

**МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ  
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)**

С.Н.Кузнецов

В.Н.Постникова

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ  
К  
ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИМ РАБОТАМ  
ПО КУРСУ  
«ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА РЭС»**

**Москва 2005 г.**

УДК: 621.315.5/6; 621.318.1; 666.65; 621.38.049.77; 621.382.037.37.

Предлагаемый сборник лабораторно-практических работ включает в себя 4 работы по разделу «Элементная база» курса «Радиоматериалы и радиокомпоненты», «Химия радиоматериалов и элементная база РЭС», который читается студентам радиотехнических специальностей.

Первая работа посвящена исследованию резисторов, вторая – конденсаторов, третья – катушек индуктивности, четвертая – интегральных схем.

Результатом выполнения вышеперечисленных работ является знакомство студентов с принципами действия элементов РЭС, с их типами, основными конструктивными и эксплуатационными характеристиками, областями применения и системой условных обозначений.

Рецензенты: зав. отделом АО ВНИИТР, к.т.н. В.З.Хаимов, начальник НИЛ ОАО «Корпорация «Фазотрон-НИИР», д.т.н. С.Б.Беневоленский, зав. Кафедрой «Электроника и информатика» РГТУ им. К.Э.Циолковского.

## Лабораторная работа № 1

### ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕЗИСТОРОВ

Цель работы: исследование характеристик различных типов резисторов, приобретение навыков работы с измерительными приборами.

Резисторы – одна из самых распространенных деталей РЭА. Принцип действия резисторов основан на свойстве материала оказывать сопротивление проходящему электрическому току.

Основная функция резистора состоит в регулировании и распределении электрической энергии между цепями и элементами схемы.

#### Основные параметры резисторов.

1. Величина сопротивления (номинал)  $R_{\text{ном}}$ .
2. Относительное отклонение от номинала (допуск)
3. Номинальная мощность рассеивания  $P_{\text{ном}}$ .
4. Рабочее напряжение  $U_p$ .
5. Температурный коэффициент сопротивления ТКС

$$\delta R = (R_{\text{ном}} - R) / R_{\text{ном}} \times 100\% , \text{ где}$$

$R$  – фактическое сопротивление.

$$\text{ТКС} = (1/R_0) \times (dR / dT) [1/^\circ\text{C}]$$

6. Уровень собственных шумов  $E_{\text{ш}}$ .
7. Функциональная характеристика для переменных резисторов.
8. Разрешающая способность переменных резисторов
9. Шумы скольжения.

**Номинальное сопротивление** — электрическое сопротивление, значение которого указывается на резисторе (или указано в нормативной документации) и которое является исходным для отсчета отклонений от этого значения. Диапазон номинальных сопротивлений установлен следующим образом:

для постоянных сопротивлений — от долей ома до единиц тераом;

для переменных проволочных — от 0,47 до 1 МОм;

для переменных непроволочных — от 1 до 10. МОм.

Для постоянных резисторов установлено шесть рядов номинальных значений сопротивлений: E6; E12; E24; E48; E96; E192, а для переменных установлен ряд E6 (допускается использовать ряд E3). Цифра после буквы E указывает число номинальных значений в каждом десятичном интервале.

В табл. 1. приведены значения номинальных сопротивлений по ряду E192. Если это значение принадлежит также ряду E96, то ставится знак +, если ряду E96 и ряду E48, то ставится знак ++. Во второй части таблицы даны значения номинальных сопротивлений по ряду E24. Если это значение принадлежит также ряду E12, то ставится знак +, если ряду E12 и ряду E6, то ставится знак ++, если рядом E12, E6 и E3, то ставится знак +++.

В табл. 1. указаны номинальные значения сопротивлений для одной декады. Для перехода на другие декады нужно умножить эти числа на  $10^n$ , где  $n$  — целое положительное или отрицательное число.

Для прецизионных и сверхпрецизионных резисторов с допусками  $\pm 0,01$ ;  $\pm 0,005$ ;  $\pm 0,002$ ;  $\pm 0,001\%$  номинальные сопротивления устанавливаются из ряда, полученного умножением чисел 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9 на  $10^n$ , где  $n$  — целое положительное число от 1 до 6.

Для перехода на другие декады нужно умножить эти числа на  $10^n$ , где  $n$  — целое положительное или отрицательное число.

Таблица 1.

Ряд 1	Ряд 2	Ряд 3	Ряд 4	Ряд 5	Ряд 6	Ряд 7	Ряд 8
Номинальные сопротивления по ряду E48, E96, E192							
100++	133++	178++	237++	316++	422++	562++	750+ <sup>-1</sup>
101	135	180	240	320	427	569	759
102+	137+	182+	243+	324+	432+	576+	768+
10-1	138	184	246	328	437	583	777
105++	140++	187++	249++	332++	442++	590++	787++
106	142	189	252	336	448	597	796
107+	143+	191+	255+	340+	453+	604+	806+

109	145	193	258	344	459	612	816
110++	147++	Г96++	261++	348++	464++	619++	825++
1) 1	149	198	264	352	470	626	835
ПЗ+	150+	200+	267+	357+	475+	634+	845+
114	152	203	271	361	481	642	856
115++	154++	205++	274++	365++	487++	649++	866++
117	156	208	277	370	493	657	876
118+	158+	210+	280+	374+	499+	665+	887+
120	160	213	284	379	505	673	898
121++	162++	215++	287++	383++	511++	681++	909++
123	164	218	291	388	5) 7	690	920
124+	165+	221+	294+	392+	523+	698+	931+
126	167	223	298	397	530	706	942
127++	169++	226++	301++	402++	536++	715++	953++
129	172	229	305	407	542	723	965
130+	174+	232+	309+	412+	549+	732+	976+
132	176	234	312	417	556	741	988
Номинальные сопротивления по ряду E3, E6, E12, E24							
100+++	130	180+	240	330++	430	560+	750
110	150++	200	270+	360	470+++	620	820+
120+	160	220+++	300	390+	510	680++	9) 0

**Номинальная мощность** рассеивания  $P_n$  - максимальная мощность, которую резистор может рассеивать в заданных условиях в течении гарантированного срока службы при сохранении параметров в установленных пределах.

**Рабочее напряжение**  $U_p$  – максимальное допустимое напряжение, при котором резистор работает без изменения своих параметров. Величина рабочего напряжения зависит от конструкции резистора, размера и способа его изготовления.

**Температурный коэффициент сопротивления ТКС** - это величина, характеризующая относительное изменение сопротивления при изменении температуры. Чем меньше ТКС, тем лучшей температурной стабильностью обладает резистор. Значение ТКС прецизионных резисторов составляет  $10^{-2}$  -  $10^{-4}$  [1/°C].

**Собственные шумы резистора** складываются из тепловых и токовых шумов. Тепловые шумы связаны с флуктуационными изменениями объемной концентрации носителей заряда в резистивном элементе, обусловленными их тепловым движением. Спектр тепловых шумов непрерывный. Тепловой шум зависит от температуры и номинальной величины сопротивления.

Токовые шумы обусловлены флуктуациями контактных сопротивлений между проводящими частицами, а также трещинами и неоднородностями резистивного элемента. Токовые шумы зависят от материала и конструкции резистора и наиболее характерны для непроволочных резисторов. Они значительно больше тепловых шумов, их спектр частот также непрерывен и не подчиняется никакому периодическому закону.

**Функциональная характеристика** для переменных резисторов. Это зависимость сопротивления переменного резистора от положения подвижного контакта. По характеру функциональной зависимости переменные резисторы делятся на линейные – типа А и нелинейные – типов Б (логарифмическая), В (обратнологарифмическая), И, Е и др.

**Разрешающая способность переменных резисторов.** Этот параметр показывает, при каком наименьшем изменении угла поворота или перемещении подвижной системы может быть различимо изменение сопротивления резистора.

**Шумы скольжения.** Это шумы, возникающие в динамическом режиме при движении подвижного контакта. Эти шумы зависят от состояния контактов, скорости перемещения и других причин.

### **Классификация резисторов.**

#### 1. По назначению.

- Резисторы общего назначения. Эти резисторы изготавливают с диапазоном номинальных сопротивлений от 0,47 до  $10^{10}$  Ом, номинальные мощности рассеяния составляют 0,062 – 100 Вт.

- Прецизионные резисторы отличаются высокой стабильностью параметров при эксплуатации и высокой точностью изготовления (допуск составляет от 0,0005% до 0,5%). Мощности рассеяния таких резисторов не превышают 2 Вт.

- Высокочастотные резисторы. Эти резисторы отличаются малыми значениями собственной индуктивности и емкости.

- Высоковольтные резисторы. Эти резисторы рассчитаны на рабочие напряжения от единиц до десятков киловольт.

- Высокомегаомные резисторы. Эти резисторы имеют диапазон номинальных сопротивлений от десятков мегаом до единиц тераом при рабочих напряжениях 100 ...400 В. Они работают в ненагруженном режиме и мощности их рассеяния меньше 0,5 Вт.

- Резисторы для интегральных схем, которые различают по материалам и технологии изготовления. Можно выделить три большие группы:

- Тонкопленочные;
- Толстопленочные;
- Полупроводниковые.

Толстопленочные резисторы ( $d = 15 - 25$  мкм) получают нанесением через трафарет специальных паст на поверхность подложки с последующим вжиганием.

Тонкопленочные резисторы ( $d = 1$  мкм) выполняют методом напыления. Форма резистора может быть любой и определяется величиной номинального сопротивления и рассеиваемой мощностью.

В полупроводниковых ИС резисторы формируют в поверхностном слое полупроводниковой подложки методом локальной диффузии легирующей примеси через трафарет. При этом образуются резистивные области необходимой величины и формы. Такие резисторы называют диффузионными. Величина сопротивления зависит от:

- степени легирования,
- характера проводимости.

## 2. По характеру изменения сопротивления.

- Постоянные резисторы имеют фиксированное номинальное значение, которое в процессе эксплуатации меняется только в соответствии с допуском.

- Переменные регулировочные – резисторы, которые меняют сопротивление в процессе функционирования.

- Переменные подстроечные – резисторы, которые изменяют сопротивление при разовой или периодической регулировке и не изменяются в процессе эксплуатации.

## 3. По типу проводящего элемента.

- Проволочные.
- Непроволочные.
- Металлофольговые.
- Полупроводниковые.

Проволочные – резистивный элемент из волоченой или литой проволоки с высоким удельным сопротивлением (манганин, нихром, константан и др.)

