

Министерство образования и науки Российской Федерации
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)
Кафедра конструирования узлов и деталей РЭА (КУДР)

Н.И.Кузбных

ИССЛЕДОВАНИЕ СГЛАЖИВАЮЩЕГО ДРОССЕЛЯ

*Методические указания по выполнению
лабораторной работы для студентов всех специальностей*

2012

СОДЕРЖАНИЕ

1	ВВЕДЕНИЕ.....	3
2	КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ	4
2.1	Общие сведения.....	4
2.2	Принцип функционирования сглаживающего дросселя.....	5
2.3	Индуктивность сглаживающего дросселя и зависимость ее от величины немагнитного зазора.....	6
2.2.1	Индуктивность сглаживающего дросселя.....	6
2.2.2	Зависимость индуктивности СД от величины немагнитного зазора.....	7
3	ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ.....	11
4	ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.....	12
5	КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	14
	СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	14
	ПРИЛОЖЕНИЕ А. Методика расчета оптимального немагнитного зазора $\delta_{опт}$ и индуктивности L сглаживающего дросселя.....	15

1 ВВЕДЕНИЕ

Дроссель – статическое электромагнитное устройство, используемое в электрических цепях переменного и пульсирующего тока в качестве индуктивного сопротивления. В данном случае под дросселем понимается низкочастотная катушка индуктивности с ферромагнитным сердечником.

По назначению и функциональному признаку различают: *дроссели переменного тока*, *дроссели насыщения* и *сглаживающие дроссели*. В РЭС наиболее широкое применение получили сглаживающие дроссели.

Сглаживающими дросселями (СД) называются *статические электромагнитные устройства, предназначенные для фильтрации пульсаций выпрямленного тока в источниках вторичного электропитания (ИВЭП) и в других цепях пульсирующего напряжения.*

Конструктивно сглаживающий дроссель, как и трансформатор питания, состоит из катушки, замкнутого магнитопровода и элементов стяжки и крепления. Особенностью СД является прохождение по его обмотке переменной и постоянной составляющих тока, в связи с чем оказывается принципиально необходим *немагнитный зазор* в магнитопроводе.

В данной лабораторной работе ставятся следующие цели:

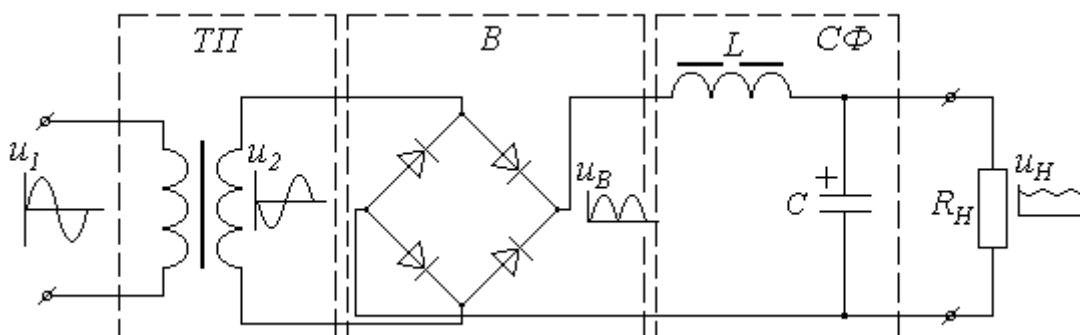
- 1) Изучить теоретические основы функционирования СД.
- 2) Познакомиться с конструктивными особенностями СД.
- 3) Научиться экспериментально измерять индуктивность СД.
- 4) Исследовать зависимости индуктивности L сглаживающего дросселя от величины немагнитного зазора δ , постоянной составляющей тока I_0 и переменной составляющей магнитной индукции B_m .
- 5) Научиться аналитически определять величину оптимального немагнитного зазора $\delta_{опт}$ и индуктивности дросселя L .

2 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1 Общие сведения

Сглаживающие дроссели наиболее широко используются для фильтрации переменной составляющей выпрямленного тока в ИВЭП РЭА. В качестве примера на рисунке 2.1 приведена электрическая схема простейшего ИВЭП, состоящего из однофазного мостового выпрямителя и индуктивно-емкостного сглаживающего фильтра.

Принцип функционирования элементов схемы иллюстрируется волновыми диаграммами. В частности, на вход сглаживающего фильтра, состоящего из сглаживающего дросселя L и конденсатора C , подается пульсирующее напряжение $u_B(t) = U_{B0} + \sum U_{Bmk} \sin(k\omega t + \varphi_{Bk})$, а на выходе получаем сглаженное напряжение $u_H(t) = U_{H0} + \sum U_{Hmk} \sin(k\omega t + \varphi_{Hk})$. К СД предъявляются требования максимальной фильтрации переменной составляющей тока (напряжения – $U_{Hmk} \ll U_{Bmk}$) при минимальном затухании постоянной составляющей ($U_{H0} \approx U_{B0}$). Следовательно, СД должен обладать *минимальным активным сопротивлением обмотки $r_{ДР}$ и максимально возможной индуктивностью L* .



ТП – трансформатор питания; В – выпрямитель; СФ – сглаживающий LC-фильтр

Рисунок 2.1 – Схема однофазного мостового выпрямителя с LC-фильтром

Основными электромагнитными параметрами СД являются: индуктивность L , номинальный ток (постоянная составляющая) $I_{0н}$, сопротивление обмотки постоянному току $r_{ДР}$, минимальная и максимальная допустимые амплитуды пульсаций напряжения (переменной составляющей) $U_{m \min}$ и $U_{m \max}$. При использовании СД для сглаживания высокочастотных пульсаций (например, в ИВЭП с преобразованием частоты) важным параметром будет также предельно допустимая частота пульсаций $f_{П.max}$. При этом необходимо учитывать также паразитные параметры СД: индуктивность рассеяния L_p и собственную емкость C_0 .

К основным характеристикам СД относятся зависимости индуктивности от величины постоянной составляющей тока $L(I_0)$ и от амплитуды переменной составляющей индукции $L(B_m)$.

Электромагнитная схема и схема замещения магнитной цепи СД приведены на рисунке 2.2.

