

**Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
Кафедра Конструирования и производства
радиоэлектронных средств**

Дисциплина: «Компоненты электронной техники»

**Раздел 2: «Пассивные элементы
радиоэлектронных устройств»**

**Лекция №3. «Катушки индуктивности,
дроссели и трансформаторы»
(2 часа)**

**Доцент кафедры, к.п.н.,
Мордовин В.Н.
тел. 8 911 796 89 44
эл.почта: mvn6767@mail.ru**

2022 г.

СПб ГУТ)))

Учебные вопросы

1. Катушки индуктивности.
 - 1.1. Конструкции и разновидности катушек индуктивности.
 - 1.2. Основные электрические параметры катушек индуктивности.
2. Дроссели.
3. Трансформаторы.
4. Условные обозначения катушек индуктивности, дросселей и трансформаторов.
5. Эксплуатационно-технические характеристики катушек индуктивности, дросселей и трансформаторов.

Литература

1. Электрические и электронные компоненты устройств и систем : учеб.- Э45 ме-тод. пособие / В. В. Баранов [и др.]. - Минск : БГУИР, 2019. -136 с. : ил.
2. Путеводитель по электронным компонентам: сборник/ Лев Шапиро. СПб.: Свое издательство, 2014. – 184с.
3. Катушки индуктивности, дроссели и трансформаторы [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://mirznanii.com/a/120006/katushki-induktivnosti-drosseli-i-transformatory>.

ВВЕДЕНИЕ

Катушки индуктивности – это компоненты, предназначенные для накопления энергии в магнитном поле, и состоящие из проводов, уложенных в обмотки, которые обычно охватывают магнитопроводы.

Магнитопроводы, выполненные из ферромагнетиков, используют для увеличения индуктивности катушек. *Обмотки* катушек индуктивности выполняют проводами круглого или прямоугольного сечений, а обмотки некоторых мощных высокочастотных компонентов – медными или посеребрёнными лентами.

Дроссели пульсирующего тока – это катушки индуктивности, предназначенные для пропускания постоянной составляющей тока и задерживания его переменной составляющей. Используют, например, в фильтрах постоянного напряжения источников питания.

Трансформаторами называют статические компоненты, предназначенные для преобразования электрической энергии одной величины в электрическую энергию другой величины. Трансформация возможна *только переменного напряжения*.

1. Катушки индуктивности

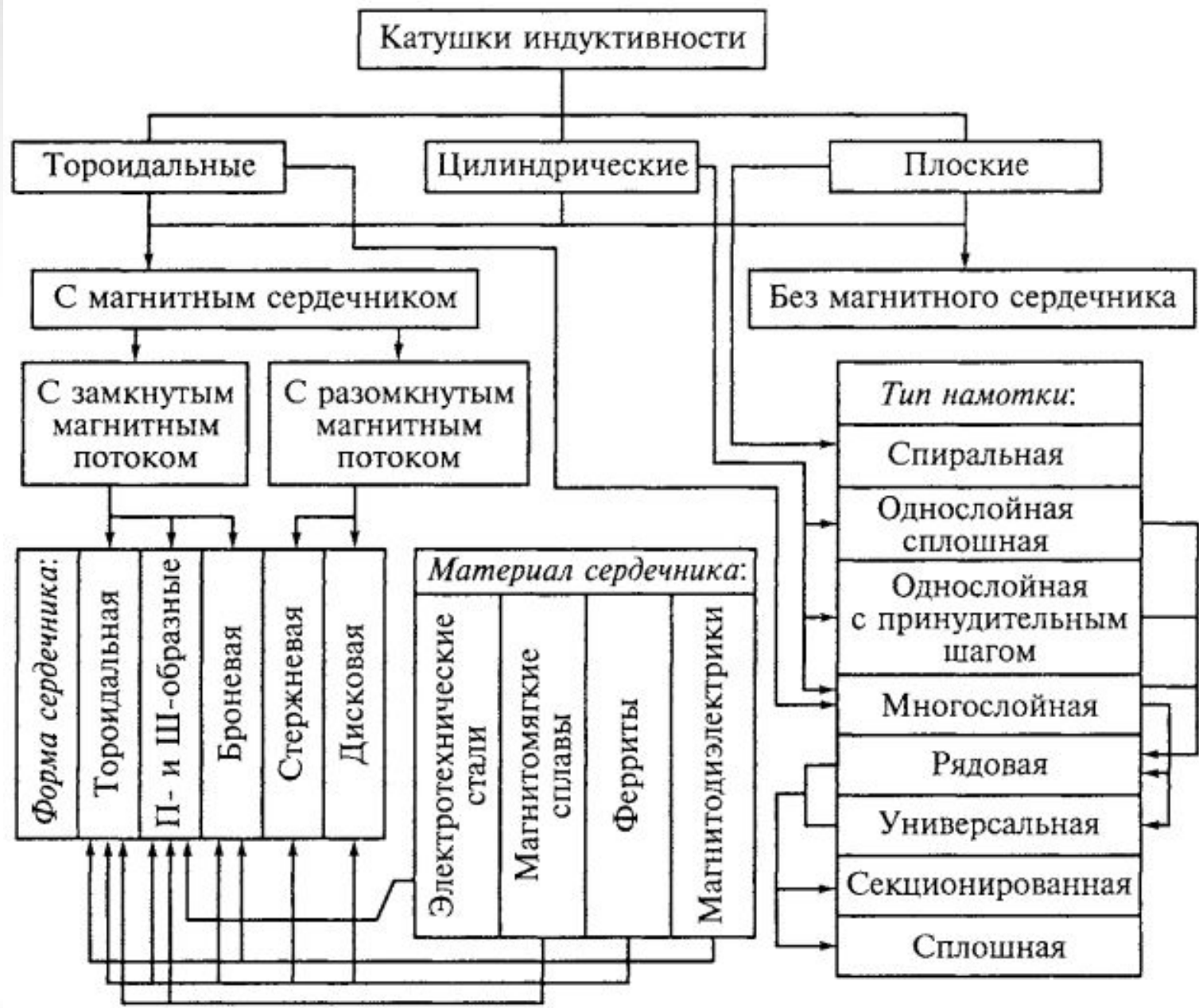
Катушки индуктивности – элемент электрической цепи, предназначенный для накопления энергии магнитного поля.

Катушки индуктивности применяются в качестве фильтров питания, колебательных контуров приемопередающих устройств, импульсных стабилизаторов напряжения, накопительных дросселей, преобразователей уровня напряжения.



