**Министерство образования Российской Федерации**

# Тамбовский Государственный Технический Университет

**Кафедра: КРЭМС**

##### Курсовой проект

Расчётно-пояснительная записка по

десциплине: “Устройства функциональной электроники и электрорадиоэлементы”

на тему: “Конструирование конденсаторов переменной ёмкости с механическим управлением”

**Тамбов 2007 г.**

**Содержание**

Введение

1. Общие свойства конденсаторов
2. Анализ задания

2.1 Переменные конденсаторы

2.2 Выбор направления проектирования

2.3 Обзор и анализ аналогичных конструкций

3. Расчёт прямоёмкостного конденсатора переменной ёмкости

3.1 Теоретические данные к расчёту

3.2 Определение исходных данных и численный расчёт

4. Стабильность конденсатора

4.1 Температурная неустойчивость КПЕ

4.2 ТКЕ конденсатора переменной ёмкости с плоскими пластинами

4.3 Условие термокомпенсации

5. Производственные погрешности

5.1 Влияние погрешностей производства

5.2 Влияния способа крепления пластин

5.3 Компенсация производственного разброса характеристики С=f КПЕ



5.4 Методы обеспечения механической устойчивости

6. Конструкция конденсаторов переменной ёмкости

Заключение

Список используемой литературы

Приложение

**Введение**

Термином радиоэлектронная аппаратура (РЭА) называют устройства или совокупности устройств, в которых исполняют полупроводниковые, электронные, газоразрядные и им аналогичные приборы.

Непременными изделиями любого устройства являются элементы. Часть этих элементов является составной частью конструкции устройства и предназначается для различных механических соединений, передачи и направления движений – различные оси и валы, колёса и шестерни, подшипники, скобы, планки.

Другая часть элементов сочетает выполнение механических операций с электрическими. Это различные переключатели, реле, электродвигатели, штепсельные разъёмы и аналогичные им электрические элементы.

И, наконец, третья часть элементов, особенно многочисленная и характерная для РЭА, образует электрическую схему. Согласно ГОСТ 2.701-68 их называют элементами схемы. К ним относят резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, трансформаторы и различные полупроводниковые и электронные приборы. Такие элементы могут иметь достаточно сложное устройство, но не допускают разделения на части, имеющие самостоятельное функциональное назначение.

Наибольшее применение в РЭА находят резисторы, конденсаторы и некоторые моточные изделия. Их называют элементами (радиокомпонентами) общего применения. Можно указать, что на один усилительный прибор (например, трансформатор) в среднем приходится от 4 до 25 резисторов, от 2 до 15 конденсаторов и от 3 до 5 различных моточных изделий. Поэтому мировое производство резисторов и конденсаторов составляет миллиарды штук в год. В меньших количествах применяются конструктивно более сложные изделия – различные колебательные контуры и фильтры, называемые специальными элементами.

Элементы общего применения являются изделиями массового производства, поэтому они подверглись достаточно широкой нормализации и стандартизации.

Стандартами и нормами установлены технткоэкономические и качественные показатели, параметры и размеры. Такие элементы называют типовыми. Выбор типовых элементов производится по параметрам и характеристикам, которые описывают их свойства, как при нормальных условиях эксплуатации, так и при различных воздействиях (климатических, механических и др.).

Специальные элементы широкой нормализации и стандартизации не подверглись, а поэтому проектируются применительно к требованиям электрической схемы и конструкции конкретного устройства и условиями его эксплуатации.

Основными электрическими параметрами являются номинальное значение величины, характерной для данного элемента (сопротивление резисторов, ёмкость конденсаторов, индуктивность катушек и т.д.) и пределы допускаемых отклонений; параметры характеризующие электрическую прочность и способность долго выдерживать электрическую нагрузку; параметры характеризующие потери, стабильность и надёжность.

**1.** **Общие свойства конденсаторов**

Конденсаторы применяемы в РЭА, можно разделить на конденсаторы постоянной ёмкости, переменной ёмкости и подстроечные конденсаторы.

Конденсаторы постоянной ёмкости применяют в различных фильтрах, а также в колебательных контурах для получения фиксированной настройки, сопряжения, термокомпенсации и т. п.

Конденсаторы постоянной ёмкости, так же как и резисторы, являются особенно широко применяемыми элементами схемы, к которым предъявляются чрезвычайно разнообразные требования. Поэтому существует большое количество типов конденсаторов, значительная часть которых стандартизована (типовые конденсаторы) и налажено их массовое производство.

Выбор нужного типа производится на основании электрических характеристик.

Конденсаторы переменной ёмкости (КПЕ) применяются для плавной настройки колебательных контуров, регулировки различных связей и т. п. Конденсаторы переменной ёмкости ещё не подверглись полной стандартизации, и их разрабатывают применительно к схемам и требованиям конкретного задания.

Подстроечные конденсаторы применяют в тех цепях, ёмкость которых должна точно устанавливаться при разовой или периодической регулировке и не изменяться в процессе эксплуатации, например для выравнивания начальных ёмкостей сопряженных контуров, для настройки контуров с фиксированной настройкой, в качестве конденсаторов связи и т. п. Некоторые типы подстроечных конденсаторов стандартизованы и производятся в установленном порядке.

