

Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана

---

Факультет «Фундаментальные науки»  
Кафедра «Физика»

**Л.И. Баландина, М.Ю. Докукин**

# **ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ**

Электронное учебное издание

*Методические указания к лабораторной работе Э-70  
по дисциплинам «Физика», «Физика и естествознание»*

Под редакцией *Л.К. Мартинсона*

М о с к в а  
Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана  
2012

УДК 538.521

*Рецензент:* проф., д.т.н. Владимир Иванович Хвесьюк

**Баландина Л.И, Докукин М.Ю.**

Изучение закона электромагнитной индукции: Методические указания к лабораторной работе Э - 70 по курсу общей физики/ Под ред. Л.К. Мартинсона. Электронное учебное издание. - М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2012. 20 с.

Рассмотрены явления электромагнитной индукции, которые связаны с законом М. Фарадея. Даны выводы основных соотношений, описывающих явление взаимной индукции. Изложены методы экспериментального определения ЭДС индукции, ЭДС взаимоиндукции, коэффициентов взаимной индукции двух соосных катушек с током. Приведены электрические схемы изучаемых процессов, анализ и оценки погрешностей измерений.

Для студентов 2-го курса всех специальностей МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Табл. 6. Ил. 5. Библиогр. 3 назв.

*Рекомендовано учебно-методической комиссией факультета «Фундаментальные науки» МГТУ им. Н.Э. Баумана*

*Электронное учебное издание*

**Баландина Лидия Ивановна  
Докукин Михаил Юрьевич**

**ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ**

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Предисловие</b> .....	4
<b>1. Теоретическая часть</b> .....	5
<b>2. Экспериментальная часть</b> .....	12
2.1. Краткое описание экспериментальной установки .....	12
2.2. Выполнение эксперимента .....	14
2.3. Анализ и обработка результатов измерений .....	18
<b>Контрольные вопросы</b> .....	20
<b>Список рекомендуемой литературы</b> .....	20

## Предисловие

Рассматриваемая лабораторная работа относится к разделу «Электромагнетизм» общего курса физики, входящего в учебные программы всех специальностей МГТУ им. Н.Э. Баумана и, в частности, в программы 2 курса бакалавриата для дисциплин «Физика», «Физика и естествознание».

*Цель работы* - изучить явления электромагнитной индукции, экспериментально исследовать зависимость электродвижущей силы (ЭДС) индукции и коэффициентов индуктивности от взаимного расположения катушек и частоты питающего их переменного тока.

## 1. Теоретическая часть

Явление электромагнитной индукции было открыто экспериментально английским физиком М. Фарадеем в 1831 г. В замкнутом проводящем контуре при изменении потока магнитной индукции через поверхность, ограниченную этим контуром, возникает электрический ток, который называют *индукционным*. Появление индукционного тока свидетельствует о том, что в контуре действует ЭДС индукции. Величина ЭДС индукции  $\mathcal{E}_i$  не зависит от способа изменения магнитного потока  $\Phi$  и определяется только скоростью изменения магнитного потока  $d\Phi/dt$ .

Правило, определяющее направление ЭДС индукции, сформулировано в 1833 г. профессором Петербургского университета Э.Х. Ленцем. *Индукционный ток имеет такое направление, что создаваемое им магнитное поле стремится компенсировать изменение магнитного потока, вызвавшее этот ток.*

Формула, объединяющая в себе закон Фарадея и правило Ленца, представляет собой математическое выражение основного закона электромагнитной индукции

$$\mathcal{E}_i = - d\Phi/dt . \quad (1)$$

Явление электромагнитной индукции наблюдается во всех случаях, когда изменяется поток вектора магнитной индукции, пронизывающий проводящий контур. В частности, этот поток может создаваться током, текущим в самом рассматриваемом контуре. Возникновение ЭДС индукции в контуре вследствие изменения магнитного потока, создаваемого током в этом же самом контуре, называется *самоиндукцией*.