Конструктивно катушки индуктивности подразделяются на *выводные и SMD, для поверхностного монтажа. Две основные характеристики данного компонента определяются номиналом индуктивности и допустимым рабочим током.*

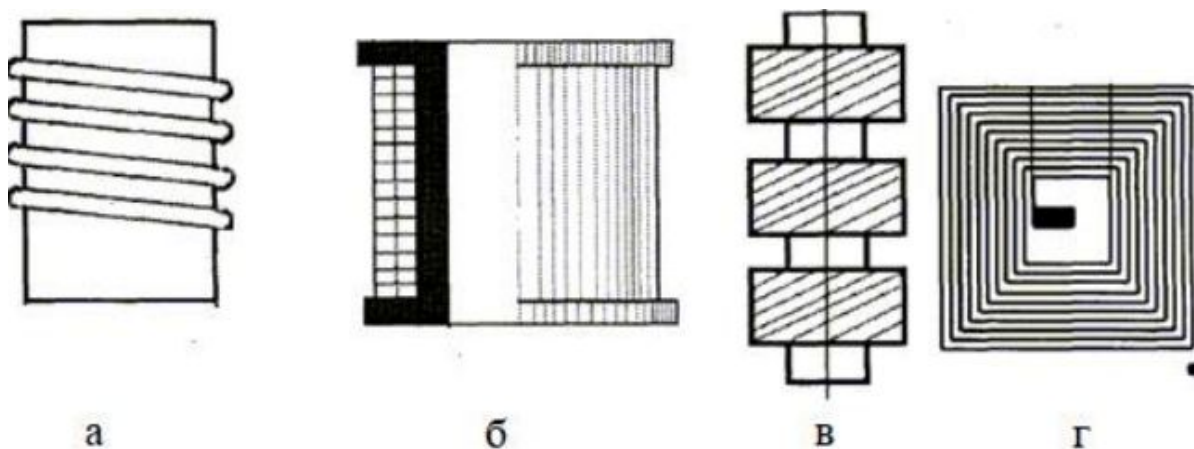
Классификация катушек индуктивности



1.1. Конструкции и разновидности катушек индуктивности

Конструкционной основой катушки индуктивности является диэлектрический каркас, на который наматывается провод в виде спирали. Обмотка может быть как однослойной (рисунок 1.2, а), так и многослойной (рисунок 1.2, б).

В некоторых случаях многослойная обмотка делается секционированной (рисунок 1.2, в). В интегральных схемах применяются плоские спиральные катушки индуктивности (рисунок 1.2, г).



а – однослойная обмотка; б – многослойная обмотка; в – секционированная многослойная обмотка; г – плоские спиральные катушки индуктивности

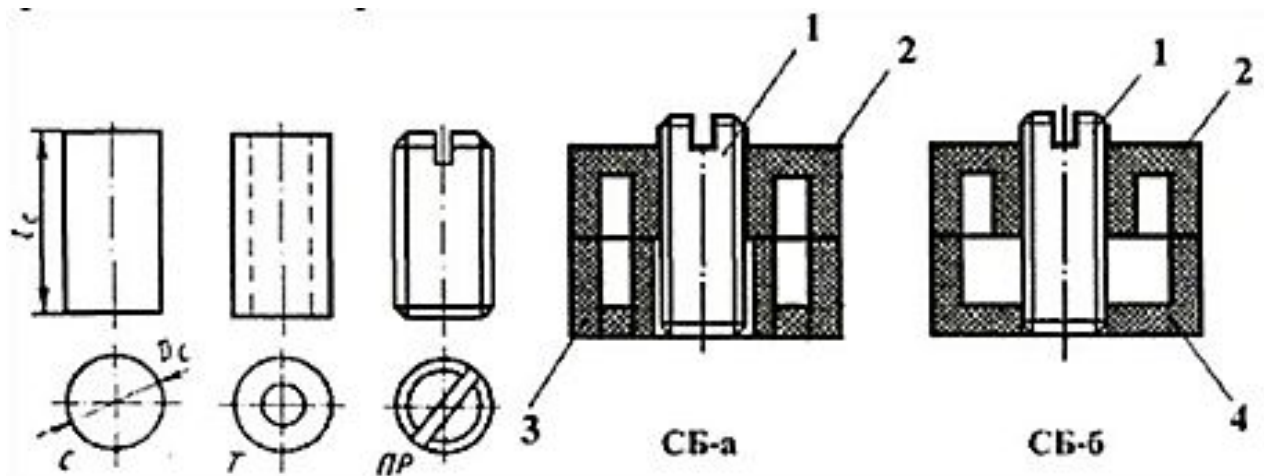
Рис. 1.2. – Конструкции катушек индуктивности.

Для увеличения индуктивности применяют **магнитные сердечники**. Помещенный внутрь катушки сердечник концентрирует магнитное поле и тем самым увеличивает ее индуктивность. Перемещением сердечника внутри каркаса можно изменять индуктивность.

Сердечники катушек индуктивности бывают:

- 1) цилиндрические;
- 2) броневые;
- 3) тороидальные (кольцевые);
- 4) подстроечные цилиндрические.

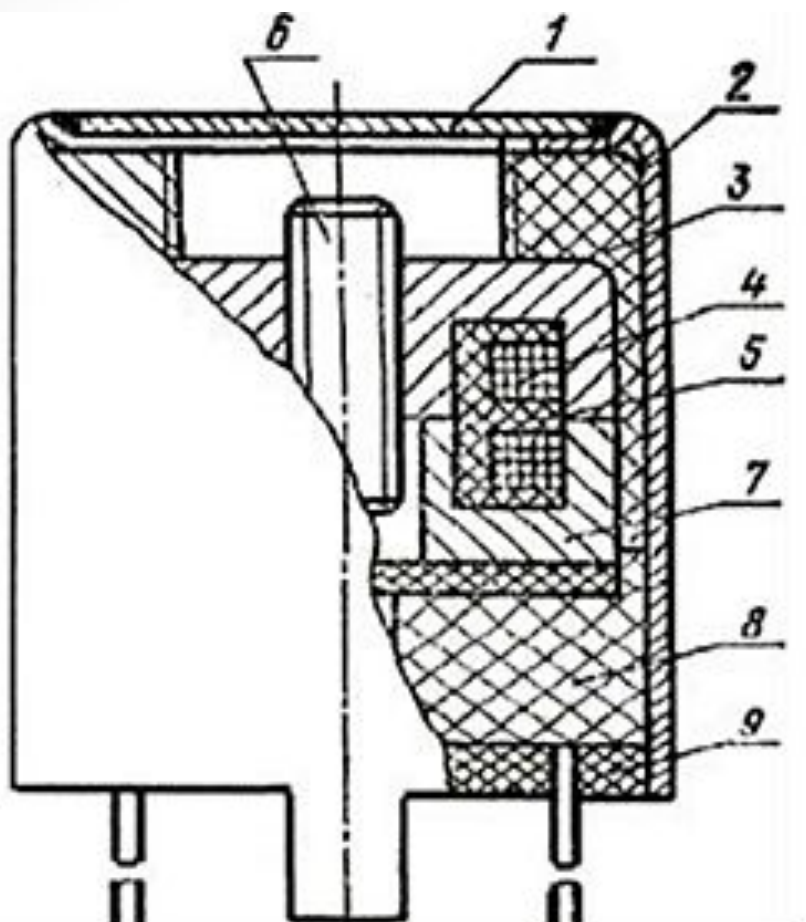
Разновидности цилиндрических сердечников



С – стержневой; Т – трубчатый; ПР – подстроечный резьбовой;
СБ-а и СБ-б – броневые

Для уменьшения влияния электромагнитного поля катушки на другие элементы схемы, а также для уменьшения влияния внешних полей на катушку индуктивности, ее располагают внутри металлического экрана.

Конструкция катушки индуктивности с металлическим экраном



- 1 – заглушка; 2 – экран;
- 3 – корпус; 4 – обмотка;
- 5 – каркас; 6 – подстроечный стержень; 7 – чашка сердечника;
- 8 – основание; 9 – заливка.