В зависимости от вида применяемого диэлектрика различают конденсаторы с газообразным, жидким и твёрдым диэлектриком. Отдельную группу составляют конденсаторы с оксидным диэлектриком (электролитические).

Конденсаторы с газообразным диэлектриком могут быть: вакуумными, газонаполненными и воздушными. Конденсаторы с твёрдым диэлектриком подразделяются на конденсаторы с органическим диэлектриком – бумажные, металлобумажные и плёночные (из органических синтетических плёнок) и на конденсаторы с неорганическим диэлектриком – керамические, слюдяные, стеклянные, стеклокерамические, стеклоэмалевые и т. п. Конденсаторы с жидким диэлектриком, а также вакуумные и газонаполненные в относительно маломощной РЭА имеют ограниченное применение.

Конденсаторы постоянной ёмкости обычно выполняются в твёрдом диэлектрике из конденсаторной керамики, слюды, бумаги, синтетических плёнок, конденсаторы переменной ёмкости – с воздушным диэлектриком.

Свойства конденсаторов характеризуются следующими основными параметрами: номинальной ёмкостью и допустимыми отклонениями от фактической ёмкости от номинальной; электрической прочностью; реактивной мощностью; сопротивлением изоляции; потерями; собственной индуктивностью и параметрами, характеризующими надёжность и стабильность ёмкости при воздействии температуры, влажности и других климатических и механических факторов, при длительном хранении, а также размером, массой и стоимостью. Конденсаторы переменной ёмкости характеризуют рядом дополнительных параметров, которые будут рассмотрены ниже.

Номинальная ёмкость типовых конденсаторов постоянной ёмкости (кроме электролитических, бумажных и плёночных) установлена ГОСТ 2519-67. Численные значения номинальных ёмкостей определяются рядами предпочтительных чисел Е6, Е12 и Е24 для допускаемых отклонений 5, 10 и 20% и более и рядами Е48, Е96 и Е192 для допускаемых отклонений меньше 5 %. Ёмкость электролитических конденсаторов (в мкФ) определяется рядом 1, 2, 5, 10, 20, и т. д.; ёмкость бумажных (в мкФ) – рядом 0,1, 0,25, 0,5, 1,2, 4,6, 8, 10, 20, 40 и т. д.



Для конденсаторов переменной ёмкости и подстроечных номинальной ёмкости не установлены.

Допускаемые отклонения фактической ёмкости от номинальной для конденсаторов постоянной ёмкости установлен ГОСТ 9661-73. Наиболее употребительными являются конденсаторы с допускаемым отклонением 5, 10, 20%. Для прецизионных установлены меньшие пределы (от 0,1%), для конденсаторов, к точности которых не предъявляется строгих требований, например для электролитических, до %.



Для оценки размеров различных конденсаторов их ёмкость относят к единице объёма и называют это отношение удельной ёмкостью (мкФ/кл3). Наибольшей удельной ёмкостью обладают электролитические конденсаторы, а наименьшей воздушные.

Электрическая прочность конденсаторов характеризуется:

a) нормальным (идеально допускаемым) напряжением – максимальным напряжением, при котором конденсатор может работать в заданном диапазоне температур в течении гарантированного срока службы. Шкала номинальных напряжений установлена ГОСТ 9665-68;

б) исключительным напряжением – максимальным напряжением, при котором конденсатор может, находиться не пробиваясь, небольшой промежуток времени. Это напряжение характеризует электрическую прочность конденсатора при кратковременных перегрузках;

в) пробивным напряжением – минимальным напряжением, при котором происходит пробой диэлектрика. Конденсаторы для очень высоких напряжений – десятки киловольт характеризуется ещё разрядным напряжением по поверхности.

Соотношение между этими напряжениями определяется видом диэлектрика.

Электрическая прочность зависит от конструкции конденсатора и внешних условий; при повышении температуры, влажности и понижении атмосферного давления (до определённого предела) она уменьшается. Поэтому допускаемое (рабочее) напряжение должно быть ниже номинального.

Реактивная мощность – характеризует нагрузочную способность конденсатора в случаях, когда при наличии на конденсаторе больших напряжений высокой частоты, например больше 1000 В. может произойти перегрев диэлектрика и разрушение конденсатора.

Сопротивление изоляции между обкладками конденсатора и между обкладками и корпусом определяется качеством применяемого диэлектрика. При низком сопротивлении изоляции появляются значительные токи утечки, которые могут нарушить работу определённых участков схемы. Совершенно недопустимо применение конденсаторов с утечкой в качестве переходных.

Сопротивление изоляции зависит от температуры и влажности; при повышении температуры и влажности она резко падает.

Потери в маломощных конденсаторах в основном вызывается замедленной поляризацией и проводимостью диэлектрика; потери в обкладках и выводах таких конденсаторов достаточно малы, и ими обычно пренебрегают.

Конденсаторы с потерями понижают добротность колебательных контуров и создают дополнительные фазовые сдвиги в электрических цепях, влияют на величину ёмкости и на стабильность конденсатора.

Потери характеризуются тангенсом угла потерь tg ,называют добротностью конденсатора: Qc=.



На величину потерь значительное влияние оказывают влажность и температура. При повышении частоты, температуры, влажности потери возрастают.

Современные конденсаторы характеризуются очень малым tg: tg.