Магнитный поток через контур в отсутствие ферромагнетиков вблизи контура пропорционален току  $i$  в контуре:

$$\Phi = Li \quad (2)$$

Коэффициент пропорциональности  $L$  называется *коэффициентом самоиндукции* или *индуктивностью контура*. В СИ индуктивность измеряется в генри (Гн). Индуктивность какого-либо контура зависит от его формы и размеров, а также от магнитных свойств окружающей среды.

Подставив в закон электромагнитной индукции (1) соотношение (2), получим выражение для ЭДС самоиндукции:

$$\mathcal{E}_s = -\frac{d(Li)}{dt} = -\left(L\frac{di}{dt} + i\frac{dL}{dt}\right) \quad (3)$$

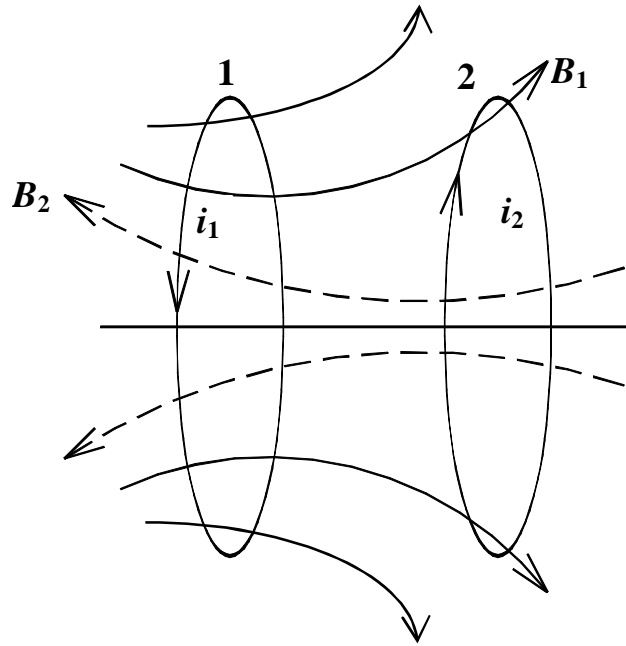
Если контур жесткий и поблизости от него нет ферромагнетиков, индуктивность  $L$  является величиной постоянной. Тогда выражение (3) принимает вид:

$$\mathcal{E}_s = -L\frac{di}{dt} \quad (4)$$

Рассмотрим вопрос о взаимном влиянии двух неподвижных контуров 1 и 2 с токами (рис. 1), расположенными в непосредственной близости друг от друга.

Магнитное поле  $\mathbf{B}_1$ , создаваемое током  $i_1$  первого контура, проходит через контур 2. Ток второго контура  $i_2$  создает магнитное поле  $\mathbf{B}_2$ , линии индукции которого пронизывают контур 1. В этом случае между контурами 1 и 2 существует взаимосвязь.

Наличие магнитной связи между контурами проявляется в том, что при изменении тока в одном из контуров в другом возникает ЭДС индукции. Это явление называется *взаимной индукцией*.



**Рис. 1. Магнитосвязанные контуры 1 и 2**

Если в контуре 1 течет ток, то создаваемый им магнитный поток  $\Phi_{21}$  через контур 2 в отсутствие ферромагнетиков вблизи контуров пропорционален току  $i_1$ :

$$\Phi_{21} = L_{21}i_1 \quad (5)$$

При изменении тока в первом контуре будет изменяться поток  $\Phi_{21}$  и, согласно закону электромагнитной индукции Фарадея, во втором контуре возникнет ЭДС индукции

$$\mathcal{E}_{i2} = -\frac{d\Phi_{21}}{dt} = -L_{21} \frac{di_1}{dt} \quad (6)$$

Очевидно, что при изменении тока  $i_2$  во втором контуре в первом контуре, индуктивно связанном со вторым контуром, индуцируется ЭДС

$$\mathcal{E}_{i1} = -\frac{d\Phi_{12}}{dt} = -L_{12} \frac{di_2}{dt} \quad (7)$$

Коэффициенты пропорциональности  $L_{12}$  и  $L_{21}$  называются *коэффициентами взаимной индукции* контуров или сокращённо *взаимной индуктивностью* контуров. Значения коэффициентов  $L_{12}$  и  $L_{21}$  зависят от формы, размеров и взаимного расположения контуров, а также от магнитной

проницаемости среды, окружающей контуры. Взаимная индуктивность измеряется в тех же единицах, что и индуктивность, т.е. в генри [Гн].

