

Классификация электрических катушек. Материалы, используемые при изготовлении электрических катушек.

Из-за огромного разнообразия катушек, используемых в радиоэлектронике, не существует стандартизированного крупносерийного их производства (как в случае с резисторами или конденсаторами). Поэтому катушки изготавливаются самими пользователями (небольшими или разовыми сериями) только по мере необходимости. В целом, каждая цепь, включающая катушки, рассчитывается на основе нормированных значений других пассивных компонентов.

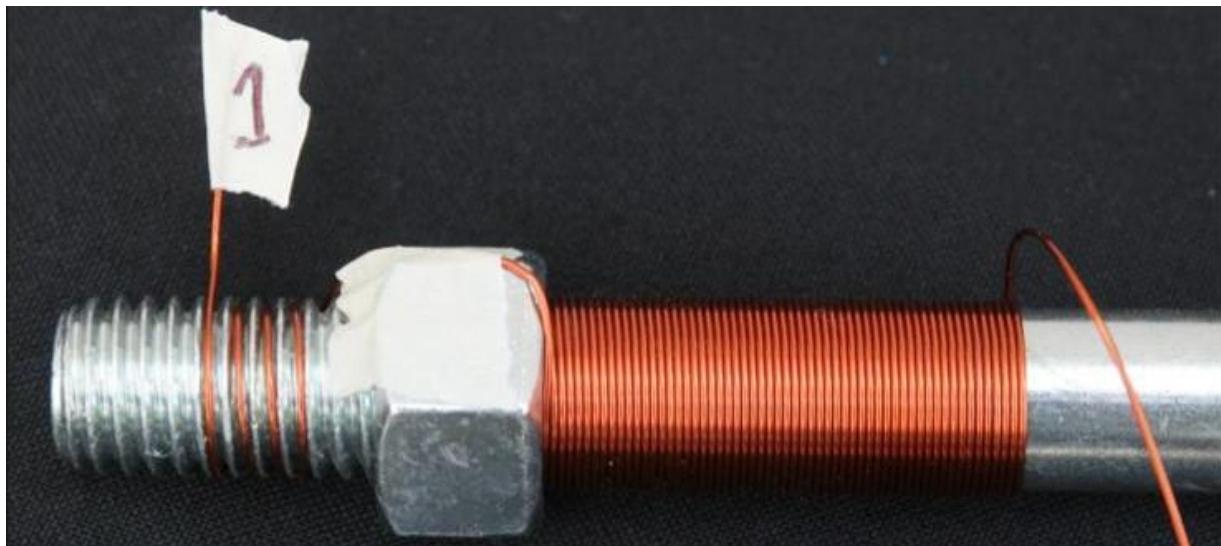
Катушка (индуктор) – это пассивный компонент цепи, для которого в идеале между напряжением на его выводах $U(t)$ и током, проходящим через него $I(t)$, существует

