

Лабораторная работа № 4.8А "Резонанс токов"

Кирилл Шевцов Б03-402

16.10.2025

Лабораторная установка

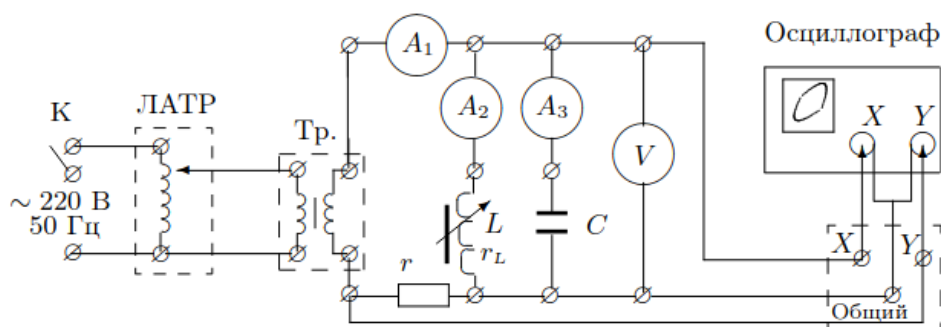


Рис. 1: Лабораторная установка

Задание предполагает снятие зависимости значений тока на участках с амперметрами от индуктивности катушки. Согласно установке : амперметр A_1 показывает общий ток в цепи, A_2 - ток на участке с катушкой, A_3 - ток на конденсаторе заданной емкости $C = 120$ мкФ. Напряжение подается от сети постоянным $U = 220$ В, частота генератора также постоянна и равна $\nu = 50$ Гц.

Картину резонанса можно увидеть либо по минимальному току на амперметре A_1 , либо на осциллографе: резонансу соответствует нулевой сдвиг фазы, то есть вырождение эллипса в наклонную прямую. Резонанс токов полагается исследовать на параллельном колебательном контуре, поскольку напряжение на участках цепи, параллельных включенному вольтметру, совпадают.

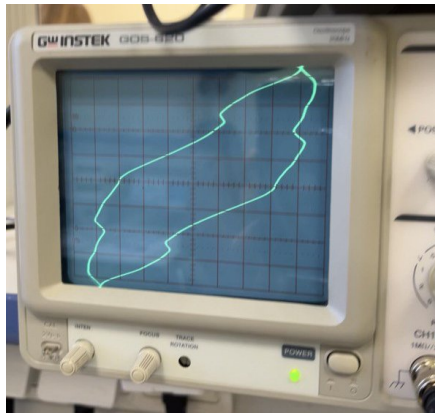
Измерения и результаты

- Резонанс токов для частоты $\nu = 50$ Гц. (рисунок 2b)
- Будем медленно вдвигать сердечник в катушку индуктивности. Зафиксировав расстояние, на которое вдвинут сердечник, снимем показания амперметров A_1 , A_2 , A_3 . Ток на участках с катушкой, конденсатором и общий ток обозначим соответственно I_L , I_C , I .

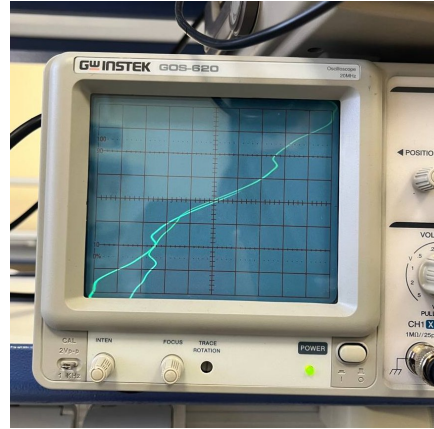
x , см	7.0	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5
I_L , А	0.417	0.387	0.354	0.325	0.301	0.277	0.255	0.233	0.213	0.186
I_C , А	0.401	0.395	0.392	0.393	0.386	0.398	0.395	0.395	0.398	0.391
I , А	0.05	0.045	0.056	0.078	0.100	0.125	0.144	0.164	0.186	0.207

Таблица 1: снятие токов при движении сердечника

Обозначим четкий диапазон перемещения дросселя $\Delta = 1.5 \div 6.9$ см. Напряжение на ЛАТР поддерживаем постоянным и равным $U_0 = (10 \pm 1)$ В. Частота лабораторного трансформатора $\omega = (50 \pm 10)$ Гц. Емкость конденсатора $C = (120 \pm 10)$ мкФ.