Можно показать, что для любых двух контуров в отсутствие ферромагнетиков взаимные индуктивности равны друг другу.

Пусть в контуре 1 установился ток  $i_1$ , создаваемый источником тока. В контуре 2 тока нет. Предположим, что ток  $i_1$  равномерно уменьшается до нуля. Тогда вследствие магнитной связи в контуре 2 возникает ЭДС взаимной индукции  $\mathcal{E}_{i_2}$  и появляется ток  $i_2$ . Работа тока  $i_2$  за время  $dt$  равна

$$dA_2 = \mathcal{E}_{i_2} i_2 dt = -L_{21} \frac{di_1}{dt} i_2 dt = -L_{21} i_2 di_1 \quad (8)$$

Если  $L_{21}$  не зависит от тока, что возможно в отсутствие ферромагнетиков, то, проинтегрировав выражение (8) по току, получим работу, совершенную током второго контура за все время, в течение которого происходит исчезновение магнитного поля, создаваемого током первого контура

$$A_2 = \int_{i_1}^0 -L_{21} i_2 di_1 = L_{21} i_2 i_1 \quad (9)$$

Совершение этой работы сопровождается исчезновением магнитного поля. Поэтому магнитное поле является носителем энергии, за счет которой и совершается работа. Эта энергия «связанных» контуров получила название *взаимной энергии двух токов*

$$W_{21} = L_{21} i_2 i_1 \quad (10)$$

Если такое же магнитное поле создать током второго контура, то, проведя аналогичные рассуждения, получим

$$A_1 = L_{12} i_1 i_2 \quad (11)$$

Но произведенная работа в обоих должна быть одинакова. Отсюда следует, что в отсутствие ферромагнетиков

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

При наличии ферромагнитной среды взаимные индуктивности  $L_{12}$  и  $L_{21}$  не равны друг другу, так как в этом случае эти коэффициенты зависят не только от формы, размеров и взаимного расположения рассматриваемых проводящих контуров, но также и от силы токов в них. Потoki  $\Phi_{12}$  и  $\Phi_{21}$  не пропорциональны токам  $i_1$  и  $i_2$ . Однако формально соотношение (5) распространяют и на случай ферромагнетиков, полагая при этом, что зависимость  $L_{21}$  от  $i_1$  известна и, следовательно, каждому значению  $i_1$  соответствует определенное значение  $L_{21}$ .

Если среда ферромагнитная, то по закону электромагнитной индукции Фарадея ЭДС взаимной индукции, возбуждаемая во втором контуре переменным магнитным полем первого контура, равна

$$\mathcal{E}_{i2} = -\frac{d(L_{21}i_1)}{dt} = -\left(L_{21}\frac{di_1}{dt} + i_1\frac{dL_{21}}{dt}\right); \quad (13)$$

причем, так как  $L_{21} = L_{21}(i_1)$ , то  $\frac{dL_{21}}{dt} = \frac{dL_{21}}{di_1}\frac{di_1}{dt}$ . Тогда получаем:

$$\mathcal{E}_{i2} = -\left(L_{21} + i_1\frac{dL_{21}}{di_1}\right)\frac{di_1}{dt} \quad (14)$$

При наличии в контуре 2 переменного тока в контуре 1 возникает ЭДС:

$$\mathcal{E}_{i1} = -\left(L_{12} + i_2\frac{dL_{12}}{di_2}\right)\frac{di_2}{dt} \quad (15)$$

