

Основы конструирования и технологии производства радиоэлектронных средств

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

*к выполнению лабораторной работы № 2
для студентов специальности 11.05.01
«Радиоэлектронные системы и комплексы»
очной формы обучения*

Часть 1

Воронеж 2022

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра радиоэлектронных устройств и систем

**Основы конструирования
и технологии производства
радиоэлектронных средств**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

*к выполнению лабораторной работы № 2
для студентов специальности 11.05.01
«Радиоэлектронные системы и комплексы»
очной формы обучения*

Часть 1

Воронеж 2022

УДК 721:53(073)
ББК 38.113я7-5

Составитель Ю. В. Худяков

Основы конструирования и технологии производства радиоэлектронных средств: методические указания к выполнению лабораторной работы № 2 для студентов специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» очной формы обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: Ю. В. Худяков. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2022. Ч.1.– 40 с.

В методических указаниях рассматриваются вопросы выбора элементов при проектировании устройства и представление выбранных элементов в перечне элементов к электрической схеме. Тематика лабораторной работы соответствует рабочей программе дисциплины «Основы конструирования и технологии производства радиоэлектронных средств».

Предназначены для студентов 3 курса специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» очной формы обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле ОКТПРЭС_УМД_ЛР2Ч1pdf.

Ил. 25. Табл. 18. Библиогр.: 9 назв.

**УДК 721:53(073)
ББК 38.113я7-5**

Рецензент – А. В. Останков, д-р техн. наук, профессор
кафедры радиотехники ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

ВВЕДЕНИЕ

Данные методические указания к выполнению лабораторных работ составлены в соответствии с программой курса «Основы конструирования и технологии производства радиоэлектронных средств» для специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы».

В указаниях рассматриваются основные этапы выбора элементной базы устройства и представления элементов в перечне к электрическим схемам.

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ

Целью лабораторной работы является:

- Выбор типа элемента;
- Представление выбранного компонента в перечне элементов к электрическим схемам.

2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Содержанием практической части работы является анализ работы каждого элемента или их однотипных групп в предложенной в лабораторной работе №1 электрической схеме. На основании этого анализа проводится определение и обоснование значений недостающих параметров элементов. Приводится описание логических шагов при обосновании выбора элементов. Представление габаритных и присоединительных размеров выбранных элементов вместе с рекомендованными или рассчитанными размерами контактных площадок.

3. ОБЩИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

В современных электронных устройствах различного назначения в основном используются компоненты, предназначенные для поверхностного монтажа (SMD). Причем не только в малогабаритных изделиях, где их применение диктуется суровой необходимостью, но и в таких устройствах, где место экономить не требуется.

Преимущества использования SMD элементов:

- печатные платы получаются меньшего размера, так как используются маломощные SMD-компоненты с отсутствующими или очень короткими выводами;
- низкие наводки — нет проводников, пронзающих плату, соответственно меньше наводки от соседних компонентов;
- ниже паразитная ёмкость и индуктивность — выше надёжность высокочастотных устройств;
- возможность размещения деталей на обеих сторонах печатной платы;
- меньшее число отверстий, которое необходимо просверлить в плате;
- ошибки при расположении компонентов частично компенсируются поверхностным натяжением припоя;

- проще автоматизированная сборка;
- ниже цена результирующего устройства (при большой программе выпуска).

Недостатки:

- ниже ремонтпригодность устройства;
- высокие начальные затраты (связанные с установкой и настройкой станков-автоматов, а также с более сложным созданием опытных образцов).

Технология изготовления опытных образцов и изделий единичного производства практически одинакова. Поэтому при выполнении лабораторной работы основным критерием применения НМД (монтируемых в отверстия) или SMD элементов является программа выпуска или тип производства (единичное, серийное, массовое), которое задается в ТЗ. При этом большинство вариантов лабораторных работ предполагает серийный тип производства.

Конечно, применить в изделии только SMD элементы невозможно исходя из особенностей работы некоторых из них – резисторы большой мощности, конденсаторы большой емкости, индуктивности на большие токи и номинальные значения, трансформаторы и силовые транзисторы используются в НМД исполнении (для установки в отверстия), но доля крупногабаритных деталей в современных устройствах невелика. Кроме этого необходимо учитывать, что компоненты схемы, установленные на других несущих конструкциях изделия, в частности, на передней панели корпусе имеют как правило выводы, адаптированные для пайки к ним проводов. Другие концы проводов как правило паяются к печатной плате через отверстия.

В предложенных студентам электрических схемах используется следующая элементная база:

- резисторы постоянные;
- резисторы переменные;
- резисторы подстроечные;
- конденсаторы постоянные;
- конденсаторы переменные;
- конденсаторы подстроечные;
- катушки индуктивности ВЧ;
- диоды;
- транзисторы;
- микросхемы;
- коммутационные устройства;
- электрические соединители;
- устройства индикации и сигнализации.

Каждый из этих элементов имеет свои электрические, конструктивные и экономические параметры. Многие из электрических и конструктивных параметров представлены в их полном условном обозначении (ПУО).

ПУО представляет собой текстовую запись, состоящую из последовательности кодов различных параметров. Согласно российским

стандартам коды разных параметров отделяются друг от друга дефисами. В большинстве зарубежной элементной базы дефисное разделение отсутствует. ПУО часто называют «запись при заказе».

4. РЕЗИСТОРЫ ПОСТОЯННЫЕ

ПУО отечественных резисторов состоит из неполного условного обозначения к которому добавляется вариант конструктивного исполнения (при необходимости), значения основных параметров и характеристик, климатического исполнения и обозначение документа на поставку.

Элементы неполного условного обозначения приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Элементы неполного условного обозначения резисторов

Элементы неполного условного обозначения резисторов			Пример обозначения
первый	второй	третий	
Р – резисторы постоянные; РП- резисторы переменные; НР – набор резисторов	1 – непроволочные; 2 – проволочные, металлофольговые	Порядковый номер разработки	Р1-26 – постоянный непроволочный резистор с порядковым номером разработки 26
ТР – терморезисторы с отрицательным ТКС; ТРП – терморезисторы с положительным ТКС;	Полупроводниковые материалы не обозначаются	Порядковый номер разработки	ТР-7 – терморезистор с отрицательным ТКС и порядковым номером разработки 7
ВР – варисторы постоянные; ВРП – варисторы переменные	Полупроводниковые материалы не обозначаются	Порядковый номер разработки	ВРП-14 – варистор переменный с порядковым номером разработки 14
ФР - фоторезистор	1 - сернисто-свинцовые; 2 - сернисто-кадмиевые; 3 - селенисто-кадмиевые	Порядковый номер разработки	ФР1-3– фоторезистор сернисто-свинцовый с порядковым номером разработки 3
МР - магниторезистор	Полупроводниковые материалы не обозначаются	Порядковый номер разработки	МР-3 – магниторезистор монокристаллический на основе InSb-NiSb с $R_0 = 100 \text{ Ом}$

Параметры и характеристика для постоянных резисторов указываются в следующей последовательности: номинальная мощность рассеяния в ваттах; номинальное сопротивление с указанием единицы измерения; допуск на отклонение сопротивления в процентах; группа по уровню токовых шумов; группа по температурной стабильности сопротивления; функциональная характеристика (для переменных резисторов).

Полного условное обозначение постоянного непроволочного резистора имеет вид, представленный на рисунке 4.1.

Резистор P1-4-05-10 кОм ± 1%-А-Б-В ОЖ0.467.157 ТУ

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Рис. 4.1. Условное обозначение непроволочного резистора: 1 - наименование изделия; 2 – неполное условное обозначение; 3 – номинальная мощность рассеивания, Вт; 4 – номинальное сопротивление и буквенное обозначение единицы измерения (Ом, кОм, МОм, ГОм, ТОм); 5 – допускаемое отклонение сопротивления в %; 6 – группа по уровню токовых шумов; 7 - группа по температурному коэффициенту сопротивления; 8 - климатическое исполнение (В – всеклиматическое); 9 - номер ТУ, на основании которого применен резистор

Если группа исполнения отличается от всеклиматической или тропической, то в полном условном обозначении она не указывается. Могут не указываться также группа по уровню токовых шумов и группа по температурному коэффициенту сопротивления, если по этим параметрам резистор не нормируется. Тогда запись полного условного обозначения резистора будет выглядеть следующим образом: Резистор P1-12-0,125-4,7 кОм ± 5 % АЛЯР. 434110.005 ТУ.

Для правильного выбора резисторов в самом общем случае необходимо на основе учета требований, предъявляемых к аппаратуре, проанализировать режимы и условия работы резистора внутри блока аппаратуры и определить:

- эксплуатационные факторы (интервал рабочих температур, относительную влажность окружающей среды и др.);
- параметры режима и рабочих электрических нагрузок (номинальная мощность, напряжение, параметры импульсного режима и т. д.);
- основные параметры резисторов (номинальное сопротивление и предельный возможный допуск по нему, минимально допустимое значение сопротивления изоляции, шумы резисторов, вид функциональной характеристики переменных резисторов и др.);
- необходимую стабильность электрических параметров резисторов в интервале рабочих температур, в рабочем диапазоне частот и в режиме импульсных нагрузок, при хранении, эксплуатации и испытаниях аппаратуры;
- показатели безотказности, долговечности и сохраняемости резисторов;
- допустимые размеры и массу резисторов, их конфигурацию, способ монтажа;
- стоимость резисторов и их контроля и испытаний в процессе производства аппаратуры.

В исходной электрической схеме обязательно присутствует как минимум один параметр: номинальное сопротивление, очень редко - номинальная мощность рассеивания.

Отсутствующие электрические параметры можно частично определить из модели этой схемы, составленной с помощью соответствующей программы. В библиотеке этой программы должны быть все активные и пассивные

компоненты исходной электрической схемы. Однако, некоторые микросхемы, транзисторы и диоды, примененные в исходной схеме морально устарели, и по этой причине не включены в библиотеку элементов.

В частности германиевые транзисторы VT1 и VT2 типов МП38А и МП42Б, а также диод VD1 типа Д9Б активно применялись до 70-х годов прошлого века. Поэтому их необходимо заменить современными аналогами, причем адаптированными под поверхностный монтаж.

Поиск замены осуществляем в интернете. Для рассматриваемого случая практически без изменения электрической схемы их можно заменить комплементарной парой кремниевых транзисторов BC847 и BC857, а также диодом 1N4148WS.

Вместо отечественной микросхемы K174XA2, которая не выпускается в SMD корпусе, применим ее аналог TCA440 / T в SMD корпусе.

Создадим модель этой схемы и измерим постоянные и переменные напряжения на всех резисторах. Рассчитаем мощность, которая выделяется на каждом резисторе.

Нужно уточнить функцию, которую выполняет рассматриваемый резистор. Для этого обратимся к функциональной и принципиальной схемам, а также модели электрической схемы, в нашем случае, приемника.

На вход модели электрической схемы подадим синусоидальный сигнал с частотой, равной середине диапазона. Частоту гетереодина установим на 1 кГц больше. На выходе приемника будет синусоидальный сигнал с частотой 1 кГц. Проконтролируем этот сигнал с помощью осциллографа, и подключим на выход измеритель коэффициента нелинейных искажений (ИКНИ). Установим ручки резисторов регулировки усиления по ВЧ и НЧ в среднее положение. Изменим амплитуду ВЧ на входе, чтобы ИКНИ показывал 5 %. Затем плавно начнем уменьшать амплитуду сигнала на входе приемника пока ИКНИ не покажет 25 %. Тогда напряжение на входе приемника является его чувствительностью при установленном уровне усиления ВЧ.

Поднимем напряжение на входе приемника до значения КНИ до 15 %. Кроме резисторов регулировки усиления по ВЧ единственным резистором, влияющим на чувствительность является резистор R3. Будем изменять сопротивление этого резистора до получения КНИ, равной 25 %. Относительное изменение величины сопротивления δR этого резистора будет определять суммарную величину производственного допуска $\delta R_{\text{пр}}$ на этот резистор и допуска на изменение сопротивления δR_T под воздействием температуры $\delta R = \delta R_{\text{пр}} + \delta R_T$.