Абсорбция – явление, при котором после короткого замыкания конденсатора (кратковременного) напряжения на нём спадает до нуля, но после размыкания может восстановиться до некоторого значения. Этот процесс оценивают коэффициентом абсорбции ka, представляющим собой отношение восстановившегося напряжения к первоначальному.

Собственная индуктивность слагается из индуктивности самого конденсатора (рабочего элемента) и индуктивности внешних и внутренних соединительных проводников. Индуктивность самого конденсатора зависит от размеров рабочего элемента, его расположение относительно корпуса и способа соединения выводов с обкладками. Чем меньше размеры конденсатора, чем короче и толще выводы и внутренние соединительные проводники, тем меньше собственная индуктивность.

Стабильность конденсатора характеризуется изменением его собственных основных параметров, главным образом под воздействием температуры, влажности, атмосферного давления, механических усилий, времени и т. п.

Обозначение и маркировка типов конденсаторов установлено ГОСТ 13453-68 и состоит из букв и цифр. Первые буквы означают:

К – конденсатор постоянной ёмкости,

КП – конденсатор переменной ёмкости,

КТ – конденсаторы подстроечные.

Число, следующее за буквенным обозначением, указывает на вид диэлектрика.

Например, для постоянных: 10 – керамические, 20 – стеклянные, 30 – слюдяные малой мощности, 40 – бумажные и т. д.; для переменных: 2 – воздушные, 4 – с твёрдым диэлектриком (так же для подстроечных). Затем следует число (после тире), указывающие на порядковый номер разработки.

**2. Анализ задания**

**2.1 Переменные конденсаторы (конденсаторы переменной ёмкости)**

Конденсаторы переменной ёмкости состоят из двух систем параллельных пластин, одна из которых может плавно перемещаться, и пластины при этом заходят в зазоры между пластинами второй системы: это изменяет активную площадь, а, следовательно, и ёмкость конденсатора. Неподвижную систему называют статором, а подвижную – ротором.

Наибольшее распространение получили конденсаторы с плоскопараллельными пластинами и вращательным перемещением ротора. Конденсаторы с поступательным перемещением ротора имеют большие размеры, сложнее в производстве и не получили широкого применения.

В зависимости от применяемого диэлектрика конденсаторы переменной ёмкости можно разделить на конденсаторы с воздушным и твёрдым диэлектриком.

Наиболее часто применяют конденсаторы с воздушным диэлектриком, так как они отличаются большей точностью установки ёмкости, малыми потерями и высокой стабильностью. Конденсаторы с твёрдым диэлектриком несколько проще в изготовлении, имеют меньшие размеры, но обладают сравнительно низкой точностью и стабильностью, а поэтому применяются в основном в качестве регулировочных в низкочастотных контурах и в радио тракте малогабаритных транзисторных приёмниках. Газонаполненные и вакуумные конденсаторы и конденсаторы с жидкостным диэлектриком отличаются сложностью конструкции, поэтому имеют очень ограниченное применение, преимущественно мощном радио строении.

В зависимости от угла поворота подвижной системы различают конденсаторы с нормальным угловым диапазоном, при котором полный угол поворота равен 1800, с расширенным угловым диапазоном – полный угол поворота ротора больше 1800 и с уменьшенным угловым диапазоном, например равным 900. Конденсаторы с расширенным угловым диапазоном наиболее часто применяются в контурах УКВ.

Основное применение КПЕ находят в качестве элемента настройки диапазонных колебательных контуров. Поэтому важной его характеристикой является закон изменения ёмкости – функциональная характеристика, которая определяет характер изменения частоты колебательного контура при настройке. По этим признакам КПЕ различают, на прямоёмкостные (линейные), прямоволновые (квадратичные), прямочастотные, логарифмические (среднелинейные) и специальные.

При настройке с помощью КПЕ колебательных контуров пределы престройки (пределы перекрытия диапазона) в значительной мере зависит от величины максимальной и минимальной ёмкости конденсатора.

Максимальная ёмкость конденсатора определяется диапазоном, а минимальная – паразитными ёмкостями, которые зависят от конструкции.

Широкое применение находят блоки конденсаторов переменной ёмкости, которые состоят из нескольких конденсаторных секций, посажённых на общую ось. При большом числе секций уменьшается механическая жёсткость блока, увеличиваются его размеры, и понижается стабильность из-за возможных прогибов и скручивания длинной оси.

Секции блока КПЕ в основном делают одинаковыми. В отдельных случаях применяют блоки КПЕ с разнотипными секциями.

**2.2 Выбор направления проектирования на основе данного задания**

В задании нужно рассчитать и сконструировать односекционный конденсатор переменной ёмкости для нормальных условий эксплуатации. Даны пределы изменения ёмкости. Тип конденсатора прямоёмкостный. Рабочее напряжение Uраб=500 В.

В первую очередь определимся с условиями эксплуатации прибора. Из задания видно, что конденсатор работает в нормальных условиях.

Нормальными условиями эксплуатации принято считать условия, при котором температура окружающего воздуха составляет +15+250С, влажность 45-70% и атмосферное давление Па (650-800 мм рт. ст.), отсутствуют агрессивные газы, испарения соли и механические воздействия, а также радиационные воздействия. Из всего этого следует вывод, что строгих требований по защите от температуры, давления, радиации, механических воздействий, по герметизации конденсатора, не сложно, а значит, упрощается конструкция.