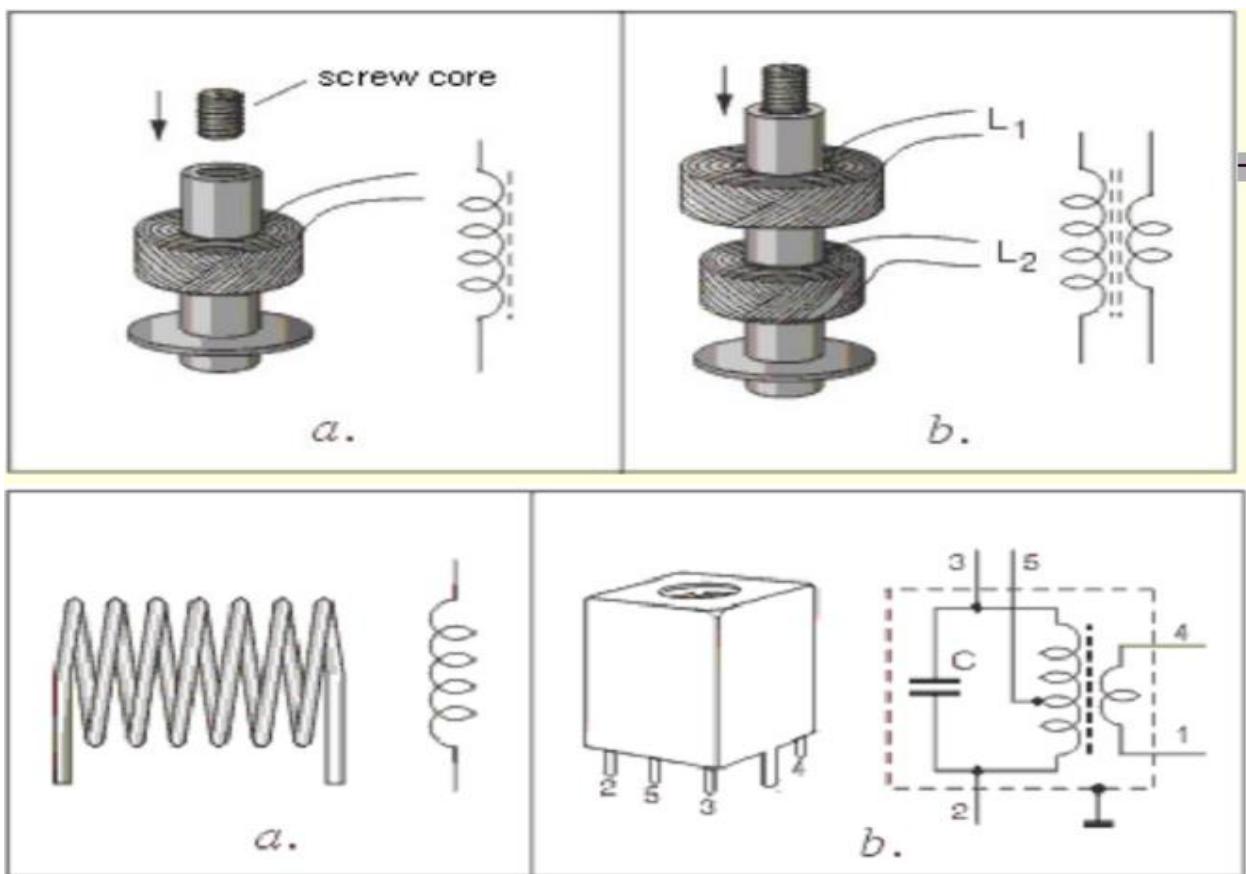
$$U = L \frac{di}{dt}$$

взаимосвязь ; L – индуктивность и в системе СИ измеряется в Генри (Гн), но используются дальние приставки н Гн , мк Гн , м Гн . Составными частями катушки являются: каркас, обмотка, сердечник и экран. Кроме обмотки, остальные элементы не всегда являются частью структуры катушки.

Составные части катушки.

Катушка изготавливается путем намотки проводника на сердечник. Этот сердечник может быть ферримагнитным, в этом случае катушка имеет высокую индуктивность, или он может быть неферромагнитным, или даже отсутствовать, в этом случае катушка имеет низкую индуктивность.





- a) Каркас – это опора, на которую наматывается проводник катушки, обычно имеет трубчатую форму и изготавливается из материала, который легко обрабатывается, обладает изоляционными свойствами и удовлетворительной механической прочностью;
- b) Обмотка – это основной и незаменимый элемент любой катушки. Ее характеристиками являются: диаметр, количество витков в сечении проводника, шаг, количество слоев.

Чаще всего используются медные проводники с круглым сечением и диаметром в пределах нормы. В случае очень высоких токов используются проводники с прямоугольным или квадратным сечением, иногда даже трубчатые, чтобы обеспечить водяное охлаждение, но можно использовать и алюминиевые проводники.

В случае низкочастотных катушек проводники изолируются эмалью и текстильными или неорганическими волокнами.

В случае высокочастотных катушек используются многожильные проводники (пучки тонких металлических проводов, скрученных или нескрученных, используемых в качестве электрических проводников), состоящие из 7-15 проводников очень малого диаметра и индивидуально изолированные, формируя связки (связки, в свою очередь, изолированы хлопком или шелком).

