

# МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3.2.1

---

## Сдвиг фаз в цепи переменного тока

---

*Автор:*

Ришат ИСХАКОВ

513 группа

*Преподаватель:*

Александр Александрович

КАЗИМИРОВ

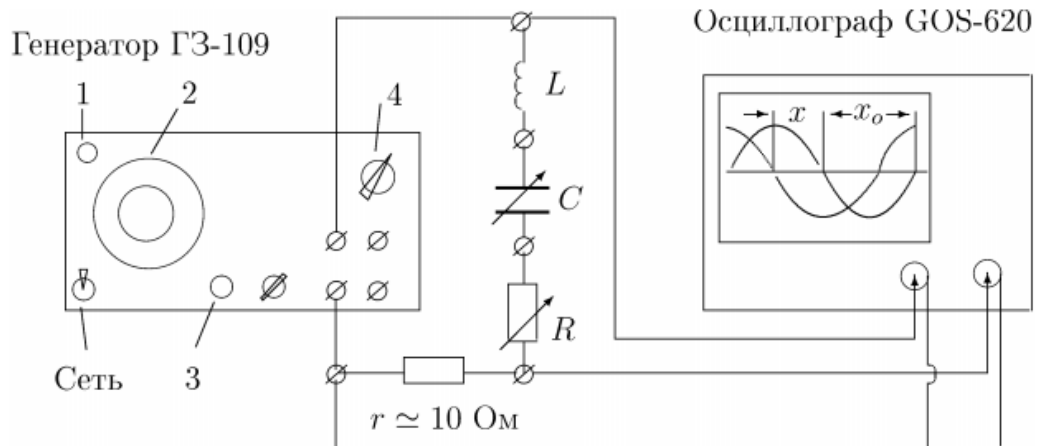


13 января 2017 г.

# 1 Цель работы

Изучить влияние активного сопротивления, индуктивности и емкости на сдвиг фаз между током и напряжением в цепи переменного тока.

## Экспериментальная установка



$$R_L = 50.4 \text{ Ом, при } \nu = 10 \text{ кГц}$$

$$L = 50 \text{ мГн}$$

$$r = 12.2 \text{ Ом}$$

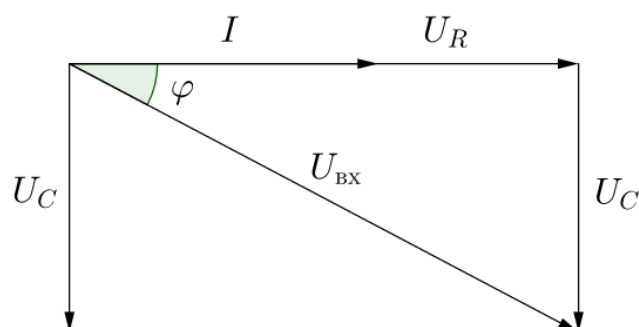
$$C = 0.5 \text{ мкФ}$$

$$\nu = 10 \text{ кГц}$$

## RC-цепь

Ток, текущий через RC цепочку, пропорционален напряжению на резисторе, и опережает напряжение на конденсаторе по фазе на  $\pi/2$ . В таком простом случае метод векторных диаграмм даёт простой результат для зависимости сдвига фаз от  $R$ :

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{\Omega RC}$$



## RL-цепь

Всё аналогично RC цепочке, только импеданс катушки теперь

$$Z_2 = j\omega L,$$

поэтому ток отстаёт по фазе от напряжения, а расчётная формула приобретает вид

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L}{R_{\Sigma}}$$

Теперь к сопротивлению калибровочного резистора и резистора  $R$  добавится активное сопротивление катушки:

$$R_{\Sigma} = R + r + R_L,$$

где  $R_L$  – активное сопротивление катушки.

