

Конденсаторы группы общего назначения имеют униполярную (одностороннюю) проводимость, вследствие чего их эксплуатация возможна только при положительном потенциале на аноде. Тем не менее, это наиболее распространенные оксидные конденсаторы. Они могут быть жидкостными, объемно-пористыми и оксидно-полупроводниковыми.

Неполярные конденсаторы с оксидным диэлектриком могут включаться в цепь постоянного и пульсирующего тока без учета полярности, а также допускать смену полярности в процессе эксплуатации.

Неполярные конденсаторы делают оксидно-электролитические (жидкостные) алюминиевые и танталовые и оксидно-полупроводниковые танталовые.

Высокочастотные конденсаторы (алюминиевые жидкостные и танталовые оксидно-полупроводниковые) широко применяются в источниках вторичного электропитания, в качестве накопительных и фильтрующих элементов в цепях развязок и переходных цепях полупроводниковых устройств в диапазоне частот пульсирующего тока от десятков герц до сотен килогерц. Отсюда следует, что понятие «высокочастотные» для оксидных конденсаторов относительное. По частотным характеристикам их нельзя сравнивать с конденсаторами на неорганической основе.

Для расширения возможностей использования оксидных конденсаторов в более широком диапазоне частот необходимо снижать их полное сопротивление. Это оказалось возможным при появлении совершенно новых конструктивных решений — четырехвыводных конструкций и плоской конструкции типа «книга», позволяющих их эксплуатацию на значительно более высоких частотах.

Импульсные конденсаторы используются в электрических цепях с относительно длительным зарядом и быстрым разрядом, например в устройствах фотовспышек и др. Такие конденсаторы должны быть энергоемкими, иметь малое полное сопротивление и большое рабочее напряжение. Наилучшим образом этому требованию удовлетворяют оксидно-электролитические алюминиевые конденсаторы с напряжением до 500 В.

Пусковые конденсаторы используются в асинхронных двигателях, в которых емкость включается только на момент пуска двигателя. При наличии пусковой емкости вращающееся поле двигателя при пуске приближается к круговому, а магнитный поток увеличивается. Все это способствует повышению пускового момента, улучшает характеристики двигателя.

В связи с тем что пусковые конденсаторы включаются в сеть переменного тока, они должны быть неполярными и иметь сравнительно

большое для оксидных конденсаторов рабочее напряжение переменного тока, несколько превышающее напряжение промышленной сети. На практике используются пусковые конденсаторы емкостью порядка десятков и сотен микрофарад, созданные на основе алюминиевых оксидных пленок с жидким электролитом.

В группу оксидных *помехоподавляющих, конденсаторов* входят только проходные оксидно-полупроводниковые танталовые конденсаторы. Они так же, как и проходные конденсаторы других типов, выполняют роль фильтра нижних частот, но в отличие от них имеют гораздо большие значения емкостей, что дает возможность сдвигать частотную характеристику в область более низких частот.

Конденсаторы с газообразным диэлектриком. По выполняемой функции и характеру изменения емкости эти конденсаторы разделяются на постоянные и переменные. В качестве диэлектрика в них используется воздух, сжатый газ (азот, фреон, элегаз), вакуум. Особенностью газообразных диэлектриков являются малое значение тангенса угла диэлектрических потерь (до 10^{-5}) и высокая стабильность электрических параметров. Поэтому основной областью их применения является высоковольтная и высокочастотная аппаратура.

В радиоэлектронной аппаратуре из конденсаторов с газообразным диэлектриком наибольшее распространение получили *вакуумные*. По сравнению с воздушными они имеют значительно большие удельные емкости, меньшие потери в широком диапазоне частот, более высокую электрическую прочность и стабильность параметров при изменении окружающей среды. По сравнению с газонаполненными, требующими периодической подкачки газа из-за его утечки, вакуумные конденсаторы имеют более простую и легкую конструкцию, меньшие потери и лучшую температурную стабильность; они более устойчивы к вибрации, допускают более высокое значение реактивной мощности.

Вакуумные конденсаторы переменной емкости обладают малым значением момента вращения, а масса и габариты их значительно ниже по сравнению с воздушными конденсаторами. Коэффициент перекрытия по емкости вакуумных переменных конденсаторов может достигать 100 и более.

Вакуумные конденсаторы применяются в передающих устройствах ДВ, СВ и КВ диапазонов на частотах до 30—80 МГц в качестве контурных, блокировочных, фильтровых и разделительных конденсаторов, используются также в качестве накопителей в импульсных искусственных линиях формирования и различного рода мощных высоковольтных высокочастотных установках.

1.3. СИСТЕМА УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ И МАРКИРОВКА КОНДЕНСАТОРОВ

Условное обозначение конденсаторов может быть сокращенным и полным.

В соответствии с действующей системой сокращенное условное обозначение состоит из букв и цифр.

Первый элемент — буква или сочетание букв, обозначающие подкласс конденсатора:

К — постоянной емкости,

КТ — подстроечные,

КП — переменной емкости,

Второй элемент — обозначение группы конденсатора в зависимости от материала диэлектрика в соответствии с табл. 1.2

Таблица 1.2. Условное обозначение конденсаторов в зависимости от материала диэлектрика

Подкласс конденсаторов	Группа конденсаторов	Обозначение группы
Конденсаторы постоянной емкости	Керамические на номинальное напряжение ниже 1600 В	10
	Керамические на номинальное напряжение 1000 В и выше	15
	Стекланные	21
	Стеклокерамические	22
	Тонкопленочные с неорганическим диэлектриком	26
	Слюдаые малой мощности	31
	Слюдаые повышенной мощности	32
	Бумажные па номинальное напряжение ниже 2 кВ, фольговые	40
	Бумажные на номинальное напряжение 2 кВ и выше, фольговые	41
	Бумажные металлизированные	42
	Оксидно-электролитические алюминиевые	50
	Оксидно-электролитические танталовые, ниобиевые и др.	51
	Объемно-пористые	52
	Оксидно-полупроводниковые	53
	С воздушным диэлектриком	60
	Вакуумные	61
	Полистирольные	71(70)
	Фторопластовые	72
	Полиэтилентерефталатные	73(74)
	Комбинированные	75
Лакопленочные	76	
Поликарбонатные	77	
Полипропиленовые	78	
Подстроенные конденсаторы	Вакуумные	1
	С воздушным диэлектриком	2
	С газообразным диэлектриком	3
	С твердым диэлектриком	4
Конденсаторы переменной емкости	Вакуумные	1
	С воздушным диэлектриком	2
	С газообразным диэлектриком	3
	С твердым диэлектриком	4

Третий элемент — пишется через дефис и обозначает регистрационный номер конкретного типа конденсатора. В состав третьего элемента может входить также буквенное обозначение

Приведенная система не распространяется на условные обозначения старых типов конденсаторов, в основу которых брались различные признаки: конструктивные разновидности, технологические особенности, эксплуатационные характеристики, области применения и т. и. Например:

- КД — конденсаторы дисковые,
- КМ — керамические монолитные,
- КЛС — керамические литые секционные,
- КСО — конденсаторы слюдяные спрессованные,

СГМ — слюдяные герметизированные малогабаритные,
КБГИ — конденсаторы бумажные герметизированные изолированные,
МБГЧ — металлобумажные герметизированные частотные,
КЭГ — конденсаторы электролитические герметизированные,
ЭТО — электролитические танталовые объемно-пористые,
КПК — конденсаторы подстроечные керамические.

Полное условное обозначение конденсатора состоит из сокращенного обозначения, обозначения и величины основных параметров и характеристик, необходимых для заказа и записи в конструкторской документации, обозначения климатического исполнения и документа на поставку.

Параметры и характеристики, входящие в полное условное обозначение, указываются в следующей последовательности:

- обозначение конструктивного исполнения,
- номинальное напряжение,
- номинальная емкость,
- допусковое отклонение емкости (допуск),
- группа и класс по температурной стабильности емкости,
- номинальная реактивная мощность,
- другие, необходимые дополнительные характеристики.

Рассмотрим примеры условных обозначений конденсаторов.

1. Керамический конденсатор постоянной емкости на номинальное напряжение до 1600 В с регистрационным номером 17 сокращенно обозначается К10-17.

2. Подстроечный керамический конденсатор с регистрационным номером 25 сокращенно обозначается КТ4-25.

3. Конденсатор керамический К10-7В, всеклиматического исполнения «В», группы ТКЕ М47, номинальной емкостью 27 пФ, с допуском $\pm 10\%$, поставляемый по ГОСТ 5.621-70, имеет полное условное обозначение

К10-7В-М47-27пФ $\pm 10\%$ ГОСТ 5.621-70.

4. Конденсатор полиэтилентерефталатный К74-5 номинальной емкостью 0,22 мкФ, с допуском $\pm 20\%$, поставляемый по ГОСТ 5.623-70, имеет полное условное обозначение

К74-5-0,22 мкФ $\pm 20\%$ ГОСТ 5.623-70.

5. Конденсатор оксидно-электролитический алюминиевый К50-7, конструктивного варианта «а», на номинальное напряжение 250 В, номинальной емкостью 100 мкФ, всеклиматического исполнения «В», поставляемый по ГОСТ 5.636.-70, имеет полное условное обозначение

К50-7а-250 В-100 мкФ-В ГОСТ 5.635-70.

6. Конденсатор подстроечный с твердым керамическим диэлектриком, малогабаритный КПК-М, с пределами номинальной емкости от 2 до 7 пФ, поставляемый по ГОСТ 5.500-76, имеет полное условное обозначение

КПК-М-2/7 ГОСТ 5 500-76.