В области очень высоких частот используются посеребренные медные проводники, изолированные эмалью, шелком или даже неизолированные, если используются катушки с небольшим количеством и редко расположенных витков.

- c) Сердечник используется в большинстве катушек, поскольку он позволяет получать более высокие и регулируемые индуктивности. Используются магнитные сердечники из латуни или меди;
- d) Экран не является обязательным и используется для устранения потенциалов, паразитных связей (электрических или магнитных).

Катушки могут классифицироваться по следующим критериям:

- конструктивные соображения – с каркасом (форма или тип каркаса, тип обмотки, количество витков, количество слоев, наличие или отсутствие экрана, сердечника и т. д.).

Классификация катушек индуктивности.

1. По конструкции: по форме, по размеру, по количеству витков, по количеству слоев, по наличию или отсутствию сердечника либо экрана;
2. в зависимости от индуктивности, добротности, диапазона рабочих частот;
3. По назначению: радиоприемники/передатчики или ТВ.

Кроме того, катушки делятся на 3 основных класса, в зависимости от областей использования:

1. Катушки для малых токов: (телефонная связь, автоматизация);
2. Катушки для больших токов: (триггеры, соленоиды, трансформаторы, дроссели и т.д.);
3. Катушки индуктивности: (электромедицинские аппараты, поджиг взрывоопасных смесей).

Параметры катушки:

- **Номинальное напряжение** U_n – это максимальное напряжение, на которое рассчитана изоляция катушки;
- **Рабочее напряжение** U_s – это напряжение, которое подается на концы обмотки катушки в определенном режиме работы;
- **Сопротивление** R катушки, это величина, которую можно отобразить, если катушка питается от постоянного напряжения. Из закона Ома следует:

$$R = \frac{U}{I}$$

- Собственная **индуктивность** катушки L , зависит от ее размеров, количества витков и материала магнитного сердечника в соответствии с соотношением:

$$L = \frac{A}{N^2 l}$$

Собственную индуктивность катушки, также можно рассчитать в соответствии с магнитным потоком и током, протекающим через катушку, согласно соотношению:

$$L = \frac{\phi}{i}$$

- **Импеданс** Z катушки, проявляется при подаче переменного напряжения и может быть рассчитан по соотношению:

$$Z = \frac{U}{I}$$

- Индуктивное **сопротивление** $X_L = 2\pi f L$

Импеданс можно рассчитать на основе активного сопротивления и индуктивного сопротивления:

$$Z^2 = R^2 + X_L^2$$

- **Добротность Q** – это отношение индуктивного сопротивления катушки к ее активному сопротивлению:

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

Formulele utilizeaza [2]:

Для $l > 4d$ имеем $L = \frac{0.001n^2 D}{l/D} [\mu H]$ где D – это

диаметр катушки, мм: l – длина катушки, мм.

Для индуктора с сердечником $L = \mu_0 \mu_{ef} \frac{n^2 S}{l} = \mu_{ef} L_0$.

Для многослойной цилиндрической обмотки применяется

$$L = \frac{0.008n^2 D^2}{3D + 9l + 10h} [\mu H] \quad l, D \text{ и } h \text{ в } \text{мм};$$

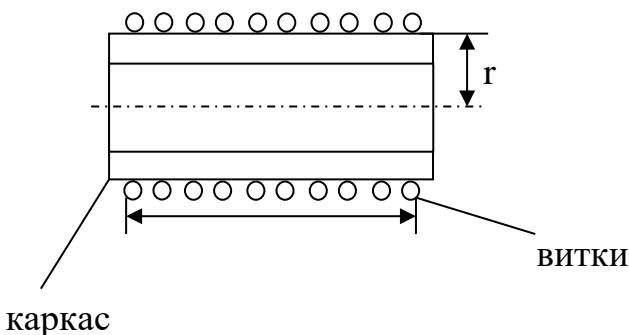
$$h = m d_{cond} = m \frac{l}{n/m} = \frac{m^2 l}{n}.$$

В случае плоской обмотки в форме спирали применяется эмпирическая формула:

$$L = \frac{3.2 \cdot 10^{-2} \cdot a^2 \cdot n^2}{6a + 10c} [\mu H]; a = \frac{d_e + d_i}{4} [\mu m], c = \frac{d_e - d_i}{2} [\mu m]$$

Конструктивные виды катушек:

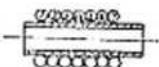
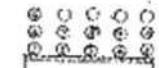
Самый простой тип катушки, содержит один слой эмалированного **медного** проводника.



