

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ**  
**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ “ЛЭТИ” ИМ. В. И.**  
**УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА) (СПБГЭТУ «ЛЭТИ»)**

**Кафедра теоретических основ электротехники**

**Отчет**  
**по лабораторной работе №6**  
**по дисциплине “МОЭ”**  
**Тема: “ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАНОВИВШЕГОСЯ**  
**СИНУСОИДАЛЬНОГО РЕЖИМА В ПРОСТЫХ ЦЕПЯХ.»”**

Студент гр.8382

\_\_\_\_\_

Мирончик П.Д.

Преподаватель

\_\_\_\_\_

Зубарев А.В.

Санкт-Петербург

2020

Протокол измерений  
Лабораторная работа №6  
«Исследование установившегося  
синусоидального режима в  
простых цепях»

табл.1. Исследование установившегося синусоидального режима в ~~RL~~ RC цепи

$f, \text{кГц}$	$U_0, \text{В}$	$I, \text{мА}$	$U_R, \text{В}$	$U_C, \text{В}$	$\varphi_{\text{свн}}, ^\circ$
7,5	2	3,634	1,018	1,721	$-75,92$
15	2	5,446	1,525	1,289	$-39,89$

табл.2. Исследование установившегося синусоидального режима в RL цепи

$f, \text{кГц}$	$U_0, \text{В}$	$I, \text{мА}$	$U_R, \text{В}$	$U_L, \text{В}$	$\varphi_{\text{свн}}, ^\circ$
7,5	2	4,609	1,291	1,525	$+49,36$
3,75	2	6,137	1,718	1,015	$+30,57$

табл.3. Исследование установившегося синусоидального режима в RLC цепи

$f, \text{кГц}$	$U_0, \text{В}$	$I, \text{мА}$	$U_R, \text{В}$	$U_C, \text{В}$	$U_L, \text{В}$	$\varphi_{\text{свн}}, ^\circ$
14	2	7,119	1,993	4,37	4,398	0
28	2	2,063	0,587	0,663	2,548	$+70,51$
7	2	2,083	0,583	2,557	0,643	$+71,814$

Группа БЗР2

Факультет КТУ

Мирошник П.Р. Мирф

20 октября 2020г.

## Цель работы

Практическое ознакомление с синусоидальными режимами в простых RL-, RC- и RLC-цепях.

## Основные теоретические положения

При анализе электрических цепей в установившемся синусоидальном режиме важно твердо усвоить амплитудные и фазовые соотношения между токами и напряжениями элементов цепи. Необходимо помнить, что ток в резистивном элементе совпадает по фазе с напряжением, ток в индуктивности отстает, а в емкости опережает напряжение на четверть периода.

Следует учитывать, что комплексное сопротивление индуктивности и емкости есть функция частоты:

$$Z_L = j\omega L = \omega L e^{j90^\circ}; Z_C = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{\omega C} e^{-j90^\circ}$$

Функцией частоты являются, следовательно, и комплексные сопротивления RL-, RC- и RLC-цепей (изображенные на рис. 1 соответственно). Так, для RLC-цепи, изображенной на рис. 1, в, комплексное сопротивление равно:

$$Z = \frac{U_0}{\dot{I}} = R + Z_L + Z_C = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$

Реактивная составляющая этого сопротивления равна разности модулей индуктивного и емкостного сопротивлений и поэтому может принимать различные знаки: если она положительна, реакция цепи имеет индуктивный характер, если отрицательна – емкостный, если обращается в нуль (т. е.  $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ ), цепь будет находиться в состоянии резонанса.