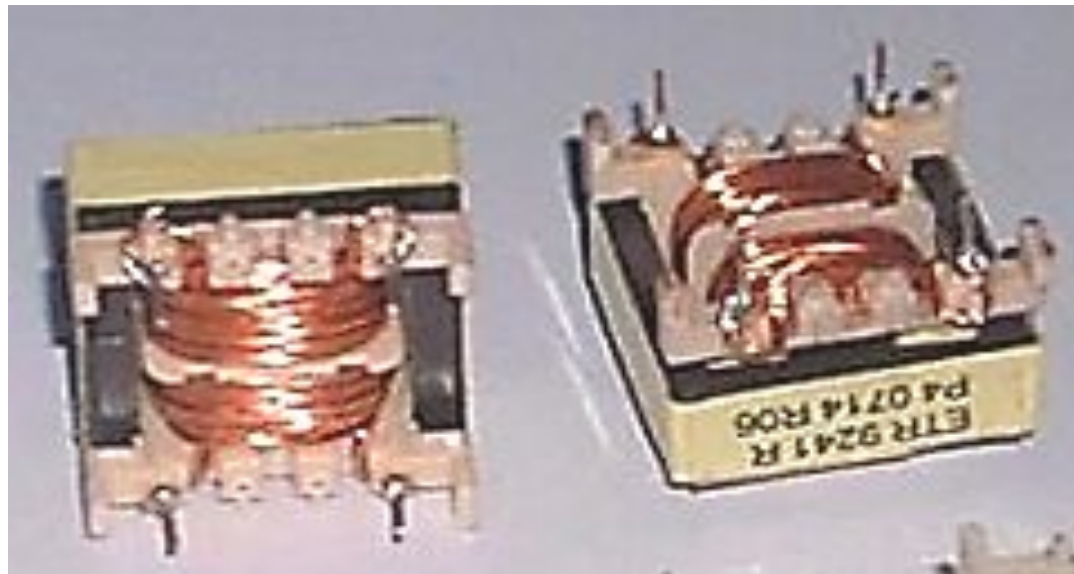


Контурные катушки индуктивности



- Используются совместно с конденсаторами для получения резонансных контуров. Они должны иметь высокую стабильность, точность и добротность. В диапазоне длинных и средних волн эти катушки многослойные. Для изменения индуктивности применяют цилиндрические сердечники из альсифера или карбонильного железа.

Катушки связи применяются для обеспечения индуктивной связи между отдельными цепями и каскадами. Такая связь позволяет разделить по постоянному току цепи базы и коллектора.



Основными параметрами этих катушек являются индуктивность и коэффициент связи :

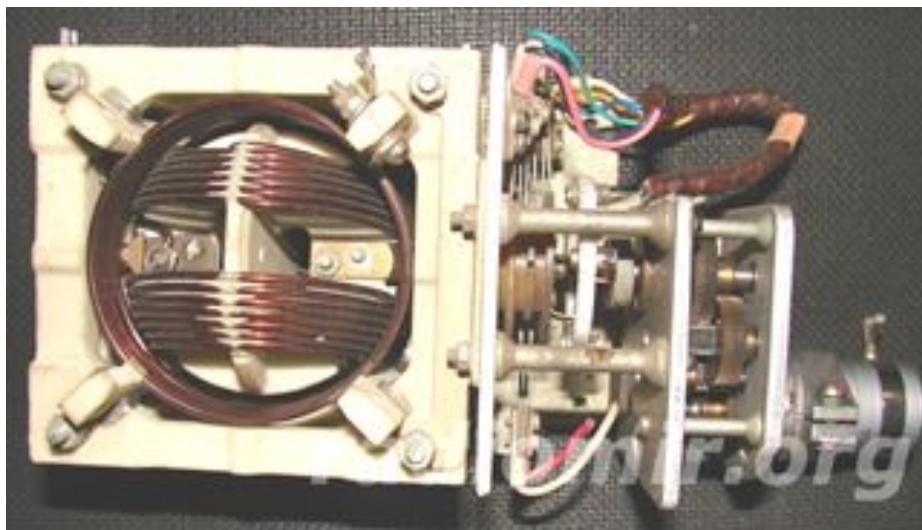
$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

где L_1 и L_2 – индуктивность связанных катушек, Гн;
 M – взаимная индуктивность между ними, Гн.

Величина коэффициента связи зависит от расстояния между катушками: чем оно меньше, тем больше k .

Вариометры

Вариометры – это катушки, индуктивность которых можно изменять в процессе эксплуатации для перестройки колебательных контуров. Они состоят из двух катушек, соединенных последовательно: одна из катушек неподвижная (статор), другая располагается внутри первой и вращается (ротор). При изменении положения ротора относительно статора изменяется величина взаимоиндукции, а следовательно, индуктивность вариометра. Такая система позволяет изменять индуктивность в 4–5 раз. В ферровариометрах индуктивность изменяется перемещением ферромагнитного сердечника.



Катушки индуктивности для ГИС

Катушки индуктивности для ГИС (гибридных ИМС). На частотах порядка 10–100 МГц находят применение тонкопленочные спиральные катушки. На площади в 1см^2 располагается не более 10 витков. Добротность таких катушек не превышает 20–30. Поэтому они находят ограниченное применение.

В ГИС предпочтительны миниатюрные торроидальные катушки на ферритовых сердечниках, индуктивность которых достигает десятков тысяч микрогенри.



1.2. Основные электрические параметры катушек индуктивности

К **основным электрическим параметрам** катушек индуктивности относятся:

- 1) номинальная индуктивность катушки;
- 2) допускаемое отклонение индуктивности катушки;
- 3) номинальная добротность катушки;
- 4) температурный коэффициент индуктивности катушки;
- 5) собственная емкость катушки индуктивности.

Номинальная индуктивность катушки – значение индуктивности, являющееся исходным для отсчета отклонений.

Допускаемое отклонение индуктивности катушки – разность между предельным и номинальным значениями индуктивности.

Номинальная добротность катушки индуктивности – значение добротности при номинальном значении индуктивности.

Основные электрические параметры катушек индуктивности

Добротность характеризует *относительные потери мощности в катушке* и определяет качество катушки индуктивности, используемой в колебательном контуре:

$$Q = \frac{X_L}{R},$$

где R – активное сопротивление катушки индуктивности, Ом;

X_L – индуктивное сопротивление, Ом.

$$X_L = \omega L = 2\pi f L.$$

Температурный коэффициент индуктивности катушки (TKL) – относительное изменение индуктивности катушки при изменении температуры:

$$\alpha_L = \text{TKL} = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta T},$$

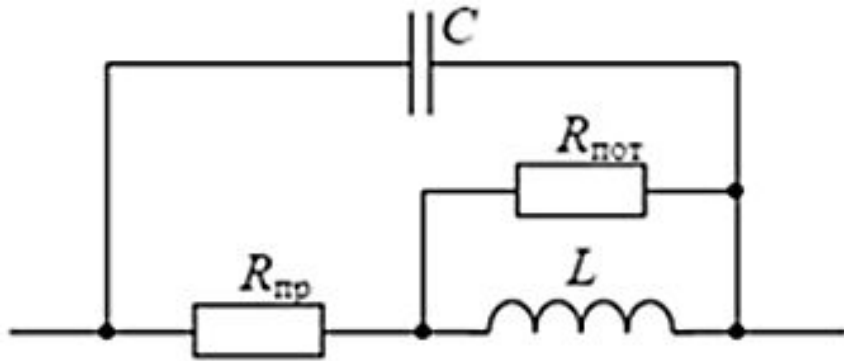
где L_0 – начальное значение индуктивности катушки, Гн;