Предположим, что температурный диапазон ΔT нашего приемника от 10°C до 40°C. Наиболее распространены металлодиэлектрические резисторы, которых согласно таблице 4.2 температурный коэффициент сопротивления имеет значение $\alpha_R = 250 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Тогда $\delta R_T = \alpha_R \cdot \Delta T = 250 \cdot 10^{-6} \cdot 30 \approx 0,1 \%$. Поэтому вклад допуска на изменение сопротивления δR_T под воздействием температуры очень мал и им можно пренебречь.

Таблица 4.2

Характеристики постоянных резисторов, изготовленных на основе различных материалов

Параметр	Материал			
	Угольный композит	Угольная пленка	Металлическая пленка	Оксид металла
Диапазон сопротивлений, Ом	$2,2 \dots 10^6$	$10 \dots 10^6$	$1 \dots 10^6$	$10 \dots 10^6$
Допуск, $\pm\%$	10	5	1	2
Мощность рассеяния, Вт	0,125...1	0,25...2	0,125...0,5	0,25...0,5
Температурный коэффициент сопротивления, $t \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$	+1200	-250	+50...100	+250
Диапазон рабочих температур, $^\circ\text{C}$	-40...+105	-45...+125	-55...+125	-55...+125

Таким образом $\delta R \approx \delta R_{\text{пр}}$. С запасом примем $\delta R_{\text{пр}} = \delta R / 2$. Выберем в качестве номинального значения допуска ближайшее значение в сторону уменьшения.

Однако в наших реальных условиях такие измерения невозможны в связи с отсутствием в библиотеке элементов EWB многих компонентов принципиальной схемы. Поэтому отсутствующие параметры нам предстоит домыслить на основании логических рассуждений, расчетов или рекомендаций, приведенной в различной литературе.

На исходной электрической схеме указано значение тока, которую потребляет схема – 10 мА. При напряжении питания микросхема с навесными элементами потребляет мощность около 100 мВт. Будем полагать, что напряжение на выходе смесителя и на входе УМ равно половине источника питания, то есть около 5 В. Мощности, выделяемые на резисторах, представлены в таблице 4.1.

Резистор фильтра по питанию R6 может иметь допуск даже более 20 % потому, что параметры транзисторов усилительных каскадов внутри микросхемы слабо зависят от изменения питания (горизонтальные участки выходных характеристик транзистора). Каскады, параметры которых зависят от стабильности их источника питания, питаются через внутренний стабилизатор напряжения.

Резистор R7 определяет ток через диод VD1. Изменение этого тока в пределах 20 % приводит еще более меньшему в процентном соотношении изменению падения напряжения на нем вследствие нелинейной зависимости

напряжения от тока. Искажение типа «ступенька» при этом не будет проявляться.

Резистор R8 определяет яркость свечения светодиода HL1. Определить визуально изменение яркости свечения даже при изменении сопротивления этого балластного резистора на 20 – 30 % практически невозможно.

Переменные напряжения сигнала присутствует только на резисторах R3 и R7, однако их уровень существенно превышает уровень собственных шумов резистора. Поэтому учитывать токовые шумы при выборе резистора нет необходимости.

Электрические характеристики резистора в значительной мере определяются типом материала, из которого он изготовлен, и его конструкцией.

Отношение фактической (рабочей) мощности рассеяния резистора при подключении его в электрическую схему $P_{\text{раб}}$ к номинальной мощности рассеяния P_n называется коэффициентом нагрузки резистора по мощности:

$$K_p = P_{\text{раб}} / P_n.$$

Для повышения надежности работы электрической схемы проектировщики схемы обычно пользуются значением $K_p \approx 0,1$.

Наиболее доступными для потребителя являются пленочные резисторы общего применения. К ним относятся резисторы с номинальным сопротивлением, не превышающим 10^6 Ом, и допускаемыми отклонениями от номинала (допусками), равными $\pm 20\%$, $\pm 10\%$, $\pm 5\%$.

Как уже отмечалось выше, для повышения надежности радиоаппаратуры резисторы рекомендуется эксплуатировать при рабочих мощностях рассеяния $P_{\text{раб}}$ меньших P_n . Расчет рабочей мощности рассеяния резистора производится по формуле

$$P_{\text{раб}} = U_{\text{раб}}^2 / R_n,$$

где $U_{\text{раб}}$ – рабочее напряжение на участке цепи, в которую включается резистор.

Чтобы не увеличивать номенклатуру резисторов по мощности и, следовательно, по размерам, а также, учитывая что в ТЗ не предъявляется жестких требования по массогабаритным показателям, а по каким-то маркетинговым соображениям цены резисторов от 65 мВт до 125 мВт одинаковые, будем использовать в проектируемом изделии резисторы общего применения, для которых минимальное значение допуска составляет 5 %, а номинальная мощность 0,125 Вт, то есть с размерами 0805. Результаты приведенных логических рассуждений и расчетов сведем в таблицу 4.3.

Таблица 4.3

Основные электрические параметры резисторов приемника

Поз. обозн.	Допуст. возможн. напр.	Выделяемая мощность	K_p	Номинальная мощность	Номин. сопротивл.	Допуск	Уровень сигнала.	Влиян. шумов. резист.	Влияние температур. нестабил.
R1	9 В	0,25 мВт	нет	125 мВт	330 кОм	20 %	нет	нет	нет
R2	1 В	нет	нет	125 мВт	22 кОм	20 %	нет	нет	нет
R3	5В	50 мВт	0,4	125 мВт	1 кОм	10 %	100 мкВ	нет	нет
R4	9 В	0,25 мВт	0,2	125 мВт	330 кОм	20 %	нет	нет	нет
R5	1 В	нет	нет	125 мВт	22 кОм	20 %	нет	нет	нет
R6	1 В	10 мВт	0,1	125 мВт	100 Ом	20 %	нет	нет	нет
R7	5 В	15мВт	0,4	125 мВт	1,5 кОм	20 %	2 В	нет	нет
R8	8 В	30 мВт	0,3	125 мВт	2,2 кОм	20 %	нет	нет	нет

Углеродистые резисторы дешевы, имеют относительно небольшой ТКС, малый коэффициент напряжения, низкий уровень токовых шумов, удовлетворительную стабильность во времени. Эти резисторы характеризуются высокой стойкостью к радиационным воздействиям, малой чувствительностью к электрическим перегрузкам и импульсным нагрузкам и предназначены для работы в электрических цепях постоянного, переменного и импульсного токов.

Номенклатура современных металлодиэлектрических резисторов достигает 44 типов. Широкое распространение для навесного монтажа получили металлодиэлектрические неизолированные резисторы типа МЛТ, МТ, Р1-4, С2-10, и др. Резисторы предназначены для работы в электрических цепях постоянного, переменного и импульсного токов.

Современные металлодиэлектрические безвыводные резисторы типов Р1-8, Р1-12, Р1-16, С2-30 и др. имеют планарную конструкцию и предназначены для поверхностного монтажа в гибридных интегральных схемах и на печатных платах при ручной и автоматизированной сборке.

Композиционные пленочные резисторы характеризуются, как правило, большими значениями номинальных сопротивлений, достигающими 100 ГОм, относительно высокими значениями ТКС. Недостатком композиционных пленочных резисторов является довольно высокое значение уровня шумов, достигающее 15...40 мкВ/В. Резисторы предназначены для работы в электрических цепях постоянного и переменного токов.

Выпускаются также миниатюрные (микромодульные) лакопленочные композиционные резисторы типов С3-3 и С3-4. Эти резисторы предназначены для использования в гибридных интегральных схемах и изготавливаются в безвыводном варианте. По своим электрическим параметрам ($R_n = 150...3,3 \cdot 10^6$ Ом) они близки к углеродистым резисторам общего применения. Характеризуются пониженным уровнем токовых шумов ($E_{ш} = 5...10$ мкВ/В), могут работать в цепях импульсного тока.

Имеются рекомендации по применению типов резисторов в тех или иных функциональных узлах радиоаппаратуры. Некоторые рекомендации представлены в таблицах 4.4.

Таблица 4.4

Сокращенные обозначения и области применения отечественных SMD резисторов

Тип резистора	Функциональное назначение	Номер ТУ
P1-11	Предназначены для работы в электрических цепях постоянного и переменного, импульсного токов в аппаратуре народного хозяйственного назначения	ОЖО.467.168 ТУ
P1-12	Предназначены для работы в электрических цепях постоянного и переменного токов и в импульсном режиме в гибридных микросхемах	АЛЯР.434.110.005 ТУ
P1-16	Предназначены для работы в электрических цепях постоянного и переменного токов в герметичных объемах аппаратуры	АЛЯР.434.110.002 ТУ
СПЗ-28	Предназначены для работы в электрических цепях постоянного и переменного, импульсного токов в составе микросхем	ОЖО.468.370 ТУ
РП1-51	Предназначены для работы в электрических цепях постоянного и переменного токов в слуховых аппаратах	ОЖО.468.380 ТУ
РП1-82	Миниатюрные подстроечные. Применяются в видео- и вычислительной технике, в том числе в перспективных моделях персональных ЭВМ	АПШК.434.160.015
НР1-22	Применяются для задания режимов и обеспечения точностных характеристик прецизионных усилителей	—
НР1-29	Применяются в аппаратуре видео- и звукозаписи, в микроЭВМ	АЛСР.434.310.003
НР-30	Применяются в аппаратуре видео- и звукозаписи, в микроЭВМ	АЛСР.434.310.002
НР-31	Малогабаритные наборы тонкопленочных резисторов с шагом выводов 0,635 мм. Применяются в персональных компьютерах, аппаратуре звукозаписи и др.	—
НР1-35	Малогабаритных наборы резисторов с шагом выводов 1,25 мм. Применяются в бытовой видеоаппаратуре.	АДШК.434.310.004
НРК1-4	Комбинированный ЧИП-набор, заменяет два резистора Р1-12 и два резистора типа СПЗ-28, что позволяет повысить надежность и уменьшить габаритные размеры	АЛСР.434.330.004

Сегодня на российском рынке радиотоваров и радиокомпонентов отечественные изделия составляют лишь незначительную часть, вытесненные более современными, надежными и относительно доступными товарами зарубежного производства.

Абсолютное большинство импортных изделий никак не согласуется с требованиями и нормами отечественных стандартов, что вызывает серьезные трудности у конструкторов радиоаппаратуры, работников службы ремонта и сервиса, а также и у радиолюбителей.

По основным электрическим характеристикам металлодиэлектрические резисторы превосходят углеродистые, так как они более стабильны, теплостойки и влагостойки. Вследствие лучшего теплоотвода габаритные размеры металлодиэлектрических резисторов при одинаковой номинальной мощности рассеяния в 1,5...2 раза меньше, чем углеродистых. Поэтому всюду, где

возможно, металлодиэлектрические резисторы рекомендуется применять вместо других типов резисторов. Некоторым недостатком металлодиэлектрических резисторов является пониженная устойчивость к импульсным нагрузкам, что связано с неоднородностью резистивной пленки, обычно имеющей крупнозернистую структуру. Поэтому при эксплуатации в режиме импульсных электрических нагрузок средняя рабочая мощность рассеяния металлодиэлектрических резисторов не должна превышать $0,1 P_n$.

Отечественной промышленностью разработаны и серийно выпускаются SMD постоянные непроволочные резисторы цилиндрической формы типа P1-11, аналогичные зарубежным MELF.

SMD резисторы типа P1-12 получили более широкое распространение вследствие их

лучшей приспособленности к автоматизированному монтажу. Такие прямоугольные чип резисторы являются перспективными для монтажа на поверхность как ручным, так автоматическим способом. К достоинствам резисторов этого типа следует отнести: размеры стандартизованы на международном уровне; возможен автоматизированный монтаж; пайка методами ТПМ; наличие защиты внутреннего контактного слоя от растворения; упаковка в ленту.

