

# Лабораторная работа №1.3: Изучение явления взаимной индукции

Миллер Сергей, 494

27 октября 2016

**Цель работы:** изучение явлений взаимной индукции двух коаксиально расположенных катушек.

**В работе используются:** источник питания; электронный осциллограф; звуковой генератор; цифровой вольтметр, модуль ФПЭ-05 для изучения взаимной индукции; две катушки индуктивности на одной оси; штوك со шкалой, показывающий взаимное расположение катушек.

**Методика измерения:** В данной работе изучается коэффициент взаимной индукции между длинной катушкой 1 и короткой катушкой 2, которая надевается на катушку 1 и может перемещаться вдоль ее оси. Питание одной из катушек, например 1, осуществляется от генератора звуковой частоты PQ, напряжение с которого

$$U = U_0 \cos \omega t \quad (1)$$

подаётся на катушку последовательно через сопротивление  $R$ . Действующее значение напряжения генератора  $U_4 = U_0/\sqrt{2}$  измеряется с помощью вольтметра.

Значение сопротивления  $R$  выбирается таким образом, чтобы выполнялись неравенства:

$$R \gg \sqrt{R_1^2 + L_1^2 \omega^2} \quad (2)$$

$$R \gg \sqrt{R_2^2 + L_2^2 \omega^2} \quad (3)$$

### Экспериментальная установка

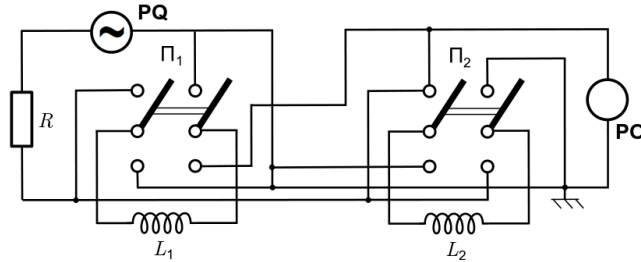


Рис. 1: Схема установки

где  $L_{1,2}$  — индуктивности катушек 1 и 2;  $R_{1,2}$  — их активные сопротивления. В этом случае напряжение на подключённой к генератору катушке много меньше напряжения на резисторе  $R$ , и таким образом ток, протекающий через катушку 1, можно определить как:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U_0}{R} \cos \omega t = I_{01} \cos \omega t \quad (4)$$

Переменный ток в катушке 1 создает переменную ЭДС взаимной индукции в катушке 2 согласно формуле (5):

$$\mathcal{E}_2 = -M_{21} \frac{dI_1}{dt} = -M_{21} \omega \frac{U_0}{R} \sin \omega t = -\varepsilon_{02} \sin \omega t \quad (5)$$

Измерив с помощью осциллографа амплитуду ЭДС взаимной индукции  $\mathcal{E}_{02}$ , можно получить значение коэффициента взаимной индукции  $M_{21}$

$$M_{21} = \frac{\mathcal{E}_{02} R}{2\pi f U_0} \quad (6)$$

где  $f$  — частота звукового генератора в герцах.

Если же подавать ток на 2-ю катушку, а снимать значение напряжения на 1-й, то можно измерить коэффициент  $M_{12}$ :

$$M_{12} = \frac{\mathcal{E}_{01} R}{2\pi f U_0} \quad (7)$$

Для «перестановки» катушек необходимо переключатели 1 и 2 перебросить в противоположное направление (рис. 1).

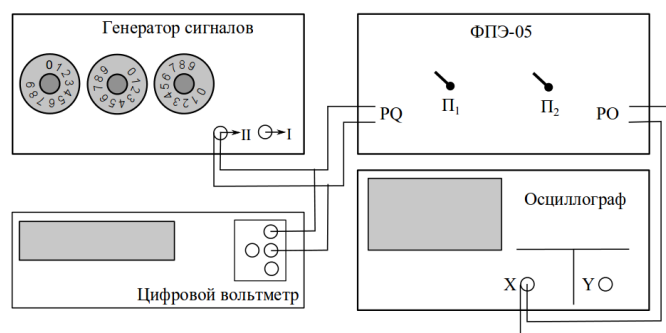


Рис. 2:

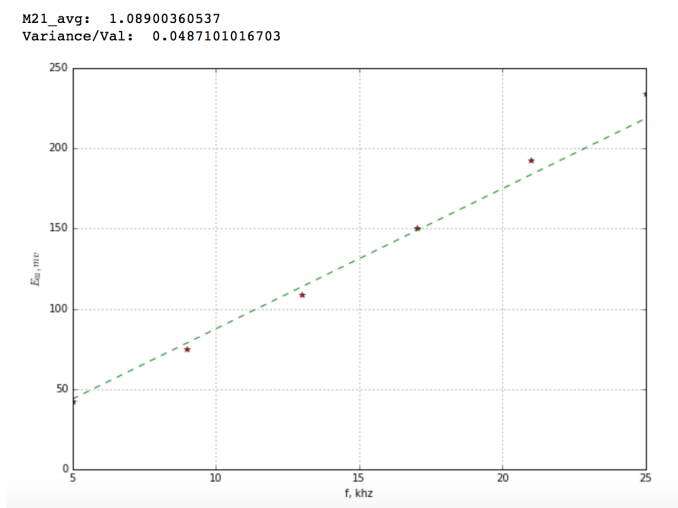
### Ход работы:

1. Для нахождения  $M$  будем пользоваться формулой 6, поэтому верна следующая формулы для погрешности -  $\sigma(M)$ :

$$\left(\frac{\sigma_M}{M}\right)^2 = \left(\frac{\sigma_{\mathcal{E}_{02}}}{\mathcal{E}_{02}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_f}{f}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{U_4}}{U_4}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_R}{R}\right)^2 \quad (8)$$