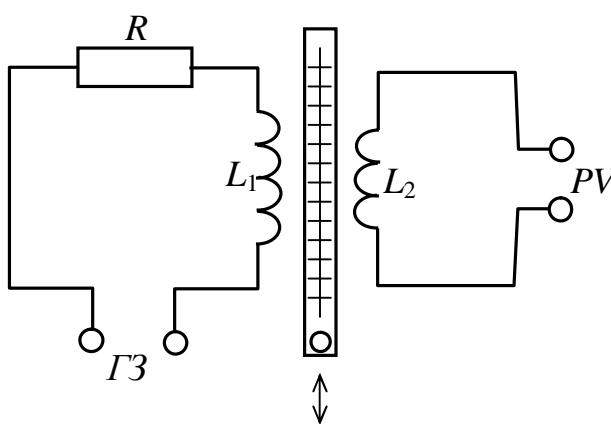
Обратим внимание на то, что

$$L_{21} + i_1\frac{dL_{21}}{di_1} = \frac{d\Phi_{21}}{di_1} \quad (16)$$

$$L_{12} + i_2\frac{dL_{12}}{di_2} = \frac{d\Phi_{12}}{di_2}. \quad (17)$$

Это так называемая *динамическая взаимная индуктивность*. В то время как  $L_{12}$  и  $L_{21}$  называют *статической взаимной индуктивностью*.

В данной лабораторной работе экспериментально изучается закон электромагнитной индукции применительно к двум проводникам, выполненным в виде одинаковых коаксиальных цилиндрических катушек. Исследуется зависимость ЭДС индукции от взаимного расположения катушек и от частоты питающего переменного тока. Также определяется взаимная индуктивность двух катушек и исследуется ее зависимость от взаимного расположения катушек и частоты переменного тока.



**Рис. 2. Схема измерений**

В предлагаемой работе взаимная индуктивность измеряется следующим образом (рис.2). От генератора звуковой частоты  $\Gamma З$  переменное напряжение

$$U = U_m \cos \omega t \quad (18)$$

подается на последовательно соединенные резистор сопротивлением  $R$  и катушку  $K1$  индуктивностью  $L_1$ .

Полное электрическое сопротивление цепи, содержащей катушку  $K1$ , собственное активное сопротивление которой  $R_1$ , равно

$$z = \sqrt{(R_1 + R)^2 + (\omega L_1)^2} \quad (19)$$

Если сопротивление резистора  $R$  выбрать достаточно большим, так чтобы  $R \geq \sqrt{R_1^2 + (\omega L_1)^2}$ , то полное сопротивление цепи можно принять

равным  $R$ . Тогда ток, проходящий через катушку К1, определяется по формуле:

$$i_1 = \frac{U}{R} = \frac{U_m}{R} \cos \omega t \quad (20)$$

Переменный ток  $i_1$  в катушке К1 создает изменяющийся во времени магнитный поток через катушку К2 индуктивностью  $L_{21}$ , и в катушке К2 возникает ЭДС индукции

$$\mathcal{E}_{i_2} = -L_{21} \frac{di_1}{dt} = L_{21} \frac{U_m}{R} \omega \sin \omega t = \mathcal{E}_{im_2} \sin \omega t \quad (21)$$

На экране осциллографа, подключенного к катушке К2 (выход  $PV$ ), можно наблюдать колебания ЭДС индукции, амплитуда которой равна

$$\mathcal{E}_{im_2} = L_{21} \frac{U_m}{R} \omega \quad (22)$$

Учитывая, что  $\omega = 2\pi\nu$ , где  $\nu$  – частота напряжения на выходе звукового генератора, получаем

$$\mathcal{E}_{im_2} = L_{21} \frac{U_m}{R} 2\pi\nu. \quad (23)$$

Поэтому взаимную индуктивность  $L_{21}$  можно найти, измерив  $\mathcal{E}_{im_2}$  и зная  $R$ ,  $\nu$  и  $U_m$ , т.е.

$$L_{21} = \frac{\mathcal{E}_{im_2} R}{2\pi\nu U_m}. \quad (24)$$

Если генератор звуковой частоты и резистор  $R$  соединить последовательно с катушкой К2, а осциллограф подключить к катушке К1, то можно найти взаимную индуктивность  $L_{12}$ . Сравнивая полученные экспериментально коэффициенты  $L_{12}$  и  $L_{21}$ , можно проверить справедливость равенства (12).

