

# Элементная база электронной аппаратуры.

## Пассивные компоненты

### Катушки индуктивности

**Катушка индуктивности** – элемент электрической цепи, обладающий индуктивностью и запасующий энергию в виде магнитного поля.

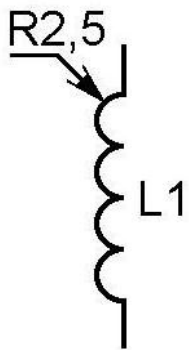
Индуктивность – модель катушки или дросселя.

Математическая модель индуктивности – закон электромагнитной индукции:

$$u_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt}.$$

Единицы измерения

$$[L] = [H] = [Гн] = [\text{Ом} \cdot \text{сек}]$$



*УГО катушки индуктивности*

### Классификация

**По характеру изменения индуктивности** различают:

- постоянные катушки индуктивности;
- переменные подстроечные катушки индуктивности.

**По наличию сердечника** постоянные катушки индуктивности подразделяют:

- без сердечника (с воздушным сердечником);
- с сердечником (с магнитопроводом).

## Классификация катушек индуктивности

**Электротехническое изделие (устройство) – ЭИ (У)** – изделие (устройство), предназначенное для производства, преобразования, распределения, передачи и использования электрической энергии.

**Магнитопровод ЭИ (У)** – магнитная система ЭИ (У) или совокупность нескольких ее частей в виде отдельной конструктивной единицы.

**Сердечник ЭИ (У)** – ферромагнитная деталь, на которой или вокруг которой расположена обмотка ЭИ (У).

В качестве материала сердечника или магнитопровода применяются:

- электротехническая сталь;
- феррит;
- пермаллой; и др.



**Катушки с сердечником из электротехнической стали** применяются в низкочастотных цепях (до 1 кГц), таких как фильтры источников питания, дроссели электролюминесцентных ламп, реактивных элементов в цепях переменного тока.

**Аналогично - пермаллой** на частотах до 10 кГц.

**Катушки индуктивности с ферритовым сердечником** широко используются в высокочастотных цепях (до 250 МГц) для развязки по питанию, в ключевых (импульсных) источниках питания, преобразователях типа *DC-DC* и в качестве различного рода фильтров, в разделительных цепях.

## Катушки индуктивности без сердечника

Простейшие катушки индуктивности не имеют сердечника и обладают малой индуктивностью.

Приближенные формулы для расчета:

- однослойной цилиндрической катушки:

$$L, \text{мкГн} \approx \frac{0,001dW^2}{\frac{l}{d} + 0,44},$$

где  $d, l$  – диаметр и длина катушки, мм;  
 $W$  – число витков.

- многослойной катушки:

$$L, \text{мкГн} \approx \frac{0,008d_{\text{cp}}^2 W^2}{3d_{\text{cp}} + 9l + 10h},$$

$$d_{\text{cp}} = \frac{d_{\text{нар}} + d_{\text{вн}}}{2},$$

где  $d_{\text{нар}}, d_{\text{вн}}$  – наружный и внутренний диаметры катушки, мм;  
 $l, h$  – длина и высота катушки, мм;  $W$  – число витков.

Величина индуктивности таких катушек – десятки мкГн.



*Внешний вид однослойной катушки индуктивности без сердечника*



*Примеры многослойных катушек индуктивности без сердечников*

## Катушки индуктивности с сердечником

Для повышения индуктивности катушку выполняют на ферромагнитном сердечнике. В этом случае индуктивность катушки рассчитывается по формуле:

$$L = \frac{\mu_0 \mu_r \cdot S_c \cdot W^2}{l_{cp}},$$

где  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м – магнитная проницаемость вакуума;

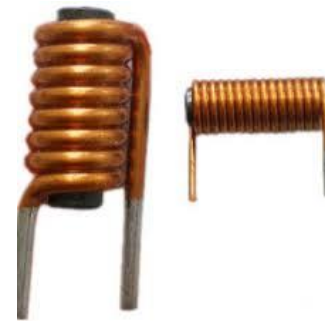
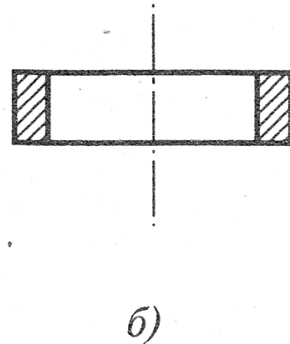
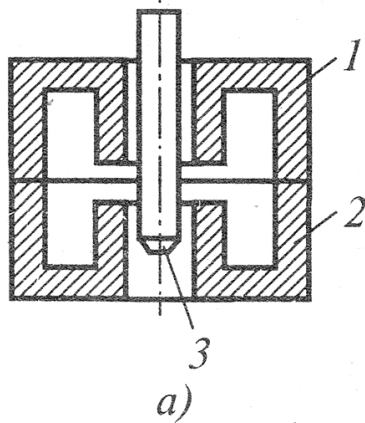
$\mu_r$  – относительная магнитная проницаемость материала магнитопровода по отношению к вакууму;

$l_{cp}$  – средняя длина магнитной силовой линии;

$S_c$  – площадь поперечного сечения магнитопровода.

