
Отчёт по работе 4.8

Резонанс напряжений

Карташов Константин Б04-005

I Анотация

Цель работы: Исследование последовательной цепи постоянного тока, наблюдение резонанса напряжений.

Оборудование:

- ▷ Регулировочный автотрансформатор
 - ▷ Катушка индуктивности с выдвижным сердечником
 - ▷ Магазин ёмкостей
 - ▷ Резистор
 - ▷ Амперметр
 - ▷ Три вольтметра
 - ▷ Ваттметр
 - ▷ Осциллограф
 - ▷ Универсальный мост
-

II Теоретическая часть

Для изучения закона Ома в цепи переменного тока используется установка на рисунке 1. Три вольтметра позволяют нам использовать подробно исследовать напряжения на резисторе и катушке. Для этих напряжений справедливы комплексные соотношения:

$$\hat{U}_R = \hat{I}R, \quad \hat{U}_L = \hat{I}(r_L + i\Omega L), \quad \hat{U}_{R+L} = \hat{I}(R + r_L + i\Omega L). \quad (1)$$

Переходя к амплитудам и фазам получаем:

$$U_R = IR, \quad \operatorname{tg} \psi_1 = 0; \quad (2)$$

$$U_L = I\sqrt{r_L^2 + (\Omega L)^2}, \quad \operatorname{tg} \psi_2 = \frac{\Omega L}{r_L}; \quad (3)$$

$$U_{R+L} = I\sqrt{(R + r_L)^2 + (\Omega L)^2}, \quad \operatorname{tg} \psi_3 = \frac{\Omega L}{R + r_L}. \quad (4)$$

Из этих выражений можно получить значение средней мощности выделяемой на катушке. Проинтегрировав $P = I(t) \cdot U(t)$ получаем выражение:

$$\overline{P_L} = U_L \cdot I \cos \psi = I^2 \cdot r. \quad (5)$$

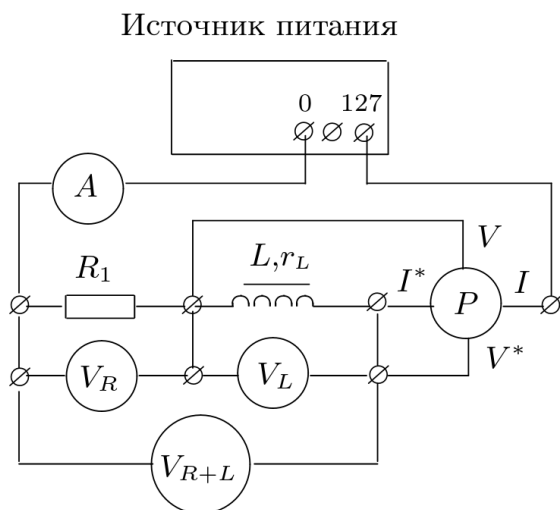


Рис. 1: Схема установки для изучения закона Ома в цепи переменного тока

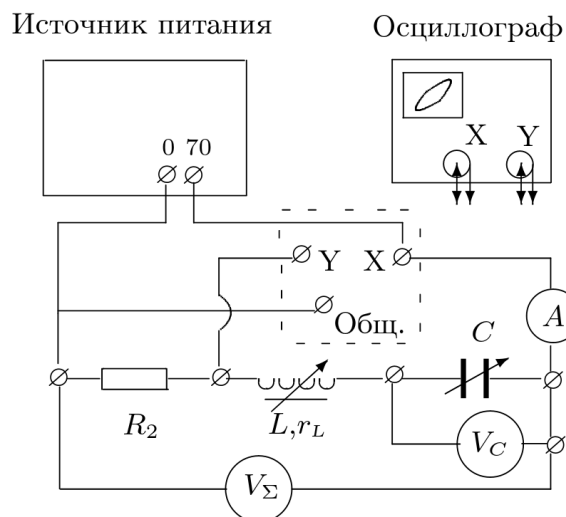


Рис. 2: Схема тока для наблюдения резонанса напряжений

Для изучения резонанса используется установка на рисунке 2. В резонансном случае частота вынужденных колебаний совпадает с частотой свободных колебаний контура. В таком контуре совпадают реактивные сопротивления индуктивности и ёмкости:

$$\frac{1}{\omega_0 C} = \omega_0 L. \quad (6)$$

Добротность такого контура вычисляется по формуле:

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R_\Sigma} = \frac{1}{\omega_0 C R_\Sigma}, \quad R_\Sigma = R + r_L. \quad (7)$$

И в том числе:

$$U_{\Sigma, \text{рез}} = I_{\text{рез}} R_\Sigma, \quad U_{C, \text{рез}} = \frac{I_{\text{рез}}}{\Omega C}. \quad (8)$$

$$Q = \frac{U_{C, \text{рез}}}{U_{\Sigma, \text{рез}}}. \quad (9)$$

III Экспериментальная часть

i Снятие зависимости напряжений и тока от положения сердечника катушки

Меняя положение сердечника катушки x , будем снимать при помощи амперметра значения тока I , при помощи вольтметра – напряжения на резисторе U_R , напряжения на катушке U_L , суммарное напряжения U_{L+R} , и при помощи ваттметра – мощность выделяемую на цепи P . Данные занесём в таблицу 1.