Конденсатор односекционный, следовательно, у него имеется один ротор и один статор. Тип конденсатора прямоёмкостный. Такие конденсаторы характеризуются функциональной линейной характеристикой при повороте подвижной системы на угол : С=а+в.



При этом плотность настройки, получается, по диапазону не равномерно; при малых ёмкостях она велика, а при больших – мала. Такие конденсаторы применяют часто в качестве регулировочных, подстроечных и для настройки контуров при малом коэффициенте перекрытия диапазона. В этом случае шкала по частоте получается практически линейной. На рисунке 2.1 приведены графики изменения ёмкостей и частоты контура с прямоёмкостным конденсатором.

Прямоёмкосный конденсатор имеет простейшую форму пластин – полукруглую. При этом можно получить удовлетворительную линейную зависимость ёмкости от угла поворота (рисунок 2.2).

Напряжение, на котором работает конденсатор, даёт возможность варьировать зазор между пластинами, т. к. при данном напряжении вероятность пробоя воздуха (как диэлектрика) очень низка.

С, пФ f, кГц

1300

500 1200

1100

400 1000

900

300 800

700

200 600

500

400

100 300

200

0 20 40 60 80 0 20 40 60 80



рис 2.1 рис 2.2

Все вышеприведённые факторы обличают процесс конструирования, и есть возможность заранее спрогнозировать основные элементы конструкции.

**2.3 Обзор и анализ аналогичных конструкций**

Кроме рассмотренных прямоёмкостных конденсаторов есть ещё множество других, отличающихся по своим характеристикам друг от друга приборов.

Само различие конденсаторов может заключаться в методе изменения ёмкости. Наиболее целесообразным в настоящий момент остаётся метод управления ёмкостью через геометрические параметры, определяющие взаимодействующую поверхность электродов конденсатора.

Управление ёмкостью через изменение проницаемости трудно и к тому же чревато изменением других важных параметров конденсатора. Остальные способы, так или иначе, связаны с напряженностью поля конденсатора, что влияет на электрическую прочность.

Сохранить постоянство расстояний между поверхностями электродов конденсатора, изменяя его ёмкость при помощи того или иного перемещения электродов, приводящего лишь к изменению взаимодействующей поверхности их, можно лишь при наличии таких, цилиндрических или сферических конденсаторов (при неполных сферах).

Конденсаторы с плоскими пластинами и вращательным перемещением одних пластин относительно других:

- прямоёмкостные (см. выше).

- прямоволновые – дают линейное изменение длины волны контура. Ёмкость конденсатора при этом должна изменяться не линейно: . Такие конденсаторы имеют ограниченное применение: преимущественно в некоторых измерительных приборах.



* прямочастотные конденсаторы дают линейную зависимость частоты контура от угла поворота ротора, что обеспечивает постоянную
* плотность настройки по диапазону. Функциональная характеристика ёмкости при этом имеет вид: , т. е. ёмкость должна убывать при увеличении угла поворота. Более привычны прямочастотные конденсаторы с так называемым “обратным вращением”, у которых при увеличении угла поворота ёмкость возрастает, а частота контура убывает: . Прямочастотные конденсаторы имеют широкое применение в РЭА.



* логарифмические конденсаторы характеризуется постоянным, в пределах диапазона, относительным изменением ёмкости или частоты. В первом случае конденсаторы называют ёмкостно-логарифмическими - , а во втором частотно-логарифмическими -. По характеру изменения частоты логарифмические конденсаторы приближаются к прямочастотным, но обеспечивают одинаковую точность отсчёта по всему диапазону, поэтому широкое применение в различной РЭА.



Другие виды конденсаторов имеют ограниченное применение, поэтому мы их не рассматриваем.

В приведённых формулах а и b – постоянные, неодинаковые для разных типов конденсаторов. (Определяются по начальным условиям, т. е. при ). Графики изменения ёмкости и частоты контура с различными конденсаторами приведены на рисунке 2.3.



С, пФ f, кГц

1300

500 1200

1 1100

400 1000

2 3 900 4 3

300 800 2

700

200 600 1

500

4 400

100 300

200

0 20 40 60 80 0 20 40 60 80



рис 2.3

Требуемая функциональная характеристика может быть получена приданием специального очертания роторным пластинам или при помощи выреза на статоре, а также всевозможных изломов контурах пластин, ступенчатых радиусов, подключением дополнительной ёмкости и т. д. На рисунке 2.4 изображены очертания пластин различных конденсаторов. Из них следует, что роторные пластины прямочастотных КПЕ имеют чрезвычайно вытянутую форму. Это понижает механическую жёсткость ротора и увеличивает объём конденсатора. Для устранения этого форму пластин изменяют, получая её очертания при помощи 2-х и 3-х сопрягаемых поверхностей (окружностей различного радиуса); площадь такой упрощённой пластины выбирается равной площади пластины правильной формы (очертание показано пунктиром).

Удовлетворительную линейную зависимость частоты от угла поворота можно получить и при полукруглом роторе, сместив центр его вращения относительно центра пластины. В этих случаях линейность изменения частоты несколько нарушается, но общая погрешность не превышает 6-8%.