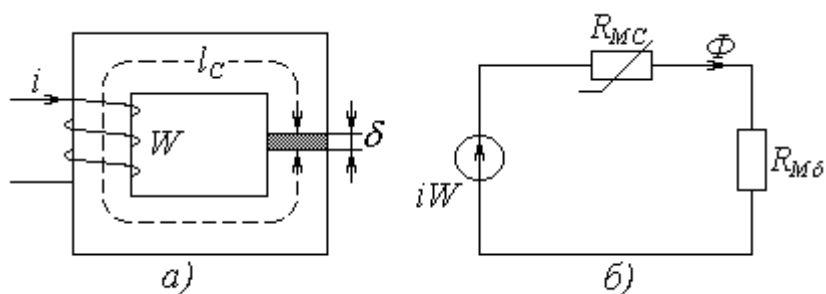


Рисунок 2.2 – Электромагнитная схема и магнитная схема замещения СД

2.2 Принцип функционирования сглаживающего дросселя

Особенность функционирования СД заключается в одновременном воздействии на магнитопровод постоянной и переменной составляющих намагничивания, так как по обмотке протекает пульсирующий ток i

$$i = I_0 + I_m \sin \omega t . \quad (2.1)$$

Поэтому СД работает на *частном цикле перемагничивания* АВ (рисунок 2.3), рабочая точка которого (H_0, B_0) определяется величиной постоянного тока $(H_0 = I_0 W)$, а эквивалентная магнитная проницаемость сердечника μ_c оказывается зависимой как от переменной (H_m) , так и от постоянной (H_0) составляющих напряженности

$$\mu_0 \cdot \mu_c = B_m / H_m \equiv \operatorname{tg} \alpha , \quad (2.2)$$

где α – угол наклона частного цикла перемагничивания, зависящий от положения рабочей точки на основной кривой намагничивания (ОКН).

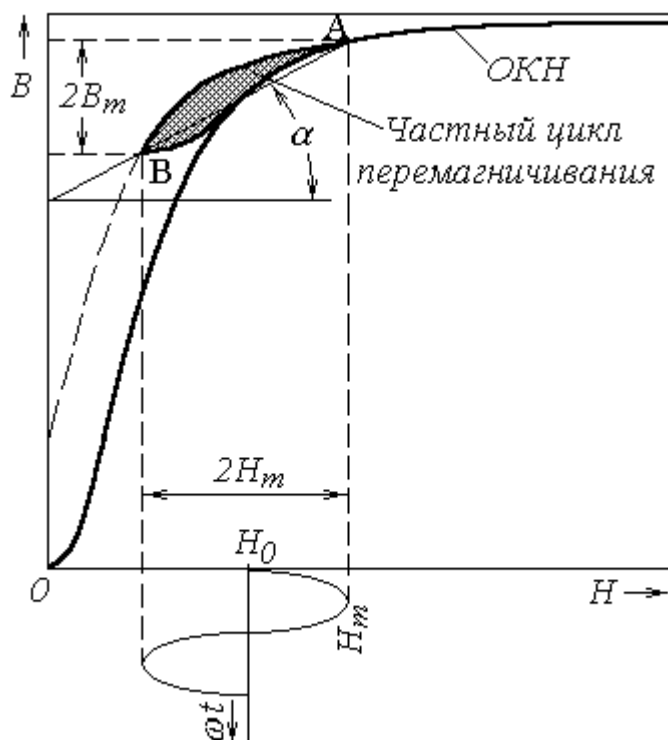


Рисунок 2.3 – Кривая перемагничивания сердечника СД

Обычно постоянная составляющая тока I_0 (напряженность магнитного поля H_0) существенно больше переменной составляющей I_m (H_m) (см. рисунок 2.3), что приводит к смещению рабочей точки в область насыщения и к значительному снижению магнитной проницаемости μ_C . Поэтому в сглаживающих дросселях необходим немагнитный зазор δ (рисунок 2.2). При введении зазора кривая намагничивания сердечника становится положе и область насыщения смещается вправо, что способствует увеличению магнитной проницаемости сердечника. Таким образом, принципиальным отличием СД от трансформаторов и дросселей переменного тока является необходимость немагнитного зазора. Если в трансформаторах питания, немагнитный зазор в магнитной цепи нежелателен, так как снижает технические характеристики ТП, то в СД введение немагнитного зазора способствует повышению его качества.

2.3 Индуктивность сглаживающего дросселя и зависимость ее от величины немагнитного зазора

2.2.1 Индуктивность сглаживающего дросселя

По определению индуктивность катушки L пропорциональна изменению потокосцепления Ψ по току i . Нетрудно показать, что L пропорциональна квадрату числа витков катушки W^2 и обратно пропорциональна магнитному сопротивлению магнитопровода R_M

$$L = \frac{d\Psi}{di} = \frac{d(\Phi \cdot W)}{di} = \frac{d(i \cdot W \cdot W)}{di \cdot R_M} = \frac{W^2}{R_M}. \quad (2.3)$$

Так как у СД магнитопровод неоднородный, то полное сопротивление магнитной цепи R_M будет состоять из двух составляющих: сопротивления сердечника R_{MC} и сопротивления немагнитного зазора $R_{M\delta}$ (см. рисунок 2.2,б). Выразив магнитные сопротивления через параметры сердечника и свойства материалов, получим

$$R_M = R_{MC} + R_{M\delta} = \frac{l_C}{\mu_0 \cdot \mu_C \cdot Q_C \cdot K_C} + \frac{\delta}{\mu_0 \cdot Q_\delta} = \frac{l_C}{\mu_0 Q_C K_C} \cdot \frac{1}{\mu_\varepsilon}, \quad (2.4)$$

где l_C – длина средней силовой линии (см. рисунок 2.2,а);

μ_C – относительная магнитная проницаемость сердечника на частном цикле перемагничивания ($\mu_C \sim \operatorname{tg} \alpha$, см. рисунок 2.3);

Q_C, K_C – сечение сердечника и коэффициент заполнения его магнитным материалом;

Q_δ – эффективное сечение магнитного потока в немагнитном зазоре;

μ_ε – эквивалентная магнитная проницаемость сердечника с немагнитным зазором.

