

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»

Колледж электроники и бизнеса

Кафедра электронной техники и физики

Л. А. БУШУЙ

# **ИЗУЧЕНИЕ КАТУШЕК ИНДУКТИВНОСТИ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом  
государственного образовательного учреждения  
высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»

Оренбург 2009

УДК 621. 316 (075. 32)  
ББК 32. 852. я 73  
Б90

Рецензент  
преподаватель Проходцев В. В.

Б90            **Бушуй, Л. А.**  
**Изучение катушек индуктивности: методические указания к лабораторной работе /Л.А. Бушуй. - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2009.- 24 с.**

Методические указания предназначены для проведения лабораторной работы «Изучение катушек индуктивности» раздела «Магнитные материалы» по дисциплине «Материаловедение, электрорадиоматериалы и радиокомпоненты» для студентов второго курса специальности «Техническое обслуживание и ремонт радиоэлектронной техники».

Методические указания составлены с учетом Государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования по направлению подготовки дипломированных специалистов утвержденного 18.03.2002 Министерством образования Российской Федерации.

ББК 32. 852. я73

© Бушуй Л. А., 2009  
© ГОУ ОГУ, 2009

## Содержание

Введение.....	4
1 Теоретическая часть работы.....	4
1.1 Классификация и характеристики катушек индуктивности.....	4
1.2 Типы катушек индуктивности .....	7
1.3 Основные параметры катушек индуктивности.....	10
1.4 Регулировка индуктивности .....	12
1.5 Типы сердечников.....	13
1.6 Элементы катушек индуктивности.....	15
1.7 Контроль катушек индуктивности .....	17
1.8 Обозначение катушек индуктивности на схемах.....	17
1.9 Маркировка катушек индуктивности.....	18
1.10 Особенности монтажа и неисправности намоточных узлов и деталей.....	22
1.11 Контрольные вопросы.....	22
2 Практическая часть работы.....	23
2.1 Оборудование.....	23
2.2 Содержание отчёта.....	23
2.3 Порядок выполнения отчёта.....	23
Список используемых источников.....	24

## Введение

Учебное пособие может быть использовано преподавателями и студентами при проведении лабораторной работы «Изучение катушек индуктивности» раздела «Магнитные материалы» дисциплины «Материаловедение, электрорадиоматериалы и радиокомпоненты», при подготовке студентов к тестированию и к экзаменам.

### 1 Теоретическая часть работы

#### 1.1 Классификация и характеристики катушек индуктивности

Катушки индуктивности позволяют запасать электрическую энергию в магнитном поле. Типичное их применение — сглаживающие фильтры и различные селективные цепи. Их электрические характеристики определяются конструкцией, свойствами материала магнитопровода, его конфигурацией и числом витков катушки.

При выборе катушки индуктивности следует учитывать следующие характеристики:

- требуемое значение индуктивности (Гн, мГн, мкГн, нГн);
- максимальный ток катушки;
- допуск индуктивности;
- температурный коэффициент индуктивности (ТКИ);
- активное сопротивление обмотки катушки;
- добротность катушки, которая определяется на рабочей частоте как отношение индуктивного и активного сопротивлений;
- частотный диапазон катушки.

Катушки индуктивности подразделяются на имеющие постоянное значение индуктивности, и с изменяемой индуктивностью, подстраиваемой ферромагнитным сердечником.

Первый тип применяется, как правило, во входных цепях телефонных аппаратов, в сглаживающих фильтрах, дросселях в цепях ВЧ. Второй тип катушек используется в резонансных цепях — ВЧ трактах приемных и передающих устройств.

Катушка индуктивности представляет собой электрорадиоэлемент, имеющий спиральную обмотку и способный концентрировать в своем объеме или на плоскости электромагнитное поле.

Катушки индуктивности применяются в качестве элементов колебательных контуров, дросселей, а также для связи цепей между собой.

Катушка индуктивности, служащая для разделения постоянного и переменного токов или токов разных частот, называется дросселем.

По назначению катушки индуктивности подразделяют на:

- контурные,
- катушки связи,
- вариометры,
- дроссели высокой частоты.

По конструктивным признакам на:

- бескаркасные,
- с каркасом,
- с сердечником и без него,
- экранированные и неэкранированные,
- однослойные и многослойные.

По диапазону волн:

- длинноволновые(ДВ),
- средневолновые (СВ),
- КВ и УКВ.

По технологии изготовления:

- воженные,
- намотанные,
- печатные,
- тонкопленочные.

Катушки индуктивности позволяют создавать магнитное поле при прохождении тока через них или запасать электрическую энергию в магнитном поле. В цепях переменного тока катушки и дроссели ведут себя как реактивные резисторы, сопротивление которых растет с увеличением частоты. Применение сердечника приводит к увеличению индуктивности катушки, а с другой стороны дает возможность легко и просто изменить ее индуктивность в определенных пределах.

В высокочастотных узлах и цепях радиотехнической аппаратуры применяют самые разнообразные по назначению и устройству катушки индуктивности. В отличие от сопротивлений и конденсаторов промышленность не выпускает их в массовом количестве. Это связано с большой специфичностью предъявляемых к ним требований.

Количественные и качественные показатели высокочастотной катушки определяются ее индуктивностью, добротностью, собственной емкостью и температурным коэффициентом индуктивности.

Индуктивность катушки зависит в основном от ее размеров, формы и числа витков: чем больше размеры катушки  $N$  чем больше содержит она витков, тем больше ее индуктивность. Кроме того, на индуктивность катушки сильно влияют введение в нее сердечника и помещение ее в экран. В радиотехнической аппаратуре используют высокочастотные катушки с индуктивностью от долей микрогенри до десятков миллигенри.

Так же как и в конденсаторах, рассеивание энергии в катушке можно выразить тангенсом угла потерь ( $\operatorname{tg} \delta$ ) . Однако качество работы катушки в цепях переменного тока принято выражать не тангенсом угла потерь, а его обратной величиной, называемой добротностью ( $Q_L$ ).

