



1.7. КОНДЕНСАТОРЫ В ИП

Конденсаторы играют большую роль в обеспечении работы источника электропитания. Основными электрическими параметрами, по которым выбираются конденсаторы для ИЭП, являются номинальное напряжение, полное сопротивление в заданном диапазоне частот, номинальная емкость и ее отклонения в условиях эксплуатации, тангенс угла потерь. К конденсаторам предъявляются требования наибольшей емкости и реактивной мощности при минимальном объеме, заданном рабочем напряжении и работе в широком диапазоне частот. Перечисленные требования являются противоречивыми. Так, увеличение емкости, реактивной мощности и рабочего напряжения влечет за собой увеличение объема, что приводит к росту собственной индуктивности конденсатора и, следовательно, к ограничению частотного диапазона.

Конденсатор - пассивный электронный компонент с постоянным или переменным значением ёмкости и малой проводимостью (утечкой); образуемой двумя или большим числом электродов (обкладок), разделенных диэлектриком (специальной тонкой бумагой, слюдой, керамикой и т. д.), устройство для накопления заряда и энергии электрического поля. В России для условных графических обозначений конденсаторов на схемах рекомендуется использовать ГОСТ 2.728-74 либо стандарт международной ассоциации IEC 315—1975 (табл. 1.7.1).

Ёмкость конденсатора зависит от размеров (площади) обкладок, расстояния между ними и свойств диэлектрика. Основные параметры: емкость, номинальное напряжение, полярность, саморазряд, Температурный коэф. емкости (ТКЕ), эквивалентное последовательное сопротивление, ЭП индуктивность, диэлектрическая абсорбция.

Многие керамические материалы, используемые в качестве диэлектрика в конденсаторах (например, титанат бария, обладающий очень высокой диэлектрической проницаемостью в не слишком сильных электрических полях) проявляют пьезоэффект — способность генерировать напряжение на обкладках при механических деформациях.

Резонансная частота конденсатора $f_p = 1/2\pi\sqrt{LC}$. При $f > f_p$ конденсатор в цепи переменного тока ведёт себя как катушка индуктивности. Следовательно, конденсатор целесообразно использовать лишь на частотах ниже, на которых его сопротивление носит



ёмкостный характер. Обычно максимальная рабочая частота конденсатора примерно в 2—3 раза ниже резонансной.

Конденсатор может накапливать электрическую энергию. Энергия заряженного конденсатора:

$$W = CU^2/2 = q^2/2C,$$

где U — напряжение (разность потенциалов), до которого заряжен конденсатор,

q — электрический заряд на одной из обкладок.

Таблица 1.7.1.
Обозначение конденсаторов по ГОСТ 2.728-74

Обозначение по ГОСТ 2.728-74	Описание
	Конденсатор постоянной ёмкости
	Поляризованный (полярный) конденсатор
	Подстроечный конденсатор переменной ёмкости
	Варикап
	Проходной конденсатор
	Опорный конденсатор

Лучшими удельными характеристиками обладают электролитические конденсаторы. Однако по частотным свойствам они уступают керамическим. Максимальные значения постоянного, переменного и импульсного напряжений керамического конденсатора не должны превышать значения, определяемого его допустимой реактивной мощностью. Предельная рабочая частота переменного напряжения ограничивается частотой конденсатора, при которой наступает резонанс. Индуктивность керамических конденсаторов весьма мала. Она состоит из индуктивности корпуса и выводов, причем в большинстве случаев индуктивность выводов



является определяющей. Поэтому предельная рабочая частота конденсатора зависит от способа монтажа его в составе ИЭП.

В цепях управления ИЭП широко применяются конденсаторы с неорганическим диэлектриком (керамические). Среди них следует отметить конденсаторы типов К10-50 (10 В; 3,3 мкФ) и К10-49 (25 В; 0,47 мкФ). В цепях с повышенным напряжением используют конденсаторы типа К10-47 (500 В; 0,047 мкФ). Среди высоковольтных конденсаторов следует отметить конденсаторы К15-20, имеющие рабочее напряжение до 4 кВ.

Допустимые пульсации керамических конденсаторов определяются их предельной реактивной мощностью. При работе конденсатора в цепи переменного или пульсирующего напряжения его температура повышается из-за потерь энергии в диэлектрике, электродах и armature. Активная мощность определяется зависимостью:

$$P_a = U^2 2\pi f C t g \delta,$$

где $U^2 2\pi f C = P_c$ – реактивная мощность; U – переменное напряжение на конденсаторе, В; f – частота, Гц; C – номинальная емкость конденсатора, Ф; δ – угол потерь.

