

Лабораторная работа

№ 9

Определение
коэффициента взаимной
индукции двух катушек
и магнитной
проницаемости
материала сердечника

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВЗАИМНОЙ ИНДУКЦИИ ДВУХ КАТУШЕК И МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ МАТЕРИАЛА СЕРДЕЧНИКА

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ И МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЙ

Электрическая схема установки представлена на рис. 9.1.

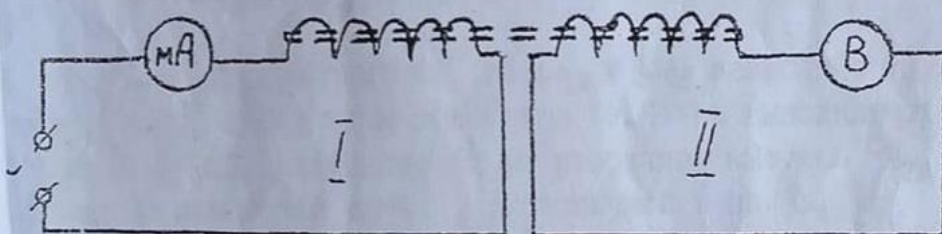


Рис. 9.1. Схема измерений

Переменный ток I_1 в контуре I (первичная катушка) подается от источника стандартной сетевой частоты $\nu = 50$ Гц; его эффективное значение $I_{1\text{эф}}$ измеряется миллиамперметром "мА". При этом в контуре II (вторичная катушка) индуцируется переменная ЭДС, действующее значение которой $\mathcal{E}_{\text{эф}}$ измеряется вольтметром "В". Ее появление обусловлено изменением магнитного потока Φ_{21} , пронизывающего вторичную катушку.

В каждый момент времени значение этого потока связано с мгновенным значением I_1 в первичной катушке очевидным соотношением

$$\Phi_{21} = L_{21} I_1, \quad (9.1)$$

L_{21} коэффициент взаимной индукции (взаимная индуктивность) контуров II и I.

Величина L_{21} существенным образом зависит от геометрии контуров I и II, их взаимного расположения и относительной магнитной проницаемости μ сердечника, который связывает катушки (рис. 9.1 он изображен пунктиром).

Результаты измерений

Таблица 9.1

Номер измерения	ℓ , мм	Без сердечника		С сердечником		M	γ
		\mathcal{E}_{i2} , В	L_{21} , Гн	$\mathcal{E}_{i2\text{фер}}$	$L_{21\text{фер}}$		
1							
2							
...							
10							

Установите на вольтметре какой-либо из пределов измерения, например 20 В, определите и запишите в таблицу соответствующую цену деления и приборную погрешность (и то, и другое равно единице последнего индицируемого на табло знака).

3. Ознакомьтесь с миллиамперметром и занесите в таблицу прибор его характеристики.

4. Регулятором напряжения источника установите ток I_1 в первичной катушке порядка 4-40 мА (по указанию преподавателя).

5. В отсутствие сердечника снимите зависимость \mathcal{E}_{i2} (показания вольтметра) от расстояния ℓ между катушками, передвигая первичную катушку. Измерения сделайте, начиная с минимального расстояния между катушками, до максимально возможного, чтобы получить около 10 значений. Имейте в виду, что по мере удаления первичной катушки величина ЭДС \mathcal{E}_{i2} быстро падает, и для точного измерения следует вовремя переходить на более чувствительные диапазоны вольтметра, избегая в то же время его перегрузки (в случае перегрузки на табло высвечивается единица первого знака).

6. Введите сердечник в катушку. Будьте внимательны: при введении сердечника установленный ранее ток I_1 несколько уменьшается из-за возрастания индуктивного сопротивления первичной катушки - рекомендуется восстановить его прежнее значение регулятором напряжения источника; это упростит последующие вычисления.

Заметим, что в свою очередь, протекание тока \bar{I}_2 во втором контуре порождает магнитный поток Φ_{12} , пронизывающий контур I, чем аналогично

$$\Phi_{12} = L_{12} \bar{I}_2, \quad (9.2)$$

L_{12} — взаимная индуктивность контуров I и II. Можно показать, что для неферромагнитного сердечника

$$L_{12} = L_{21}. \quad (9.3)$$

Если сердечник ферромагнитный, то L_{12} и L_{21} зависят от величин токов \bar{I}_2 и \bar{I}_1 ; при этом равенство (9.3) не выполняется. Выражение для ЭДС, индуцируемой во вторичной катушке \mathcal{E}_{i2} , при изменении тока \bar{I}_1 в первичной и при $L_{21} = \text{const}$ легко получить из закона электромагнитной индукции (Ленца)

$$\mathcal{E}_{i2} = - \frac{d\Phi_{21}}{dt} = - \frac{d(L_{21} \bar{I}_1)}{dt}, \quad (9.4)$$

$$\frac{d}{dt} [L_{21} \bar{I}_{1\max} \cos(\omega t + \varphi_0)] = -L_{21} \bar{I}_{1\max} \omega \sin(\omega t + \varphi_0). \quad (9.5)$$