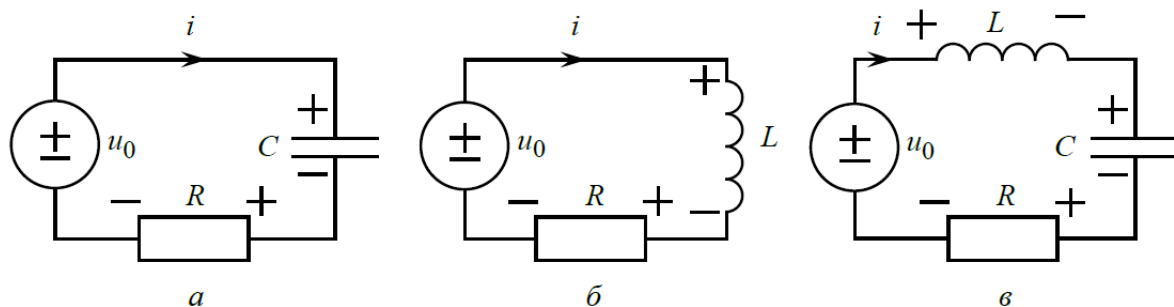


Рис. 1

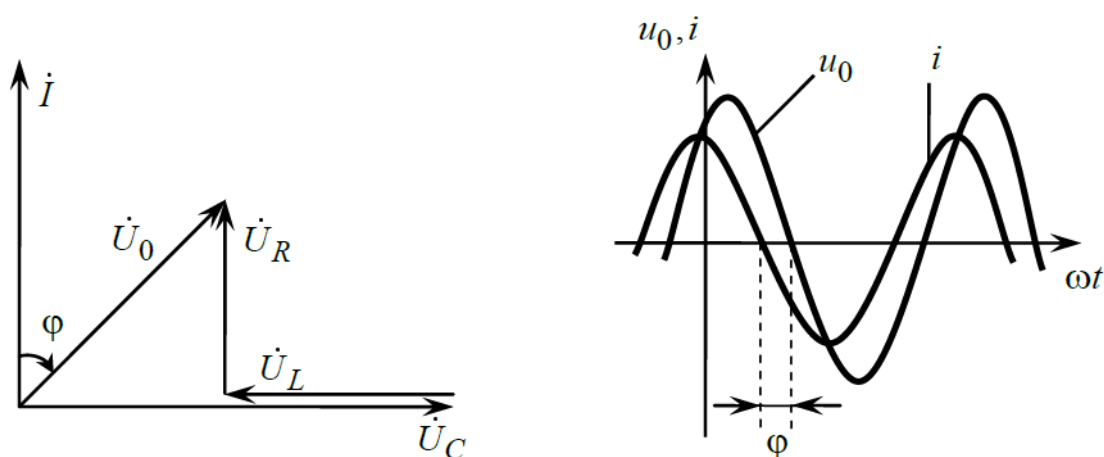


Рис. 2

Как модуль и аргумент комплексного сопротивления

$$|Z| = \sqrt{R^2 + [\omega L - 1/(\omega C)]^2}; \quad \varphi = \arctg \frac{\omega L - 1/(\omega C)}{R},$$

так и определяемые ими по закону Ома действующее значение и начальная фаза тока

$$I = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + [\omega L - 1/(\omega C)]^2}}; \quad \alpha_i = \alpha_u - \varphi$$

существенно зависят от соотношения значений индуктивного и емкостного сопротивлений.

Токи и напряжения цепи в установившемся синусоидальном режиме наглядно представляют с помощью ВД. Такая диаграмма для RLC-цепи приведена на рис. 2, а, где рассматривается случай  $\varphi = -45^\circ$ , т. е. ток  $\dot{I}$

опережает напряжение  $U_0$  на  $45^\circ$ , что соответствует емкостной реакции и временной диаграмме, представленной на рис. 2, б.

### Экспериментальные исследования

#### 1. Исследование установившегося синусоидального режима в RC- цепях

Соберем схему, показанную на рис. 3.  $R_{01} = 50 \text{ Ом}$ ,  $U_0 = 2 \text{ В}$ .