Подставив (2.4) в (2.3), получим

$$L = \frac{W^2}{R_{MC} + R_{M\delta}} = \frac{\mu_0 \cdot W^2 \cdot Q_C \cdot K_C \cdot \mu_\varepsilon}{l_C}, \quad (2.5)$$

где

$$\mu_{\text{э}} = \frac{1}{1/\mu_c + \delta' \cdot K_c / K_{\Phi}} \quad (2.6)$$

Здесь $\delta' = \delta / l_c$ – относительный немагнитный зазор;

$K_{\Phi} = Q_{\delta} / Q_c$ – коэффициент фиктивного зазора, учитывающий увеличение эффективного сечения магнитного потока в немагнитном зазоре за счет выпучивания и рассеяния магнитного потока. K_{Φ} зависит от величины самого зазора δ' , а также от типа сердечника и его геометрических размеров.

2.2.2 Зависимость индуктивности СД от величины немагнитного зазора

Для исследования влияния немагнитного зазора на индуктивность СД воспользуемся выражениями (2.5) и (2.4). Из (2.5) следует, что индуктивность дросселя обратно пропорциональна сумме магнитных сопротивлений сердечника R_{MC} и зазора $R_{M\delta}$. Согласно (2.4) $R_{M\delta}$ пропорционально величине немагнитного зазора δ . R_{MC} в явной форме не зависит от δ , но от величины зазора зависит магнитная проницаемость сердечника μ_c . Действительно, увеличение δ приведет к увеличению $R_{M\delta}$ и, при неизменных ампервитках ($iW = \text{const}$), к уменьшению магнитного потока Φ (см. рисунок 2.2,б), а, следовательно, и к уменьшению напряженности H_0 в сердечнике, так как H пропорционально Φ . При уменьшении H_0 частный цикл перемагничивания (рисунок 2.3) смещается влево на более крутой участок ОКН, что приведет к увеличению его наклона (угла α), а, следовательно, и к увеличению магнитной проницаемости сердечника μ_c . Так как R_{MC} обратно пропорционально μ_c , то с увеличением зазора δ магнитное сопротивление сердечника R_{MC} будет уменьшаться.

Качественные зависимости R_{MC} , $R_{M\delta}$ и полного сопротивления магнитной цепи дросселя R_M от δ приведены на рисунке 2.4. Для наглядности на рисунке

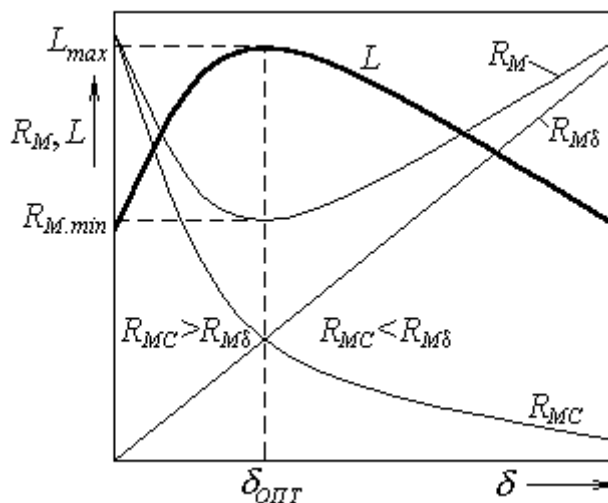


Рисунок 2.4 – Зависимости магнитных сопротивлений и индуктивности от немагнитного зазора

приведена также качественная зависимость индуктивности дросселя от зазора $L(\delta)$. Из графиков видно, что зависимость $R_M(\delta)$ имеет явно выраженный минимум, соответствующий максимальной индуктивности СД.

Таким образом, для сглаживающего дросселя **принципиально необходим немагнитный зазор**. Причем существует такой **оптимальный немагнитный зазор** $\delta_{\text{ОПТ}}$, при котором индуктивность СД достигает максимальной величины L_{max} . Очевидно, что при $\delta = \delta_{\text{ОПТ}}$ $R_{M\delta} = R_{MC}$. Следует отметить также, что при $\delta < \delta_{\text{ОПТ}}$ преобладает сопротивление сердечника R_{MC} , а при $\delta > \delta_{\text{ОПТ}}$ преобладает сопротивление немагнитного зазора $R_{M\delta}$.

2.4 Зависимость индуктивности СД от величины постоянной составляющей тока I_0 и переменной составляющей индукции B_m

Для исследования влияния постоянной составляющей тока I_0 на индуктивность сглаживающего дросселя L проведем анализ изменения наклона частного цикла перемагничивания от величины подмагничивания H_0 при неизменных прочих условиях – $\delta = \text{const}$ и $B_m = \text{const}$.

На рисунке 2.5,а приведена основная кривая намагничивания (ОКН) магнитопровода СД и частные циклы перемагничивания (ЧЦП) 1-3 при различных уровнях подмагничивания – $H_{01} < H_{02} < H_{03}$. Из рисунка видно, что наклон частного цикла перемагничивания определяется крутизной характеристики намагничивания магнитопровода на данном участке. Чем больше крутизна характеристики, тем больше наклон частного цикла. Но выше было показано, что магнитная проницаемость магнитопровода μ_C пропорциональна углу наклона частного цикла α – $\mu_C \equiv \text{tg}\alpha$, а индуктивность L пропорциональна μ_C .

На основании проведенного анализа, учитывая, что $H_0 \equiv I_0$, на рисунке 2.5,б построена качественная зависимость индуктивности СД от тока подмагничивания сердечника. Спад индуктивности СД при малых токах обусловлен малой крутизной характеристики намагничивания магнитопровода на начальном участке (ЧЦП 1). Максимальные значения индуктивности соответствуют наибольшей крутизне характеристики намагничивания (ЧЦП 2). При больших токах подмагничивания сердечник входит в насыщение, угол наклона ЧЦП стремится к нулю (ЧЦП 3), а $\mu_C \rightarrow 1$. При этом индуктивность снижается до минимума, стремясь к индуктивности катушки СД без сердечника – $L \rightarrow L_K$.