При малых коэффициентах перекрытия диапазона форма роторных пластин КПЕ всех типов приближается к полукруглой.

Более жесткой конструкцией обладают конденсаторы с полукруглым ротором и специальным статором. Статор при этом снабжается вырезом с переменным радиусом, форма которого определяет требуемый закон изменения ёмкости.

а) б) в) г) д)

рис.2.4.

Конденсаторы с плоскими пластинами и поступательным перемещением: вращательное перемещение заменяется на поступательное перемещение с предельной длинной L. КПЕ с плоскими пластинами и поступательным перемещением не находят широкого применения. Возможны две конструкции КПЕ с цилиндрическими пластинами: 1) с поступательным перемещением одного цилиндра относительно другого; 2) с вращательным перемещением одного цилиндра вокруг другого. Способы изменения ёмкости при поступательном перемещении изображены на рисунке 2.5.

а) б) в)

Рис 2.5

**3. Расчет прямоёмкостного конденсатора переменной ёмкости**

**3.1 Теоретические данные к расчёту**

Задачей расчета конденсатора переменной ёмкости является определение конфигурации роторных и статорных пластин, их количества и величины зазора. При этом считаются заданными минимальная и максимальная ёмкости контура, функциональная характеристика, а также требования к точности, стабильности и условиям работы конденсатора.

Рассмотрим расчет при первом способе получения необходимого закона ёмкости, то есть, определим, как должен изменяться радиус ротора для получения необходимой функциональной характеристики. Примем, что угловой диапазон перемещения ротора равен 1800.

На рисунке 3.1. изображены пластины конденсатора, ротор которого введён на угол . Давая углу малое приращение , получим соответствующее приращение ёмкостной площади , равное площади заштрихованного сектора: . С другой стороны имеем: . Сравнивая эти два выражения, получим:



(1), где n – общее число пластин (ротора и статора); d – зазор между пластинами ротора и статора; - радиус выреза на статоре для пропуска оси.



Все линейные размеры в приведённых формулах выражены в сантиметрах, ёмкость – в пикофарадах, а углы – в градусах.

Полученное выражение (1) является исходным для расчёта очертания ротора конденсаторов любых типов, так как требует определения лишь значения отношения , что может быть выполнено как аналитически, так и графически.



R



Рис. 3.1

Прямоёмкостный конденсат имеет линейную функциональную зависимость (характеристику). Поэтому и , то есть его ротор будет иметь полукруглую форму.



Для расчёта можно принять, что: .



Дальнейший расчёт проводится по формуле (1). Форма роторов конденсаторов других типов отличается от полукруглой, поэтому расчёт их очертания производится для ряда значений угла , взятых через 10-200.



**3.2 Определение исходных данных и численный расчёт**

Для расчёта КПЕ необходимо предварительно определение минимальной и максимальной ёмкостей контура, числа пластин n, зазора d и радиуса выреза на статорных пластинах r0.

Сmin=40, Сmax=400



Общее число пластин выбирается на основании следующих соображений: при большом числе пластин длина конденсатора получается чрезмерной, при малом – возрастают размеры каждой пластины, что понижает их жёсткость. Рекомендуется число пластин выбирать так, чтобы длина конденсаторной секции примерно была равна среднему радиусу ротора.

Ориентировочно число пластин можно выбрать по таблице 3.1.

Таб. 3.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ck.max, пФ | до 750 | 350-500 | 200-300 | 100-150 | 50-60 | 40-50 | 25-35 | 15-20 | до 15 |
| N | до 33 | 15-25 | 9-11 | 7-13 | 7-23 | 7-14 | 5-11 | 3-7 | 3-5 |

Для Сmax=400 пФ выбираем число пластин n=20.

Величина зазора d выбирается исходя из размеров конденсатора, требуемой точности, необходимой стабильности и электрической прочности, а также производственно-технологических соображений. Чем больше зазор, тем выше электрическая прочность, стабильность, надёжность и прочность функциональной характеристики и тем легче производство конденсатора. Объём конденсатора примерно пропорционален квадрату величины зазора, поэтому при его увеличении – размеры конденсатора существенно возрастают.

Точное определение зазора по электрической прочности встречает рая трудностей, так как электрическая прочность воздуха зависит от атмосферного давления и других климатических факторов, а также от частоты, расстояния между пластинами, состояния их поверхности и т.д.

Для приближённого расчёта можно исходить из того, что при нормальном давлении допустимая напряжённость поля между пластинами составляет 650-750В/мм (для переменного напряжения высокой частоты).

Величина зазора может быть найдена из соотношения:.



При напряжениях меньше 200-250 В пробой через воздух не может произойти ни при каких условиях. В этом случае величину зазора следует выбирать, исходя из конструктивных соображений. В этом случае величину зазора следует выбирать, исходя из конструктивных соображений. В этом случае величину зазора следует выбирать, исходя из конструктивных соображений. В этом случае величину зазора следует выбирать, исходя из конструктивных соображений. В этом случае величину зазора следует выбирать, исходя из конструктивных соображений. В этом случае величину зазора следует выбирать, исходя из конструктивных соображений. В этом случае величину зазора следует выбирать, исходя из конструктивных соображений. В этом случае величину зазора следует выбирать, исходя из конструктивных соображений. В этом случае величину зазора следует выбирать, исходя из конструктивных соображений.