Непроволочные резисторы имеют небольшие размеры, относительно малое реактивное сопротивление, невысокую стоимость, но при этом обладают невысокой стабильностью

Непроволочные резисторы можно разделить:

- пленочные;
- объемные;
- полупроводниковые.

В пленочных резисторах резистивный элемент представляет собой металлоокисную или металлодиэлектрическую пленку, нанесенную на диэлектрическое основание, выполненное, как правило, в виде стержня.

В объемных резисторах резистивный элемент изготавливается из композиционных материалов и занимает весь объем резистора.

Полупроводниковые резисторы, как правило, нелинейные, т.е. для них не выполняется линейная зависимость между током и приложенным напряжением. Эти резисторы используются в аппаратуре автоматики,



телемеханики, измерительной техники и индикаторной РЭА. К таким резисторам относятся:

1. Терморезисторы – полупроводниковые резисторы, сопротивление которых меняется в зависимости от температуры. Такие резисторы выполняются из материалов с большим значением ТКС (положительным или отрицательным). К числу таких резисторов относятся медномарганцевые (ММТ) и кобальтомарганцевые (КМТ).

2. Фоторезисторы – полупроводниковые резисторы, сопротивление которых зависит от освещенности. Основным элементом фоторезистора является светочувствительный слой, наносимый на изолирующую подложку (стеклянную). Наибольшее распространение получили сернистосвинцовые, сернистокадмиевые и из сульфида висмута.

4. Варисторы – полупроводниковые резисторы, сопротивление которых зависит от приложенного напряжения. Вольт-амперная характеристика варистора нелинейна.

### **Условное обозначение резисторов**

В соответствии с действующей системой сокращенных и полных условных обозначений сокращенное условное обозначение, присваиваемое резисторам, должно состоять из следующих элементов:

Первый элемент – буква или сочетание букв, обозначающее подкласс резистора (Р – резистор постоянный, РП – резистор переменный, НР – набор резисторов.)

Второй элемент – цифра, обозначающая резистор по материалу резистивного элемента (1 – непроволочный, 2 – проволочный или металлофольговый).

Третий элемент – регистрационный номер конкретного типа резистора.

Далее указываются параметры и характеристики резистора:

- номинальная мощность рассеяния,

- номинальное сопротивление и буквенное обозначение единицы измерения (Ом, КОм, МОм, ГОм, ТОм),
- допускаемое отклонение сопротивления в процентах (допуск),
- группа по температурному коэффициенту сопротивления (ТКС).

Для резисторов переменных:

- номинальное сопротивление и буквенное обозначение единицы измерения,
- допуск,
- функциональная характеристика.

Пример: постоянный непроволочный резистор с регистрационным номером 4, номинальной мощностью рассеяния 0,5 Вт, номинальным сопротивлением 10 КОм, с допуском 1 %, группой ТКС Б, всеклиматического исполнения В (Т – тропического):

R1-4-0.5-10 КОм 1% Б В.

По существовавшей ранее системе буквы обозначали: С – резисторы постоянные, СП – резисторы переменные. Число, стоящее после букв, обозначало разновидность резистора в зависимости от материала токопроводящего элемента:

- 1 – непроволочные тонкослойные углеродистые и бороуглеродистые;
- 2 – непроволочные тонкослойные металлодиэлектрические и металлоокисные;
- 3 – непроволочные композиционные пленочные;
- 4 – непроволочные композиционные объемные;
- 5 – проволочные;
- 6 – непроволочные тонкослойные металлизированные.

Например, С2-33 – резистор постоянный, непроволочный, тонкослойный, металлоокисный.

Для обозначения номиналов и допусков миниатюрных резисторов использую буквенно-цифровую систему кодирования или цветную маркировку.

Маркировка на резисторах также буквенно-цифровая. Она содержит: вид, номинальную мощность, номинальное сопротивление, допуск и дату изготовления. В зависимости от размеров маркируемых резисторов и вида

технической документации применяют полные и сокращенные (кодированные) обозначения номинальных сопротивлений и допусков. Полное обозначение номинальных сопротивлений состоит из значения номинального сопротивления (цифра) и обозначения единицы измерения. Например. 91 Ом, 24 КОм, 1,5 МОм, 5, 1. ГОм, 1,1 ТОм.

Кодированное обозначение номинальных сопротивлений состоит из трех или четырех знаков, включающих две цифры и букву или три цифры и букву. Буква кода из русского или латинского (в скобках) алфавита обозначает множитель, составляющий сопротивление, и определяет положение запятой десятичного знака. Буквы **R, K, M, G, T** обозначают соответственно множители  $1, 10^3, 10^6, 10^9, 10^{12}$  для сопротивлений, выраженных в омах.

Полное обозначение допускаемого отклонения состоит из цифр, кодированное— из буквы. Кодированные обозначения допусков совпадают с международными стандартами (публикации Международной электротехнической комиссии) — таблица 2.

На постоянных резисторах допускается маркировка цветным кодом. Ее наносят знаками в виде кругов или полос. Для маркировки цветным кодом номинальное сопротивление резисторов в омах выражается двумя или тремя цифрами и множителем  $10^n$ , где  $n$ — любое число от -2 до 9.

Таблица 2.

ГОСТ 11076-69		Публикация 62 и 115-2 МЭК	
Допуск, %	Кодированное обозначение	Допуск, %	Кодированное обозначение
±0,001	<b>E</b>	±0,001	<b>E</b>
±0,002	<b>T</b>	±0,002	<b>T</b>
±0,005	<b>R</b>	±0,005	<b>R</b>
±0,01	<b>P</b>	±0,01	<b>P</b>
±0,02	<b>L</b>	±0,01	<b>L</b>
±0,05	<b>X</b>	±0,05	<b>X</b>

±0,10	<b>B</b>	± 0,10	<b>B</b>
±0. 25	<b>C</b>	±0,25	<b>C</b>
± 0, 50	<b>D</b>	±0,50	<b>D</b>
±1	<b>F</b>	±1	<b>F</b>
±2	<b>G</b>	±2	<b>G</b>
±5	<b>J</b>	±5	<b>J</b>
±Ю	<b>K</b>	±10	<b>K</b>
±20	<b>M</b>	+20	<b>M</b>
±30	<b>N</b>	+30	<b>N</b>

Маркировочные знаки сдвигают к одному из торцов резистора и располагают слева направо в следующем порядке:

первая полоса — первая цифра;

вторая полоса — вторая цифра;

третья полоса — множитель;

четвертая полоса — допуск.

Цвета знаков маркировки номинального сопротивления должны соответствовать указанным в табл. 3.

Таблица 3.

Цвет знака	Номинальное сопротивление. Ом				Допуски
	Первая цифра	Вторая цифра	Третья цифра	Множитель	
Серебристый	.	.	.	$10^{-2}$	±10
Золотистый	.	-	-	$10^{-3}$	±5
Черный		0		1	±1
Коричневый	1	1	1	10	±1
Красный	2	2	2	$10^2$	±2
Оранжевый	3	3	3	$10^{-3}$	±2
Желтый	4	4	4	$10^{-2}$	±1
Зеленый	5	5	5	$10^5$	±0,50

Голубой	6	6	6	$10^6$	$\pm 0,25$
Фиолетовый	7	7	7	$10^7$	$\pm 0,10$
Серый	8	8	8	$10^8$	$\pm 0,05$
Белый	9	9	9	$10^9$	-

Для резисторов с номинальным сопротивлением, выраженным тремя цифрами и множителем, цветная маркировка состоит из пяти знаков (полос). Первые три полосы — три цифры, четвертая и пятая — множитель и допуск. Если размеры резистора не позволяют разместить маркировку ближе к одному из торцов резистора, площадь первого знака (ширину первой полосы) делают примерно в 2 раза больше других знаков.

### Конструкции резисторов

На рис.1.1 – 1.6 представлены конструкции постоянных резисторов. Конструкции резисторов С1, С2, С3 представляют собой керамический стержень на который наносят тонкое покрытие резистивного слоя (единицы микрон) (рис. 1.1). После этого, (при необходимости) для увеличения номинального сопротивления резистора на резистивном слое делают винтовую нарезку и покрывают резистор гидрофобной эмалью. Цвет эмали характеризует тип резистора и материал резистивного покрытия. Например, красный цвет – резистор С2 с металлоокисным или металлодиэлектрическим резистивным слоем.

Рис.1.1. Схемы конструкций резистивных элементов.

а – объемная (цилиндрическая); б и в – пленочная, г – пленочная со спиральной нарезкой; д – пленочная с прорезями; е – с проволочным резистивным элементом; ж – подковообразная; з – шайбовая; и – дисковая.

Резисторы типа С4 (рис. 2) изготавливают объемными и прессуются из резистивного композиционного материала, после чего опрессовываются стеклоэмалью.

Рис. 1.2. Конструкции объемных постоянных резисторов.

а – мощностью до 10 Вт, б – более 10 Вт,

1 – проводящая композиция, 2 – изоляционное основание, 3 – защитный слой, 4 – выводы.

Для изготовления резисторов типа С5 (рис.1.3) используется высокоомная проволока, которая наматывается на керамический стержень.

Рис.1.3. Конструкции постоянных проволочных резисторов.

а - однослойный лакированный; б – однослойный на трубчатом каркасе типа ПЭВ; в – герметизированный однослойный типа С5-5;

1 – резистивная проволока; 2 – керамический каркас резистивного элемента; 3 – контактные колпачки; 4 – выводы; 5 – изоляционный герметизирующий слой; 6 – защитный кожух; 7 – керамические шайбы.

На рис. 1.4 приведена конструкция пленочного резистора переменного сопротивления.

Рис. 1.4. Конструкция пленочного резистора переменного сопротивления.

1 – резистивный элемент; 2 – заклепка; 3, 11, 12 – выводные лепестки; 4 – основание из пластмассы; 5 – токосъемник; 6 – контактная щетка; 7 – щеткодержатель; 8 – ось; 9 – втулка; 10 – металлическая крышка.

Рис.1.5. Конструкция металлопленочного резистора МЛТ.

1 – изоляционное основание; 2 – резистивная пленка; 3 – контактный узел; 4 – защитное покрытие; 5 – выводы.

Рис.1.6. Конструкции металлоокисных резисторов.

а – МОН; б – МОУ; в – МОУ-Ш.

