АКАДЕМИЯ НАУК МОЛДАВСКОЙ ССР
Отдел энергетической кибернетики

Справочник по электрическим конденсаторам

Общие сведения, выбор и применение

Под общей редакцией
кандидата технических наук
В. В. Ермуратского

КИШИНЕВ «ШТИИНЦА» 1982

31.264.4я2
С 74

В. П. БЕРЗАН, Б. Ю. ГЕЛИКМАН, М. Н. ГУРАЕВСКИЯ,
В. В. ЕРМУРАТСКИЯ, П. В. ЕРМУРАТСКИЯ. Г. С. КУЧИНСКИЯ,
О. Л. МЕЗЕНИН. Н. Я. НАЗАРОВ, В. К. РИМСКИЙ,
Б. К. СМИРНОВ, К. И. СТЕПИНА

УДК 621.319.4

В справочнике даны основные сведения о физических явлениях в конденсаторах, их конструкциях, параметрах и характеристиках. Приведены формулы для расчета электрических, тепловых нагрузок и режимов работы конденсаторов. Представлены методики определения допустимых параметров рабочего напряжения различных видов, а также выбора конденсаторов.
Книга предназначена для инженеров, занимающихся вопросами выбора и применения конденсаторов, а также для студентов электротехнических и радиотехнических специальностей.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

доктор технических наук *Л С. Кучинский,*
кандидаты технических наук ***П. В. Ермуратский, Н. И. Назаров,***
М. Н. Гураевский; В. П. Берзан

Рецензент
заслуженный деятель науки и техники РСФСР,
доктор технических наук,
профессор ***Б. М. Тареев***

с 30307-67
М755(12)—82 60.81.2302030000

© Издательство
«Штиинца», 1982

ВВЕДЕНИЕ

Электрический конденсатор — устройство, способное исключительно быстро накапливать и отдавать электрическую энергию, — был изобретен в 1745 г. Однако человечеству понадобилось более столетия, чтобы начать применять его на практике. Широкое использование конденсаторов связано с бурным развитием техники: радио, связи и радиовешания, электротехники, электроэнергетики, электроники, измерительной, вычислительной техники, электротехнологин и т. д.

В настоящее время число конструктивных исполнений конденсаторов составляет тысячи и продолжает расти, а суммарный выпуск всех типов конденсаторов в мире достигает десятков миллиардов штук в год. Совершенствование конденсаторов тесно связано с развитием областей их применения. Существенные скачки обусловлены появлением новых сфер использования конденсаторов. Так, радиолокационная техника, появившаяся в начале второй мировой войны, выдвинула задачу создания специальных высоковольтных импульсных конденсаторов, обладающих большой удельной энергией и малой индуктивностью. Установки для испытания электрической изоляции, ядерных исследований, импульсной электротехнологин, а затем импульсных источников света, в том числе лазеров, вызывали более или менее значительные изменения требований к импульсным конденсаторам — основному накопительному элементу этих установок. В результате сформировалась большая группа так называемых накопительных конденсаторов, для которых характерны низкие и инфранизкие частоты повторения, хотя в последнее время наблюдается явная тенденция к повышению этой частоты.

С развитием электроэнергетики переменного тока, увеличением расстояния и передаваемой, энергии, созданием объединенных энергетических систем существенно расширилось применение конденсаторов для компенсации реактивной мощности сетей и потребителей электрической энергии, для осуществления высокочастотной связи по линиям электропередачи и других целей.

Требования к уменьшению габаритов и повышению надежности конденсаторов, используемых в устройствах вычислительной, военной, бытовой, транспортной, космической, медицинской техники, электроники и электротехники, привели к созданию большого класса конденсаторов с керамическими и оксидными диэлектриками. Наряду с конденсаторами широкого применения и назначения создаются специализированные конденсаторы, например, для работы во взрывоопасных условиях, при больших гидростатических давлениях и высоких температурах. В последние десятилетия в связи с развитием космической технологии и криогенной техники усиленно разрабатываются конденсаторы для работы при температурах в единицы кельвннов.

Использование новых принципов в работе аппаратуры порождает необходимость создания конденсаторов, обладающих новыми качествами.

Так, в электронике в связи с появлением мощных транзисторов все шире используются широтно-импульсные регуляторы и стабилизаторы постоянного напряжения, работающие на частотах до десятков и даже сотен килогерц. Для фильтров этих источников потребовались конденсаторы довольно значительной емкости (десятки и сотни микрофарад), обладающие низкими значениями потерь, собственной индуктивностью и минимальным эквивалентным последовательным активным сопротивлением.

Применение электронной и другой электротехнической бортовой аппаратуры воздушных, водных, а также наземных транспортных средств потребовало создания специальных конденсаторов, устойчивых к резким колебаниям температуры, давления, механических и других воздействий в широком диапазоне. Наряду с расширением областей использования конденсаторов все более разнообразными становятся электрические и тепловые режимы их работы, в частности, формы воздействующего напряжения и тока, их параметры, характер воздействий и т. д.

Таким образом, условия работы конденсаторов в различных устройствах и аппаратуре значительно усложнились. Повысились требования к надежности, массогабарнтным параметрам конденсаторов при одновременном увеличении их единичной мощности. Эти и другие причины вызвали необходимость не только создания новых конструкций конденсаторов, но и более детального изучения свойств и характеристик уже выпускаемых конденсаторов для расширения областей их применения и разработки новых типов.

Наряду с усложнением условий эксплуатации конденсаторов и увеличением числа новых разработок, остро ощущается недостаток информации по некоторым техническим характеристикам конденсаторов, необходимых для их выбора и применения.

В вышедших за последние 15 лет монографиях и сборниках [В.1—В.45] излагаются общие сведения о конденсаторах, вопросы их проектирования, производства, результаты исследования свойств и характеристик конденсаторов и диэлектриков, расчета режимов работы, выбора и применения, а также справочные данные по некоторым типам конденсаторов.

Зарубежные фирмы, производящие конденсаторы, выпускают каталоги, которые содержат не только справочные данные по номинальным величинам, но и сведения по применению (в частности, приводятся методики выбора конденсаторов), что дает возможность сопоставления и определения оптимального варианта. Однако единой методики выбора не существует, так как каждая фирма создает их лишь для выпускаемых ею типов конденсаторов. К тому же степень достоверности и оптимальности этих методик различна.

В нашей стране вопросам развития теории выбора и применения конденсаторов, направленной на наиболее эффективное их использование, уделяется всевозрастающее внимание. Одними из главных являются разработки, направленные на повышение показателей надежности конденсаторов.

Настоящая книга содержит общие сведения о конденсаторах, рекомендации по расчету допустимых режимов их работы и выбору, а также некоторые справочные данные по ним. Включение общих сведений обусловлено необходимостью напомнить потребителям основные понятия и определения, касающиеся конденсаторов, а также физические явления и процессы, происходящие в них. Это поможет потребителям более сознательно подходить к расчету и выбору конденсаторов.

Необходимость включения общетеоретических рекомендаций по применению конденсаторов диктовалась рядом обстоятельств. Одно из них — это то» что к настоящему времени в основном сформировались принципы правильного выбора конденсаторов при максимально возможном использовании их энергетических характеристик. Но эти принципы еще недостаточно полно отражены в нормативной документации и, в лучшем случае, являются достоянием разработчиков конденсаторов.

Настоящий справочник поможет и технически грамотнее сформулировать требования к вновь разрабатываемым конденсаторам, а разработчики получат дополнительную информацию для оценки возможности изготовления конденсаторов по этим требованиям. Установление более четких связей между условиям эксплуатации и работоспособностью конденсаторов, появление новых их групп обусловили некоторую трансформацию классификации режимов работы и самих конденсаторов. Имевшееся определенное отставание конденсаторостроения в области нормирования параметров и характеристик, необходимых для правильного выбора и применения конденсаторов,— одна из причин значительного недоиспользования их по электрическим и тепловым нагрузкам, а подчас и существенного сокращения срока службы из-за перегрузок.

По данным зарубежной печати, около 25% отказов электронной аппаратуры происходит из-за конденсаторов, причем 50% отказов объясняется их неправильным применением.

Правильный выбор конденсаторов — важная задача оптимального их использования, т. е. обеспечения работоспособности и минимальных массогабаритных параметров. Но она осложнена отсутствием единой методики выбора, недостаточной разработкой отдельных теоретических и экспериментальных задач. Неодинаково глубоко исследованы различные типы конденсаторов. В значительной мере это обусловлено отсутствием соответствующих измерительных устройств (например, для измерения зависимости тангенса угла потерь, эквивалентного последовательного активного сопротивления и емкости в широком диапазоне температур, частот и номинальных параметров конденсаторов), а также стендов для проведения их ресурсных испытаний на переменном напряжении различных форм и частот.

Решение таких задач, как определение зависимости показателей долговечности от условий эксплуатации, тепловых параметров, допустимых токовых нагрузок, разработка систем автоматизированного выбора и проектирования конденсаторов, связано с большими временными и материальными затратами, широким применением ЭВМ.

В связи с наметившейся тенденцией развернутой аттестации конденсаторов, выявления их скрытых резервов авторы справочника поставили перед собой задачу суммировать сведения о параметрах и характеристиках конденсаторов, методах расчета нагрузок и режимов, необходимых для оптимального их использования (четвертая—восьмая главы).