Главным преимуществом поверхностно монтируемых (SMD) резисторов являются их маленькие габариты. На рисунке 4.2 показана конструкция резистора для поверхностного монтажа.



Рис. 4.2. Схема устройства резистора для поверхностного монтажа

Основным несущим элементом резистора является подложка, изготовленная из оксида алюминия. Этот материал обладает хорошими диэлектрическими свойствами, но помимо этого имеет очень высокую теплопроводность, что необходимо для отвода тепла, выделяющегося в резистивном слое, в окружающую среду. Основные электрические характеристики резистора определяются резистивным элементом, в качестве которого чаще всего используется пленка металла или окисла, например чистого хрома или двуокиси рутения, нанесенная на подложку. Для соединения резистивного элемента с проводниками печатной платы служат несколько слоев контактных элементов. Внутренний контактный слой обычно выполнен

из серебра или палладия, промежуточный слой представляет собой тонкую пленку никеля, а внешний – свинцово-оловянный припой. Такая сложная контактная конструкция предназначена для обеспечения надежной взаимной адгезии слоев, уменьшение контактной разности потенциалов между слоями и устранению диффузии серебра в припой. От качества выполнения контактных элементов резистора зависят такие его характеристики, как надежность и токовые шумы. Последним элементом конструкции резистора является защитный слой, обеспечивающий предохранение всех элементов конструкции резистора от воздействия факторов окружающей среды и в первую очередь от влаги. Этот слой выполняется из стекла или полимерных материалов.

При автоматизированной сборке упаковка производится в перфорированную ленту, намотанную на катушку. Резисторы расположены резистивным слоем вверх, минимальное количество 4000 шт. Для ручной сборки - групповая потребительская тара (полиэтиленовый пакет). При монтаже не допускается ставить элементы резистивным слоем вниз.

Диапазон номинальных сопротивлений от 1 до 22×10^6 Ом, промежуточные значения - ряд E24, ряд E48 для 0,125 Вт, 2 %, рабочий диапазон температур минус 16°C до 125 °C. Резисторы P1-12 допускают пайку волной припоя при температуре 265 °C в течение 4 с. Возможна повторная пайка с числом циклов не более двух и длительностью каждого до 3 с. При пайке волной припоя резисторы фиксируются на поверхности платы при помощи клея (ГИПК 231 ТУ 6-05-25-96-79). Допускается трехкратный нагрев до температуры +150 °C в течение 10 минут, до +165 °C - не более 15 с.

Выберем тип P1-12 для использования в нашем приемнике.

Таблица 4.5

Основные технические данные резисторов P1-12

Номинальная мощность рассеяния, Вт	Диапазон номинальных сопротивлений, Ом	Допускаемые отклонения сопротивления, %	Предельное рабочее напряжение постоянного и переменного (амп.) тока, В
0,062	$1 \dots 10^7$	$\pm 1; \pm 2; \pm 5; \pm 10$	50
0,1	$1 \dots 10^7$	$\pm 1; \pm 2; \pm 5; \pm 10$	100
0,125	$0,75 \dots 22 \cdot 10^6$	$\pm 0,5; \pm 1; \pm 2; \pm 5; \pm 10$	100
0,25	$0,75 \dots 22 \cdot 10^6$	$\pm 0,5; \pm 1; \pm 2; \pm 5; \pm 10$	200
0,5	$0,75 \dots 40 \cdot 10^6$	$\pm 5; \pm 10$	200
1,0	$0,75 \dots 40 \cdot 10^6$	$\pm 5; \pm 10$	200
2,0	$0,75 \dots 40 \cdot 10^6$	$\pm 5; \pm 10$	200

Таблица 4.6

Температурный коэффициент сопротивления (ТКС) резисторов P1-12

Группа по ТКС	Диапазон номинальных сопротивлений, Ом	ТКС·10 ⁻⁶ , 1/°С, не более в интервале температур	
		От минус 60 до 155 °С (213-428 °К)	От 20 до 100 °С (293-373 °К)
Л	св. 1,5·10 ³ до 1,5·10 ⁴	±100	±50
М	св. 1,5·10 ³ до 1,5·10 ⁴	±100	—
Т	св. 10 до 10 ⁶	±250	—
У	св. 0,75 до 2,2·10 ⁷	±500	—
Ф	св. 1,0·10 ⁶ до 2,2·10 ⁷	±1000	—

Таблица 4.7

Уровень шумов резисторов P1-12

Диапазон номинальных сопротивлений, Ом	Уровень шумов резисторов, мкВ/В, не более
от 0,75 до 3,9·10 ³	1
св. 3,9·10 ³ до 100·10 ³	10
св. 100·10 ³ до 10 ⁶	30
св. 10 ⁶ до 22·10 ³	Не нормируется

Условное обозначение резистора P1-12 при заказе и в конструкторской документации должно состоять из слова «Резистор», сокращенного условного обозначения, номинальной мощности рассеяния, полного обозначения номинального сопротивления, допускаемого отклонения номинального сопротивления, группы по ТКС и номера ТУ.

Пример условного обозначения:

Резистор P1-12-0,125 - 4,7 кОм ±5% - М АЛЯР.434110.005 ТУ

Таблица 4.8

Размеры SMD резисторов

Типоразмер	Размеры, мм			
	L	W	T	M
0201	0,6	0,3	0,23	0,13
0402	1,0	0,5	0,35	0,25
0603	1,6	0,8	0,45	0,3
0805	2,0	1,2	0,4	0,4
1206	3,2	1,6	0,5	0,5
2010	5,0	2,5	0,55	0,5
2512	6,35	3,2	0,55	0,5

В попытке повысить технологичность изделий некоторые фирмы, в настоящее время, экспериментируют при проектировании топологии с закругленными припойными площадками знакоместа, другие предлагают следующие варианты расчета топологии знакоместа, исходя из размеров конструктива пассивного чип - компонента. Например, фирма “RCD Components Corp.” рекомендует размеры припойной площадки знакоместа для обеспечения теплового режима чип – компонента, представленный на рисунке 4.3.

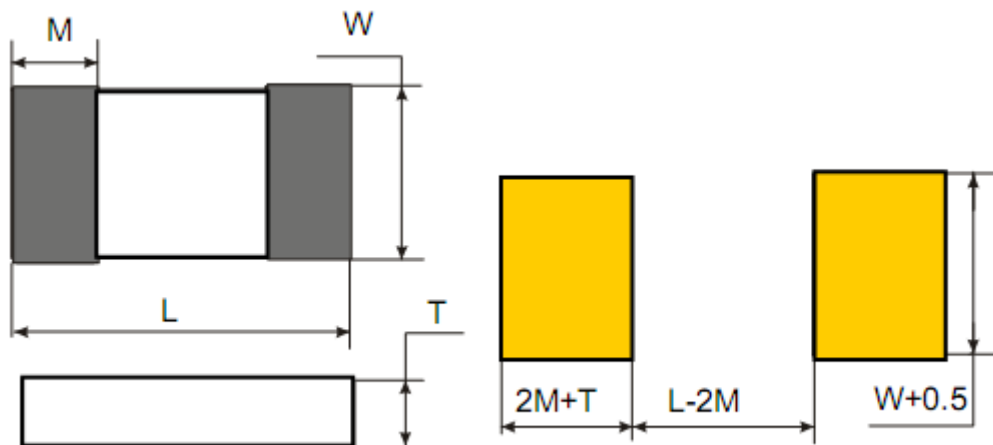


Рис. 4.3. Размеры SMD резисторов и контактных площадок

В частности, SMD резистор с размерами 0805 будет занимать площадь S_{Ri} на поверхности печатной платы:

$$\begin{aligned} S_{Ri} &= [2(2M + T) + (L - 2M)] \cdot (W + 0,5) = \\ &= [2(2 \cdot 0,4 + 0,4) + (2 - 2 \cdot 0,4)] \cdot (1,2 + 0,5) = \\ &= 3,6 \times 1,7 = 6,12 \text{ мм}^2, \end{aligned}$$

где Ri - позиционное обозначение i - го резистора.

Графически эта площадь представлена на рисунке 4.4.

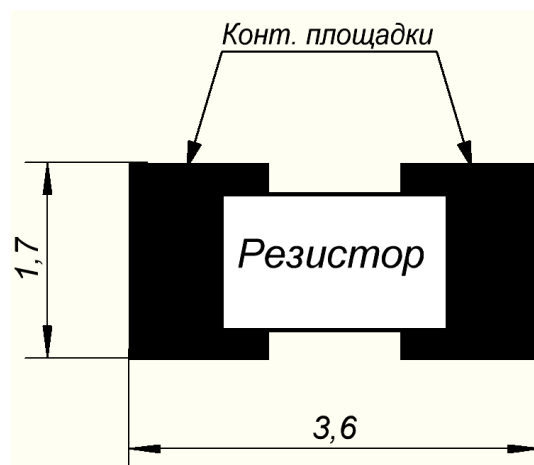


Рис. 4.4. Установочный размер SMD резистора с размерами 0805

5. ВЫБОР ПЕРЕМЕННЫХ РЕЗИСТОРОВ

По функциональному назначению переменные резисторы подразделяют на регулировочные резисторы, допускающие изменение электросопротивления в процессе их функционирования в аппаратуре, и подстроечные резисторы, сопротивление которых изменяется, как правило, при разовой или периодической регулировке и не меняется в процессе функционирования аппаратуры. Подстроечные резисторы рассчитаны на периодические подстройки аппаратуры, их износостойчивость невелика – до 1000 циклов перемещения подвижной системы резистора.

Регулировочные резисторы используются при многократных регулировках аппаратуры, обладают большей износостойчивостью – более 5000 циклов. Токопроводящий элемент в них бывает тонкослойным металлическим или металлоксидным, пленочным композиционным.

В проектируемом нами приемнике присутствуют только регулировочные переменные резисторы R2 и R5.

На рисунке 5.1 представлены некоторые типы регулировочных переменных резисторов.

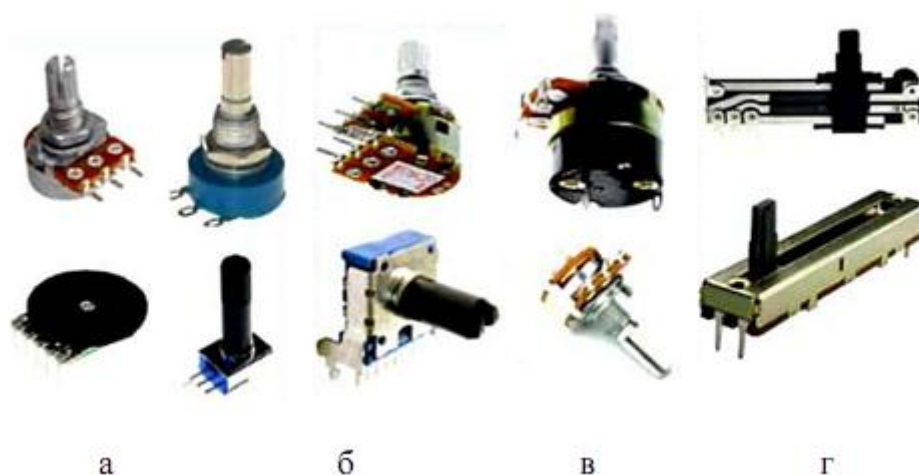


Рис. 5.1. Регулировочные переменные резисторы: а – одинарные; б – двойные; в – с выключателем; г – движковые

Конструкции переменных резисторов гораздо сложнее, чем постоянных. На рисунке 5.2 представлена конструкция переменного непроволочного резистора круглой формы.