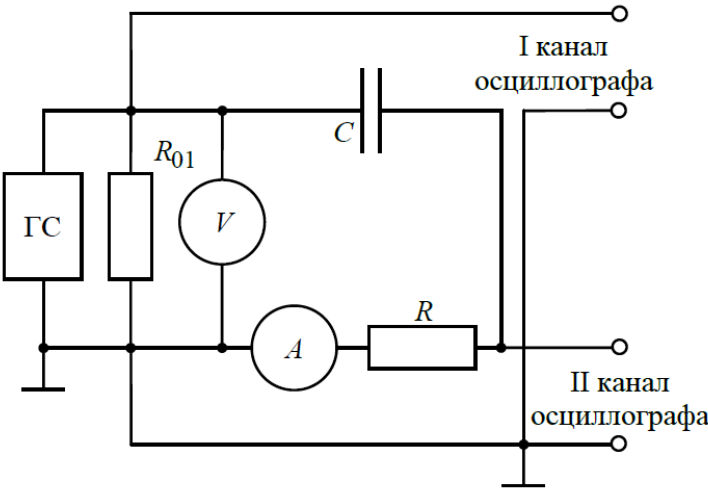


Рис. 3

Табл. 1

Устанавливают		Измеряют				Вычисляют		
f, кГц	$U_0$ , В	I, мА	$U_R$ , В	$U_C$ , В	$\varphi_{\text{осц}}$	R, Ом	C, мкФ	$\varphi_{\text{вд}}$
7.5	2	3.634	1.018	1.721	-58.92	0,28	0.044	-59,39
15	2	5.446	1.525	1.289	-39.89	0,28	0.044	-40,21

Формулы расчетов для колонок вычислений таблицы 1:

$$R = \frac{U_R}{I}$$

$$C = \frac{I}{2\pi * f * U_c}$$

$$\varphi_{\text{вд}} = -\arctg\left(\frac{U_C}{U_R}\right)$$

Векторная диаграмма для RC-цепи представлена на рис. 4 а,б, где а – для 7.5кГц, б – для 15 кГц.

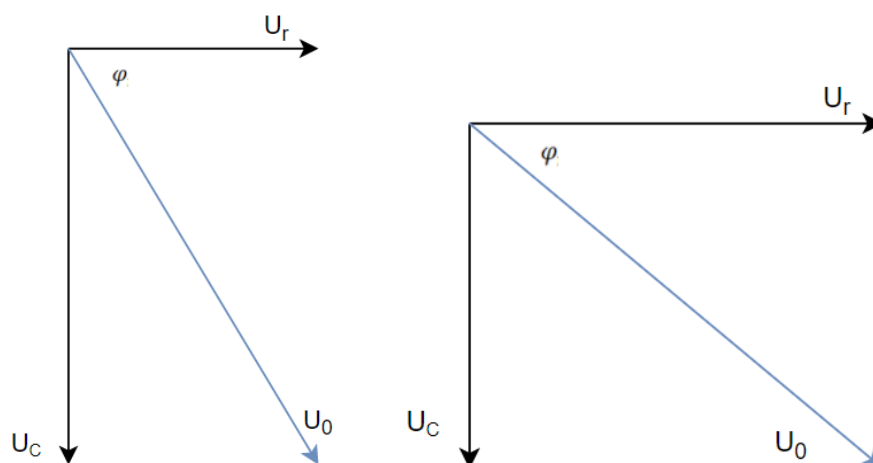


Рис. 4, а, б

Вывод: полученные по осциллограмме  $\varphi_{\text{осц}}$  и по ВД  $\varphi_{\text{ВД}}$  примерно совпадают. Незначительную погрешность можно списать на неточность измерения

## 2. Исследование установившегося синусоидального режима в $RL$ -цепях

Соберем схему, показанную на рис. 5.  $R_{01} = 50 \text{ Ом}$ ,  $U_0 = 2 \text{ В}$