Справочник подготовили: ***В. П. Берзан*** (§ 1.3, 1.4, 4.1, 4.2, 4.4, 5.2), ***Б. Ю. Геликман*** (§ 4.8), ***М. Н. Гураевский*** (§ 1.2, 4.4, 4.8, 5.5, 6.3, приложение 3), ***В. В. Ермуратский*** (§ 1.1, 1.5, 2.1—2.3, 2.5, 2.6, 3.2, 4.3, 4.5, 4.7, 4.8, 5.1, 5.3, 5.5, 6.1, 6.2, седьмая и восьмая главы), ***П. В. Ермуратский*** (§ 2.1—2.3, 4.3, 5.3), ***Г. С. Кучинский*** (§ 2.4, 3.2, 4.6, приложение 8), О. *Л.* ***Мезенин*** (§ 5.3, приложение 2), ***Н. И. Назаров*** (§ 3.1, 3.2, 4.9), ***В. К. Римский*** (§ 5.4, приложения 1, 2, 4 и 5), ***Б. К. Смирнов*** (§ 1.3, 1.4, 3.1—3.4), ***К И. Степина*** (§ 3.1-3-3).

ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ, ПРИНЯТЫЕ В СПРАВОЧНИКЕ

Величины, характеризующие электрические напряжения, тока а мощности

$U_н$ — номинальное напряжение конденсатора

u — мгновенное значение напряжения

$u_~$ — мгновенное значение переменной составляющей напряжения

$U_о$ — постоянная составляющая напряжения

$U_{од}$ — предельно допустимая постоянная составляющая напряжения на конденсаторе

U — действующее значение периодического напряжения

$U_д$ — предельно допустимое действующее значение периодического напряжения

$U_~$ — действующее значение периодической переменной составляющей напряжения

U_m — амплитуда (максимальное по модулю значение) напряжения

$U_{mд}$ — предельно допустимая амплитуда напряжения на конденсаторе

U^+_m — максимальное положительное значение напряжения

U^-_m — максимальное отрицательное значение напряжения

$U_{п.п}$ — полный размах напряжения

$U_{п.п.д}$ — предельно допустимый полный размах напряжения

$U^+_п$ — пиковое (максимальное) положительное значение переменной составляющей напряжения

$U^-_п$ — пиковое (максимальное) отрицательное значение переменной составляющей напряжения

$U_{ис}$ — испытательное напряжение

$U_р$ — рабочее напряжение

$U_{пр}$ — пробивное напряжение

E — напряженность электрического поля в диэлектрике

i — мгновенное значение тока

I — действующее значение периодического тока

$I_д$ — предельно допустимое действующее значение тока

I_m — амплитуда (максимальное по модулю значение) тока

$I_и$ — действующее значение импульса тока за время $/_и$

$I_{ут}$ — ток утечки конденсатора

q — электрический заряд

S — полная мощность

P — активная мощность, мощность потерь электрической энергии (или мощность тепловыделения) в конденсаторе

$P_д$ — предельно допустимая мощность тепловыделения в конденсаторе

Q — реактивная мощность конденсатора

$Q_н$ — реактивная мощность конденсатора при номинальных параметрах

W — энергия конденсатора

$P_{чр}$ — мощность частичных разрядов

Величины, характеризующие параметры конденсаторов

Электрические параметры

C — электрическая емкость конденсатора

$C_н$ — номинальная емкость конденсатора

$C_s(\omega)$ — сумма геометрической емкости конденсатора и емкости, обусловленной его диэлектриком, в последовательной схеме замещения

$C_р(\omega)$ — сумма геометрической емкости конденсатора и емкости, обусловленной его диэлектриком, в параллельной схеме замещения

$C_{рэ}(\omega)$ — эквивалентная (эффективная) емкость конденсатора в параллельной схеме замещения

$C_{э}(\omega)$ — эквивалентная (эффективная) емкость конденсатора в последовательной схеме замещения

ε_0 — электрическая постоянная

$\varepsilon_г$ — относительная диэлектрическая проницаемость

$R_{из}$ — сопротивление изоляции конденсатора на постоянном напряжении

$\tau_{из}$ — постоянная времени саморазряда конденсатора

$tg\delta(\omega)$ — тангенс угла потерь конденсатора

$r_s(\omega)$ — эквивалентное активное сопротивление конденсатора в последовательной схеме замещения

$r_м(\omega)$ — эквивалентное активное сопротивление металлических частей конструкции конденсатора в последовательной схеме замещения

$r_д(\omega)$ — эквивалентное активное сопротивление диэлектрика конденсатора в последовательной схеме замещения

$R_р$ — активное сопротивление конденсатора в параллельной схеме замещения

$L_э$ — эквивалентная индуктивность конденсатора

Тепловые параметры и теплофизические характеристики

$R_т$ — полное тепловое стационарное сопротивление конденсатора

$R_т(t)$ — переходное полное тепловое сопротивление конденсатора

$R_{тm}$ — стационарное максимальное полное тепловое сопротивление конденсатора

$R_{т.с}$ — стационарное среднее полное тепловое сопротивление конденсатора

$R_{т.в.m}$ — стационарное внутреннее максимальное тепловое сопротивление конденсатора

$R_{т.в.с}$ — стационарное внутреннее среднее тепловое сопротивление конденсатора

$R_{т.н}$ — стационарное наружное тепловое сопротивление конденсатора

$\tau_т$ — эквивалентная тепловая постоянная времени конденсатора

λ — коэффициент теплопроводности

α — коэффициент теплоотдачи

$C_т$ — теплоемкость

Обозначения временных величин и температур

t — текущее время

$t_а$ — длительность импульса

$t_ф$ — длительность фронта импульса

T — период колебаний тока и напряжения

$T_п$ — период повторения

τ — постоянная времени RC-цепи

τ_v — гамма-процентный ресурс

τ_c — срок службы

и $T_ц$ — продолжительность интервала нагружения, паузы и цикла в прерывистых режимах

$\tau_{э}$.. — энергетическая длительность импульса тока

$\Theta(t)$ — мгновенное значение превышения температуры

Θ_m> — максимальное превышение температуры

Θ_{my} — превышение температуры теплового центра конденсатора над температурой охлаждающей среды в стационарном тепловом режиме

Θ_k — превышение температуры корпуса в стационарном тепловом режиме

Θ_c — превышение среднеобъемной внутренней температуры конденсатора над температурой охлаждающей среды в стационарном тепловом режиме

T — температура

$T_{o\ max}$ — максимальная температура окружающей среды

$T_{o\ min}$ ~~ минимальная температура окружающей среды

T_m — максимальная температура внутри конденсатора

$T_{mд}$ — предельно допустимая температура внутри конденсатора

T_c — средняя по объему внутренняя температура конденсатора

$T_{ср}$ — средняя за цикл нагружения температура конденсатора

$T_к$ — средняя по поверхности температура корпуса конденсатора

$T_{кр}$ — температура критического теплового режима

ω — угловая частота напряжения или тока, изменяющихся во времени по синусоидальному закону

f — частота напряжения или тока, изменяющаяся во времени по синусоидальному закону

ω_0 и f_0 — частоты электрического резонанса

Раздел I. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О КОНДЕНСАТОРАХ

Глава 1. Общие сведения о конденсаторах

§ 1.1. Функции и области применения

Электрические конденсаторы в электронных, радиотехнических, электротехнических и электроэнергетических устройствах выполняют функции накопителя энергии, источника реактивной мощности, частотно-зависимого реактивного сопротивления. Осуществляют они это благодаря своей способности накапливать электрическую энергию, а затем отдавать ее в нагрузочную цепь.

Импульсы тока большой мощности используются для создания экстремальных по напряженности магнитных полей и мощных дуговых разрядов в газах и жидкостях.

Импульсы высокого и сверхвысокого напряжений применяются в технике высоких напряжений в испытательных и исследовательских целях.

Емкостные накопители энергии используются в установках для исследования физики плазмы, термоядерных реакций, испытаний различного оборудования, в электротехнологических устройствах (магнитно-импульсная штамповка, установки, использующие электрогидравлический удар, импульсная электросварка, намагничивание, ультразвуковая технология, электроискровая технология обработки, электроплазмолиз и т. д.). Накопительные конденсаторы широко используются в различных устройствах импульсной связи, радиолокации, навигации, в импульсных источниках света (высокоинтенсивные источники — лампы-вспышки, сигнальные установки — маяки, оптические квантовые генераторы — лазеры и т. д.), импульсной рентгеновской технике.

Конденсаторы применяются в технике сейсморазведки (электродинамическое импульсное возбуждение упругих волн в земной коре), для подрыва детонаторов, в медицине (импульсный дефибриллятор) и т. д.

Накопители для генераторов мощных импульсов тока могут быть простейшими (в виде конденсатора или батарей конденсаторов) и более сложными (искусственные длинные линии, например, цепочный формирователь, либо набор параллельных *LC*-формирователей).

В них конденсаторы относительно долго накапливают электрическую энергию от сравнительно маломощного источника, а затем быстро отдают ее в нагрузку. Накопительные конденсаторы используются, в частности, в днодно-конденсаторных умножителях напряжения.