(a) до резонанса



(b) резонанс

Рис. 2: Показания на экране осциллографа

3. Построим графики зависимостей сил тока на рассмотренных участках от положения x сердечника. (по горизонтальной оси - расстояние, на которое сердечник выдвинут из катушки)

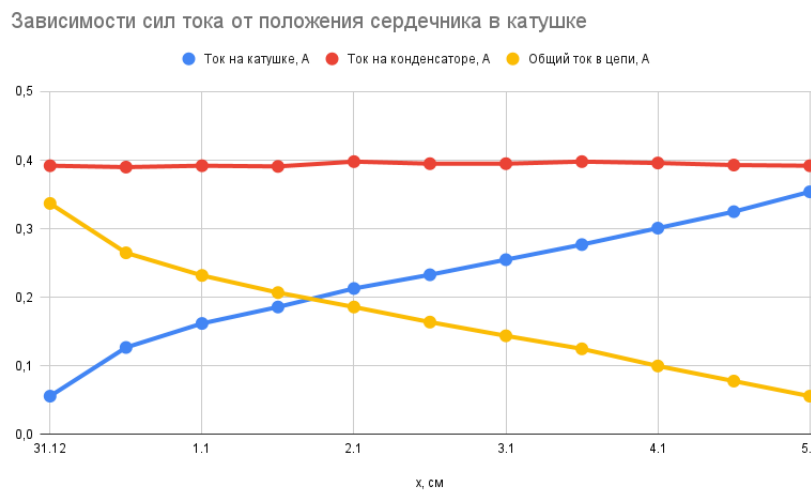


Рис. 3: зависимость силы тока от положения сердечника в катушке

Из результатов измерений видно, что сила тока на участке с катушкой постоянно увеличивается, общий ток в цепи уменьшается. Сила тока на участке с конденсатором остается постоянной, поскольку она зависит только от частоты и напряжения генератора.

$$I_C = U_0 \omega C = 2\pi \nu C U_0 = 0.37 \pm 0.01 \text{ A} \quad (1)$$

И последние два определяются соотношением

$$I_L = \frac{U_0}{\sqrt{(r_L)^2 + (\omega_0 L)^2}}, \quad I = I_L + I_C \quad (2)$$

4. Резонансные значения тока на рассматриваемых участках цепи.

$I_L^{res}, \text{ A}$	$I_C^{res}, \text{ A}$	$I^{res}, \text{ A}$	$\Delta I_L^{res}, \text{ A}$	$\Delta I_C^{res}, \text{ A}$	$\Delta I^{res}, \text{ A}$
0.428	0.419	0.049	0.001		

Таблица 2: резонансные токи на катушке, конденсаторе и в цепи

5. Рассчитаем добротность колебательного контура - через токи, и резонансное сопротивление - через полный ток и напряжение.

$$Q = \frac{I_C^{res}}{I_{res}} = \frac{0.428}{0.049} = 8.73 \pm 0.19, \quad \Delta Q = Q \left(\frac{\Delta I_C^{res}}{I_C^{res}} + \frac{\Delta I_{res}}{I_{res}} \right) = 0.022Q = 0.19 \quad (3)$$

$$R_\Sigma = \frac{U_0}{I_{res}} = \frac{10.00}{0.049} = 204.08 \pm 24.37 \text{ Ом}, \quad \Delta R_\Sigma = R_\Sigma \left(\frac{\Delta U_0}{U_0} + \frac{\Delta I_{res}}{I_{res}} \right) = 0.12R_\Sigma = 24.57 \text{ Ом} \quad (4)$$

