

[Назад](#)[Содержание](#)[Вперед](#)

2.3. Катушки индуктивности

2.3.1. Физическая природа индуктивности.

Катушки индуктивности обладают свойством оказывать реактивное сопротивление переменному току при незначительном сопротивлении постоянному току. Совместно с конденсаторами они используются для создания фильтров, осуществляющих частотную селекцию электрических сигналов, а так же для создания элементов задержки сигналов и запоминающих элементов, осуществления связи между цепями через магнитный поток и т.д. В отличие от резисторов и конденсаторов они не являются стандартизованными изделиями, а изготавливаются для конкретных целей и имеют такие параметры, которые необходимы для осуществления тех или иных преобразований электрических сигналов, токов и напряжений.

Функционирование катушек индуктивности основано на взаимодействии тока и магнитного потока. Известно, что при изменении магнитного потока Φ в проводнике, находящемся в магнитном поле, возникает ЭДС, определяемая скоростью изменения магнитного потока

$$e_L = \frac{d\Phi}{dt} \quad (2.25)$$

Поэтому при подключении к проводнику источника постоянного напряжения ток в нем устанавливается не сразу, так как в момент включения изменяется магнитный поток и в проводе индуцируется ЭДС, препятствующая нарастанию тока, а спустя некоторое время, когда магнитный поток перестает изменяться. Если же к проводнику подключен источник переменного напряжения, то ток и магнитный поток будут изменяться непрерывно и наводимая в проводнике ЭДС будет препятствовать протеканию переменного тока, что эквивалентно увеличению сопротивления проводника. Чем выше частота изменения напряжения, приложенного к проводнику, тем больше величина ЭДС, наводимая в нем, следовательно, тем больше сопротивление, оказываемое проводником протекающему току. Это сопротивление X_L не связано с потерями энергии, поэтому является реактивным. При изменении тока по синусоидальному закону наводимая ЭДС будет равна

$$e_L = -L \frac{di}{dt} = -\omega L I_m \cos \omega t \quad (2.26)$$

Она пропорциональна частоте ω , а коэффициентом пропорциональности является индуктивность L . Следовательно, индуктивность характеризует способность проводника оказывать сопротивление переменному току. Величина этого сопротивления $X_L = \omega L$

Индуктивность короткого проводника (мкГн) определяется его размерами:

$$L = 2l \left(\ln \frac{4l}{d} - 1 \right) \cdot 10^{-9} \quad (2.26)$$

где l - длина провода в см, d - диаметр провода в см.

Если провод намотан на каркас, то образуется катушка индуктивности. В этом случае магнитный поток концентрируется и величина индуктивности возрастает.

2.3.2. Конструкции катушек индуктивности.

Конструкционной основой катушки индуктивности является диэлектрический каркас, на который наматывается провод в виде спирали. Обмотка может быть как однослойной (рис.2.21,а), так и многослойной (рис.2.21,б). В некоторых случаях многослойная обмотка делается секционированной (рис.2.21,в). В интегральных схемах применяются плоские спиральные катушки индуктивности (рис.2.21,г).

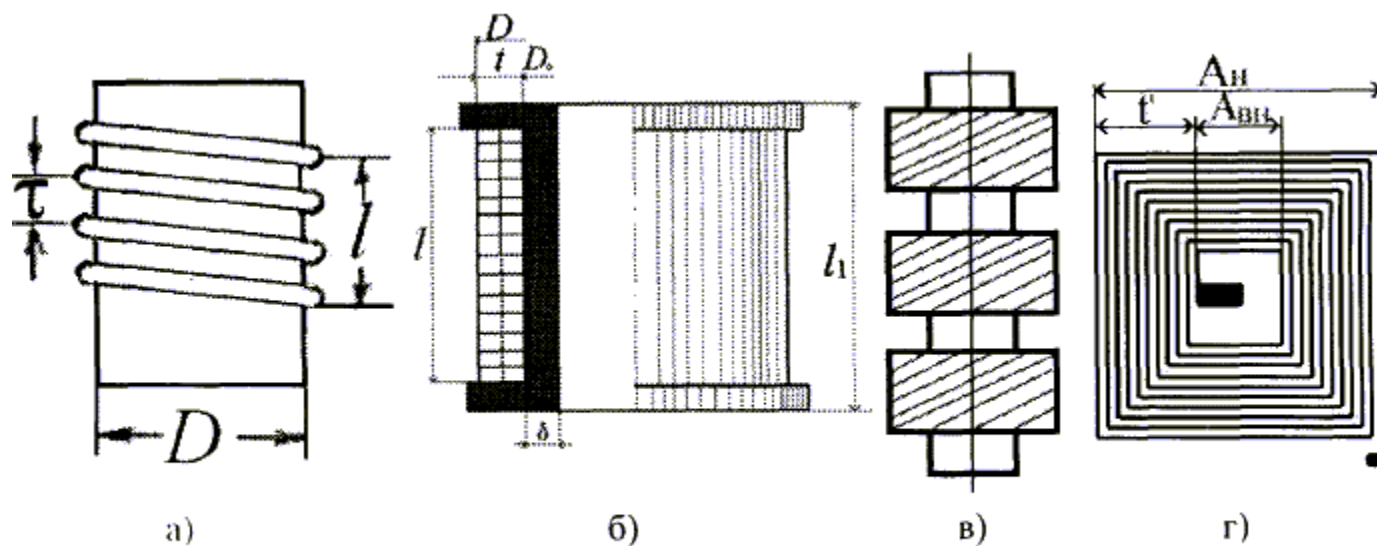


Рис.2.21

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. На рис.2.22 представлены три разновидности цилиндрических сердечников: С - стержневой, Т - трубчатый и ПР - подстроечный резьбовой и две разновидности броневого. Броневые сердечники состоят из двух чашек 2, изготовленных из карбонильного железа или феррита.