ΔL – изменение индуктивности, Гн;

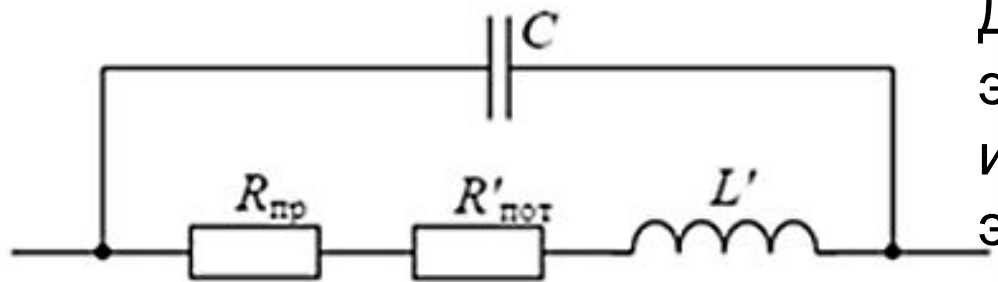
ΔT – изменение температуры катушки, °С.

Основные электрические параметры катушек индуктивности

Собственная емкость катушки индуктивности – электрическая емкость, составляющая с ее индуктивностью резонансный контур, измеренная на частоте собственного резонанса.



Наряду с индуктивностью L реальные катушки индуктивности включают сопротивление провода $R_{\text{пр}}$, потери в магнитопроводе $R_{\text{пот}}$ и емкость C . Для проведения электротехнических расчетов используют одну из эквивалентных схем.



Эквивалентные схемы реальных катушек индуктивности

2. Дроссели

Дроссель (от нем. – сокращать) является разновидностью катушки индуктивности. Свойства такой катушки зависят от того, какой частоты электрический ток нужно «сокращать» или «задерживать». Дроссель включают в электрическую цепь для подавления переменной составляющей тока в цепи либо для разделения или ограничения сигналов различных частот.

В зависимости от назначения дроссели делятся на *высокочастотные* и *низкочастотные*.

Для уменьшения габаритов дросселей применяют магнитные сердечники.

Дроссели применяются в цепях питания радиотехнических устройств в качестве фильтрующего элемента.



3. Трансформаторы

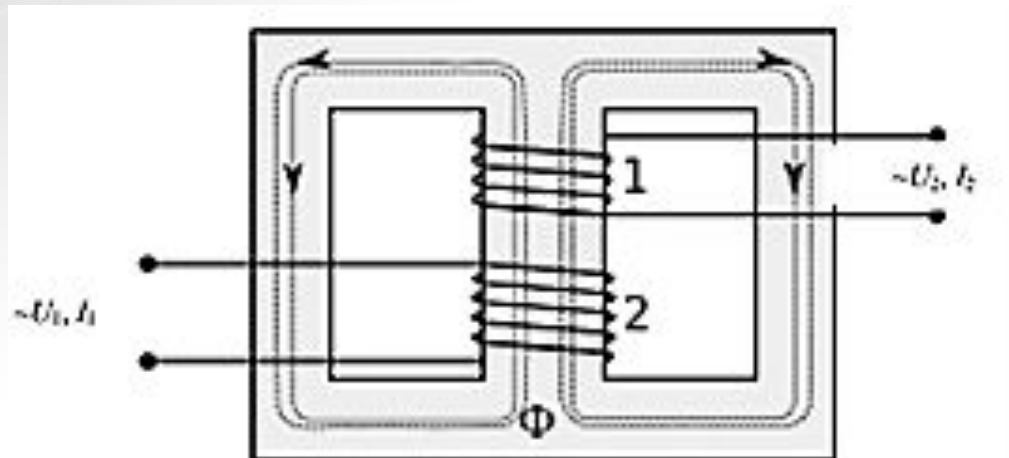
Трансформатор (от лат. transformo – преобразовывать) – это статическое электромагнитное устройство, имеющее две или более индуктивно связанные обмотки на магнитопроводе и предназначенное для преобразования посредством электромагнитной индукции одной или нескольких систем (напряжений) переменного тока в одну или несколько других систем (напряжений) без изменения частоты.

Трансформатор осуществляет преобразование переменного напряжения и/или гальваническую развязку в различных областях применения – электроэнергетике, электронике и радиотехнике.

Работа трансформатора основана на двух базовых принципах:

- 1) Изменяющийся во времени электрический ток создает изменяющееся во времени магнитное поле (электромагнетизм).
- 2) Изменение магнитного потока, проходящего через обмотку, создает электродвижущую силу (ЭДС) в этой обмотке (электромагнитная индукция).

Схематическое устройство трансформатора



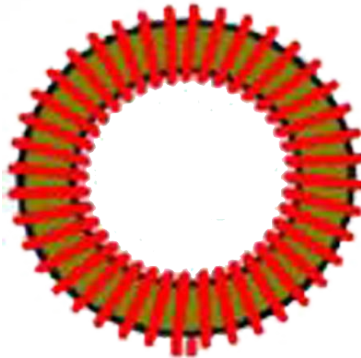
1 – первичная обмотка; 2 – вторичная обмотка

Конструктивно трансформатор может состоять из одной (автотрансформатор) или нескольких изолированных проволочных либо ленточных обмоток (катушек), охватываемых общим магнитным потоком, намотанных, как правило, на магнитопровод (сердечник) из ферромагнитного магнито-мягкого материала.