Из теории известно, что оптимальное использование магнитных свойств сердечника достигается при максимальном значении энергоемкости дросселя – $W_{\text{СД}} = L \cdot I_0^2 / 2$. Анализ показывает, что для увеличения индуктивности L дросселя следует выбирать рабочую точку на крутом участке ОКН. Но при этом существенно снижается ток I_0 . Выбор же большого тока подмагничивания I_0 приводит к значительному снижению индуктивности L . И в том, и в другом случае энергоемкость дросселя $W_{\text{СД}}$ будет не максимальной, что ведет к увеличению массогабаритных показателей СД. Очевидно, что при оптимальном значении тока подмагничивания I_0 (номинального тока I_{0H}) рабочая точка должна

находиться на "колоне перегиба" кривой намагничивания сердечника, то есть на участке перехода ОКН с наиболее крутого участка в область насыщения.

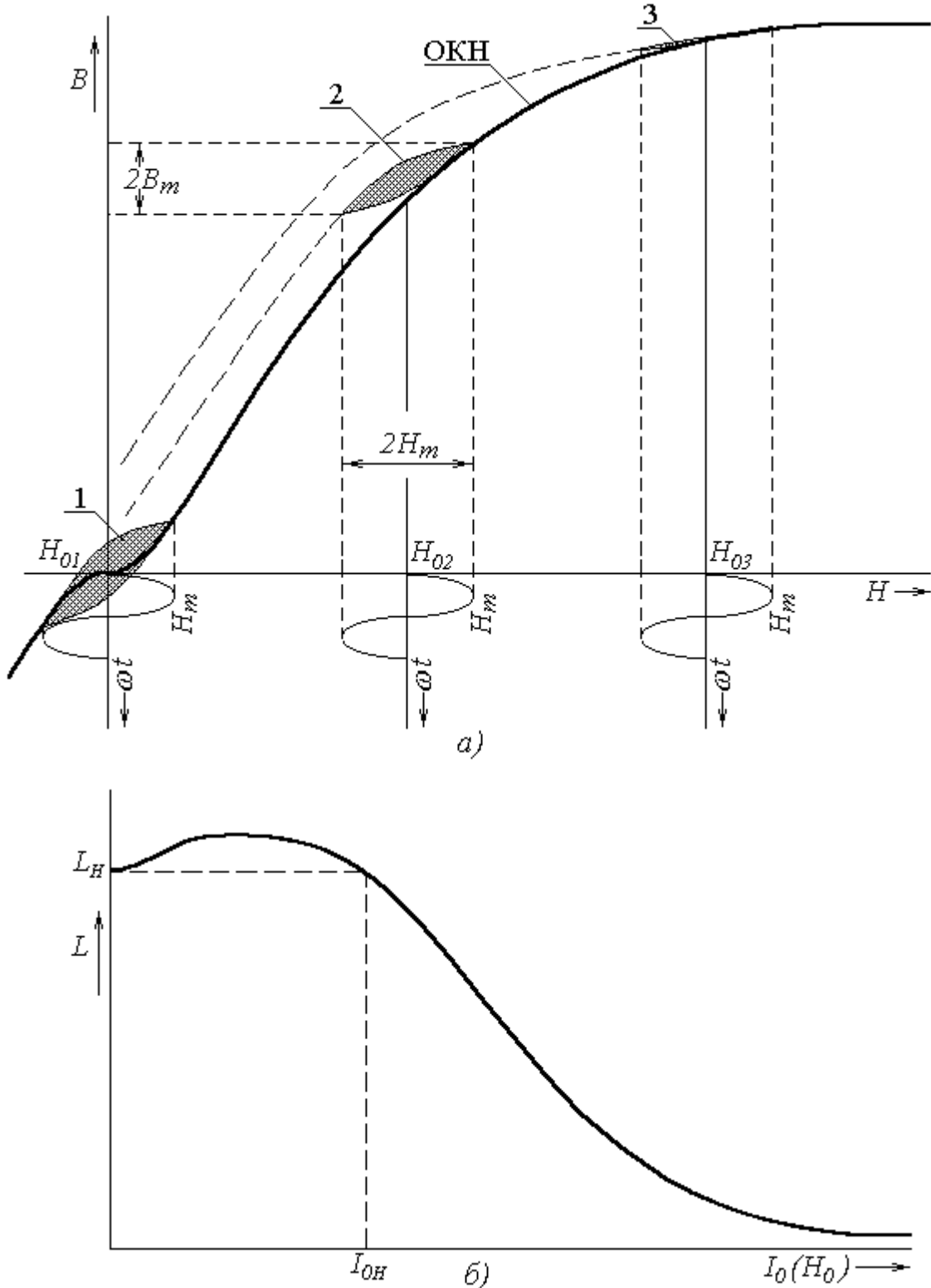


Рисунок 2.5 – Зависимость индуктивности СД от постоянной составляющей тока

С другой стороны, каждому значению постоянной составляющей тока I_0 будет соответствовать свой оптимальный немагнитный зазор. Очевидно, что большему току будет соответствовать больший зазор $\delta_{опт}$. Поэтому использо-

вание нормализованных дросселей при реализации сглаживающих фильтров приводит, как правило, к увеличению массогабаритных показателей.

Влияние величины переменной составляющей индукции B_m на величину индуктивности СД проиллюстрировано на рисунке 2.6. Физическая сущность процесса заключается в том, что при изменении амплитуды индукции B_m изменяется наклон частного цикла перемагничивания. А следовательно, изменяются магнитная проницаемость μ_c и индуктивность L , что наглядно продемонстрировано на рисунке 2.6,а. Причем уменьшение индукции B_m приводит к уменьшению наклона частного цикла перемагничивания ($\alpha_1 > \alpha_2$) и, соответственно, к уменьшению индуктивности СД. Характер зависимости индуктивности дросселя L от B_m приведен на рисунке 2.6,б.