Таким образом, для амплитудных значений \mathcal{E}_{i2} и \bar{I}_1 имеем

$$\mathcal{E}_{i2\max} = L_{21} \bar{I}_{1\max} \omega, \quad (9.6)$$

где $\nu = 50 \text{ Гц}$. Заметим, что измеряемые приборами эффективные значения токов в $\sqrt{2}$ раз меньше амплитудных ($\bar{I}_{\text{эф}} = I_{\max} / \sqrt{2}$), очевидно, что аналогичное равенство справедливо и для эффективных (действующих) значений тока $\bar{I}_{1\text{эф}}$ и ЭДС $\mathcal{E}_{i2\text{эф}}$

$$\mathcal{E}_{i2\text{эф}} = L_{21} \bar{I}_{1\text{эф}} \omega \quad (9.7)$$

$$L_{21} = \frac{\mathcal{E}_{i2\text{эф}}}{\bar{I}_{1\text{эф}} \omega} \quad \omega = 2\pi\nu \quad (9.8)$$

7. Вновь снимите зависимость $\mathcal{E}_{12\text{фер}}$ от расстояния ℓ между катушками, используя прежние значения ℓ . Следите за тем, чтобы при перемещении вторичной катушки сердечник не смещался по отношению к первичной (не забудьте, что в этом случае изменится ток I_1).

8. Выключите установку и записывайте полученные результаты у преподавателя.

9. По формулам (9.8) и (9.10) вычислите значения взаимной индуктивности катушек L_{21} (без сердечника) и $L_{21\text{фер}}$ (с сердечником) для каждого положения вторичной катушки.

10. На одном листе миллиметровки постройте графики зависимости $L_{21}(\ell)$ и $L_{21\text{фер}}(\ell)$. Обсудите полученные графики.

11. По формуле (9.11) вычислите значения относительной магнитной проницаемости μ материала сердечника для каждого положения вторичной катушки (значения $\bar{\tau}_{\text{кат}}$, $\tau_{\text{фер}}$ и $\gamma(\ell)$ приведены на установке). Отметим, что при одном и том же токе I_1 в формуле (9.11) вместо отношения $L_{21\text{фер}}/L_{21}$ можно с тем же успехом взять отношение $\mathcal{E}_{12\text{фер}}/\mathcal{E}_{12}$.

Обрабатывайте полученную серию значений μ как результаты невоспроизводимых косвенных измерений.

Отчет о работе 9 должен содержать:

1. Графики зависимостей коэффициентов взаимной индукции от расстояния.
2. Рассчитанную величину магнитной проницаемости с относительной погрешностью.
3. Выводы о результатах работы (анализ графиков).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем состоит явление электромагнитной индукции?
2. Основной закон электромагнитной индукции. Правило Ленца.
3. В чем состоит явление взаимной индукции?
4. Что называется взаимной индуктивностью двух контуров?
5. От чего зависит взаимная индуктивность и в чем ее физический смысл?

При наличии ферромагнитного сердечника, как уже отмечалось, L_{21} меняется вместе с изменением силы тока I_1 . Можно показать, что и в этом случае для \mathcal{E}_{i2} справедлива аналогичная формула

$$\mathcal{E}_{i2} = -\frac{d\Phi_{21}}{dt} = L_{21\text{дин}} \frac{dI_1}{dt}, \quad (9.3)$$

где под $L_{21\text{дин}} = \frac{d\Phi_{21}}{dI_1}$ понимают так называемую динамическую взаимную индуктивность контуров II и I, которая, следовательно, может быть найдена по аналогичной формуле

$$L_{21\text{дин}} \equiv L_{21\text{фер}} = \frac{\mathcal{E}_{i2}}{I_1 2\pi} \quad (9.10)$$

Что касается относительной магнитной проницаемости материала сердечника, то ее можно оценить из соотношения

$$\mu = \frac{L_{21\text{фер}}}{L_{21}} \cdot \frac{\bar{r}_{\text{кат}}^2}{r_{\text{фер}}^2} \cdot \gamma(\ell), \quad (9.11)$$

где $L_{21\text{фер}}$ - взаимная индуктивность системы контуров с ферромагнитным сердечником,