Маркировка на конденсаторах (так же как и условное обозначение) буквенно-цифровая. Она содержит: сокращенное обозначение конденсатора, номинальное напряжение, номинальное значение емкости, допуск, обозначение климатического исполнения (буква «В» для конденсаторов всеклиматического исполнения) и дату изготовления.

В зависимости от размеров маркируемых конденсаторов и вида технической документации могут применяться полные или сокращенные (кодированные) обозначения номинальных емкостей и их допускаемых отклонений. Кодированные обозначения предназначены для маркировки малогабаритных конденсаторов и для записи на малоформатных многоэлементных принципиальных электрических схемах.

Полное обозначение номинальных емкостей состоит из значения номинальной емкости (цифра) и обозначения единицы измерения (пФ — пикофарады, мкФ — микрофарады, Ф — фарады), например: 1,5 пФ; 0,1 мкФ; 10 мкФ; 1 Ф.

Кодированное обозначение номинальных емкостей состоит из трех или четырех знаков, включающих две или три цифры и букву. Буква кода из русского или латинского алфавита (в скобках) обозначает множитель, составляющий значение емкости, и определяет положение запятой десятичного знака. Буквы **П**(*p*), **Н**(*n*), **М**(*мю*), **И**(*m*), **Ф**(*F*) обозначают множители 10^{-12} , 10^{-9} , 10^{-6} , 10^{-3} и 1 соответственно для значений емкости, выраженных в фарадах. Для приведенного примера следует писать: **1П5** (*1p5*), **10Н** (*10n*), **10М** (*10мю*), **1Ф0** (*1F0*).

Полное обозначение допускаемого отклонения состоит из цифр, а кодированное из буквы. В связи с тем что буквенное обозначение допусков изменялось и на практике могут встречаться различные варианты, в табл. 1.3 приведены кодированные обозначения допусков по стандартам СССР, публикаций Международной электротехнической комиссии (МЭК) и стандарта СЭВ.

Т а б л и ц а 1.3. Сравнительные данные по составу и обозначению допускаемых отклонений емкостей

ГОСТ 9061-73	ГОСТ 11076—69	Публикация 62 МЭК	Стандарт СЭВ
±0,1	±0,1 Ж	±0,1 (B)	±0,1 В (B)
±0,25	±0,2 У	±0,25 (C)	±0,25 (0,2) С (C)
±0,5	±0,5 Д	±0,5 (D)	±0,5 Д (D)
±1	±1 Р	±1 (F)	±1 Ф (F)
±2	±2 Л	±2 (G)	±2 Ж (G)
±5	±5 И	±5 (I)	±5 И (I)
±10	±10 С	±10 (K)	±10 К (K)
±20	±20 В	±20 (M)	±20 М (M)
±30	±30 Ф	±30 (N)	±30 Н (N)
0+50	—	—	0+50(0+80) А (A)
—	0+100 Я	—	—
-10+30	—	-10+30 (Q)	-10+30 Г (Q)
-10+50	-10+50 Э	-10 + 50 (T)	-10+50 Т (T)
-10+100	-10+100 Ю	—	-10+100 Ю (Y)
-20 + 50	-20+50 Б	-20 + 50 (S)	-20 + 50 Б (S)
-20+80	-20+80 А	-20+80 (Z)	-20+80 (-20+100) Э (Z)
±0,1 пФ	—	±0,1 пФ (B)	±0,1 пФ В (B)
+ 0,25 пФ	—	±0,25 пФ (C)	±0,25 лФ С (C)
±0,5 пФ	±0,4 пФ Х	±0,5 пФ (D)	±0,5 пФ Д (D)
±1 пФ	—	±1 пФ (Г)	±1 пФ Ф (F)

Примечание В скобках латинскими буквами приведено обозначение допусков, используемое в иностранных стандартах.

Раздел второй

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНДЕНСАТОРОВ

2.1. НОМИНАЛЬНАЯ ЕМКОСТЬ И ДОПУСКАЕМОЕ ОТКЛОНЕНИЕ ЕМКОСТИ

Номинальная емкость — емкость, значение которой обозначено на конденсаторе или указано в нормативно-технической документации и является исходным для отсчета допускаемого отклонения.

Номинальные значения емкостей стандартизованы и выбираются из определенных рядов чисел. Согласно стандарту СЭВ 1076-78 установлены семь рядов: E3; E6; E12; E24; E48; E96; E192. Цифры после буквы E указывают число номинальных значений в каждом десятичном интервале (декаде). Например, ряд E6 содержит шесть значений номинальных емкостей в каждой декаде, которые соответствуют числам 1,0; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8 или числам, полученным путем их умножения или деления на 10^n , где n — целое положительное или отрицательное число.

В производстве конденсаторов чаще всего используются ряды E3, E6, E12 и E24 (табл. 2.1), реже E48, E96 и E192. Некоторые специальные конденсаторы могут изготавливаться на заданную емкость, которая указывается в документе на поставку.

Таблица 2.1. Наиболее употребляемые ряды номинальных значений емкостей

E3	E6	E12	E24	E3	E4	E12	E24
1,0	1,0	1,0	1,0		3,3	3,3	3,3
			1,1				3,6
		1,2	1,2			3,9	3,9
			1,3				4,3
	1,5	1,5	1,5	4,7	4,7	4,7	4,7
			1,6				5,1
		1,8	1,8			5,6	5,6
			2,0				6,2
2,2	2,2	2,2	2,2		6,8	6,8	6,8
			2,4				7,5
		2,7	2,7			8,2	8,2
			3,0				9,1

Фактические значения емкостей могут отличаться от номинальных в пределах **допускаемых, отклонений**. Последние указываются в процентах в соответствии с рядом: $\pm 0,1$; $\pm 0,25$; $\pm 0,5$; ± 1 ; ± 2 ; ± 10 ; ± 20 ; ± 30 ; $0+50$; $-10+30$; $-10+50$; $-10+100$; $-20+50$; $-20+80$. Для конденсаторов с номинальными емкостями, ниже 10 пФ допускаемые отклонения указываются в абсолютных значениях: $\pm 0,1$; $\pm 0,25$; $\pm 0,5$ и ± 1 пФ.

2.2. НОМИНАЛЬНЫЕ НАПРЯЖЕНИЕ И ТОК

Номинальное напряжение — значение напряжения, обозначенное на конденсаторе или указанное в НТД, при котором он может

работать в заданных условиях в течение срока службы с сохранением параметров в допустимых пределах.

Значение номинального напряжения зависит от конструкции конденсатора и физических свойств материалов, примененных при его конструировании.

Номинальное напряжение устанавливается с необходимым запасом по отношению к электрической прочности диэлектрика, исключающим возникновение "в течение гарантированного срока службы интенсивного старения диэлектрика, которое приводит к существенному ухудшению электрических характеристик конденсатора.

Электрическая прочность диэлектрика зависит от вида электрического напряжения (постоянное, переменное, импульсное), от температуры и влажности окружающей среды, от площади обкладок конденсатора, с увеличением которой растет число «слабых мест» диэлектрика, и от времени его эксплуатации. Соответственно от этих факторов зависит и значение номинального напряжения.

Номинальное напряжение конденсаторов многих типов уменьшается с ростом температуры окружающей среды, так как с увеличением температуры, как правило, ускоряются процессы старения диэлектрика.

При эксплуатации конденсаторов на переменном или постоянном токе, с наложением переменной составляющей напряжения необходимо выполнять следующие условия:

сумма постоянного напряжения и амплитуды переменной составляющей не должна превышать допустимого напряжения, которое указывается в документе на поставку;

амплитуда переменного напряжения не должна превышать значения напряжения, рассчитанного исходя из допустимой реактивной мощности:

$$U=565 \cdot 10^3 \sqrt{(P_{p, \text{доп}}/fC)}$$

где U — амплитуда переменного напряжения, В; $P_{p, \text{доп}}$ — допустимая реактивная мощность, ВАР; f — частота, Гц; C — емкость, пФ.

Для конденсаторов с номинальным напряжением 10 кВ и менее значения номинальных напряжений устанавливаются согласно ГОСТ 9665-77 из ряда: 1; 1,6; 2,5; 3,2; 4; 6,3; 10; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 350; 400; 450; 500; 630; 800; 1000; 1600; 2000; 2500; 3000; 4000; 5000; 6300; 8000; 10000 В.

Под **номинальным током конденсатора** понимают наибольший ток, при котором конденсатор может работать в заданных условиях в течение гарантированного срока службы. Этот параметр наиболее характерен для вакуумных конденсаторов. Он введен для правильного выбора тепловых режимов конденсатора при больших значениях электрического тока.

Значение номинального тока зависит от конструкции конденсатора, примененных в нем материалов, частоты переменного или пульсирующего напряжения и температуры окружающей среды. При прохождении через конденсатор радиоимпульсов значение импульсного тока I_n может превышать номинальный ток I_n в \sqrt{Q} раз:

$$I_n = I_n \cdot \sqrt{Q},$$

где Q — скважность импульсов.

Значение номинального тока вакуумных конденсаторов устанавливается согласно ГОСТ 14611-78 из ряда: 5; 7,5; 10; 12; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 50; 60; 75; 100; 125; 150; 200; 250; 300; 400; 500; 600; 750; 1000 А.

2.3. ТАНГЕНС УГЛА ПОТЕРЬ

Тангенс угла потерь δ характеризует потери энергии в конденсаторе и определяется отношением активной мощности к реактивной при синусоидальном напряжении определенной частоты:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{P_a}{P_p} = \frac{UI \cos \varphi}{UI \sin \varphi} = \frac{\cos (90 - \delta)}{\sin (90 - \sigma)} = \frac{\sin \sigma}{\cos \sigma},$$

где φ — угол сдвига фаз между током и напряжением в цепи конденсатор — источник тока; δ — угол потерь, дополняющий до 90° угол сдвига фаз φ .