### **Порядок выполнения работы**

1. Определить тип резисторов, выданных преподавателем, используя стенды и справочные материалы.

2. Произвести измерение номинального сопротивления каждого резистора с помощью измерительного прибора.

3. Сравнить полученный результат с указанным на резисторе и вычислить отклонение (абсолютное и относительное).
4. Используя справочные материалы, определить параметры каждого типа резистора:
  - Номинальную мощность рассеивания;
  - Допуск;
  - Рабочее напряжение;
  - ТКС;
  - Уровень собственных шумов;
  - Диапазон рабочих температур и др.
5. Оформить отчет о проделанной работе.

#### **Контрольные вопросы.**

1. Классификация резисторов по конструкции.
2. Что такое резисторы общего назначения и специального назначения.
3. Перечислите основные параметры резисторов.
4. Параметры переменных резисторов.
5. Чем определяются шумы резистора.
6. Полупроводниковые резисторы.
7. Непроволочные резисторы. Основные типы.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Волгов В.А. Детали и узлы радиоэлектронной аппаратуры.- М.: Энергия, 1977.
2. Фролов А.Д. Радиодетали и узлы. - М.: «Высшая школа», 1975.
3. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. М.: Советское радио, 1980
4. Партала О.Н. Радиокomпоненты и материалы. Справочник. Киев, «Радиомотор», М.: «КУБК-а», 1998.





## Лабораторная работа № 2

### ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОНДЕНСАТОРОВ

Цель работы: изучение основных параметров конденсаторов; знакомство с различными типами конденсаторов и их условными обозначениями; экспериментальное исследование емкости конденсаторов приобретение навыков работы со справочными данными.

Конденсатор предназначен для создания в цепи электрической емкости. Электрическая емкость конденсатора – способность конденсатора накапливать на обкладках электрический заряд под действием внешнего поля.

Емкость конденсатора создается за счет процессов поляризации его диэлектрика в электрическом поле, т. е. смещения электронов, ионов, полярных молекул диэлектрика и т. д. В реальных диэлектриках всегда имеется несколько разных видов поляризации, хотя преобладающим может быть один.

#### Основные параметры конденсаторов.

$C_{\text{ном}}$  - номинальное значение емкости конденсатора;

$\delta C$  - допустимое отклонение величины емкости от номинальной (%);

$U_p$  - номинальное рабочее напряжение;

$T_p$  – максимальная и минимальная рабочие температуры;

ТКЕ – температурный коэффициент емкости;

$\text{tg}\delta$  - тангенс угла потерь в конденсаторе.

- **Номинальная емкость** — емкость конденсатора, обозначенная на корпусе или в сопроводительной документации. Номинальные значения емкостей стандартизованы. Для емкостей установлены семь рядов

номинальных значений: E3, E6, E12, E24, E48, E95, E192 (см. табл.1 в лабораторной работе № 1).

В условном обозначении номинальную емкость указывают в виде конкретного значения, выраженного в пикофарадах (пФ) или микрофарадах (мкФ).

- Фактическое значение емкости может отличаться от номинального на величину *допускаемого отклонения* в процентах. Допускаемые отклонения кодируют соответствующими буквами (табл.1).

Таблица 1.

Допускаемое отклонение емкости, %	Код	Допускаемое отклонение емкости, %	Код	Допускаемое отклонение емкости, %	Код
±0,1	B(Ж)	±10	K(С)	-20...+50	S(B)
±0,2	C(У)	±20	M(В)	-20...+80	Z(A)
±0,5	D(Д)	±30	N(Ф)	±0,1	B
±1	F(Р)	-10...+30	0	±0,25	C
±2	G(Л)	-10...+50	T(Э)	±0,5	D
±5	J(И)	-10...+100	Y(Ю)	±1	F

- **Температурный коэффициент емкости ТКЕ.** Этот параметр применяется для характеристики конденсаторов с линейной зависимостью емкости от температуры. Он определяет относительное изменение емкости от температуры при изменении ее на 1°С.

$$ТКЕ = (1/C_0) \times (dC/ dT) [1/°C]$$

Значения ТКЕ керамических конденсаторов и их кодированные обозначения приведены в таблице 2.

Слюдяные и полистирольные конденсаторы имеют ТКЕ в пределах

(50...200 X 10<sup>-6</sup>)1/°C, поликарбонатные (±50x10<sup>-6</sup>)1/°C. Для конденсаторов с другими видами диэлектрика ТКЕ не нормируется. Для сегнетокерамических конденсаторов с нелинейным и ненормируемым отклонением емкости от температуры кодированные обозначения допускаемых отклонений приведены в таблице 3.

Таблица 2.

Группа по ТКЕ	ТКЕх10 <sup>-6</sup> (1/°C)	Цветовой код		
		Новое обозначение	Старое обозначение	
		Цвет покрытия конденсаторов	Цвет покрытия конденсаторов	Маркировочная точка
П 100(120)	+100(+120}	Красный+ фиолетовый	Синий	-
П40	+60		Синий	Черная
П33	+33	Серый	Серый	-
МПО	о	Черный	Голубой	Черная
М33	-33	Коричневый	Голубой	Коричневая
М47	-47	Голубой + красный	Голубой	-
М75	-75	Красный	Голубой	Красная
М150	-150	Оранжевый	Красный	Оранжевая
М220	-220	Желтый	Красный	Желтая
М330	-330	Зеленый	Красный	Зеленая

M470	-470	Голубой	Красный	Синяя
M750(M700)	-750(-700)	Фиолетовый	Красный	-
M1500	-1500	Оранжевый- +оранжевый	Зеленый	-
M2200	-2200	Желтый+ оранжевый	Зеленый	Желтая

Таблица 3.

Условное обозначение группы ТКЕ	Допустимое отклонение емкости в интервале температур -60...+85 °С	Новое обозначение			Старое обозначение	
		Цвет покрытия конденсаторов	Цвет покрытия конденсаторов	Цвет маркировочного знака		
H10	±10 %	Оранжевый+ черный	Оранжевый	Черный		
H20	±20 %	Оранжевый+ красный	Оранжевый	Красный		
H30	±30 %	Оранжевый+ зеленый	Оранжевый	Зеленый		
H50	±50 %	Оранжевый+ голубой	Оранжевый	Синий		
H70	-70 %	Оранжевый+ фиолетовый	Оранжевый	-		

H90	-90 %	Оранжевый+ белый	Оранжевый	Белый
-----	-------	---------------------	-----------	-------

**Номинальное напряжение** — напряжение, обозначенное на конденсаторе (или указанное в документации), при котором он может работать в заданных условиях в течение срока службы с сохранением параметров в допустимых пределах. Для конденсаторов с номинальным напряжением до 10 КВ номинальные напряжения устанавливаются из ряда (ГОСТ 9665-77); 1; 1,6; 2,5; 3,2; 4; 6,3; 10; 16; 20; 25; 2; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 350; 400; 450; 500; 630; 800; 1000; 1600; 2000; 2500; 3000; 4000; 5000; 6300; 8000; 10000 .

**Тангенс угла потерь** — характеризует потери энергии в конденсаторе. Значения тангенса угла потерь у керамических высокочастотных, слюдяных, полистирольных и фторопластовых конденсаторов находятся в пределах  $(10...15) \times 10^{-4}$ , поликарбонатных  $(15...25) \times 10^{-4}$ , керамических низкочастотных 0,035, оксидных 5...35%. Величина, обратная тангенсу угла потерь, называется добротностью конденсатора.

### **Классификация конденсаторов.**

Конденсаторы различают по следующим признакам: характеру изменения емкости, способу защиты от внешних воздействующих факторов, назначению, способу монтажа и виду диэлектрика.

1. По характеру изменения емкости они делятся на конденсаторы постоянной емкости, подстроечные и переменной емкости.
2. По способу защиты от внешних воздействующих факторов конденсаторы бывают незащищенными, защищенными, неизолированными с покрытием или без покрытия, изолированными, уплотненными органическими материалами, герметизированными с помощью керамических и металлических корпусов или стеклянных

колб.

3. В зависимости от способа монтажа конденсаторы изготовляют для печатного и навесного монтажа.
4. По назначению конденсаторы разделяют на конденсаторы общего назначения и специальные.
5. По виду диэлектрика конденсаторы делят на группы: с органическим, неорганическим, оксидным и газообразным диэлектриком.

### **Условное обозначение конденсаторов.**

Условное обозначение конденсаторов может быть сокращенным и полным. Сокращенное условное обозначение состоит из следующих элементов:

- первый элемент обозначения — буква или сочетание букв, определяющих конденсатор (К - конденсатор постоянной емкости, КГ— подстроечный конденсатор, КП — конденсатор переменной емкости, КС — конденсаторные сборки);
- второй элемент обозначений — число, указывающее используемый вид диэлектрика (таблица 4);
- третий элемент обозначения — порядковый номер разработки конкретного типа.

В таблице 4 приведены сокращенные обозначения конденсаторов.

Полное условное обозначение состоит из следующих элементов:

- первый элемент — сокращенное обозначение;
- второй элемент — основные параметры и характеристики, необходимые для заказа и записи в конструкторской документации (вариант конструктивного исполнения, номинальное напряжение, номинальная емкость, допускаемое отклонение емкости, группа и класс по температурной стабильности);
- третий элемент обозначения — климатическое исполнение;
- четвертый элемент обозначения — документ на поставку (ТУ, ГОСТ);

Пример полного условного обозначения: К75-10-250В-1,0 мкФ  $\pm 5\%$ -2-ОЖО.484.465 ТУ комбинированный конденсатор К75-10 с номинальным напряжением 250В, номинальной емкостью 1,0 мкф и допустимым отклонением по емкости  $\pm 5\%$ , всеклиматического исполнения В.

Таблица 4.