## RCL-цепь

Комплексный импеданс RCL-цепочки:

$$Z = R + j\omega L - \frac{j}{\omega C}.$$

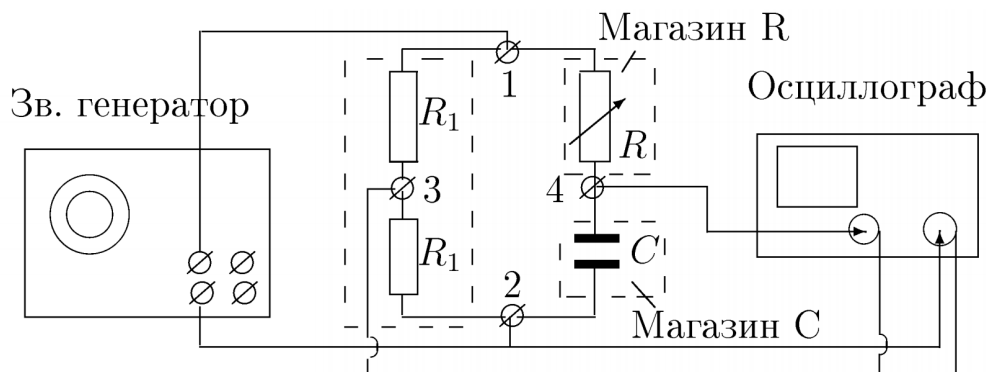
Сдвиг фаз между током и напряжением получим, взяв аргумент  $Z$ :

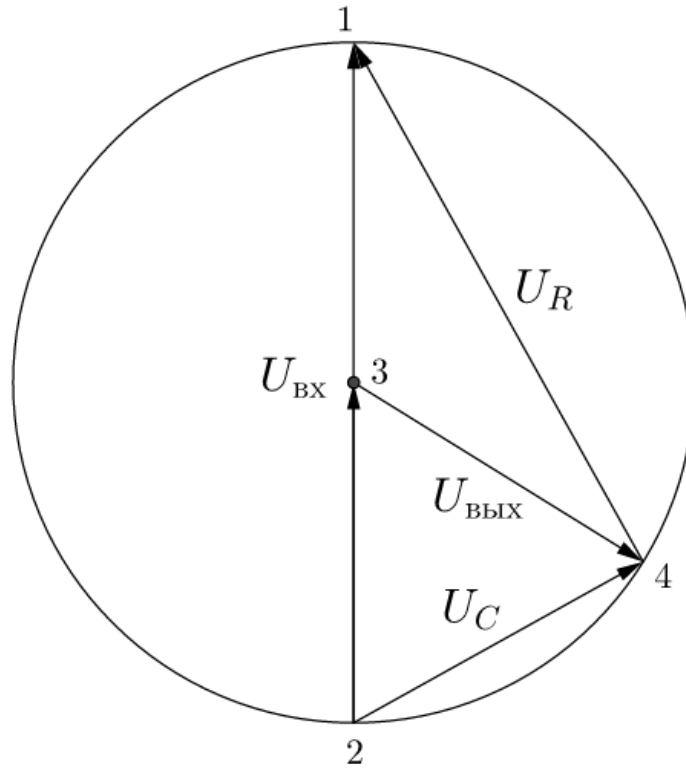
$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} = Q \frac{\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 - 1}{\frac{\omega}{\omega_0}} = Q \frac{(1+x)^2 - 1}{1+x} \simeq 2xQ,$$

где  $x = \Delta\omega/\omega_0 = \Delta\nu/\nu_0$ , и в последнем переходе пренебрегаем квадратичными по  $x$  членами. Измерив ширину графика  $w = 2x$  на высоте  $\varphi = \pi/4$  ( $\operatorname{tg} \varphi = 1$ ), можем непосредственно измерить добротность контура:

$$Q = \frac{1}{w}$$

## Фазовращатель





Разность фаз равна  $\pi/2$ , когда медиана 34 является и высотой, т.е. когда  $\triangle 124$  – равнобедренный, откуда

## 2 Работа и измерения

### РС-цепь

$$X_1 = \frac{1}{2\pi\nu C} = 31.8$$

$R$ , Ом	$x$	$x_0$	$\varphi$	$\text{tg } \varphi$	$R_{\Sigma}$ , Ом	$1/(R_{\Sigma}\Omega C)$
0.0	1.9	5.0	1.2	2.5	12.2	2.6
3.0	1.8	5.0	1.1	2.1	15.2	2.1
5.0	1.7	5.0	1.1	1.8	17.2	1.9
8.0	1.6	5.0	1.0	1.6	20.2	1.6
10.0	1.5	5.0	0.9	1.4	22.2	1.4
20.0	1.2	5.0	0.8	0.9	32.2	1.0
30.0	1.0	5.0	0.6	0.7	42.2	0.8
40.0	0.8	5.0	0.5	0.5	52.2	0.6
50.0	0.7	5.0	0.4	0.5	62.2	0.5
60.0	0.6	5.0	0.4	0.4	72.2	0.4
80.0	0.5	5.0	0.3	0.3	92.2	0.3
110.0	0.4	5.0	0.3	0.3	122.2	0.3
230.0	0.2	5.0	0.1	0.1	242.2	0.1