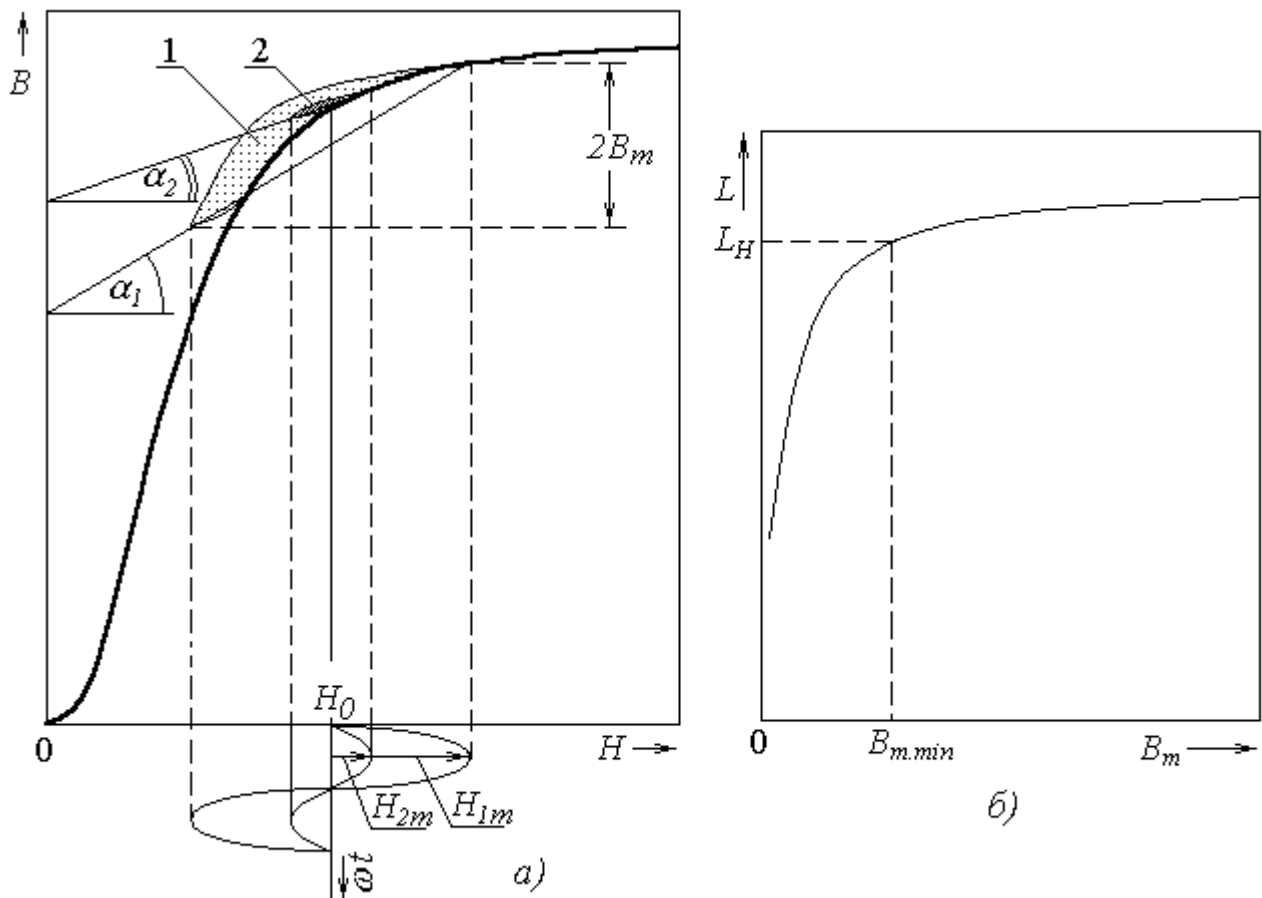


Рисунок 2.6 – Зависимость индуктивности СД от переменной составляющей индукции

Указанное свойство СД необходимо учитывать при выборе режима работы его по переменной составляющей напряжения U_m . Поэтому в технических характеристиках СД обычно указывается минимальная допустимая величина амплитуды переменной составляющей напряжения $U_{m.min}$, которая обеспечивает в номинальном режиме работы величину индуктивности $L \geq L_H$. Для дросселей, реализованных на сердечниках из электротехнических сталей это напряжение соответствует переменной составляющей индукции $B_{m.min} \approx 0,05 \text{ Тл}$.

3 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка, принципиальная схема которой приведена на рисунке 3.1, включает в себя: лабораторный макет, источник постоянного напряжения $ИП$, генератор синусоидального напряжения $Г$, амперметр постоянного тока A , два вольтметра переменного напряжения $V1$, $V2$ и исследуемый сглаживающий дроссель $L3$.

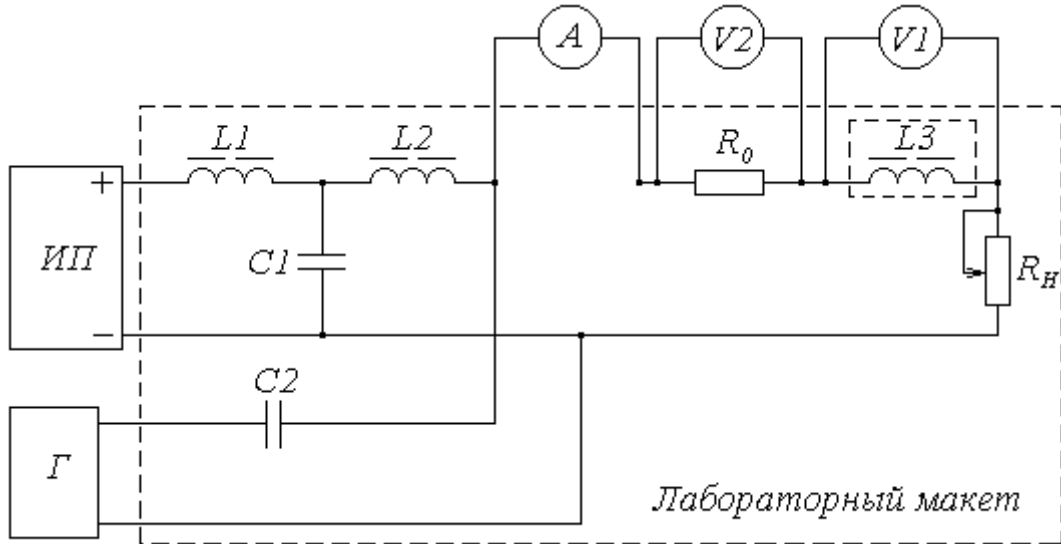


Рисунок 3.1 – Схема лабораторной установки для исследования СД

Лабораторный макет выполнен в виде автономного блока и состоит из сглаживающего фильтра $L1-C1$, балластного дросселя $L2$, разделительного конденсатора $C2$, измерительного сопротивления R_0 и сопротивления нагрузки R_H .