Рис. 5.2. Устройство переменного резистора со стороны резистивного слоя (защитная крышка снята)

Он состоит из подвижной и неподвижной частей. Неподвижная часть представляет собой пластмассовый корпус, в котором смонтирован токопроводящий элемент, имеющий подковообразную форму. Посредством заклепок он крепится к круглому корпусу. Эти заклепки соединены с внешними выводами. Подвижная часть представляет собой вращающуюся ось, с торцом которой посредством чеканки соединена изоляционная планка, на которой смонтирован подвижный контакт (токоъемник), соединенный с внешним выводом. Угол поворота оси составляет 270° и ограничивается стопором. Существуют и другие конструкции переменных непроволочных резисторов.

Тип переменного резистора выбирается из конструктивных соображений и способом их монтажа в изделии. На рисунке 5.3 показана фотография, габаритные и установочные размеры переменного резистора типа WH186-1A-1 фирмы «KLS electronic», а на рисунках 5.4 и 5.5 фрагменты разных вариантов расположения этого переменного резистора в конструкции изделия.

WH148-1A-1

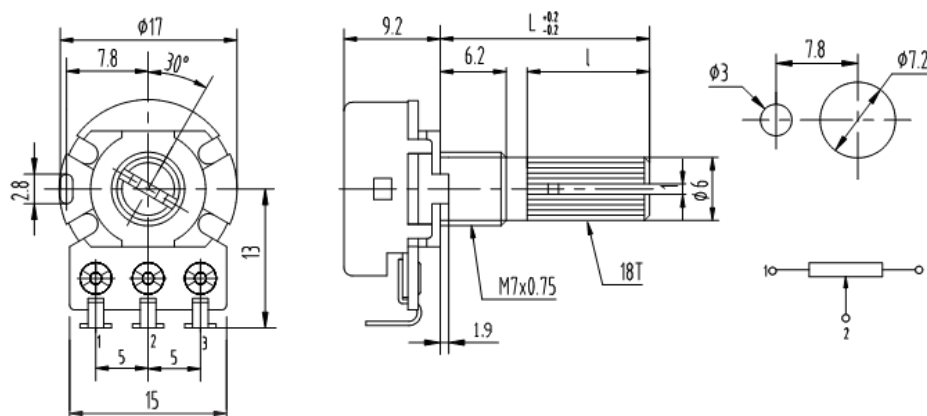


Рис. 5.3. Фотография, габаритные и установочные размеры переменного резистора типа WH186-1A-1 фирмы «KLS electronic»

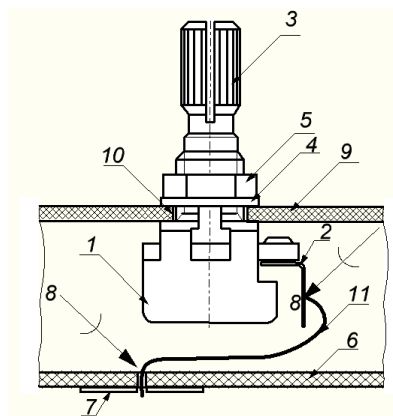


Рис. 5.4. Фрагмент варианта расположения переменного резистора типа WH186-1A-1 в конструкции изделия с механической фиксацией на передней панели: 1 – корпус резистора; 2 – выводы; 3 – ось переменного резистора под ручку; 4 – шайба; 5 – гайка; 6 – плата; 7 – контактная площадка; 8 – паяное соединение; 9 – лицевая панель крышки; 10 – отверстие в крышке корпуса для крепления резистора; 11 – соединительный проводник

Этот вариант крепления резистора предполагает наличие зазора между платой и крышкой корпуса как минимум несколько больше, чем высота корпуса резистора. Соединение выводов резистора и платой осуществляется с помощью проводников. При этом процесс сборки изделия может проводиться разными способами и весьма затруднен.

Сборка изделия существенно упрощается, если резистор закрепить на печатной плате и провести операцию пайки соединительных проводников до окончательной сборки изделия, как показано на рисунке 5.5. Этот вариант крепления резистора предполагает наличие зазора между платой и основанием корпуса как минимум несколько больше, чем высота корпуса резистора.

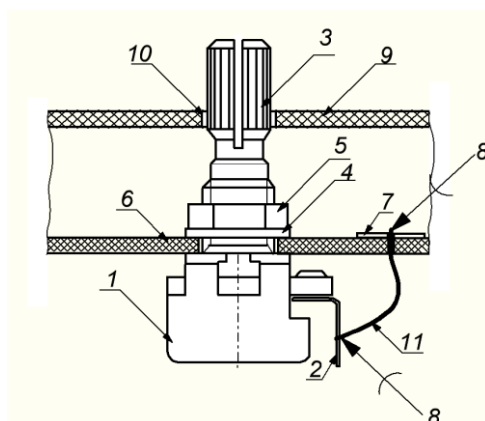


Рис. 5.5. Фрагмент варианта расположения переменного резистора типа WH186-1A-1 в конструкции изделия с фиксацией на печатной плате: 1 – корпус резистора; 2 – выводы; 3 – ось переменного резистора под ручку; 4 – шайба; 5 – гайка; 6 – плата; 7 – контактная площадка; 8 – паяное соединение; 9 – лицевая панель крышки; 10 – отверстие в крышке корпуса для прохода оси резистора; 11 – соединительный проводник

Наиболее удачный вариант крепления переменного резистора получается при использовании переменного резистора WH186-1A-5 той же фирмы KLS electronic. На рисунке 5.6 представлена фотография, габаритные и установочные размеры переменного резистора типа WH186-1A-5 фирмы «KLS electronic».

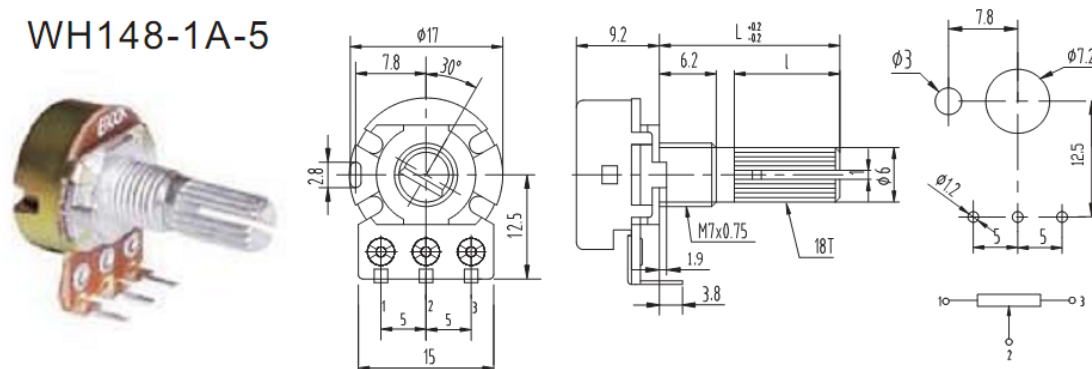


Рис. 5.6. Фотография, габаритные и установочные размеры переменного резистора типа WH186-1A-5 фирмы «KLS electronic»

От предыдущего варианта это конструкция переменного резистора отличается только конфигурацией выводов. В соответствии с этим напрашивается вариант установки переменного резистора, представленный на рисунке 5.7. В этом варианте отсутствуют соединительные проводники, а электрическое соединение резистора и печатных проводников платы проводится выводами самого резистора. Поэтому окончательно остановимся на этом варианте установки переменных резисторов, а в ПУО резистора внесем данные, основанные на part number из data sheet на эти резисторы.

Part number представлен на рисунке 5.8.

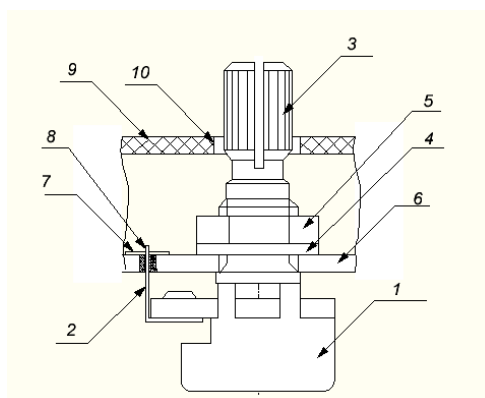


Рис. 5.7. Фрагмент изделия в месте установки резистора типа WH186-1A-5 или ему аналогичных по конструкции выводов: 1 – корпус резистора; 2 – формовка выводов с установкой в отверстия в печатной плате; 3 – ось переменного резистора под ручку; 4 – шайба; 5 – гайка; 6 – плата; 7 – контактная площадка; 8 – паяное соединение; 9 – лицевая панель крышки; 10 – отверстие в крышке для прохода оси резистора при сборке изделия

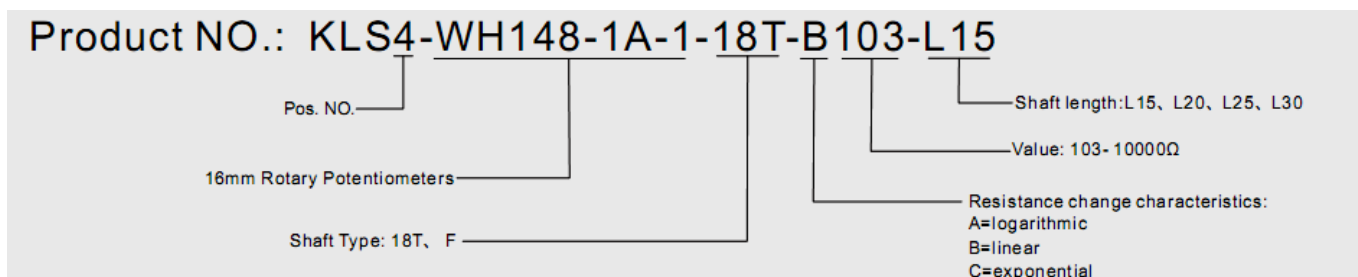


Рис. 5.8. Part number переменного резистора типа WH186-1A-X фирмы KLS electronic

Основные параметры осей переменных резисторов представлены на рисунке 5.9.

18T						F					
L	15	20	25	30		L	15	20	25	30	
l	7	12	12	12		F	7	12	12	12	

Рис. 5.9. Разные конструкции осей переменного резистора типа WH186-1A-X фирмы KLS electronic и способы их кодирования в ПУО

Для регулировки усиления по ВЧ применим резистор линейной функциональной характеристикой, а для регулировки громкости с экспоненциальной зависимостью, так как громкость связана с амплитудой звуковых волн через логарифмическую зависимость.

По российскому стандарту в ПУО функциональные характеристики обозначаются иначе, чем для импортных резисторов:

- А - линейная зависимость;
- Б – логарифмическая зависимость;
- В – экспоненциальная зависимость.

Тогда ПУО для резистора R2 с российской расшифровкой будет иметь вид:

KLC4-WH148-1A-5-18T-B223-L20 / KLC4-WH148-1A-5-18T- 0,125-22
кОм $\pm$ 20% - А KLS Electronic,

а ПУО для резистора R5 с российской расшифровкой будет иметь вид:

KLC4-WH148-1A-5-18T-C223-L20 / KLC4-WH148-1A-5-18T- 0,065 -22
кОм $\pm$ 20% - В KLS Electronic.

Выберем форму контактной площадки для выводов переменных резисторов в виде круга с отверстием диаметром 1,2 мм. Диаметр отверстия рекомендован производителем этих резисторов, как показано на рисунке 5.9.

Для обеспечения гарантированного зазора между этими контактными площадками их диаметр должен быть меньше, чем 5 мм, что также следует из рисунка 5.9. Примем диаметр контактной площадки равный 4 мм.

Тогда длина посадочного места L_{VRi} переменного резистора (variable resistor) будет равна

$$L_{VRi} = D_k / 2 + L_{окп} + D_{кп} / 2 = 17 / 2 + 12,5 + 2 = 23 \text{ мм},$$

где D_k – диаметр корпуса резистора; $L_{окп}$ – расстояние между осью резистора и центрами контактных площадок; $D_{кп}$ – диаметр контактной площадки.

Ширина посадочного места W , как следует из рисунка 5.9, равна диаметру корпуса резистора D_k или 17 мм.