Сокращенное обозначение	Тип конденсатора по виду диэлектрика
1	2
<u>Конденсаторы постоянной емкости</u>	
К10	Керамические на номинальные напряжения ниже 1600 В
К15	Керамические на номинальные напряжения 1600 В и выше
К21	Стеклянные
К22	Стеклокерамические
К23	Стеклоэмалевые
К31	Слюдяные низковольтные
К32	Слюдяные высоковольтные
К40	Бумажные на номинальное напряжение ниже 1600 В с фольговыми обкладками
К41	Бумажные на номинальное напряжение 1600 В и выше с фольговыми обкладками
К42	Бумажные с металлизированными обкладками (металлобумажные)
К50	Электролитические алюминиевые
1	2
К51	Электролитические танталовые фольговые
К52	Электролитические танталовые объемно-пористые
К53	Оксидно-полупроводниковые

K60	Воздушные
K61	Газообразные
K70	Полистирольные с фольговыми обкладками
K71	Полистирольные с металлизированными обкладками
K72	Фторопластовые
K73	Полиэтилентерефталатные с металлизированными обкладками
K74	Полиэтилентерефталатные с фольговыми обкладками
K75	Комбинированные
K76	Лакопленочные
K77	Поликарбонатные
K78	Полипропиленовые
Конденсаторы подстроечные	
КТ1	Вакуумные
КТ2	С воздушным диэлектриком
КТ3	С газообразным диэлектриком
КТ4	С твердым диэлектриком
Конденсаторы переменной емкости	
КП1	Вакуумные
КП2	С воздушным диэлектриком
КП3	С газообразным диэлектриком
КП4	С твердым диэлектриком

В старой системе обозначений за основу брали различные признаки: конструктивные разновидности, технологические особенности, эксплуатационные характеристики, области применения и т.п., например:

КД — конденсаторы дисковые;

КМ — керамические монолитные;



КЛС — керамические литые секционные;  
 КПК — конденсаторы подстроечные керамические;  
 КСО — конденсаторы слюдяные опрессованные;  
 СГМ — слюдяные герметизированные малогабаритные;  
 КБГИ — конденсаторы бумажные герметизированные изолированные;  
 МБГЧ — металлобумажные герметизированные частотные;  
 КЭГ — конденсаторы электролитические герметизированные;  
 ЭТО — электролитические танталовые объемно-пористые.

### **Кодированные обозначения емкости и цветовые коды конденсаторов.**

В зависимости от размеров конденсаторов применяются полные или сокращенные (кодированные) обозначения номинальных емкостей и их допускаемых отклонений:

Кодированное обозначение состоит из цифр, обозначающих номинальную емкость, и буквы, обозначающей единицу измерения емкости и указывающей положение запятой десятичной дроби. Буква кода из русского или латинского алфавита обозначает множитель, составляющий значение емкости, и определяет положение запятой десятичного знака. Буквы П(p), Н(n), М(m), И(I), Ф(F) обозначают множители  $10^{-12}$ ,  $10^{-9}$ ,  $10^{-6}$ ,  $10^{-3}$  и 1 соответственно для емкости, выраженной в фарадах. Например, емкость 2,2 пФ обозначается 2П2 (2p2); 1500 пФ — 1Н5 (1n5); 0,1 мкФ — М1 (m1); 10 мкФ — 10М (10m); 1 фарада — 1ФО (1FO). Допускаемые отклонения емкости (в процентах или пикофарадах) указывают после номинального значения цифрами или кодом.

Цветовая маркировка применяется для маркировки номинальной емкости, допускаемого отклонения емкости, номинального напряжения до 63 В. Маркировку наносят в виде цветных точек или полосок в соответствии с таблицей 5.

Таблица 5.

Цветовой код	Номинальная емкость, пФ		Допускаемое отклонение	Номинальное напряжение емкости (В)
	Первая и вторая цифры	Множитель		
Черный	10	1	±20%	4
Коричневый	12	10	±1%	6,3
Красный	15	10 <sup>2</sup>	±2%	10
Оранжевый	18	10 <sup>3</sup>	±0,25 пФ	16
Желтый	22	10 <sup>4</sup>	±0,5 пФ	40
Зеленый	27	10 <sup>5</sup>	±5%	25 или 20
Голубой	33	10 <sup>6</sup>	±1%	32 или 30
Фиолетовый	39	10 <sup>7</sup>	-20...+50%	50
Серый	47	10 <sup>-2</sup>	-20...+80%	-
Белый	56	10 <sup>-4</sup>	±10%	63
Серебряный	68	-	-	2,5
Золотой	82	-	-	1,6

Технологические процессы изготовления и конструкции конденсаторов могут быть разными, но среди них можно выделить некоторые типичные варианты, присущие многим типам независимо от их назначения и вида диэлектрика: пакетную, трубчатую, дисковую, литую секционированную, рулонную, резервуарную и многопластинчатую конструкции.

Пакетная конструкция присуща слюдяным, стеклоэмалевым, стеклокерамическим и некоторым типам керамических конденсаторов.

Пакет образован чередующимися слоями диэлектрика и обкладок, которые могут быть выполнены из металлической фольги или нанесены в виде пленок металла напылением или вжиганием. Пакетную конструкцию опрессовывают, герметизируют или покрывают влагозащитной эмалью.

Трубчатая конструкция присуща керамическим конденсаторам (рис. 2.1).

Рис. 2.1. Трубчатая конструкция керамических конденсаторов.

а - с проволочными выводами; б – с ленточными выводами.

1 – проволочный вывод; 2 – поясок; 3 – эмаль; 4 – внутренняя обкладка;  
5 – внешняя обкладка; 6 – керамическая труба; 7, 8 – ленточные выводы.

Обкладки конденсаторов (4, 5) образованы на внутренней и внешней поверхностях трубки 6 методом вжигания серебра в керамику. Конструкция трубчатых конденсаторов имеет влагостойкое цветное эмалевое покрытие. Цвет эмали определяет группу стабильности емкости конденсатора.

Рис. 2.2. Дискосвая конструкция керамического конденсатора.

1 – проволочный вывод; 2 и 4 – верхняя и нижняя обкладки из серебра; 3 – припой; 5 – керамический диск.

Дискосвая конструкция (рис. 2.2) характерна для некоторых типов постоянных и подстроечных керамических конденсаторов. В этом случае на керамическом диске 5 сверху и снизу образуют обкладки 2 и 4 конденсатора из вожженного серебра в виде полумесяца или круга. Конструкцию дискового конденсатора также покрывают цветной эмалью.

Рис. 2.3. Литая секционированная конструкция керамического конденсатора.

1 – керамическая заготовка; 2 – место образования общей выводной обкладки; 3 – прорезь для нанесения обкладок секции.

Литая секционированная конструкция (рис. 3) применяется для керамических конденсаторов. Минимальная толщина стенок составляет 100 мкм, а воздушный зазор 3 между ними 130 – 150 мкм. Обкладки наносят на поверхности стенок методом окунания в серебряную пасту, которую потом вжигают в керамику.

Рис. 2.4. Рулонная конструкция бумажного конденсатора.

а – намотка секции; б – устройство конденсатора.

1 – бумага; 2 – фольга; 3 – изолятор; 4 – крышка; 5 – корпус;  
6 – картонная прокладка; 7 – оберточная бумага; 8 – секция  
конденсатора.

Рулонная конструкция (рис. 2.4) характерна для бумажных пленочных и электролитических конденсаторов сухого типа. В этом случае для бумажных и пленочных конденсаторов одновременно свертывают фольговые обкладки 2, разделенные бумагой или пленкой. Толщина бумаги берется не более 5 мкм, толщина пленки – 10 – 20 мкм, толщина обкладок из алюминия – 8 мкм. Для металlobумажных и металлопленочных конденсаторов обкладки выполняют нанесением тонкого слоя (сотые доли мкм) на поверхность ленты диэлектрика. В электролитических конденсаторах между двумя обкладками (оксидированной и неоксидированной) прокладывают ленту из бумаги или бязи, пропитанной электролитом, которую сворачивают в рулон одновременно с обкладками. Роль диэлектрика выполняет окисная пленка алюминия (относительная диэлектрическая проницаемость 10) или тантала (относительная диэлектрическая проницаемость 25) толщиной в сотые доли – единицы микрона. Такая толщина диэлектрика обеспечивает электролитическим конденсаторам повышенную удельную емкость. Электролит выполняет роль второй обкладки.

Резервуарная конструкция (рис. 2.5) характерна для жидкостных электролитических конденсаторов. В стальном герметизированном корпусе 10 цилиндрической формы расположен объемно-пористый анод 7 конденсатора, помещенный в электролит 6 из серной кислоты. Для защиты от ее действия внутренние стенки корпуса покрыты серебром. Выводы конденсатора сделаны от цилиндра анода (плюс) и от нижнего торца корпуса (минус).

Рис. 2.5. Резервуарная конструкция жидкостного электролитического конденсатора.

1 – металлизация, 2, 3 – уплотняющая прокладка, 4 – положительный вывод, 5 – прокладка. 6 – электролит, 7 – объемно-пористый анод, 9 – отрицательный вывод, 10 – корпус.

Применение объемно-пористого анода, получаемого спеканием порошка окиси тантала, резко увеличивает эффективную площадь анода, что позволяет получить большие емкости конденсаторов при малых объемах. Использование

серной кислоты в качестве электролита снижает сопротивление конденсатора, что улучшает температурные и частотные зависимости его емкости, но ограничивает предел рабочих напряжений.

Рис. 2.6. Многопластинчатая конструкция переменного конденсатора.

1- гребенка ротора, 2 – ось, 3 – подшипник, 4 – корпус, 5 – пластина статора, 6 – токосъемник, 7 – валик крепления, 8 – подпятник, 9 - планка крепления. 10, 11 – пластины ротора.

Многопластинчатая конструкция (рис. 2.6) применяется для воздушных конденсаторов переменной емкости. Вращением оси изменяют взаимное положение роторных и статорных пластин в пределах угла поворота от 0 до  $180^\circ$ , следовательно, площадь их перекрытия и емкость конденсатора.

Закон изменения емкости в зависимости от угла поворота определяется формой роторных пластин, реже – статорных.

Высокочастотные конденсаторы имеют малые паразитную индуктивность и потери в диэлектрике. К ним относятся керамические (рис. 2.7), слюдяные, стеклоэмалевые (рис. 2.8), стеклокерамические и стеклянные конденсаторы. Они обладают высокой стабильностью (порядка  $10^{-5} 1/^\circ \text{C}$ ), высокой точностью (до  $\pm 2\%$ ), малыми габаритами и массами, достаточной температуростойкостью.

Основное применение высокочастотные конденсаторы находят в схемах генераторов и усилителей высокой и промежуточной частоты. Номинальная емкость конденсаторов в этом диапазоне частот обычно составляет десятки – сотни пикофард.

Рис. 2.7. Конструкции керамических конденсаторов.

Рис. 2.8. Конструкции слюдяных и стеклоэмалевых конденсаторов.