Эта катушка намотана виток к витку на трубчатый каркас без магнитного сердечника, внешний диаметр каркаса в сантиметрах составляет $2r$, n – количество витков катушки, l в см – длина катушки на корпусе, можно показать при условии $l > 0,8 r$, что индуктивность L катушки определяется соотношением

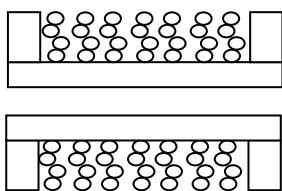
$L_{\text{H}} = 0,3937 r^2 n^2 / (9r + 10l)$. Максимальные значения индуктивности, которые можно получить с помощью таких катушек, не превышают 300 ГН.

Обмотки, используемые для разных частотных диапазонов

№ п/п	Тип обмотки	Внешний вид	Область использования	Q		Примечания
1.	в один слой, с прилегающими витками		весь диапазон частот; L низкие ($x 0,1 \text{ мкГн} \dots x 0,1 \text{ Гн}$)	80...250	маленькая	с / без сердечника с / без корпуса
2.	в один слой, с разнесенными витками		Высокие и очень высокие частоты, L низкие ($x \text{ нГн} \dots x 0,1 \text{ мГн}$)	150...350	маленькая	то же самое, что 1, большая мощность (эмиссия)
3.	Сpirальная обмотка		Высокие и очень высокие частоты, L низкие ($x \text{ нГн}$) высокие мощности для излучения	150...300	маленькая	Без сердечника; они также сделаны на печатной плате
4.	Несколько слоев, виток к витку и слой за слоем		Низкие частоты, когда не имеет значения Q, Q низк., L высокая	низк. < 50	большая	то же самое, что 1
5.	Несколько случайно намотанных слоев		Средние частоты < (< 2 МГц) L высокие	иногда удовлетворительно	большая	на фланцевом каркасе или на сердечнике
6.	Пирамидальная		Средние и высокие частоты	хорошо (> 80)	средняя	на каркасе или на сердечнике
7.	Со слоями разделенными		Средние и высокие частоты, высокая мощность (эмиссия, L средн.)	хорошо (> 80)	маленькая	специальные каркасы

Однослойные обмотки имеют резисторы постоянного тока с низкими индуктивностями и паразитными емкостями.

Другой тип конструкции обмотки, без магнитного сердечника, содержит несколько наложенных слоев проводника, каждый из которых содержит витки, намотанные рядом друг с другом. Проводник в этом случае должен быть изолирован эмалью или даже шелком.

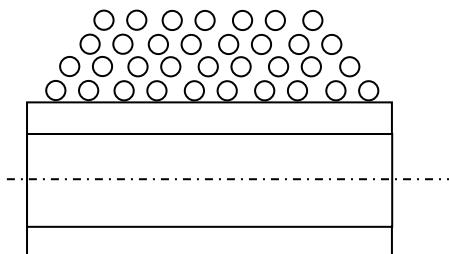


Многослойные обмотки, закрепленные виток к витку, характеризуются высокой распределительной способностью и опасностью пробоя изоляции

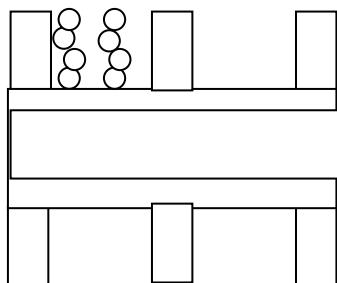
(учитывается, что на конце обмотки, где разность потенциалов высокая, в этом случае для уменьшения опасности пробоя вставляются изолирующие пленки, изготовленные из пластикового материала, конденсаторной бумаги и т. д.). Единственный недостаток в этом случае – увеличение объема и стоимости катушки.