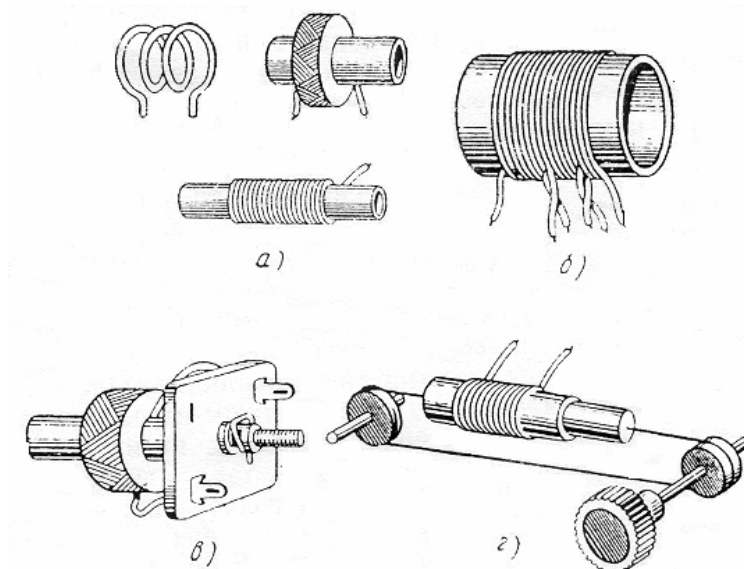
В радиоаппаратуре широкого применения используют обычно катушки средней добротности (порядка от 40 до 200). Катушки индуктивности с высокой добротностью (более 300) применяют только в специальных случаях (например, в контурах и фильтрах с острой резонансной характеристикой). Витки и слои катушки образуют емкость, которую в целом можно рассматривать как конденсатор, подключенный параллельно катушке. Эта собственная емкость катушки ухудшает ее качественные показатели (понижает добротность и стабильность, уменьшает коэффициент перекрытия диапазона частот в колебательном контуре, ухудшает действие катушки, применяемой в качестве дросселя). Поэтому при конструировании катушек стараются уменьшить их емкость.

Собственная емкость катушки в значительной мере зависит ее размеров и способа намотки. Катушки большого размера обладают большой собственной емкостью (наиболее сильно влияет диаметр катушки). Наименьшую емкость (от 1 пФ до 3 пФ) имеют однослойные катушки, намотанные с шагом, а также многослойные катушки с универсальной намоткой (от 5 пФ до 30 пФ). Уменьшению собственной емкости катушки способствует также разделение ее обмотки на отдельные секции.

При изменении окружающей температуры изменяются размеры катушки, вследствие чего изменяется ее индуктивность. Относительное изменение индуктивности на  $1^{\circ}\text{C}$  называется температурным коэффициентом индуктивности (ТКИ). Для уменьшения ТКИ принимают специальные меры. В однослойных катушках используют для этого каркасы из керамических материалов (что уменьшает потери) и намотку производят нагретым от  $80^{\circ}\text{C}$  до  $120^{\circ}\text{C}$  проводом.

В зависимости от назначения катушки можно разделить на контурные (образующие совместно с конденсаторами колебательный контур), связи (передающие высокочастотные колебания из одной цепи в другую), дросселя высокой частоты (преграждающие путь токам высокой частоты) и др. По конструктивным признакам катушки делят на цилиндрические, спиральные, однослойные, многослойные с сердечником или без сердечника, экранированные и неэкранированные, с постоянной или переменной индуктивностью и т.д..

Геометрические размеры катушек, их форма, способ намотки, толщина изоляции проволоки, материал каркаса могут весьма сильно различаться в зависимости от назначения катушек в тех или иных схемах и величины их индуктивности. На рисунке 1 показаны наиболее часто встречающиеся катушки индуктивности.



а – одинарные, б – с отводами, в – с сердечником из магнетодиэлектрика, г – с переменной индуктивностью

Рисунок 1 - Катушки индуктивности

## 1.2 Типы катушек индуктивности

Наиболее распространенными типами катушек являются цилиндрическая однослойная и типа “универсаль”. Последнюю наматывают на специальном станке.

Цилиндрическая намотка производится при изготовлении катушек с небольшой (порядка 200 мкГн) индуктивностью. Цилиндрические катушки с однослойной обмоткой удобны в изготовлении, обладают малой паразитной (собственной) емкостью и могут быть сравнительно точно (от 3 % до 5 %) рассчитаны на заданную индуктивность.

Намотку производят на каркас в виде цилиндра с тонкими стенками, изготовленный из изоляционного материала. Витки намотки располагают плотно, виток к витку, или на некотором расстоянии друг от друга — с шагом. Чтобы витки не сползали, концы намотки закрепляют нитками или продевают в специально сделанные в каркасе отверстия, а катушку плотно наматывают на каркас. Катушку наматывают медным проводом диаметром от 0,3 мм до 0,6 мм марки ПЭ (изолированный эмалью) или ПЭШО (изолированный эмалью и одним слоем шелковой изоляции).

При намотке катушки несколько увеличивают число ее витков (от 5 % до 10 %) по сравнению с расчетным, чтобы при окончательной подгонке можно было отмотать несколько витков для получения нужной величины индуктивности. Это проще, чем добавлять витки к намотанной катушке.

В целях повышения добротности каркас катушки изготавливают из диэлектрика с малыми потерями. Потери в диэлектрике растут с увеличением частоты и поэтому материал каркаса выбирают, учитывая диапазон рабочих частот катушки. На высокой частоте хорошие результаты получают при

использовании материала с малыми потерями (полистирола, радиофарфора).

Изготовленную катушку укрепляют на шасси перпендикулярно его поверхности, как показано на рисунке 2. Слишком близкое расположение обмотки от шасси вызывает некоторое уменьшение индуктивности и добротности вследствие возникновения токов, наведенных полем катушки в металле шасси. Индуктивность экранированной катушки подгоняют после тщательного соединения экрана с шасси.

Выводы концов катушки пропускают сквозь отверстия в шасси вблизи катушки и заделывают в изоляционные чулки. Если данная катушка является индуктивностью колебательного контура, то желательно подключить контурный конденсатор у зажимов катушки в непосредственной близости от нее.

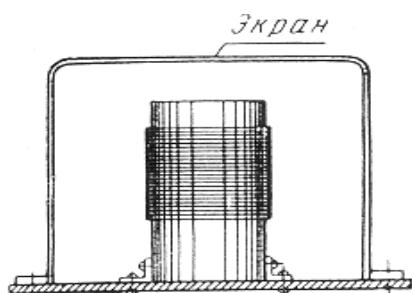
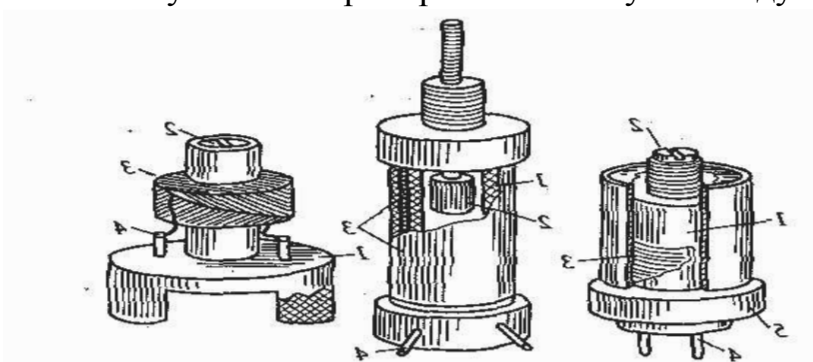
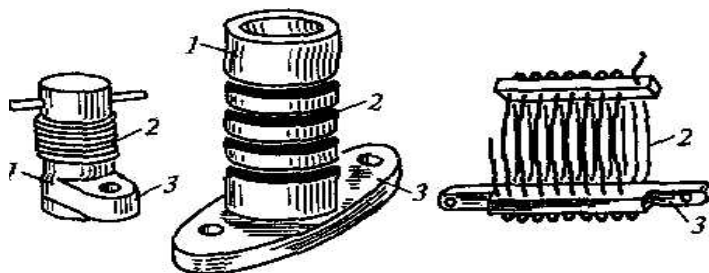