Реактивная мощность конденсаторов, определяемая их объемом и потерями в диэлектрике, относительно невелика и не превышает 2,5...3 вар. В то же время керамические конденсаторы допускают сравнительно высокие пульсации:

$$U_{\text{доп}} = \sqrt{P_{c\text{доп}} / (2\pi f C)}.$$

Здесь $P_{c\text{доп}}$ – допустимая реактивная мощность конденсатора, вар.

Эти пульсации существенно превышают допустимые для электролитических конденсаторов при прочих равных условиях.

С целью повышения надежности конденсаторов целесообразно ограничить рабочее напряжение на уровне 0,7 от максимально допустимого. Минимальную емкость C_ϕ , мкФ, конденсатора в сглаживающем фильтре можно оценить по формуле:

$$C_\phi = 2 \cdot 10^6 I_{\text{вп.ср}} / (f U_{\text{доп}}),$$



где f – частота переменного напряжения на конденсаторе, Гц;
 $I_{\text{вп.ср}}$ – выпрямленный средний ток, А.

Из выражения (1.7.2) с учетом (1.7.1) получим:

$$C_{\phi} = 2 \cdot 10^6 I_{\text{вп.ср}} \sqrt{2\pi f C} / (f \sqrt{P_{C_{\text{доп}}}}).$$

Если принять $C_{\phi} = C$, то выпрямленный ток будет определяться зависимостью:

$$I_{\text{вп.ср max}} = \sqrt{C f P_{C_{\text{доп}}} / (2 \cdot 10^6 \sqrt{2\pi})}.$$

При подстановке зависимости $I_{\text{вп.ср max}}$ в уравнение C_{ϕ} получим:

$$C_{\phi} = 2 \cdot 10^6 I_{\text{вп.ср max}} \sqrt{2\pi C / P_{C_{\text{доп}}} / \sqrt{f}}.$$

Числитель этого выражения является константой k для каждого конкретного типа конденсатора, т.е. $C_{\phi} = k / \sqrt{f}$.

На рис. 1.7.1 приведены зависимости минимальной требуемой удельной емкости фильтра $C_{\text{уд}}$ от частоты переменного напряжения для конденсаторов типа К10-47 [1]. На рисунке видно, что увеличение частоты свыше 200 кГц не приводит к существенному снижению необходимой удельной емкости. Поэтому в составе фильтра целесообразно применять конденсаторы совместно с дросселями, которые позволяют уменьшить требуемую емкость и, следовательно, получить лучшие частотные характеристики. Конденсаторы с большими емкостями рекомендуется использовать в первых звеньях сглаживающих фильтров. Последующие звенья могут иметь меньшие емкости, но лучшие частотные свойства. В нормативной документации обычно отсутствуют частотные характеристики конденсаторов, поэтому их частотные свойства оценивают экспериментально с помощью измерителей помех.

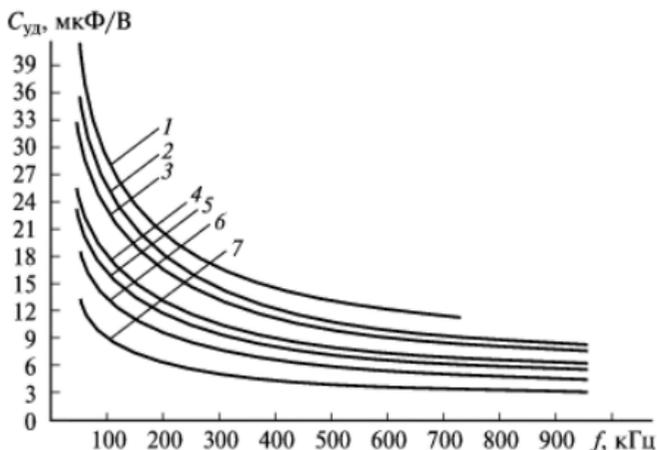


Рис. 1.7.1. Зависимость удельной емкости от частоты для конденсаторов К10-47:

1 – К10-47-Н90-25 В-6,8 мкФ, $P_C = 2$ вар; 2 – К10-47-Н90-25В-4,7 мкФ,

$P_C = 3$ вар; 3 – К10-47-Н90-25 В-6,8 мкФ, $P_C = 3$ вар; 4 – К10-47-Н90-

25 В-3,3 мкФ, $P_C = 2$ вар; 5 – К10-47-Н90-50 В-2,2 мкФ, $P_C = 3$ вар; 6 – К10-47-Н30-25 В-2,2 мкФ, $P_C = 3$ вар; 7 – К10-47-Н30-50 В-0,68 мкФ, $P_C = 2$ вар

В источниках электропитания импульсного действия с частотой преобразования в диапазоне 20...100 кГц частота пульсации напряжения может достигать 100...200 кГц. При этих частотах необходимо учитывать активное и индуктивное сопротивления конденсаторов, поскольку кроме основной гармоники пульсации присутствуют также высокочастотные шумы в диапазоне частот до десятков мегагерц. Емкость C и индуктивность L_C конденсатора определяют его резонансную частоту:

$$f_{\text{рез}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_C C}}$$

При оценке частотных свойств керамических конденсаторов определенного типоразмера можно ориентироваться на резонансную частоту конденсатора с наибольшей емкостью. Все другие конденсаторы этого типоразмера с меньшими значениями емкости будут иметь более высокие резонансные частоты, которые хорошо



согласуются с зависимостью $f_{рез}$. На частотах, превышающих резонансную, реактивная составляющая полного сопротивления конденсатора приобретает индуктивный характер.

В табл. 1.7.2 приведены значения резонансной частоты для различных типов керамических конденсаторов. Из таблицы видно, что приведенные значения параметров изменяются в достаточно широких пределах.

Таблица 1.7.2.
Значения резонансной частоты некоторых керамических конденсаторов

Тип конденсатора	Емкость, пФ	Резонансная частота, МГц
КД-1; КД-2	1...270 680...6800	5000...150 200...30
К10-17а К10-50б К10-57б	2,2...2,2·10 ⁶ 2,2...3,3·10 ⁶ 1,5...1000	1000...10
КТ-1; КТ-2; КТ-3	1...1000 1100...33 000	3000...40 100...20
КВИ-1; КВИ-2; КВИ-3	1,5...4700	4000...40
КВП	10...4700	1300...25
КВТ	47...10 000	600...25

На рис. 1.7.2—1.7.4 изображены частотные характеристики некоторых керамических конденсаторов, определенные с помощью измерителей помех типов SMV-6 и SMV-8 [1]. Их рассмотрение показывает, что резонансные частоты конденсаторов больших емкостей имеют значения долей и единиц мегагерц. Эти частоты значительно ниже по сравнению с приведенными в табл. 1.7.1.

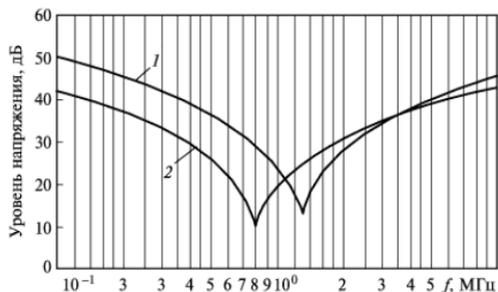


Рис. 1.7.2. Частотные характеристики конденсаторов
К10-50а- Н90-10 В:
1 – 1 мкФ; 2 – 2 мкФ

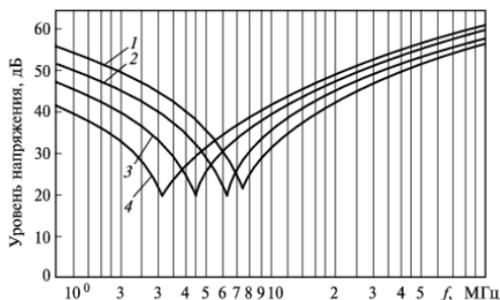


Рис. 1.7.3. Частотные характеристики конденсаторов
К10-47- Н30-100 В:
1 – 0,047 мкФ; 2 – 0,058 мкФ; 3 – 0,1 мкФ; 4 – 0,22 мкФ