Uраб=500 В: мм. Округлим до 1 мм.



Радиус выреза на статорных пластинах r0 определяется диаметром оси и зазором между осью и кромками статорных пластин. Этот зазор часто в 2-3 раза больше зазора между пластинами. Его уменьшение повышает минимальную ёмкость конденсатора и отрицательно сказывается на стабильности. Обычно величина r0 составляет 5-10мм. Исходя из вышесказанного, определим r0=5мм.

По назначенным данным выполняем расчёт:

Сmin=40 пФ

Сmax=400 пФ

n=20

r0=5мм=0,5см.

d=1мм=0,1см.



Следовательно, пластины ротора имеют радиус 3,733 сантиметра.

Теперь нужно сконструировать остальные составляющие конструкции и стабильность конденсатора рассчитать исходя из выбранных материалов и конструктивных решений.

**4. Стабильность конденсатора**

Изменение ёмкости конденсатора может быть вызвано как воздействием климатических факторов, так и механических. Эти изменения несущественны для конденсаторов, работающих в качестве фильтрующих, блокировочных, а также применяемые в контурах, не задающих частоту и т.п., но они нежелательны, а в ряде случаев и вообще недопустимы для конденсаторов, используемых в контурах, задающих частоту различных генераторов и гетеродинов.

**4.1 Температурная неустойчивость КПЕ**

Изменения ёмкости под влиянием температуры в основном вызываются изменением линейных размеров пластин и зазоров и изменением диэлектрической проницаемости диэлектриков (в том числе и воздуха), находящихся в электрическом поле конденсатора. Значительные изменения ёмкости чаще всего бывают также из-за коробления различных элементов конструкции. Общий температурный коэффициент конденсатора определяется совместным действием всех перечисленных факторов.

Первым условием, обеспечивающим наибольшую температурную устойчивость конструкции, является отсутствие (или минимальная величина) в её элементах таких температурных напряжений, которые могли бы вызвать перемещение одних деталей по отношению к другим и привести к необратимым деформациям, создающим температурную неустойчивость нециклического (невозвратного) характера.

Вторым условием температурной устойчивости конструкции является координация тепловых деформаций, то есть создание в конструкции таких направлений тепловых перемещений, которые максимально сокращали бы величину изменения переменной ёмкости конденсатора.

Первое условие требует конструкции, в которой температурные деформации одних частей компенсировались температурными деформациями других частей и тем самым устраняли возникновение больших напряжений.

Выполнение второго условия зависит от характера связи частей конструкции конденсатора, образующих его переменную ёмкость. Чем меньше взаимосвязь отдельных элементов конструкции, тем меньше элементы конструкции зависят друг от друга при тепловом перемещении.

Если конденсатор изготовлен из материалов, обладающими одинаковыми коэффициентами линейного расширения и одинаковой теплопроводимостью, то на лицо соблюдение обоих условий. Однако добиться такого удаётся далеко не всегда, ибо чаще всего конструкция состоит из разнообразных материалов с различными свойствами.

**4.2 ТКЕ конденсатора переменной ёмкости с плоскими пластинами**

На рисунке 4.1 представлена схема плоского конденсатора, причём предлагается сделать пластины и втулки из материалов обладающих различными температурными коэффициентами линейного расширения (ТКЛР) и .



Полагая также, что конструкция выполнена таким образом, что при изменении температуры имеют место свободные температурные деформации.

Температурную неустойчивость ёмкости отражает следующая формула:

**.**



Первое слагаемое представляет ТКПА диэлектрика, т.е. , второе – температурный коэффициент расширения площади пластин, очевидно: , третья – есть функция размеров d, k, D и ТКЛР и .



Из рисунка 4.1 можно записать соотношения 2d + 2k =D, откуда . Проделав несложные математические преобразования, получим:



(2)



Если , то , то есть определяется только свойствами материала и среды . Если , то , т.е. ТКЕ переменного конденсатора, сделанного из однородного материала, будет равен ТКЛР этого материала.



**4.3 Устройство термокомпенсации в конструкции переменного конденсатора с плоскими пластинами**

Формула (2) показывает, что компенсация температурной неустойчивости конденсатора возможна; для этого необходимо лишь выбрать также соотношения k, d, , , , чтобы . Если пренебречь , а в воздушных конденсаторах оно мало, то, условие, термокомпенсации, самой, конструкции будет: , откуда или



(3).



Эту форму можно использовать как соотношение для выбора параметров по заданным параметрам.

Если левая часть выражения (3) меньше нуля, ТКЕ конденсатора будет отрицательным и , при положительном ТКЕ – наоборот.



Рассмотрим влияние разбросов конструктивных параметров на величину ТКЕ, предполагая, что расчёт параметров ведётся с учётом полной компенсации, т.е. при ТКЕ переменной ёмкости конденсатора, равен нулю.

Разброс параметров приведёт к невыполнению соотношения (3). Для обеспечения равенства в правую часть введём некоторый множитель (В+1). Тогда , В – характеризует результат отклонений всех величин, входящих в уравнение (3). После преобразования: .