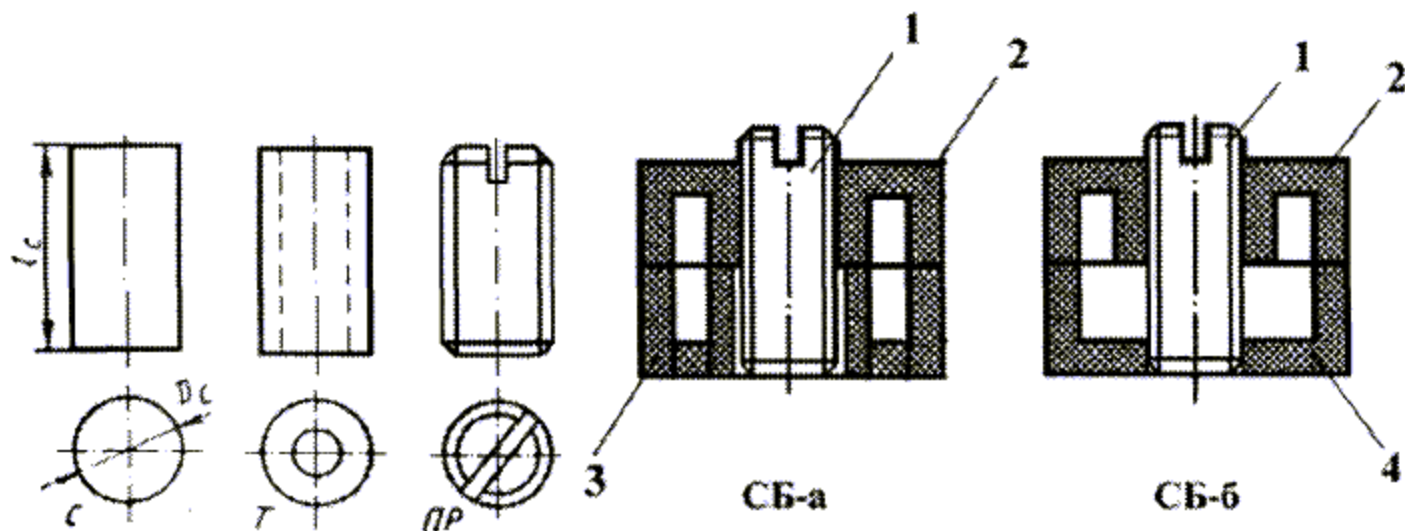


Рис.2.22

Они могут иметь либо замкнутый магнитопровод (тип СБ - а), либо разомкнутый (тип С Б - б). Для изменения индуктивности служит подстроечный цилиндрический сердечник 1. Помимо цилиндрических и броневых сердечников применяют торроидальные (кольцевые) сердечники. На высоких частотах (десятки-сотни МГц) применяют подстроечные цилиндрические сердечники из диамагнетиков (латунь, медь). При введении этих сердечников внутрь катушки индуктивность уменьшается.

В катушках индуктивности, работающих на низких в качестве сердечников используют пермаллой. При этом рается из тонких пластин толщиной 0,002-0,1мм.

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, как это показано на рис.2.23 (1 - заглушка, 2 - экран, 3 - корпус, 4 - обмотка, 5 - каркас, 6 - подстроечный стержень, 7 - чашка сердечника, 8 - основание, 9 - заливка).

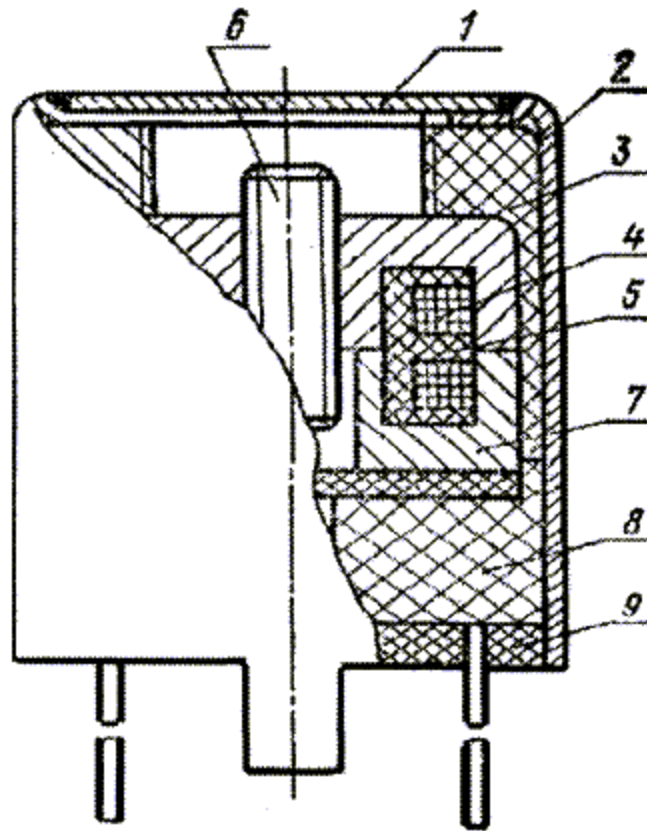


Рис.2.23

2.3.3. Индуктивность и собственная емкость катушек индуктивности.