Из формулы (6) следует, что ЭДС индукции в катушке К2 зависит от скорости изменения тока  $i_1$ . Это приводит к тому, что амплитуда ЭДС

индукции согласно формуле (23) зависит от частоты колебаний тока в катушке К1, подключенной к звуковому генератору, что также проверяем экспериментально.

## 2. Экспериментальная часть

### 2.1. Краткое описание экспериментальной установки

Изучение закона электромагнитной индукции в данной лабораторной работе выполняется с помощью универсального лабораторного комплекса



Рис. 3. Лабораторный комплекс ЛКЭ-2

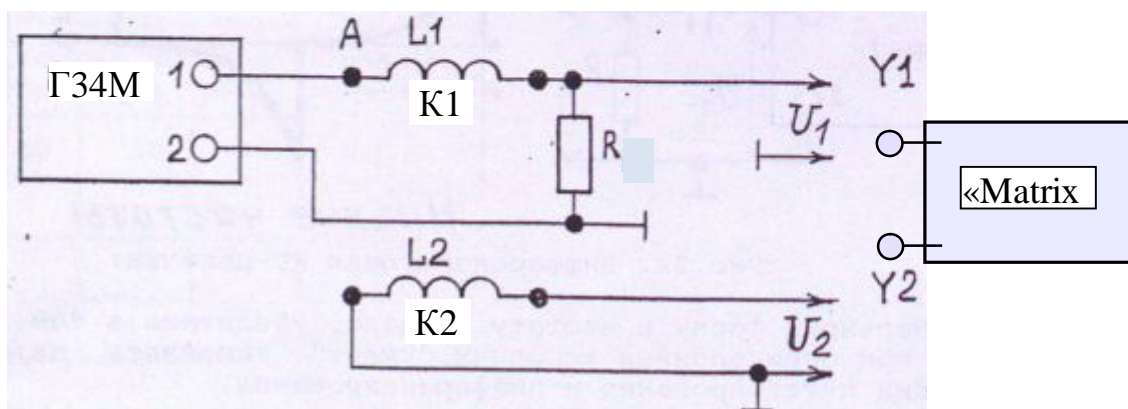
ЛКЭ – 2 (Рис. 3).

В состав лабораторного комплекса входят:

- генератор сигналов функциональный типа Г34М (поз. 10);
- осциллограф типа «Matrix» MOS-620 (поз. 11);
- две одинаковые соосные катушки на рейтерах, установленных на едином рельсе с масштабной линейкой и позволяющих изменять расстояние между катушками (поз. 5);
- два электротехнических блока-модуля, смонтированных в отдельных корпусах на предметном столе комплекса (блок «Электрические цепи» и блок «Поле в веществе»).

При выполнении работы используется блок «Поле в веществе» (поз. 1).

Электрическая схема эксперимента приведена на рис. 4. На рис. 3 К1 и



**Рис. 4. Схема регистрации ЭДС индукции**

К2 - две катушки на рейтерах с изменяемым расстоянием между ними. Последовательно с катушкой 1 соединен шунтирующий резистор сопротивлением  $R = 1$  кОм. Напряжения  $U_1$  и  $U_2$  подаются на два коаксиальных входа осциллографа. На экране осциллографа наблюдаем изменение амплитуды колебаний ЭДС индукции.

Изучается изменение ЭДС индукции в катушке 2 при изменении частоты напряжения на катушке 1, а также при изменении взаимного

положения катушек. Эти зависимости исследуются как при синусоидальном, так и при пилообразном токе в цепи катушки 1.

Измеряя напряжения  $U_1$  и  $U_2$ , можно определить коэффициент взаимной индукции.