Конкретное значение тангенса угла потерь зависит от типа диэлектрика и его качества, а также от температуры окружающей среды и от частоты переменного тока, на которой он определяется (измеряется). Как правило, $\operatorname{tg} \delta$ имеет минимум в области комнатных температур. С ростом частоты значение $\operatorname{tg} \delta$ увеличивается.

С течением времени (длительное хранение и наработка), а также эксплуатации во влажной среде значение $\operatorname{tg} \delta$ растет и может увеличиться в несколько раз.

2.4. СОПРОТИВЛЕНИЕ ИЗОЛЯЦИИ, ТОК УТЕЧКИ

Электрическое сопротивление конденсатора постоянному току определенного напряжения называется *сопротивлением изоляции конденсатора*. Этот параметр характерен для конденсаторов с органическим и неорганическим диэлектриками. Измерение сопротивления изоляции производят при напряжениях 10, 100 и 500 В соответственно для конденсаторов с номинальным напряжением до 100 В, 100—600 В и свыше 500 В.

Сопротивление изоляции характеризует качество диэлектрика и качество изготовления конденсаторов и зависит от типа диэлектрика. Сопротивление изоляции для конденсаторов большой емкости обратно пропорционально площади обкладок, т. е. емкости конденсаторов. Поэтому для конденсаторов емкостью более 0,33 мкФ принято вместо сопротивления изоляции приводить значение постоянной времени, выражаемое в секундах (МОм * мкФ), равное произведению сопротивления изоляции на значение номинальной емкости.

Сопротивление изоляции или постоянная времени зависит от типа диэлектрика, конструкции конденсатора и условий его эксплуатации. При длительном хранении и наработке сопротивление изоляции может уменьшиться на один - три порядка.

Сопротивление изоляции конденсатора измеряют между его выводами. Для конденсаторов, допускающих касание своим корпусом шасси или токоведущих шин, вводится понятие *сопротивление изоляции между корпусом и соединенными вместе выводами*.

Ток проводимости, проходящий через конденсатор при постоянном напряжении на его обкладках в установившемся режиме, называют *током утечки*.

Ток утечки обусловлен наличием в диэлектрике свободных носителей заряда и характеризует качество диэлектрика конденсатора. Этот параметр характерен для вакуумных и оксидных конденсаторов.

Ток утечки в большой степени зависит от значения приложенного напряжения и времени, в течение которого оно приложено. Ток

утечки измеряется через 1—5 мин после подачи на конденсатор номинального напряжения. При включении конденсатора под напряжение происходит «тренировка», т. е. постепенное уменьшение тока утечки. При длительном хранении и длительной работе ток утечки конденсаторов растет.

2.5. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ЕМКОСТИ

Величина, применяемая для характеристики конденсаторов с линейной зависимостью емкости от температуры и равная относительному изменению

Таблица 2.2. Группы ТКЕ конденсаторов с линейной или близкой к ней зависимостью емкости

Обозначение групп ТКЕ	Номинальное значение ТКЕ при 20—85°С (ТКЕХ10 ⁶ , 1/°С)
П100 (П120)	+100 (+120)
П60	+60
П33	+33
МП0	0
м33	—33
М47	—47
М75	—75
М150	—150
М220	—220
М330	—330
М47С	—470
М750 (М700)	-750, (-700)
М1500 (М1300)	—1500 (—1300)
М2200	—2200
М3300	—3300

Таблица 2.3. Группы керамических конденсаторов типа 2 по допускаемому изменению емкости в интервале температур

Условное обозначение групп	Допускаемое относительное изменение емкости в интервале рабочих температур, %
Н10	±10
Н20	±20
Н30	±30
Н50	±50
Н70	±70
Н90	±90

емкости при изменении температуры окружающей среды на один градус Цельсия (Кельвина), называется **температурным коэффициентом емкости (ТКЕ)**.

По значению ТКЕ керамические и некоторые другие конденсаторы разделяются на группы, приведенные в табл. 2.2.

Для конденсаторов с нелинейной зависимостью емкости от температуры, а также с большими уходами емкости от температуры обычно приводится относительное изменение емкости в рабочем интервале температур.

Керамические конденсаторы типа 2 по допускаемому изменению емкости в рабочем интервале температур разделяются на следующие группы (табл. 2.3).

Слюдяные конденсаторы по значению ТКЕ разделяются на следующие группы (табл. 2.4).

Таблица 2.4. Группы ТКЕ слюдяных конденсаторов

Обозначение групп ТКЕ	Номинальное значение ТКЕ (ТКЕх10 ⁶ , 1/°С)
А	Не нормируется
Б	±200
В	±100
Г	±50

2.6. ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АБСОРБЦИЯ КОНДЕНСАТОРОВ

Явление, обусловленное замедленными процессами поляризации в диэлектрике, приводящее к появлению напряжения на электродах после кратковременной разрядки конденсатора, называется *диэлектрической абсорбцией*.

Напряжение, появляющееся на обкладках конденсатора после его кратковременной разрядки, существенно зависит от длительности времени зарядки конденсатора, времени, в течение которого он был замкнут, и времени, прошедшего после этого. Количественное значение абсорбции принято характеризовать *коэффициентом абсорбции (K_a)*, который определяется в стандартных условиях. Примерный график зависимости напряжения на конденсаторе от времени при измерении коэффициента абсорбции приведен на рис. 2.1.

Численные значения коэффициента абсорбции для некоторых типов конденсаторов приведены в табл. 2.5.

Таблица 2.5. Значения коэффициентов абсорбции

Группа конденсаторов	K_a , %
Полистрольные	0,03—0,1
Фторопластовые металлизированные	0,03—0,15
Комбинированные	0,4-1,0
Полиэтилентерефталатные	0,2—0,8
Лакопленочные	0,7-1,3
Бумажные	0,6— 1,0
Металлобумажные	2,0—3,0
Слюдяные	1,5—5,0
Керамические	5—15
Оксидные	1-5,5

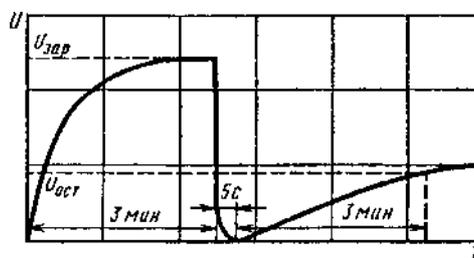


Рис. 2.1. Зависимость напряжения на конденсаторе от времени при измерении коэффициента абсорбции

Коэффициент абсорбции конденсаторов зависит от температуры окружающей среды и повышается с ее ростом.

2.7. ПОЛНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ КОНДЕНСАТОРА, РЕЗОНАНСНАЯ ЧАСТОТА

Под *полным сопротивлением конденсатора* понимают сопротивление конденсатора переменному синусоидальному току определенной частоты, обусловленное наличием у реального конденсатора наряду с емкостью также активного сопротивления и индуктивности.

Значения активного сопротивления и индуктивности зависят от характеристик используемых материалов и конструктивного исполнения конденсатора.

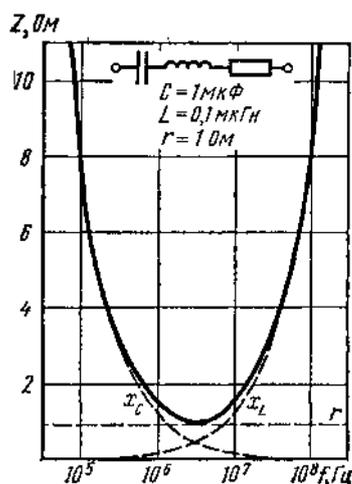
Полное сопротивление конденсатора Z при представлении его в качестве последовательно соединенных собственной емкости C , индуктивности секции и вводов L , активного сопротивления выво-

дов, контактного узла и сопротивления обкладок r , на частоте f определяется по формуле

$$Z = \sqrt{r^2 + \left(\frac{1}{2\pi fC} - 2\pi fL\right)^2}$$

Самая низкая частота, при которой полное сопротивление конденсатора будет минимальным и чисто активным, называется **резонансной частотой конденсатора**.

$$f_{\text{рез}} = 1/2\pi \sqrt{LC}$$



На частоте ниже резонансной полное сопротивление конденсатора носит емкостный характер, на частотах выше резонансной — индуктивный (рис. 2.2). Ориентировочные значения резонансных частот и собственных индуктивностей различных типов конденсаторов представлены в табл. 2.6.

При анализе возможности эксплуатации конденсатора в различных электрических цепях часто пользуются понятием **эквивалентное последовательное сопротивление** (ЭПС), понимая под ним активную составляющую полного сопротивления.

Рис. 2.2. Зависимость полного сопротивления конденсатора от частоты.

Таблица 2.6. Значения индуктивности и резонансных частот конденсаторов

Группа конденсаторов	Собственная индуктивность конденсатора, нГн	Резонансная частота, МГц
Керамические, слюдяные	0,25-15	1—5000
Бумажные, пленочные в цилиндрических корпусах	6—20	1,5—15
Бумажные, пленочные в прямоугольных корпусах	10—100	0,1-2,5
С оксидным диэлектриком	3-40	0,035—12

2.8. РЕАКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ

Произведение напряжения U определенной частоты f , приложенного к конденсатору, на силу тока I , проходящего через него, и на синус угла сдвига фаз φ между ними определяет значение **реактивной мощности конденсатора**. В большинстве случаев угол сдвига фаз близок к 90° , поэтому $\sin \varphi = 1$ и

$$P_p = 2\pi f C U^2$$

Понятие реактивной мощности введено для высокочастотных и особенно высоковольтных конденсаторов и используется при установлении допустимых электрических режимов эксплуатации. При этом в области низких частот ограничения определяются допустимой амплитудой напряжения переменного тока, а на высоких частотах — допустимой реактивной мощностью конденсатора. Таким образом, реактивная мощность характеризует нагрузочную способность конденсатора при наличии на нем больших напряжений высокой частоты.