В цепях постоянного, переменного и пульсирующего токов низкой частоты применяют конденсаторы с большими значениями номинальных емкостей в качестве разделительных, блокировочных, фильтровых. Они могут использоваться как в низковольтных, так и высоковольтных цепях. К таким конденсаторам относятся бумажные, металлобумажные электролитические, а

также некоторые из пленочных конденсаторов (рис. 2.9, рис. 2.10, рис. 2.11).

Рис. 2.9. Конструкции бумажных и металлобумажных конденсаторов.

Бумажные конденсаторы обладают высокой удельной емкостью, они температуростойки и дешевы в изготовлении. Основные их недостатки – повышенные потери и относительно низкая стабильность. В бумажных и металлобумажных конденсаторах в качестве диэлектрика применяют бумагу толщиной 5 – 20 мкм, а в качестве обкладок – ленту из фольги или металлизированную бумагу.

Рис. 2.10. Конструкции пленочных конденсаторов.

В пленочных конденсаторах используются в качестве диэлектрика пленки и лаки из полистирола, фторопласта, лавсана. Толщина пленки составляет обычно десятки микрон. Обкладки конденсаторов изготавливаются из фольги толщиной 10 мкм, либо напыляют на диэлектрик. Лакопленочные конденсаторы обладают малыми размерами и массами при значительной емкости, однако, рабочие напряжения их ограничены.

Рис. 2.11. Конструкции электролитических конденсаторов.

Электролитические конденсаторы обладают большой удельной емкостью, при небольших объемах. К недостаткам конденсаторов этой группы относятся нестабильность параметров, зависимость емкости от низких температур, резко ограниченный диапазон частот, униполярность. Поэтому эти конденсаторы используют в основном как фильтровые, реже как блокировочные. По типу диэлектрика и электролита их разделяют на алюминиевые, танталовые, оксиднополупроводниковые. В качестве диэлектрика используются оксидные пленки алюминия и тантала, в качестве электролитов – концентрированные растворы кислот, щелочей и твердый электролит (моноокись марганца).

### **Конденсаторы специального назначения.**

Вариконды представляют собой сегнетокерамические конденсаторы, имеющие резко нелинейную зависимость от температуры. Максимум

диэлектрической проницаемости соответствует точке Кюри. Если в области этой температуры на конденсатор подать переменное напряжение, то емкость будет также изменяться. Это изменение определяет коэффициент нелинейности вариконда.

В варикапах используется свойство р-п перехода изменять свою толщину под действием переменного модулирующего напряжения на нем и наличии постоянного запирающего напряжения (порядка 4 В). В этом случае р-п переход представляет собой конденсатор малой емкости (несколько десятков пФ) с возможными пределами изменений в несколько единиц пФ. Варикапы используются для частотной модуляции в диапазоне УКВ, а также для автоподстройки.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Определить тип каждого конденсатора, выданного преподавателем, используя стенд и приложения 2 и 3.
2. Произвести измерение номинальной емкости каждого конденсатора с помощью измерительного прибора
3. Сравнить полученный результат с указанным номинальным значением на конденсаторе и вычислить отклонение абсолютное  $\Delta C$  и относительное  $\delta C$ .

$$\Delta C = C_{\text{ном}} - C_{\text{изм}} \qquad \delta C = C_{\text{ном}} / (C_{\text{изм}} - C_{\text{ном}}) 100\%$$

4. Используя справочные данные определить параметры каждого типа конденсатора:

$C_{\text{ном}}$  - номинальное значение емкости конденсатора;

$\Delta C$  - допустимое отклонение величины емкости от номинальной (%);

$U_{\text{раб}}$  - номинальное рабочее напряжение;

$T_{\text{раб}}$  – максимальная и минимальная рабочие температуры;

ТКЕ – температурный коэффициент емкости;

$\text{tg}\delta$  - тангенс угла потерь в конденсаторе.

5. Занести полученные результаты в таблицу и оформить отчет о проделанной работе.

### **Контрольные вопросы**

1. Классификация конденсаторов по конструкции.
2. Классификация конденсаторов по назначению.
3. Основные параметры конденсаторов постоянной емкости.
4. Основные параметры конденсаторов переменной емкости.
5. Конструкция конденсаторов с органическим диэлектриком.
6. Конструкция конденсаторов с неорганическим диэлектриком.
7. Конструкция конденсаторов с оксидным диэлектриком.
8. Системы условных обозначений конденсаторов.

### **Литература.**

1. Волгов В.А. Детали и узлы радиоэлектронной аппаратуры. М.: Энергия, 1977.

1. Рычина Т.А. Электрорадиоэлементы.- Энергия, 1977.





## Лабораторная работа № 3

### ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КАТУШЕК ИНДУКТИВНОСТИ

Цель работы – исследование зависимости основных электрических параметров катушек индуктивности от ее конструкции.

#### 1. Общие сведения

Катушка индуктивности – это радиокомпонент, имеющий спиральную обмотку и способную концентрировать в своем объеме или на плоскости высокочастотное электромагнитное поле.

#### Основные параметры катушек индуктивности.

##### 1. Номинальная величина индуктивности $L_n$ .

Для бесконечно длинного соленоида (катушки) величину индуктивности  $L_{ном}$  рассчитывают по формуле:

$$L_{ном} = (\pi D^2 N^2 / l) \text{ (Гн)},$$

где:  $D$  - диаметр каркаса, см;  $l$  - длина намотки, см;  $N$  - число витков.

##### 2. Допуск на индуктивность $\delta L$ , который зависит от ее назначения:

$\pm(0,2 - 0,5)\%$  - для контурных катушек,  $\pm(10 - 15)\%$  - для катушек связи и дросселей высокой частоты.

3. **Добротность катушки индуктивности  $Q$**  при заданных величине индуктивности  $L$  и рабочей частоте  $\omega$  определяется суммарным сопротивлением потерь в катушке:

$$Q = \omega L / R_{\Sigma},$$

$$\text{где } R_{\Sigma} = R_f + R_d + R_{\varepsilon} + R_c + R_p,$$

где:  $R_f$  - сопротивление провода обмотки току высокой частоты определяется как омическим сопротивлением провода постоянному току, так и

действием поверхностного эффекта. Эта составляющая потерь при правильном конструировании катушки является определяющей.

$R_d$  - диэлектрические потери в каркасе и изоляции провода обмотки. Эти потери обусловлены влиянием электромагнитного поля катушки на структуру диэлектрика каркаса (для однослойных катушек) и диэлектрика изоляции провода (для многослойных катушек).

$$R_d = \omega^3 L^2 C_L \operatorname{tg} \delta \text{ [ Ом ]},$$

где:  $C_L$  - составляющая собственной емкости катушки через диэлектрик,

$\operatorname{tg} \delta$  - тангенс угла потерь диэлектрика каркаса или изоляции провода;

При конструировании катушки необходимо выбрать материал каркаса таким образом, чтобы он соответствовал выбранному диапазону ее применения. Например, в диапазоне КВ или УКВ надо применять высокочастотные диэлектрики (керамика, полистирол), а в диапазоне средних волн – низкочастотные диэлектрики (пресс-порошки, текстолит, картон). Диэлектрические потери в катушках СВ и ДВ практически не зависят от материала каркаса, поэтому можно использовать любой низкочастотный диэлектрик, обладающий технологичностью.

Потери в диэлектрике провода определяются числом слоев изоляции и емкостью между витками многослойной катушки.

$R_s$  - сопротивление потерь, вносимых экраном;

$R_c$  - сопротивление потерь в сердечнике складывается из потерь в магнитном материале на гистерезис и вихревые токи. Для уменьшения потерь на вихревые токи магнитный сердечник должен обладать кроме высоких магнитных свойств большим сопротивлением. Это достигается применением магнитодиэлектрических сердечников или ферритов;

$R_p$  - сопротивление потерь за счет резонансных свойств катушки. Эту составляющую как правило не учитывают, так как рабочую частоту обычно выбирают из условия:

$$\omega_{\text{раб}} < \omega_0 / 3,$$

где  $\omega_0 = 1 / 2\pi\sqrt{LC_L}$  - резонансная частота катушки,

где  $C_L$  - собственная емкость катушки.

Добротность катушек при их использовании в контурах влияет на такие важные характеристики радиоприемных устройств, как чувствительность и избирательность, а у радиопередающих устройств – к. п. д. и др. Применяемые в радиоаппаратуре катушки индуктивности имеют диапазон добротности 30 – 300. Существует общее правило: чем выше требуемая добротность катушки, тем большие габариты она должна иметь. При заданной величине добротности существует оптимальный вариант конструкции катушки, габариты которой должны быть не больше оптимальных и не могут быть меньше их.

4. Температурная стабильность катушки индуктивности или **температурный коэффициент индуктивности ТКИ** – отношение относительного изменения индуктивности к интервалу температур, вызвавшему это изменение.

$$\text{ТКИ} = (1 / L_0) \times (dL / dT) [1/^\circ\text{C}]$$

5. **Собственная емкость катушки  $C_L$**  - электрическая емкость, составляющая с индуктивностью катушки резонансный контур, складывается из емкости между витками через диэлектрик каркаса и изоляции провода и емкости между витками через воздух. Величина собственной емкости определяется также видом намотки и числом витков

### **Классификация катушек индуктивности.**

По частотному диапазону: длинноволновые, средневолновые, коротковолновые, УКВ и СВЧ катушки индуктивности.

По методу изготовления: вожженные, намотанные, печатные, тонкопленочные.

По типу намотки: однослойные катушки с рядовой и шаговой обмоткой и многослойные катушки с произвольной, рядовой, универсальной и секционированной обмоткой.

По конструкции: цилиндрические, кольцевые, спиральные, бескаркасные, с каркасом, с сердечником и без него, экранированные и без экрана.

По назначению: контурные катушки индуктивности, катушки связи.

### **Катушки с сердечником.**

Обеспечить необходимую точность, особенно при изготовлении контурных катушек без дополнительных мер, не удастся. Следовательно, контурные катушки должны иметь элемент подстройки. Таким элементом, дающим возможность регулировать параметры в пределах  $\pm 15\%$ , является сердечник, вводимый внутрь катушки. Сердечники выполняются из различного материала и имеют различную форму.

Магнитный сердечник увеличивает индуктивность катушки в  $\mu_c$  раз, где  $\mu_c$  - действующая магнитная проницаемость сердечника, зависящая от магнитных свойств материала и от его формы.

$$L_c = \mu_c L,$$

где  $\mu_c = (0,25 - 0,5)\mu_{мм}$ ,

$\mu_{мм}$  - магнитная проницаемость материала сердечника.