Тогда переменный резистор будет занимать площадь на поверхности печатной платы

$$S_{VRi} = L_{VRi} \cdot W = 23 \cdot 17 = 391 \text{ мм}^2$$

где VRi – позиционное обозначение i – го переменного резистора.

Графически эта площадь представлена на рисунке 5.10.

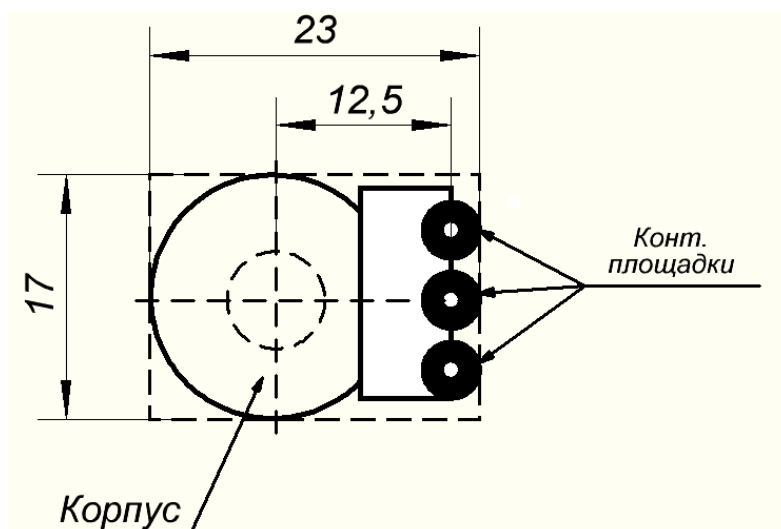


Рис. 5.10. Установочный размер переменного резистора

6. ВЫБОР КОНДЕНСАТОРОВ ПОСТОЯННОЙ ЕМКОСТИ

Российские изготовители полное условное обозначение конденсаторов выполняют по определенным правилам.

В соответствии с ГОСТ 11.074.009—78 полное условное обозначение отечественных конденсаторов содержит четыре части:

- неполное условное обозначение содержащее сокращенное обозначение и варианта конструктивного исполнения конденсатора;
- основные электрические и некоторые конструктивные параметры;
- климатическое исполнение;
- обозначение документа (обычно номер ТУ), на основании которого применен конденсатор.

Таблица 6.1

Сокращенные обозначения и области применения конденсаторов

Сокращенное обозначение	Тип конденсатора по виду диэлектрика	Основные области применения
Конденсаторы постоянной емкости		
K10	Керамические на номинальные напряжения ниже 1600 В	Для высокочастотных конденсаторов термокомпенсация, емкостная связь, фиксированная настройка контуров на высокой частоте Для низкочастотных конденсаторов: шунтирующие, блокирующие и фильтровые цепи, связь между каскадами на низкой частоте
K15	Керамические на номинальные напряжения 1600 В и выше	Емкостная связь, фиксированная настройка мощных высокочастотных контуров, импульсные устройства
K21 K22 K23	Стекланые Стеклокерамические Стеклоэмалевые	Блокировка, фиксированная настройка высокочастотных контуров, емкостная связь, шунтирующие цепи
K31 K32	Слюдяные малой мощности Слюдяные большой мощности	Блокировочные и шунтирующие, высокочастотные фильтровые цепи, емкостная связь, фиксированная настройка шунта
K40	Бумажные на номинальное напряжение ниже 1600 В с фольговыми обкладками	Блокировочные, буферные, шунтирующие, фильтровые цепи, емкостная связь
K41	Бумажные на номинальное напряжение 1600 В с фольговыми обкладками	
K42	Бумажные с металлизированными обкладками (металлобумажные)	Цепи развязок и фильтры; в качестве емкостей связи на применяются
K50	Электролитические алюминиевые	Шунтирующие и фильтровые цепи, накопление энергии в импульсных устройствах
K51	Электролитические танталовые фольговые	Применяются в тех же цепях, что и электролитические алюминиевые, в основном в транзисторной аппаратуре с повышенными требованиями к параметрам конденсаторов
K52	Электролитические танталовые объемно-пористые	
K53	Оксидно-полупроводниковые	
K60 K61	Воздушные Газообразные	Образцовые эталоны емкости, высоковольтные блокировочные, развязывающие, контурные конденсаторы
K70	Полистирольные с фольговыми обкладками	Точные временные цепи, интегрирующие устройства, настроенные контура высокой добротности, образцовые
K71	Полистирольные с металлизированными обкладками	
K72	Фторопластовые	В тех же цепях, что и полистирольные при повышенных температурах и жестких требованиях к электрическим параметрам
K73	Полэтилентерефталатные с металлизированными обкладками	В тех же цепях, что и бумажные конденсаторы при повышенных требованиях к электрическим параметрам
K74	Полэтилентерефталатные с фольговыми обкладками	
K75	Комбинированные	В тех же цепях, что и бумажные конденсаторы при повышенных требованиях к надежности

Сокращенное обозначение	Тип конденсатора по виду диэлектрика	Основные области применения
K76	Лакопленочные	Частично могут заменять электролитические конденсаторы (особенно при повышенных значениях переменной составляющей). Применяются в тех же цепях, что и бумажные, металлобумажные и электролитические конденсаторы
K77	Поликарбонатные	В тех же цепях, что и конденсаторы K73, но при более высоких частотах
K78	Полипропиленовые	В телевизионной и бытовой аппаратуре
Конденсаторы подстроечные		
КТ1	Вакуумные	В специальной аппаратуре
КТ2	С воздушным диэлектриком	В радиоприемной аппаратуре
КТ3	С газообразным диэлектриком	В специальной аппаратуре
КТ4	С твердым диэлектриком	В радиоприемной и телевизионной аппаратуре
Конденсаторы переменной емкости		
КП1	Вакуумные	В специальной аппаратуре
КП2	С воздушным диэлектриком	В радиоприемной аппаратуре
КП3	С газообразным диэлектриком	В специальной аппаратуре
КП4	С твердым диэлектриком	В радиоприемной и телевизионной аппаратуре

Примером полного условного обозначения, в котором придерживаются рекомендации по последовательности записи, является, в частности, керамические конденсаторы К10-79 для поверхностного монтажа, предназначенные для работы в цепях постоянного, переменного и пульсирующего токов и в импульсном режиме (рисунок 6.1):

Конденсатор К10-79-250 В-220 пФ±5% -МПО АЖЯР.673511.004 ТУ

1 2 3 4 5 6 7

Рис. 6.1. Условное обозначение конденсатора: 1 - наименование изделия; 2 – неполное условное обозначение; 3 – номинальное рабочее напряжение, В; 4 – номинальная емкость и буквенное обозначение единицы измерения (пФ, мкФ); 5 – допускаемое отклонение сопротивления в %; 6 - группа ТКЕ (МПО–близко к нулю); 7 - номер ТУ, на основании которого применен конденсатор.

Климатическое исполнение – УХЛ.

В исходной электрической схеме обязательно присутствует как минимум один параметр: номинальная емкость, очень редко - номинальное напряжение.

Отсутствующие электрические параметры можно частично определить из модели электрической схемы, составленной с помощью соответствующей программы. В библиотеке этой программы должны быть все активные и пассивные компоненты исходной электрической схемы, что бывает очень редко.

Поэтому отсутствующие параметры нам предстоит домыслить на основании логических рассуждений, расчетов или рекомендаций, приведенной в различной литературе.

Напряжение на всех конденсаторах приемника не может быть больше напряжения источника питания, то есть в нашем случае больше 9 В. Примем рабочее напряжение конденсаторов не менее 16 В.

Тангенс угла диэлектрических потерь обычно учитывается в случае, когда конденсатор пропускает через себя большую реактивную мощность (обычно больше 10 ВАР).

Электрические характеристики конденсаторов значительной мере определяются типом материала диэлектрика.

Все конденсаторы по выполняемым функциям можно разбить на три группы: контурные, разделительные и блокировочные. В каждой из этих групп в зависимости от рабочей частоты могут применяться высокочастотные и низкочастотные конденсаторы.

Контурные конденсаторы являются частото-определяющими, поэтому основное требование к ним - это высокая температурная стабильность. Если в колебательных контурах нет подстроечных элементов, то к конденсаторам применяются жесткие требования по точности.

Разделительные конденсаторы практически не влияют на частото-селективные свойства изделия и слабо влияют на передачу сигнала от каскада к каскаду в том числе и при изменении температуры, но требуют хорошего разделения уровней постоянных составляющих (малых токов утечки).

Основными требованиями, предъявляемыми к блокировочным конденсаторам – это их широкополосность, относительно невысокие потери, малые размеры и стоимость.

Наибольшее применение при емкостях, менее 4,7 мкФ и напряжении не более 30 В, получили распространение керамические конденсаторы, в том числе и в SMD исполнении.

В таблице 6.2 представлены некоторые характеристики отечественных керамических конденсаторы в SMD исполнении.

Таблица 6.2

Функциональное назначение и основные характеристики отечественных керамических конденсаторы в SMD исполнении

Тип конденсатора	Функциональное назначение	Основные параметры	Номер ТУ
K10-17-4	Предназначены для работы в цепях постоянного и переменного токов и в импульсных режимах	$C_{\text{ном}} = 22 \text{ пФ} \dots 0,15 \text{ мкФ}$ $U_{\text{ном}} = 50 \text{ В}$	ОЖО.460.172 ТУ
K10-42		$C_{\text{ном}} = 1 \dots 22 \text{ пФ}$ $U_{\text{ном}} = 50 \text{ В}$	ОЖО.460.167 ТУ
K10-43в		$C_{\text{ном}} = 21,5 \text{ пФ} \dots 0,0442 \text{ мкФ}$ $U_{\text{ном}} = 50 \text{ В}$	ОЖО.460.165 ТУ
K10-47в		$C_{\text{ном}} = 10 \text{ пФ} \dots 0,15 \text{ мкФ}$ $U_{\text{ном}} = 16 \dots 500 \text{ В}$	ОЖО.464.174 ТУ

Тип конденсатора	Функциональное назначение	Основные параметры	Номер ТУ
K10-49в	Предназначены для работы в цепях постоянного и переменного токов и в импульсных режимах	$C_{\text{ном}} = 0,022 \dots 1 \text{ мкФ}$ $U_{\text{ном}} = 25 \text{ В}$	ОЖО.460.178 ТУ
K10-50в		$C_{\text{ном}} = 22 \text{ пФ} \dots 3,3 \text{ мкФ}$ $U_{\text{ном}} = 16 \text{ и } 25 \text{ В}$	ОЖО.460.182 ТУ
K10-56		$C_{\text{ном}} = 0,47 \dots 6800 \text{ пФ}$ $U_{\text{ном}} = 50 \text{ В}$	ОЖО.460.198 ТУ
K10-57	Предназначены для работы в цепях постоянного и переменного токов и в импульсных режимах, в том числе в диапазоне УВЧ	$C_{\text{ном}} = 1 \dots 1000 \text{ пФ}$ $U_{\text{ном}} = 100 \dots 500 \text{ В}$	ОЖО.460.194 ТУ
K10-60в	Предназначены для работы в цепях постоянного и переменного токов и в импульсных режимах	$C_{\text{ном}} = 0,00068 \dots 4,7 \text{ мкФ}$ $U_{\text{ном}} = 10 \text{ и } 16 \text{ В}$	ОЖО.460.209 ТУ
K10-63	Предназначены для работы в цепях постоянного и переменного токов и в импульсных режимах в скважинной геофизической аппаратуре	$C_{\text{ном}} = 47 \dots 15000 \text{ пФ}$ $U_{\text{ном}} = 25 \dots 160 \text{ В}$ $T_{\text{раб}} = 250 \text{ }^{\circ}\text{C}$	АДПК.673.511.001 ТУ
K15-20в	Предназначены для работы в цепях постоянного и переменного токов и в импульсных режимах при условии защиты межэлектродного промежутка конденсатора	$C_{\text{ном}} = 150 \text{ пФ} \dots 0,068 \text{ мкФ}$ $U_{\text{ном}} = 1,6 \dots 6,3 \text{ кВ}$	ОЖО.460.204 ТУ
K50-49	Предназначены для работы в цепях постоянного и пульсирующего токов и в импульсных режимах	$C_{\text{ном}} = 0,1 \dots 33 \text{ мкФ}$ $U_{\text{ном}} = 6,3 \dots 63 \text{ В}$	
K53-15А		$C_{\text{ном}} = 0,1 \dots 47 \text{ мкФ}$ $U_{\text{ном}} = 3,2 \dots 32 \text{ В}$	ОЖО.464.121 ТУ
K53-37		$C_{\text{ном}} = 0,1 \dots 100 \text{ мкФ}$ $U_{\text{ном}} = 4 \dots 100 \text{ В}$	ОЖО.464.260 ТУ
K53-40		$C_{\text{ном}} = 0,1 \dots 10 \text{ мкФ}$ $U_{\text{ном}} = 3,2 \dots 32 \text{ В}$	ОЖО.464.264 ТУ
K53-42		$C_{\text{ном}} = 1 \dots 100 \text{ мкФ}$ $U_{\text{ном}} = 4 \dots 50 \text{ В}$	

Пленочные конденсаторы в SMD исполнении не получили широкого распространения. При емкостях более единиц микрофард и до несколько сотен микрофард применяются танталовые конденсаторы в SMD исполнении. При емкостях до 1000 мкФ в в SMD исполнении используются оксидно-алюминиевые конденсаторы.