При умножении реактивной мощности на коэффициент $\text{tg } \delta / (1 + \text{tg}^2 \delta)$ получим *активную мощность*, обусловленную наличием потерь в конденсаторе и вызывающую его нагрев.

2.9. ВНОСИМОЕ ЗАТУХАНИЕ И СОПРОТИВЛЕНИЕ СВЯЗИ

Вносимое затухание и сопротивление связи — это величины, характеризующие способность помехоподавляющих конденсаторов и фильтров подавлять помехи переменного тока заданной частоты.

Вносимое затухание (A) пропорционально логарифму отношения напряжений, измеренных на нагрузке электрической цепи до (U_1) и после (U_2) включения конденсатора или фильтра в эту цепь:

$$A = 20 \lg(U_1/U_2).$$

Сопротивление связи ($R_{св}$) определяется как отношение напряжения на выходе помехоподавляющего конденсатора ($U_{\text{вых}}$) к его входному току ($I_{\text{вх}}$). Понятие сопротивления связи введено для трех- и четырёхвыводных конденсаторов:

$$R_{св} = U_{\text{вых}}/I_{\text{вх}}$$

Вносимое затухание и сопротивление связи зависят от частоты переменного тока, емкости, индуктивности, добротности и конструкции конденсаторов и фильтров, а также от выходного сопротивления генератора и сопротивления нагрузки.

2.10. СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОДСТРОЕЧНЫХ И ВАКУУМНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

Подстроечные и переменные конденсаторы наряду с основными параметрами, приведенными выше, имеют дополнительные, учитывающие особенности их функционального назначения и конструктивное исполнение.

Вместо параметра *номинальная емкость* используются *параметры максимальная и минимальная емкости*. Это максимальное и минимальное значение емкости конденсатора, которое может быть получено перемещением его подвижной системы.

Специфическими параметрами подстроечных и переменных конденсаторов являются момент вращения, скорость перестройки емкости и износоустойчивость.

Момент вращения — минимальный момент, необходимый для непрерывного перемещения подвижной системы конденсатора.

Скорость перестройки емкости влияет на надежность и прочность конденсатора. В нормативной документации ограничивается скорость перестройки емкости для керамических конденсаторов — не более 10—15 циклов в минуту для вакуумных 5—30. Под *циклом перестройки емкости* понимается перестройка емкости от минимальной до максимальной и обратно. Количество допустимых циклов перестройки емкости определяет износоустойчивость конденсатора.

Под **износоустойчивостью** понимают способность конденсатора сохранять свои параметры (противостоять изнашиванию) при многократных вращениях подвижной системы.

Износоустойчивость конденсаторов и скорость перестройки емкости зависят от конструкции конденсаторов, свойств примененных материалов и технологии их изготовления.

Для вакуумных конденсаторов наиболее важным параметром является **электрическая прочность**. Этот термин не следует отождествлять с определением электрической прочности диэлектрика, принятым в теории диэлектриков. Для конденсаторов термин **электрическая прочность** следует понимать условно, как способность конденсаторов выдерживать определенное время (обычно небольшое, до нескольких минут) приложенное к нему напряжение выше номинального без изменения его эксплуатационных характеристик и пробоя диэлектрика.

Раздел третий

ПРИМЕНЕНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ КОНДЕНСАТОРОВ

3.1. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ФАКТОРЫ И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА КОНДЕНСАТОРЫ

Эксплуатационная надежность конденсаторов в аппаратуре во многом определяется (воздействием комплекса факторов, которые по своей природе можно разделить на следующие группы:

электрические нагрузки (напряжение, ток, реактивная мощность, частота переменного тока);

климатические нагрузки (температура и влажность окружающей среды, атмосферное давление, биологические факторы и т. д.);

механические нагрузки (вибрация, удары, постоянно действующее ускорение, акустические шумы);

радиационные воздействия (поток нейтронов, гамма-лучи, солнечная радиация и др.).

Под воздействием указанных факторов происходит изменение параметров конденсаторов. В зависимости от вида и длительности нагрузки уходы параметров складываются из обратимого (временного) и необратимого изменений.

Обратимые изменения параметров вызываются кратковременным воздействием нагрузок, не приводящих к изменению свойств конструкционных материалов и проявляющихся лишь в условиях воздействия нагрузок. После снятия нагрузки параметры конденсаторов принимают значения, близкие к начальным.

Климатические нагрузки. Температура и влажность окружающей среды являются важнейшими факторами, влияющими на надежность, долговечность и сохраняемость конденсаторов. Длительное воздействие повышенной температуры вызывает старение диэлектрика, в результате чего параметры конденсаторов претерпевают необ-

ратимые изменения. Предельно допустимая температура для конденсаторов ограничивается заданием максимальной положительной температуры окружающей среды и величиной электрической нагрузки. Применение конденсаторов в условиях, превышающих эти ограничения, недопустимо, так как может вызвать резкое ухудшение параметров (снижение сопротивления изоляции и электрической прочности, уменьшение емкости, увеличение тока и тангенса угла потерь), нарушение герметичности спаев, ухудшение изоляционных и защитных свойств органических покрытий и заливочных материалов, а в ряде случаев может привести к полной потере работоспособности конденсаторов.

Наряду с внешней температурой на конденсаторы в составе аппаратуры может дополнительно воздействовать теплота, выделяемая другими сильно нагревающимися при работе аппаратуры изделиями (мощные генераторные и модуляторные лампы, резисторы и т. п.).

Тепловое воздействие на конденсаторы может быть как непрерывным, так и периодически изменяющимся. Резкое изменение температуры может вызвать механические напряжения в разнородных материалах, нарушение герметичности паяных соединений, появление трещин, зазоров в деталях конденсаторов.

Для многих типов конденсаторов в условиях низких температур характерно снижение емкости, особенно у оксидных и керамических конденсаторов типа 2 (рис. 3.1, 3.2). У оксидных конденсаторов при низких температурах увеличивается тангенс угла потерь (рис. 3.3). Все типы оксидных конденсаторов с жидким или пастообразным электролитом при температурах ниже 60°C практически неработоспособны из-за резкого снижения емкости и увеличения тангенса угла потерь.

При эксплуатации конденсаторов в условиях сверхнизких температур (до минус 180°C) за счет повышения хрупкости ряда конструкционных материалов возможно ухудшение механической прочности конденсаторов.

С ростом температуры окружающей среды напряжение на конденсаторе должно снижаться. Типичная зависимость номинального напряжения от температуры приведена на рис. 3.4.

В условиях повышенной влажности на электрические характеристики конденсаторов влияет как пленка воды, образующаяся на поверхности (процесс адсорбции), так и внутреннее поглощение влаги диэлектриком (процесс сорбции). Для герметизированных конденсаторов характерны только адсорбционные процессы. У конденсаторов, не имеющих вакуумноплотной герметизации, возможно также внутреннее проникновение влаги.

Длительное воздействие повышенной влажности наиболее сильно сказывается на изменении параметров негерметизированных конденсаторов. Наименьшую влагостойкость имеют негерметизированные бумажные и металобумажные, а также слюдяные спрессованные конденсаторы. Проникновение влаги внутрь конденсаторов снижает сопротивление изоляции (особенно при повышенных температурах) и электрическую прочность, увеличивает тангенс угла потерь и емкость. Особенно опасно для негерметизированных конденсаторов одновременное длительное воздействие повышенной влажности и электрической нагрузки. При этом у керамических конденсаторов с открытым междуэлектродным зазором возможно снижение сопротивления изоляции или электрической пробой за счет миграции ионов металла обкладок (особенно серебра) по торцу конденсатора,

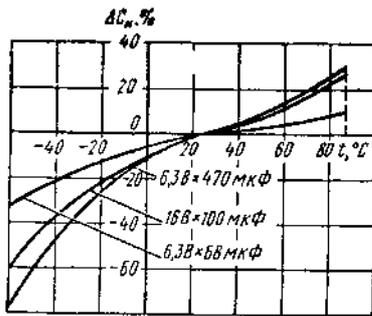


Рис. 3.1. Характер зависимости емкости танталовых оксидно-электролитических конденсаторов от температуры

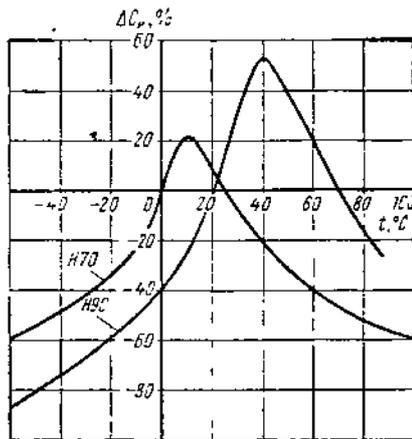


Рис. 3.2. Характер зависимости емкости керамических конденсаторов групп N70 и N90 от температуры

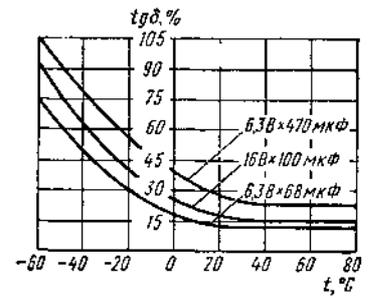


Рис. 3.3. Характер зависимости тангенса угла потерь танталовых оксидно электролитических конденсаторов от температуры

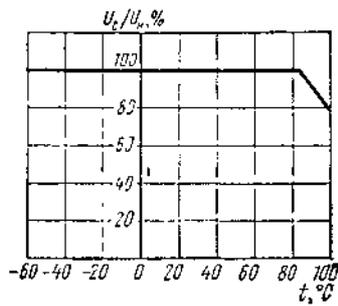
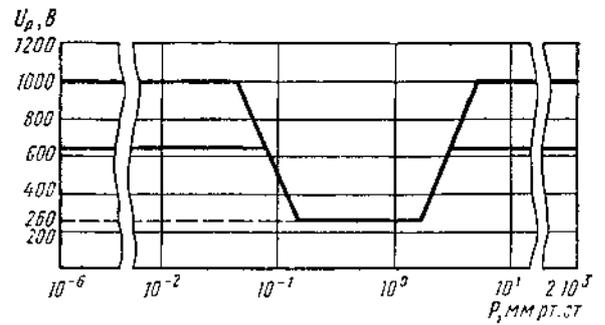


Рис. 3.4. Типичная зависимость допустимого напряжения на конденсаторе от температуры

Рис. 3.5. Зависимость напряжения от давления



а у металлобумажных конденсаторов разрушение обкладок за счет процессов электролиза. После пребывания конденсаторов в нормальных климатических условиях (особенно после подсушки) адсорбированная влага удаляется и герметизированные конденсаторы практически полностью восстанавливают свои параметры.