6. Рассчитаем индуктивность катушки L_{res} через емкость и частоты $\nu = 50$ Гц и $\nu = 1000$ Гц, а затем через добротность и емкость сделаем расчет активного сопротивления катушки. Расчет для частоты $\nu = 50$ Гц.

$$L_{res} = \frac{1}{\omega^2 C} = 0.083 \pm 0.024 \text{ Гн}, \quad \Delta L_{res} = L_{res} \left(\frac{2\Delta\omega}{\omega} + \frac{\Delta C}{C} \right) = 0.28L_{res} = 0.024 \text{ Гн} \quad (5)$$

$$r_L = \frac{\omega L_{res}}{Q} = 3.02 \pm 0.49 \text{ Ом}, \quad \Delta r_L = r_L \left(\frac{\Delta L_{res}}{2L_{res}} + \frac{\Delta C}{C} - \frac{\Delta Q}{Q} \right) = 0.20r_L = 0.63 \text{ Ом} \quad (6)$$

Расчет для частоты $\nu = 1000$ Гц.

$$L_{res} = \frac{1}{\omega^2 C} = 0.21 \pm 0.06 \text{ мГн}, \quad \Delta L_{res} = L_{res} \left(\frac{2\Delta\omega}{\omega} + \frac{\Delta C}{C} \right) = 0.28L_{res} = 0.06 \text{ мГн} \quad (7)$$

$$r_L = \frac{\omega L_{res}}{Q} = 0.15 \pm 0.03 \text{ Ом}, \quad \Delta r_L = r_L \left(\frac{\Delta L_{res}}{2L_{res}} + \frac{\Delta C}{C} - \frac{\Delta Q}{Q} \right) = 0.20r_L = 0.03 \text{ Ом} \quad (8)$$

7. Сравним полученные значения сопротивления и индуктивности со значениями, снятыми с моста E7 – 8 при частоте $\nu = 50$ и $\nu = 1000$ Гц.

Частота, Гц	Расчет с E7-8		Расчет с формулами и графиками	
ν , Гц	L_{res} , мГн	r_L , Ом	L_{res} , мГн	r_L , Ом
50	67.011 ± 0.001	1.937 ± 0.001	83.00 ± 24.00	3.02 ± 0.63
1000	60.610 ± 0.001	31.850 ± 6.001	0.21 ± 0.06	0.15 ± 0.03

Таблица 3: Сравнение с полученными данными

8. Угол между напряжением и током катушки (для частот 50 и 1000 Гц соответственно)

$$z_L = r_L + j\omega L, \quad tg\psi = \frac{\omega L}{r_L} = 8.63, \quad \psi = \arctan \frac{\omega L}{r_L} = 83.3^\circ \quad (9)$$

$$z_L = r_L + j\omega L, \quad tg\psi = \frac{\omega L}{r_L} = 8.79, \quad \psi = \arctan \frac{\omega L}{r_L} = 83.5^\circ \quad (10)$$

Иначе, напряжение опережает ток на катушке на 90 градусов (если элементы идеальные). Составляющие напряжения на катушке (для частот 50 и 1000 Гц).

$$U_{L_{act}} = U_0 \cdot \cos \psi = 10 \cdot 0.1166 = 1.166 \text{ В}, \quad U_{L_{react}} = U_0 \cdot \sin \psi = 10 \cdot 0.9931 = 9.931 \text{ В}$$

Для тока на конденсаторе (Аналогично для частот 50 и 1000 Гц)

$$z_C = -\frac{j}{\omega L}, \quad tg\psi = \frac{\omega L}{0} \rightarrow \infty, \quad \psi = -90^\circ, \quad I_C = 2\pi\nu C U_0 \quad (11)$$

Иначе, сила тока на конденсаторе опережает по фазе на 90 градусов с напряжением на конденсаторе. Для тока на катушке и активном сопротивлении (для частот 50 и 1000 Гц).

