

РАБОТА 22

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМНОЙ ИНДУКТИВНОСТИ КОЛЬЦЕВЫХ КАТУШЕК

Цель работы. Исследование зависимости взаимной индуктивности одинаковых соосных катушек кольцевой формы от расстояния между ними.

Пояснения к работе

Всякий проводник с током создает вокруг себя магнитное поле, интенсивность которого оценивается в каждой точке пространства вектором магнитной индукции \vec{B} .

Магнитный поток сквозь некоторую поверхность S определяется по формуле $\Phi = \oint_S \vec{B} d\vec{s}$. Если поток пронизывает катушку с числом витков w , то

вводится понятие потокосцепления: $\Psi = w\Phi$.

В системе двух катушек часть Φ_{21} магнитного потока Φ_{11} , созданного током i_1 , обтекающим w_1 витков одной из катушек, может сцепляться с витками (их число w_2) другой катушки. Если свойства среды не зависят от интенсивности магнитного поля, то потокосцепление взаимной индукции $\Psi_{21} = w_2\Phi_{21}$ будет пропорционально току i_1 . Коэффициент пропорциональности $M = \frac{\Psi_{21}}{i_1}$ называется взаимной индуктивностью. Его

величина зависит от геометрических размеров катушек, расстояния между ними, количества витков и магнитной проницаемости среды.

Формула взаимной индуктивности двух круговых контуров, лежащих в параллельных плоскостях так, что их центры и оси находятся на одной прямой, перпендикулярной этим плоскостям (среда – воздух) следующая:

$$M = \mu_0 \sqrt{R_1 R_2} f(k). \quad (22.1)$$

Здесь

$$f(k) = \left(\frac{2}{k} - k \right) \cdot K - 2 \frac{E}{k}, \quad (22.2)$$

$$k^2 = \frac{4R_1 R_2}{x^2 + (R_1 + R_2)^2}, \quad (22.3)$$

где R_1 и R_2 – радиусы контуров;

x – расстояние между плоскостями контуров;

$$K = \int_0^{\pi/2} \frac{d\beta}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \beta}}, \quad E = \int_0^{\pi/2} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \beta} \cdot d\beta$$

– полные эллиптические интегралы первого и второго рода, которые нетрудно вычислить (например, в системе *Mathcad*).

Формулу (22.1) нетрудно распространить и на систему двух катушек, предполагая, что линейные размеры поперечного сечения катушек малы по сравнению с их радиусами и расстоянием между ними:

$$M = M_p = \mu_0 w_1 w_2 \sqrt{R_1 R_2} f(k). \quad (22.4)$$

Разумеется, в этом случае значения R_1 , R_2 и x усредняются.

Для определения $f(k)$ можно воспользоваться и кривыми, построенными на рис. 22.1.

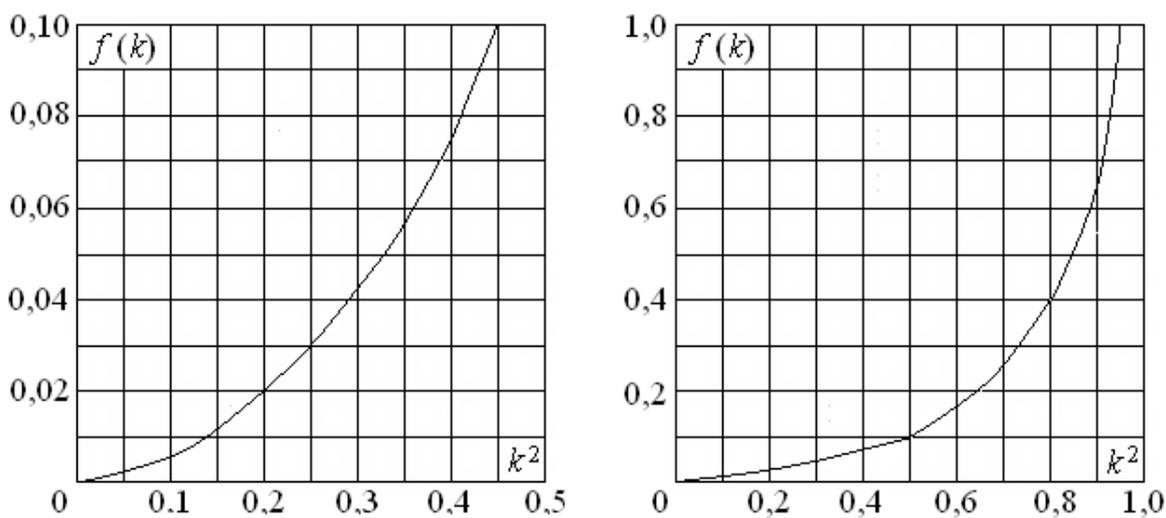


Рис. 22.1

Экспериментально взаимную индуктивность катушек можно определить следующим способом. Следует подать на зажимы одной из катушек синусоидальное напряжение с частотой f , измерить действующее значение тока в ней I_1 и действующее значение напряжения U_2 на зажимах второй катушки. После чего взаимную индуктивность легко найти из соотношения

