

[Радиоматериалы и радиокомпоненты]

[210303.65 «Бытовая радиоэлектронная аппаратура»

210305.65 «Средства радиоэлектронной борьбы»]

[ИИБС, кафедра Электроники]

[Преподаватель Останин Борис Павлович]

Радиоматериалы и радиокомпоненты

Раздел 4

Катушки индуктивности

Лекция 1

КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ

КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ

Функционирование катушек индуктивности основано на взаимодействии тока и магнитного потока. В проводе индуцируется ЭДС, препятствующая нарастанию тока

$$e_L = -\frac{d\Phi}{dt}$$

При гармоническом токе

$$i = I_m \sin \omega t$$

$$e_L = -\frac{d\Phi}{dt} = -L \frac{di}{dt} = \omega L I_m \cos \omega t = X_L I_m \cos \omega t$$

Индуктивность характеризует способность катушки оказывать сопротивление переменному току.

Индуктивность короткого проводника [мкГн] определяется его размерами

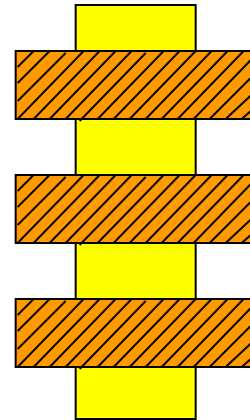
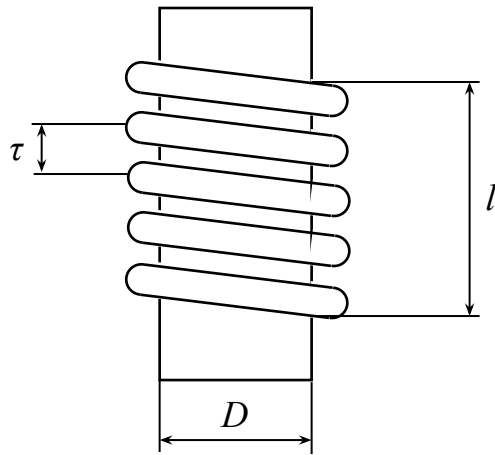
$$L = 2l \left(\ln \frac{4l}{d} - 1 \right) \cdot 10^{-3}$$

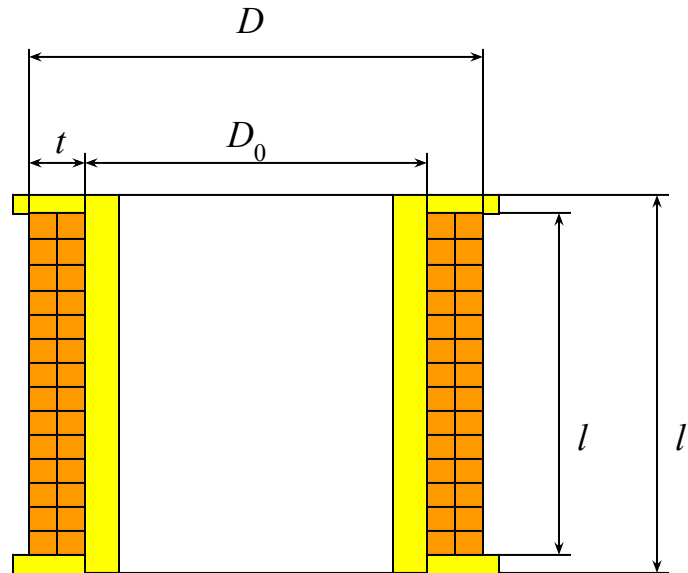
l – длина провода, см;

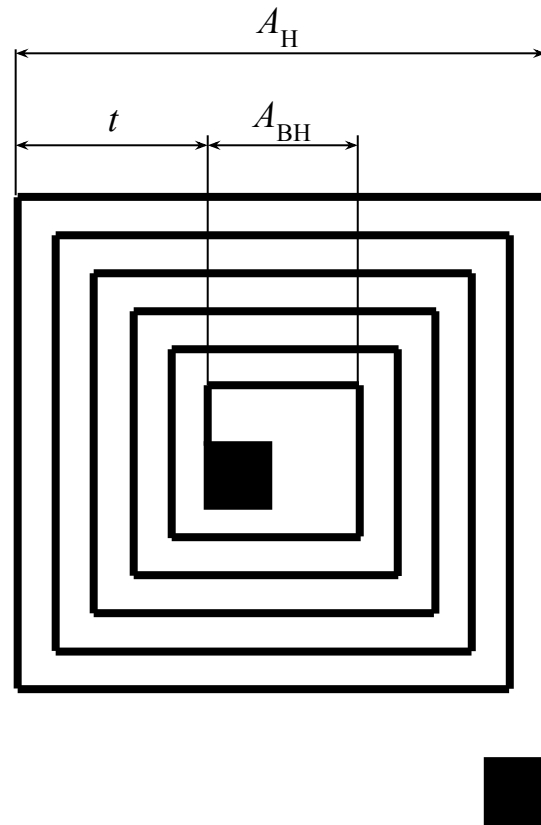
d – диаметр провода, см.