Рисунок 2 - Экранированная катушка индуктивности



1 — каркас; 2 — сердечник; 3 — обмотка; 4 — штыри; 5 — корпус

Рисунок 3- Катушки индуктивности ДВ- и СВ-диапазонов



1 — каркас; 2 — обмотка; 3 — элементы крепления к шасси

Рисунок 4- Катушки индуктивности КВ- и УКВ-диапазонов



Многослойные катушки могут иметь рядовую намотку или намотку «в навал». В первом случае витки располагают правильными рядами, а во втором — беспорядочно. К категории многослойных катушек относят также намотку типа «универсаль». При выполнении этой намотки провод укладывают не перпендикулярно образующей каркаса, а под некоторым углом. Как только провод доходит до края катушки, направление его укладки меняют.

Катушки типа «универсаль» с успехом могут быть использованы в различного рода схемах, особенно в качестве корректирующих в широкополосных усилителях, в схемах резонансных усилителей, линий задержки и т.д. Достоинством этих катушек является их небольшой размер при сравнительно большой индуктивности (20 мГн и более) и малой собственной емкости, что достигается применением указанного способа намотки.

Катушка, индуктивность которой можно изменять в больших пределах, называется *вариометром*. Чаще всего вариометр состоит из двух катушек, взаимная индуктивность которых может меняться. Вариометры применяют в основном в передатчиках для настройки колебательных контуров и подбора связи между контурами.

К катушкам индуктивности относятся также высокочастотные дроссели марки ДМ. Они изготавливаются без каркаса, намотка производится на стержневой ферритовый сердечник диаметром до 2 мм. По внешнему виду такие дроссели похожи на резисторы. Они предназначены для фильтрации пульсаций в цепях питания и допускают прохождение постоянного тока до 2 А.

Дроссель высокой частоты представляет собой катушку индуктивности, которая включается в цепь тока высокой частоты для увеличения сопротивления цепи. Высокочастотный дроссель не оказывает влияния на величину постоянного тока или тока низкой частоты.

Дроссели применяют в цепях фильтрации анодного и коллекторного питания усилителей высокой частоты, а также в цепях накала ламп этих каскадов.

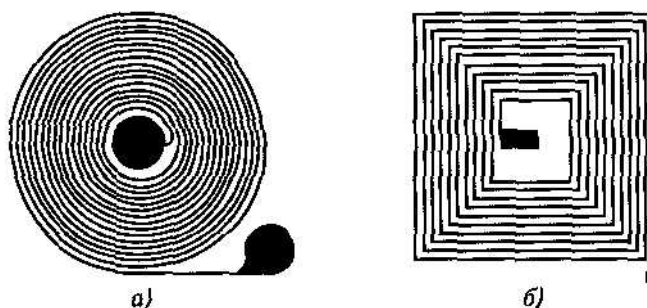
Для повышения заградительных свойств дроссель должен обладать значительной индуктивностью и весьма малой емкостью по сравнению с контурной катушкой. Его резонансная частота должна быть гораздо больше частоты рабочего сигнала, выделяемого в контуре. В этом случае при индуктивности порядка сотен микроГенри дроссель может использоваться в развязывающих цепях контуров УВЧ.

Печатная катушка индуктивности представляет собой плоскую многослойную спираль, расположенную на печатной плате. Такие катушки изготавливают чаще всего травлением фольгированного диэлектрика (гетинакса ГФ или стеклотекстолита СФ). Толщина проводников катушки составляет от 30 мкм до 50 мкм, а ширина от 0,3 мм до 1 мм, при этом на площади в 1 см<sup>2</sup> получают среднее значение индуктивности порядка 10 мкГн. Добротность катушек от 100 до 120.

Спиральная катушка может быть круглой, овальной или

прямоугольной формы. Индуктивность катушки прямоугольной формы по сравнению с катушкой круглой формы при одной и той же площади и прочих равных геометрических размерах (ширина проводников и расстояние между ними) примерно на 12 % выше.

Микромодульная катушка индуктивности выполняется на магнитных сердечниках цилиндрического, тороидального или броневоего типа. Основным материалом для изготовления сердечников служит феррит 50ВЧ или 1000 НМ. Для намотки применяются провода марок ПЭБ и ПЭВТЛ. Наибольшее применение получили микромодульные катушки индуктивности марок ИФМ, МКИ и МКИП. На рисунке 5 приведены тонкопленочные катушки индуктивности в виде спирали.



*a* — круглая; *b* — квадратная

Рисунок 5 - Тонкопленочные катушки индуктивности в виде спирали

### 1.3 Основные параметры катушек индуктивности

Номинальная индуктивность катушки характеризует количество энергии, запасаемой катушкой при протекании по ней электрического тока. Чем выше индуктивность катушки, тем больше энергия магнитного поля при заданном значении силы тока. Индуктивность зависит формы, размеров катушки, числа ее витков, а так же от размеров, формы и материала ее сердечника. Сердечник увеличивает индуктивность катушки. Индуктивность катушки зависит от диапазона волн, в котором ее применяют. Для катушек УКВ она составляет десятые и сотые доли микроГенри, для катушек КВ — единицы микроГенри, для катушек средних волн — сотни микроГенри, для катушек ДВ — единицы миллиГенри.

Катушки с малой индуктивностью изготавливаются без сердечника с небольшим числом витков. Для увеличения индуктивности, катушку выполняют многослойной и вводят сердечник из ферромагнитного материала. Потери энергии в катушке должны быть минимальными, поэтому ее конструкция должна обеспечивать наибольшую индуктивность при малом активном сопротивлении.

Допуск на индуктивность катушки, который зависит от ее назначения. Так, для контурных катушек индуктивности допуск составляет

от  $\pm 0,2$  % до  $\pm 0,5$  %, для катушек связи и дросселей высокой частоты от  $\pm 10$  % до  $\pm 15$  % и т. д. Такая точность контурных катушек обеспечивается использованием специальных мер при их изготовлении.

Добротность катушки индуктивности  $Q$ , определяемая при заданной индуктивности и рабочей частоте суммарным сопротивлением потерь энергии в катушке.

Добротность характеризует качество работы катушки индуктивности в цепях переменного тока.