Основным рабочим процессом в ряде устройств с емкостным накоплением энергии является не отдача ее в нагрузку, а накопление. Способность конденсатора быстро накапливать электрическую энергию используется при создании различных устройств для защиты электрического оборудования и его элементов от перенапряжений, обусловленных грозовыми или коммутационными явлениями. Это свойство, а также сравнительно малые габариты, высокая надежность конденсаторов обусловили, в частности, их широкое использование в демпфирующих цепях мощных высоковольтных преобразователей, для выравнивания напряжений на последовательно включенных вентилях.

В тиристорных преобразователях (выпрямителях, инверторах, импульсных регуляторах), в бесконтактной коммутационной аппаратуре конденсаторы применяют для принудительного включения и выключения диодов и вентилей с неполной управляемостью. Коммутирующие конденсаторы в бесконтактных аппаратах работают в накопительном режиме, тогда как в преобразователях рабочими процессами обычно являются заряд и разряд (или перезаряд) конденсатора.

Свойство конденсатора накапливать электрическую энергию широко применяется и для подавления импульсных помех в различном электронном оборудовании, для создания ячеек памяти ЭВМ, интегрирования и дифференцирования электрических сигналов (аналоговые ЭВМ, системы автоматики, управления и т. д.).

Широко используются накопительные свойства конденсаторов при их применении в разнообразных импульсных устройствах малой мощности: в генераторах импульсов тока и напряжения специальной формы (развертывающие, измерительные устройства и т. д.). в автоколебательных и спусковых устройствах. Конденсаторы очень час-

то служат источником реактивной мощности. Это свойство проявляется тогда, когда на них воздействует переменное (обычно синусоидальное по форме) напряжение. Ток, протекающий через конденсатор, опережает напряжение на угол, близкий к π/2, т. е. конденсатор, почти не потребляя активную мощность, генерирует реактивную. Эта способность используется для повышения коэффициента мощности потребителей электрической энергии путем частичной или полной компенсации их реактивной мощности, что снижает потери энергии в генераторах, трансформаторах, электрических сетях, повышает устойчивость параллельной работы энергосистем, стабилизирует напряжение у потребителей.

Для повышения устойчивости параллельной работы и пропускной способности линий электропередачи, а также для улучшения режима работы энергосистем применяют установки продольной компенсации, главным элементом которых являются мощные батареи конденсаторов, осуществляющие компенсацию индуктивных сопротивлений высоковольтных линий электропередачи. Установки продольной компенсации реактивной мощности используются на электрифицированных железных дорогах.

В последнее время батареи конденсаторов продольной компенсации стали применяться для руднотермнческих плавильных печей большой мощности (тысячи и десятки тысяч киловатт), т. е. при резко переменной нагрузке.

Продольная емкостная компенсация реактивной мощности эффективно используется для пуска асинхронных машин большой мощности при их питании по линиям с большим сопротивлением (линии недостаточной мощности и относительно большой длины). В энергосистемах конденсаторы применяются в батареях как продольной, так и поперечной централизованной компенсации реактивной мощности. Они обеспечивают снижение потерь энергии и улучшают режимы работы энергосистем (совместно с электростанциями обеспечивают необходимые напряжения в узлах и потоки энергии). В обоих видах батарей используется последовательно-параллельное соединение большого числа единичных конденсаторов.

Конденсаторы широко применяются не только в установках централизованной компенсации реактивной мощности, но и в установках для групповой и индивидуальной компенсации. Такими примерами могут служить конденсаторы для светильников с газоразрядными лампами, пусковые и рабочие конденсаторы однофазных асинхронных электродвигателей (в этом случае основная функция конденсаторов заключается в создании фазового сдвига π/2 между токами обмоток двигателей), конденсаторы, повышающие очень низкий коэффициент мощности индукционных электротермических установок промышленной и повышенных частот. Групповая и индивидуальная компенсация реактивной мощности потребителей дает большой экономический эффект в связи со снижением потерь энергии при ее передаче, уменьшением посадки напряжения при пиковых нагрузках, а также при необходимости реконструкции энергетических сетей (из-за недостаточной мощности питающих линий, трансформаторов и т. д.).

Способность конденсаторов компенсировать реактивную мощность потребителей электроэнергии применяется не только на частоте 50—60 Гц, но и на повышенных частотах работы, например, бортовых систем транспортных средств, электротермических установок. В этом случае существенно снижаются масса и габариты первичного генератора электроэнергии.

Компенсация конденсаторами реактивной мощности асинхронной машины позволяет создавать асинхронные генераторы, эффективные при переменной скорости вращения первичного двигателя (гидравлические, газовые турбины). В них конденсаторы обеспечивают возбуждение магнитного потока и компенсацию реактивной мощности нагрузки.

Полная компенсация конденсаторами реактивной мощности катушек индуктивностей происходит также в мощных колебательных контурах генераторов радиопередатчиков. Без конденсаторов невозможна работа этих устройств с высоким коэффициентом полезного действия и малыми искажениями, а также генерирование больших активных мощностей.

Другое свойство конденсаторов — изменять свое реактивное сопротивление при переменном токе обратно пропорционально частоте ($x_c=1/2\pi fC$) — широко используется при создании различных фильтров в радиотехнических, электронных, электротехнических устройствах, служащих для разделения напряжений и токов различных частот.

Фильтры низких, высоких частот, полосовые и режекторные, представляющие собой комбинацию индуктивных и емкостных, резистнвных и емкостных элементов, являются неотъемлемыми узлами большинства электронных и радиотехнических устройств. Фильтры используются также в энергетических системах. С их помощью маломощные высокочастотные сигналы, применяемые для связи, телемеханики, систем противоаварийной автоматики и других целей, отделяются от напряжений промышленной частоты высокого напряжения. Силовые фильтры используются в электроэнергетике для приближения формы напряжения к синусоидальной при наличии источников высших гармоник (выпрямителей), дуговых печей и др.), в силовых полупроводниковых преобразователях, работающих в автономном или в ведомом сетью режиме.

В реактивных фильтрах, резонансных умножителях напряжения и других устройствах используются резонансные свойства цепей, состоящих из конденсаторов к ии-дуктнвностей.

Конденсаторы применяются в фильтрах не только переменного, но н постоянного тока, в которых полезной составляющей является постоянное напряжение, а задача фильтра заключается в сглаживании пульсаций напряжения (путем снижения переменной составляющей), т. е. здесь одновременно используется способность конденсатора накапливать энергию и снижать свое сопротивление с частотой. Такие фильтры применяются в блоках питания различных электронных и электротехнических устройств, например, в высоковольтных установках электростатической окраски, очистки газов, в импульсных стабилизаторах напряжения, ЭВМ и др.

Свойство конденсаторов снижать свое сопротивление с ростом частоты обуславливает их широкое использование в электронной и радиоэлектронной аппаратуре в качестве блокирующего или помехоподавляющего элемента. Роль конденсатора в этом и в предыдущем случаях заключается в том, чтобы замкнуть путь высокочастотных токов, не допустив их прохождения через другие цепи и элементы устройств, например в питающую сеть.

Конденсаторы являются неотъемлемым элементом фазосдвигающих цепей электронных устройств систем автоматики, управления, в ***LC-*** и RC-генераторах, в активных фильтрах и т. д.

Одна из многочисленных задач, решаемых с помощью конденсаторов, заключается в делении переменного напряжения, осуществляемого при различных изменениях в высоковольтных цепях, в электроэнергетических системах, испытательных установках, в равномерном распределении напряжения на разрывных промежутках воздушных высоковольтных выключателей и для других целей.

Конденсаторы широко используются:

- в емкостных делителях напряжения для отбора энергии от высоковольтных линий электропередачи (при небольших мощностях стоимость конденсаторного отбора ниже стоимости устройства отбора энергии с помощью обычных трансформаторов);

- как балластное сопротивление в люминесцентных источниках света, лампах накаливания, а также в маломощных устройствах для зарядки аккумуляторов;

— во вторичных источниках питания со специальными характеристиками (стабилизаторы тока, напряжения), в частности, в индуктивно-емкостных преобразователях, служащих для питания неизменным током установок плазменной технологии, сварки и т. д.

Индуктивно-емкостные устройства применяются и для симметрирования напряжений трехфазной сети при наличии несимметричных потребителей, а также для создания расщепителей числа фаз, необходимых для питания трехфазных потребителей от однофазной сети.

Таким образом, область применения конденсаторов достаточно широка: энергетика, промышленность, транспорт, устройства связи, автоматика, вещание, локация, измерительная и вычислительная техника и др.

§ 1.2. Условия эксплуатации конденсаторов. Требования и определения

Работоспособность конденсаторов различных электротехнических и электронных устройств зависит от условий эксплуатации, характеризующихся электрическими нагрузками, климатическими и механическими факторами внешней среды, специальными факторами (например, ионизирующими излучениями).

Требования к конденсаторам приводятся в ТУ и ГОСТах для каждого типа. Условия эксплуатации с учетом воздействия климатических и механических факторов регламентируются в ТУ, ГОСТ 15150-69. ГОСТ 15543-70, ГОСТ 16962-71, ГОСТ 17516-72, ГОСТ 17799-72, ГОСТ 4401-73 (§ 1-5).

Климатические факторы внешней среды

К климатическим факторам относятся: температура, влажность воздуха, давление окружающей среды (воздуха или газа), действие плесневых грибков, солнечная радиация, дождь, ветер, пыль (в том числе снежная), соляной туман, иней, содержание в воздухе коррозионно-активных агентов.