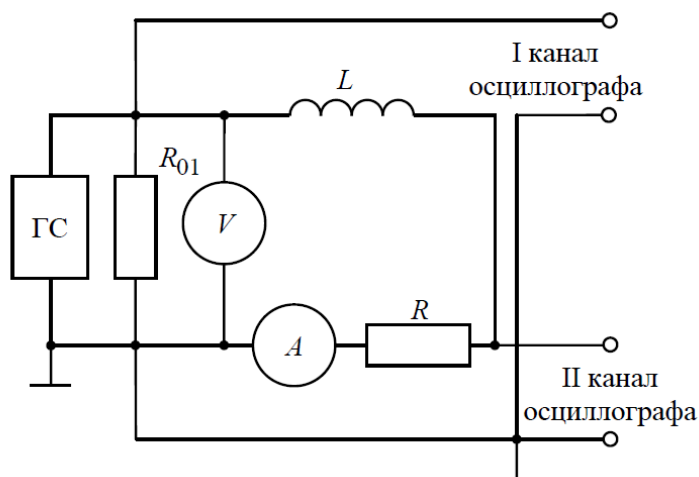


Рис. 5

Полученные данные занесены в табл. 2:

Табл. 2

Устанавливают		Измеряют				Вычисляют		
f, кГц	$U_0$ , В	I, мА	$U_R$ , В	$U_L$ , В	$\varphi_{\text{осц}}$	R, Ом	L, мГн	$\varphi_{\text{ВД}}$
7.5	2	4.609	1.291	1.525	49,36	0,28	7.02	49,75
3.75	2	6.137	1.718	1.015	30.57	0,28	1.75	30,57

Формулы для колонок с вычислениями в табл.2:

$$R = \frac{U_R}{I}$$

$$L = \frac{U_L}{2\pi * f * I}$$

$$\varphi_{ВД} = -\arctg\left(\frac{U_L}{U_R}\right)$$

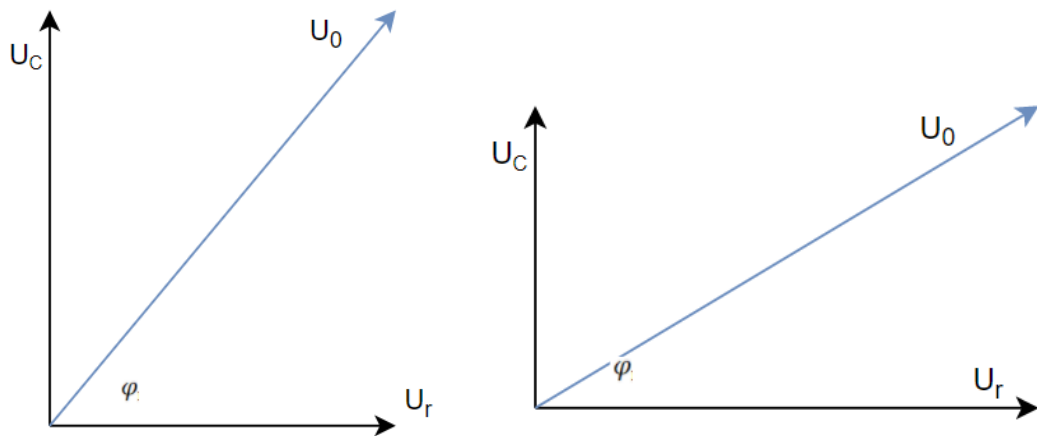


Рис. 6

Вывод: полученные по осциллограмме  $\varphi_{осц}$  и по ВД  $\varphi_{ВД}$  примерно совпадают. Незначительную погрешность можно списать на неточность измерения.