При синусоидальном токе в катушке 1 получаем:

$$L_{21} = \frac{R \cdot \Delta U_2}{2\pi\nu \cdot \Delta U_1}, \quad (25)$$

где  $\Delta U_1$  и  $\Delta U_2$  – размахи напряжений на катушке 1 и катушке 2,  $\nu$  – частота напряжения на катушке 1.

При пилообразном токе в катушке 1 получаем:

$$L_{21} = \frac{R \cdot \Delta U_2}{4\nu \cdot \Delta U_1}. \quad (26)$$

Если изменить подключение катушек, то можно убедиться в справедливости равенства (12).

## 2.2 Выполнение эксперимента

**Задание 1.** *Изучение зависимости ЭДС индукции от расстояния между катушками при синусоидальном токе в катушке 1.*

1. Установить расстояние между катушками  $r = 25$  мм. (В дальнейшем при выполнении эксперимента предстоит увеличивать это расстояние до 150 мм с шагом 25 мм).

2. Подсоединить одну из имеющихся катушек (катушка 1) к выходу генератора Г34М через резистор сопротивлением  $R = 1$  кОм в модуле блока «Поле в веществе». Резистор заземлить согласно схеме (рис. 4), а на катушку 1 подать переменное напряжение частоты  $\nu = 1$  кГц. Контроль за напряжением осуществлять на экране осциллографа, на вход которого (канал 1) параллельно подается это же напряжение. Использовать коэффициент усиления по входу  $b_1 = 5$  В/см. Переключатель развертки осциллографа установить в положение, отвечающее  $\tau_p = 2$  мс/см, а ручкой «LEVEL / LOCK»

на панели прибора добиться устойчивой картины синусоидальных колебаний на экране.

Посредством регулирующей ручки на панели генератора установить амплитудное значение напряжения  $U_{m1} = 10$  В, которому соответствует общий размах  $\Delta U_1 = 20$  В.

3. Подать напряжение  $U_2$  с катушки 2 на второй вход осциллографа (канал 2). Катушка 2 заземляется согласно схеме эксперимента. Установить коэффициент усиления по второму входу  $b_2 = 0,2$  В/см. Добиться с помощью ручки «LEVEL / LOCK» устойчивой картины синусоидальных колебаний напряжения  $U_2$  на экране. Измерить общий размах  $\Delta U_2$ . Определить амплитудное значение ЭДС индукции как  $\mathcal{E}_{i m2} = \Delta U_2 / 2$ .

Изменяя расстояние  $r$  между катушками от 25 мм до 150 мм с шагом 25 мм, измерить ЭДС  $\mathcal{E}_{i m2}$ . В процессе опыта коэффициент усиления по второму каналу осциллографа  $b_2$  уменьшать. Записать полученные данные в таблицу 1.

4. По данным таблицы 1 построить график зависимости амплитуды ЭДС индукции от расстояния между катушками, т.е.  $\mathcal{E}_{i m2}(r)$ .

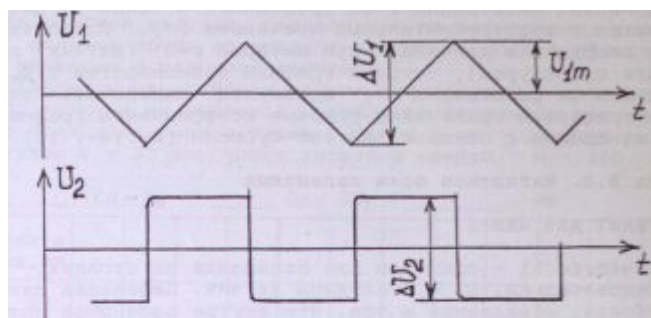
Таблица 1.

Синусоидальный сигнал: $\nu = 1$ кГц, $U_{m1} = 10$ В, $R = 1$ кОм						
$r$ , мм	25	50	75	100	125	150
$\mathcal{E}_{i m2}$ , В						
$\Delta \mathcal{E}_{i m2}$ , В						

**Задание 2.** Изучение зависимости ЭДС индукции от расстояния между катушками при пилообразном токе в катушке 1.

На выходе генератора Г34М установить пилообразное напряжение. Не изменяя схемы подключения катушек, повторить измерения по заданию 1.