С помощью сердечника (введение и выведение) можно регулировать индуктивность катушки. На этом принципе построены подстроечные катушки индуктивности.

Наиболее распространены броневая и тороидальная формы сердечника.

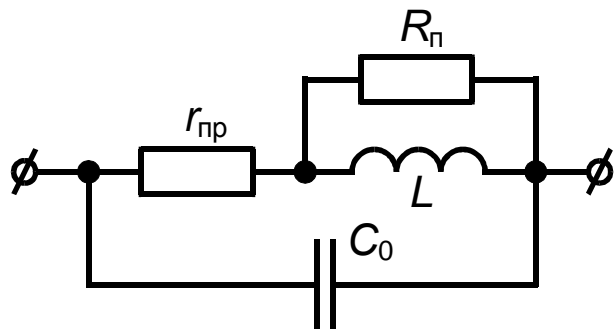


Магнитопроводы катушек индуктивности:  
а) броневой; б) тороидальный; 1, 2 – чашки;  
3 – подстроечный сердечник.

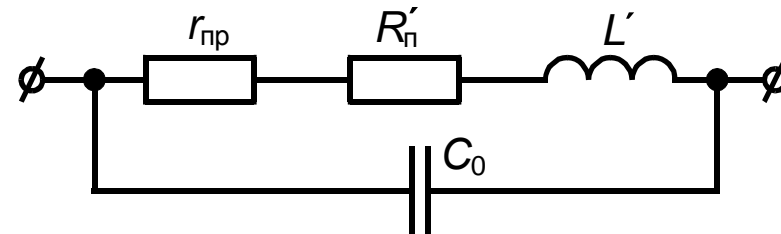
Примеры катушек индуктивности с сердечником

## Схемы замещения катушек индуктивности

При проведении электрических расчетов используют одну из эквивалентных схем.



$$L \neq L';$$
$$R_н \neq R'_н.$$



$r_{пр}$  – сопротивление провода;  $R_н$  – потери в магнитопроводе;  $C_0$  – собственная (паразитная) емкость:

- межвитковая;
- емкость выводов катушки;
- емкость отдельных витков относительно корпуса.

Очевидно, что эквивалентная схема реальной катушки индуктивности представляет собой колебательный контур, искажающий свойства самой индуктивности. Поэтому катушки используются на частотах, где емкость  $C_0$  не оказывает существенного влияния.

Важным параметром катушки индуктивности является **добротность**. При достаточно малой собственной емкости  $C_0$ :

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

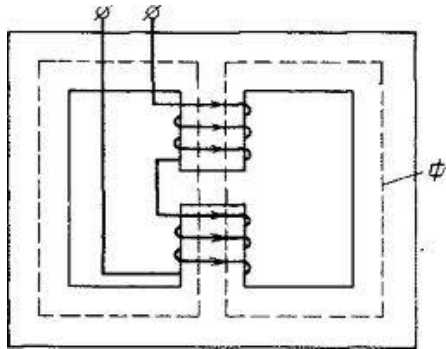
$R$  – суммарные потери в проводе и магнитопроводе.

Чем выше добротность, тем лучше!

# Дроссели

**Дроссели** – разновидность катушек индуктивности, предназначенные обеспечить большое сопротивление для переменных токов и малое для постоянных (или низкочастотных) токов. Различают дроссели низкой и высокой частот.

**Дроссели низкой частоты** используются в сглаживающих фильтрах выпрямительных устройств для сглаживания пульсации напряжения. Их применяют в том случае, если источник питания должен отдавать большой ток (единицы ÷ сотни А) и требуется получить малые пульсации постоянного напряжения.



Сердечник с зазором

Дроссели низкой частоты имеют в магнитопроводе воздушный зазор ( $h = 0,05 - 0,1\text{мм}$ ), необходимый для защиты магнитной цепи от насыщения постоянным током.

Дроссели низкой частоты выпускаются серийно.

Их обозначения:

Д1 – Д274 – дроссели унифицированные, низкочастотные;

Д, Др – дроссели фильтров бытовой аппаратуры.

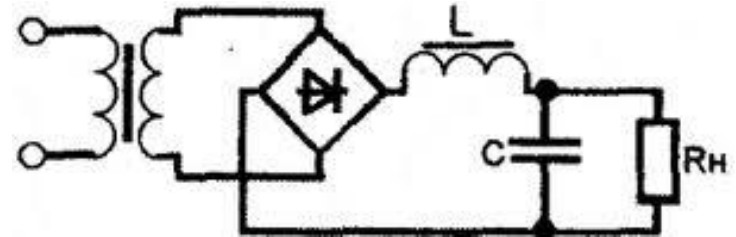
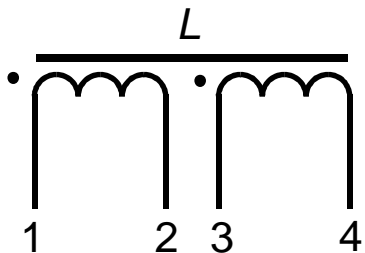


Схема выпрямителя с LC-фильтром



Электрическая  
принципиальная схема  
дросселей Д201Т – Д274Т

Малогабаритные унифицированные низкочастотные дроссели фильтров выпрямителей типа Д1 – Д274 рассчитаны на диапазоны:

- частот  $50 \div 5000\text{Гц}$ ;
- индуктивность  $150\text{мкГн} \div 40\text{Гн}$ ;
- ток подмагничивания  $0,02 \div 50\text{А}$ .