Результаты анализа функций, исполняемых конденсаторами в схеме, логических рассуждений о влиянии их емкости на чувствительность приемника и стабильности частоты, расчетов или рекомендаций по применению, приведенной в различной литературе представим в таблице 6.3.

Таблица 6.3

Основные электрические параметры конденсаторов приемника

Поз. обозн.	Номин. емкость.	Функция	Частота	Температ. стабильн.	Предполагаемый код температурн. стабильности	Зарубежн. код	Точность	Предполагаемый максимальный допуск	Прим.
C1	6,8 пФ	контурный	ВЧ	высокая	M47	NP0	высокая	5 %	
C2, C4	240 пФ	контурный	ВЧ	высокая	M47	NP0	высокая	5 %	
C3	180 пФ	контурный	ВЧ	высокая	M330	-	средняя	10 %	Перемен.
C5	0,047 мкФ	разделит.	НЧ	средняя	H10	X7R	средняя	10 %	
C6	10 пФ	контурный	ВЧ	высокая	M47	NP0	высокая	5 %	
C7, C8	160 пФ	блокиров.	ВЧ	высокая	M470	NP0	средняя	10 %	
C9	100 пФ	разделит.	ВЧ	высокая	M330	NP0	высокая	5 %	
C10, C11	4,7 мкФ	блокиров.	НЧ	низкая	Не нормируется		низкая	30 %	
C12, C13	0,047 мкФ	фильтр	НЧ	средняя	H10	X7R	средняя	10 %	
C14	0,15 мкФ	разделит.	НЧ	средняя	H10	X7R	средняя	20 %	
C15	0,1 мкФ	блокиров.	НЧ	низкая	H90	Y5V	низкая	20 %	
C16	10 мкФ	разделит.	НЧ	низкая	Не нормируется		низкая	20 %	
C17	1000 мкФ	блокиров.	НЧ	низкая	Не нормируется		низкая	30 %	

NP0 – негатив-позитив ноль; X7R – в интервале рабочий температур от X (минус 55°C) до 7(+125°C) емкость конденсатора может измениться на R ($\pm 15\%$); Y5V - в интервале рабочий температур от Y (минус 30°C) до 7(+85°C) емкость конденсатора может измениться на V (от минус 82 % до + 22%). Графики зависимости относительного изменения емкости от температуры для различных по температурной стабильности групп конденсаторов представлены на рисунках 6.2. – 6.4.

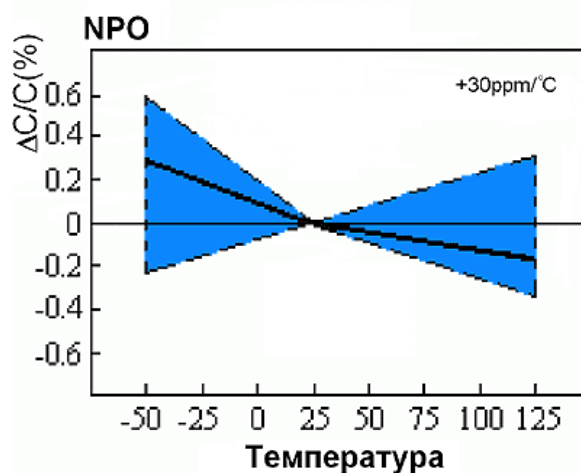


Рис. 6.2. Температурная зависимость изменения емкости для группы NP0

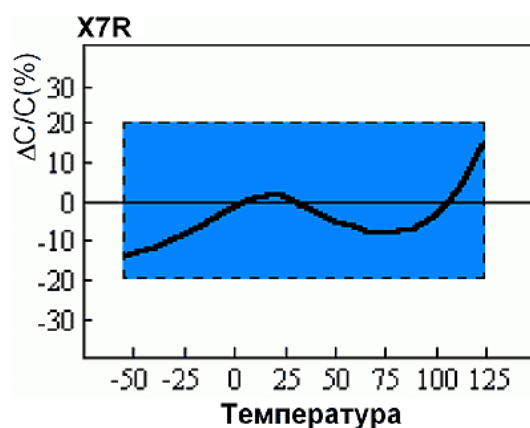


Рис. 6.3. Температурная зависимость изменения емкости для группы X7R

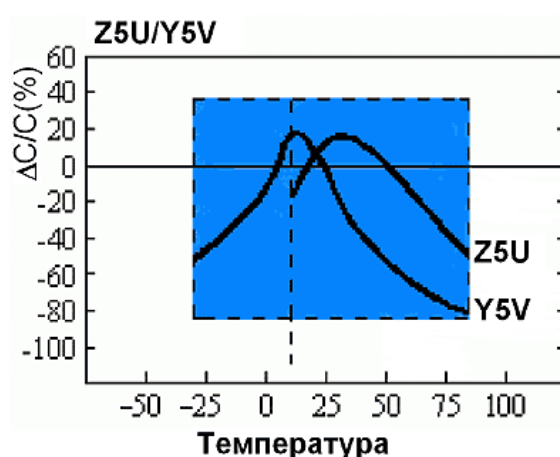


Рис. 6.4. Температурная зависимость изменения емкости для группы Y5V

Анализ таблицы 6.3 показывает, что присутствуют два номинальных значения емкости конденсаторов 160 пФ и 240 пФ, которые соответствуют только ряду номиналов E24. Остальные номиналы присутствуют в более низких рядах E6 и E12, что видно из таблицы 6.4.

Таблица 6.4

Номинальные значения для рядов E6, E12 и E24

Ряд	Числовые коэффициенты	Погрешность, ±%
E6	1; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8	20%
E12	1; 1,2; 1,5; 1,8; 2,2; 2,7; 3,3; 3,9; 4,7; 5,6; 6,8; 8,2	10%
E24	1; 1,1; 1,2; 1,3; 1,5; 1,6; 1,8; 2; 2,2; 2,4; 2,7; 3; 3,3; 3,6; 3,9; 4,3; 4,7; 5,1; 5,6; 6,2; 6,8; 7,5; 8,2; 9,1	5%

Сегодня на российском рынке радиотоваров и радиокомпонентов отечественные изделия составляют лишь незначительную часть, вытесненные более современными, надежными и относительно доступными товарами

зарубежного производства. Проведен анализ номинальных значений SMD керамических конденсаторов фирм AVX, Epcos, Kemet, KOA, Murata, Panasonic, Samsung, Taiyo Yuden, TDK, Viking и российской «Кулон» показали, что номиналы ряда E24 присутствуют только у американской Kemet и российской «Кулон». Остальные фирмы работают по номиналу E12.

С американцами лучше не связываться по известным причинам. Примем такое решение: будем использовать номиналы ряда E24 российской фирмы «Кулон», а все остальные номиналы – какой либо зарубежной фирмы.

Минимальную стоимость имеют радиокомпоненты, произведенные в странах Юго-Восточной Азии, таких как КНР, Сингапур, Малайзия, Тайвань и другие. Китайские товары очень часто имеют низкое качество. По объему выпуску различных конденсаторов при приемлемом отношении цена/качество лидируют фирмы, расположенные на Тайване.

Компания Viking Tech Corporation — передовой производитель тонкопленочных пассивных компонентов, была основана в октябре 1997 года в Hsin-Chu Science Park, расположенном на Тайване. Компания позиционирует себя как лидер в области проектирования и производства тонкопленочных и толстопленочных (thin film & thick film) пассивных и дискретных электронных компонентов. В таблице 6.5 представлена номенклатура тонкопленочных SMD конденсаторов, выпускаем этой фирмой.

Таблица 6.5

Номенклатура тонкопленочных SMD конденсаторов фирмы Viking Tech Corporation

Производитель	Product/Продукт	Type/Тип	Series/серия	SPEC/технические данные	Capacitance Range / диапазон емкостей	Tolerance/отклонение от номинального значения емкости	Voltage / номинальное напряжение (Вольт)	Material / материал	Size / размер в дюймах
Viking Tech.Co. Тайвань		Multilayer Ceramic Capacitor / многослойный керамический чип конденсатор	MC-1		0.5 пФ ~100мкФ	$\pm 0.1, 0.25, 0.5 \text{ pF}$ $\pm 5\%, 10\%, 20\% - 20/+80\%$	6.3V, 10V, 16V 25V, 50V, 100V	NPO/X7R X5R/Y5V	0402/0603 0805/1206 1210/1812
V.T.Co.		Multilayer Ceramic Capacitor (Middle & High Voltage) / многослойный керамический чип конденсатор (среднего и высокого напряжения)	MC-2		0.5 пФ ~0.68мкФ	$\pm 0.25, 0.5 \text{ pF}$ $\pm 5\%, 10\%, 20\% - 20/+80\%$	200V, 250V 500V, 630V 1KV, 2KV, 3KV	NPO/X7R Y5V	0603/0805 1206/1210 1808/1812
V.T.Co.		Multilayer Ceramic Capacitor (Ultra-Small Capacitor) / многослойный керамический чип конденсатор (сверх миниатюрный)	MC-3		0.3 пФ ~0.1мкФ	$\pm 0.25, 0.5 \text{ pF}$ $\pm 5\%, 10\%, 20\%$	6.3V, 10V, 16V 25V, 50V	NPO/X7R X5R	0201
V.T.Co.		Multilayer Ceramic Capacitor (High Q, Low ESR) / многослойный керамический чип конденсатор (низкое входное сопротивление, высокая добротность)	MCHL		0.5 пФ ~3300пкФ	$\pm 0.1, 0.25, 0.5 \text{ pF}$ $\pm 5\%$	16V, 25V, 50V 100V	NPO	0402/0603 /0805
V.T.Co.		Multilayer Ceramic Capacitor (Ultra High Q, Low ESR) / многослойный керамический чип конденсатор (низкое входное сопротивление, сверх высокое значение добротности)	MCRF		0.1 пФ ~100пкФ	$\pm 0.05 \text{ pF} \sim \pm 0.5 \text{ pF}$ $\pm 1\%, \pm 2\%, \pm 5\%$	6.3V, 10V, 25V 50V, 100V, 250V	NPO	0201/0402 /0603 0805
V.T.Co.		Multilayer Ceramic Capacitor (Low Inductance) / многослойный керамический чип конденсатор (низкое значение индуктивности)	MCLI		10 нФ ~150 нФ	$\pm 10\%, 20\%$	50V	X7R	0612

На рисунке 6.5 показаны внешний вид и устройство конденсаторов типа МС.