Исследуемый сглаживающий дроссель $L3$, выполнен на броневом ленточном сердечнике типа ШЛ. Технические характеристики исследуемого дросселя (ИД) приведены на этикетке, помещенной на лицевой панели лабораторного макета.

Ток подмагничивания исследуемого дросселя I_0 устанавливается путем регулирования напряжения источника питания $ИП$ и нагрузочного реостата R_H . Величина тока контролируется с помощью амперметра постоянного тока A . Так как напряжение источника питания содержит большие пульсации, то для их сглаживания используется сглаживающий LC -фильтр ($L1-C1$).

Переменная составляющая напряжения для перемагничивания сердечника СД подается с выхода звукового генератора $Г$.

Развязка цепей переменного и постоянного тока осуществляется балластным дросселем $L2$ и разделительным конденсатором $C2$.

Переменная составляющая напряжения на исследуемом дросселе измеряется вольтметром $V1$, а переменная составляющая тока измеряется косвенным методом с помощью вольтметра $V2$. Так как напряжение на измерительном резисторе R_0 пропорционально току, то, зная сопротивление $R_0 = 10 \text{ Ом}$ и напряжение $V2$, можно легко определить переменную составляющую тока.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1 Изучить теоретические основы функционирования СД и физическую сущность влияния величины немагнитного зазора δ , постоянной составляющей тока I_0 (тока подмагничивания) и переменной составляющей индукции B_m на индуктивность дросселя L (см. раздел 2 и [1, раздел 9]).

4.2 Ознакомиться с приборами лабораторной установки, с устройством лабораторного макета и с конструкцией и техническими характеристиками исследуемого дросселя (раздел 3).

4.3 Получив у преподавателя разрешение на выполнение работы, включить приборы для прогрева.

4.4 Подготовить таблицы для внесения результатов исследований и, получив у преподавателя задание на проведение исследований, рассчитать величину напряжения переменной составляющей U_1 , соответствующей индукции $B_m = 0,05 \text{ Тл}$ по формуле (4.1)

$$U_1 = 4,44 \cdot f_{\text{П}} \cdot W \cdot B_m \cdot Q_C \cdot K_C, \quad (4.1)$$

где $f_{\text{П}}$ – частота пульсаций напряжения на дросселе (задается преподавателем);

W – число витков обмотки дросселя;

Q_C – сечение керна сердечника;

K_C – коэффициент заполнения сечения сердечника магнитным материалом.

Значения W , Q_C и K_C – параметры исследуемого дросселя (приведены на лицевой панели лабораторного макета).

4.5 С помощью источника постоянного напряжения $ИП$ и реостата нагрузки R_H установить необходимые значения постоянного тока ($I_0 = I_{0H}$ и $I_0 = 0,5 \cdot I_{0H}$). Установить на генераторе Γ заданную частоту пульсаций $f_{\text{П}}$.

4.6 Изменяя толщину немагнитного зазора с помощью прокладок и удерживая постоянной величину переменной составляющей напряжения U_1 ($B_m = 0,05 \text{ Тл}$), снять зависимости $U_2(\delta)$ при $I_0 = I_{0H}$ и $I_0 = 0,5 \cdot I_{0H}$. Результаты измерений занести в таблицу 4.1 и **обязательно показать преподавателю**. Толщина прокладок задается преподавателем.

Таблица 4.1 – Результаты исследований изменения индуктивности СД L от величины зазора δ при $U_1 = \dots \text{ В}$ и различных токах подмагничивания I_0

$\delta, \text{ мм}$								Примечания
$U_2, \text{ В}$								$I_0 = 0,5 \cdot I_{0H} =$
$L, \text{ Гн}$								
$U_2, \text{ В}$								$I_0 = I_{0H} =$
$L, \text{ Гн}$								

4.7 Рассчитать величину индуктивности СД по формуле (4.2) и внести результаты в таблицу 4.1.

$$L = \frac{U_1 \cdot R_0}{2\pi \cdot f_{\Pi} \cdot U_2}, \quad (4.2)$$

где $R_0 = 10 \text{ Ом}$ – сопротивление шунта.

4.8 По результатам исследований построить зависимости $L(\delta)$ при $I_0 = I_{0H}$ и $I_0 = 0,5 \cdot I_{0H}$ в одних осях координат и определить величины оптимальных зазоров $\delta_{\text{ОПТ}}$ и L_{max} .

4.9 Установить оптимальный зазор $\delta = \delta_{\text{ОПТ}}$, соответствующий $I_0 = I_{0H}$ и, варьируя сопротивлением нагрузки R_H (см. рисунок 3.1), снять зависимость $U_2(I_0)$ при $B_m = 0,05 \text{ Тл}$. Результаты внести в таблицу 4.2. Рассчитать величину индуктивности СД по формуле (4.2) и внести результаты в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты исследований изменения индуктивности СД от величины тока подмагничивания I_0 при $U_1 = \dots \text{ В}$ и $\delta_{\text{ОПТ}} = \dots \text{ мм}$

$I_0, \text{ А}$									
$U_2, \text{ В}$									
$L, \text{ Гн}$									

4.10 По результатам исследований построить зависимость $L(I_0)$

4.11 Установить $I_0 = I_{0H}$ и, изменяя напряжение U_1 , снять зависимость $U_2(U_1)$. Результаты внести в таблицу 4.3. Рассчитать значения индукции B_m по формуле (4.1) и величину индуктивности L по формуле (4.2) и внести результаты расчета в таблицу 4.3. Значения напряжений U_1 задаются преподавателем.