$$I_{act} = \frac{U_{act}}{r_L} = 0.37 \text{ A}, \quad I_{react} = \frac{U_{react}}{\omega L} = 0.381 \text{ A}, \quad I_C = 0.37 \text{ A} \quad (12)$$

$$I_{act} = \frac{U_{act}}{r_L} = 7.44 \text{ A}, \quad I_{react} = \frac{U_{react}}{\omega L} = 7.474 \text{ A}, \quad I_C = 7.53 \text{ A} \quad (13)$$

Диаграмма токов (множитель масштаба равен 0.1, все измерения умножаются на 10)

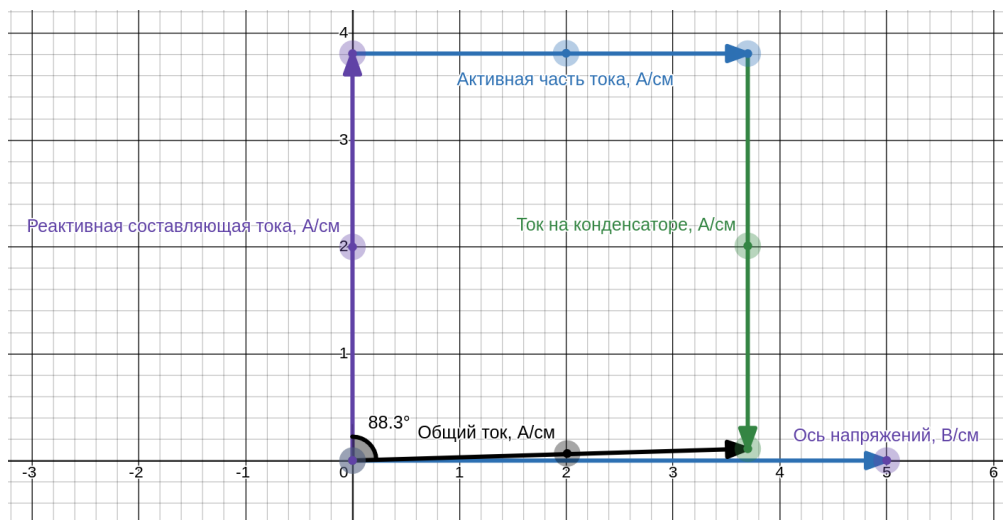


Рис. 4: Векторная диаграмма для токов

Параметры катушки по графику (для частот)

$$r_L = \frac{U_{Lact}}{I_L} = \frac{1.1166}{0.428} = 2,60 \text{ Ом} \quad L = \frac{U_{Lreact}}{\omega \cdot I_L} = \frac{9.931}{314.15 \cdot 0.428} = 0.074 \text{ Гн} \quad (14)$$

9. Сравнительная таблица

Частота, Гц	Расчет с Е7-8		Расчет с графиками		Расчет с диаграммой	
ν , Гц	L_{res} , мГн	r_L , Ом	L_{res} , мГн	r_L , Ом	L_{res} , мГн	r_L , Ом
50	67.011 ± 0.001	1.937 ± 0.001	83.00 ± 24.00	3.02 ± 0.63	74 ± 10	2.60 ± 0.01
1000, Гц	60.01 ± 10.00	31.850 ± 5.001	0.21 ± 0.006	0.15 ± 0.03	-	-

Таблица 4: Параметры катушки, измеренные разными способами

Вывод

В работе были измерены зависимости силы тока на разных участках параллельного колебательного контура. Было показано, что при движении сердечника в катушку ток на участке с конденсатором остается постоянным на протяжении всех измерений, и зависит лишь от напряжения ЛАТР и частоты генератора, на участке с катушкой все время уменьшается, поскольку при движении в нее сердечника индуктивность уменьшается. Контур при резонансе токов удобно выбирать именно параллельным, поскольку необходимо удерживать постоянным только напряжение.