**Вопрос 1: Почему  $U_0 \neq U_R + U_C$ ?**

*Потому что  $U_C$  отстает по фазе на  $\frac{\pi}{2}$  от  $I$ , а  $U_R$  синфазно с током. Напряжения складываются как вектора, а их модули, соответственно, по теореме Пифагора.*

**Вопрос 2. Почему с ростом частоты значения  $I$  и  $U_R$  увеличились, а  $U_C$  и  $|\varphi|$  уменьшились? Изменились ли  $R$  и  $C$ ?**

*Ответ: потому что  $Z_C$  обратно пропорционально частоте, поэтому при увеличении частоты уменьшается  $Z_C$ , что ведёт к уменьшению  $U_C$  и увеличению  $U_R$ , ток  $I$  увеличивается и уменьшается угол  $|\varphi|$  опережения напряжения.  $R$  и  $C$  не изменились, т.к. они константны.*

### Вопрос 3: Почему $U_0 \neq U_R + U_L$ ?

Потому что  $U_L$  обгоняет  $I$  по фазе на  $\frac{\pi}{2}$ , а  $U_R$  синфазно с током. Напряжения складываются как вектора, а их модули, соответственно, по теореме Пифагора.

### Вопрос 4: Почему с уменьшением частоты значения $I$ и $U_R$ увеличились, а $U_L$ и $|\varphi|$ уменьшились? Изменились ли $R$ и $L$ ?

Потому что  $Z_L$  прямо пропорционально частоте, поэтому при уменьшении частоты уменьшается  $Z_L$ , что ведёт к уменьшению  $U_L$  и увеличению  $U_R$ , ток  $I$  увеличивается и уменьшается угол  $|\varphi|$  отставания от напряжения.  $R$  и  $L$  – константы.

### 3. Исследование установившегося синусоидального режима в RLC-цепях.

Соберем схему, показанную на рис. 7.  $U_0 = 2\text{В}$ . Определим точку резонанса  $f = 10\text{ кГц}$ .

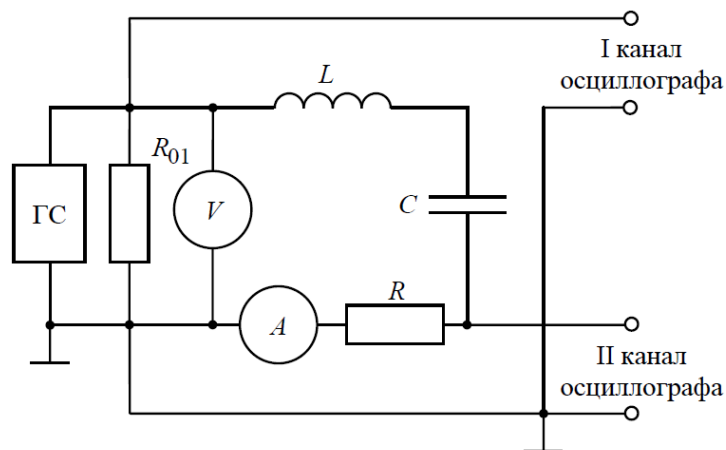


Рис. 7

Полученные данные записаны в табл. 3:

Устанавливают		Измеряют					Вычисляют
f, кГц	$U_0$ , В	I, мА	$U_R$ , В	$U_C$ , В	$U_L$ , В	$\varphi_{\text{осц}}$	$\varphi_{\text{вд}}$
14	2	7.12	1.99	4.37	4.4	0	0,86
28	2	2.06	0.59	0.66	2.55	70.51	72,66
7	2	2.08	0.58	2.56	0.64	-71.81	-73,19