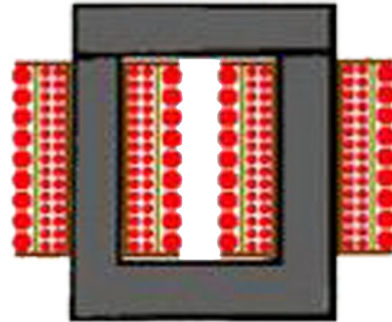
Типы конструкций трансформаторов

Типы трансформатора по виду магнитопровода

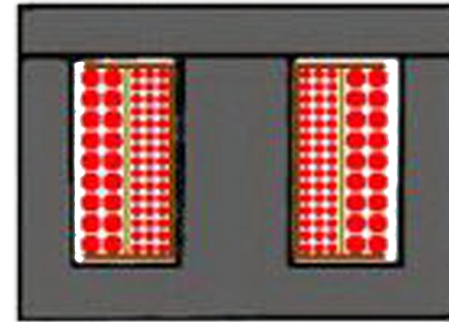
ТИП ТРАНСФОРМАТОРА



ТОРОИДАЛЬНЫЙ

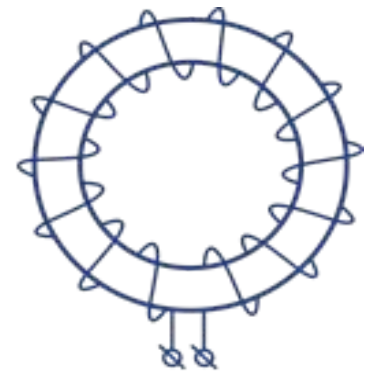


СТЕРЖНЕВОЙ

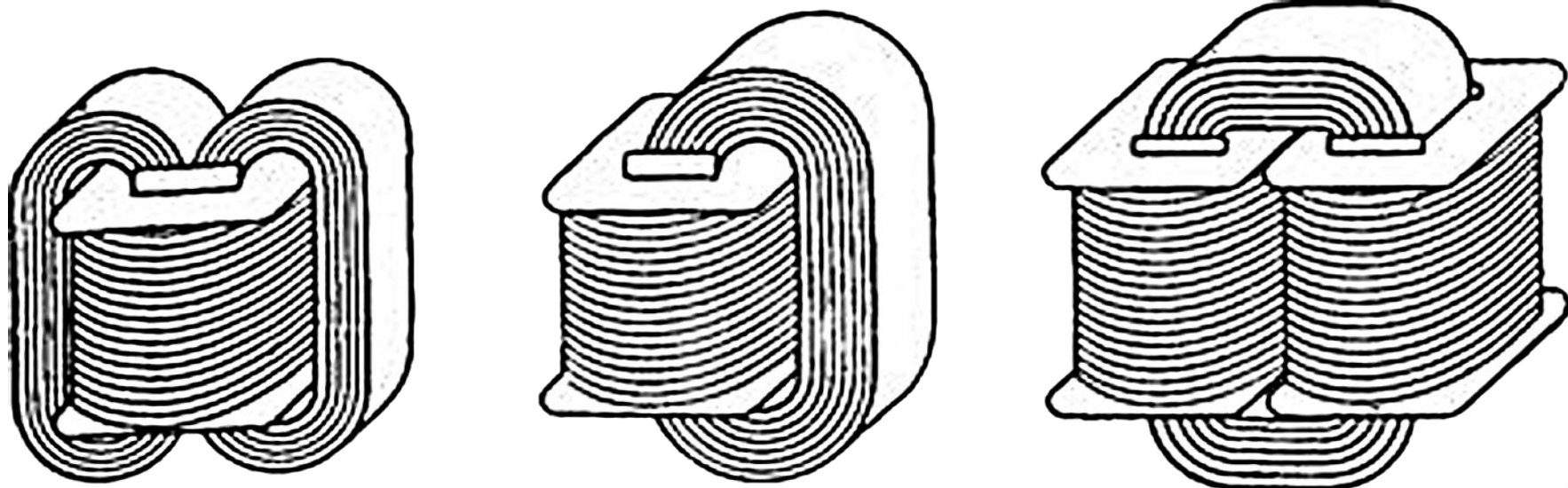


БРОНЕВОЙ

Тороидальный трансформатор оснащен магнитопроводом округлой формы. В названии такого трансформатора присутствует буква «О». **Достоинства:** меньший показатель магнитного сопротивления; минимальный внешний поток рассеивания; малая чувствительность к внешним магнитным воздействиям.

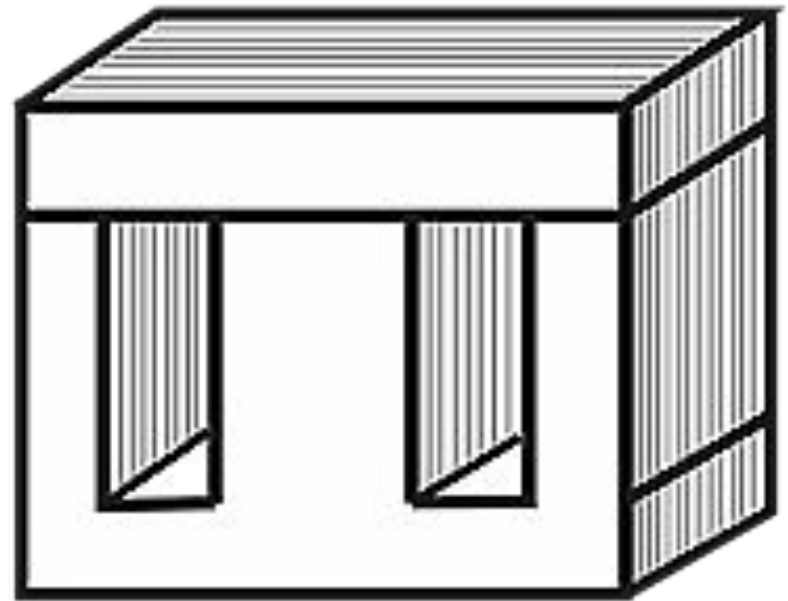


Стержневой трансформатор оснащен магнитопроводом, выполненным в виде буквы «П», а также двумя стержнями с обмоткой. Каждый стержень содержит половину витков как первичной, так и вторичной обмотки. Между собой они соединяются последовательно таким способом, чтобы силы каждой из половин обмоток были одинаково направлены.



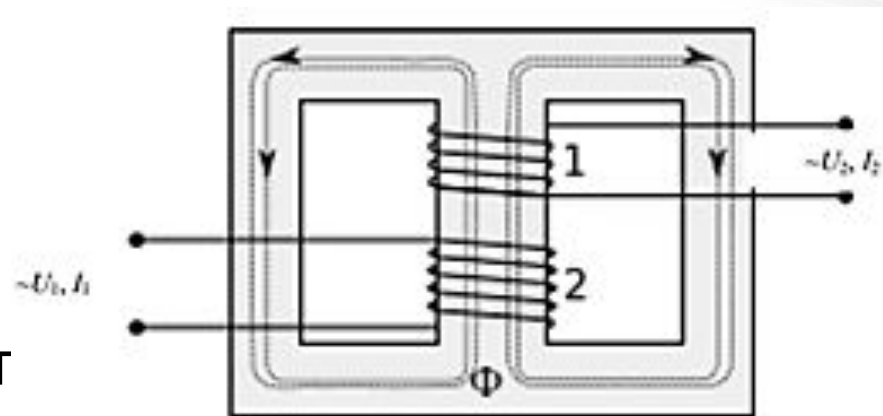
Броневой трансформатор оснащен магнитопроводом, выполненным в Ш-образной форме. Обмотки при этом размещаются на среднем стержне таким способом, что происходит частичный охват обмотки магнитопроводом.

В наименовании такого трансформатора обязательно используется буква «Ш».



Основные электрические параметры трансформаторов питания:

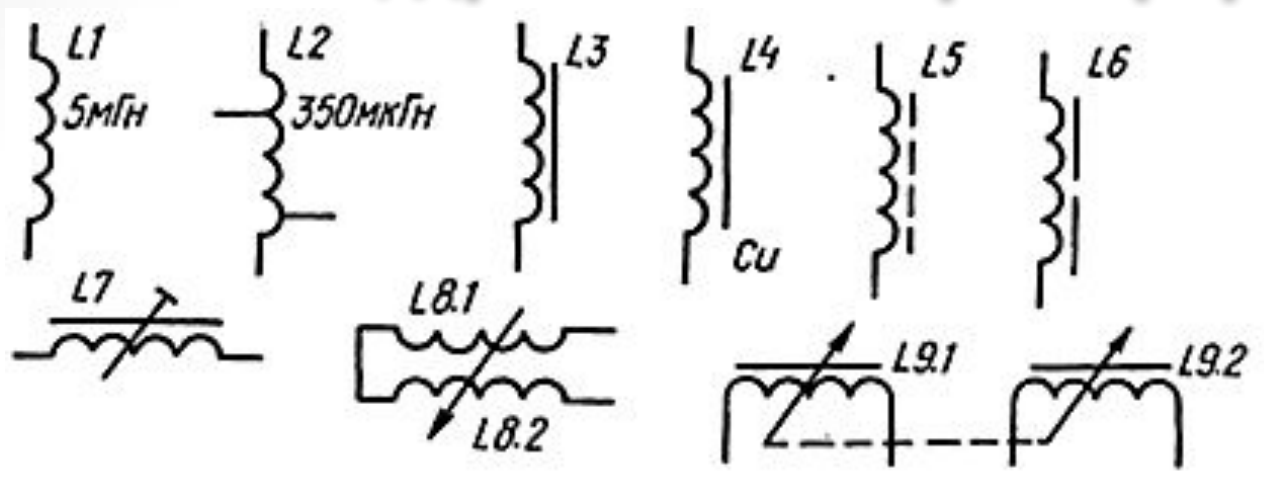
- 1) Номинальное напряжение первичной обмотки U_1 .
- 2) Номинальный ток первичной обмотки I_1 .
- 3) Напряжение вторичной обмотки U_2 .
- 4) Ток вторичной обмотки I_2 .
- 5) Напряжение холостого хода U_0 .
- 6) Номинальная мощность.
- 7) Коэффициент трансформации (Отношение ЭДС первичной обмотки к ЭДС вторичной обмотки называют коэффициентом трансформации n):
- 8) Частота питания.