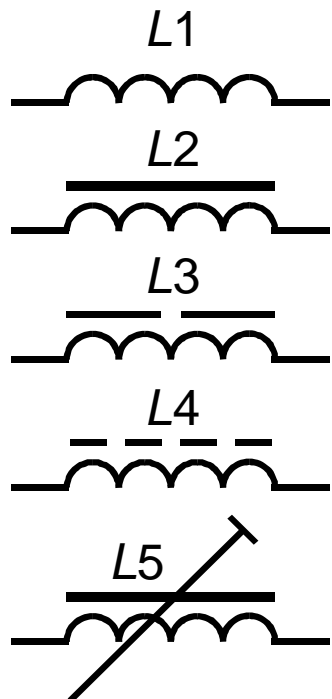
**Дроссели высокой частоты** используют в высокочастотных электронных цепях, где пропускают токи только низких частот. При изготовлении стремятся, чтобы собственная емкость была минимальной.

Пример условного полного и сокращенного обозначения дросселя фильтра для бытовой радиоаппаратуры:

«Дроссель Др – 0,15 – 0,25»;

«Др – 0,15 – 0,25».

### Условное графическое обозначение катушек индуктивности и дросселей



L1 – без магнитопровода;

L2 – с магнитопроводом из феррита или ферромагнитного сплава (электротехническая сталь, пермаллой);

L3 – с зазором в ферромагнитном магнитопроводе;

L4 – с магнитопроводом из карбонильного железа, альсифера и других магнитодиэлектриков;

L5 – с возможностью подстройки индуктивности изменением положения магнитопровода.

Подробнее на <http://radio-hobby.org/modules/instruction/page.php?id=795>

## Основные параметры катушек индуктивности

Основные параметры катушек индуктивности:

1. Номинальная индуктивность –  $L_{\text{НОМ}}$ ;
2. Допускаемое отклонение индуктивности катушки;
3. Эффективная индуктивность;
4. Номинальная добротность катушки –  $Q_{\text{НОМ}}$ ;
5. Начальная индуктивность;
6. Температурный коэффициент индуктивности – ТКЛ;
7. Температурная нестабильность индуктивности катушки
8. Температурный коэффициент добротности – ТКД;
9. Собственная емкость катушки индуктивности –  $C_0$ ;
10. Рабочий диапазон температур.

**1. Номинальная индуктивность** ( $L_{\text{НОМ}}$ ) – значение индуктивности, являющееся исходным для отсчета допускаемого отклонения.

Номинальное значение указывается на электрической принципиальной схеме электронного устройства рядом с его УГО.

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

**3. Эффективная индуктивность** – значение индуктивности, определенное с учетом влияния собственной (паразитной) емкости, собственной индуктивности и изменения начальной проницаемости сердечника.

**4. Номинальная добротность катушки индуктивности** ( $Q_{\text{НОМ}}$ ) – значение добротности при номинальном значении индуктивности.

**5. Начальная индуктивность** – значение индуктивности, определенное на низкой частоте, где отсутствует влияние собственной емкости.

**6. Температурный коэффициент индуктивности (ТКИ):**

$$\text{ТКИ} = \frac{\Delta L}{L_{\text{норм}} \cdot \Delta T},$$

$$\Delta L = L_{\text{пред}} - L_{\text{норм}}$$

$$\Delta T = T_{\text{пред}} - T_{\text{норм}}$$

где  $\Delta L/L_{\text{норм}}$  – относительное изменение индуктивности;  
 $\Delta T$  – интервал температур, вызвавший это изменение.

**7. Температурная нестабильность индуктивности катушки** – относительное изменение индуктивности, вызванное изменением температуры.

**8. Температурный коэффициент добротности (ТКД):**

$$\text{ТКД} = \frac{\Delta Q}{Q_{\text{норм}} \cdot \Delta T},$$

$$\Delta L = Q_{\text{пред}} - Q_{\text{норм}}$$

$$\Delta T = T_{\text{пред}} - T_{\text{норм}}$$

где  $\Delta Q/Q_{\text{норм}}$  – относительное изменение добротности;  
 $\Delta T$  – интервал температур, вызвавший это изменение.

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

## 10. Рабочий диапазон температур – максимальная и минимальная температуры.

Для дросселей, используемых в цепях питания (сглаживающий дроссель), важны:

- ток подмагничивания  $I_0$ ;
- индуктивность  $L$ ;
- сопротивление обмотки дросселя постоянному току.