Таблица 1: Полученные значения в РС-цепи

Найдем погрешности измерения величин:

$$\sigma_{\text{tg } \varphi} = 0.1\pi \sqrt{\left(\frac{1}{x_0 \cos^2\left(\frac{\pi x}{x_0}\right)}\right)^2 + \left(\frac{x}{x_0^2 \cos^2\left(\frac{\pi x}{x_0}\right)}\right)^2}$$

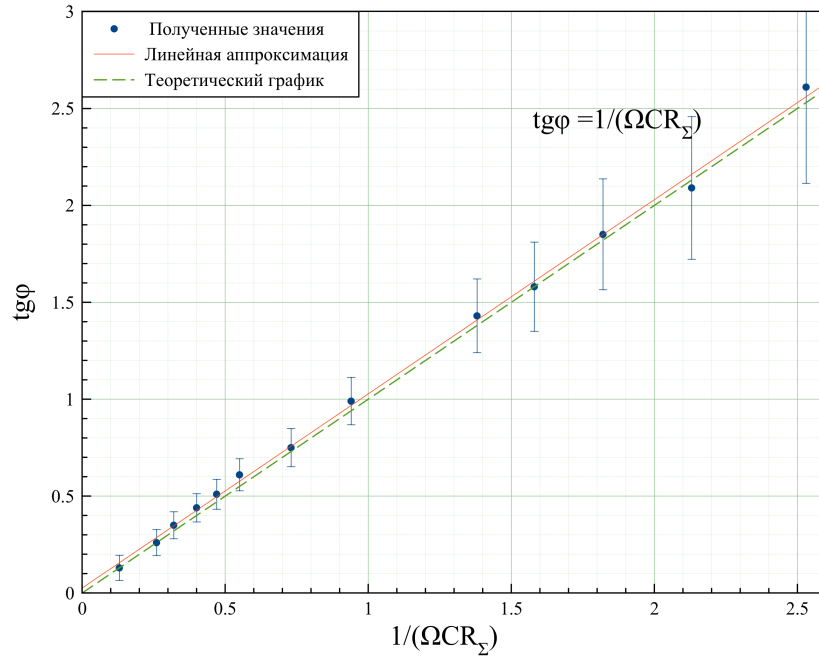


Рис. 1: График зависимости  $\text{tg } \varphi = f[1/\Omega C R_{\Sigma}]$

## RL-цепь

$$X_2 = 2\pi\nu L = 3231.1$$

$R$ , Ом	$x$	$x_0$	$\varphi$	$\text{tg } \varphi$	$R_{\Sigma}$	$\Omega L/R_{\Sigma}$
0.0	2.4	5.0	1.5	15.9	62.6	51.6
400.0	2.2	5.0	1.4	5.2	462.6	7.0
800.0	2.0	5.0	1.3	3.1	862.6	3.7
1200.0	1.8	5.0	1.1	2.1	1262.6	2.6
1600.0	1.6	5.0	1.0	1.6	1662.6	1.9
2000.0	1.4	5.0	0.9	1.2	2062.6	1.6
2400.0	1.3	5.0	0.8	1.1	2462.6	1.3
3000.0	1.1	5.0	0.7	0.8	3062.6	1.1