Отношение индуктивного сопротивления катушки к активному сопротивлению на данной частоте называется добротностью катушки и определяется по формуле (1)

$$Q = \frac{X_L}{r} = \frac{2\pi fL}{r}. \quad (1)$$

Добротность катушек индуктивности при использовании их в контурах влияет на чувствительность и избирательность радиоприемных устройств, к.п.д. радиопередающих устройств и др. Применяемые в радиоаппаратуре катушки индуктивности имеют диапазон добротности от 30 до 300. Чем выше требуемая добротность катушки, тем большие габариты она должна иметь.

Стабильность параметров катушки индуктивности. Параметры катушки не должны изменяться при воздействии внешних факторов, т. е. катушка должна обладать стабильностью.

Температурная стабильность катушки индуктивности определяется изменением ее главных параметров  $L$  и  $Q$  при воздействии температуры. Изменение температуры вызывает изменения длины и диаметра каркаса катушки, приводящие при повышении температуры к увеличению индуктивности, а при уменьшении температуры — к уменьшению индуктивности. Температурная стабильность количественно оценивается температурным коэффициентом индуктивности (ТКИ) и коэффициентом нецикличности (КТНИ).

Для увеличения температурной стабильности индуктивности следует изготавливать каркас с малым температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР) (керамика), обеспечивая плотное сцепление провода с каркасом («горячая» намотка или вжигание серебряной дорожки в тело керамического каркаса). Такая конструкция позволяет получить  $\text{ТКИ} = (5 \dots 10) \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ , однако это возможно лишь для катушек КВ и УКВ, т. е. имеющих индуктивность не более 10 мкГн.

Для многослойных катушек целесообразно применять сердечники из карбонильного железа или альсифера либо вовсе отказаться от них.

Собственная (межвитковая) емкость катушки индуктивности обусловлена емкостью между витками катушки, емкостью витков по отношению к шасси или экрану. Собственная емкость катушки отрицательно влияет на ее добротность и стабильность.

Для уменьшения собственной емкости однослойной катушки ее витки наматывают не вплотную, а на некотором расстоянии друг от друга (намотка с принудительным шагом).

Для уменьшения собственной емкости многослойной катушки ее изготавливают из отдельных секций. Секционные катушки применяют в качестве контурных катушек и дросселей высокой частоты. Малую собственную емкость имеют многослойные катушки с намоткой «универсаль», при которой провод переходит зигзагом с одного края катушки на другой.

Для устранения влияния электромагнитного поля катушки на соседние детали и внешних полей на катушку ее закрывают металлическим экраном. Для высокочастотных катушек экран изготавливают из меди или алюминия толщиной от 0,4 мм до 0,5 мм. Экран способствует уменьшению индуктивности и добротности катушки и увеличению ее собственной емкости. Чем ближе расположен экран к виткам катушки, тем сильнее изменяются ее параметры. Для уменьшения влияния экрана необходимо, чтобы его диаметр и длина были в два раза больше диаметра и длины намотки. Для низкочастотных катушек применяют экраны из ферромагнитных материалов, например из листовой стали толщиной от 0,5 мм до 1,5 мм.

Для увеличения добротности и уменьшения габаритов катушки используются сердечники из ферромагнитных материалов. Высокочастотные катушки выполняются с сердечниками из карбонильного железа. Добротность катушек с таким сердечником составляет от 400 до 500, а без сердечника — не более 200.

Для контурных катушек, работающих в диапазонах длинных и средних волн, используются броневые сердечники. Низкочастотные дроссели имеют сердечники из листовой электротехнической стали. Толщина стальных листов для дросселей, используемых в цепях звуковых частот, составляет от 0,2 мм до 0,5 мм, а для дросселей, используемых в цепях переменного тока с частотой 50 Гц, — около 0,5 мм.

Индуктивность катушки возрастает при увеличении числа и диаметра витков и уменьшении расстояния между ними. Введение внутрь катушки сердечника из магнетодиэлектрика также способствует увеличению ее индуктивности. Если сердечник выполнен из диамагнитного материала, например латуни, то при его введении индуктивность катушки уменьшается. То же самое происходит при введении внутрь катушки короткозамкнутого витка. На практике чаще всего изменение индуктивности осуществляют перемещением сердечника внутри катушки.

#### **1.4 Регулировка индуктивности**

Для регулировки индуктивности катушек применяют различные методы, например подбор секционированного отвода катушки, изменение положения соседних витков рядовой намотки. Изменять индуктивность можно также с помощью короткозамкнутого витка или диска, дополнительной подвижной

секции и т. п. Хорошие результаты дает использование металлических и магнитодиэлектрических сердечников. При ввинчивании сердечника изменяется величина индуктивности катушки.

При применении метода секционированного отвода однослойные обмотки катушек индуктивности выполняют с большим количеством отводов секций. Рабочую часть витков катушки определяют соответствующим подбором вывода секции. Оставшиеся холостые отводы изолируют, надевая на них трубки. Указанный метод позволяет регулировать индуктивность в сравнительно широких пределах. Индуктивность рядовых однослойных обмоток изменяют пинцетом, сближая или раздвигая витки в процессе регулировки.

Индуктивности катушек подгоняют с помощью короткозамкнутого витка или диска следующим образом. В магнитное поле катушки вводят специальный короткозамкнутый виток из медной проволоки или диск. Положение витка или диска в катушке определяет величину индуктивности.

Дополнительной подвижной секцией пользуются обычно при регулировке индуктивности катушек с обмоткой типа «универсаль». Катушка дополнительной секции имеет значительно меньшее количество витков, чем основная. Ее наматывают на отдельной оправке и помещают на каркас рядом с основной катушкой на некотором расстоянии от последней. Дополнительную секцию соединяют с основной катушкой последовательно. Индуктивность регулируют, изменяя положение подвижной секции относительно основной катушки.

## **1.5 Типы сердечников**

Наиболее эффективно применение сердечников, позволяющих значительно сократить габаритные размеры катушек при сохранении широкого диапазона регулировки индуктивности, высокой добротности и стабильности.

Сердечник из магнитного материала, помещенный внутри катушки, концентрирует магнитное поле и тем самым увеличивает ее индуктивность. Применение магнитных сердечников позволяет уменьшить размеры катушки и в ряде случаев увеличить ее добротность. Кроме того, используя сердечник, который может перемещаться внутри катушки, можно изменять ее индуктивность без изменения числа витков, что имеет большое значение для компенсации отклонений индуктивности и других параметров схемы при регулировке аппаратуры.

Материалы, применяемые для изготовления сердечников, разделяют на две основные группы: магнитодиэлектрики и ферриты (оксиферы).