Кроме непосредственного влияния на электрические характеристики конденсаторов влага вызывает коррозию металлических деталей и контактной арматуры конденсаторов, облегчает условия развития различных плесневых грибков. Появление плесени может вызвать обесцвечивание и разрушение защитных покрытий и маркировки, ухудшение изоляционных свойств органических материалов, способствует образованию слоя влаги на конденсаторах.

В морских районах вредное влияние влаги усиливается за счет присутствия в атмосфере солей, входящих в состав морской воды, что увеличивает электропроводность увлажненных поверхностей, изоляционных материалов, облегчает условия электролиза и коррозии металлов.

В промышленных районах конденсируемая на поверхности конденсаторов влага может содержать растворы сернистых и других агрессивных соединений, усиливающих вредное действие влаги.

При снижении внешней температуры внутри блоков аппаратуры могут создаваться условия, благоприятные для образования инея и выпадения росы. Воздействие инея и росы практически не сказывается на работоспособности низковольтных конденсаторов. Однако наличие влаги на поверхности конденсаторов при выпадении росы может увеличить поверхностную проводимость и привести к снижению сопротивления изоляции, а у высоковольтных конденсаторов — к снижению электрической прочности. После испарения росы электрические характеристики конденсаторов восстанавливаются. Время восстановления зависит от габаритов, конструкции, теплоемкости и других характеристик изделия. Полностью сохраняют работоспособность при воздействии инея и росы конденсаторы с оксидным диэлектриком.

Конденсаторы не подвергаются непосредственному воздействию солнечной радиации, атмосферных осадков, песка и пыли. Однако пыль и песок способствуют коррозии металлических деталей и развитию плесени, а попадая в зазоры между трущимися частями подстроечных конденсаторов, ускоряют их износ.

Повышенное (до 3 атм) давление не оказывает существенного влияния на работу конденсаторов. В условиях низкого давления снижается электрическая прочность воздушного промежутка и создаются условия для пробоев и перекрытия рис. 3.5. Для избежания пробоев и перекрытия при пониженном атмосферном давлении необходимо снижать напряжение на конденсаторе. Кроме того, при пониженном атмосферном давлении ухудшается отвод теплоты от конденсатора, а в условиях глубокого вакуума (давление менее $1,3 \times 10^{-6}$ Па) возможна сублимация (испарение) твердых материалов. В условиях низкого давления у негерметичных оксидных конденсаторов с жидким или пастообразным электролитом за счет испарения легко летучих компонентов происходит интенсивная потеря электролита, что резко снижает срок их службы. Ухудшение механической прочности и «эластичности органических материалов узла уплотнения за счет сублимации увеличивает скорость потери электролита.

В связи с тем что в нормативной документации на конденсаторы могут встретиться значения давления в разных единицах изме-

рения, Ниже приведены соотношения наиболее часто встречающихся значений давления (табл. 3.1).

Таблица 3.1. Соотношение различных значений давления

Примечание. $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2 = 0,0075 \text{ мм рт ст}$; $1 \text{ техническая атмосфера} = 1 \text{ кгс/см}^2 = 98066,5 \text{ Н/м}^2 = 0,981 \text{ бар} = 0,968 \text{ физической атмосферы}$, $1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Н/м}^2 = 10^6 \text{ дин/см}^2$; $3 \text{ кгс/см}^2 = 294\,200 \text{ Па} = 2942 \text{ гП}$

Механические нагрузки. При эксплуатации и транспортировании аппаратуры конденсаторы подвергаются воздействию различного вида механических нагрузок: вибрации, одиночным и многократным ударам, линейному ускорению, акустическим нагрузкам. Наиболее опасными являются вибрационные и ударные нагрузки.

Воздействие механических нагрузок, превышающих допустимые нормы, может вызвать обрывы выводов и внутренних соединений, увеличение тока утечки у оксидных конденсаторов, появление трещин в керамических корпусах и изоляторах, снижение электрической прочности, изменение установленной емкости у подстроечных конденсаторов. Высокие уровни разрушающих усилий могут возникать при воздействии ударных нагрузок, если составляющие спектра ударного импульса совпадают с собственными резонансными частотами конденсатора.

Воздействие механических нагрузок на вакуумные конденсаторы может вызвать изменение емкости, синхронное с частотой вибрации (микрофонный эффект).

мм рт. ст.	Па	гПа
2280 (3 физ.атм)	303975	3040
1900 (2,5 физ.атм)	253313	2533
1520 (2 физ. атм)	202650	2027
1140 (1.5 физ. атм)	151983	1520
1115	148652	1486
1100	146652	1467
912 (1,2 физ. атм)	121590	1216
800	106658	1067
780	103991	1040
760 (1 физ. атм)	101325	1013
750	99992	1000
720	95992	960
650	86659	867
630	83993	840
600	79993	800
525	69994	700
400	53329	533
350	46655	467
200	26664	267
90	11970	120
64	8512	85
40	5333	53
35	4666	47
33	4389	44
30	3999,7	40
15	1999,8	20
5	666,61	6,7
1	133,32	1,3
10⁻¹	13,332	0,13
5• 10⁻²	6,666	0,067
10⁻²	1,3332	0,013
10⁻³	0,1333	0,0013
10⁻⁴	0,0133	0.00013
10⁻⁵	0,0013	0,000013
10⁻⁶	0,00013	0,0000013

и моментом воздействия ударных нагрузок. У оксидных конденсаторов (особенно у танталовых с жидким электролитом) во время воздействия вибрационных и ударных нагрузок возможны кратковременные броски тока утечки из-за локальных разрушений оксидного слоя.

Радиационные воздействия. Развитие атомной энергетики и освоение космоса выдвигает требование по устойчивости комплектующих элементов (в том числе конденсаторов) к воздействию ионизирующих излучений, глубокого вакуума и сверхнизких температур. Воздействие ионизирующих излучений может как непосредственно вызвать изменение электрических и эксплуатационных характеристик конденсаторов, так и способствовать ускоренному старению конструкционных материалов при последующем воздействии других факторов. Характер и скорость изменения параметров зависят от дозы, интенсивности и энергетического спектра излучения и в значительной мере определяются видом рабочего диэлектрика и конструкцией конденсатора.

Процессы, протекающие в конденсаторах в условиях воздействия ионизирующих излучений, коренным образом отличаются от процессов старения в обычных условиях эксплуатации. В результате воздействия ионизирующих излучений в конденсаторах также могут возникать явления, приводящие к обратимым или остаточным изменениям их электрических параметров.

Обратимые изменения связаны с процессами ионизации диэлектрических материалов и воздуха и сопровождаются в основном резким снижением сопротивления изоляции и увеличением тока утечки вследствие образования поверхностных и внутренних объемно-распределенных зарядов. Увеличивается также тангенс угла потерь, особенно на низких частотах. После прекращения облучения сопротивление изоляции (ток утечки оксидных конденсаторов) в большинстве случаев восстанавливается. Время восстановления зависит от типа диэлектрика, дозы и мощности излучения.

Остаточные изменения параметров связаны в основном с устойчивыми нарушениями структуры рабочего диэлектрика, а также защитных и заливочных материалов. При воздействии ионизирующих излучений наиболее сильно изменяются структура и механические свойства полимерных материалов, применяемых в пленочных и комбинированных конденсаторах. Структурные изменения сопровождаются, как правило, интенсивным газовыделением. Сравнительно быстрым изменениям подвергаются пропитывающие составы и целлюлоза, являющаяся основным компонентом конденсаторной бумаги. Поэтому конденсаторы с органическим диэлектриком более чувствительны к воздействиям излучения, чем конденсаторы с неорганическим диэлектриком. Наиболее устойчивы к воздействию ионизирующих излучений керамические конденсаторы типа 1.

Радиационные нарушения структуры материалов могут приводить и к ухудшению основных эксплуатационных характеристик конденсаторов — срока службы, механической и электрической прочности, влагостойкости.

Электрические нагрузки. Наибольшие необратимые изменения параметров вызываются длительным воздействием электрической нагрузки, при которой происходят процессы старения, ухудшающие электрическую прочность. Это необходимо учитывать, выбирая значение рабочего напряжения, особенно при длительной эксплуатации конденсаторов.

При постоянном напряжении основной причиной старения являются электрохимические процессы, возникающие в диэлектрике под действием постоянного поля и усиливающиеся с повышением температуры и влажности окружающей среды. Степень их влияния на параметры конденсаторов определяется видом диэлектрика и конструктивным исполнением конденсатора. При этом суммарное изменение параметров конденсаторов не превышает значений, гарантируемых на период минимальной наработки, приведенных в справочных данных.