Конденсаторы применяются в устройствах, эксплуатируемых в различных климатических условиях, в зависимости от которых предусматриваются определенные климатические исполнения конденсаторов (ГОСТ 15150-69). Приводятся буквенные русские обозначения, в скобках — обозначения, принятые в некоторых странах СЭВ. Эти обозначения используются в конструкторской документации (§ 1.4).

Для эксплуатации на суше, реках и озерах

У(N) — для макроклиматнческих районов с умеренным климатом

ХЛ(F) — для макроклиматических районов с холодным климатом

ТВ (ТН) — для макроклиматических районов с влажным тропическим климатом

ТС (ТА) — для макроклиматнческих районов с сухим тропическим климатом

Т(Т) — для макроклиматических районов как с сухим, так и влажным тропическим климатом

О ***(U)*** — для всех макроклиматических районов на суше (общеклиматическое исполнение)

Для эксплуатации на морских судах

М(М) — для макроклиматических районов с умеренно холодным морским климатом

ТМ(МТ) — для макроклиматнческих районов с тропическим морским климатом для судов каботажного плавания или иных судов, предназначенных для плавания только в тропической зоне

Таблица 1.2.1

Укрупненные категории размещения		Дополнительные категории размещения	
характеристика		характеристика	
Для работы на открытом воздухе	1	Изделия, хранящиеся в процессе эксплуатации в помещениях категории 4 и работающие как в условиях категории 4, так и (кратковременно) в других условиях, в том числе на открытом воздухе	1.1
Для работы в помещениях, где колебания температуры н влажности воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе и имеется сравнительно свободный доступ наружного воздуха, например, в кожухе комплексного устройства изделия категории 1 или под навесом (отсутствие прямого воздействия солнечной радиации и атмосферных осадков)	2		
Для работы в закрытых помещениях с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий, где колебания температуры и влажности воздуха и воздействие песка и пыли существенно меньше, чем на открытом воздухе	3		
Для работы в помещениях с искусственно регулируемыми климатическими условиями, например, в закрытых отапливаемых или охлаждаемых и вентилируемых производственных помещениях	4	Помещения с кондиционированным или частично кондиционированным воздухом	4.1
		Помещения лабораторные, капитальные жилые и другие подобного типа	4.2
Для работы в помещениях с повышенной влажностью	5		

ОМ (MU) — для неограниченного района плавания

В(W) — для всех макроклнматических районов на суше и на море

Конденсаторы в указанных климатических исполнениях в зависимости от места размещения н эксплуатации изготавливают по категориям (табл. 1.2.1).

Климатические факторы внешней среды характеризуются нормальными, номинальными, рабочими и предельными значениями.

Нормальные — это уточненные для использования в технике естественно изменяющиеся значения климатических факторов в пределах данной географической зоны с учетом места размещения конденсатора.

Номинальные — нормируемые в технических заданиях (ТЗ), стандартах или ТУ значения климатических факторов (естественно изменяющиеся или неизменные), при которых обеспечивается нормальная эксплуатация конденсаторов.

Рабочие — естественно изменяющиеся или неизменные значения климатических факторов, при которых обеспечивается сохранение требуемых номинальных параметров и экономически целесообразных сроков службы конденсаторов.

Предельные — это значения климатических факторов, при которых конденсаторы могут (чрезвычайно редко и в течение не более 6 часов) оказаться при эксплуатации и должны при этом: а) сохранять работоспособность, но могут не сохранять требуемой точности номинальных параметров; б) после прекращения действия этих предельных значений восстанавливать требуемую точность н номинальные параметры. Нормальные значения климатических факторов внешней среды при эксплуатации изделий по ГОСТ 15150-69 приведены в табл 1.2.2. Для покрытий поверхностей, подвергаемых нагреву солнцем, верхнее и среднее значения рабочей и предельной температур должны приниматься выше, чем указано в табл. 1.2.2 для изделий категории 1, для поверхностей, имеющих белый или серебристо-белый цвет,— на 15°С; для поверхностей, имеющих иной, кроме белого или серебристо-белого, цвет.—на 30°С (ГОСТ 15150-69).

Изменения температуры окружающего воздуха за 8 часов составляют: для исполнений У, ХЛ, Т, ТС, ОВ — 40°С; для исполнений ТВ. ТМ — 10°С, для исполнений М, ОМ — 30°С.

Кроме внешней температуры (температуры окружающего воздуха), экстремальные значения которой достигают минус 60÷плюс 55°С (см. табл. 1.2.2), на конденсаторы воздействует тепловыделение других сильно нагревающихся в процессе эксплуатации аппаратуры радиодеталей. Поэтому температура окружающего конденсатор воздуха в блоках аппаратуры может намного превышать предельные значения, указанные в табл. 1.2.2.

Под температурой окружающего воздуха для встроенных элементов понимают [В.30]: температуру воздуха в точке, удаленной на расстояние 15—20 мм от конденсатора, если другие тепловыделяющие радиодетали расположены на расстоянии не ближе 30 мм; в случае плотного монтажа, когда расстояние между конденсатором и радиодеталью меньше 30 мм, принимается средняя между ними температура. В этой связи в табл. 1.2.3 приведены интервалы допустимых (по ГОСТ и ТУ) рабочих температур конденсаторов.

Нормирование условий эксплуатации по влажности

Технические условия и стандарты на конденсаторы обычно оговаривают максимально допустимое значение относительной влажности при конкретной температуре. В табл. 1.2.4 приведены значения относительной влажности внешней среды, отражающие реальные условия эксплуатации (температуру, климатическое исполнение, категорию размещения, продолжительность воздействия) и соответствующие степени жесткости (ГОСТ 15150-69, ГОСТ 16962-71).

В ряде случаев большое влияние на эксплуатационные характеристики конденсаторов оказывает давление окружающем среды. При эксплуатации конденсаторов в наземных условиях (нормальная высота над уровнем моря не более 1000 м) рабочее значение атмосферного давления составляет 865—1070 гПа (650—800 мм рт. ст.), нижнее предельное—840 гПа (630 мм рт. ст.).

При работе конденсаторов в составе бортовой аппаратуры средние рабочие значения атмосферного давления в зависимости от высоты над уровнем моря принимаются по ГОСТ 4401-73 (табл. 1.2.5).

Конденсаторы, которые при эксплуатации подвергаются непосредственному облучению солнцем, должны быть устойчивы к воздействию солнечной радиации, характеризующейся для высот до 15 км включительно верхними значениями интегральной плотности теплового потока 1125 Вт/м^2 [0,027 кал/(см^2-с)], в том числе плотности потока ультрафиолетовой части спектра (длина волны 280—400 мкм) 42 Вт/м^2 [0,001 кал/см^2 с)].

Конденсаторы должны быть устойчивыми к непосредственному воздействию дождя, верхнее рабочее значенпе которого составляет: для исполнений ТВ. Т, ОМ. ТМ, ОМ. В — 5 мм/мин. У, ХЛ, ТС — 3 мм/мин. Интенсивность падения капель (верхнее рабочее значение) для изделий исполнений М, ТМ, ОМ 5-й категории размещения равна 0,4 мм/мин при угле от 90 до 45° к горизонту.

Плотность озона в приземном (приводном) слое воздуха (верхнее рабочее значение) для исполнений ХЛ1, ТВ, Т, О, ТМ, М. ОМ, В составляет 40 мкг/м^3, для исполнений ТС, У — 20 мкг/м^3.

Верхнее предельное значение скорости ветра 50 м/с.

Таблица 1.2.2

Категория размещения изделия	Нормальноезначение температуры воздуха при эксплуатации, °с: рабочая		предельная		
У	4	+35	+1	+20	+40	+1
	4.1	+25	+10	+20	+40	+1
	4.2	+35	+10	+20	+40	+1
	5	+35	—5	+10	+35	-5
ХЛ	1.1.1; 2;3	+40	—40	+10	+45	—50
	4	+35	+1	+20	+40	+1
	4.1	+25	+10	+20	+40	+1
	4.2	+35	+10	+20	+40	+1
	5	+35	—10	+10	+35	-10
ТВ	1.1;1; 2;3	+40	-60	+10	+35	—60
	4	+45	+1	+27	+50	+1
	4.1	+25	+10	+20	+40	+1
	4.2	+45	+10	+27	+45	+10
	5	+35	+1	+10	+35	+1
Т, ТС	1Л;1; 2;3	+45	+1	+27	+50	-10
	4	+45	+1	+27	+55	+1
	4.1	+25	+10	+20	+40	+1
	4.2	+45	+10	+27	+45	+10
	5	+35	+10	+10	+35	+1
О	1.1,1.1.1; 2;3	+45	-10	+27	+55	-20
	4	+45	+1	+27	+55	+1
	4.1	+25	+10	+20	+40	+10
	4.2	+45	+10	+27	+45	+1
	5	+35	+10	+10	+35	+10
М	1.1; 2;3	+45	-60	+27	+55	-60
	4	+40	—10	+20	+40	—10
	4.1	+35	+15	+20	+40	+1
ТМ	1,1.1. 2;3;5	+40	—40	+10	+45	—40
	4	+45	+1	+27	+45	+1
	4.1	+25	+10	+20	+40	+1
ОМ	1.1.1; 2;3;5	+45	+1	+27	+45	+1
	4	+45	-10	+27	+45	-10
	4.1	+35	+15	+20	+45	+1
В	1,1.1; 2;3;5	+45	-40	+27	+45	—40
	4	+45	+1	+27	+55	+1
	4.1	+25	+10	+20	+40	+1
	5	+45	-40	+27	+45	-40
	1,1:1; 2;3	+45	—60	+27	+55	-60