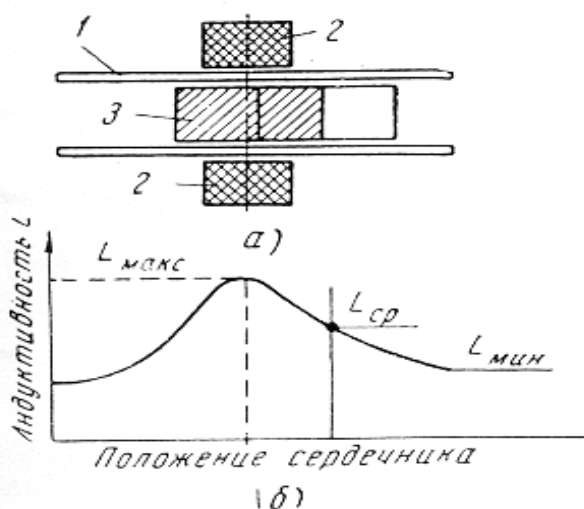
Магнитодиэлектрик состоит из мельчайших частиц проводящего магнитного материала, изолированных друг от друга слоем диэлектрика, который одновременно является связующим веществом, скрепляющим частицы.

В отличие от магнитодиэлектриков феррит — монолитный материал,

который обладает ферромагнитными свойствами и одной временно имеет большое удельное сопротивление. Это важнейшее преимущество ферритов передметаллическими магнитными материалами обуславливает малые потери на вихревые токи и позволяет использовать их в виде монолитных сердечников на радиочастотах.

На рисунке 6 показан разрез катушки типа «универсаль» с сердечником, а также приведена кривая изменения индуктивности в зависимости от положения сердечника. Максимальное значение индуктивности получается при расположении сердечника точно в центре катушки. При перемещении его в обе стороны от указанного центрального положения индуктивность уменьшается от  $L_{max}$  до  $L_{min}$  равного индуктивности катушки без сердечника.

Для выпускаемых отечественной промышленностью из карбонильного железа сердечников типа СЦР (цилиндрические с резьбой), СЦГ (цилиндрические гладкие), СЦТ (цилиндрические трубчатые) и СЦШ (цилиндрические со шпилькой) эффективная проницаемость ( $M_{эфф} = L_{max}/L_{min}$ ) колеблется в пределах от 1,5 до 2,7 в зависимости от типа сердечника и частоты, на которой работает катушка.



(а) кривая зависимости индуктивности от положения сердечника

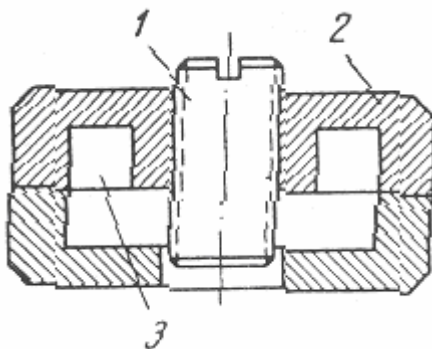
(б) 1 – каркас, 2 – катушка, 3 – сердечник.

Рисунок 6- Разрез катушки индуктивности с магнитным сердечником

Сердечники этих типов могут быть использованы до частот 25 МГц. Сердечник перемещается внутри каркаса катушки в зависимости от конструкции сердечника либо с помощью резьбы, которая входит в соответствующую нарезку на внутренней стороне каркаса, либо посредством запрессованной в сердечник нарезной шпильки. Сердечник поворачивают и перемещают отверткой из немагнитного материала, в противном случае сама отвертка будет влиять на настройку, что существенно осложнит регулировку при включенной схеме.

Магнитные сердечники могут быть использованы как в цилиндрических

катушках, так и в катушках типа «универсаль». Помимо магнитных сердечников простого типа, описанных выше, используют броневые сердечники СБ, представляющие собой целый магнитопровод, изготовленный из массы на карбонильной основе, как показано на рисунке 7. Эффективная магнитная проницаемость таких сердечников колеблется от 3 до 6, в зависимости от типа и частоты.



1 – подстроечник; 2 – карбонильный магнитопровод; 3 – место для катушки.

Рисунок 7- Сердечник броневоего типа

Конструкция катушек индуктивности зависит также от того, в каких диапазонах частот и при какой мощности колебательного контура их используют. С увеличением рабочего диапазона частот колебательного контура величина индуктивности катушки, как правило, уменьшается.

### 1.6 Элементы катушек индуктивности

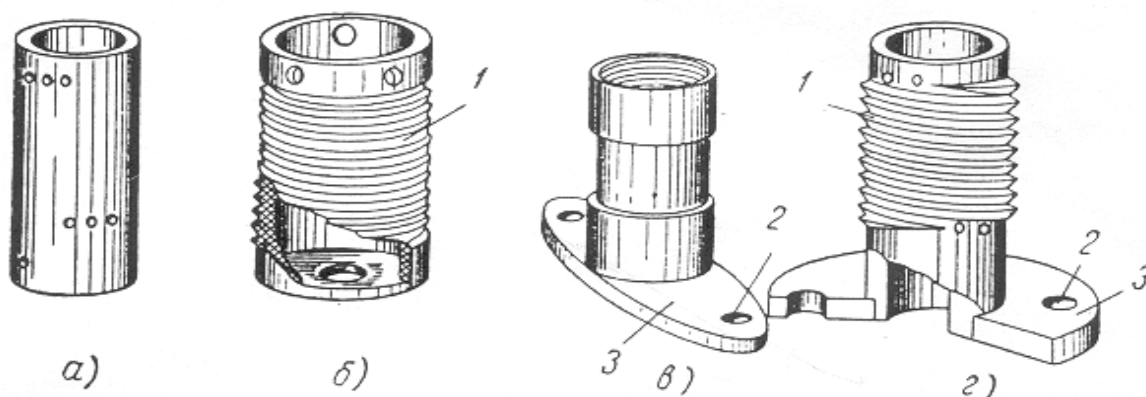
Основными элементами катушки индуктивности являются каркас, обмотка и экран.

**Каркас.** Он служит основанием для обмотки и должен обеспечить механическую прочность и жесткость намотки, крепление выводов и сердечника, а также удобное крепление на шасси прибора. Выбор материала каркаса определяется требованиями, предъявляемыми к катушке индуктивности — ограничению допустимой величины потерь в диэлектрике каркаса и допустимых изменений индуктивности вследствие изменений геометрических размеров каркаса под влиянием внешних факторов (температуры, влажности и др.). К каркасам катушек, применяемых в мощных колебательных контурах, предъявляют, кроме того, повышенные требования и в отношении электрической прочности. Конструкции и размеры каркасов катушек индуктивности весьма разнообразны. Типичные конструкции каркасов показаны на рисунке 8.

Каркасы изготавливают из высокочастотных пресспорошков, керамики, полистирола и других высокочастотных диэлектриков.

