

**Элементная база электронной аппаратуры.
Пассивные компоненты
Катушки индуктивности**

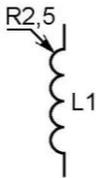
Катушка индуктивности – элемент электрической цепи, обладающий индуктивностью и запасующий энергию в виде магнитного поля.

Индуктивность – модель катушки или дросселя.

Математическая модель индуктивности – закон электромагнитной индукции:

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

Единицы измерения
 $[L] = [H] = [Гн] = [Ом \cdot сек]$



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.



Внешний вид однослойной катушки индуктивности без сердечника

- 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.



Примеры многослойных катушек индуктивности без сердечников

Величина индуктивности таких катушек – десятки мкГн.

3

Катушки индуктивности с сердечником

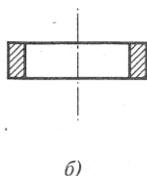
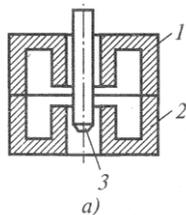
Для повышения индуктивности катушку выполняют на ферромагнитном сердечнике. В этом случае индуктивность катушки рассчитывается по формуле:

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

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



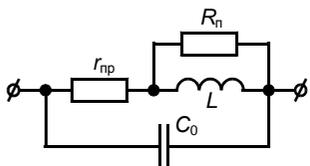
Магнитопроводы катушек индуктивности:
а) броневой; б) тороидальный; 1, 2 – чашки;
3 – подстроечный сердечник.

Примеры катушек индуктивности с сердечником

4

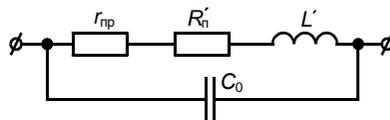
Схемы замещения катушек индуктивности

При проведении электрических расчетов используют одну из эквивалентных схем.



$$L \neq L';$$

$$R_n \neq R'_n.$$



$r_{пр}$ – сопротивление провода; R_n – 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!

5

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.

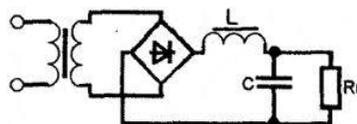
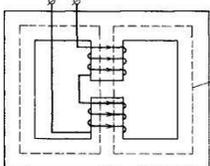


Схема выпрямителя с LC-фильтром



Сердечник с зазором

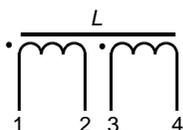
Дроссели низкой частоты имеют в магнитопроводе воздушный зазор ($h = 0,05 - 0,1$ мм), необходимый для защиты магнитной цепи от насыщения постоянным током.

Дроссели низкой частоты выпускаются серийно.

Их обозначения:

Д1 – Д274 – дроссели унифицированные, низкочастотные;

Д, Др – дроссели фильтров бытовой аппаратуры.



Электрическая принципиальная схема дросселей Д201Т – Д274Т

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

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

6

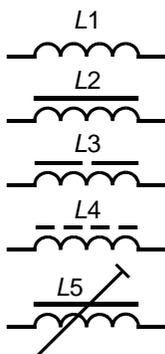
Дроссели высокой частоты используют в высокочастотных электронных цепях, где пропускают токи только низких частот. При изготовлении стремятся, чтобы собственная емкость была минимальной.

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 с зазором в ферромагнитном магнитопроводе;

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

L5 – с возможностью подстройки индуктивности изменением положения магнитопровода.

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

7

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.

8

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;
 ΔT – 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;
 ΔT – интервал температур, вызвавший это изменение.

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

9

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.

10

Ссылки

1. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника и микропроцессорная техника: учебник для вузов — Москва: КноРус, 2013. — 798 с.
2. Сидоров И.Н. Малогабаритные магнитопроводы и сердечники : справочник / И. Н. Сидоров, А. А. Христинин, С. В. Скорняков. — Москва: Радио и связь, 1989. — 384 с.
3. Сидоров И.Н. Малогабаритные трансформаторы и дроссели : Справочник / И. Н. Сидоров, В. В. Мукусеев, А. А. Христинин. — Москва: Радио и связь, 1985. — 416 с.
4. <http://radio-hobby.org/modules/instruction/page.php?id=795>