Таблица 1.2.5

Типы конденсаторов	Интервал температур, °С	Пример	Типы конденсаторов	Интервал температур, °С	Пример
	-60+(+70)	в, кв	Металлобумажиые	0+ + 35	К42Ч-6
Вакуумные	-604- (+85)	Кб 1-6, Кб 1-7,		—60+(+ 60)	МБГВ
	—60ч- (-4-125)	Кб 1-4, Кб 1-5		-60+(+ 70)	МБГИ, МБГН
	-604- (+200)	Кб 1-9		—60+ (+1*00)	МБГТ
	-25ч- (+ 85)	клс. КТП		-60+(+ 60)	К70-7
	-604-(+100)	КТ-1Е, КТП	Полистирольные	—60+(+ 70)	К71-6
Керамические	-60ч- (+125)	КЮ-17-1		—60+(+ 85)	К71-4
	-60+(+155)	КМ-6		-60+(+ Г00)	К71-3
	-60+(+ 100)	К21-5		—60-+(+ 70)	К72-11
Стеклянные	-60+(+155)	К21-7, К21-8	Фторопластовые	—60+(+155)	ФГТИ
	-60+(+200)	К21У-3		—60+(+ 200)	К72-9
	-60+(+ 300)	К21У-1			
	-60+(+100)	дс, кс-з	Полиэтилентерефталатные (лавсановые)	—60+(+ 70)	К73П-4
				—60+(+100)	К73-9
Стеклоэмалевые	—60+(+155)	КС-4		—60+-(+125)	К73-11
	-604- (+ 85)	К22-4, К22-5	Комбинированные	-60ч- (+100)	К75-10
Стеклокерамическне	—60+(+ 100)	СКМ-2		—60+(+ 125)	К75-24
	—60+(+ 125)	К22-6	Лакопленочные	—60+ (+ 70)	К76-4
	—60+(+155)	СКМ-2		—60+(+ 85)	К76-3
	—60+ (+200)	екм-т			
Слюдяные	—60+(+70)	К31П-4 ксо		—10+(+60)	К50-7
	—60+(+85)	СГМ, К31-11		—10+(+70)	К50-6
	—60ч- (+ 125)	КЗ Г-10, КЗ 1-7 А			
	—60ч-(+155)	ксот	Электролитические алюминиевые	—20+(+60)	К50-9
	—60+(+ 200)	КСОТ-200		-20+ (+70)	К50-12
	-60ч-(+ 500)	К31П-1		—40+(+60)	К50-ЗИ
				—40+(+70)	К50-24
				—60+(+85)	К50-15
Бумажные	—60+(+50)	К40-11			
	—60+(+70)	БМ			
	-60ч- (+ 85)	К40П-2	Электролитические танталовые объемно-пористые	-604- (+ 85)	К52-1
	—60+(+ 100)	БМТ		—60+(+100)	ЭТО
	—60+(+125)	К41-1.К40У-9		—60+(+155)	К52-7
				-60ч-(+200)	К52-5
Оксндно-металлнческие	—60+(+300)	К54-2	Оксидно-полупроводниковые	-80ч-(+85)	К53-1
				-80ч-(+ 125)	К53-1А
				-60ч-(+ 85)	К53-4
				-60ч-(+125)	К53-1А

На эксплуатационные характеристики конденсаторов в ряде случаев оказывает большое влияние газовой состав окружающей среды. Содержание в атмосфере на открытом воздухе коррозионно-активных агентов приведено в ГОСТ 15150-69.

Механические факторы

К механическим факторам, влияющим на работоспособность конденсаторов при их эксплуатации, относятся: вибрационные, ударные (многократные, одиночные) и линейные (центробежные) нагрузки.

Значения механических воздействий (ГОСТ 16962-71) для изделий электронной техники и электротехники, в том числе и для конденсаторов, приведены в табл. 1.2.6. Испытания конденсаторов на ударную прочность проводят с общим количеством многократных ударов, равным 10 000 для степеней жесткости 1 и II, 4000 — для степеней жесткости III и IV и равным девяти — для одиночных ударов.

Таблица 1.2.4

Вид исполнения	Категория размещения изделия	Относительная влажность: среднемесячные значения в наиболее теплый и влажный периоды, при температуре, °С	Относительная влажность: максимальное значение	Относительная влажность: продолжительность воздействия в течение года, мес	Степень жесткости по влажности
У, ХЛ, тс	4;4.1;4.2	65(20)	80% при 25°С и при более низких температурах, без конденсации влаги	12	I
тс	2;3	65(20)	То же	12	I
тс	1	65(20)	100% при 10°С и при более низких температурах, с конденсацией влаги	12	I
У, ХЛ	1; 1	80(20)	98% при 25°С и при более низких температурах, без конденсации влаги	2	II
У, ХЛ	3	80(20)	То же	6	III
У, ХЛ	1;2	80(20)	100% при 25°С и при более низких температурах, с конденсацией влаги	6	IV
У, ХЛ	5	90(20)	То же	12	V
ТВ, Т. О, В, ТМ, ом*	4.2	80(27)	98% при 35°С и при более низких температурах, без конденсации влаги	3	VI
м	3;4	80(20)	То же	6	VI
тс	3;4	80(27)	» »	12	VII
м	1;2	90(20)	100% при 25°С и при более низких температурах, с конденсацией влаги	6	VII
ТВ, т, О, в, ТМ, ом**	1;2;5	90(27)	100% при 35°С и при более низких температурах, с конденсацией влаги	12	VIII

* Для морских судов исполнения ОМ, предназначенных для непродолжительного пребывания в районах с тропическим климатом, значения сочетания температуры и влажности допускается принимать такими же. как и для исполнения М.

•• При более высоких температурах относительная влажность ниже.

Таблица 1.2.5

Высота над уровнем моря, тыс. м	Атмосферное давление, гПа(мм рт. ст.): нижнее значение	Атмосферное давление, гПа(мм рт. ст.): среднее значение	Высота над уровнем моря, тыс. м	Атмосферное давление, гПа(мм рт. ст.): нижнее значение	Атмосферное давление, гПа(мм рт. ст.): среднее значение
1	865(650)	897(674)	»	243(182)	266(199)
2	732(550)	794(596)	12	180(135)	193(145)
3	639(480)	700(526)	14	128(96)	141(106)
4	559(420)	628(462)	15	106,5(80)	***121(91)***
5	480(360)	540(405)	16	85(64)	***104(78)***
6	420(315)	472(354)	18	64(48)	***76(57)***
7	366(275)	410(308)	20	44(33)	***54(41)***
8	313(235)	356(267)	26	20(15)	21,3(16)
9	280(210)	308(231)	31	10(7,5)	10,25(7,7)

Так как конденсаторы относятся к изделиям массового применения и используются для комплектации аппаратуры и устройств различного назначения, их конструкции проектируются с расчетом на максимальную степень жесткости для каждого из видов воздействующих нагрузок.

§ 1.3. Классификация конденсаторов

Электрические конденсаторы можно разделить на две группы: силовые, применяемые в электротехнических и электроэнергетических установках; конденсаторы, используемые в электронных н радиотехнических устройствах.

Силовые конденсаторы классифицируются в соответствии с их функциональным назначением по роду напряжения и конструктивному исполнению [В.l, В.9J.

По *функциональному признаку* они делятся на конденсаторы: для повышения коэффициента мощности электроустановок переменного тока; продольной емкостной компенсации линий электропередачи и регулирования напряжения в распределительных сетях; высокочастотной связи и защиты линий электропередачи высокого напряжения; отбора мощности от линий электропередачи высокого напряжения; для делителей напряжения; электротерми-

Таблица 1.2.6

Воздействующие факторы	Значения параметров механических воздействий			Степень жесткости
	диапазон частот, Гц	максимальное ускорение, м/с*	длительность удара, мс	
Вибрационные нагрузки	1—35	4,91		I
	1-50	4,91	–	IIа*
	1-50	49,10	–	IIб*
	1-50	78,48	–	IIв*
	1—50	14,71	–	IIг*
	1-60	9,81	–	II
	1—60	19,60	–	III
	1-80	49,10	–	IV
	1—100	9,81	–	V
	1—100	19,60	–	Va*
	1—100	29,40	–	V6*
	1—100	49,10	–	VB*
	1—200	19,60	–	Via*
	1—200	49,10	–	VI
	1-200	98,10	–	VII
	1—200	245,00	–	Vila*
	1-600	49,10	–	VIII
	1—600	98,10	–	IX
	1—1000	98,1	–	X
	1—2000	49,1	–	XI
	1—2000	98,1	–	XII
	1—2000	14,7	–	XIII
	1—2000	196,0		XIV
	1-3000	196,0	–	XV
	1—5000	98,1		XVI
	1-5000	196,0		XVII
	1-5000	294,0	–	XVIII
	1-5000	392,0		XIX
	100-5000	394,4	–	XX
Ударные нагрузки:				
много-кратные		29,40	2-20	Ia*
	–	78,48	2-15	Iб*
		147,00	2-15	I
		392,00	2—Ю	II
		735,00	2-6	III
		1471,00	1-3	IV
одиночные		29,4	2-20	Ia*
	–	39,2	4-60	I
		196,0	20-50	II
		735,0	2-6	III
		1471,0	1-3	IV
		4905,0	1-2	V
	–	9810,0	0,2-1,0	VI
		14710,0	0,2-0,5	VII
		29400,0	0,2-0,5	VIII
Линейные (центробежные) нагрузки		98,1		I
		245,0	–	II
	–	491,0		III
	–	981,0	–	IV
		1471,0	–	V
		1962,0		VI
	–	4905,0		VII

* Дополнительные степени жесткости к ГОСТ 16962-71. применяемые для электротехнических изделий народнохозяйственного и бытового назначения.