При этом на экране осциллографа должны наблюдаться характерные кривые,



как показано на рис. 5.

**Рис. 5. Характерные осциллограммы**

Заполнить таблицу 2 и построить график  $\mathcal{E}_{i m2}(r)$ .

Таблица 2.

Пилообразный сигнал: $\nu = 1$ кГц, $U_{m1} = 10$ В, $R = 1$ кОм						
$r$ , мм	25	50	75	100	125	150
$\mathcal{E}_{i m2}$ , В						
$\Delta\mathcal{E}_{i m2}$ , В						

**Задание 3.** Изучение зависимости ЭДС индукции от частоты при синусоидальном токе в катушке 1.

Установить расстояние между катушками  $r = 100$  мм. На выходе генератора установить синусоидальное напряжение с амплитудным значением  $U_{m1} = 10$  В. Не изменяя схемы подключения катушек (рис. 4) измерить амплитудное значение ЭДС индукции катушки 2, т.е.  $\mathcal{E}_{i m2} = \Delta U_2 / 2$ , увеличивая частоту  $\nu$  подаваемого на катушку 1 переменного напряжения от 1000 Гц до 3500 Гц с шагом 500 Гц. Полученные данные занести в таблицу 3.

Таблица 3.

Синусоидальный сигнал: $U_{m1} = 10$ В, $R = 1$ кОм; $r = 100$ мм						
$\nu$ , кГц	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
$\mathcal{E}_{i m2}$ , В						
$\Delta\mathcal{E}_{i m2}$ , В						

По данным таблицы 3 построить график зависимости амплитуды ЭДС индукции от частоты, т.е.  $\mathcal{E}_{i m2}(\nu)$ .

**Задание 4.** Изучение зависимости ЭДС индукции от частоты при пилообразном токе в катушке 1.

На выходе генератора установить пилообразное напряжение с амплитудным значением  $U_{m1} = 10$  В. Повторить измерения задания 3. Данные занести в таблицу 4 и построить график зависимости  $\mathcal{E}_{i m2}(\nu)$  при пилообразном токе в катушке 1.

Таблица 4.

Пилообразный сигнал: $U_{m1} = 10$ В, $R = 1$ кОм; $r = 100$ мм						
$\nu$ , кГц	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
$\mathcal{E}_{i m2}$ , В						
$\Delta\mathcal{E}_{i m2}$ , В						

**Задание 5.** Определение коэффициента взаимной индукции двух катушек в зависимости от расстояния между ними.

1. Используя данные таблицы 1, по формуле (25) для синусоидального тока в катушке 1 вычислить коэффициент взаимной индукции для каждого расстояния между катушками и занести результаты в таблицу 5.

Таблица 5.

Синусоидальный сигнал: $\nu = 1$ кГц, $U_{m1} = 10$ В, $R = 1$ кОм						
$r$ , мм	25	50	75	100	125	150
$L_{21}$ , Гн						
$\Delta L_{21}$ , Гн						

2. Используя данные таблицы 2, по формуле (26) для пилообразного тока в катушке 1 вычислить коэффициент взаимной индукции для каждого расстояния между катушками и занести результаты в таблицу 6.

Таблица 6.

Пилообразный сигнал: $\nu = 1$ кГц, $U_{m1} = 10$ В, $R = 1$ кОм						
$r$ , мм	25	50	75	100	125	150
$L_{21}$ , Гн						
$\Delta L_{21}$ , Гн						

3. По данным таблиц 5 и 6 построить графики зависимости коэффициента взаимной индукции от расстояния между катушками, т.е.  $L_{21}(r)$ .