Таблица 2: Полученные значения в RL-цепи

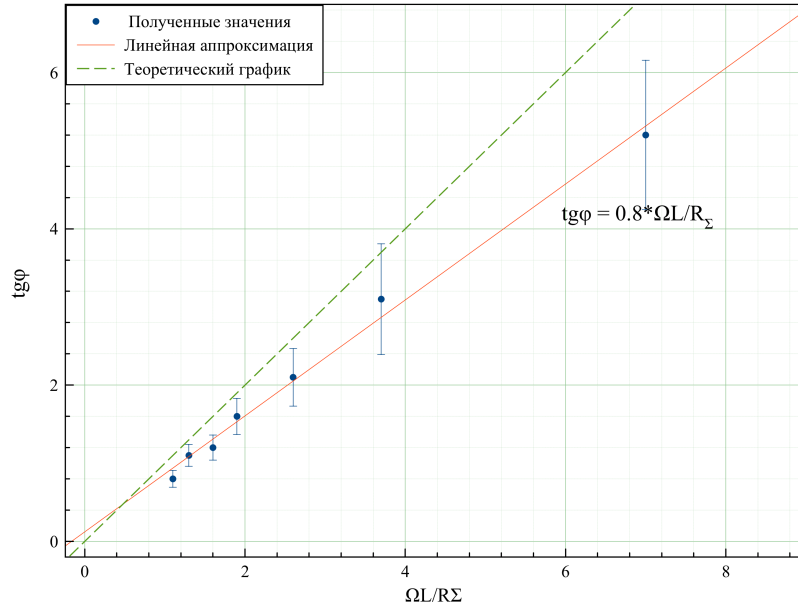


Рис. 2: График зависимости  $\text{tg } \varphi = f[\Omega L / R_{\Sigma}]$

## RCL-цепь

Сопротивление	$\nu$ , кГц	$x_0$	$x$	$\varphi$	$n\nu\nu_0$
$R = 0 \text{ Ом}$	1020.0	2.4	0.2	0.26	1.01
	1040.0	2.0	0.4	0.55	1.03
	1060.0	2.0	0.4	0.63	1.05
	1080.0	2.2	0.6	0.86	1.07
	1100.0	2.0	0.6	0.94	1.09
	1200.0	1.8	0.7	1.22	1.19
	990.0	2.0	0.2	0.31	0.98
	960.0	2.0	0.4	0.63	0.95
	930.0	2.4	0.6	0.79	0.92
	900.0	2.0	0.6	0.94	0.89
	850.0	2.0	0.8	1.26	0.84
$R = 100 \text{ Ом}$	1020.0	4.0	0.1	0.08	1.01
	1040.0	4.0	0.2	0.16	1.03
	1060.0	4.0	0.3	0.24	1.05
	1080.0	4.0	0.4	0.31	1.07
	1100.0	4.0	0.5	0.39	1.09
	1160.0	4.0	0.7	0.55	1.15
	1200.0	4.1	0.9	0.69	1.19
	990.0	4.0	0.2	0.12	0.98
	960.0	3.4	0.2	0.18	0.95
	950.0	4.0	0.3	0.24	0.94
	930.0	3.0	0.4	0.42	0.92
	900.0	4.0	0.6	0.47	0.89
	850.0	4.0	0.8	0.63	0.84

Таблица 3: Полученные значения при изучении зависимости фазы от  $\frac{\nu}{\nu_0}$