где 0.01 - относительная погрешность  $R$ . Для  $f$  и  $U_4$  на самом деле эта погрешность также равна 0.01. А  $\sigma_{\mathcal{E}_{02}} = 0.1 * 10mV$  (половина цены деления)

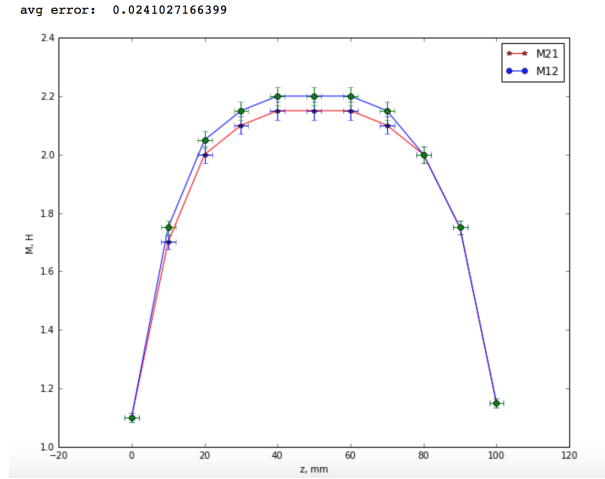
2. Подключим катушку 1 к генератору с помощью переключателя 1, установив его в позицию PQ. Зададим выходное напряжение генератора сигналов, равное  $U_4 = 3В$ . Убедимся, в диапазоне от 5 до 25 кГц амплитуда напряжения на 2-й катушке  $E_{02}$  прямо пропорциональна частоте  $f$ .



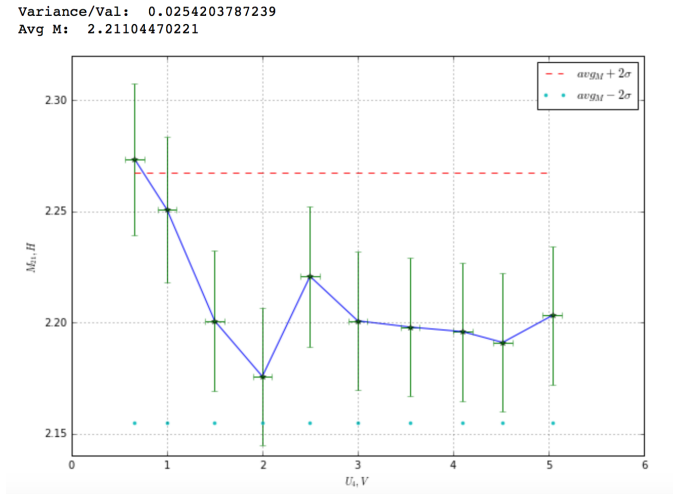
Учитывая, что  $\frac{\sigma(k)}{k} \sim 5\%$  то можно полагать что это действительно прямая.

3. Теперь замерим коэффициенты взаимной индукции и исследуем их зависимости от взаимного расположения катушек. То есть будем изменять последовательно их взаимное расположение, каждый раз сдвигая их на 1 см.

Как видно  $|M_{21} - M_{21}| < err$  то есть результаты попадают в пределы погрешностей ( $\varepsilon_M \sim 3\%$ ), что согласуется с законом взаимности  $M_{21} = M_{12}$ .



4. Убедимся в том, что коэффициент взаимной индукции не зависит от напряжения на генераторе. Поставим катушку 1 в среднее положение относительно катушки 2 ( $z = 50$  мм).

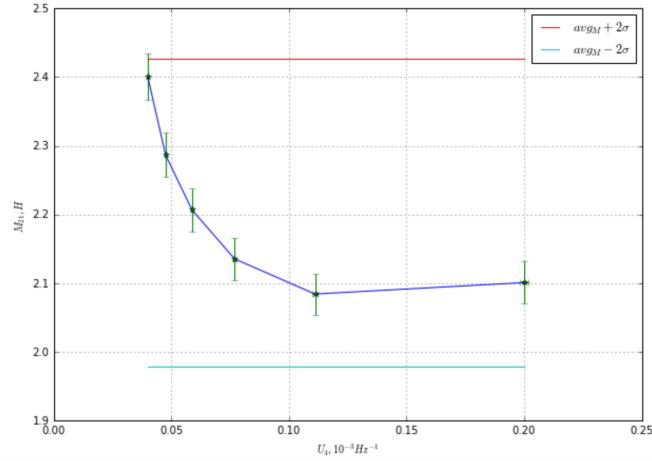


Как видно,  $\frac{\sigma_M}{M} < 3\%$  (относительное изменение величины), то есть  $M_{21}$  не зависит от напряжения на генераторе. При этом

$$M_{21avg} = (2.21 \pm 0.06)H \quad (9)$$

5. Определим экспериментально зависимость коэффициента взаимной индукции от частоты генератора. Построим зависимость  $M_{21}(\frac{1}{f})$

Avg: 2.20236466918  
 Variance/Val: 0.101736910803



Как видно  $\sigma_M \sim 5\%$  то есть зависимость скорее всего константная или близка к ней. В среднем получим:

$$M_{21avg} = (2.2 \pm 0.1)H \quad (10)$$

### Выводы:

1. ЭДС индукции возникает при изменении взаимного расположения катушек, либо при изменении тока в одной из катушек.
2. Коэффициент взаимной индукции проявляется как коэффициент пропорциональности между ЭДС и изменением тока  $\frac{dI}{dt}$ . Значения коэффициентов  $M_{12}$  и  $M_{21}$  зависят от взаимного расположения контуров, но не зависят от напряжения на генераторе. Взаимная индуктивность измеряется в тех же единицах, что и индуктивность, т.е. в генри [Гн].