Применение сердечников из магнитных материалов (карбонильное железо, альсифер, магнетит, ферриты), очевидно, позволяет уменьшить число витков катушки.

Магнитные сердечники применяют в основном в длинноволновых и средневолновых катушках, где они выполняют не только роль подстроечного элемента, но и уменьшают требуемое количество витков, т.е. габариты и массу катушки. В диапазоне КВ и УКВ использовать магнитные сердечники менее целесообразно, поскольку значение индуктивности и числа витков здесь

невелики, и кроме того, с ростом частоты падает величина  $\mu$ . Поэтому для подстройки в этом диапазоне используют сердечники из латуни или алюминия.

### Экранированные катушки.

Для устранения паразитных связей между каскадами используют экраны в виде металлических стаканов круглой или прямоугольной формы, которые надевают на катушку.

Сущность экранирования заключается в следующем: магнитное поле катушки наводит в поверхностном слое экрана вихревые токи, которые создают поле обратного направления. Если толщина экрана больше поверхностного слоя проникновения вихревых токов, то взаимодействие поля катушки с полями других источников исключается. Для устранения возможных емкостных связей экран заземляют. Чем выше проводимость материала экрана, тем больше по величине вихревые токи и тем выше экранирующие свойства экрана. На длинных и средних волнах используют алюминиевые экраны, на коротких – латунные и медные. Толщина экрана обычно выбирается из технологических соображений (возможности вытяжки) и составляет 0,5 – 1 мм.

Индуктивность экранированной катушки  $L_э$  меньше, чем неэкранированной  $L$ , за счет встречного поля экрана.

$$L_э = L [1 - \eta (D / D_э)^3],$$

где:  $\eta$  - коэффициент, зависящий от соотношения длины и диаметра катушки,  $D$  – диаметр катушки,  $D_э$  – диаметр экрана.

Влияние экрана на величину индуктивности учитывают для однослойных катушек, причем допустимо уменьшать индуктивность не более чем на 20%. У многослойных катушек основное поле почти полностью сконцентрировано в обмотке или сердечнике катушки и слабо влияет на токи в экране, поэтому влиянием экрана пренебрегают.

Рис. 3.1. Типы катушек индуктивности:

а – однослойная с шагом; б – многослойная; в – плоская; г – тороидальная с круглым и прямоугольным сечением.

Катушки индуктивности имеют различные конструкции и классифицируются по типу намотки, виду и материалу каркаса (рис. 3.1, рис. 3.2, рис. 3.3, рис.3.4, рис. 3.5), способам подстройки индуктивности (катушки без сердечника рис. 3.7) (катушки с сердечником рис. 3.8.), виду защиты – экранированные и неэкранированные.

Рис. 3.2. Конструкции катушек индуктивности:

а – катушка в чашеобразном ферритовом каркасе-сердечнике и корпусе из полиэтилена; б – катушка с многослойной обмоткой на пластмассовом гладком каркасе с цилиндрическим сердечником; в – катушка типа «универсаль» на пластмассовом гладком каркасе.

Рис. 3.3. Катушка индуктивности с намоткой типа «универсаль».

Рис. 3.4. Однослойная катушка индуктивности: а – сплошная; б – с шагом.

Рис. 3.5. Конструкции катушек индуктивности.

а – катушка со сплошной намоткой на гладком трубчатом каркасе; б – катушка с осажденной намоткой на нарезном каркасе; в – бескаркасная катушка индуктивности.

Рис. 3.6. Печатная катушка индуктивности.

1 – обмотка из медной фольги; 2 – изоляционная плата.

Рис. 3.7. Способы подстройки катушек индуктивности без сердечника/ (а– изменением шага намотки; б – подбором взаимоиндукции между секциями; в – изменением числа витков.)

Рис. 3.8. Способы подстройки катушек сердечниками. (Сердечники из карбонильного железа с резьбой и без резьбы, сердечники из феррита и сердечники из немагнитного материала).

### **Порядок выполнения работы.**

1. Определить тип намотки каждой катушки индуктивности, используя стенд, рассчитать ее индуктивность.

2. Произвести измерение индуктивности каждой катушки с помощью измерительного прибора.
3. Сравнить полученный результат с расчетными данными и вычислить абсолютное и относительное отклонение индуктивности.
4. Занести полученные результаты в таблицу и оформить отчет о проделанной работе.

### **Контрольные вопросы**

1. Основные параметры катушек индуктивности.
2. Типы намоток катушек индуктивности.
3. Конструкции и конструктивные параметры катушек индуктивности
4. Как влияет экран на параметры катушек индуктивности.
5. Чем определяется добротность катушки индуктивности.
6. Зачем нужен сердечник.

### **Литература.**

1. Волгов В.А. Детали и узлы радиоэлектронной аппаратуры. М.: Энергия, 1977.
2. Рычина Т.А. Электрорадиоэлементы.- Энергия, 1977.



## Лабораторная работа № 4

### ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИС

Цель работы: знакомство с классификацией и типовыми корпусами ИС, а также изучение системы условных обозначений ИС.

#### Микросхемы, элементы, компоненты

##### 1. Терминология в микроэлектронике согласно ГОСТ 17021—88.

Интегральная микросхема — микроэлектронное изделие, выполняющее определенную функцию преобразования, обработки сигнала и (или) накопления информации и имеющее высокую плотность упаковки электрически соединенных элементов (или элементов и компонентов) и (или) кристаллов, которое с точки зрения требований к испытаниям, приемке, поставке и эксплуатации рассматривается как единое целое.

Элемент интегральной микросхемы - это часть интегральной микросхемы, реализующая функцию какого-либо электрорадиоэлемента. (например, транзистора, диода, резистора, конденсатора), которая выполнена нераздельно от кристалла или подложки и не может быть выделена как самостоятельное изделие с точки зрения требований к испытаниям, приемке, поставке и эксплуатации. Примеры интегральных элементов: пленочный резистор в гибридной микросхеме, транзистор в полупроводниковой микросхеме.

Компонент интегральной микросхемы - часть интегральной микросхемы, реализующая функции какого-либо электрорадиоэлемента, которая может быть выделена как самостоятельное изделие с точки зрения требований к испытаниям, приемке, поставке и эксплуатации. Компонент является частью гибридной микросхемы.

Цифровая интегральная микросхема - микросхема, предназначенная для преобразования и обработки сигналов, изменяющихся по закону дискретной

функции.

Аналоговая интегральная микросхема - микросхема, предназначенная для преобразования и обработки сигналов, изменяющихся по закону непрерывной функции.

## 2. Элементы конструкции микросхем

При разработке технической документации или при составлении описаний конструкций микросхем ГОСТ обязывает пользоваться общими терминами (корпус, подложка, плата, пластина, кристалл), а также некоторыми специальными, которыми определяются особенности внутреннего строения микросхем.

Корпус - часть конструкции интегральной микросхемы, предназначенная для защиты микросхемы от внешних воздействий и для соединения с внешними электрическими цепями посредством выводов. Типы и размеры корпусов микросхем, а также расположение и число их выводов стандартизованы (см. ГОСТ 17467—79).

Подложка - заготовка из диэлектрического материала, предназначенная для нанесения на нее элементов гибридных и пленочных интегральных микросхем межэлементных и (или) межкомпонентных соединений, а также контактных площадок.

Плата - часть подложки (или вся подложка) гибридной интегральной микросхемы, на поверхности которой нанесены пленочные элементы микросхемы, межэлементные и межкомпонентные соединения и контактные площадки.

Полупроводниковая пластина - заготовка из полупроводникового материала, предназначенная для изготовления полупроводниковых интегральных микросхем. При производстве микросхем этим термином называют не только первоначальную заготовку, но и пластину со сформированными элементами полупроводниковых микросхем. Этот термин используется в течение всего технологического процесса - от его начала до

разделения группового изделия на отдельные кристаллы.

Кристалл - часть пластины, в объеме и на поверхности которой сформированы элементы полупроводниковой микросхемы, межэлементные соединения и контактные площадки.

Базовый кристалл - часть полупроводниковой пластины с определенным набором сформированных элементов, в том числе электрически соединенных и не соединенных между собой, предназначенный для дальнейшего проектирования микросхемы.

Основное отличие термина кристалл от термина базовый кристалл заключается в отсутствии в последнем законченных межэлементных соединений, которые будут выполнены при дальнейшем проектировании.

Базовый матричный кристалл (БМК.) - базовый кристалл интегральной микросхемы с регулярным, в виде матрицы, расположением не соединенных и (или) соединенных между собой элементов, без межэлементных соединений. Термины базовый кристалл и базовый матричный кристалл появились значительно позднее, чем вышел ГОСТ 17021—75. Они были введены ГОСТ 27394—87.

Контактная площадка - металлизированный участок на плате или кристалле, или корпусе интегральной микросхемы, служащий для присоединения выводов компонентов и кристаллов, перемычек, а также для контроля ее электрических параметров и режимов.

Бескорпусная интегральная микросхема - кристалл микросхемы, предназначенный для монтажа в гибридную интегральную микросхему или микросборку. Этот термин в последнее время приобрел большое значение в связи с тем, что такие микросхемы широко применяются при создании микросборок и микроблоков. Если в обычной микросхеме корпус служит для защиты от внешних воздействий, то бескорпусная микросхема такой собственной защиты (по крайней мере, от механических воздействий) не имеет. Для соединения с внешними электрическими цепями бескорпусная микросхема имеет собственные выводы, а ее полная защита обеспечивается корпусом

устройства, в которое эта микросхема установлена.

Вывод бескорпусной интегральной микросхемы - проводник, соединенный электрически с контактной площадкой кристалла и механически с его поверхностью. Главным назначением вывода является обеспечение электрического контакта одной из цепей бескорпусной микросхемы при ее соединении с внешними электрическими цепями. По выводам от бескорпусной микросхемы отводится значительная часть тепла. Выводы бескорпусной микросхемы могут быть жесткими (шариковые, столбиковые, балочные) или гибкими (лепестковые, проволочные). Жесткие выводы могут использоваться для механического крепления бескорпусной микросхемы без ее приклеивания. Гибкие выводы бескорпусной микросхемы для механического крепления не применяются.