Большинство катушек, используемых в электронном оборудовании, имеют магнитный сердечник, который с точки зрения конструкции может быть секционирован, обычно цилиндрической или трубчатой формы, в этом случае он имеет замкнутую форму, торoidalную форму. Сердечники изготавливаются из мягких ферримагнитных материалов. Конструкция сердечников обычно позволяет изменять индуктивность путем перемещения сердечника относительно обмотки. Существуют также немагнитные сердечники, изготовленные из меди или латуни.

Помимо рассмотренных выше типов катушек, существуют и другие типы катушек, которые могут быть выполнены с магнитным сердечником или без него.



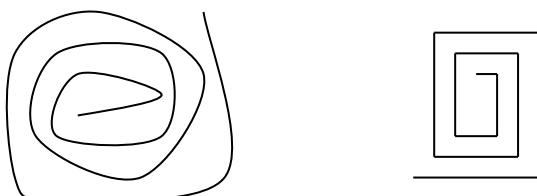
пирамидальная



Каркас с ограничителями.

Эти типы корпусов используются для уменьшения количества витков, каждая секция разграничивает количество витков таким образом, чтобы паразитная емкость между витками была минимальной.

В современной микроэлектронике также используются печатные катушки, но индуктивность этих катушек очень мала. С появлением технологии печатных плат плоская катушка в виде прямоугольной или круглой спирали представляет собой печатную катушку, индуктивность которой может составлять от 0,1 до 10 Гн, а добротность – от 50 до 200.



Экранирование катушек

По своей структуре и функционированию любая катушка может быть индуктивно связана магнитными или емкостными полями, электрическими полями различных порождений, которые являются внешними приемниками паразитных сигналов. Чтобы уменьшить или даже устраниć эти потенциальные и нежелательные связи, катушки защищают с помощью специально сконструированных магнитных или электрических экранов, соединенных с заземлением. Форма и материал этих экранов выбираются в зависимости от их роли и частоты возмущающего магнитного или электрического поля. Таким образом, для низкочастотного магнитного экранирования используются ферримагнитные материалы с высокой проницаемостью. Катушки помещаются внутрь параллелепипеда или цилиндрического экрана, не допуская контакта между экраном и сердечником. В результате достигается эффект экранирования, который тем эффективнее, чем дальше экран расположен от сердечника.

Чтобы уменьшить магнитное сопротивление, выбирается экран нужной толщины, состоящий из нескольких слоев.

Для средне- и высокочастотного магнитного экранирования используются проводящие материалы с высокой проводимостью (Al или Cu). В этом случае катушка помещается внутрь экрана, который имеет форму параллелепипеда или цилиндра, а эффект экранирования достигается за счет действия вихревых токов, индуцированных в электрической цепи, замкнутой внешним магнитным полем через стенку экрана. Эти токи, в свою очередь, создают магнитное поле, которое противодействует возмущающему эффекту. Поскольку Al дешевле, чем Cu, экраны, как правило, Al.

Возмущающее магнитное поле

Для низкочастотного электростатического экранирования (на трансформаторе) паразитный емкостной эффект между первичной и вторичной обмотками можно регулировать путем вставки в эти обмотки проводящей разделительной фольги, гальванически соединенной с нулевым потенциалом.

Полученный таким образом электростатический экран не должен замыкаться, чтобы не образовать виток короткого замыкания. Эффект экранирования измеряется отношением напряженности электрического или магнитного поля внутри катушки при наличии и в отсутствие экрана.

Значения от 1/100 до 1/20 означают достаточное экранирование в большинстве случаев.

Стабильность экранированной катушки ниже, чем неэкранированной, поскольку влияющие факторы (время, температура, влажность и т. д.) также действуют на геометрические размеры и электрические параметры экрана.