При переменном напряжении и импульсных режимах основной причиной старения являются ионизационные процессы, возникающие внутри диэлектрика или у краев обкладок, преимущественно в местах газовых включений. Данное явление характерно в основном для высоковольтных конденсаторов. Ионизация разрушает органические диэлектрики в результате бомбардировки их возникающими ионами и электронами, а также за счет агрессивного действия на диэлектрик образовавшихся озона и окислов азота. Для керамических материалов ионизация в закрытой поре вызывает сильный местный разогрев, в результате которого появляются механические напряжения, сопровождающиеся растрескиванием керамики и пробоем по трещине.

Несмотря на то что допускаемое значение напряженности электрического поля в диэлектрике конденсатора при его испытаниях выбирается с некоторым запасом, эксплуатация под электрической нагрузкой, превышающей номинальное напряжение, резко снижает надежность конденсаторов.

Превышение допустимой переменной составляющей напряжения может вызвать нарушения теплового равновесия в конденсаторе, приводящего к термическому разрушению диэлектрика. Развитие этого явления обусловлено тем, что активная проводимость диэлектрика возрастет с повышением температуры.

Наиболее устойчивы к воздействию электрических эксплуатационных нагрузок и стабильны защищенные керамические конденсаторы типа 1. Среди оксидных конденсаторов наиболее стабильны оксидно-полупроводниковые герметизированные конденсаторы. Низкая стабильность электролитических оксидных конденсаторов объясняется наличием в них жидкого или пастообразного электролита, сопротивление которого в большей степени зависит от температуры окружающей среды, чем у оксидно-полупроводниковых конденсаторов. Длительное воздействие электрической нагрузки, особенно при повышенных температурах, вызывает испарение летучих фракций электролита, что еще больше повышает сопротивление электролита и резко ухудшает температурную и частотную зависимости емкости и тангенса угла потерь. Наиболее интенсивно этот процесс протекает у алюминиевых конденсаторов малых габаритов с электролитом на основе диметилформамида.

При длительной эксплуатации под электрической нагрузкой некоторых типов танталовых электролитических конденсаторов возможно снижение емкости за счет пассивации катода, а также возникновение отказов, связанных с разрушением серебряного корпуса и вытеканием вследствие этого электролита. Повышение амплитуды переменной составляющей напряжения ускоряет этот процесс. Новые типы конденсаторов с танталовым корпусом лишены этого недостатка и имеют повышенную стабильность параметров и более высокую долговечность.

3.2. ЧАСТОТНЫЕ СВОЙСТВА КОНДЕНСАТОРОВ И ОСОБЕННОСТИ ИХ РАБОТЫ В ИМПУЛЬСНЫХ РЕЖИМАХ

При выборе конденсаторов для работы в цепях переменного или пульсирующего тока необходимо учитывать их частотные свойства, определяемые рядом конструктивных факторов: типом диэлектрика, значениями индуктивности и эквивалентного последовательного сопротивления, конструкцией и др.

Работоспособность конденсаторов при переменном напряжении ограничивают в основном следующие факторы:

тепловыделение, пропорциональное средней мощности, которое может резко возрасти при превышении допустимых режимов эксплуатации и создавать условия для теплового пробоя конденсатора;

напряженность электрического поля, воздействующего на диэлектрик конденсатора и вызывающего его электрическое старение;

ток, протекающий через конденсатор, при большой плотности которого возможны локальный перегрев и разрушение контактных узлов, выгорание металлизированных обкладок и т. п.;

температура окружающей среды.

Наиболее высокими частотными свойствами обладают керамические конденсаторы типа 1, слюдяные и конденсаторы из неполярных пленок (полистирольные, полипропиленовые и др.). Ориентировочные диапазоны рабочих частот для различных групп конденсаторов приведены на рис. 3.6.

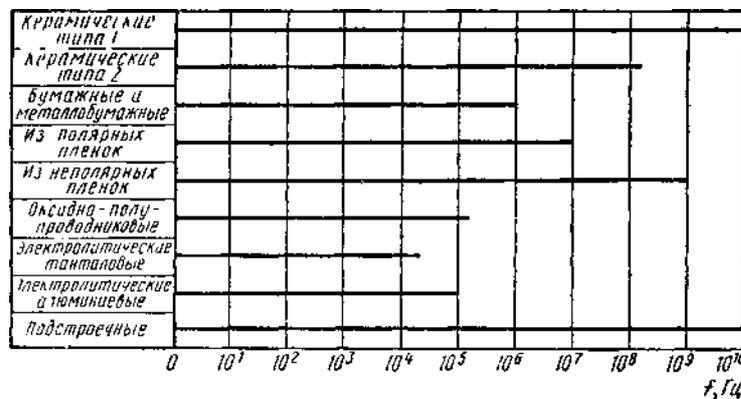


Рис 3.6. Ориентировочные диапазоны рабочих частот для различных групп конденсаторов.

В связи с тем что с повышением частоты растут потери энергии в конденсаторе, для сохранения теплового баланса в конденсаторе и исключения возможности возникновения пробоя с повышением частоты необходимо снижать амплитуду переменной составляющей. Характерная зависимость допустимой амплитуды переменной составляющей напряжения на конденсаторе от частоты приведена

на рис. 3.7. У керамических и слюдяных конденсаторов допустимая величина переменной составляющей напряжения определяется исходя из допустимой реактивной мощности.

У ряда групп конденсаторов с повышением частоты может заметно снижаться эффективная емкость. Уменьшение емкости с ростом частоты происходит как за счет снижения диэлектрической проницаемости диэлектрика,

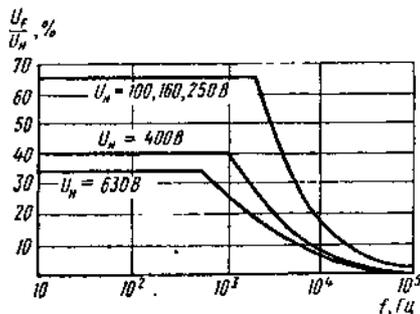


Рис. 3.7. Характер зависимости допустимой переменной составляющей напряжения от частоты

так и за счет увеличения эквивалентного последовательного сопротивления (ЭПС). Влияние ЭПС на значение эффективной емкости определяется зависимостью

$$C_э = \frac{1}{1 + \omega^2 C r^2}.$$

ЭПС обусловлено потерями в конденсаторе — в диэлектрике, в металлических частях, в переходных контактных сопротивлениях, в электролите (у оксидных конденсаторов). В обычных конденсаторах ЭПС достаточно мало (доли ома) и снижение емкости с частотой можно заметить лишь в области высоких частот. Наиболее сильная зависимость емкости

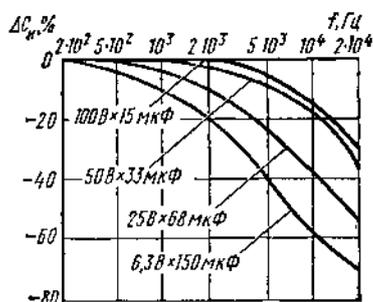


Рис. 3.8. Характер зависимости емкости танталовых оксидно-электролитических конденсаторов от частоты.

от частоты имеет место у оксидных конденсаторов (особенно с жидким электролитом) из-за большого удельного сопротивления электролита и его зависимости от частоты. Для этих конденсаторов снижение емкости с частотой наблюдается, начиная с сотен герц. Характер зависимости емкости от частоты, обусловленный наличием ЭПС, показан на рис. 3.8.

В импульсных режимах могут быть использованы конденсаторы, специально сконструированные для этих целей и общего применения. Однако в любом случае при выборе конденсаторов должны быть учтены особенности их работы при импульсных нагрузках. Учет

особенностей должен производиться с двух сторон: способен ли конденсатор данного типа обеспечить формирование или передачу импульса;

не является ли такой режим разрушающим для конденсатора.

При оценке возможности работы конденсаторов в импульсном режиме необходимо учитывать, что при малых длительностях формируемых импульсов даже малая собственная индуктивность конденсатора представляет большое индуктивное сопротивление, что сказывается на форме импульса. Значения индуктивностей некоторых типов конденсаторов приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2. Значения индуктивностей конденсаторов

Группы конденсаторов	Типы конденсаторов	Емкость	Индуктивность, нГн
Керамические	КД-1, КЛ-2а, КД-2в	1-6800 пФ	1-4
	КМ-3, КМ-4, КМ-5, КМ-6, К10-7, К10-17а, К10-20, К10-26, К10-28а, К10-34а,	2,2 пФ- -2,2 мкФ	2-5
	К10-9, К10-17в, К10-33, К10-34в, К10-43в, К10-470	5,6 пФ- -6.8 мкФ	0,25-2
	КТ-1, КТ-2, КТ-3	1-3300 пФ	3-15
	КВИ	1,5-4700 пФ	1-3
	К15 - 5	6,8-15000 пФ	5-10
	К15У-1, 2, 3	1-10000 пФ	2-5
Слюдаые, стеклокерамические	КССМ, КСО-2, КСО-5, КСОТ, СГМ, СКС, СКМа, К22-5, К21-7	10-47 000 пФ	3-5*
Слюдаые	КСО-6, КСО-13	10-50000 пФ	8-15
Бумажные фольговые и металлизированные, пленочные в цилиндрических корпусах	К42У-2, К72П-6, К72-П, ФТ, МПО, МПГ-Ц, ПМ, К71-4, К71-8, К73-11, К73-15, К73-16, К73-22, К76-3, К76-4, К76-5, К77-1, К77-2, К78-1, К78-2	1000 пФ- -22 мкФ	6-20
Бумажные фольговые и металлизированные, пленочные в прямоугольных корпусах	МБГП, МБГО, МБГТ, МПГП, МПГО, ПМГП, К71-7, К73-9, К73-17, К73П-3	0,01-4,7 мкФ 6-30 мкФ	10-40 50 - 100
Объемно - пористые и оксидно - полупроводниковые	К53-1, К53-1А, К53-18 ЭТО, К52-1, К52-2	0,033-10 мкФ 10-100 мкФ	3-10; 15-40

Существенное влияние на форму импульса, а также на коэффициент полезного действия устройства, в котором установлен конденсатор, могут оказывать потери энергии в диэлектрике и арматуре конденсатора. Поэтому при выборе конденсаторов для импульсных режимов следует учитывать их температурно-частотные зависимости емкости, тангенса угла потерь и полного сопротивления. Для решения вопроса о том, не является ли данный импульсный режим разрушающим для конденсаторов, необходимо учитывать явления, связанные с нагревом конденсатора за счет импульсных токов, с ионизационным старением диэлектриков и пр. Указанные явления могут привести к нарушению электрической прочности конденсатора и выходу его из строя. Поэтому допустимая импульсная нагрузка на конденсаторе определяется исходя из следующих параметров импульсного режима: значений положительных и отрицательных пиков напряжения и тока, размаха переменного напряжения на конденсаторе, длительности нарастания и спада напряжения, периода и частоты следования импульсов, наличия постоянной составляющей.