L_{21} - то же без сердечника,

$\bar{r}_{\text{кат}}$ - средний радиус вторичной катушки,

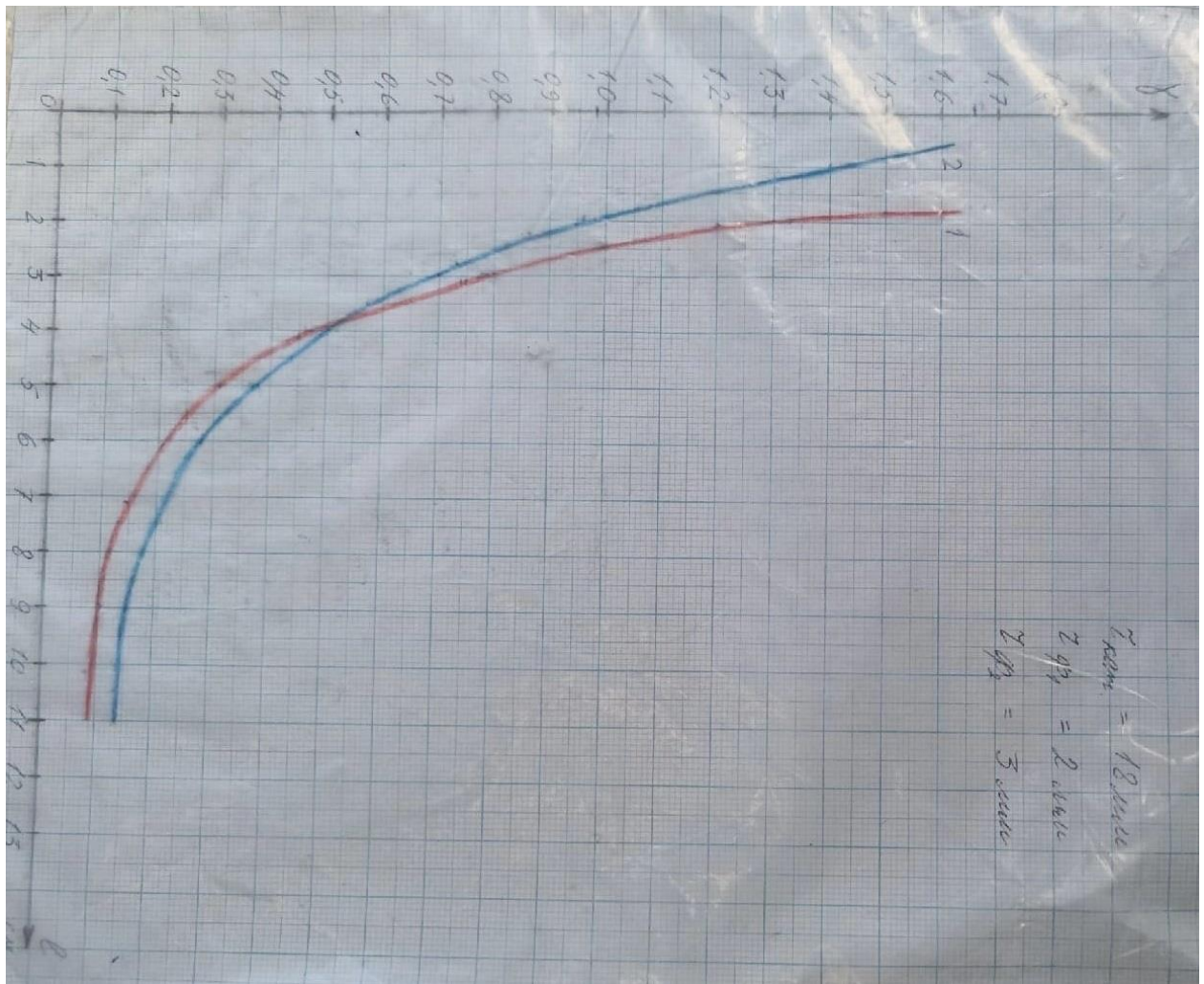
$r_{\text{фер}}$ - радиус ферромагнитного сердечника,

$\gamma(\ell)$ - поправочный коэффициент, зависящий от геометрии взаимного расположения катушек и сердечника,

т.е. для нашей установки от расстояния ℓ между катушками. В самом деле, нетрудно сообразить, что по мере удаления катушек друг от друга роль сердечника в формировании магнитного потока возрастает.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подготовьте таблицу для записи результатов измерений по предлагаемому образцу и получите у преподавателя индивидуальное задание.
2. Включите в сеть источник переменного тока В-24М и циф-



$T_{room} = 18 \text{ K}$
 $T_{q1} = 2 \text{ K}$
 $T_{q2} = 3 \text{ K}$