1 – первичная обмотка; 2 – вторичная обмотка

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} = n.$$

4. Условные обозначения катушек индуктивности, дросселей и трансформаторов

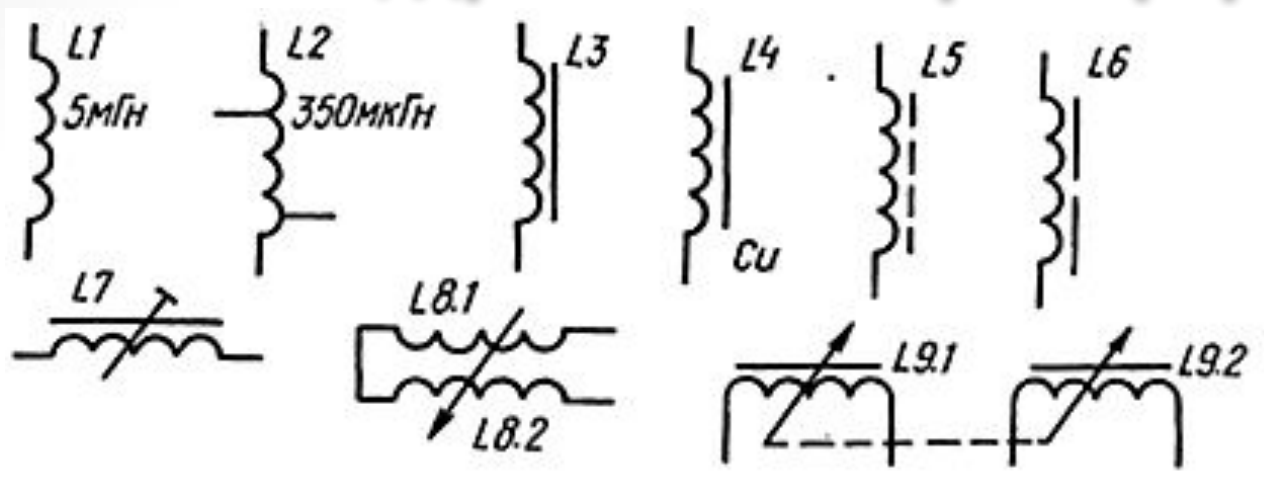


Рядом с УГО катушки или дросселя ставят прописную латинскую букву L.

Если в схеме несколько катушек или дросселей, то после буквы L пишут еще и цифру, указывающую на порядковый номер (позицию) катушки в схеме (L1, L2).

Сердечник, или магнитопровод, катушки или дросселя *из феррита или ферромагнитного материала* обозначают на схеме *сплошной линией* с наружной стороны полуокружностей (L3).

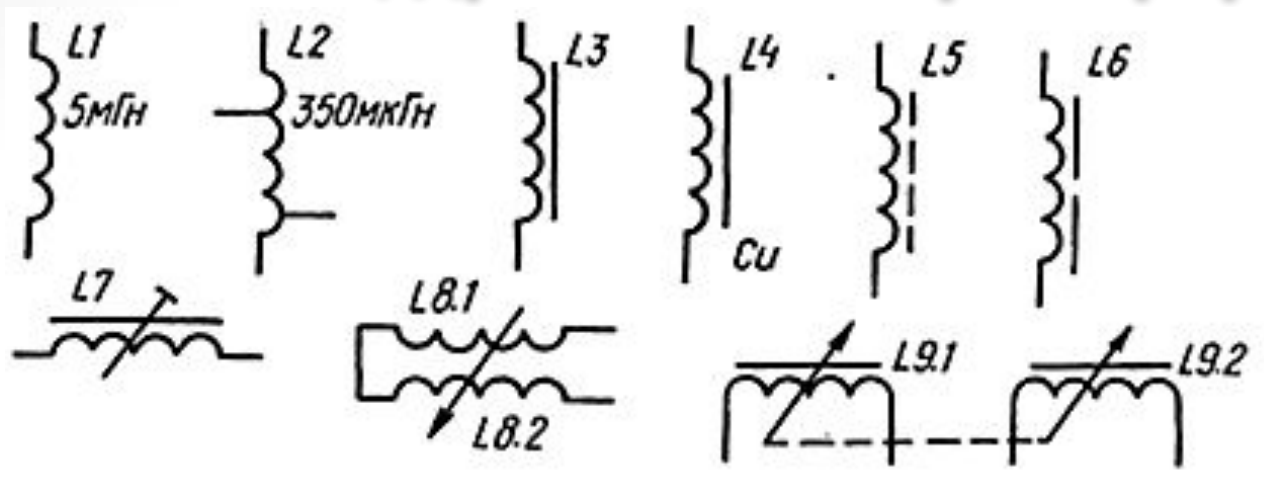
4. Условные обозначения катушек индуктивности, дросселей и трансформаторов



Если сердечник выполнен из немагнитных материалов (медь, алюминий и др.), то рядом с отрезком прямой линии указывают химический символ этого элемента (L4). Сердечники из магнитодиэлектрических материалов изображают пунктиром (L5).