Индуктивность является основным параметром катушки индуктивности. Ее величина (мкГн) определяется соотношением

$$L = L_0 W^2 D \cdot 10^{-3} \quad (2.28)$$

где W - число витков, D - диаметр катушки в см, L_0 - коэффициент, зависящий от отношения длины катушки / к ее диаметру 0 .

Для однослойных катушек величина L_0 определяется соотношением

$$L_0 = \frac{1}{0,1 \left(\frac{l}{D} + 0,45 \right)} \quad (2.29)$$

Оптимальными в этом случае являются отношение $\frac{l}{D} = 0,6 \dots 1,0$ а диаметр катушки в пределах от 1 до 2 см. При расчете диаметр катушки D принимается равным диаметру каркаса D_0

Для многослойных катушек величина L_0 зависит не только от величины $1/D$, но и от отношения толщины намотки t к диаметру катушки D . Она определяется по графикам (рис.2.24). В этом случае внешний диаметр катушки $D = D_0 + 2t$

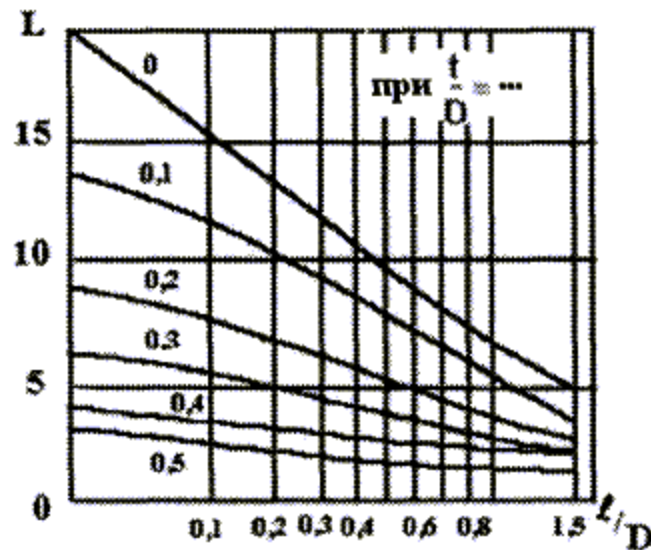


Рис.2.24

При расчете катушки индуктивности предварительно задаются геометрическими размерами катушки и определяют коэффициент L_0 , а затем по заданной величине индуктивности L находят число витков:

$$W = \sqrt{\frac{L \cdot 10^3}{L_0 D}} \quad (2.30)$$

где L - в мкГн, D - в см.

Для намотки катушки обычно применяют провод оптимального диаметра, который рассчитывается с помощью эмпирических формул и графиков. Для этого по графику $S=f(t/D; l/D)$ (рис.2.25) находят вспомогательный коэффициент S . Затем рассчитывают коэффициент

$$P_1^2 = \frac{LS^2}{D^3} \quad (2.31)$$

где f - в мкГц, D - в см. Затем рассчитывают коэффициент a_1

$$a_1 = f / P_1^2$$

где f - частота в Гц. После чего по графику $b_1=f(a_1)$ (рис. 2.26) находят вспомогательный коэффициент $b_1 S$ и рассчитывают оптимальный диаметр провода (мм)

$$d_{opt} = \frac{\beta_1}{P_1} \quad (2.32)$$

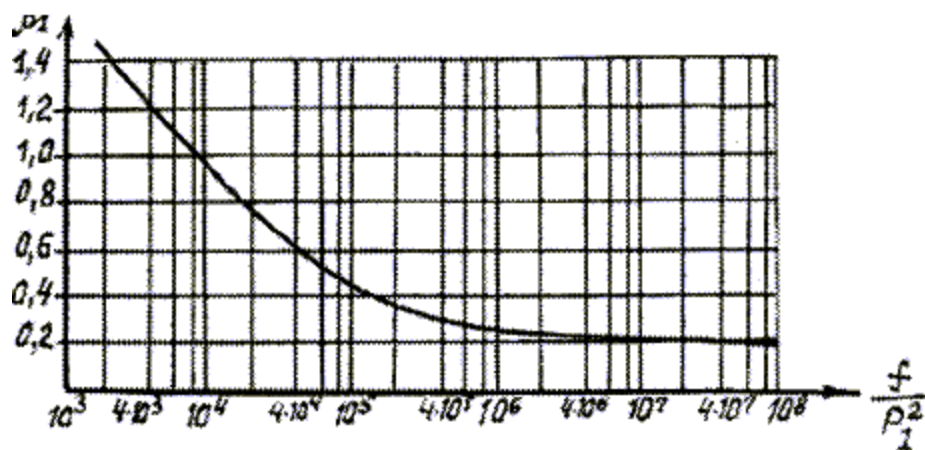


Рис.2.26

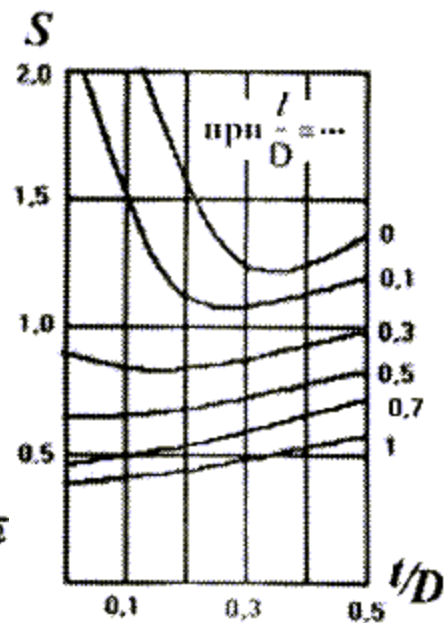


Рис.2.25

Полученное значение округляется до ближайшего стандартного значения (табл.2.6) и выбирается марка провода с диаметром $d_{из}$