(алюминий)



d=1мм h=2мм



**5. Производственные погрешности**

**5.1 Влияние погрешностей производства на разброс ёмкости конденсаторов**

Ёмкость конденсатора с плоскими пластинами зависит от погрешностей площади пластин и зазора. Погрешность площади пластин мала (все пластины делаются одним штампом). Наибольшее влияние на ёмкость оказывает погрешность зазора: .



Рассмотрим факторы, влияющие на погрешность зазора:

1. Погрешность толщины пластин или погрешность расстояния между ними.

На рисунке 4.1 видно, что погрешность в толщине пластин и в расстоянии между ними сопровождается изменение зазора d на величину . Погрешность ёмкости: .



Прямая пропорциональность между погрешностью зазора и погрешностью ёмкости при небольших зазорах требуется изготовление пластин с высокой точностью по толщине, обеспечения точного расстояния D между пластинами статора или ротора.



D



d h

Рис 4.1

2) Асимметрия зазора d появляются при сдвиге пластин статора относительно пластин ротора на величину .



Максимальный разброс ёмкости за счёт асимметрии всех зазоров определяется формулой:

.



При небольшой величине асимметрии:

: ; .



2) Перекос вызывающий не параллельность пластин ротора относительно пластин статора. Наихудших случай, когда наблюдается перекос всех пластин. Максимальный разброс ёмкостей определяется формулами: , при значении : , где - перемещение конца пластины от перпендикулярного направления.



.



4) Кривизна пластин, приводящая к неравномерности зазоров, вызывает большой разброс ёмкости, чем в п. 3, и меньший, чем в п. 2. Точного решения этот случай не имеет.

Наибольшая величина разброса переменной ёмкости конденсатора получается за счёт погрешности по толщине пластин и по расстоянию между ними. Следовательно, эти размеры требуют наиболее жёстких допусков. Разброс ёмкости может иметь как положительный, так и отрицательный знак. Остальные случаи, при относительно небольших величинах и , не оказывают значительного влияния на разброс ёмкости, который в этом случае имеет положительный знак. Иными словами эти факторы могут только увеличивать ёмкость конденсатора. Следовательно, для компенсации асимметрии допуск на толщину пластин лучше брать односторонним, отрицательным.



**5.2 Влияние способа крепления пластин на погрешность ёмкости**

Закреплением пластин непосредственно на втулках или гребёнках при помощи расчеканки, пайки или прессовкой (прессовой посадкой) достигается отсутствие суммирования допусков, так как расстояния до каждой из пластин определяются от общей базы (в отличие от набора на шайбах). Погрешность ёмкости из-за асимметрии зазоров не зависит от числа пластин, поэтому данная конструкция удобна для массового производства и широкого применения на практике.

В конструкциях конденсаторов, выпуск которых имеет наибольшую массовость, используется закрепление пластин на гребёнках на расчеканке, пазы которых, определяющие зазоры между пластинами, размечены от одной базы и делаются при помощи одних и тех же инструментов, что значительно уменьшает разброс между отдельными пакетами пластин.

**5.3 Компенсация производственного разброса характеристики КПЕ с плоскими пластинами**



Одним из широко распространённых способов компенсации является способ отгиба разрезных секторов пластин ротора и статора. Одну или две крайние пластины ротора разрезают на секторы. Недостатком такого метода является то, что при большом числе пластин и большом производительном разбросе ёмкости, компенсирование её может сказаться недостаточным.

Разброс может иметь как положительный так отрицательный знак; следовательно, необходима не только отгибка пластин ротора от пластин статора, но и подгибка её в сторону от пластин статора.

Можно показать, что при регулировке одной разрезной пластины регулировочная ёмкость будет: , двумя: .



Можно определить допускаемую величину относительной погрешности максимальной ёмкости конденсатора, которая может быть скомпенсирована отгибкой секторов одной или двух пластин ротора:

; .



Исходя из данных, полученных ранее, найдём: , при n=20.



**5.4 Методы обеспечения механической устойчивости**

Механическую устойчивость конденсаторов переменной ёмкости следует рассматривать с точки зрения виброустойчивости и устойчивости к ударам.

При действии вибрации и ударов в системе возникают инерционные силы, величина которых зависит от ускорения и массы конструктивных элементов.

Для повышения виброустойчивости можно рекомендовать следующее:

1) Применять материалы с большим отношением модуля упругости к удельному весу. С этой точки зрения выгодные такие материалы, как алюминий, дуралюминий и сталь.

2) Форму пластин ротора следует по возможности приближать к полукруглой.

С точки зрения устойчивости ёмкости конденсатора, связанной упругими деформациями пластин под влиянием ускорений, наивыгоднейшая толщина пластин равна удвоенному зазору: .



Общие соображения по механической устойчивости элементов конструкции могут быть сведены к следующим. Механическая устойчивость будет тем выше, чем: а) больше зазоры и толщина пластин; б) короче и толще ось ротора и меньше его масса; в) больше отношение модуля упругости применяемых материалов к удельному весу. Кроме того, консольное закрепление оси роторов и набора пластин статоров понижает механическую устойчивость, по сравнению с креплением на двух опорах, от 4 до 8 раз, в зависимости от характера крепления на опорах (свободное или жёсткое).