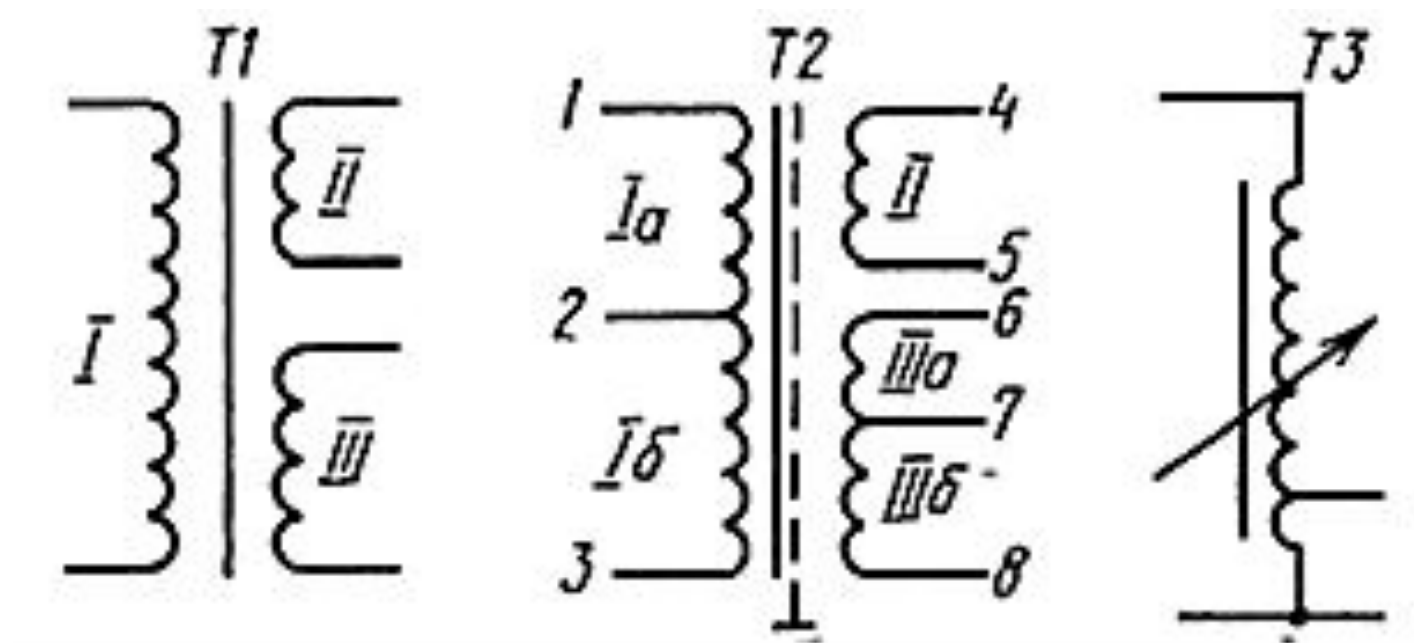
Для увеличения магнитного сопротивления ферромагнитного магнитопровода в нем делают зазор, который может быть заполнен специальным изоляционным лаком, плотной бумагой или картоном. В таких случаях сплошную линию в УГО разрывают посередине (L6).

4. Условные обозначения катушек индуктивности, дросселей и трансформаторов



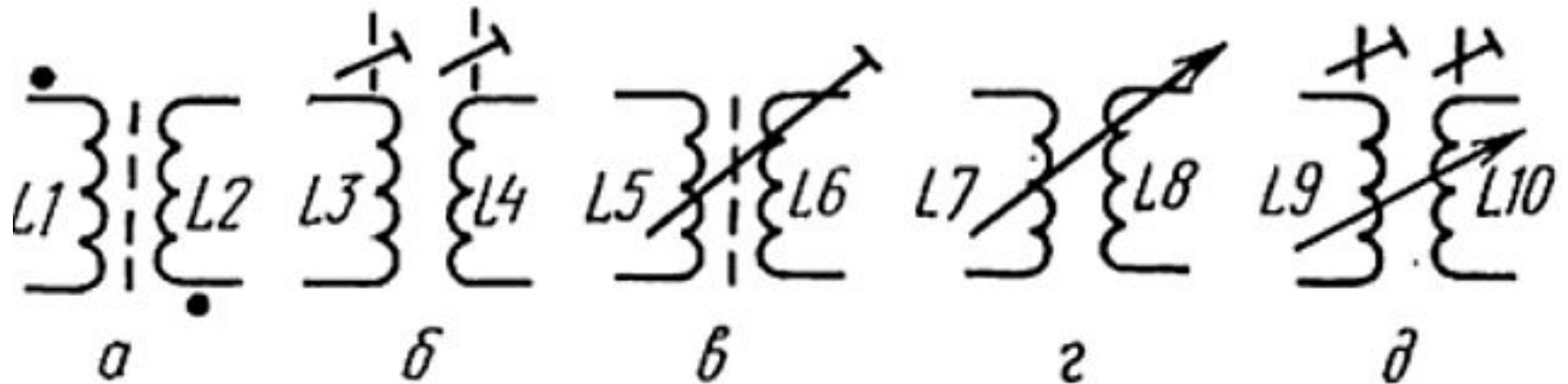
Возможность подстройки индуктивности обозначают знаком подстроечного регулирования – прямой линией со «шляпкой» (L7), пересекающей УГО катушки и магнитопровода под углом 45° , либо прямой стрелкой (L8, L9).

Низкочастотные трансформаторы на схемах обозначаются буквой Т, а их обмотки – римскими цифрами. Вместо римских цифр для обозначения обмоток иногда используют условную нумерацию их выводов. Экран между первичной и вторичной обмотками на схемах изображают штриховой линией.



Высокочастотные трансформаторы могут быть с сердечником и без него.

- Если магнитопровод является общим для всех обмоток, то его на схемах изображают прерывистой линией между катушками (рис. 4.3,а). Если же каждая из катушек имеет свой магнитопровод, то его изображают над катушками (рис. 4.3,б). Возможность подстройки индуктивности катушек изменением положения магнитопровода отображают знаком подстроечного регулирования, который пересекает символы обмоток (рис. 4.3, в), или УГО магнитопроводов (рис. 4.3,б). Чтобы показать индуктивную регулируемую связь между катушками, их символы пересекают знаком регулирования (рис. 4.3,г,д).

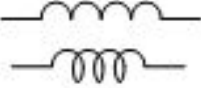



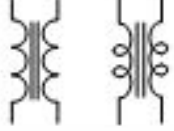


Условно-графическое обозначение катушки индуктивности

ГОСТ 2.723-68							
Название	Обозначение						
С магнитодиэлектрическим магнитопроводом	<table border="1"> <tr> <td>a</td> <td>1,5</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>1,5</td> <td></td> </tr> </table> 	a	1,5	4	b	1,5	
a	1,5	4					
b	1,5						
Подстраиваемая магнитодиэлектрическим магнитопроводом							
Подстраиваемая магнитодиэлектрическим немагнитопроводом							
Со скользящими контактами							
Трансформатор без магнитопровода с постоянной связью							
Трансформатор без магнитопровода с переменной связью							
С отводами							
Дроссель коаксиальный с ферромагнитным магнитопроводом							
Дроссель с ферромагнитным магнитопроводом							
Гониометр							

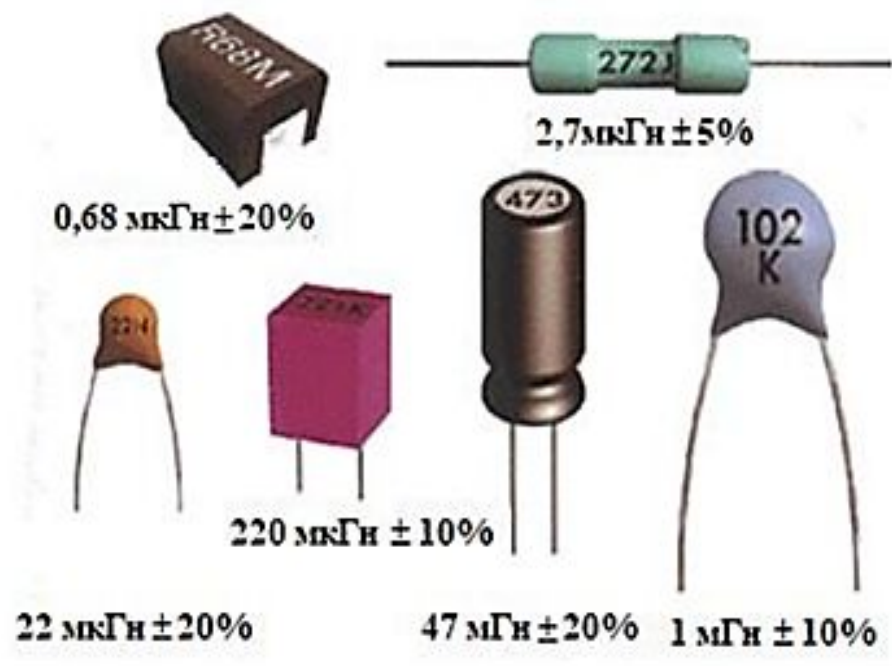
Американский национальный институт стандартов (ANSI)