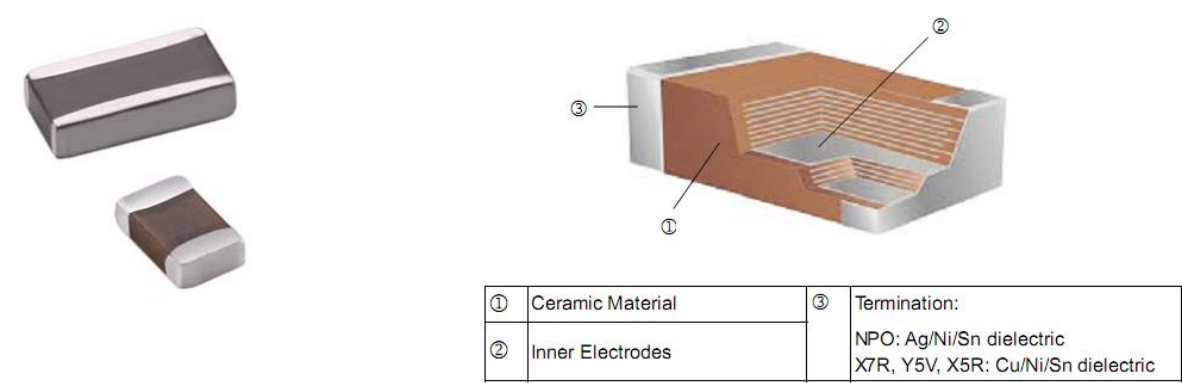


Рис. 6.5. Устройство конденсаторов типа МС

На рисунке 6.6 представлена расшифровка ПУО конденсаторов типа МС.

■Part Numbering

MC	03	J	T	N	250	3R9
Product Type	Dimensions (L×W)	Capacitance Tolerance	Packaging	Dielectric	Voltage (VDCW)	Capacitance
MC : General; Ultra-small Middle and High Voltage MCHL: High Q and Low ESR MCRF: Ultra High Q and Low ESR (RF) MCLI: Low Inductance	01: 0201 02: 0402 03: 0603 05: 0805 06: 1206 10: 1210 08: 1808 12: 1812 43: 0612	B: ±0.1pF (Cap≤5pF) C: ±0.25pF (Cap≤5pF) D: ±0.5pF (5pF<Cap<10pF) F: ±1% G: ±2% J: ±5% K: ±10% M: ±20% Z: +80/-20%	T: Taping Reel	N: NPO (COG) B: X7R F: Y5V X: X5R	6V3: 6.3V 250: 25V 500: 50V 101: 100V 102: 1000V 202: 2000V 302: 3000V	3R9: 3.9pF 150: 15pF 181: 180pF 225: 2.2μF 476: 47μF 107: 100μF

Рис. 6.6. Расшифровка ПУО конденсаторов типа МС

На рисунке 6.7 и таблице 6.6 представлены данные для нахождения размеров конденсаторов.

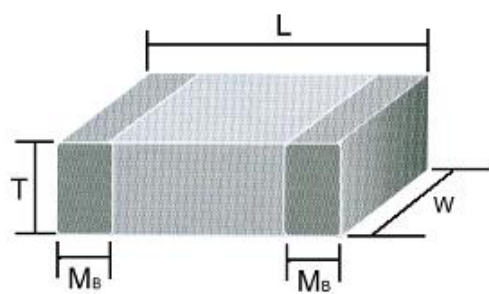


Рис. 6.7. Схема с обозначениями размеров конденсаторов

Таблица 6.6

Размеры тонкопленочных SMD конденсаторов фирмы Viking Tech Corporation

Type	Size (Inch)	L	W	T/Symbol		M _B	Packaging (7" Reel)	
							Paper tape	Plastic tape
01	0201	0.6±0.03	0.3±0.03	0.3±0.03	L	0.15±0.05	15K	-
02	0402	1.00±0.05	0.50±0.05	0.50±0.05	N	0.25 +0.05/-0.10	10K	-
03	0603	1.60±0.10	0.80±0.10	0.80±0.07	S	0.40±0.15	4K	-
		1.60 +0.15/-0.10	0.80 +0.15/-0.10	0.80 +0.15/-0.10	X		4K	-
05	0805	2.00±0.15	1.25±0.10	0.60±0.10	A	0.50±0.20	4K	-
				0.80±0.10	B		4K	-
				1.25±0.10	D		-	3K
		2.00±0.20	1.25±0.20	0.85±0.10	T		4K	-
				1.25±0.20	I		-	3K
06	1206	3.20±0.15	1.60±0.15	0.80±0.10	B	0.60±0.20	4K	-
				0.95±0.10	C		-	3K
				1.25±0.10	D		-	3K
		3.20±0.20	1.60±0.20	1.15±0.15	J		-	3K
				1.60±0.20	G		-	2K
		3.20±0.3/-0.1	1.60±0.3/-0.1	1.60±0.3/-0.1	P		-	2K
10	1210	3.20±0.30	2.50±0.20	0.95±0.10	C	0.75±0.25	-	3K
				1.25±0.10	D		-	3K
		3.20±0.40	2.50±0.30	1.60±0.20	G		-	2K
				2.00±0.20	K		-	1K
				2.50±0.30	M		-	1K
08	1808	4.50±0.40	2.03±0.25	1.25±0.10	D	0.75±0.25	-	2K
				2.00±0.20	K		-	1K
12	1812	4.50±0.40	3.20±0.30	1.25±0.10	D	0.75±0.25	-	1K
				2.00±0.20	K		-	1K
			3.20±0.40	2.50±0.30	M		-	0.5K

С целью уменьшения номенклатуры размеров примем все размеры конденсаторов 0805.

Конфигурация и размеры посадочного места для многослойных SMD конденсаторов соответствуют рекомендациям стандарта IPC-SM-782, если это не оговорено особо.

На рисунке 6.8 представлена схема для определения размеров этих контактных площадок и размеров посадочного места, а таблице 6.7 – расшифровка буквенных обозначений для каждого типоразмера конденсатора.

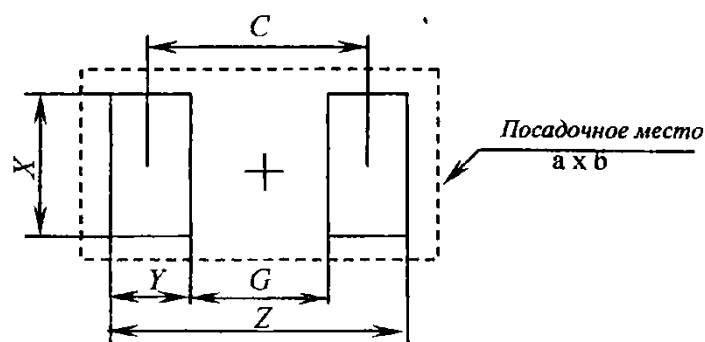


Рис. 6.8. Схема для определения размеров контактных площадок и посадочного места многослойных SMD конденсаторов

Посадочное место ($a \times b$) обеспечивает гарантированный зазор между компонентами для предотвращения образования перемычек из припоя. Площадь посадочного места при расчете можно считать площадью, которую компонент занимает на печатной плате.

Таблица 6.7

Расшифровка буквенных обозначений для каждого типоразмера конденсатора

Тип корпуса	Размеры, мм					
	Z	G	X	Y	C	ахб
0402	2.20	0.40	0.70	0.90	1.30	1x3
0504	2.40	0.40	1.30	1.00	1.40	2x3
0603	2.80	0.60	1.00	1.10	1.70	2x3
0805	3.20	0.60	1.50	1.30	1.90	2x4
1206	4.40	1.20	1.80	1.60	2.80	2x5
1210	4.40	1.20	2.70	1.60	2.80	3x5
1812	5.80	2.00	3.40	1.90	3.90	4x6
1825	5.80	2.00	6.80	1.90	3.90	7x6

Графически размеры посадочного места и контактных площадок представлена на рисунке 6.9.

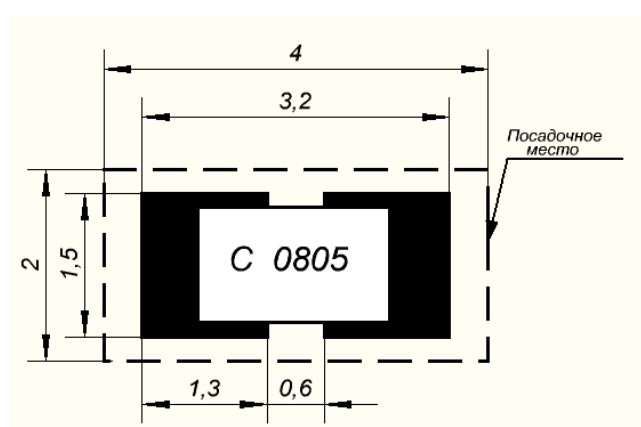


Рис. 6.9. Размеры посадочного места и контактных площадок SMD конденсаторов с размерами 0805

Площадь, занимаемая SMD конденсаторами с размерами 0805 равна 8 мм².

Тогда конденсаторы в зависимости от типа диэлектрика будут отличаться только толщиной Т. Коды толщины приведены в таблицах 6.8 – 6.10. Зная код, можно по таблице 6.8 определить толщину конденсатора.

Таблица 6.8

Коды толщины конденсаторов с диэлектриком NPO

EIA	Size	0402					0603					0805				
Code	VDCW	10V	16V	25V	50V	100V	10V	16V	25V	50V	100V	10V	16V	25V	50V	100V
6R8	6.8	N^	N^	N^	N^	N^	S	S	S	S	S	A	A	A	A	A
100	10pF	N	N	N	N	N	S	S	S	S	S	A	A	A	A	A
101	100pF	N	N	N	N	N	S	S	S	S	S	A	A	A	A	A

Код толщины конденсаторов А, а толщина равна 0,6 мм.

Таблица 6.9

Коды толщины конденсаторов с диэлектриком X7R

EIA	Size	0402			0603				0805				
Code	VDCW	10V	16V	25V	10V	16V	25V	50V	10V	16V	25V	50V	100V
473	0.047	N	N	N	S	S	S	X	B	B	B	B	D
154	0.15				S	X	X		D	D	D	D	

Код толщины конденсаторов C5, C12 и C13 8,05 В, а для конденсатора C14 - D. Толщины равна соответственно 0,8 мм и 1,25 мм.

Таблица 6.10

Код толщины конденсаторов с диэлектриком Y5V

EIA	Size	0402			0603				0805						
Code	VDCW	10V	16V	25V	10V	16V	25V	50V	10V	16V	25V	50V	100V		
104	0.10pF	N	N	N	S	S	S	S	A	A	A	A	B		
EIA	Size	1206					1210				1812				
Code	VDCW	10V	16V	25V	50V	100V	10V	16V	25V	50V	10V	16V	25V	50V	100V
104	0.10pF	B	B	B	B	B	C	C	C	C	D	D	D	D	D

Код толщины конденсатора C15 обозначен А, а толщина равна 0,6 мм.

Согласно техническим условиям ОЖ0.460.172 ТУ для конденсаторов типа К10-17В, имеющих позиционные обозначения С7 и С8 с номинальной емкостью 160 пФ, размеры равны $L \times W \times T = 1,5 \times 1,4 \times 1,4$ мм, а ширина вывода равна $M = 0,3$ мм. Конденсаторы с позиционными обозначениями С2 и С4 типа К10-17В с номинальной емкостью 240 пФ имеют размеры $L \times W \times T = 2 \times 1,9 \times 1,2$ мм, а ширина вывода равна $M = 0,3$ мм.

Размеры этих элементов не соответствуют стандартным. К сожалению в ТУ на эти конденсаторы не представлены размеры контактных площадок. Кроме этого эти конденсаторы имеют высоту, соизмеримую с шириной. В этом случае технологи рекомендуют ограничивать размеры контактных площадок от

торцов элементы до края площадки величиной от $0,67T$ до T (T - высота элемента). Примем это ограничение как $0,8T$.