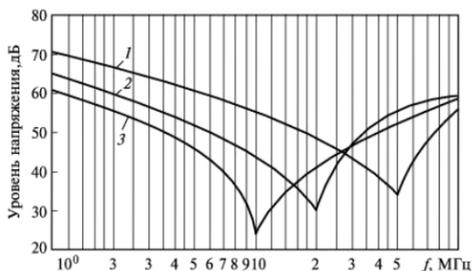


Рис. 1.7.4. Частотные характеристики конденсаторов
К10-47- Н30-500 В:
1 – 10000 пФ; 2 – 0,015 мкФ; 3 – 0,022 мкФ



Во входных цепях ИЭП широко применяются конденсаторы типа К73-43. На рис. 1.7.5 приведены варианты их схемного и конструктивного исполнений. Емкость C_1 служит для снижения симметричных помех, емкости C_2 и C_3 предназначены для снижения несимметричных помех. Конденсаторы рассчитаны на рабочее напряжение до 250 В.

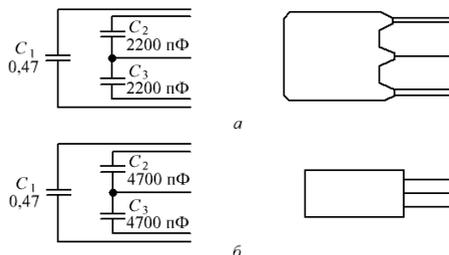


Рис. 1.7.5. Исполнения конденсаторов типа К73-43 в плоском(а) и круглом (б) корпусах

В составе умножителей напряжения используются конденсаторы полиэтилентерефталаты с фольговыми обкладками типа К73-13. Они предназначены для работы в цепях постоянного, переменного и пульсирующего токов. Электрические схемы конденсаторов приведены на рис. 1.7.6. Основные параметры конденсаторов К73-13 приведены в табл. 1.7.3.

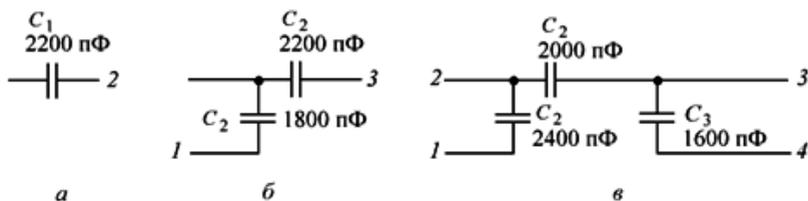


Рис. 1.7.6. Электрические схемы конденсаторов:
а – К73-13; б – К73-13-2; в – К73-13-3; 1,2,3,4 – выводы



Таблица 1.7.3.

Значения основных параметров конденсаторов типа К73-13

Вариант исполнения	Напряжение (номинальное), кВ	Номинальная емкость, пФ	Допустимое отклонение емкости, %
К73-13	10	2200	±10
	12,5		±20
	20		±10
К73-13-2	10	$C_1 = 1800$	±20
		$C_2 = 2200$	
К73-13-3	10	$C_1 = 2400$	
		$C_2 = 2000$	
		$C_3 = 1600$	

Для работы в цепях постоянного и переменного токов и в импульсных режимах используются керамические проходные трубчатые неизолированные конденсаторы типа К10-51 (таблица 1.7.4). Они рассчитаны на работу в диапазоне температур от –60 до +125 °С (группы Н70 и Н90) и в интервале диапазона от – 60 до +155 °С (остальные группы).

Климатические исполнения В и УХЛ допускают работу в условиях повышенной влажности без дополнительной защиты. Ниже приведены значения основных параметров конденсаторов типа К10-51:

Таблица 1.7.4.

Значения основных параметров конденсаторов типа К10-51

Параметр	Значение
Номинальная емкость, пФ.....	3,9...4700
Номинальное напряжение, В.....	350
Номинальный ток, А.....	10
Допускаемая реактивная мощность для различных групп по температурной стабильности, В·А:	
МПО, М47, М750, М1500.....	50
Н30, Н70, Н90.....	2,5



Конденсаторы можно классифицировать по:

- емкости: постоянной – переменной и подстроечные;
- виду диэлектрика: вакуумные, воздушные, слюдяные, керамические, электролитические, полупроводниковые, бумажные и др.;
- конструкции: для навесного монтажа, проходные, опорные, SMD.

На высоких частотах применяют керамические проходные конденсаторы, в которых роль одной из обкладок играет сам центральный проводник, а другой — слой металлизации, нанесенный на керамическую трубку. Эти особенности конструкции отражает и условное графическое обозначение проходного конденсатора.