Если намотать провод на каркас, получается катушка индуктивности. Магнитный поток концентрируется и значение индуктивности возрастает.

Конструкция катушек индуктивности







Ферромагнитные сердечники изготавливаются из карбонильного железа или из феррита. Сердечники концентрируют магнитное поле катушки и тем самым увеличивают её индуктивность. Перемещение внутреннего сердечника позволяет изменять индуктивность. Внутренние сердечники бывают

1. стержневые,
2. трубчатые,
3. подстроечные резьбовые.

Броневые сердечники состоят из двух чашек. Они могут иметь либо замкнутый магнитопровод (тип СБ – А), либо разомкнутый (тип СБ – Б). Для изменения индуктивности у них имеется подстроечный сердечник.

Помимо цилиндрических и броневых сердечников применяют тороидальные (кольцевые) сердечники.

На высоких частотах (десятки – сотни МГц) применяют подстроечные цилиндрические сердечники из диамагнетиков (латунь, медь). При введении этих сердечников внутрь катушки индуктивность катушки уменьшается.

В катушках индуктивности, работающих на низких частотах (до 1 кГц), используют сердечники из пермаллоя (пластины толщиной 0,002...0,1 мм).

Для уменьшения влияния электромагнитного поля катушки на другие элементы схемы, а также для уменьшения внешних полей на катушку индуктивности её помещают внутри металлического кожуха (экрана).

Индуктивность и собственная ёмкость катушки индуктивности

Индуктивность катушки [мкГн]

$$L = L_0 W^2 D \cdot 10^{-3}$$

W - число витков катушки ,

D - диаметр катушки,

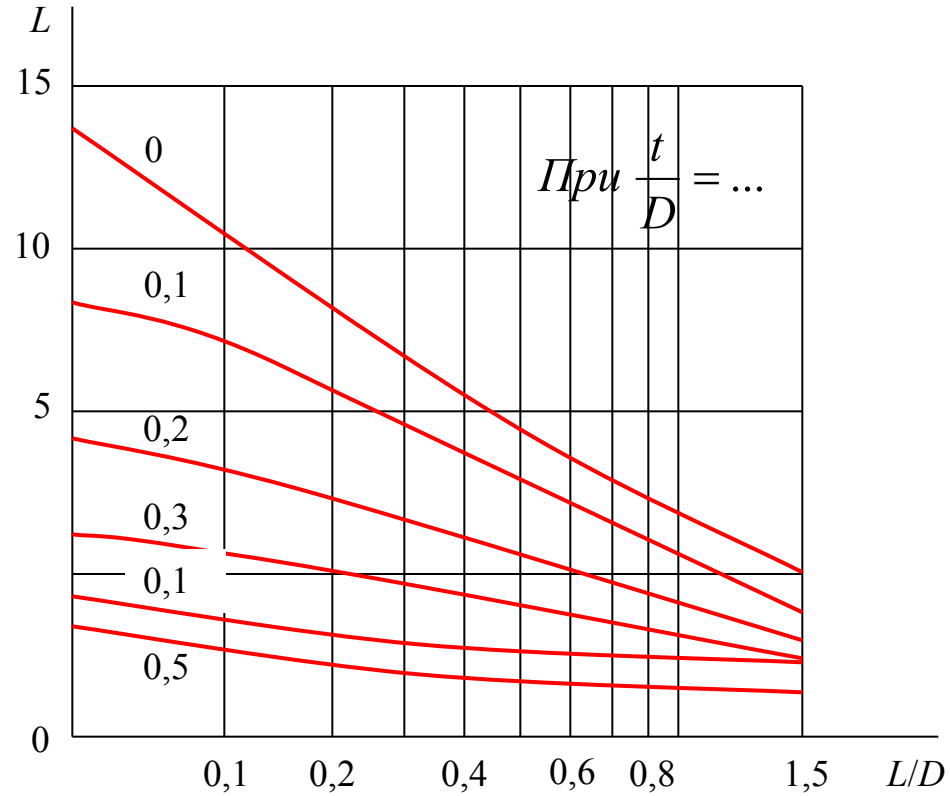
L_0 - коэффициент, зависящий от отношения
длины катушки к её диаметру.