Тогда длина посадочного места l будет равна

$$l = L + 2 \cdot 0,8T = L + 1,6T.$$

Для конденсаторов C7 и C8 эта величина будет равна

$$l_{C7,8} = L_{C7,8} + 1,6T_{C7,8} = 1,5 + 1,6 \cdot 1,4 = 3,74 \text{ мм}.$$

Для этих же конденсаторов ширина посадочного места w будет равна

$$w_{C7,8} = W_{C7,8} + 0,5 = 1,4 + 0,5 = 1,9 \text{ мм}.$$

Расстояние между контактными площадками G определим по формуле

$$G_{C7,8} = L_{C7,8} - 2M_{C7,8} = 1,5 - 2 \cdot 0,3 = 0,9 \text{ мм}.$$

Тогда размер контактной площадки вдоль длины посадочного места будет равен

$$Y_{C7,8} = \frac{l_{C7,8} - G_{C7,8}}{2} = \frac{3,74 - 0,9}{2} = 1,42 \text{ мм} = 1,42 \text{ мм}.$$

Тогда размеры ($l_{C7,8} \times w_{C7,8}$) и площадь $S_{C7,8}$ посадочного места для конденсаторов C7 и C8 (240 пФ) будет равна

$$S_{C7,8} = l_{C7,8} \times w_{C7,8} = 3,74 \times 1,9 \text{ мм} \approx 7,1 \text{ мм}^2.$$

Графически эти параметры представлена на рисунке 6.10.

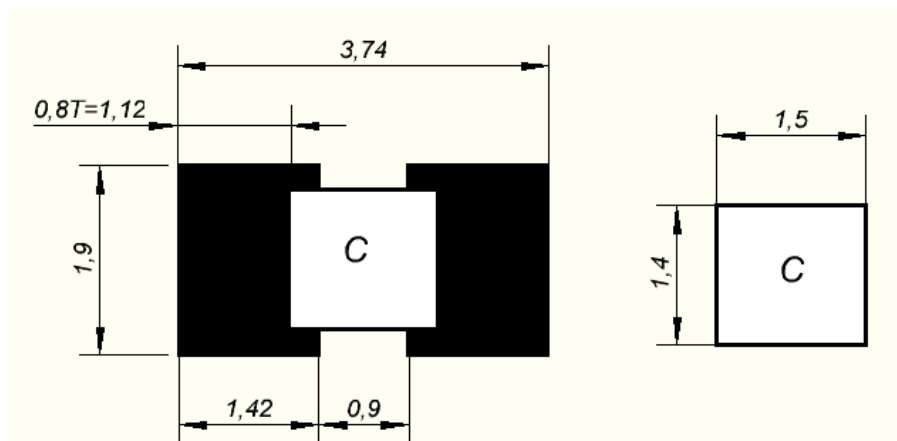


Рис. 6.10. Установочный размер SMD конденсаторов C7 и C8

Для конденсаторов C2 и C4 длина посадочного места l будет равна

$$l_{C2,4} = L_{C2,4} + 1,6T_{C2,4} = 2 + 1,6 \cdot 1,2 = 3,92 \text{ мм}.$$

Для этих же конденсаторов ширина посадочного места w будет равна

$$w_{C2,4} = W_{C2,4} + 0,5 = 1,9 + 0,5 = 2,4 \text{ мм}.$$

Расстояние между контактными площадками G определим по формуле

$$G_{C2,4} = L_{C2,4} - 2M_{C2,4} = 2 - 2 \cdot 0,3 = 1,4 \text{ мм}.$$

Тогда размер контактной площадки вдоль длины посадочного места будет равен

$$Y_{C2,4} = \frac{l_{C2,4} - G_{C2,4}}{2} = \frac{3,92 - 1,4}{2} = 1,26 \text{ мм.}$$

Тогда размеры ($l_{C2,4} \times w_{C2,4}$) и площадь $S_{C2,4}$ посадочного места для конденсаторов C2 и C4 (240 пФ) будет равна

$$S_{C2,4} = l_{C2,4} \times w_{C2,4} = 3,92 \times 2,4 \text{ мм} \approx 9,4 \text{ мм}^2.$$

Графически эти параметры представлена на рисунке 6.11.

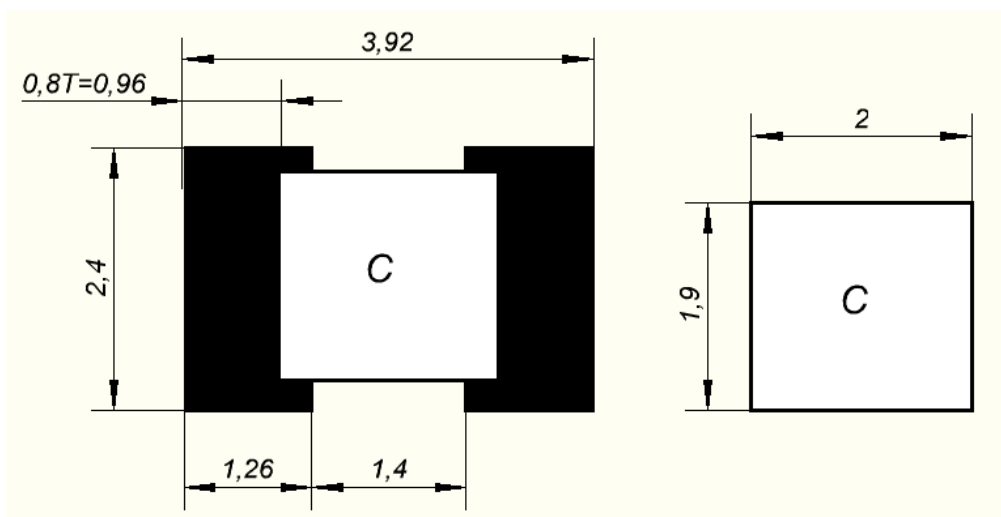


Рис. 6.11. Установочный размер SMD конденсаторов C2 и C4

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данные методические указания направлены на изучение вопросов выбора элементной базы устройства и составления перечня элементов.

При необходимости углубить теоретические знания по рассмотренным темам следует обратиться к библиографическому списку.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СТП ВГТУ 62-2007 Текстовые документы. Правила оформления [Текст]. - Воронеж: ВГТУ, 2007. – 53 с
2. Epcos Tantalum Chip Capacitors Speed Power, Low ESR Ordering code: B45197A2227+50*. [Текст]. - Электрон. дан. - Режим доступа : <http://www.farnell.com/datasheets/58262.pdf>
3. Polymer Aluminum Electrolytic Capacitors. [Текст]. - Электрон. дан. - Режим доступа : [http // www. murata. com. / Catalog № C90E-1](http://www.murata.com/Catalog№C90E-1)
4. Куневич, А.В. Индуктивные элементы на ферритах [Текст]. / А.В. Куневич, И.Н. Сидоров.- СПб: Лениздат, 1997.- 475с
5. Транзисторы: Справочник [Текст]. / О. П. Григорьев, В. Я. Замятин, Б. В. Кондратьев, С. Л. Пожидаев - М.: Радио и связь, 1989. - 272 с.: ил
6. Ляровский, В.Ф. Электрические соединители: Справочник. [Текст]. / В.Ф Ляровский , О. Б. Мурадян — М.: Ра-дио и связь, 1988. — 272 с.: ил.
7. Мухитдинов, М. Светоизлучающие диоды и их применение [Текст]. / М. Мухитдинов, Э.С Мусаев - М.: Ра-дио и связь, 1988г. - 80 с.: ил
8. Электронный каталог «Конденсаторы керамические SMD Viking Tech Corporation» [Текст]. - Электрон. дан. - Режим доступа : <https://www.promelec.ru/catalog/5/48/67/brand-viking/>
9. Электронный каталог «Чип-резисторы толстопленочные общего применения» [Текст]. - Электрон. дан. - Режим доступа : <https://www.erkonn.ru/catalog/rezistory-obshchego-primeneniya/r1-12/>

ПРИЛОЖЕНИЕ

37

Зона	Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
	R5	KLC4-WH148-1A-5-18T-C223-L20 KLC4-WH148-1A-5-18T- 0,065-22 кОм ± 20% - B	1	KLS Electronic
	R8	P1-12-0,125-2,2 кОм ± 5 %-M	1	
	SB1	Переключатель кнопочный SPA-106A1 <u>Switronic</u>	1	
	T8	Усилитель мощности НЧ	1	
	XP1	Гнездо DS-028 DCI	1	
	XS1	Гнездо ST-002 DCI	1	
	DA1	Микросхема TCA440/T Philips	1	
			1	
	T1	УВЧ	1	
	T2	Усилитель АРУ ВЧ	1	
	T3	Смеситель балансный	1	
	T4	<u>Гетереодин</u>	1	
	T5	Стабилизатор напряжения	1	
	T6	УПЧ	1	
	T7	Усилитель АРУ ПЧ	1	

					РИВА.464311. 001ПЭ2	Лист
						2
Изм.	Лист	Несколько	Подп.	Дата		

Зона	Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		Конденсаторы		
		MC Viking		
		T491 Kemet		
	C1	MC05JTN160689 / MC-16B-6,8 нФ ± 5%-M47	1	
	C2*	MC05JTN160241 / MC-16B-240 нФ ± 5%-M47	1	220, 250 нФ
	C3	CBM-202B2 Epcos	1	17 – 180 нФ
	C4*	MC05JTN160241 / MC-16B-240 нФ ± 5%-M47	1	220, 250 нФ
	C5	MC05KTB160474 / MC-16 B – 0,047 мкФ ± 10%-H10	1	
	C6	MC05JTN160100 / MC-16B-10 нФ ± 5%-M47	1	
	C7, C8	MC05KTN160161 / MC-16B-160 нФ ± 10%-M470	2	
	C9	MC05JTN101161 / MC-16B-100 нФ ± 5%-M330	1	
	C10, C11	K53-81-16 B-4,7 мкФ ± 20% РАНС.673546.001ТУ	2	
	C12,C13	MC05KTB160474 / MC-16 B – 0,047 мкФ ± 10%-H10	2	
	C14	MC05MTF160154 / MC-16 B -0,15 мкФ ± 20%-H90	1	
	C15	MC05MTF160104 / MC-16 B -0,1 мкФ ± 20%-H90	1	
	C16	K53-81-16 B-10 мкФ ± 20% РАНС.673546.001ТУ	1	
	C17	SKR102M1CG16 / SKR-16B-1000 мкФ ± 20 %	1	Jamicon
	DA1	Микросхема TCA440 / T Philips	1	
	HL1	Светодиод KP 2012ES Kingbright	1	
		Катушки индуктивности Viking		
	L1	WL08KT222 / WL08 – 0,17 - 2,2 мГн ± 10 %	1	
РИВА.464311. 001ПЭЗ				
Изм.	Лист	Подпись	Дата	
Разраб.	Иванов			
Провер.	Худяков			
Н.контр.	Зеленин			
Умк	Журавлев			
Приемник Перечень элементов			Питера	Лист
			Y	1
			ВГУ ФРТЭ	РЭС РП - 171

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	2
1. Лабораторная работа № 2. Выбор элементной базы	3
2. Содержание работы.....	3
3. Общие теоретические сведения	3
4. Резисторы постоянные.....	5
5. Выбор переменных резисторов.....	16
6. Выбор конденсаторов постоянной емкости	21
Заключение.....	35
Библиографический список.....	36
Приложение. Перечни элементов к функциональной и принципиальной схемам приемника	36

Основы конструирования и технологии производства радиоэлектронных средств

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

*к выполнению лабораторной работы № 2
для студентов специальности 11.05.01
«Радиоэлектронные системы и комплексы»
очной формы обучения*

Часть I

Составитель
Худяков Юрий Васильевич

В авторской редакции

Подписано к изданию 23.09.2022.
Уч.-изд. л. 2,1.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84