Формулы для столбца вычислений:



$$\varphi_{ВД} = \arctg\left(\frac{U_L - U_C}{U_R}\right)$$

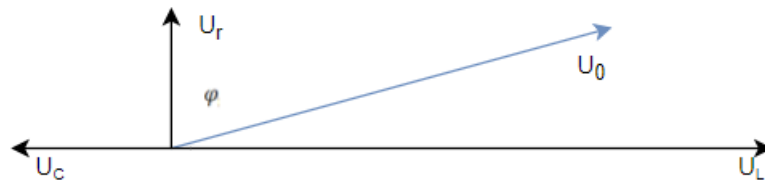


Рис. 8, векторная диаграмма при  $f=7\text{кГц}$

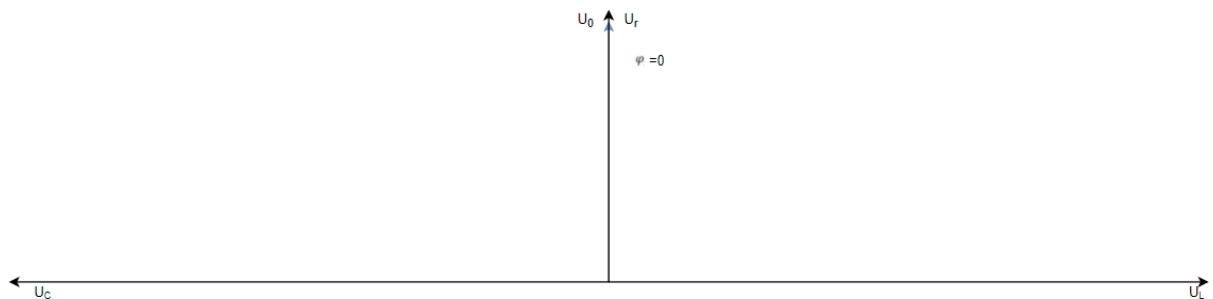


Рис. 9, векторная диаграмма при  $f=14\text{кГц}$

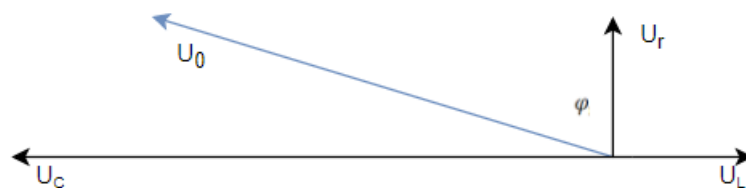


Рис. 10, векторная диаграмма при  $f=28\text{кГц}$

Вывод: полученные по осциллограмме  $\varphi_{осц}$  и по ВД  $\varphi_{ВД}$  примерно совпадают. Незначительную погрешность можно списать на неточность измерения.

**Вопрос 5: Почему  $U_0 \neq U_R + U_L + U_C$ ?**

$U_0 \neq U_R + U_L + U_C$  из-за того, что  $U_C$  отстает по фазе на  $\pi/2$  от  $I$ ,  $U_L$  опережает  $I$  на  $\pi/2$ , а  $U_R$  синфазно с током. Напряжения складываются как вектора, а их модули, соответственно, по теореме Пифагора,  $U_L$  предварительно вычитается из  $U_C$ .

**Вопрос 6:** Почему с ростом частоты значения  $I$ ,  $U_C$ ,  $U_L$ ,  $U_R$  и  $R_C$  уменьшились, а  $R_L$  и  $|\varphi|$  увеличились?

При увеличении частоты емкостное сопротивление уменьшилось, а индуктивное — увеличилось (при уменьшении частоты наоборот). Общее сопротивление  $z = \sqrt{R_2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$  в любом случае возросло, потому что раньше частота была резонансной и разность индуктивного и емкостного сопротивлений была равна 0, по этой же причине возрос  $|\varphi|$  — появилась реактивная составляющая сопротивления, а, следовательно, и напряжения. Значит, уменьшился ток  $i$ , соответственно, напряжение на  $R$ ,  $L$  и  $C$ .

## **Вывод**

В ходе выполнения работы проведено практическое ознакомление с синусоидальными режимами в простых RL-, RC- и RLC- цепях. Рассмотрено явление резонанса и поведение цепи в этом режиме. В ходе работы получены результаты, которые почти совпадают с теорией.