ческие (постоянной емкости н подстроенные с дискретным регулированием значения емкости) высокой и промышленной частоты (f=50 Гц); фильтровые; измерительные; импульсные, или накопительные; для пуска и работы электродвигателей (пусковые и рабочие конденсаторы) переменного тока; для силовой полупроводниковой техники (коммутирующие, демпфирующие, фильтровые, компенсирующие).

По ***роду напряжения*** различают конденсаторы, предназначенные для работы на переменном напряжении (синусоидальной и несинусоидальной формы) промышленной и повышенной частоты; при пульсирующем напряжении; в импульсных режимах.

По ***конструктивному исполнению*** выделяют конденсаторы с бумажным, пленочным и комбинированным диэлектриком; металлизированными и фольговыми (скрытыми и выступающими) обкладками; с встроенными плавкими предохранителями и без предохранителей; с корпусом, находящимся под рабочим напряжением и с изолированным корпусом; с металлическими и неметаллическими корпусами прямоугольной и цилиндрической формы; однофазные и трехфазные.

По ***условиям охлаждения*** различают конденсаторы с естественным и принудительным воздушным и жидкостным охлаждением.

Конденсаторы для электронных и радиотехнических устройств классифицируются в соответствии с ОСТ 11.074.008-78 (рис. 1.3.1).

Деление конденсаторов по типу диэлектрика приведено в табл. 1.4.1 (§ 1.4).

По ***признаку управляемости*** значением емкости различают конденсаторы постоянной и переменной емкости, а по ***характеру управления—с*** механическим и электрическим управлением значением емкости. Конденсаторы с механическим управлением значения емкости подразделяются на конденсаторы с плавным и дискретным (ступенчатым) характером регулирования значения емкости.

Конденсаторы переменной емкости с механическим управлением по типу диэлектрика делятся на конденсаторы вакуумные, с газообразным (воздушные, газонаполненные), жидким и твердым (керамические, стеклянные, пленочные) диэлектриком; с электрическим управлением — на сегнетокерамические (вариконды) и полупроводниковые (варикапы).

По ***типу обкладок*** различают конденсаторы с пластинчатыми, фольговыми, металлизированными, комбинированными (фольговые + металлизированные) обкладками.

По ***назначению*** бывают конденсаторы широкого применения и специальные (измерительные, для делителей напряжения, связи, блокировочные, разделительные, контурные, дозиметрические и т. д.).

По ***значению номинального напряжения*** различают конденсаторы низкого и высокого напряжения.

Конденсаторы с номинальным действующим значением переменного напряжения U≤1000 В, а также с номинальным значением напряжения постоянного тока $U_н$≤1000 В относят к группе конденсаторов низкого напряжения. Конденсаторы с большими значениями номинального напряжения относят к группе высокого напряжения. Для конденсаторов с оксидным диэлектриком под термином "низкое" понимают напряжение в несколько десятков вольт, поскольку наибольшее номинальное напряжение в силу особенностей конденсаторов этого типа не превышает 600 В.

Конденсаторы для электронных и радиотехнических устройств делятся на конденсаторы с малыми (tg δ < 0,008 на частоте и при температуре, оговоренных в технических условиях) и большими (tg δ > 0,008) потерями энергии.

Различают также конденсаторы с высокой (изменение емкости не превышает десятые доли процента в рабочем диапазоне по частоте и температуре) и низкой температурно-частотной стабильностью емкости.

Для классификации конденсаторов могут быть использованы и другие дополнительные признаки, например, такие как исполнение, вид охлаждения, внешнее оформление, электрический режим работы, габарит (малогабаритные и большого габарита) и т. д.

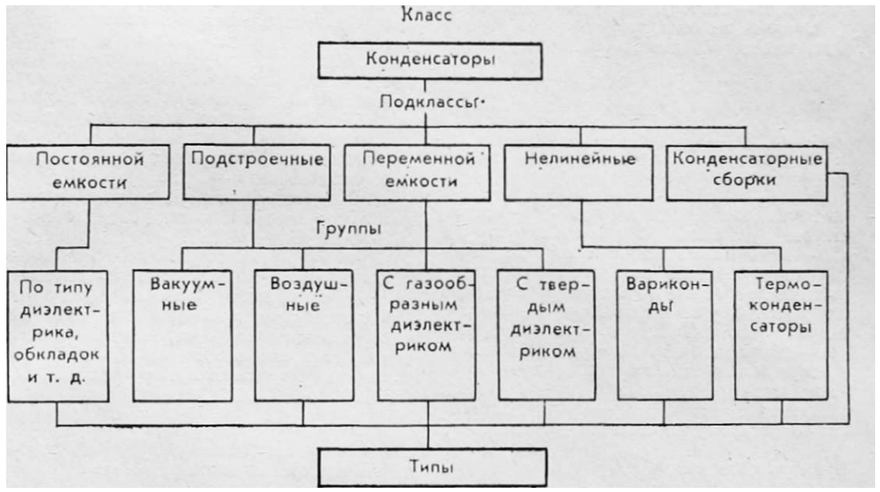


Рис. 1.3.1. Схема классификации конденсаторов электронной техники (ОСТ 11074.008-78)

§1.4. Система обозначения конденсаторов

Каждому типу и конденсатору присваивается условное обозначение. Система условных обозначений должна наиболее полно раскрывать конструктивные особенности, области применения, давать сведения о функциональном назначении, основных технических параметрах, условиях эксплуатации конденсаторов. Использование условной системы обозначений позволяет легко ориентироваться во множестве выпускаемых номиналов конденсаторов и выбрать подходящий по техническим параметрам и условиям эксплуатации.

Обозначения силовых конденсаторов и конденсаторных установок

Различают сокращенное и полное условные обозначения конденсаторов. ***Сокращенное*** условное обозначение силовых конденсаторов состоит из букв или из букв и цифр.

Первая буква обозначает функциональное назначение: К — для повышения коэффициента мощности электроустановок переменного тока частоты 50 и 60 Гц (косинусные), И — импульсный, Ф — фильтровый, С — связи, Д — демпфирующий или для делителей напряжения, О — отбора мощности, П — полупроводниковых преобразователей, Г — гасящий для систем тиристорного электропривода, Э — электротермический, Р — регулирующий, Л — для люминесцентных светильников;

вторая буква обозначает род пропитки: С — синтетическая жидкость, М — нефтяное масло, К — касторовое масло или назначение (О — для отбора мощности);

третья буква указывает на область конкретного применения или режим работы: Г — в схемах с электрогидравлическим эффектом, И — для измерительных целей, Н — накопительный, Т — в схемах тиристорного электропривода или на тяговых подстанциях, Э — для электротермических установок промышленной частоты; на конструктивную особенность: В — с водяным охлаждением, К — с комбинированным диэлектриком, П — пленочным диэлектриком, М — в металлическом корпусе, пропитка маслом или малоиндуктивный конденсатор, Р — с расширителем или буква Б, обозначающая категорию электрообо-

рудования по длине пути утечки внешней изоляции (см. ГОСТ 9920-75). Буква П указывает, что конденсатор для делителей напряжения совмещен с изолирующей подставкой;

четвертая буква указывает на особенность монтажа: У — допускается установка конденсатора под углом до 30° от вертикали, на категорию по длине пути утечки внешней изоляции (см. ГОСТ 9920-75), вид охлаждения (О — принудительно-воздушное), тип диэлектрика (К—комбинированный) или уточняет назначение конденсатора (П — подстроечный);

первая цифра после букв обозначает габарит конденсатора (0 — нулевой, 1 — первый, 2 — второй).

Система полного условного обозначения для силовых конденсаторов приведена на

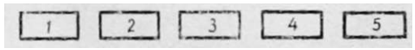


Рис. 1.4.1. Структура типового обозначения силовых конденсаторов и конденсаторных установок. 1—5 — номера элементов

рис. 1.4.1, где первый элемент (1)—сокращенное условное обозначение; второй (2)—номинальное напряжение, кВ; третий (3) — значение номинальной реактивной мощности (квар) или емкости (нФ, мкФ) или другие технические параметры, например, номинальная частота; четвертый (4) — цифрами обозначается количество изолированных выводов, буквами — исполнение и цифрами после букв — категория размещения; пятый (5) — номер документа, по которому осуществляется поставка.

Примеры обозначения

Сокращенное условное обозначение. Конденсаторы для повышения коэффициента мощности электроустановок переменного тока частоты 50 и 60 Гц(К). с синтетической пропиткой (С), первого (КС1) габарита: конденсатор КС1.