Выбор конкретных допустимых импульсных нагрузок конденсаторов производится по номограммам, приведенным в нормативной документации, исходя из параметров импульсного режима.

При применении полярных конденсаторов с оксидным диэлектриком в импульсных режимах и при пульсирующем напряжении необходимо учитывать, что постоянная составляющая напряжения должна иметь значение, исключающее возможность появления на конденсаторе напряжения обратной полярности, а сумма постоянного и амплитуды переменного или импульсного напряжения не должна превышать номинального напряжения.

3.3. УКАЗАНИЯ ПО ВЫБОРУ И ЭКСПЛУАТАЦИИ КОНДЕНСАТОРОВ

Эксплуатационная надежность конденсаторов во многом определяется правильным выбором типов конденсаторов при проектировании аппаратуры и использовании их в режимах, не превышающих допустимые.

Для правильного выбора конденсаторов необходимо на основе анализа требований к аппаратуре определить:

значения номинальных параметров и допустимые их изменения в процессе эксплуатации (емкость, напряжение, сопротивление изоляции и др.);

допустимые режимы и рабочие электрические нагрузки (диапазон рабочих частот, амплитуда и частота переменной составляющей напряжения, реактивная мощность, параметры импульсного режима и др.);

эксплуатационные факторы (интервал рабочих температур, величины механических нагрузок и относительной влажности окружающей среды и др.);

показатели надежности, долговечности и сохраняемости конденсаторов;

конструкцию конденсаторов, способы монтажа, габариты и массу.

В целях повышения надежности и долговечности конденсаторов во всех возможных случаях следует использовать их при менее жестких нагрузках и в облегченных режимах по сравнению с допустимыми.

Указания по монтажу и креплению конденсаторов. Применяемые способы монтажа и крепления конденсаторов должны обеспечивать необходимую механическую прочность, надежный электрический контакт и исключение резонансных явлений во время воздействия вибрационных нагрузок.

В зависимости от конструкции крепление конденсаторов к шасси, панелям и платам аппаратуры производится за крепежные устройства (фланцы, резьбовые соединения), с помощью скоб, хомутов, заклепок или приклеивкой, заливкой и пайкой за выводы. Крепежные приспособления не должны повреждать корпус и защитные покрытия конденсаторов. Устройства для крепления не должны ухудшать условий отвода теплоты от конденсаторов. Не разрешается использовать лепестковые выводы конденсаторов для припайки к ним других деталей.

Крепления вакуумных конденсаторов, являющиеся одновременно контактными устройствами, должны выполняться из материалов с высокой теплопроводностью и обеспечивать хороший тепловой и электрический контакт с выводами конденсаторов. Поверхности креплений, сопрягаемые с выводами конденсаторов, должны быть посеребрены. Крепить конденсаторы при установке в аппаратуру следует без перекосов, так как наличие последних создает механические напряжения в баллоне и может привести к потере герметичности и выходу конденсатора из строя. Выводы наружных электродов конденсаторов следует подсоединять к низкопотенциальной точке устройства или заземлять. У конденсаторов переменной емкости рекомендуется заземлять вывод подвижного электрода. При сопряжении регулировочного винта конденсатора переменной емкости с выводом привода следует обращать внимание на обеспечение соосности указанных элементов или предусматривать гибкое их соединение.

Контактирование выводов конденсаторов с другими элементами производится обычно пайкой или сваркой. Пайку следует производить бескислотными флюсами; при этом не должно происходить опасного перегрева выводных узлов конденсатора. Допускается пайка выводов на расстояниях от корпуса меньших, чем указано в нормативной документации, при защите контактного узла от перегрева и повреждений с помощью термозкранов и теплоотводов, а также одноразовый изгиб проволочных и лепестковых выводов конденсаторов при условии защиты контактного узла от повреждений в момент изгиба. Радиус изгиба выводов должен быть не менее полуторного диаметра проволочного вывода или полуторной толщины ленточного вывода.

При монтаже неполярных конденсаторов с оксидным диэлектриком необходимо обеспечить изоляцию их корпусов от других элементов, шасси и друг от друга.

При плотном монтаже конденсаторов для обеспечения изоляции корпусов допускается одевать на них изолирующие трубки. При этом изолирующие трубки (кольца, прокладки) не должны нарушать покрытия конденсаторов, ухудшать электрические характеристики и вызывать перегрев конденсаторов сверх допустимой нормы. Допускается вертикальная установка малогабаритных конденсаторов на печатных платах (рис. 3.9), При этом оксидные конденсаторы

с разнонаправленными выводами устанавливаются на плату отрицательным выводом вниз. При толщине печатной платы не менее 2,5—3 мм возможна установка конденсаторов на нее без зазора. В случае воздействия механических нагрузок при вертикальном

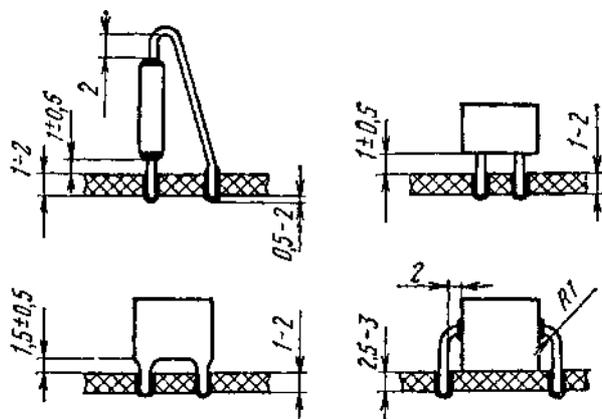


Рис. 39. Вертикальная установка конденсаторов на печатных платах

монтаже после пайки конденсаторы должны заливаться компаундом на высоту не менее 3 мм от нижнего основания конденсатора.

Особую осторожность при монтаже следует соблюдать при установке конденсаторов в микросхемы, микросборки и на малогабаритные печатные платы.

Для применения в составе гибридных интегральных микросхем предназначены специальные типы безвыводных конденсаторов (КМ, К10-9, К10-9М, К10-17, К10-27, К10-28, К10-42, К10-43, К10-45, К10-47, К10-49, К10-50, К10-52, К21-5, К21-8, К21-9, К22У-1, К22-4, КТ4-27, К53-15, К53-15А, К53-16А, К53-22, К53-25, К53-26). Для работы совместно с микросхемами и микросборками могут быть использованы также и другие типы конденсаторов, соизмеримые с ними по габаритным размерам.

Монтаж конденсаторов безвыводного типа производится пайкой к плате за контактные площадки или с помощью проволочных выводов диаметром не более 0,15 мм. В последнем случае конденсаторы должны приклеиваться к плате или заливаться эпоксидным компаундом. Перед пайкой безвыводные конденсаторы следует нагревать. При монтаже на плате распайкой за контактные поверхности необходимо, чтобы плата была жесткой и не коробилась в процессе сборки и эксплуатации. Расстояние между контактными площадками на плате должно быть таким, чтобы нижние поверхности конденсатора ложились на контактные площадки платы. При установке конденсаторов на плату не допускаются перекосы. Для пайки следует использовать паяльник мощностью не более 25 Вт. Время пайки не должно превышать 3 с.

В случае заливки смонтированных микросхем и плат с безвыводными конденсаторами эпоксидным компаундом и при опрессовке пластмассой конденсаторы должны защищаться от воздействия механических

напряжений буферными эластичными покрытиями (например, компаундами КЛТ-30, КТ-102, «Эластосил» и др.).

Для автоматизированной сборки на печатных платах могут использоваться любые типы конденсаторов с аксиальными проволочными выводами.

При установке подстроенных конденсаторов на металлическую плату или шасси роторную обкладку, связанную с регулировочным питанием, следует заземлять, если это возможно, или соединять с такой точкой схемы, чтобы было исключено влияние паразитной емкости при регулировке.

Клеи, компаунды, лаки и другие материалы, используемые для приклеивания, заливки и дополнительной защиты конденсаторов от влаги, должны обеспечивать хорошую теплопроводность, адгезию, высокую электрическую прочность и не должны нарушать защитных покрытий конденсаторов и ухудшать их характеристик.

Не допускается погружение подстроечных конденсаторов в моечные составы и покрытие их защитными компаундами, лаками и другими материалами без дополнительной защиты от попадания указанных составов и материалов внутрь конденсаторов.