**Задание 6.** Проверка справедливости равенства  $L_{12} = L_{21}$  в отсутствие ферромагнетиков.

Установить расстояние между катушками  $r = 100$  мм. На выходе генератора установить синусоидальное напряжение частоты  $\nu = 1$  кГц с амплитудным значением  $U_{m1} = 10$  В. Генератор и резистор  $R$  соединить последовательно с катушкой 2, а осциллограф подключить к катушке 1.

Измерить величину амплитуды ЭДС индукции в катушке 1, т.е.  $\mathcal{E}_{i\ m1}$  и вычислить коэффициент взаимной индукции по формуле:

$$L_{12} = \frac{R \cdot \Delta U_1}{2\pi\nu \cdot \Delta U_2}. \quad (27)$$

Сравнить полученные значения  $L_{12}$  и  $L_{21}$ .

### 2.3. Анализ и обработка результатов измерений

Погрешность при измерении ЭДС индукции и коэффициента взаимной индукции складывается из случайной погрешности, которая появляется при измерении размаха амплитуды ЭДС индукции на экране осциллографа, и инструментальной (приборной) погрешности. Укажем также на систематическое занижение коэффициента взаимной индукции вследствие того, что формулы (25) и (26), по которым ведется расчет, не учитывают активное и индуктивное сопротивления катушек.

В связи с последними замечаниями предлагается следующий порядок обработки результатов измерений.

1. Оценить абсолютную максимально допустимую погрешность измерения амплитуды ЭДС индукции. Эту погрешность можно рассчитать по формуле:

$$\Delta \mathcal{E}_{m2} = \mathcal{E}_{m2} \sqrt{\left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta h}{h}\right)^2},$$

где  $b$  – коэффициент усиления сигнала осциллографом,  $h$  – размах амплитуды колебаний, измеренный на экране осциллографа в мм.

Для осциллографа «Matrix» MOS-620 допустимая погрешность чувствительности усилителя не превышает 10 %, т.е.  $\frac{\Delta b}{b} = 0,1$ .

Максимальную абсолютную погрешность определения  $h$  можно принять равной погрешности отсчёта, т.е.  $\Delta h = 0.5$  мм. Найденные значения  $\Delta \mathcal{E}_{m2}$  записать в табл.1. и нанести на график. Убедиться, что зависимость  $\mathcal{E}_{m2}(v)$  является линейной в пределах погрешности измерений.

2. Оценить абсолютную максимально допустимую погрешность измерения коэффициента взаимной индуктивности. Эту погрешность можно рассчитать по формуле:

$$\Delta L_{21} = \sqrt{\left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta h}{h}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U}{U}\right)^2 + \left(\frac{\Delta v}{v}\right)^2}.$$

По паспорту генератора Г34М:  $\frac{\Delta v}{v} = 0.02$ ,  $\frac{\Delta U}{U} = 0.05$ . Вычисленное

значение  $\Delta L_{21}$  записать в таблицы 5, 6 и нанести на график.

### Контрольные вопросы

1. Какие физические явления обусловлены законом Фарадея?
2. Что называется взаимной индуктивностью двух контуров?
3. Что называется потоком вектора магнитной индукции и в каких единицах он измеряется?
4. Как формулируется правило Ленца?
5. Как зависит взаимная индуктивность катушек от расстояния между катушками, от частоты питающего напряжения на одной из катушек?
6. Чему равна ЭДС взаимной индукции двух катушек?
7. Определите взаимную энергию двух контуров с токами  $i_1$  и  $i_2$ .
8. С какой целью величина сопротивления резистора  $R$  в электрической схеме (рис. 4) выбирается достаточно большой?

### Список рекомендуемой литературы

1. Савельев И. В. Курс общей физики: Учеб. пособие для вузов. В 5 кн. Кн. 2: Электричество и магнетизм. - М.: Изд-во Астрель - АСТ, 2001.
2. Практикум по физики. Электричество и магнетизм. Учебное пособие для вузов/ Ю. К. Виноградов, В. А. Котельников, Е. Л. Студников и др.- М.: Высшая школа, 1991.
3. Тамм И. Е. Основы теории электричества.- М.: Наука, 1989.