Сборные каркасы из керамики склеивают глазурью, а затем отжигают. Для керамических каркасов применяют радиофарфор, ультрадиэлектрик и стеатит. Винтовую нарезку внутри каркасов делают в тех случаях, когда

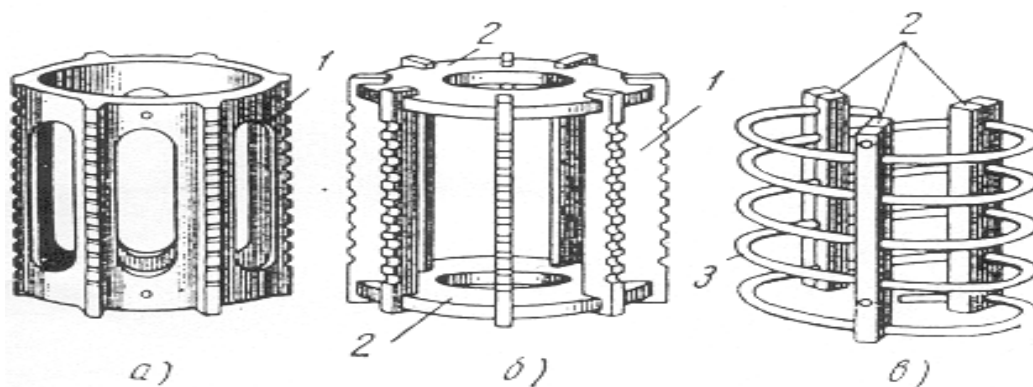
подгоняют индуктивность с помощью сердечников из магнетодиэлектриков.



а — гладкий; б — с канавками для укладки провода; в — с фланцем и буртиками, ограничивающими ширину обмотки; г — сборный с фланцем; 1 — канавки для укладки провода; 2 — отверстие для крепления; 3 — фланец

Рисунок 8 - Каркасы коротковолновых катушек

Канавки на каркасах способствуют повышению стабильности индуктивности в результате уменьшения влияния механических воздействий, вызывающих перемещение витков. На каркасах с канавками для обмотки используют медный посеребренный провод без изоляции, которая в этом случае только бы увеличивала потери. Для закрепления концов провода на каркасах предусматривают отверстия либо ставят монтажные лепестки.



а — керамический несборный; б — сборный с двумя фланцами; в — укрепленный тремя ребрами; 1 — ребра; 2 — фланцы; 3 — провод

Рисунок 9 - Ребристые каркасы катушек

Для изготовления катушек передатчиков с наибольшей добротностью применяют ребристые каркасы, показанные на рисунке 9. Здесь провод обмотки прилегает не ко всему каркасу, а только к ребрам, что значительно уменьшает межвитковую емкость и повышает добротность катушки. На ребрах имеются канавки по винтовой линии. Выемки и окна сделаны для уменьшения потерь в материале каркаса и снижения веса. В массовой радиовещательной и



телевизионной аппаратуре широко используют каркасы для катушек индуктивности, изготовленные из пресспорошка.

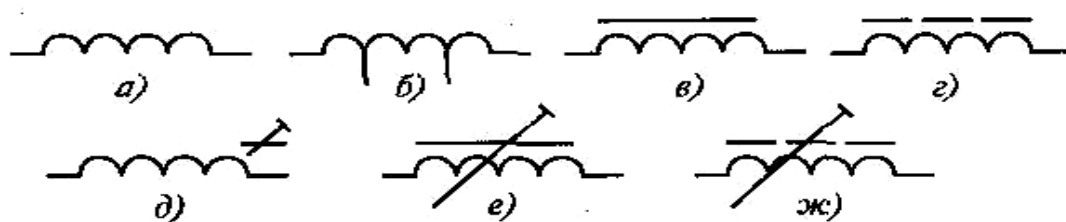
**Обмотка.** Катушки длинноволнового и средневолнового диапазонов обычно наматывают проводом литцендрат, а коротковолновые катушки — одножильным эмалированным проводом. Литцендрат представляет собой провод, свитый из большого количества (от 7 до 119) медных покрытых эмалью проволок диаметром от 0,07 мм до 0,2 мм, изолированных шелком. Литцендрат выпускают двух марок: ЛЭШО (изолированный одним слоем шелка) и ЛЭШД (изолированный двумя слоями шелка).

**Экран.** Чтобы устранить паразитные связи между отдельными колебательными системами и уменьшить влияние внешних магнитных полей, применяют защиту катушек индуктивности замкнутыми металлическими электропроводящими экранами.

Под воздействием переменного магнитного поля в экране индуцируются вихревые токи, которые создают магнитное поле, направленное навстречу первоначальному полю. В результате этого происходит ослабление внешнего магнитного поля катушки. Оно тем больше, чем меньше удельное электрическое сопротивление материала экрана. Под влиянием экрана увеличиваются потери и собственная емкость катушки, а также уменьшается ее индуктивность. Для изготовления экранов используют материалы, обладающие малым электрическим сопротивлением, — медь, латунь и алюминий.

### 1.7 Обозначение катушек индуктивности на схемах

На рисунке 10 приведены обозначения на схемах различных типов катушек индуктивности



- а- без сердечника; б- без сердечника с отводами; в- с ферромагнитным сердечником; г- с ферромагнитным сердечником, имеющим зазор;  
д- с ферромагнитным сердечником-подстроечником;  
е- с немагнитным сердечником-подстроечником;  
ж- с магнитодиэлектрическим сердечником-подстроечником

Рисунок 10- Типы катушек индуктивности

### 1.8 Контроль качества катушек индуктивности

Основными методами контроля качества катушек индуктивности являются внешний осмотр готовых изделий и проверка на соответствие их

электрических данных техническим условиям.

При внешнем осмотре определяют качество сборки катушки, ее соответствие рабочему чертежу и надежность креплений, входящих в сборку конструктивных деталей. При осмотре проверяют также соответствие монтажных соединений нумерации на контактных панелях и качество паяк.

Проверка катушек на соответствие электрическим данным включает в себя измерение индуктивности, определение добротности, измерение сопротивления изоляции и т. п. Кроме того, все катушки периодически испытывают на тепло-, морозо-, влаго- стойкость, вибропрочность и срок службы.

## 1.9 Маркировка катушек индуктивности

Маркировка катушек индуктивности осуществляется путем нанесения на их корпус основных параметров — значения индуктивности и допустимого отклонения индуктивности от номинального значения.

При кодовой маркировке на корпус катушки индуктивности наносится цифровая или буквенно-цифровая маркировка. Номинальное значение индуктивности кодируется цифрами, после которых следует (или отсутствует вообще) буква, обозначающая величину допуска.