Немецкий институт по стандартизации (DIN)

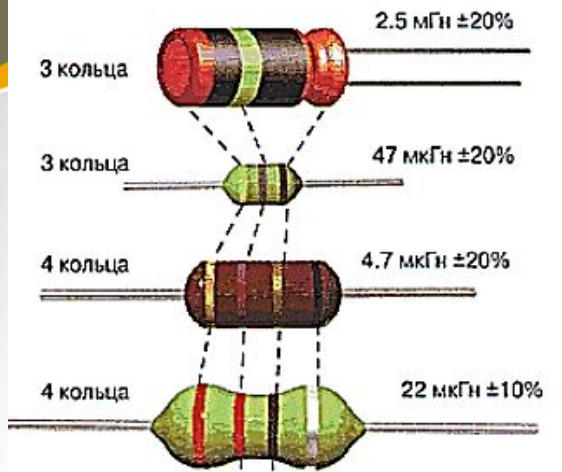
Название	Обозначение
С постоянной индуктивностью	
С переменной индуктивностью	
С отводами	
Дроссель	
Трансформатор	

Сокращения, используемые в зарубежном и отечественном производстве

Кодовая маркировка. При кодовой маркировке на корпус катушки индуктивности наносится цифровая или буквенно-цифровая маркировка. Номинальное значение индуктивности кодируется цифрами, после которых может приводиться или отсутствует буква, обозначающая величину допуска.

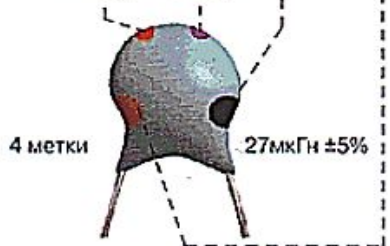


Допуск катушек индуктивности обозначается одной из четырех букв: D – для допуска $\pm 0,3$ нГн; J – ± 5 %; K – ± 10 %; M – ± 20 % (или не наносится никакой буквы, что соответствует допуску ± 20 %).



Серебряный			0.01	-10%
Золотой			0.1	5%
Черный		0	1	20%
Коричневый	1	1	10	Допуск
Красный	2	2	100	
Оранжевый	3	3	1000	Множитель
Желтый	4	4		
Зеленый	5	5		
Голубой	6	6		
Фиолетовый	7	7		
Серый	8	8		
Белый	9	9		

1-я цифра 2-я цифра



Цветовая маркировка. В соответствии со стандартами IEC 82 для индуктивностей кодируется номинальное значение индуктивности и допуск, т. е. допускаемое отклонение от указанного номинала. Наиболее часто применяется кодировка тремя или четырьмя цветными кольцами или точками.

Первые две метки указывают на значение номинальной индуктивности в микрогенри (мкГн), третья метка – множитель, четвертая – допуск.

Эксплуатационно-технические характеристики катушек индуктивности, дросселей и трансформаторов:

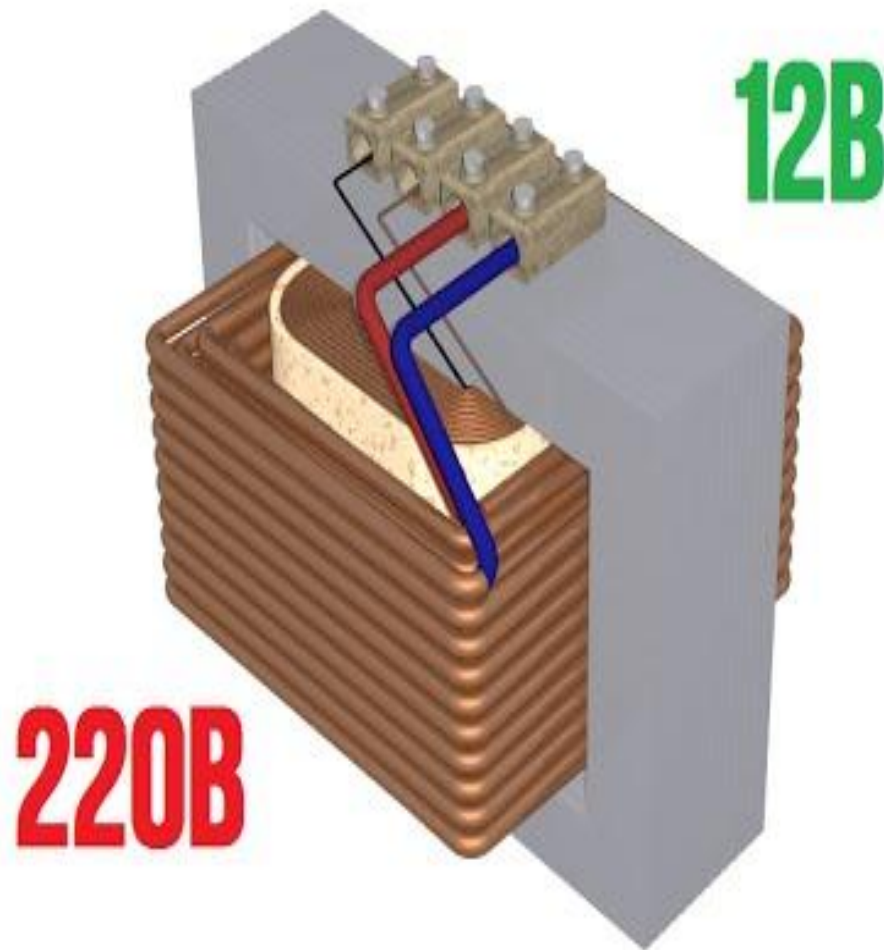
- 1) исполнение;
- 2) номинальный ток;
- 3) номинальное напряжение;
- 4) индуктивность обмотки;
- 5) активное сопротивление;
- 6) размеры корпуса;
- 7) конструктивное исполнение;
- 8) номинальная индуктивность;
- 9) допуск номинальной индуктивности;
- 10) максимальный постоянный ток;
- 11) добротность;
- 12) рабочая температура;
- 13) температурный коэффициент индуктивности катушки;
- 14) способ монтажа.

Заключение

Вопросы для самоконтроля

1. Катушка индуктивности – это...?
2. Основные характеристики катушки индуктивности определяются...?
3. Сердечники катушек индуктивности бывают:...?
4. От чего зависит величина коэффициента связи k катушки связи?
5. Вариометры – это...?
6. Что характеризует добротность катушки индуктивности?
7. Что определяет номинальная индуктивность катушки?
8. Собственная емкость катушки индуктивности – это...?
9. Дроссель – это...??
10. Трансформатор – это...?
11. Трансформаторы по виду магнитопровода подразделяются на...?

КАК УСТРОЕН





Как сделать трансформатор