Важным свойством конденсатора является то, что для переменного тока он представляет собой сопротивление, величина которого уменьшается с ростом частоты.

Основные единицы измерения ёмкости конденсаторов это: Фарад, микроФарад, наноФарад, пикоФарад, обозначения на конденсаторах, для которых выглядят соответственно, как: Ф, мкФ, нФ, пФ.

Как и резисторы, конденсаторы разделяют на конденсаторы постоянной емкости, конденсаторы переменной емкости (КПЕ), подстроечные и саморегулирующиеся (таблица 1.7.4). Согласно ГОСТ 2.702—75 номинальную емкость от 0 до 9 999 пФ указывают на схемах в пикофарадах без обозначения единицы измерения, от 10 000 пФ до 9 999 мкФ — в микрофарадах с обозначением единицы измерения буквами мк.

Потери в конденсаторах, определяемые в основном потерями в диэлектрике, возрастают при повышении температуры, влажности и частоты. Наименьшими потерями обладают конденсаторы с диэлектриком из высокочастотной керамики, со слюдяными и пленочными диэлектриками, наибольшими — конденсаторы с бумажным диэлектриком и из сегнетокерамики.

Это обстоятельство необходимо учитывать при замене конденсаторов в радиоаппаратуре. Изменение емкости конденсатора под воздействием окружающей среды (в основном, ее температуры) происходит из-за изменения размеров обкладок, зазоров между ними и свойств диэлектрика.



В зависимости от конструкции и примененного диэлектрика конденсаторы характеризуются различным температурным коэффициентом емкости (ТКЕ), который показывает относительное изменение емкости при изменении температуры на один градус; ТКЕ может быть положительным и отрицательным. По значению и знаку этого параметра конденсаторы разделяются на группы, которым присвоены соответствующие буквенные обозначения и цвет окраски корпуса.

Для сохранения настройки колебательных контуров при работе в широком интервале температур часто используют последовательное и параллельное соединение конденсаторов, у которых ТКЕ имеют разные знаки. Благодаря этому при изменении температуры частота настройки такого термокомпенсированного контура остается практически неизменной.

Как и любые проводники, конденсаторы обладают некоторой индуктивностью. Она тем больше, чем длиннее и тоньше выводы конденсатора, чем больше размеры его обкладок и внутренних соединительных проводников.

Наибольшей индуктивностью обладают бумажные конденсаторы, у которых обкладки выполнены в виде длинных лент из фольги, свернутых вместе с диэлектриком в рулон круглой или иной формы. Такие конденсаторы плохо работают на частотах выше нескольких мегагерц.

Поэтому на практике для обеспечения работы блокировочного конденсатора в широком диапазоне частот параллельно бумажному подключают керамический или слюдяной конденсатор небольшой емкости.

Однако существуют бумажные конденсаторы и с малой собственной индуктивностью. В них полосы фольги соединены с выводами не в одном, а во многих местах. Достигается это либо полосками фольги, вкладываемыми в рулон при намотке, либо смещением полос (обкладок) к противоположным концам рулона и их пропайкой.

Проходные и опорные конденсаторы применяются для защиты от помех, которые могут проникнуть в прибор через цепи питания и наоборот. На высоких частотах применяют керамические проходные конденсаторы, в которых роль одной из обкладок играет сам центральный проводник, а другой — слой металлизации, нанесенный на керамическую трубку. С той же целью, что и проходные, применяют опорные конденсаторы, представляющие со-



бой своего рода монтажные стойки, устанавливаемые на металлическом шасси.

С появлением на рынке недорогих ионисторов их стали применять для снижения пускового тока на аккумуляторы в момент подключения нагрузки. Различают три вида ионисторов:

- двойнослойные или ДСК.
- псевдоконденсаторы.
- гибридные конденсаторы.

В первом случае система состоит из двух пористых электродов, разделенных заполненным электролитом сепаратором. Запас энергии идет за счет разделения заряда на электродах с очень большой разностью потенциалов. Во втором — система включает два твердых электрода и базируется на двух механизмах сохранения энергии. Это фарадеевские процессы и электростатическое взаимодействие. Третий вариант — переходный между конденсаторами и аккумуляторами. Электроды здесь выполнены из разных материалов, а накопление заряда осуществляется благодаря разным механизмам. Главное достоинство ионисторов - невысокая себестоимость накопления энергии в расчете на 1 Фарад.