При определении величины индуктивности следует знать следующее:

- цифры обозначают значение индуктивности в микроГенри;
- если индуктивность обозначается в наноГенри, то после цифр наносится буква N ( $2N2 = 2,2 \text{ нГн}$ );
- если величина индуктивности менее 1 мкГн или выражается дробным числом, измеряемым в микроГенри, то применяется разделительная буква R ( $R47 = 0,47 \text{ мкГн}$ ;  $1R5 = 1,5 \text{ мкГн}$ );
- при маркировке значений индуктивности от 10 мкГн после двузначной цифры проставляется множитель, указывающий на количество нулей после указанного двузначного числа ( $150 = 15 \text{ мкГн}$ ;  $151 = 150 \text{ мкГн}$ ;  $122 = 1200 \text{ мкГн} = 1,2 \text{ мГн}$ );
- указанный выше способ маркировки применяется и для SMD катушек индуктивности (дросселей);
- в отдельных случаях применяется отличающееся от указанного выше обозначение индуктивности - индуктивность в микроГенри просто обозначается одно-, двух- или трехзначным числом без множителя, или дробным числом ( $560 = 560 \text{ мкГн}$ ;  $3,3 = 3,3 \text{ мкГн}$ ).

Допуск катушек индуктивности обозначается одной из четырех букв: D - для допуска  $\pm 0,3 \text{ нГн}$ ; J —  $\pm 5 \%$ ; K —  $\pm 10 \%$ ; M —  $\pm 20 \%$  (или не наносится никакой буквы, что соответствует допуску  $\pm 20 \%$ ).

В таблице 1 приведены основные данные SMD катушек индуктивности, производимых фирмами SAMSUNG и NIC.

Таблица 1- Основные данные катушек индуктивности фирм SAMSUNG и NIC

Код E1A	Диапазон значений индуктивности, мкГн	Добротность, Q	Тестовая частота при измерении Q МГц	Сопротивление постоянному току, Ом	Максимальный ток, мА
<b>Катушки с низкими значениями индуктивности</b>					
0603	0.047...0.82	15	25	0,30	50
0603	1,0.. 4,7	35	10	0,60	10
0603	5.6...12.0	35	4	1,55	4
0603	15,0...33,0	20	1	1,70	1
0805	0,047...0,82	25	25	0,20	300
0805	1,0...4,7	45	10	0,40	50
0805	5,6...12,0	50	4	0,90	15
0805	15.0...33.0	30	1	0,80	5
1206	0.047...0.82	25	25	0,90	300
1206	1,0...4,7	45	10	0,40	100
1206	5.6...12.0	50	4	0,70	25
1206	15,0.-33,0	35	1	0,70	5
<b>Катушки с высокими значениями индуктивности</b>					
0603	1,5...100	12	100	0,10	300
0805	1,58... 180	18	100	0,10	300

Цветовая маркировка наносится на корпус катушки индуктивности в виде трёх или четырех цветных колец или точек, которые обозначают следующее:

- первые два кольца — номинал индуктивности;
- третье кольцо — множитель;
- четвертое кольцо — допуск (или не наносится при величине допуска  $\pm 20\%$ ).

Пример цветовой маркировки катушек индуктивности изображен на рисунке 11.

Цвет полосы (точки)	Назначение
Серый	Входной контур диапазона LW
Черный *	Входной контур диапазона MW
Синий	Входной контур диапазона SW1
Коричневый	Входной контур диапазона SW2
Белый	Контур гетеродина диапазона LW
Красный	Контур гетеродина диапазона MW
Зеленый	Контур гетеродина диапазона SW1
Розовый	Контур гетеродина диапазона SW2 **
Желтый	Контур тракта ПЧ 455 кГц
Оранжевый	Контур тракта ПЧ 10,7 МГц
Розовый	Контур детектора 10,7 МГц
Фиолетовый	Контур детектора 10,7 МГц **
Пример обозначения	
Контур тракта ПЧ 10,7 МГц	
* - цвет материала сердечника	
** - при наличии диапазона SW2 контур детектора 10,7 МГц имеет фиолетовый код	



Рисунок 11 - Цветовая маркировка катушек контуров радиоприемных устройств

Мощные индуктивности для поверхностного монтажа выпускаются в цилиндрических корпусах типоразмеров 0604 и 0805, показанных на рисунке 12. На их корпусе наносится маркировка, обозначающая значение индуктивности в микроГенри и допуск.

Например, 3R3M — индуктивность 3,3 мкГн с допуском  $\pm 20\%$ ; 820K — индуктивность 82 мкГн с допуском  $\pm 10\%$ . Буква R играет роль десятичной запятой. Если число, обозначающее номинал, трехзначное, то первые две цифры обозначают собственно номинал, а последняя — показатель степени числа 10, на которое необходимо этот номинал умножить. Допуск обозначается буквами: M -  $\pm 20\%$ ; Y— $\pm 15\%$ ; K— $\pm 10\%$ .

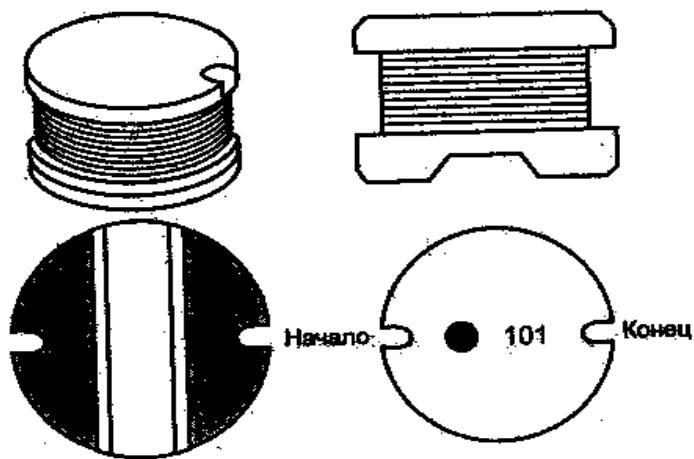


Рисунок 12- Мощная катушка индуктивности

Начало обмотки обозначается на корпусе индуктивности точкой .

ЧИП-индуктивности отличаются очень высокой надежностью. Они выпускаются в прямоугольных корпусах типоразмеров 1812, 1210, 1008, 0805 и показаны на рисунке 13.