Защита конденсаторов от воздействия механических нагрузок. Максимальная нагрузка на конденсатор достигается при резонансе, когда частота вибрации равна частоте собственных колебаний конденсатора. Собственная резонансная частота зависит от размеров и массы конденсатора, диаметра и рабочей длины выводов, способов крепления.

Чтобы избежать резонансных явлений, целесообразно верхнюю границу диапазона частот вибрации ограничивать значениями частоты, равными половине собственной резонансной частоты конденсатора. Если за счет изменения длины выводов невозможно избежать резонансных явлений, то следует применить дополнительные способы крепления (механические держатели, приклейку, заливку).

Для уменьшения воздействия механических нагрузок на изменение емкости вакуумных переменных конденсаторов рекомендуется располагать их в аппаратуре таким образом, чтобы направление максимального ускорения совпадало с осью конденсаторов.

При необходимости применения конденсаторов в аппаратуре, подвергающейся воздействию механических нагрузок, превышающих допустимые по ТУ, следует применять амортизирующие устройства.

Защита конденсаторов от воздействия повышенной влажности. Наиболее эффективным способом защиты конденсаторов от влаги является герметизация в металлическом или керамическом корпусах. Другие способы защиты (покрытие эпоксидными компаундами, опрессовка пластмассами и др.) менее эффективны. У негерметизированных конденсаторов обычно наиболее слабо защищены места выхода выводов из корпуса. Загрязнение конденсаторов при монтаже и эксплуатации, а также наличие в атмосфере сернистых и других агрессивных соединений резко усиливают влияние влаги на электрические характеристики конденсаторов.

При недостаточной собственной защите конденсаторов от влаги применяется дополнительная защита в составе аппаратуры: герметизация блоков или всей аппаратуры, заливка конденсаторов в блоках влагозащитными компаундами, снижение относительной влажности в помещениях, где находится и работает аппаратура.

Чтобы избежать повышения влажности и выпадения росы при снижении температуры внутри герметизированных блоков, необходимо помещать влагопоглощающие вещества. В аппаратуре, пред-

назначенной для эксплуатации во влажном тропическом климате, следует применять конденсаторы всеклиматического исполнения. Допускается использовать конденсаторы в исполнении, пригодном для эксплуатации только в районах с умеренным и холодным климатом в аппаратуре, эксплуатируемой во всех климатических районах суши и моря, при применении средств защиты этих конденсаторов от воздействия повышенной влажности, соляного тумана и поражения плесневыми грибами. Для защиты могут быть использованы следующие средства: герметизация блоков или всей аппаратуры; заливка конденсаторов в блоках аппаратуры влагозащитными компаундами.

Указания по применению конденсаторов при повышенном давлении воздуха и пониженном атмосферном давлении. Повышенное (до 3 атм) давление не влияет на работоспособность конденсаторов, однако резкие и значительные изменения давления могут вызвать нарушение герметичности и уплотнения корпусов.

При пониженном атмосферном давлении из-за уменьшения электрической прочности воздуха необходимо снижать напряжение на конденсаторе, не допускать близкого расположения токоведущих частей от шасси аппаратуры и образования остроконечных наплывов, приходя при монтаже, особенно у высоковольтных конденсаторов. Начиная с давления 0,013 гПа (0,01 мм. рт. ст.) и ниже на конденсаторы (кроме вакуумных) может быть подано номинальное напряжение.

Во избежание перегрева за счет ухудшения теплоотвода в условиях пониженного атмосферного давления у конденсаторов с большими удельными мощностями рассеивания (150 Вт/м^2 и выше) необходимо снижать допустимую мощность рассеивания до значений, указанных в нормативной документации.

Применение конденсаторов в условиях инея и росы. В условиях воздействия инея и росы низковольтные конденсаторы сохраняют свою работоспособность, но снижают сопротивление изоляции (до сотен килоом), а высоковольтные в ряде случаев становятся неработоспособными из-за снижения электрической прочности.

Влияние инея и росы на конденсаторы носит обратимый характер—после испарения росы электрические характеристики восстанавливаются до исходных. Собственные средства защиты конденсаторов от влаги (лаки, эмали, компаунды) не предохраняют от шунтирующего влияния росы.

Определенный положительный эффект использования конденсаторов при воздействии инея и росы дает уплотнение или герметизация аппаратуры с применением влагопоглотителей внутри блока и заливка конденсаторов (кроме вакуумных) в блоках влагозащитными компаундами.

Особенности эксплуатации некоторых типов конденсаторов. Полярные конденсаторы с оксидным диэлектриком могут работать только в цепях постоянного или пульсирующего тока, при этом амплитуда напряжения переменной составляющей должна быть меньше напряжения постоянного тока. Недопустимо подавать на полярные конденсаторы постоянное напряжение обратной полярности.

При эксплуатации оксидных конденсаторов при малых напряжениях необходимо учитывать наличие у них собственной электродвижущей силы (ЭДС) до 1 В. У большинства образцов полярность ЭДС совпадает с полярностью конденсатора, а у отдельных образцов наблюдается несоответствие полярности, а также изменение полярности с течением времени. Собственная ЭДС может возникать

также у керамических конденсаторов типа 2 при воздействии ударных и вибрационных нагрузок и при резкой смене температур.

Допускается встречное включение оксидных конденсаторов — соединение одноименными полюсами (плюс с плюсом или минус с минусом) двух одностипных с одинаковыми номинальными емкостью и напряжением полярных конденсаторов. При этом общая емкость уменьшается в 2 раза. Встречно-включенные конденсаторы применяются как неполярные Оксидно-электролитические тантало-выс конденсаторы типа ЭТО, К52-2 и К52-5 на номинальное напряжение 15 В и выше при встречном включении допускают работу в цепях переменного тока частотой до 20 Гц при амплитуде напряжения не более 3 В. Электрические режимы других типов оксидных конденсаторов рассматриваются и согласовываются с изготовителем в каждом конкретном случае.

Особенностью эксплуатации оксидно-электролитических конденсаторов является наличие бросков тока утечки в момент подачи на конденсатор поляризующего напряжения. При этом в первые секунды ток утечки быстро

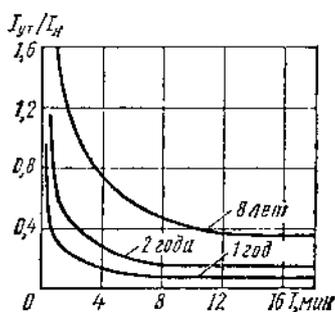


Рис. 3.10. Характер зависимости тока утечки оксидно-электролитических

убывает и с течением времени снижается до установившегося значения (рис. 3.10). Начальное значение тока утечки зависит (при прочих равных условиях) от времени, в течение которого конденсатор бездействовал (либо находился на хранении). С увеличением времени хранения и температуры ток утечки возрастает, одновременно увеличивается время его восстановления (особенно у алюминиевых конденсаторов). Наиболее интенсивно увеличение тока утечки происходит при длительном воздействии повышенных температур без электрической нагрузки.

При эксплуатации некоторых типов однослойных металлобумажных, металлопленочных и лакопленочных конденсаторов при низких напряжениях (менее 10 В) наблюдается нестабильность сопротивления изоляции, которое может снижаться до очень малых значений (единиц мегаом).

У некоторых типов бумажных и пленочных конденсаторов (БМ-1, БМТ-1, ПМ-1, ФТ и др.) с вкладными контактами при малых напряжениях (особенно менее 1 В) появляется неустойчивый внутренний контакт между обкладками и выводами, а также возрастание тангенса угла потерь из-за образования окисной пленки. При включении указанных конденсаторов под напряжение более 10 В их параметры практически восстанавливаются.

У керамических и слюдяных конденсаторов с электродами, нанесенными методом вжигания или испарением в вакууме, может иметь место самопроизвольное скачкообразное изменение емкости, возрастающее с увеличением напряжения и называемое «мерцанием». Мерцание связано с отсутствием четко выраженного края электрода и наличием большого числа мелких островков металла, вклю-

чающихся к обкладке при включении конденсаторов под напряжение. Однако изменение емкости при этом невелико и не превышает тысячных долей номинального значения. Явление «мерцания» может сказываться на стабильности работы особо точной аппаратуры (например, за счет скачкообразного изменения частоты контура), а также при применении конденсаторов в качестве образцовых мер. В большинстве случаев явление «мерцания» не сказывается на работоспособности аппаратуры.

При работе с высоковольтными конденсаторами необходимо учитывать явление абсорбции электрических зарядов в диэлектрике, обуславливающей неполную отдачу энергии при быстром разряде конденсатора на нагрузку. У различных типов конденсаторов отношение остаточного напряжения на конденсаторе к величине зарядного напряжения колеблется от 3 до 15%, вследствие чего остаточное напряжение может быть опасным для жизни обслуживающего персонала.

Перед установкой вакуумных конденсаторов в аппаратуру, а также после перерыва в работе аппаратуры на срок более месяца необходимо проверять электрическую прочность конденсаторов путем плавного повышения напряжения от нуля до номинального и выдержкой при этом напряжении в течение 1 мин. В процессе проверки в конденсаторах не должно быть пробоев. При возникновении пробоев необходимо проводить тренировку конденсатора, постепенно повышать напряжение от нуля до испытательного значения. В случае возникновения пробоев в конденсаторе необходимо делать выдержку до их прекращения и только после этого повышать напряжение. По достижении испытательного значения напряжение снижают до номинального, выдерживают конденсатор под этим напряжением в течение 1 мин и снижают напряжение до нуля. Общее время тренировки не должно превышать 45 мин.

Недопустимо применение вакуумных конденсаторов со стеклянной оболочкой в условиях воздействия гелия и гелиевовоздушной среды при парциальном давлении гелия в атмосфере воздуха выше $4 \cdot 10^{-3}$ мм. рт. ст.