Полное условное обозначение. Конденсатор косинусный с синтетической пропиткой первого габарита, номинальным напряжением 6,3 кВ, мощностью 30 квар, однофазного исполнения с двумя изолированными выводами, климатического исполнения У, 3-й категории для верхнего значения температуры окружающего воздуха 40°С, поставляемого по ГОСТ 1282-79: конденсатор КСТ-6.3-ЗО-2У3, температура 40°С, ГОСТ 1282-79.

Конденсаторные установки имеют аналогичную с силовыми конденсаторами структуру условного обозначения.

Сокращенное условное обозначение содержит следующие элементы: ***первая буква У*** — установка; ***вторая буква*** К — конденсаторная; ***третья*** — указывает на конструктивную особенность (А —с автоматическим выключателем, Б — бесшкафная, .С — столбовая, *Л* — левое исполнение ячейки ввода, П — правое исполнение ячейки ввода); ***четвертая*** — обозначает способ регулирования (Н — по напряжению, Т — по току); ***цифра*** указывает на количество конденсаторов, включенных самостоятельно.

Структура полного условного обозначения для конденсаторных установок показана на рнс. 1.4.1, где ***первый элемент*** (1)—сокращенное условное обозначение; ***второй*** (2) — номинальное напряженке, кВ; ***третий*** (3) —номинальная мощность, квар; ***четвертый*** (4) — буквами указывает на особенность конструкции и способ регулирования [*Л*(П)—левое(правое) исполнение ячейки ввода, Н — регулирование по напряжению, Р — с командным блоком и приставкой автоматического регулятора «Аркой»], далее буквами — исполнение, цифрами после букв — категория размещения. Для некоторых установок перед буквой, обозначающей исполнение, цифрами указывается количество конденсаторов в установке; ***пятый*** (5) — номер документа, по которому осуществляется поставка. Обозначения некоторых выпускаемых конденсаторных установок незначительно отличаются от изложенной схемы.

Примеры сокращенного условного обозначения. 1. Установка конденсаторная модернизированная — УКМ.

2. Установка конденсаторная бесшкафная с регулированием по напряжению — УКБН; по току — УКБТ.

Пример полного условного обозначения. Установка конденсаторная на номинальное напряжение 0,38 кВ мощностью 150 квар с регулированием по напряжению, климатическое исполнение У, категория 3, поставляемая по ТУ 16-527.163-71: установка конденсаторная УК-0,38-150 НУЗ ТУ 16-527.163-71.

Обозначение конденсаторов - для электронных и радиотехнических устройств

Обозначение конденсаторов электронной техники производится в соответствии с отраслевым стандартом ОСТ 11.074.008-78 и ГОСТ 11076-69

Сокращенное условное обозначение конденсатора состоит из следующих элементов:

первый элемент — буква или сочетание букв, обозначающих подкласс конденсатора (К—постоянной емкости, КТ — подстроечные, КП — переменной емкости, КС — конденсаторные сборки); ***второй*** — цифровое обозначение конденсаторов соответствующей группы;

третий — порядковый номер разработки конкретного типа, в состав которого в технически обоснованных случаях может входить и буквенное обозначение. Между вторым и третьим элементами в условном обозначении ставится дефис.

В табл. 1.4.1 приведены классификации конденсаторов по типу диэлектрика и первые два элемента их сокращенного условного обозначения.

Полное условное обозначение состоит из следующих элементов:

первый элемент — сокращенное обозначение;

второй — значения основных параметров и характеристик, необходимых для заказа и записи в конструкторской документации (вариант конструктивного исполнения, номинальное напряжение, номинальная емкость, допускаемое отклонение емкости, группа и класс по температурной стабильности, реактивная мощность, другие необходимые дополнительные характеристики);

третий — обозначение климатического исполнения (только для конденсаторов ис-

Таблица 1.4.1

Классификация конденсаторов по виду диэлектрика	Сокращенное обозначение	Прежнее обозначение групп конденсаторов
Керамические на номинальное напряжение ниже 1600 В	к10	кмк, клг, клс, КМ, КП, КПС, КД, КДУ, КТ, КТБ, ктн, ктп. ко. кдо. км-с
Керамические на номинальное напряжение 1600 В и выше	К15	КВИ, КВЦ
Стеклянные	К21	
Стеклокерамические	К22	скм, скм-т
Тонкопленочные с неорганическим диэлектриком	К26	/ —
Слюдяные малой мощности	К31	ксг, ксо, сгм, его, СГО-С, осг
Слюдяные большой мощности	К32	-
Бумажные фольговые на номинальное напряжение ниже 2000 В	К40	КБП, ОКБП, ОПБТ, КБПС-Ф
Бумажные фольговые на номинальное напряжение 2000 В и выше	К41	
Бумажные металлизированные	К42	МБГВ, МБГИ, МБГО, МБГТ, МБГЧ, МБМ
Оксидно-электролитические алюминиевые	К50	–
Оксидно-электролитнческие танталовые, ниобиевые и др.	К51	
Объемно-пористые	К52	
Оксидно-полупроводниковые	К53	—
С двойным электрическим слоем (ионисторы)	К58	—
Воздушные	К60	—
Вакуумные	К61	В, КВ, вв, вм
Полистирольные:		
с фольговыми обкладками	К70	ОППТ, ПМ
металлизированные	К71	—
Политетрафторэтиленовые (фторопластовые)	К72	ФГТИ, ФЧ
Полиэтилентерефталатные (лавсановые)	К73	—
С комбинированным диэлектриком	К75	пкги, ПКГТ
Лакопленочные	К76	—
Поликарбонатные	К77	—
Полипропиленовые	К78	—

Таблица 1.4.2

Предел номинальной емкости	Значение номинальной емкости	Пример кодированного обозначения	Предел номинальной емкости	Кодированное обозначение единицы измерения
До 10 000 пФ	1 пФ	1П0	До 100 пФ	П
	1,5 пФ	1П5		
	15 пФ ~ 15,2 пФ	15П		
		15П2		
	100 пФ	Н0	От 0,1 до 100 пФ	Н
	150 пФ	Н15		
	1000 пФ	1Н0		
	1520 пФ	1Н52		
От 0,01 и выше мкФ	0,01 мкФ	Ю0Н		
	0,015 мкФ	15Н		
	0,047 мкФ	47Н		
	0,1 мкФ	М10	От 0,1 и выше мкФ	м
	0,15 мкФ	М15		
	1 мкФ	1М0		
	1,5 мкФ	1М5		
	15 мкФ	15М		
	150 мкФ	150м		

Таблица 1.4.3

Допускаемое отклонение емкости, Х	Колирован* ное обозначение	Допускаемое отклонение емкости, S	Колированное обозначение
±0,1	Ж	+30	Ф
±0,2	У	+50 —10	Э
±0,5	д	+50 —20	Б
±1	р	+ 80 —20	А
±2	л	+ 100	Я
±5	и	+ 100 —10	Ю
±10	с	±0,4 пФ	Х
±20	в		

Таблица 1.4.4

Типы конденсаторов	Нормированное значение ТКЕ и допуск (для класса Б) по ТНЕ, 10-* К—¹	Интервал температур нормированного значения ТКЕ, °С	Условное обозначение ТКЕ: буквами и цифрами	Условное обозначение ТКЕ цветным кодом: покрытие конденсатора	Условное обозначение ТКЕ цветным кодом: кодировочный знак
Керамические, стеклянные	+ (100±40) + (60±40) + (33±Э0) 0±30 —(33 ±30) —(47 ±40) —(75 ±40) —(150 ±40) —(220±40) —(330±60) —(470±90) —(750±120) —(1500±250) —(700±120) —(1300±250) —(2200 ±500)	20—70	п ю о П60 п з з м п о м з з М47 М75 М1 50 М220 М33О М470 М750 М1 500 М700 М1 300 М2200	Синий Серый » Голубой » » Красный » » » Зеленый Красный Зеленый »	Без знака Красный Без знака Черный Коричневый Без знака Красный Оранжевый Желтый Зеленый Синий Без знака То же » » Серый
Стеклокерамическне	0±30 —(47±30) —(330 ±100)	30—70	МПО М47 М33О	_	–
Стеклоэмалевые КС	+ (60±40) 0±30 —(47 ±30) -(150±40 70) ДС	20—85	П60 МПО М47 М150	–	–
	±50	-60÷(+ 100)	–	_	–

полнения В и Т). Обозначение исполнения У, ХЛ не указывается;

четвертый — обозначение документа на поставку (номер ТУ, ГОСТ, ОЖО и т. д.).

Для обозначения номинальной емкости, группы и класса по температурной стабильности малогабаритных конденсаторов применяются кодированные обозначения. Они состоят из (ГОСТ 11076-69):

— цифры, обозначающей значение номинальной емкости;

— буквы, указывающей на единицу измерения емкости и одновременно положение запятой десятичной дроби;

— буквы, обозначающей допускаемое отклонение емкости.

Указанные обозначения должны наноситься без интервалов. Порядок обозначения номинальных емкостей с помощью кода (ГОСТ 11076-69) приведен в табл. 1.4.2, а допускаемых отклонений — в табл. 1.4.3. Для обозначения группы и класса по температурной стабильности малогабаритных конденсаторов применяются буквы и цифры или цветной код.

В табл. 1.4.4 и 1.4.5 даются условные обозначения при помощи букв и цифр и цветного кода группы по температурной стабильности емкости малогабаритных конденсаторов электронных и радиотехнических устройств.