Для однослойных катушек величина L_0

$$L_0 = \frac{1}{0,1 \left(\frac{l}{D} + 0,45 \right)}$$

Оптимальными являются $\frac{l}{D} = 0,6 \dots 1,0$ диаметр катушки $D = 1 \dots 2$ см. При расчёте диаметр катушки D принимают равным диаметру каркаса D_0 .

У многослойных катушек величина L_0 зависит не только от отношения L/D , но и от отношения толщины обмотки t к диаметру катушки D . Величина L_0 определяется в этом случае по графикам, а внешний диаметр катушки принимают равным $D = D_0 + 2t$.



При расчёте катушки индуктивности сначала задают геометрические размеры катушки и определяют коэффициент L_0 , а затем по заданной величине индуктивности находят число витков

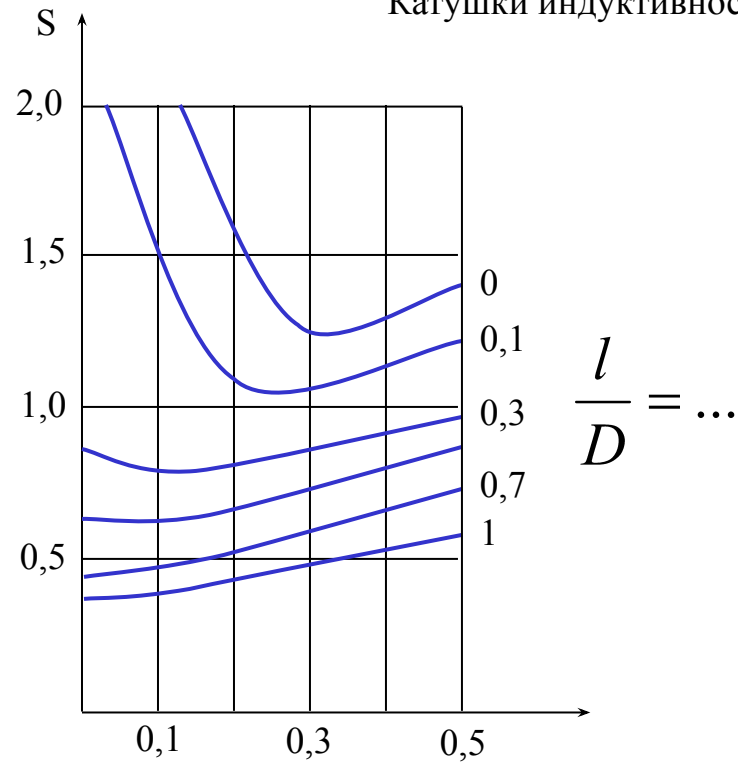
$$W = \sqrt{\frac{L \cdot 10^3}{L_0 D}}$$

L - мкГн,

D - см.

Диаметр намоточного провода должен обеспечивать минимальные потери. Этот диаметр определён из многочисленных опытов. Расчёт катушки индуктивности ведётся с помощью эмпирических формул и графиков.

По графику $S = f\left(\frac{t}{D}, \frac{l}{D}\right)$ находят вспомогательный коэффициент S .



Затем рассчитывают коэффициент

$$p_1^2 = \frac{LS^2}{D^3}$$

L - мкГн,

D - см.