Таблица 4.3 – Результаты исследований изменения индуктивности СД от переменной составляющей индукции B_m при $I_0 = I_{0H}$ и $\delta = \delta_{\text{ОПТ}}$

$U_1, \text{ В}$									
$x = \lg U_1$									
$B_m, \text{ Тл}$									
$U_2, \text{ мВ}$									
$L, \text{ Гн}$									

4.11 Построить зависимость индуктивности от переменной составляющей индукции $L(B_m)$. Рекомендуется ось абсцисс проградуировать в логарифмическом масштабе, для чего предварительно рассчитать значения $x = \lg U_1$ и внести их в таблицу 4.3. Ось абсцисс проградуировать сверху в значениях напряжения U_1 ($U_1 = 0,1; 1; 10; 100 \text{ В}$. Соответственно $x = -1; 0; 1; 2$), а значения B_m , соответствующие величинам U_1 , указать на той же оси снизу.

4.12 По приведенной в приложении А методике рассчитать оптимальный немагнитный зазор $\delta_{\text{ОПТ}}$, и индуктивность СД L_{max} при $I_0 = I_{0H}$. Результаты рас-

чета сравнить с экспериментальными данными.

4.13 Провести подробный анализ результатов исследований и объяснить физический смысл полученных зависимостей.

5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1 Что называется сглаживающим дросселем и каково его назначение?
- 5.2 Какими параметрами и характеристиками оцениваются свойства СД?
- 5.3 Приведите схему замещения магнитной цепи СД.
- 5.4 Какова основная особенность функционирования СД?
- 5.5 Что называется основной кривой намагничивания (ОКН)?
- 5.6 Что называется частным циклом перемагничивания (ЧЦП) ферромагнитного материала?
- 5.7 Как определяется магнитная проницаемость по ОКН μ и на частном цикле перемагничивания μ_c ? Как они между собою соотносятся?
- 5.8 Что понимается под эквивалентной магнитной проницаемостью сердечника СД μ_Σ ? При каких условиях μ_Σ принимает максимальное значение?
- 5.9 Для чего вводится в сердечник СД немагнитный зазор?
- 5.10 Как изменяется индуктивность СД от величины зазора при $I_0 = const$ и $B_m = const$?
- 5.11 Что такое оптимальный немагнитный зазор? Почему и как изменяется оптимальный зазор от величины тока подмагничивания?
- 5.12 Как зависит индуктивность СД от тока подмагничивания I_0 при прочих равных условиях?
- 5.13 Чем обусловлен резкий спад индуктивности СД при малых значениях переменной составляющей индукции B_m ?
- 5.14 Для какой цели в лабораторном макете (рисунок 3.1) установлены дроссель L_2 и конденсатор C_2 ?
- 5.15 Покажите на рисунке 3.1 цепь переменной и постоянной составляющей тока, протекающего через исследуемый дроссель L_3 .

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кузбных Н.И. Перспективная элементная база радиоэлектронных средств. Ч.2. Функциональные устройства РЭС: Учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2007. – 205 с. (Разделы 5 и 9)
- 2 Гольдштейн Е.И., Майер А.К. Индуктивно-емкостные сглаживающие фильтры. - Томск: Изд-во ТГУ, 1982.- 222 с. (С. 9-50, 87-107)
- 3 Белопольский И.И. и др. Расчет трансформаторов и дросселей малой мощности. - М.: Энергия, 1973.- 400 с. (С. 40,45-49, 346-358)
- 4 Волгов В.А. Детали и узлы радиоэлектронной аппаратуры. - М.: Энергия, 1977.- 656 с. (С. 504-564)
- 5 Фролов А.Д. Радиодетали и узлы.- М.: Высшая шк., 1974.- С.357-360.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНОГО НЕМАГНИТНОГО ЗАЗОРА $\delta_{\text{ОПТ}}$ И ИНДУКТИВНОСТИ L СГЛАЖИВАЮЩЕГО ДРОССЕЛЯ

1) Рассчитываются удельные ампервитки $F_{\text{УД}}$ по формуле (А.1)

$$F_{\text{УД}} = I_{0\text{Н}} \cdot W / l_{\text{С}}, \quad (\text{А.1})$$

где $I_{0\text{Н}}$ – номинальный ток нагрузки;

W – число витков обмотки;

$l_{\text{С}}$ – средняя силовая линия.

Все параметры приведены в технической характеристике исследуемого СД.

2) Определяется соотношение $\delta'_{\text{П}} / K_{\Phi}$ по формуле (А.2)

$$\delta'_{\text{П}} / K_{\Phi} = K_{\delta} \cdot F_{\text{УД}}, \quad (\text{А.2})$$

где $\delta'_{\text{П}} = \delta_{\text{П}} / l_{\text{С}}$ – относительная толщина немагнитной прокладки;

K_{Φ} – коэффициент фиктивного немагнитного зазора;

K_{δ} – коэффициент пропорциональности между немагнитным зазором и ампервитками. Для холоднокатаных сталей $K_{\delta} \approx 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ А/м}$.

3) По графикам (рисунок А.1) для соответствующих значений $x = b/a$ и соотношения $\delta'_{\text{П}} / K_{\Phi}$ находится оптимальная величина немагнитной прокладки $\delta'_{\text{П.ОПТ}}$.

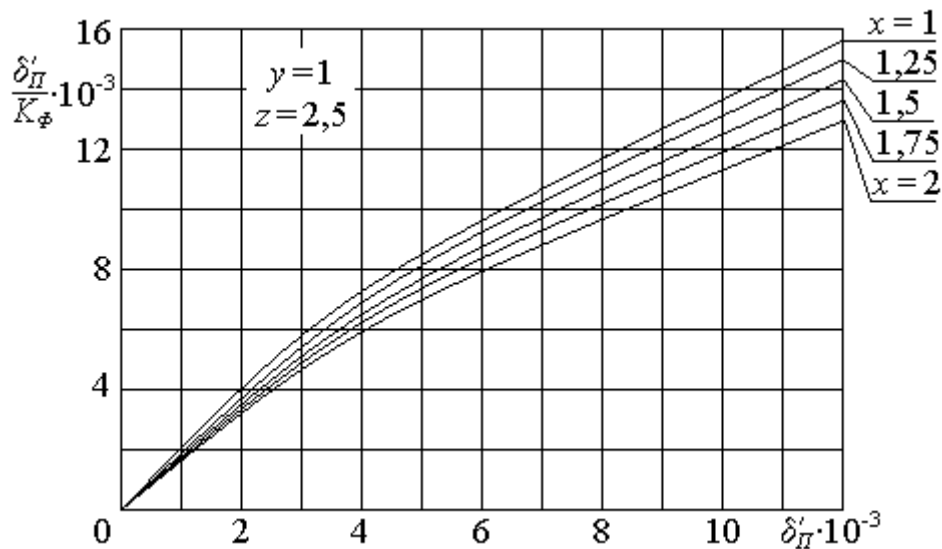


Рисунок А.1 – Зависимости для определения оптимальной немагнитной прокладки с учетом выпучивания и рассеяния для броневых СД