Таблица 2.6

Основные параметры обмоточных проводов

d , мм	S_n , мм ²	Максимальный диаметр в изоляции, мм			
		ПЭВТЛК	ПЭМ-1	ПЭВ-1	ПЭВ-2, ПЭТВ ПЭМ-2
0,063	0,0028	0,11	0,09	0,085	0,09
0,071	0,0038	0,12	0,09	0,095	0,1
0,08	0,005	0,13	0,1	0,105	0,11
0,09	0,0064	0,14	0,11	0,115	0,12
0,1	0,0079	0,15	0,12	0,125	0,13
0,112	0,0095	0,16	0,14	0,135	0,14
0,125	0,0113	0,17	0,15	0,15	0,155
0,14	0,0154	0,185	0,16	0,165	0,17
0,16	0,02	0,2	0,19	0,19	0,2
0,18	0,0254	0,23	0,21	0,21	0,22
0,2	0,0314	0,25	0,23	0,23	0,24
0,224	0,0415	0,27	0,25	0,26	0,27
0,25	0,0491	0,3	0,29	0,29	0,3

0,28	0,0615	0,34	0,32	0,32	0,33
0,315	0,0755	0,37	0,35	0,355	0,365
0,355	0,0962	0,405	0,39	0,395	0,415
0,4	0,126	0,47	0,44	0,44	0,46
0,45	0,158	-	0,49	0,49	0,51
0,5	0,193	-	0,55	0,55	0,57
0,56	0,246	-	0,61	0,61	0,63
0,63	0,311	-	0,68	0,68	0,7
0,71	0,39	-	0,76	0,76	0,79
0,75	0,435	-	0,81	0,81	0,84
0,8	0,503	-	0,86	0,86	0,89
0,85	0,567	-	0,91	0,91	0,94
0,9	0,636	-	0,96	0,96	0,99
0,95	0,71	-	1,01	1,01	1,04
1	0,785	-	1,08	1,07	1,11

После выбора оптимального диаметра провода проверяют возможность размещения обмотки в заданных размерах l и t . Для однослойных катушек рассчитывают шаг намотки

$$\tau = \frac{l}{W - 1} \quad (2.33)$$

Если $t > d_{из}$, то обмотка размещается. В противном случае задаются большей величиной l и повторяют расчет.

Для многослойных катушек рассчитывают толщину обмотки

$$t = \frac{a d_{из}^2 W}{l} \quad (2.34)$$

где a - коэффициент неплотности обмотки ($a = 1,05 \dots 1,3$), и находят фактическое значение наружного диаметра катушки $D = D_0 + 2t$. Если эта величина отличается от выбранной в начале расчета более чем на 10%, то задаются новыми значениями l и t и расчет повторяют. При помещении катушки в экран индуктивность катушки уменьшается

$$L_{эк} = L \left[1 - \eta \left(\frac{D}{D_{эк}} \right)^3 \right] \quad (2.35)$$

где h - коэффициент, зависящий от отношения l/D (рис.2.27),

D - диаметр катушки,

$D_{эк}$ -диаметр экрана.

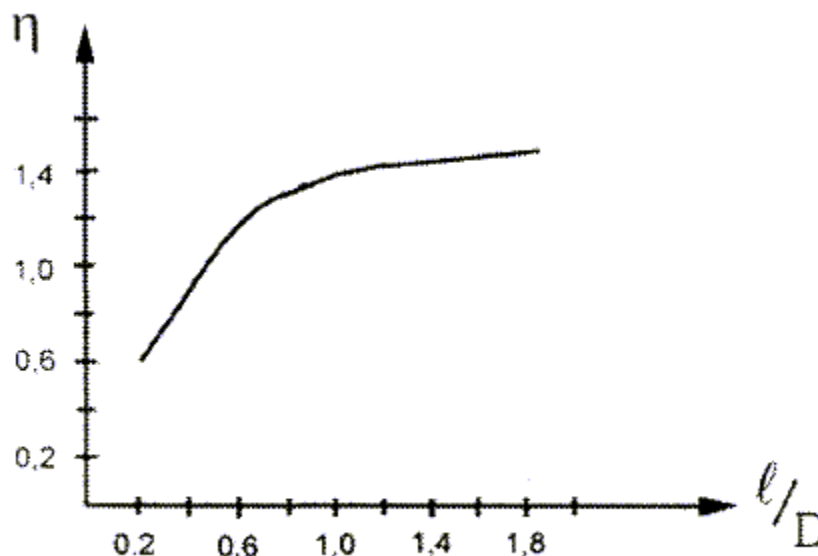


Рис.2.27

Индуктивность уменьшается тем больше, чем меньше диаметр экрана. В большинстве случаев $D_{эк}/D \gg 1,6 \div 1,8$. При этом индуктивность уменьшается не более чем на 20%.

Многослойные катушки обычно выполняют с сердечниками броневые типа, при использовании которых большая часть силовых линий магнитного поля катушки замыкается через сердечник, а меньшая - через воздух, вследствие чего влияние экрана на индуктивность катушки значительно ослабляется.

Применение сердечников из магнитных материалов позволяет уменьшить число витков катушки индуктивности и соответственно ее габариты. Основным параметром сердечника является магнитная проницаемость m_c . При его наличии индуктивность катушки становится равной

$$L_c = m_c L \quad (2.36)$$

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

Собственная емкость является паразитным параметром катушки индуктивности, ограничивающим возможности ее применения. Ее возникновение обусловлено конструкцией катушки индуктивности: емкость существует между отдельными витками катушки, между витками и сердечником, витками и экраном, витками и другими элементами конструкции. Все эти распределенные емкости можно объединить в одну, называемую собственной емкостью катушки C_L .