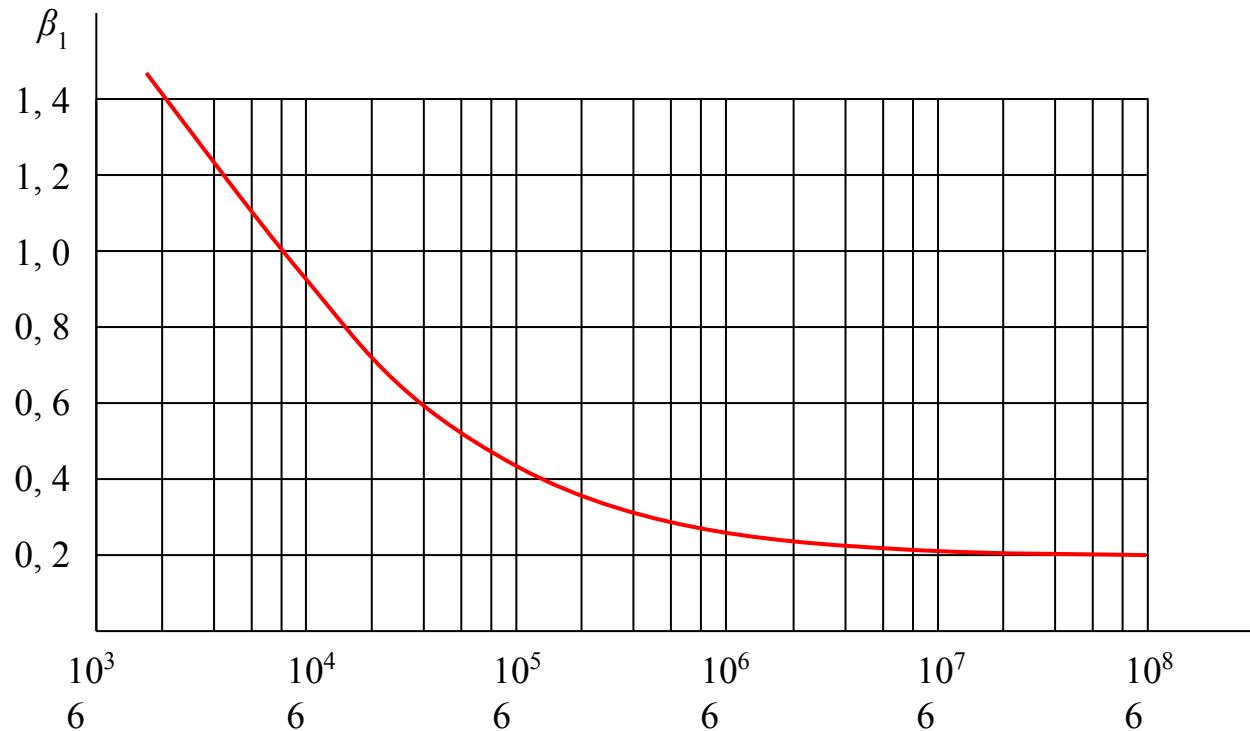
Далее рассчитывают коэффициент

$$\alpha_1 = \frac{f}{\rho_1^2}$$

f - Гц.

Затем по графику $\beta_1 = f(\alpha_1)$ находят вспомогательный коэффициент β_1 и рассчитывают оптимальный диаметр провода в миллиметрах

$$d_{\text{ОПТ}} = \frac{\beta_1}{\rho_1}$$



Полученное значение округляют до ближайшего стандартного значения и выбирают марку провода.

После выбора оптимального диаметра провода проверяют, разместится ли обмотка в заданных размерах l и t .

Для однослойных обмоток рассчитывают шаг обмотки

$$\tau = \frac{l}{W - 1}$$

Если $\tau > d_{\text{ИЗ}}$, то обмотка размещается. Если нет, то увеличивают l и повторяют расчёт.

Для многослойных обмоток рассчитывают
толщину обмотки

$$t = \frac{ad_{из}^2 W}{l}$$

a - коэффициент неплотности обмотки ($a = 1,05 \dots 1,3$).

Далее находят фактическое значение наружного
диаметра катушки

$$D = D_0 + 2t$$

Если найденная величина D отличается от выбранной в начале расчёта более чем на 10 %, то задают новые значения t и l и расчёт повторяют.

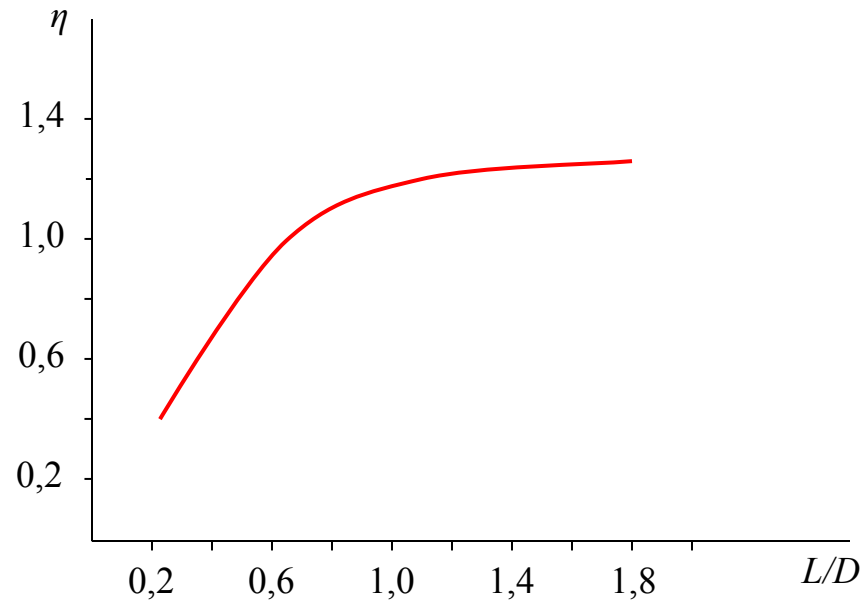
При помещении катушки в экран её индуктивность уменьшается:

$$L_{\text{ЭК}} = L \left[1 - \eta \left(\frac{D}{D_{\text{ЭК}}} \right)^3 \right]$$

η - коэффициент, зависящий от отношения l/D ;

D - диаметр катушки;

$D_{\text{ЭК}}$ - диаметр экрана.



Чем меньше диаметр экрана, тем больше уменьшается индуктивность катушки. Обычно $D_{\text{ЭК}}/D \approx 1,6...1,8$. При этом индуктивность уменьшается не более чем на 20 %.

Многослойные катушки обычно выполняют с сердечниками броневое типа. При этом большая часть линий магнитного поля катушки замыкается через сердечник, а меньшая через воздух. Влияние экрана на индуктивность в этом случае значительно ослабляется.

Применение сердечников из магнитных материалов увеличивает индуктивность катушки. Это позволяет уменьшить число витков катушки и, соответственно, её габариты. Основным параметром сердечника является его магнитная проницаемость μ_C . При наличии сердечника индуктивность катушки L_C

$$L_C = \mu_C L$$

Поскольку в расчётные формулы входят эмпирические коэффициенты, то индуктивность изготовленной катушки отличается от расчётной. Применение подстроечных магнитных сердечников позволяет получить требуемое значение индуктивности.

Собственная ёмкость катушки индуктивности

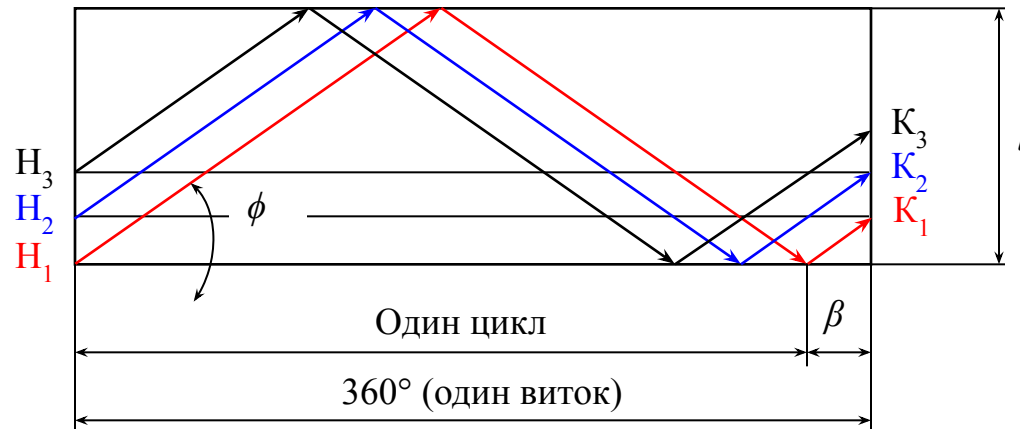
Собственная ёмкость является паразитным параметром катушки индуктивности и ограничивает возможности её применения. Собственная ёмкость складывается из ёмкости между отдельными витками катушки, между витками и сердечником, витками и экраном, витками и другими элементами конструкции. Все эти ёмкости можно объединить в одну. Её и называют собственной ёмкостью катушки C_L .

Наименьшей собственной ёмкостью ($C_L = 1 \dots 2$ пФ) обладают однослойные катушки индуктивности. Приблизённо её рассчитывают по формуле

$$C_L = (0,5 \dots 1,0)D$$

D - диаметр катушки, см.

Собственная ёмкость многослойных катушек значительно больше (до 30 пФ). Причём при рядовой намотке она больше, чем при намотке «в навал». Существенное уменьшение ёмкости многослойных катушек достигается при использовании универсальной намотки



Совершив один оборот вокруг каркаса, провод возвращается в положение, отличающееся от исходного на угол β . Это угол выбирается таким, чтобы каждый последующий виток находился рядом с предыдущим.