4) Определяется абсолютная величина оптимального зазора

$$\delta_{\text{ОПТ}} = 2 \cdot \delta'_{\text{П.ОПТ}} \cdot l_{\text{С}}. \quad (\text{А.3})$$

5) Рассчитывается вспомогательный коэффициент δ''

$$\delta'' = \left(\frac{\delta'_{\Pi}}{K_{\Phi}} \right) \cdot K_C, \quad (\text{A.4})$$

где K_C – коэффициент заполнения сердечника сталью.

6) По графикам (рисунок А.2) при соответствующих значениях $F_{уд}$ и δ'' находится постоянная составляющая индукции B_0 .

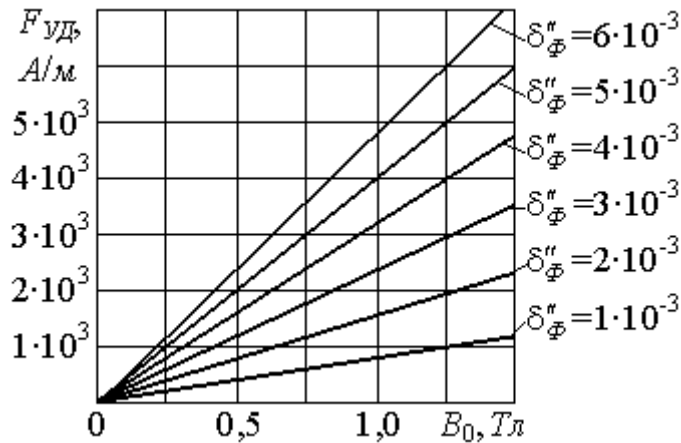


Рисунок А.2 – Зависимость удельных ампервитков от постоянной составляющей индукции

7) По графикам (рисунок А.3) находят магнитную проницаемость материала сердечника при соответствующих значениях B_0 и B_m .

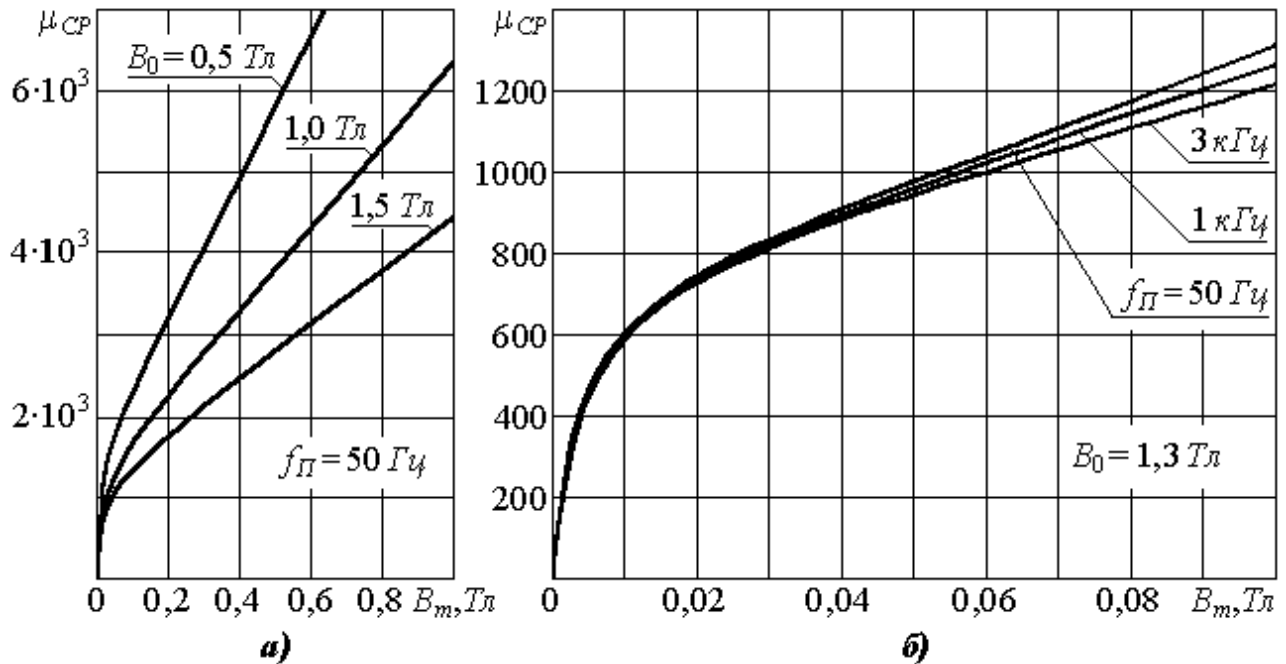


Рисунок А.3 – Зависимости средней проницаемости $\mu_{ср}$ от переменной составляющей индукции B_m

8) Рассчитывается величина эквивалентной магнитной проницаемости сердечника $\mu_{\text{Э}}$

$$\mu_{\text{Э}} = \frac{1}{1/\mu_{\text{С}} + \delta''}. \quad (\text{A.5})$$

9) Рассчитывается индуктивность дросселя

$$L = \frac{\mu_0 \cdot W^2 \cdot Q_{\text{С}} \cdot K_{\text{С}}}{l_{\text{С}}} \cdot \mu_{\text{Э}}, \quad (\text{A.6})$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ – магнитная проницаемость вакуума;
 $Q_{\text{С}}$ – сечение сердечника.

10) Провести сравнение полученного значения индуктивности L со значением L_{max} , полученным в пункте 4.8 экспериментально при $I_0 = I_{0\text{H}}$.