Наименьшей собственной емкостью обладают однослойные катушки индуктивности. Приблизительно она рассчитывается по формуле (пФ)

$$C_L \gg (0,5 \div 1,0)D, \quad (2.37)$$

где D - диаметр катушки в см. Обычно она не превышает 1-2пФ.

Собственная емкость многослойных катушек значительно больше. При многослойной рядовой намотке она достигает 30пФ; при намотке „внавал" она несколько меньше. Существенное уменьшение емкости многослойных катушек достигается при использовании универсальной обмотки, при выполнении которой провод укладывается под некоторым углом к образующей цилиндрического каркаса. Схема такой намотки показана на рис.2.28. Как только провод доходит до края катушки, направление укладки меняется. Цикл универсальной обмотки выбирается таким, что, совершив один оборот вокруг каркаса, провод возвращается к положению, отличающееся от исходного на угол β . Этот угол выбирается таким, чтобы каждый последующий виток находился рядом с предыдущим.

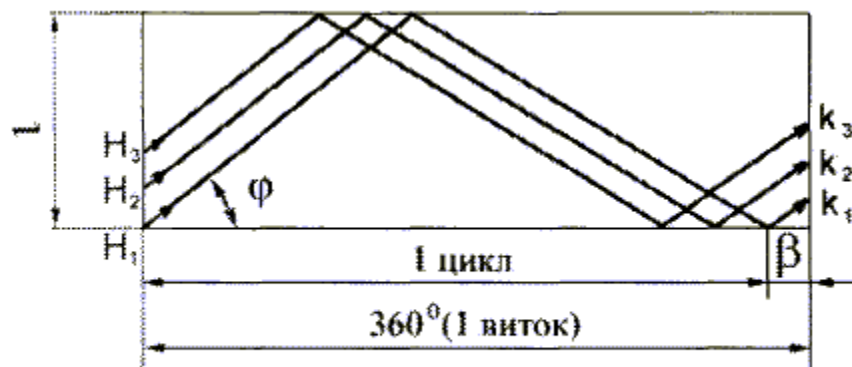


Рис.2.28

Очевидно, что

$$\operatorname{tg} \beta > \frac{2d_{\text{уз}}}{D_0 \sin \phi} \quad (2.38)$$

Угол β , под которым осуществляется укладка провода, находится из соотношения

$$\operatorname{tg} \phi \approx \frac{2l}{\pi D} \quad (2.39)$$

где l -осевая длина катушки,

D - диаметр витка.

Наименьшее значение угла β получается для витков, имеющих наименьший диаметр, равный диаметру каркаса D_0 .

Обычно при использовании универсальной обмотки длину катушки принимают в пределах от 2 до 10мм. Количество циклов намотки связано с расчетным числом витков W соотношением

$$N = W \left(1 - \frac{\beta}{360} \right) \quad (2.40)$$

Величина собственной емкости катушек с универсальной обмоткой составляет от 3 до 8 пФ. Дополнительное снижение емкости достигается серкционированием обмотки, как показано на рис.2.21,в.

Совместное действие индуктивности и емкости можно учесть введением понятия об эквивалентной индуктивности катушки, определяемой из уравнения

$$\frac{1}{\omega L_3} = \frac{1}{\omega L} - \omega C_L = \frac{1 - \omega^2 L C_L}{\omega L}$$

откуда

$$L_3 = L \left(\frac{1}{1 - \omega^2 / \omega_L^2} \right) \approx L \left(1 + \frac{\omega^2}{\omega_L^2} \right) \quad (2.41)$$

где $\omega_L = \frac{1}{\sqrt{L C_L}}$ - собственная резонансная частота катушки индуктивности.

Если рабочая частота много ниже собственной резонансной частоты ω_L , то приближенно можно считать $L_3 = L$.

В процессе работы на катушку действуют различные внешние факторы: температура, влага и другие, влияющие на ее индуктивность. Наиболее существенным является влияние температуры,

которое оценивают температурным коэффициентом $TKL = \frac{\Delta L}{L \Delta T}$.

Температурная нестабильность индуктивности обусловлена целым рядом факторов: при нагреве увеличивается длина и диаметр провода обмотки, увеличивается длина и диаметр каркаса, в результате чего изменяются шаг и диаметр витков; кроме того при изменении температуры изменяются диэлектрическая проницаемость материала каркаса, что ведет к изменению собственной емкости катушки.

Для повышения температурной стабильности применяют каркасы из материала с малым значением коэффициента линейного расширения. Этим требованиям в наибольшей степени удовлетворяет керамика. Повышению температурной стабильности катушек способствует прочное сцепление обмотки с каркасом. С этой целью обмотку выполняют методом вжигания серебра в керамический каркас. В этом случае изменение размеров токопроводящего слоя определяется только линейным расширением каркаса. Такие катушки индуктивности имеют $TKL \gg (5-100) \cdot 10^{-6}$ Стабильность многослойных катушек существенно хуже, так как в них невозможно избежать изменения линейных размеров провода обмотки. Многослойные катушки имеют $TKL \gg (50-100) \cdot 10^{-6}$

2.3.4. Потери в катушках индуктивности.