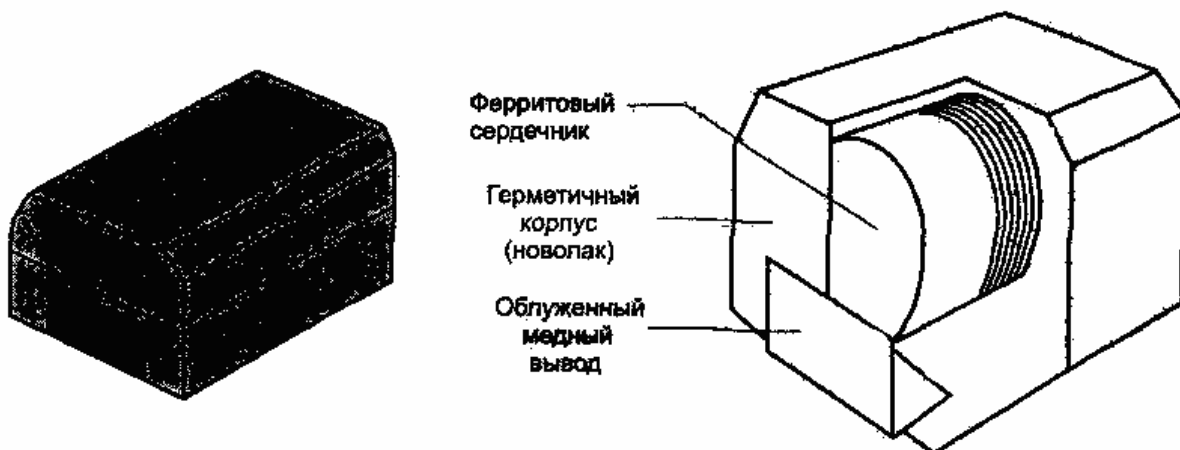


Рисунок 13- ЧИП-индуктивность

Их маркировка аналогична маркировке мощных индуктивностей. Однако ряд их номиналов начинается с индуктивностей величиной от 0,0039 мкГн. При обозначении малых значений индуктивности применяют букву N, которая играет, с одной стороны, роль десятичной точки, а с другой — обозначает коэффициент  $10^{-3}$ . Например, 3N9M обозначает индуктивность  $3,9 \cdot 10^{-3}$  мкГн или 0,0039 мкГн с допуском  $\pm 20\%$ ; 10NK обозначает индуктивность  $10 \cdot 10^{-3}$  мкГн или 0,01 мкГн с допуском  $\pm 10\%$ .

Дроссели серий Д, ДМ, ДП, ДПМ используются в каскадах ВЧ. Чаще всего их включают в цепи питания микросхем, коллекторные цепи транзисторов для фильтрации токов ВЧ.

На корпус дросселей наносится буквенно-цифровая маркировка. Например, ДМ-0,1 500. Это означает, что данный дроссель относится к серии ДМ, имеет рассеиваемую мощность 0,1 Вт и индуктивность 500 мкГн. Дополнительно может наноситься допуск в процентах.

### **1.10 Особенности монтажа и неисправности намоточных узлов и деталей**

При монтаже необходимо соблюдать следующие требования: исключение механических повреждений (обрыв обмоток, повреждение изоляции обмоток); строгое соблюдение температурного режима и продолжительности пайки, так как у многих деталей и узлов выводы катушек выполнены обмоточными проводами на контактные панели, каркасы изготовлены из пластмассы; надежное механическое крепление деталей и узлов при их наличии.

К характерным неисправностям намоточных узлов и деталей относятся:

- обрыв в обмотках или обрыв выводов обмоток;
- замыкание между обмотками;
- замыкание обмоток на магнитопровод;
- пробой диэлектрика каркаса или контактной панели, изоляции катушек (для высоковольтных обмоток);
- поломка сердечника (особенно подстроечных и регулируемых катушек)

Многие из этих неисправностей можно обнаружить прежде всего при внешнем осмотре: механические повреждения; обугленные (потемневшие) обмотки; искрение в деталях и узлах при включенной аппаратуре; сильный перегрев. Простейшая проверка заключается в измерении сопротивлений обмоток, между обмотками, между обмоткой и магнитопроводом с помощью омметра. Полярность его подключения роли не играет. Если омметр показывает бесконечно большое сопротивление между выводами обмотки, то это свидетельствует об обрыве в обмотках или выводах. Если омметр показывает нулевое сопротивление между обмоткой и сердечником или какое-либо сопротивление, то это означает короткое замыкание обмотки на сердечник или потерю диэлектрических свойств изоляции между обмоткой и сердечником.

### **1.11 Контрольные вопросы**

- 1 Назовите основные параметры катушек индуктивности.
- 2 От чего зависит индуктивность катушки?
- 3 Классификация катушек индуктивности
- 4 Что вызывает уменьшение индуктивности и добротности вследствие возникновения токов, наведенных полем катушки в металле шасси?

- 5 Что способствуют повышению стабильности индуктивности в результате уменьшения влияния механических воздействий, вызывающих перемещение витков?
- 6 Что называют литцендратом?
- 7 Что происходит под влиянием экрана?
- 8 Назовите особенности монтажа катушек индуктивности
- 9 Какие неисправности встречаются в катушках индуктивности и как их определить

## **2 Практическая часть работы**

**Тема работы:** Катушки индуктивности

**Цель работы:** Изучить классификацию, характеристики, виды катушек индуктивности, маркировку, виды неисправностей и их устранение

### **2.1 Оборудование:**

- 1) набор катушек индуктивности;
- 2) измерительные приборы;
- 3) справочные пособия.

### **2.2 Содержание отчёта:**

- 1) тему работы;
- 2) цель работы;
- 3) оборудование;
- 4) эскизы катушек индуктивности;
- 5) ответы на контрольные вопросы.

### **2.3 Порядок выполнения работы:**

- 1) ознакомиться с теоретическим материалом о катушках индуктивности;
- 2) зарисовать различные виды катушек индуктивности из набора;
- 3) научиться с помощью справочников определять по маркировке виды и параметры резисторов;
- 4) научиться с помощью измерительных приборов определять неисправности катушек индуктивности;
- 5) оформить отчет и защитить работу.

## Список использованных источников

- 1 **Хабаров, Б.П.** Техническая диагностика и ремонт бытовой радиоэлектронной аппаратуры: учебное пособие /Б.П. Хабаров, Г.В. Куликов, А.А. Парамонов, под общей редакцией Г.В. Куликова – М.: Горячая линия - Телеком, 2004. – 376 с.: ил
- 2 **Миссюль, П.И.** Техническое обслуживание и ремонт бытовой радиоаппаратуры / П.И. Миссюль – Минск.: Высшая школа., 2002. – 320 с.: ил.
- 3 **Ярочкина, Г.В.** Радиоэлектронная аппаратура и приборы. Монтаж и регулировка /Г.В Ярочкина– М.: Издательский центр «Академия», 2004 – 240 с.: ил.
- 4 **Гусев, В.Г.** Электроника / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. М.: Высшая школа, 2004 -621с.: ил.
- 5 **Фрумкин, Г.Д.** Расчет и конструирование радиоаппаратуры /Г.Д. Фрумкин М.: Высшая школа, 2002 - 462с.: ил.
- 6 **Кучумов, А.И.** Электроника и схемотехника: учебное пособие / А.И. Кучумов, 3-е изд - М.: Гелиос АРВ, 2005 – 366с.: ил.