$C = 0.5 \text{ мкФ}$ ,  $L = 50 \text{ мГн}$ ,  $\nu_0 = 1006.5 \text{ кГц}$

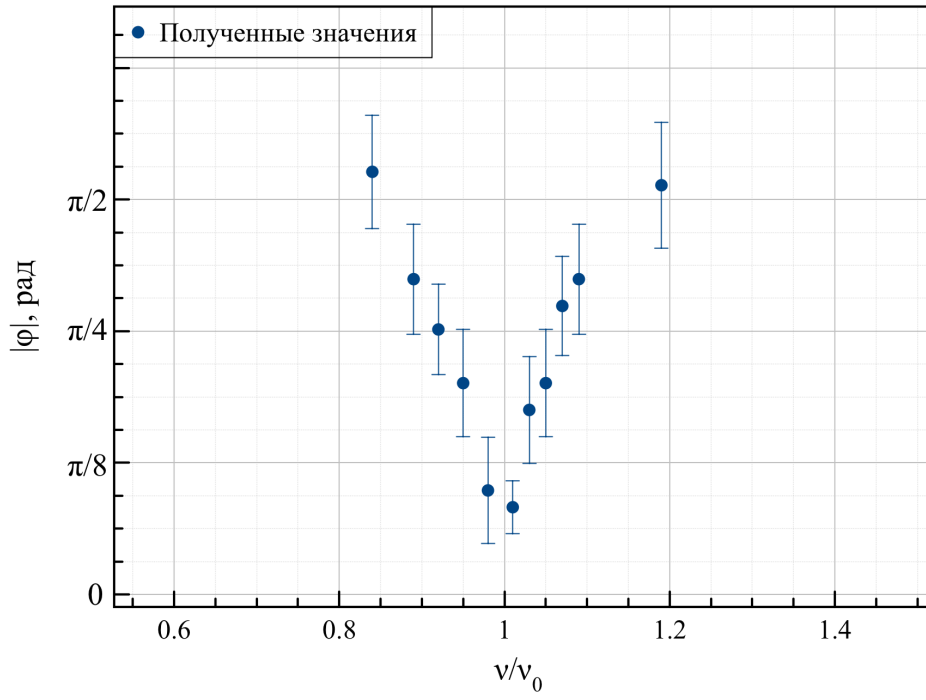


Рис. 3: График зависимости  $\varphi = f[\nu/\nu_0]$  для  $R = 0 \text{ Ом}$

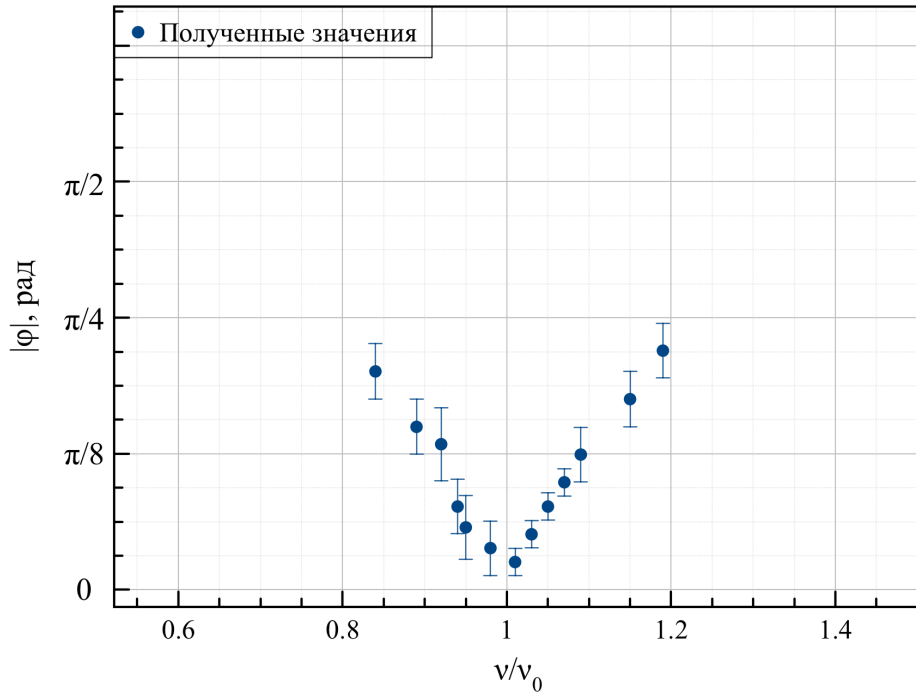


Рис. 4: График зависимости  $\varphi = f[\nu/\nu_0]$  для  $R = 100 \text{ Ом}$

Из графика  $R = 0$  Ом добротность равна:

$$Q_0 = 7 \pm 1$$

Из графика  $R = 100$  Ом добротность равна:

$$Q_{100} = 2 \pm 1$$

Можно рассчитать её, выразив через параметры цепочки:

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$Q_{\text{теор}, 0} = 7.4$$

$$Q_{\text{теор}, 100} = 2.5$$

### 3 Вывод

На данной лабораторной работе была изучена зависимость сдвига фаз между током и напряжением от сопротивления в цепи в RC, RL, контурах. Была определена добротность колебательного контура, снята зависимость сдвига фаз от частоты вблизи резонанса.

Для RC контура практический график довольно точно совпадает с теоретическим, однако в RL контуре значения отличаются на 20%. Ошибка связана с неправильной установкой частоты (10 кГц вместо 1 кГц), вследствие чего изменилось и реактивное сопротивление цепи. Точнее говоря, оно стало настолько большим, что диапазон изменения  $\text{tg } \varphi$  повысился и сильно увеличилась погрешность измерения.

После изменения частоты на 1 кГц при измерении добротности колебательного контура получились достаточно точные значения, теоретические и практические совпали с учетом погрешности.