В катушках индуктивности помимо основного эффекта взаимодействия тока и магнитного поля наблюдаются паразитные эффекты, вследствие которых сопротивление катушки не является чисто реактивным и равным X_L . Наличие паразитных эффектов ведет к появлению потерь в катушке, оцениваемых сопротивлением потерь R_{Π} , которое определяет добротность катушки индуктивности

$$Q = \frac{\omega L}{R_{\Pi}} \quad (2.42)$$

Потери складываются из потерь в проводах, диэлектрике, сердечнике и экране.

Потери в проводах вызваны тремя причинами.

Во-первых, провода обмотки обладают омическим сопротивлением

$$r_0 = \rho \frac{l}{S} = \frac{4l}{\pi d^2} \rho \quad (2.43)$$

где l - длина провода обмотки, d - диаметр провода, ρ - удельное сопротивление.

Это сопротивление (Ом) можно выразить через число витков W и средний диаметр катушки D_{CP}

$$r_0 = \frac{7,3 D_{CP} W}{d^2} 10^{-6} \quad (2.44)$$

где $D_{CP} = \frac{D_0 + D}{2}$ - диаметр провода в см.

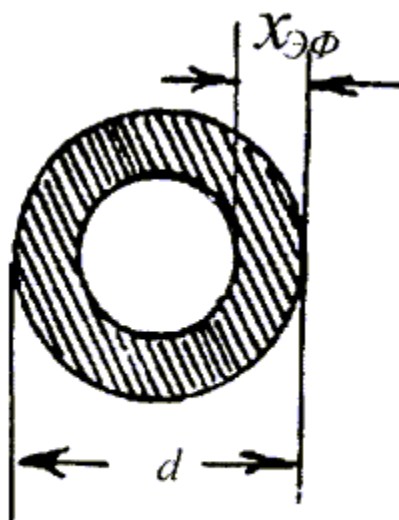


Рис.2.29

Во-вторых, сопротивление провода обмотки переменному току возрастает с

ростом частоты, что обусловлено поверхностным эффектом, суть которого состоит в том, что ток протекает не по всему сечению проводника, а по кольцевой части поперечного сечения (рис.2.29), ширина (мм) которой равна

$$x_{\text{эф}} = 0,5 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad (2.45)$$

где f - частота в МГц,

ρ - удельное сопротивление в мкОм · м.

Вследствие этого провод длиной l имеет сопротивление переменному току равное

$$r_n = \rho \frac{l}{S_{\text{эф}}} \quad (2.46)$$

где $S_{\text{эф}}$ - площадь кольца, которая равна

$$S_{\text{эф}} = \frac{\pi}{4} (d^2 - d_{\text{ВН}}^2) \quad (2.47)$$

где $d_{\text{ВН}} = \frac{d - x_{\text{эф}}}{2}$.

После преобразования получаем

$$r_n = \rho \frac{l}{\pi d x_{\text{эф}}} \quad (2.48)$$

В третьих, в проводах обмотки, свитой в спираль, проявляется эффект близости (рис.2.30), суть которого состоит в вытеснении тока под воздействием вихревых токов и магнитного поля к периферии провода, прилегающей к каркасу, в результате чего сечение, по которому протекает ток, принимает серповидный характер, что ведет к дополнительному возрастанию сопротивления провода.

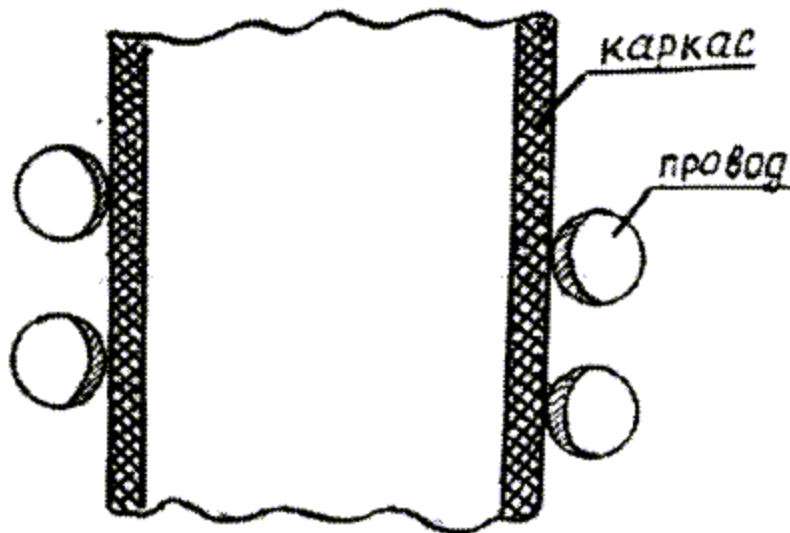


Рис.2.30

Сопротивление r_B , обусловленное эффектом близости, прямо пропорционально диаметру провода, а сопротивление r_{II} , обусловленное эффектом, обратно пропорционально диаметру провода (рис.2.31).