### 3. Простые и сложные микросхемы

В настоящее время стандартизированы количественные и качественные меры определения сложности микросхем. Количественный фактор соответствует порядку числа элементов на кристалле микросхемы или в ее корпусе.

В ГОСТ 17021—88 термин степень интеграции интегральной микросхемы определен как показатель степени сложности микросхемы, характеризуемый числом содержащихся в ней элементов и компонентов, причем степень интеграции микросхемы  $N=10^k$ , где  $k$ —коэффициент, показывающий степень интеграции, значение которого округляется до ближайшего большего целого числа;  $N$  - число элементов, в том числе содержащихся в составе компонентов, входящих в интегральную микросхему. В соответствии с этой формулой микросхема первой степени интеграции содержит до 10 элементов и компонентов, микросхема второй степени интеграции - от 11 до 100 элементов и компонентов. Соответственно микросхема, имеющая в своем составе от 101 до 1000 элементов и компонентов, называется микросхемой третьей степени интеграции.

Аналогично микросхемы, имеющие число элементов и компонентов от 1001 до 10 000, - микросхемы четвертой степени интеграции, а от 10001 до 100000 и от 100001 до 1 000000 - микросхемы пятой и шестой степеней интеграции и т. д.

Количественную меру сложности цифровых микросхем определяют иногда числом логических элементов (ЛЭ), или вентилях, из которых состоит интегральная микросхема. Под логическим элементом в этом случае понимают устройства, выполняющие операции булевой (логической) алгебры в двоичной системе. Логический элемент в зависимости от назначения, типа логики, технологии изготовления микросхемы может состоять из различного числа элементов (как правило, от 5 до 15). При качественной оценке понятий сложности микросхем (малая, средняя, большая, сверхбольшая) определения зависят от числа элементов и компонентов, технологии изготовления и функционального назначения микросхем. Необходимо отметить, что аналоговые БИС, насыщены элементами во много раз меньше, чем цифровые (особенно униполярные).

Микросхема, имеющая время задержки распространения сигнала 8,5 нс/лэ или нижнюю границу рабочего диапазона тактовых частот не менее 300 МГц, называется сверхскоростной интегральной микросхемой (ССИС). При построении РЭА и при выборе ее элементной базы большое значение имеет плотность упаковки. Плотностью упаковки интегральной микросхемы называется отношение числа компонентов и элементов микросхемы, в том числе содержащихся в составе компонентов, к объему микросхемы без учета объема выводов.

В зависимости от технологии изготовления интегральные микросхемы могут быть полупроводниковыми, пленочными или гибридными. В ГОСТ 1702.1—88 даются следующие определения этим трем разновидностям микросхем.

Полупроводниковая микросхема - микросхема, все элементы и межэлементные соединения которой выполнены в объеме и на поверхности

полупроводника.

Пленочная микросхема - микросхема, все элементы и межэлементные соединения которой выполнены только в виде пленок проводящих, резистивных и диэлектрических материалов. Вариантами пленочных являются тонкопленочные и толстопленочные микросхемы. Различие между тонкопленочными и толстопленочными микросхемами может быть количественным и качественным. К тонкопленочным условно относят микросхемы с толщиной пленок менее 1 мкм, а к толстопленочным — микросхемы с толщиной пленок 15 – 20 мкм. Качественные различия определяются технологией изготовления пленок. Элементы тонкопленочной микросхемы наносятся на подложку, как правило, с помощью катодного распыления и термовакуумного осаждения, а элементы толстопленочной микросхемы изготавливаются преимущественно методом шелкографии с последующим вжиганием.

Гибридная микросхема - микросхема, содержащая кроме элементов простые и сложные компоненты (например, кристаллы полупроводниковых микросхем). Одним из видов гибридной микросхемы является многокристальная микросхема.

В зависимости от функционального назначения интегральные микросхемы делятся на аналоговые и цифровые.

Аналоговые микросхемы предназначены для преобразования и обработки сигналов, изменяющихся по закону непрерывной функции. Частным случаем этих микросхем является микросхема с линейной характеристикой, или линейная микросхема.

С помощью цифровых микросхем преобразуются и обрабатываются сигналы, изменяющиеся по закону дискретной функции. Частным случаем цифровых микросхем является логическая микросхема, выполняющая операции с двоичным кодом, которые описываются логической алгеброй.

Одновременно с понятием БИС в ГОСТ 17021—88 присутствуют два термина: БИС и базовый комплект БИС. Это обстоятельство вызвано

необходимостью совместной комплексной разработки и применения БИС, представляющих собой узлы и блоки РЭА. Большие интегральные схемы, составляющие комплект, хотя и выполняют различные функции, но совместимы по конструктивному исполнению и электрическим параметрам. Они позволяют использовать при построении микроэлектронной аппаратуры общие «архитектурные» приемы. Минимальный состав комплекта БИС, необходимый для решения определенного круга аппаратурных задач, называется базовым.

Как отклик на появление микропроцессорной техники в 1981 г. ГОСТ 17021—88 были введены четыре термина. Микропроцессор (МП) определен как программно-управляемое устройство, осуществляющее процесс обработки цифровой информации и управления им. Это устройство изготовлено на основе одной или нескольких БИС. Микропроцессорной названа микросхема, выполняющая функцию МП или его части. Совокупность этих и других микросхем, совместимых по архитектуре, конструктивному исполнению и электрическим параметрам, названа микропроцессорным комплектом (МПК). По аналогии с базовым комплектом БИС базовым МПК называется минимальный состав такого комплекта, необходимый для построения основных узлов МП или контроллера.

### **Система условных обозначений микросхем**

Аналоговые и цифровые микросхемы разрабатываются и выпускаются предприятиями-изготовителями в виде серий. Каждая серия отличается степенью комплектности и содержит несколько микросхем, которые, в свою очередь, подразделяются на типономиналы. К серии микросхем согласно ГОСТ 17021—88 относят совокупность типов микросхем, которые могут выполнять различные функции, но имеют единое конструктивно-технологическое исполнение и предназначены для совместного применения. Как правило, с течением времени состав перспективных серий расширяется.

Тип интегральной микросхемы — интегральная микросхема конкретного

функционального назначения и определенного конструктивно-технологического и схемотехнического решения, имеющая свое условное обозначение.

Под типономиналом интегральной микросхемы понимается микросхема конкретного типа, отличающаяся от других микросхем того же типа одним или несколькими параметрами,

Группа типов микросхем — совокупность типов микросхем в пределах одной серии, имеющих аналогичные функциональное назначение и принцип действия, свойства которых описываются одинаковым или близким составом электрических параметров.

Все многообразие выпускаемых серий микросхем согласно принятой системе условных обозначений по конструктивно-технологическому исполнению делится на три группы: полупроводниковые, гибридные, прочие. К последней группе относят пленочные микросхемы, которые в настоящее время выпускаются в ограниченном количестве, а также вакуумные и керамические. Указанным группам микросхем в системе условных обозначений присвоены следующие цифры: 1,5 - 7 - полупроводниковые (обозначение 7 присвоено бескорпусным); 2, 4, 8 — гибридные; 3 — прочие микросхемы.

По характеру выполняемых функций в РЭА микросхемы подразделяются на подгруппы (генераторы, модуляторы, триггеры, усилители и др.) и виды (преобразователи частоты, фазы, длительности, напряжения и др.). Классификация микросхем по функциональному назначению приведена в таблице 2. Здесь буквенные обозначения расставлены по алфавиту.

По принятой системе, обозначение микросхемы должно состоять из четырех элементов. Первый элемент — цифра, соответствующая конструктивно-технологической группе. Второй элемент — две-три цифры, присвоенные данной серии как порядковый номер разработки. Таким образом, первые два элемента составляют три-четыре цифры, определяющие полный номер серии микросхемы. Третий элемент—две буквы, соответствующие подгруппе и виду (см. таблица 2). Четвертый элемент - порядковый номер



разработки микросхемы в данной серии, в которой может быть несколько одинаковых по функциональному признаку микросхем. Он может состоять как из одной цифры, так и из нескольких. Например:

Серия 1 800 В Б 1

1 – группа по конструктивно-технологическому исполнению;

800 – порядковый номер данной серии;

В – подгруппа;

Б – вид (по функциональному назначению);

1 – условный номер разработки микросхемы в данной серии по функциональному признаку.

Это пример условного обозначения полупроводниковой микросхемы — схемы синхронизации МПК с порядковым номером серии 800 и номером разработки микросхемы в данной серии по функциональному признаку 1.

В последнее время при четырехзначном номере серии первую цифру порядкового номера серии (или вторую цифру номера серии) устанавливают в зависимости от функционального назначения микросхем, входящих в серию. Так, цифра 0 определяет, что данная серия микросхем предназначена для комплектации бытовой РЭА. Цифра 1 присваивается микросхемам аналоговым, цифра 4 - операционным усилителям, цифра 5 - сериям цифровых микросхем; цифра 6 - серии микросхем памяти, как оперативной, так и постоянной, цифра 8 - сериям МП.

Иногда в конце условного обозначения добавляется буква, определяющая технологический разброс электрических параметров данного типономинала. Конкретные значения электрических параметров и отличия типономинала друг от друга приводятся в технической документации (например, параметры микросхемы 133ЛА1А отличаются от параметров микросхемы 133ЛА1Б).

Для микросхем, используемых в устройствах широкого применения, в начале обозначения ставится буква К (например: К133ЛА1). Микросхемы с шагом выводов корпуса 2,54 или 1,27 мм, предназначенные для экспорта, имеют в условном обозначении перед буквой К букву Э (например:

ЭК561ЛС2).

Микросхемам, различающимся только конструктивным исполнением, присваивают, как правило, единое цифровое обозначение серии. Для характеристики материала и типа корпуса перед цифровым обозначением серии могут быть добавлены следующие буквы (рис. 4.1 – 4.5): Р - пластмассовый корпус типа ДИП; А - пластмассовый планарный корпус; М - металлокерамический корпус типа ДИП; Е - металлополимерный корпус типа ДИП; С - стеклокерамический корпус типа ДИП; И - стеклокерамический планарный корпус; Н—керамический «безвыводной» корпус.