**6. Конструкция конденсаторов переменной ёмкости**

Конструкция КПЕ должна соответствовать назначению конденсатора и требованиям к стабильности, точности, потерям, виброустойчивости, размерам, технологическим и паразитных связей.

Основными элементами конструкции КПЕ, которые в значительной степени определяют свойства конденсатора, являются корпус, ротор и статор, подшипники и токосъёмное устройство.

По конструктивному выполнению корпуса, ротора и статора могут быть разделены на литые, фрезерованные и штампованные.

Литые конденсаторы изготовляют при помощи литья из алюминиевых или цинковых сплавов. Они отличаются высокой стабильностью, но не могут быть изготовлены большой ёмкости без значительного увеличения размеров. Особенно часто они используются в радиоаппаратуре УКВ.

Фрезерованные изготавливают фрезерованием из сплошного куска, чаще всего используют алюминий и его сплавы. Эти конденсаторы также отличаются высокой стабильностью, электрическими и механическими показателями, но более сложны в изготовлении, металлоёмки, а поэтому малопригодны для массового производства.

Штампованные конденсаторы наиболее удобны для массового производства, хотя по электрическим параметрам они уступают предыдущим типам. Они изготавливаются из штампованных деталей, соединённых при помощи пайки, отбортовки, задавливания или расчеканки.

Соединение статорных пластин в пакет осуществляется при помощи специальных полок или гребёнок, шлицы которых вставляются концы пластин; при сборке эти концы раздавливаются специальным инструментом. Закрепление роторных пластин осуществляется аналогичным способом или непосредственно на оси или специальной роторной втулке.

При применении стальных или латунных пластин раздавливание концов заменяется пайкой, что устраняет остаточные деформации и повышается стабильность.

Такой способ закрепления используют на весьма высоких частотах.

Пластины ротора и статора штампуют из листового алюминия, стали или латуни толщиной 0,3-0,8 мм, прокатанной с точностью до мкм. Отштампованные пластины для снятия внутренних напряжений подвергаются специальной рихтовке, и термической обработке. Корпус штампованного конденсатора изготавливают из листовой стали толщиной 1,5-2,0 мм, отдельные части которого соединяются расчеканкой или сваркой. Для повышения стабильности и механической прочности применяют литые корпуса из алюминиевых или цинковых сплавов.



Крепление статора на корпус производят при помощи изоляторов, имеющих вид планок или колонок изготовленных из механически прочной радиотехнической керамики типа В. Изоляторы из пластмассы и т. п. диэлектрики могут применяться только в конденсаторах пониженного качества.

Оси выполняют из стали, латуни и инвара и радиотехнической керамики типа В, ультрафарфора и стеарита. Для устранения прогибов и скручивания диаметр оси выбирают достаточно большим 5-10 мм.



Конфигурация металлической оси определяется способом крепления роторных пластин. Непосредственно на оси пластины крепятся с прорезанием на ней специальных пазов.

Подшипники должны обеспечивать плавное и лёгкое вращение ротора при отсутствии непроизвольных перемещений. Особенно недопустим продольный люфт, который сопровождается значительным изменением ёмкости при помощи контактных сцепок. Подшипники не должны допускать деформации оси и корпуса из-за теплового расширения.

Назначение токосъёмника – надёжное соединение конденсатора со схемой. Применяются типы токосъёмников: со скользящим контактом, с гибким соединением, бесконтактные (ёмкостные токосъёмы). Наиболее широко применение имеют токосъёмы со скользящим контактом.

Переходное сопротивление должно быть по возможности мало (<0,01 Ом) и не изменяться в процессе эксплуатации. Полное сопротивление токопроводящих деталей мало.

Пластины калибруют по толщине с точностью до 3-5 мкм; с такой же точностью выполняют размеры деталей, фиксирующих расстояние между ними (колонки, гребешки, шайбы).

; ;



**Конструкция прибора**

В качестве основы используются корпусные крышки, в которых имеются выемки под гребёнки статора. Это позволяет придать необходимую жёсткость и даёт экономию материалов. Пластины статора крепятся в трёх гребёнках расположенных через 900. Это позволяет максимально приблизить размеры пластин статора к размерам пластин ротора, а, следовательно, уменьшить габариты. Необходимую стабильность ротору обеспечивают два кинетических подшипника ограничивающие три степени свободы ротора. Токосъём осуществляется с одной из гребёнок и с кинетического подшипника. Собирается прибор с помощью шести стандартных винтов.

**Вывод**

Конструкция удовлетворяет предъявляемым требованиям, т. е. обеспечивает стабильностью и точностью работы при нормальных условиях. Конденсатор имеет экономическую и техническую конструкцию, что необходимо при массовом производстве. ТКЕ данного конденсатора не превышает . Максимальная ёмкость nФ.



**Список используемой литературы**

1. Волгов В.А. Детали и узлы радиоэлектронной аппаратуры. М.: Энергия, 2005.

2. Харинский А.Л. Основы конструирования элементов радиоаппаратуры. Л.: Энергия, 1996.

4. Фролов А.Д. Радиодетали и узлы. М.: Высшая школа, 1995.

5. Чекмарёв А.А., Осипов В.К. Справочник по машиностроительному черчению. М.: Высшая школа, 1999.

6. Азарх С.Х. Конденсаторы переменной ёмкости. М.: Энергия, 1995.