x , мм	I , А	U_R , В	U_{R+L} , В	U_L , В	P , Вт
5	1.05	45	125	106	24.5
7	1.20	52	124	101	23.5
9	1.35	57	123	97	22.5
11	1.40	61	121	93	21.0
13	1.45	63	120	90	20.5
15	1.55	66	119	87	20.0
17	1.6	69	119	84	19.5
19	1.65	71	118	81	19.0
21	1.65	73	117	79	18.5
23	1.70	74	116	77	18.5
25	1.75	75	116	75	18.5
27	1.75	77	116	73	18.5
29	1.8	78	115	72	18.0
31	1.8	79	115	70	18.0
33	1.85	80	115	69	18.0
35	1.85	81	115	68	18.0
37	1.85	82	115	67	17.5
39	1.85	82	114	66	17.5
41	1.95	82	114	65	17.5

Таблица 1: Напряжения, ток, и мощность при различных положения сердечника

По данным из таблицы 1 найдём значения для r_L и L по формулам (5) и (4). Полученные данные занесём в таблицу 2 и построим график зависимости $r_L(x)$ и $L(x)$ (рис. 3).

x , мм	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
r_L , Ом	22.2	16.3	12.3	10.7	9.8	8.3	7.6	7.0	6.8	6.4
L , Гн	0.31	0.26	0.23	0.21	0.20	0.18	0.17	0.15	0.15	0.14
x , мм	25	27	29	31	33	35	37	39	41	—
r_L , Ом	6.0	6.0	5.6	5.6	5.3	5.3	5.1	5.1	4.6	—
L , Гн	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	—

Таблица 2: Зависимость индуктивности и активного сопротивления катушки от положения сердечника

Полученные значения индуктивности и активного сопротивления катушки для резонансного положения сердечника: $r_L = 5.1$ Ом, $L = 0.11$ Гн.

ii Исследование векторной диаграммы напряжения

Построим векторную диаграмму напряжений U_L , U_R , U_{L+R} и также компоненты $U_{L, \text{реакт}}$ и $U_{L, \text{акт}}$ (рис. 4).

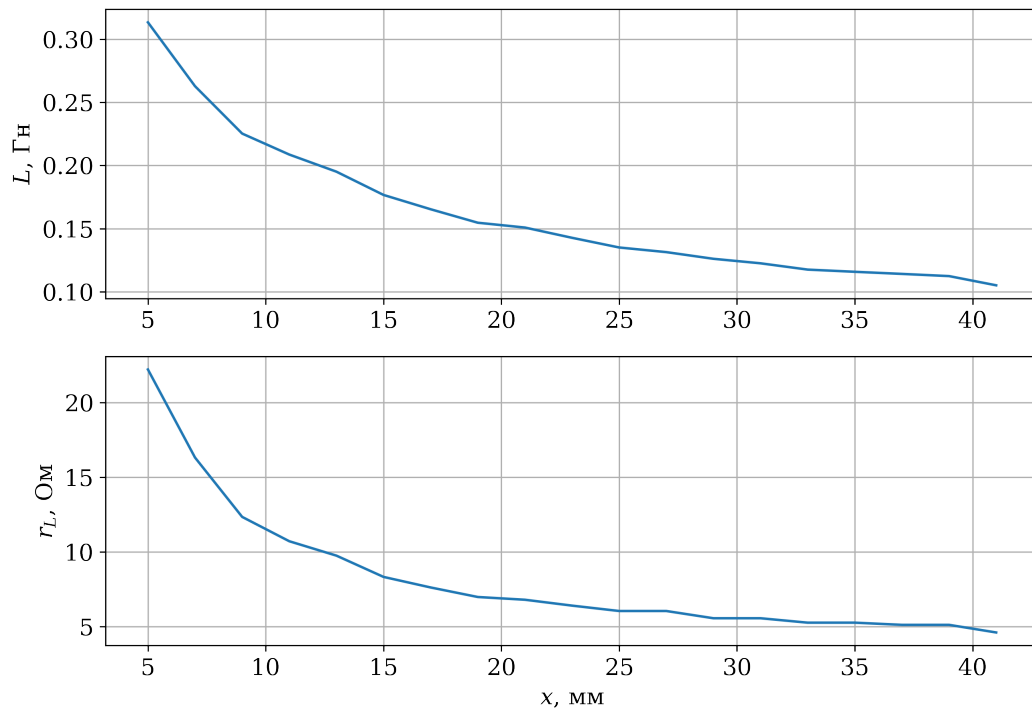


Рис. 3: График зависимости индуктивности и активного сопротивления катушки от положения сердечника

По векторной диаграмме рассчитаем сдвиг фаз между током и напряжением на катушке. По теореме косинусов:

$$\cos \theta = \frac{U_{L+R}^2 - U_R^2 - U_L^2}{2U_L U_R} = \frac{114^2 - 66^2 - 82^2}{2 * 66 * 82} = 0.178 \Rightarrow \theta \approx 80^\circ.$$

По формуле (5) значение $\cos \theta = P_L / (U_L \cdot I) = 0.146 \Rightarrow \theta \approx 81.6^\circ$.