Для конденсаторов с нормированным значением температурного коэффициента емкости (ТКЕ) буквы обозначают знак (М — минус, П — плюс, МП — близкое к нулю), а цифры — значение ТКЕ (см. § 4.1). Наличие буквы Н в условном обозначении группы по температурной стабильности (см. табл. 1.4.5) указывает на то, что для этих конденсаторов значение ТКЕ не нормируется, а цифры, следующие после буквы Н, указывают на предельно допустимые изменения емкости в интервале рабочих температур в процентах, относительно измеренной при 20°С.

При использовании цветного кода цвет покрытия корпуса малогабаритных конденсаторов указывает на знак ТКЕ, а цвет кодировочного знака — значение ТКЕ (см. табл. 1.4.4 и 1.4.5).

Пример сокращенного условного обозначения конденсаторов. Конденсатор постоянной емкости с комбинированным

Таблица 1.4.5

Допускаемое изменение емкости в интервале рабочих температур относительно емкости, измеренной при 20° С. Н не более	Условное обозначение: буквами и цифрами	Условное обозначение цветным кодом: покрытие конденсатора	Условное обозначение цветным кодом: кодировочный знак
±10	Н10	Оранжевое	Черный
±20	Н20	»	Красный
±30	Н30		Зеленый
±50	Н50		Синий
±70	Н70	»	Без знака
±90	Н90	»	Белый

диэлектриком, номер разработки данного типа двадцать девятый, вариант исполнения А: К75-29А.

Пример полного условного обозначения. Конденсатор керамический К10-25, номинальная емкость 100 пФ с допускаемым отклонением ±10%, группа по температурной стабильности М47, с отсутствием «мерцания емкости» (НМ), всеклиматического исполнения (В), поставляемого по ОЖО.460.106 ТУ: К10-25-100 пФ ±10% -М47-НМ-В ОЖО 460.106 ТУ.

Пример кодированного обозначения емкости. Конденсатор емкостью 33 пФ и допускаемым отклонением ±5%: 33П.И.

§ 1.5. ГОСТы п ОСТы по тематике справочника

Общие сведения

ГОСТ 19880-74. Электротехника. Основные понятия. Термины и определения

ГОСТ 1494-77. Электротехника. Буквенные обозначения основных величин

ГОСТ 21515-76. Материалы диэлектрические. Термины и определения

ГОСТ 22372-77. Материалы диэлектрические. Методы определения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь в диапазоне частот от 100 до 5-10® Гц

ОСТ 16.0 686.602-77 ОЕСТПП. Материалы электроизоляционные. Термины

ОСТ 11.074.008-78. Конденсаторы. Классификация и система условных обозначений

ГОСТ 11076-69. Конденсаторы и резисторы. Обозначения величин емкости и сопротивления

ГОСТ 21415-75. Конденсаторы постоянной емкости. Термины и определения

ГОСТ 2519-67. Конденсаторы электрические. Ряды номинальных емкостей

ГОСТ 9661-73. Конденсаторы постоянной емкости. Допускаемые отклонения величины емкости от номинальной

ГОСТ 14611-78. Конденсаторы постоянной и переменной емкости вакуумные. Ряды номинальных емкостей, напряжений, токов

ГОСТ 23520-79. Конденсаторы подстроечные керамические. Ряды номинальных емкостей

ГОСТ 9665-77. Конденсаторы постоянной емкости. Ряды номинальных напряжений

ГОСТ 12661-67. Конденсаторы и резисторы электрические. Длины монтажные и диаметры проволочных выводов

Условия применения. Испытания конденсаторов. Измерения параметров

ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды

ГОСТ 15543-70. Изделия электротехнические. Исполнения для различных климатических районов. Общие технические требования в части воздействия климатических факторов внешней среды

ГОСТ 17516-72. Изделия электротехнические. Условия эксплуатации в части воздействия механических факторов внешней среды

ГОСТ 4401-73. Стандартная атмосфера. Параметры

ГОСТ 21322-75Е. Изделия электронной техники для устройств широкого применения. Механические и климатические воздействия. Классификация по условиям применения

ГОСТ 2.117-71. Согласование применения покупных изделий

ОСТ 11.074.011-79. Конденсаторы. Руководство по применению

ГОСТ 21395.0-75. Резисторы и конденсаторы. Методы проверки требований и конструкций. Общие положения

ГОСТ 21395.2-75. Резисторы и конденсаторы. Методы проверки герметичности и уплотнения

ОСТ 16.0.686.569-77. ОЕСТПП. Конденсаторы силовые. Контроль и испытания. Термины и определения

ГОСТ 21315.0-75. Конденсаторы. Методы измерения электрических параметров. Общие положения

ГОСТ 21315.1-75. Конденсаторы. Методы измерения емкости и тангенса угла потерь

ГОСТ 21315.2-75. Конденсаторы. Методы измерения электрического сопротивления изоляции

ГОСТ 21315.3-75. Конденсаторы. Метод измерения тока утечки

ГОСТ 21315.4-75. Конденсаторы. Метод проверки электрической прочности

ГОСТ 21315.5-75. Конденсаторы. Метод определения температурного коэффициента емкости

ГОСТ 21315.6-75. Конденсаторы. Метод определения температуры перегрева при нагрузке допустимой реактивной мощностью и допустимым высокочастотным током

ГОСТ 21315.7-75. Конденсаторы. Методы определения отсутствия мерцания емкости

ГОСТ 21315.8-75. Конденсаторы. Методы измерения собственной индуктивности

ГОСТ 21317.9-75. Конденсаторы. Метод измерения полного электрического сопротивления

ГОСТ 21315.10-75. Конденсаторы. Метод испытания перенапряжением

ГОСТ 5479-70. Проверка конденсаторов на повышенное атмосферное давление

ГОСТ 6962-75. Методы испытаний конденсаторов

Надежность

»

ГОСТ 13377-75„ Надежность в технике. Термины н определения

ГОСТ 13216-67. Надежность. Общие технические требования и методы испытаний

ГОСТ 19460-74. Надежность в технике. Расчет показателей безотказности невосстанавливаемых объектов (без резервирования).

ГОСТ 21493-76. Изделия электронной техники производственно-технического назначения и народного потребления. Требования к сохраняемости и методы испытаний

Силовые конденсаторы

ГОСТ 1282-80Е. Конденсаторы для повышения коэффициента мощности электроустановок переменного тока частотой 50 и 60 Гц

ГОСТ 15581-70. Конденсаторы для емкостной связи, отбора мощности и измерения напряжения в фарфоровых корпусах

ГОСТ 18689-73. Конденсаторы для электротермических установок на частоту от 0,5 до 10,0 кГц

Конденсаторы для электронных и радиотехнических устройств

ГОСТ 5.621-77. Конденсаторы керамические типа К10-7В. Технические условия. Требования к качеству аттестованной продукции

ГОСТ 7159-79Е. Конденсаторы керамические типа КД-1. Технические условия

ГОСТ 7160-78Е. Конденсаторы керамические высоковольтные типов К15У-1, К15У-2, К15У-3

ГОСТ 23898-79Е. Конденсаторы керамические типа К10П. Технические условия

ГОСТ 23860-79Е. Конденсаторы керамические трубчатые типа КТИ. Технические условия

ГОСТ 23390-78Е. Конденсаторы керамические дисковые типов КД-2, КДУ. Технические условия

ГОСТ 23385-78Е. Конденсаторы керамические типа КТ. Технические условия

ГОСТ 11553-80Е. Конденсаторы керамические проходные и опорные на напряжение до 750 В

ГОСТ 10069-70. Конденсаторы стеклоэмалевые типа КС

ГОСТ 23232-78Е. Конденсаторы металлобумажные малогабаритные ' типа МБМ. Технические условия

ГОСТ 5.887-77Е. Конденсаторы металлобумажные МБГЧ-1. Технические условия. Требования к качеству аттестованной продукции

ГОСТ 5629-75. Конденсаторы бумажные типа К41-1 на напряжения от 2,5 до 40 кВ

ГОСТ 6118-78. Конденсаторы бумажные герметичные типа КБГ. Технические условия

ГОСТ 6760-76. Конденсаторы бумажные проходные типа КБП. Технические условия

ГОСТ 7112-74. Конденсаторы металлобумажные МБГ

ГОСТ 9687-73. Конденсаторы бумажные видов БМ-2 и БМТ-2

ГОСТ 5477-70. Конденсаторы бумажные К40-14. Требования к качеству аттестованной продукции

ГОСТ 10783-79. Конденсаторы пленочные полистирольные ПО, ПОВ, ПМ

ГОСТ 5.1400-72. Конденсаторы металлопленочные К73-5. Требования к качеству аттестованной продукции

ГОСТ 5.1708-72 Конденсаторы пленочные малогабаритные ПМ-2. Требования к качеству аттестованной продукции

ГОСТ 5.1967-73. Конденсаторы комбинированные К75-11. Требования к качеству аттестованной продукции

ГОСТ 19764-74. Конденсаторы переменной емкости с воздушным диэлектриком. Общие технические условия

ГОСТ 19763-74. Конденсаторы переменной емкости с пленочным диэлектриком. Общие технические условия

ГОСТ 5.231-69. Конденсаторы электролитические К50-13. Требования к качеству аттестованной продукции