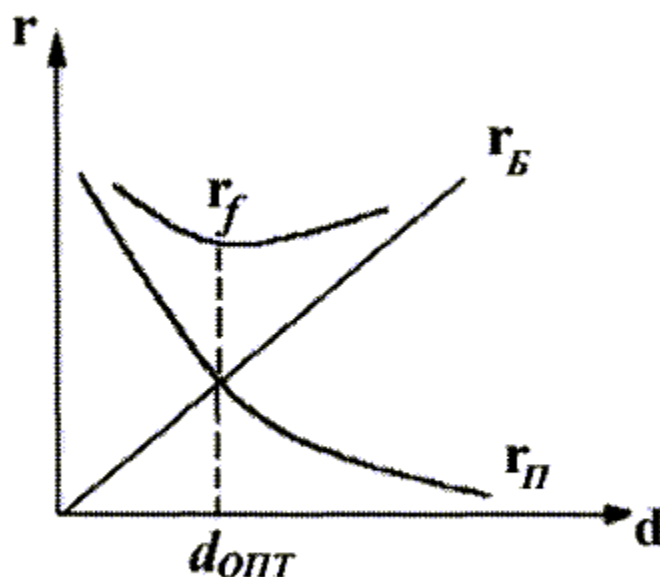


Рис.2.31

Существует оптимальный диаметр провода $d_{\text{опт}}$, при котором сопротивление провода току высокой частоты $r_f = r_B + r_{II}$ оказывается минимальным. Для однослойных катушек $d_{\text{опт}} = 0,2-0,6\text{мм}$, для многослойных $d_{\text{опт}} = 0,08-0,2\text{мм}$. Существенно уменьшить потери в проводах можно применяя провод "литцендрат", состоящий из большего числа жилок, скрученных в жгут. При небольшом диаметре тонких жилок ослабляется поверхностный эффект, а скручивание жилок в жгут ослабляет эффект близости.

Существует методика расчета сопротивления r_f , по которой предварительно рассчитывается вспомогательный коэффициент

$$Z = 0,1d\sqrt{f} \quad (2.49)$$

где f - частота в Гц,

d - диаметр провода в см.

Затем по таблице находятся коэффициенты $F(z)$ и $G(z)$.

Таблица 2.7

Z	F(z)	G(z)
0,5	1	0,001
0,6	1	0,002
0,7	1	0,004
0,8	1	0,006
0,9	1	0,01
1	1,01	0,015
1,5	1,03	0,07
2	1,08	0,17
2,5	1,18	0,3
3	1,3	0,4
4	1,7	0,6
5	2	0,8
7-5	2,9	1,2
10	3,8	1,6
20	7,3	3,4
25	9,1	4,3
50	18	8,2
100	36	18

После этого по графику (рис.2.32) определяется вспомогательный коэффициент K_3 , зависящий от геометрии катушки.

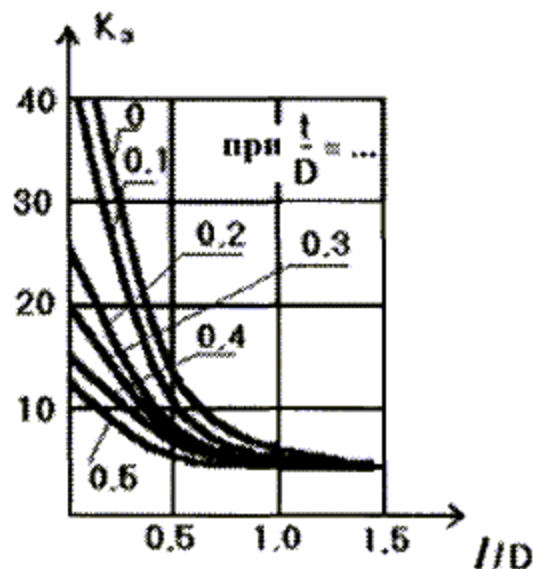


Рис.2.32

По (2.50) рассчитывается сопротивление провода катушки току высокой частоты

$$r_f = r_0 \left[F(z) + \left(\frac{K_3 W d}{2D} \right)^2 G(z) \right] \quad (2.50)$$

где D - наружный диаметр катушки в см,

d - диаметр провода в см.

Если однослойная катушка намотана проводом оптимального диаметра и параметр $z > 5$, то сопротивление r_f можно определить по формуле

$$r_f = \frac{0,525 D W \sqrt{f}}{d} \cdot 10^{-3} \quad (2.51)$$

где D - в см, d - в см, f - в МГц.

Потери в диэлектрике обусловлены тем, что между соседними витками катушки существует емкость, имеющая две составляющих-емкость через воздух $C_{ов}$ и емкость через диэлектрик $C_{од}$ (рис.2.33).

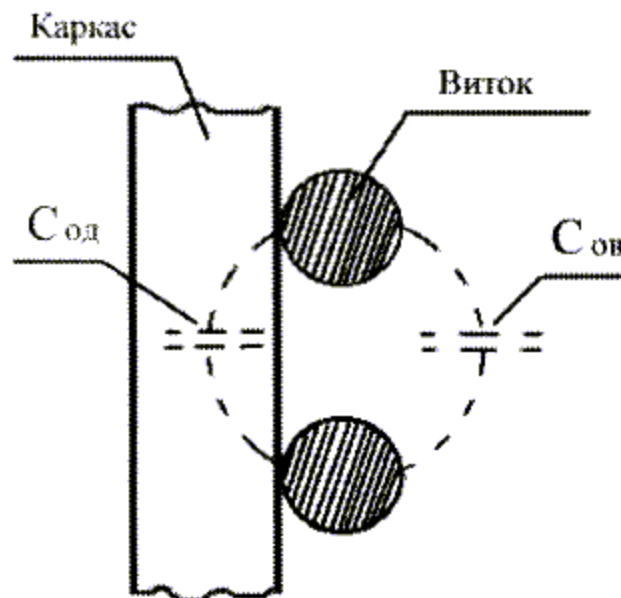


Рис.2.33

Потери в диэлектрике учитываются величиной $tg d$, зная которую можно рассчитать сопротивление потерь

$$r_D = 0,25 C_{од} tg d L^2 f^3 \cdot 10^{-3} \quad (2.52)$$

где $C_{од}$ - в пф, L - в мкГн, f - в МГц.

