

**ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ**



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования**

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра общей и технической физики

**Отчет по  
лабораторной работе № 13**

**«ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЕМКОСТЕЙ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА»**

Выполнил: студент гр. РГИ-22

\_\_\_\_\_ (подпись)

/Захаров Н.А./ \_\_\_\_\_ (Ф.И.О.)

Оценка: \_\_\_\_\_

Дата: \_\_\_\_\_

Проверил: \_\_\_\_\_ (должность)

\_\_\_\_\_ (подпись)

\_\_\_\_\_/ (Ф.И.О.)

Санкт-Петербург

2023

**Цель работы:** Определение импеданса, сдвига фаз и измерение емкости на разных частотах в резистивно-емкостной цепи.

**Краткое теоретическое содержание:**

*Переменный ток* – это электрический ток, изменяющийся во времени. В общем понимании к переменному току относят различные виды импульсных, пульсирующих, периодических и квазипериодических токов. В технике под переменным током обычно подразумевают периодические или почти периодические токи переменного направления. Наиболее употребителен переменный ток, сила которого меняется во времени по гармоническому закону.

*Электронный осциллограф* – прибор, позволяющий наблюдать (а в некоторых случаях фотографировать) ход временных электрических процессов с помощью электронно-лучевой трубки, в которой очень узкий пучок электронов используется как карандаш, рисующий изображение.

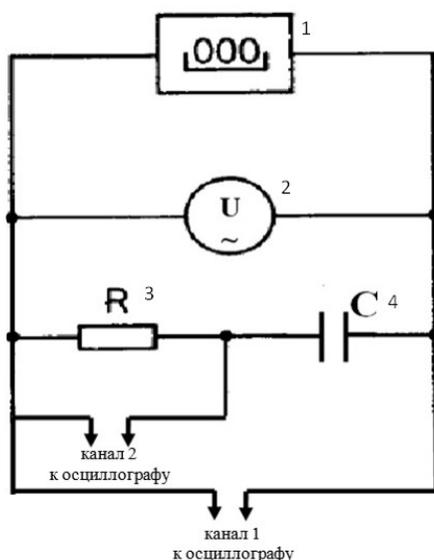
*Электрический импеданс* представляет собой полное (комплексное) сопротивление электрической цепи переменному току.

*Сдвиг фаз* — разность между начальными фазами двух переменных величин, изменяющихся во времени периодически с одинаковой частотой.

**Основные законы и соотношения:**

Полный закон Ома:

**Схема установки**



- 1 – частотомер
- 2 – источник переменного тока
- 3 – резистор
- 4 – конденсатор

## Основные расчетные формулы

1) Емкость конденсатора:

$$C = \frac{I_m}{\omega U_m}, \text{ где} \quad (1)$$

$U_m$  – амплитуда напряжения в резисторе, В  
 $U_m$  – амплитуда выходного напряжения, В  
 $R$  – сопротивление резистора, Ом  
 $f$  – частота, выходного сигнала, Гц

2) Циклическая частота:

$$\omega = 2\pi f, \text{ где} \quad (2)$$

$f$  – частота, выходного сигнала, Гц

3) Полное сопротивление напряжений:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}, \text{ где} \quad (3)$$

$X_C$  – емкостное сопротивление  
 $R$  – сопротивление, Ом

4) Емкостное сопротивление:

$$X_C = \frac{1}{\omega C}, \text{ где} \quad (4)$$

$\omega$  – циклическая частота, Гц  
 $C$  – емкость конденсатор, Ф

5) Фазовый сдвиг (практическое):

$$\varphi = \arctg \frac{X_C}{R}, \text{ где} \quad (5)$$

$T$  – период колебаний, с

6) Амплитудное значение тока:

$$I_m = \frac{U_m}{R}, \text{ где} \quad (6)$$

$U_m$  – амплитудное значение напряжения, В  
 $R$  – сопротивление, Ом

7) Фазовый сдвиг (теоретическое значение):

$$\varphi_{\text{теор}} = \arctg \frac{1}{\omega \cdot R \cdot C}, \text{ где} \quad (7)$$

$R$  – сопротивление, Ом  
 $\omega$  – циклическая частота, Гц  
 $C$  – емкость конденсатор, Ф

### Формулы расчета косвенных погрешностей:

$$\Delta\varphi_{\text{изм}} = \varphi_{\text{изм}} \cdot \left( \frac{\Delta t}{t} + \frac{\Delta T}{T} \right)$$

$$\Delta C_{\text{изм}} = C_{\text{изм}} \cdot \left( \frac{\Delta f}{f} + \frac{\Delta U_{Rm}}{U_{Rm}} + \frac{\Delta U_m}{U_m} \right)$$

### Таблицы:

Таблица 1. Измерение напряжений и емкости в RC- цепи.

|                           |             |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|---------------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| f, кГц                    | 0,1         | 0,2    | 0,3    | 0,4    | 0,5    | 0,6    | 0,7    | 0,8    | 0,9    | 1      |
| U <sub>m</sub>            | 3,0         | 3,0    | 3,0    | 3,0    | 3,0    | 3,0    | 3,0    | 3,0    | 3,0    | 3,0    |
| U <sub>Rm</sub>           | 0,2         | 0,4    | 0,6    | 0,8    | 1,0    | 1,2    | 1,4    | 1,5    | 1,6    | 1,7    |
| C <sub>изм</sub> ,<br>мкФ | 1,06        | 1,07   | 1,08   | 1,10   | 1,13   | 1,16   | 1,20   | 1,15   | 1,12   | 1,10   |
| Z, Ом                     | 1505,5<br>5 | 750,78 | 501,54 | 375,46 | 299,05 | 249,69 | 214,33 | 199,89 | 186,96 | 175,94 |