В условных обозначениях микросхем, выпускаемых в бескорпусном варианте, перед номером серии добавляют букву Б. Таким образом, бескорпусные аналоги обычной серии 155 обозначаются Б155. Для бескорпусных микросхем в состав условного обозначения через дефис вводится цифра, характеризующая соответствующую модификацию конструктивного исполнения: с гибкими выводами - 1; с ленточными (паучковыми) выводами, в том числе на полиимидной пленке - 2; с жесткими выводами - 3; на общей пластине (неразделенные) - 4; разделенные без потери ориентировки (например, наклеенные на пленку) 5; с контактными площадками без выводов (кристалл) 6 (например, Б533ЛА1-1, Б533ЛА1-2). Самая большая по составу серия К.155. Она содержит более 100 типонаименований.

### **Типовые корпуса микросхем**

Корпус интегральной микросхемы предназначен для защиты ее от внешних воздействий и обеспечения нормальной работы в течение всего срока службы микросхемы. Для выполнения своего функционального назначения корпус и его конструкция должны отвечать определенным требованиям: обеспечивать необходимую электрическую связь между элементами схемы и выводами; гарантировать электрическую изоляцию между выводами; выполняться из материалов, по возможности, наиболее инертных по отношению к химически агрессивным составляющим окружающей среды

(кислороду, влаге, солям); в некоторых случаях должны учитываться возможные электрохимические процессы, такие как коррозия в присутствии электролитов; иметь удобную для печатного монтажа конструкцию по габаритам и расположению выводов.

Рис. 4.1. Прямоугольный корпус с выводами, перпендикулярными плоскости основания.

Рис. 4.2. Корпус типа ДИП с прямоугольными выводами, перпендикулярными плоскости основания корпуса.

Рис. 4.3. Круглый корпус с выводами, расположенными перпендикулярно основанию корпуса.

Немаловажно, что назначение корпуса—защитить кристалл микросхемы от влияния света (и по возможности другого внешнего излучения), а также поглощать собственное излучение элементов схемы и служить экраном от внешних магнитных полей (или создавать путь для замыкания магнитного потока).

Рис. 4.4. Прямоугольный корпус с выводами, расположенными параллельно плоскости основания (планарный тип).

Рис. 4.5. Прямоугольный плоский «безвыводный» корпус.

За рубежом такие корпуса называют «кристаллоносителями». Электрическое соединение микросхемы, размещенной в таком корпусе, осуществляется с помощью металлизированных контактных площадок по периметру корпуса.

Конструкция корпуса должна обеспечивать теплоизоляцию кристалла микросхемы, имея достаточную прочность, предохраняющую элементы микросхемы от различных повреждений во время монтажа и эксплуатации, быть технологичной в изготовлении и применении. Наибольшее распространение получили четыре вида конструктивно-технологического исполнения корпусов микросхем. Металлостеклянный корпус имеет металлическую крышку и стеклянное (или металлическое) основание с изоляцией и креплением выводов стеклом, крышка присоединяется к

основанию сваркой или пайкой. Металлокерамический корпус располагает металлической крышкой и керамическим основанием, крышка соединяется с основанием сваркой или пайкой. Стеклокерамический корпус снабжен керамическими крышкой и основанием, крышка соединяется с основанием стеклом. Пластмассовый корпус (наиболее дешевый) характерен пластмассовым телом, полученным опрессовкой кристалла и рамки выводов.

Большую роль в повышении надежности микросхем и микроэлектронной аппаратуры играет стандартизация конструкций корпусов. В настоящее время действует ГОСТ 17467—79 «Микросхемы интегральные. Основные размеры» устанавливающий требования к формам и размерам корпусов и микросхем.

В соответствии с этим стандартом корпуса могут быть пяти типов (см. таблицу 1).

Таблица 1.

Корпус ИС		Форма корпуса.	Расположение выводов (выводных площадок) относительно плоскости основания	
Тип	Подтип			
1	11	Прямоугольная	Перпендикулярное, в один ряд	
	12		Перпендикулярное, в два ряда	
	13		Перпендикулярное, в три ряда и более	
	14		Перпендикулярное, по контуру прямоугольника	
2	21		Перпендикулярное, в два ряда	
	22		Перпендикулярное, в четыре ряда в шахматном порядке	
3	31		Круглая	Перпендикулярное, по одной окружности
	32		Овальная	Перпендикулярное, по одной окружности
	41	Прямоугольная	Параллельное, по двум противоположным сторонам	

4	42		Параллельное, по четырем сторонам
5	51		Перпендикулярное, для боковых выводных площадок; в плоскости основания для нижних выводных площадок

С увеличением функциональной сложности микросхем увеличивается сложность их многовыводных корпусов. Иногда стоимость корпуса превышает стоимость изготовления полупроводникового кристалла (или подложки с пленочными элементами).

Таблица 2.

Подгруппа и вид микросхем	Обозначение
1	2
Формирователи:	
адресных токов (формирователи напряжения или токов) импульсов прямоугольной формы (ждушие мульти-Вибраторы, блокинг-генераторы и др.)	АА АР
разрядных токов (формирователи напряжения или токов)	АР
Прочие	АП
импульсов специальной формы	АФ
Схемы задержки:	
Пассивные	БМ
Прочие	БП
Активные	БР
Схемы вычислительных средств: сопряжения с магистралью	ВА
синхронизации	ВБ
управления вводом/выводом (схемы интерфейса)	ВВ
Контроллеры	ВТ
МикроЭВМ	ВЕ
Специализированные	ВЖ
Времязадающие	ВИ

Комбинированные	БК
Микропроцессоры	ВМ
управления прерыванием	ВН
Прочие	ВП
функциональные расширители (в том числе расширители)	ВР
микропроцессорные секции	ВС
управления памятью	ВТ
микропрограммного управления	ВУ
функциональные преобразователи информации	ВФ
Микрокалькуляторы	ВХ
Генераторы:	
прямоугольных сигналов	ГГ
линейно изменяющихся сигналов	ГЛ
шума	ГМ
прочие	ГП
гармонических сигналов	ГС
сигналов специальной формы	ГФ
Детекторы	
амплитудные	ДА
импульсные	ДИ
прочие	ДП
частотные	ДС
фазовые	ДФ
Схемы источников вторичного электропитания	
выпрямители	ЕВ
стабилизатора напряжения импульсные	ЕК
преобразователи	ЕМ
стабилизаторы напряжения непрерывные	ЕН
прочие	ЕП
схемы источников вторичного электропитания	ЕС
стабилизаторы тока:	ЕТ
схемы управления импульсными стабилизаторами напряжения	ЕУ

Схемы цифровых устройств	
арифметическо-логические Шифраторы дешифраторы счетчики комбинированные полусумматоры сумматоры прочие регистры	ИА ИБ ИД ИЕ ИК ИЛ ИМ ИП ИР
Коммутаторы и ключи:	
напряжения прочие тока	КН КП КТ
Логические элементы:	
И—НЕ И—НЕ/ИЛИ—НЕ Расширители ИЛИ—НЕ И И—ИЛИ—НЕ/И—ИЛИ ИЛИ ИЛИ—НЕ/ИЛИ НЕ прочие И—ИЛИ—НЕ И—ИЛИ	ЛА ЛБ ЛД ЛД ЛИ ЛК ЛЛ ЛМ ЛН ЛП ЛР ЛС
Модуляторы:	
амплитудные импульсные	МА МИ

прочие	МП
частотные	МС
фазовые	МФ
Набор элементов:	
диодов	НД
конденсаторов	НЕ
комбинированные	НК
прочие	НП
резисторов	НР
транзисторов	НТ
функциональные (в том числе матрицы резисторов типа R=2R)	НФ
Преобразователи:	
цифро-аналоговые	ПА
аналого-цифровые	ПВ
длительности	ПД
умножители частоты аналоговые	ПЕ
делители частоты аналоговые	ПК
синтезаторы частоты	ПЛ
мощности	ПМ
напряжения (тока)	ПН
прочие	ПП
код—код	ПР
Схемы запоминающих устройств:	
ассоциативные	РА
матрицы постоянных ЗУ	РВ
ПЗУ (масочные)	РЕ
- матрицы оперативных ЗУ	РМ
- прочие	РП
ПЗУ с возможностью многократного программирования	РР
ПЗУ с возможностью однократного программирования	РТ



- ОЗУ	РУ
ЗУ на цилиндрических магнитных доменах (ЦМД)	РЦ
Схемы сравнения:	
амплитудные (уровня сигналов)	СК
по напряжению (компараторы)	СА
по времени	СВ
прочие	СП
частотные	СС
Триггеры:	
Типа JK (универсальные)	ТВ
динамические	ТД
комбинированные (типа DT, RST и др.)	ТК
Шмитта	ТЛ
Типа D (с задержкой)	ТМ
прочие ,	ТП
Типа RS (с отдельным запуском)	ТР
Типа T (счетные)	ТТ
Усилители	
Высокой частоты	УВ
Промежуточной частоты	УР
Низкой частоты	УН
Широкополосные	УК
Импульсных сигналов	УИ
Повторители	УЕ
Операционные	УД
Дифференциальные	УС
Прочие	УП
Фильтры	
Верхних частот	ФВ
Нижних частот	ФН
Полосовые	ФЕ
Режекторные	ФР
Прочие	ФП
Многофункциональные схемы	
Аналоговые	ХА
Комбинированные	ХК
Цифровые	ХЛ
Цифровые матрицы	ХМ

Аналоговые матрицы	ХН
Комбинированные (аналоговые и цифровые) матрицы	ХТ
Прочие	ХП
Фоточувствительные схемы с зарядовой связью	
Линейные	ЦЛ
Матричные	ЦМ
Прочие	ЦП

### Порядок выполнения работы.

1. Определить, используя стенд и справочные материалы, следующие характеристики ИС, выданных преподавателем:
  - Технологию изготовления ИС;
  - Функциональное назначение ИС;
  - Тип корпуса ИС.
2. Свести полученные данные в таблицу и оформить отчет.

№ ИС	Технология изготовления	Функциональное назначение	Тип корпуса
1			
2			
3			
4			
5			

### Контрольные вопросы.

1. Элементы конструкции ИС.
2. Степень интеграции ИС.
3. Классификация ИС в зависимости от технологии изготовления.
4. Система условных обозначений ИС.
5. Типовые корпуса ИС.

### Литература

1. Нефедов А.В. Интегральные микросхемы и их зарубежные аналоги. М., 2001.

## С О Д Е Р Ж А Н И Е

Работа № 1. Исследование основных параметров резисторов	3
Работа № 2. Исследование основных параметров конденсаторов.	18
Работа № 3. Исследование основных параметров катушек индуктивности	36
Работа № 4. Исследование основных параметров ИС.	45