Потери в сердечнике складываются из потерь на вихревые токи d_v , потерь на гистерезис d_H и начальных потерь d_n и учитываются как тангенс угла потерь в сердечнике

$$tg d_c = d_v f + d_H H + d_n \quad (2.53)$$

В справочниках приводятся значения $tg d_c$ для различных типов сердечников. Сопротивление потерь определяется по формуле

$$r_c = tg d_c wL \quad (2.54)$$

Потери в экране обусловлены тем, что ток, протекающий по катушке, индуцирует ток в экране. Потери, вносимые экраном, определяются по формуле

$$r_э = 1,05 \eta \left(\frac{D}{D_э} \right)^3 W^2 \frac{D}{l_э} \sqrt{f} \cdot 10^{-3} \quad (2.55)$$

где $D_э$ - диаметр экрана в см,

$l_э$ - длина экрана в см,

f - частота в МГц.

Величина $h = f(l/D)$ определяется по графику (рис.2.27).

Таким образом суммарное сопротивление потерь в катушке индуктивности, определяющее ее добротность, равно

$$R_n = r_f + r_d + r_c + r_\varepsilon \quad (2.56)$$

Практически величина добротности лежит в пределах от 30 до 200. Повышение добротности достигается оптимальным выбором диаметра провода, увеличением размеров катушки индуктивности и применением сердечников с высокой магнитной проницаемостью и малыми потерями. С учетом потерь и паразитной емкости катушку индуктивности можно представить в виде эквивалент-

ной схемы (рис.2.34,а), где $R_n = r_f + r_d + r_c + r_\varepsilon$. эта схема может быть приведена к более удобному виду (рис.2.34,б), где L_ε -эквивалентная индуктивность, учитывающая собственную емкость. Величины L_ε и R_n , а следовательно, добротность $Q = \omega L/R_n$ зависят от температуры. Зависимость Q от температуры определяется температурным коэффициентом добротности $TKD = DQ/QDT$

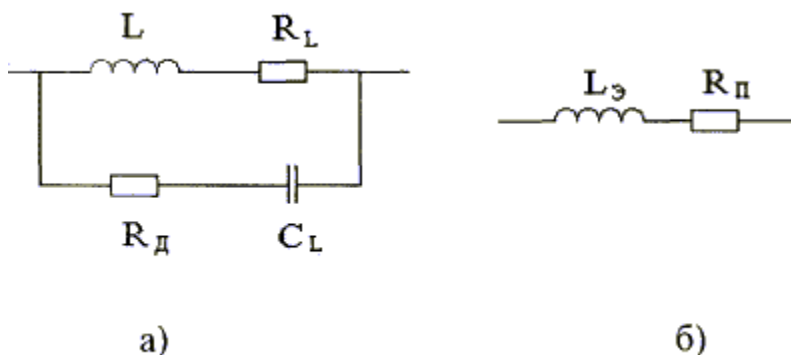


Рис.2.34

2.3.5.Разновидности катушек индуктивности.

Контурные катушки индуктивности. Эти катушки 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, как правило, с намоткой типа "универсаль". Для повышения добротности применяют многожильные провода типа "литцендрат". Для изменения индуктивности применяют цилиндрические сердечники из альсифера или карбонильного железа.

В диапазоне коротких и ультракоротких волн используются однослойные катушки с индуктивностью порядка единиц микрогенри и добротностью порядка 50 - 100. Число витков таких катушек не превышает одного-двух десятков, диаметр каркаса 10 - 20 мм. В качестве каркасов используют керамику, полиэтилен и полистирол. Для уменьшения собственной емкости применяют ребристые каркасы. Обмотка выполняется одножильным медным проводом диаметром около 1 мм. На УКВ применяют бескаркасные катушки из неизолированного провода.

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

К таким катушкам не предъявляются жесткие требования на добротность и точность, поэтому они выполняются из тонкого провода в виде двух обмоток небольших габаритов. Основными параметрами этих катушек являются

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

индуктивность и коэффициент связи

где L_1 и L_2 - индуктивность связанных катушек,

M - взаимная индуктивность между ними. Величина коэффициента связи зависит от расстояния между катушками, чем оно меньше, тем больше k .

Вариометры. Это такие катушки, в которых предусмотрена возможность изменения индуктивности 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

$$L = L_1 + L_2 \pm 2M \quad (2.57)$$

Такая система позволяет изменять индуктивность в 4 - 5 раз.

Дроссели. Это катушки индуктивности, обладающие высоким сопротивлением переменному току и малым сопротивлением постоянному. Обычно включаются в цепях питания усилительных устройств. Предназначены для защиты источников питания от попадания в них высокочастотных сигналов. На низких частотах они используются в фильтрах цепей питания и обычно имеют металлические сердечники.

Катушки индуктивности для ГИС. На частотах порядка 10 - 100 МГц находят применение тонкопленочные спиральные катушки. На площади в 1 кв.см, 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.

В последнее время наметилась тенденция замены катушек специальными схемами на транзисторах (гираторы) и электромеханическими, пьезоэлектрическими и акустоэлектронными фильтрами, основанными на принципе механических упругих колебаний и механического резонанса. Скорость распространения упругих колебаний в твердом теле примерно в 100 тысяч раз меньше скорости распространения электромагнитных волн, что позволяет создавать очень компактные механические резонаторы с распределенными параметрами, обладающие добротностью порядка 10^3 . Развитие микроэлектроники привело к появлению фильтров на приборах с зарядовой связью и фильтров на поверхностных акустических волнах. Кроме того, в ИМС широкое применение находят активные RC - фильтры, в которых используются операционные усилители с глубокой частотно-зависимой обратной связью.

[Назад](#)

[Содержание](#)

[Вперед](#)