$$M = M_{\text{Э}} = \frac{U_2}{\omega I_1}, \quad (22.5)$$

где $\omega = 2\pi f$ – круговая частота синусоидального тока.

Подготовка к работе

Проработав теоретический материал, ответить на следующие вопросы.

1. Сформулировать закон электромагнитной индукции.
2. Что такое напряжения само- и взаимоиндукции?
3. Что такое взаимная индуктивность и как ее определить экспериментально?
4. От чего зависит взаимная индуктивность кольцевых соосных катушек?
5. Записать выражение k^2 для катушек с одинаковыми радиусами.

Схема электрической цепи

В работе используется электрическая цепь, схема которой приведена на рис. 22.2. Цепь питается от источника синусоидального напряжения с регулируемой частотой. Значение частоты f и примерное действующее значение тока I_1 в цепи источника, которые следует поддерживать во время работы, приведены в табл. 22.1 (вариант указывает преподаватель).

Таблица 22.1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
f	кГц	2	2,2	2,1	2,3	2,4	2,6	2,5	2,7	2,8	3,0
I_1	мА	195	195	190	190	180	180	170	170	160	160

В качестве индуктивно связанных катушек используется мини-блок «Кольцевые катушки», обмотки которых одинаковы: их радиусы $R_1 = R_2 = R = 7 \text{ мм} = 0,007 \text{ м}$, а число витков $w_1 = w_2 = w = 250$.

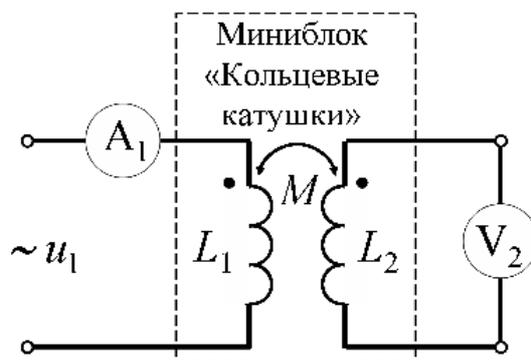


Рис. 22.2

Для измерения действующих значений тока в первой катушке, подключенной к источнику, и напряжения на зажимах второй катушки используются приборы с пределами измерения 200 мА и 2 В. Отсчет расстояния x между катушками следует проводить по нижней кромке подвижной катушки.

Программа работы

1. Установить на наборной панели блок «Кольцевые катушки» и собрать электрическую цепь, схема которой изображена на рис. 22.2.

2. Установить на генераторе напряжений специальной формы синусоидальное напряжение с частотой f , которая указана в табл. 22.1. Подсчитать угловую частоту ω . С помощью регулятора амплитуды напряжения задать действующее значение тока I_1 . Значения всех этих величин, а также радиусы катушек R_1 и R_2 внести в табл. 22.2.

Таблица 22.2

$f =$	Гц	$\omega =$	рад/с	$I_1 =$	мА	$R_1 =$	мм	$R_2 =$	мм
-------	----	------------	-------	---------	----	---------	----	---------	----

3. Изменяя расстояние между катушками x от минимально возможного 5 мм до 25 мм с шагом 5 мм, измерить ток I_1 и напряжение U_2 на зажимах второй катушки. По формуле (22.5) подсчитать взаимную индуктивность $M_{\text{Э}}$. Результаты записать в табл. 22.3.

Таблица 22.3

Эксперимент				Расчет		
x , мм	I_1 , мА	U_2 , В	$M_{\text{Э}}$, мГн	k^2	$f(k)$	$M_{\text{Р}}$, мГн
5						
10						
15						
20						
25						

4. Для тех же значений x вычислить взаимную индуктивность $M_{\text{Р}}$ по формулам (22.3), (22.4) и графикам рис. 22.1. Результаты расчета также внести в табл. 22.3.

5. По данным табл. 22.3 построить в общих осях графики зависимости $M_{\text{Э}}(x)$ и $M_{\text{Р}}(x)$, полученные в результате эксперимента и расчета.

6. Сделать общие выводы по работе.