По векторной диаграмме найдём r_L и L :

$$r_L = \frac{U_{L, \text{акт}}}{I} = \frac{R \cdot U_L}{U_R} \cos \theta = 7.2 \text{ Ом},$$

$$L = \frac{U_{L, \text{реакт}}}{\Omega I} = \frac{R \cdot U_L}{100\pi \cdot U_R} \sin \theta = 0.12 \text{ Гн}.$$

Также по векторной диаграмме найдём мощность выделяемую на катушке P_L , по формуле (5):

$$P_L = U_L \cdot I \cos \theta = \frac{U_L \cdot U_R}{R} = \frac{U_{L+R}^2 - U_R^2 - U_L^2}{2R} = \frac{114^2 - 66^2 - 82^2}{98} = 19.1 \text{ Вт}.$$

Измеренная при помощи ваттметра мощность $P = 17.5 \text{ Вт}$.

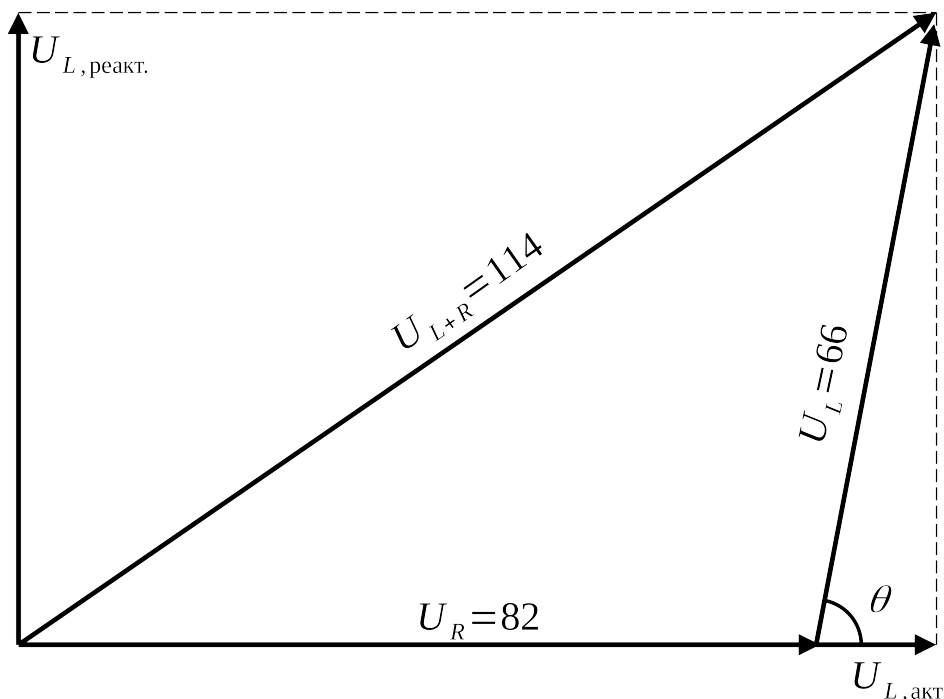


Рис. 4: Векторная диаграмма

iii Исследование резонанса напряжений

Соберём установку для исследования резонанса напряжений (рис. 4). Меняя положение сердечника и ёмкость магазина ёмкости, наблюдая за показаниями ЭО найдём положение резонанса. В этом случае на экране ЭО видна прямая. В положении резонанса ёмкость $C = 44.7$ мкФ, добавочное сопротивление $R_2 = 5.6$ Ом, положение сердечника $x = 39$ мм, напряжения $U_\Sigma = 146$ В, $U_c = 54$ В и ток $I = 2.9$ А.

Рассчитаем активное сопротивление катушки через ток и напряжение на контуре по формулам (8, 7):

$$r_L = \frac{U_\Sigma}{I} - 5.6 = \frac{146}{2.9} - 5.6 = 44.7 \text{ Ом.}$$

Рассчитаем L и r_L по формуле (6, 7, 9):

$$Q = \frac{R_C}{R_\Sigma} = 0.37, \quad r_L = \frac{1}{\omega_0 C Q} - R = 192 \text{ Ом.}$$

$$L = \frac{1}{\omega_0^2 C} = \frac{1}{(100\pi)^2 \cdot 44.7 \cdot 10^{-6}} = 0.23 \text{ Гн.}$$

IV Выводы

Был показан закон Ома для переменного тока на примере векторной диаграммы. И было проведено наблюдение резонанса напряжения на осциллографе. По полученным данными было вычислено несколько величин.

Полученные данные:

Способ	I	II	III (1)	III (2)
r_L , Ом	5.1	7.2	44.7	192
L , Гн	0.11	0.12	—	0.23

Данные, полученные I и II способами оказались похожими, однако в данных полученных для резонанса данные сильно отличаются. Возможной причиной является неправильно измеренные значения для C и R_2 .