Таблица 2. Измерение фазового сдвига в RC-цепи.

|                         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| f, кГц                  | 0,05 | 0,1  | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1    |
| t, мс                   | 5,0  | 2,0  | 1,4  | 0,7  | 0,8  | 0,6  | 0,6  | 0,5  | 0,4  | 0,4  | 0,4  |
| T, мс                   | 20,0 | 10,0 | 5,0  | 3,4  | 2,6  | 2,0  | 1,7  | 1,4  | 1,3  | 1,1  | 1,0  |
| φ <sub>изм</sub> , рад  | 1,57 | 1,26 | 1,76 | 1,29 | 1,93 | 1,88 | 2,22 | 2,24 | 1,93 | 2,28 | 2,51 |
| φ <sub>теор</sub> , рад | 1,54 | 1,51 | 1,45 | 1,38 | 1,32 | 1,27 | 1,21 | 1,16 | 1,11 | 1,06 | 1,01 |

### Примеры вычислений:

1)  $\omega = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \text{ Гц} \cdot 10^3 = 628 \text{ Гц}$

2)  $X_c = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot 10^3 \cdot 1,06 \cdot 10^{-6}} = 1502,22 \text{ Ом}$

3)  $Z = \sqrt{100^2 + 1502,22^2} = 1505,54 \text{ Ом}$

4)  $C_{\text{изм}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot \sqrt{\frac{3,35^2}{2,6} - 1}} \cdot 10^6 = 1,06 \text{ мкФ}$

5)  $\varphi_{\text{теор}} = \arctg \frac{1}{628 \cdot 100 \cdot 1,06} \text{ рад} = 1,51 \text{ рад}$

6)  $\varphi_{\text{изм}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{10} = 1,26 \text{ рад}$

### Вычисление погрешностей косвенных измерений:

$$\Delta\varphi_{изм} = 1,51 \cdot \left( \frac{0,01 \cdot 10^{-3}}{0,08 \cdot 10^{-3}} + \frac{0,01 \cdot 10^{-3}}{1,65 \cdot 10^{-3}} \right) = 0,20 \text{ рад}$$

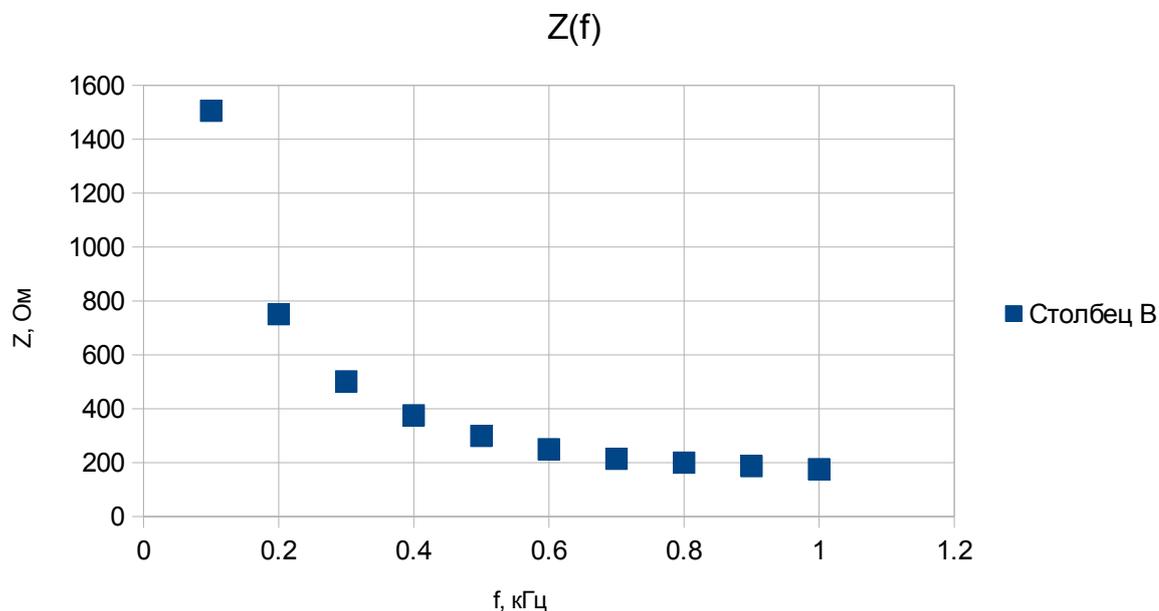
$$\Delta C_{изм} = 1,06 \cdot 10^{-6} \left( \frac{0,001 \cdot 1000}{0,1 \cdot 1000} + \frac{0,1}{2,6} + \frac{0,1}{3,0} \right) = 0,09 \cdot 10^{-6} \Phi$$

$$C = (1,12 \pm 0,09) \text{ мкФ}$$

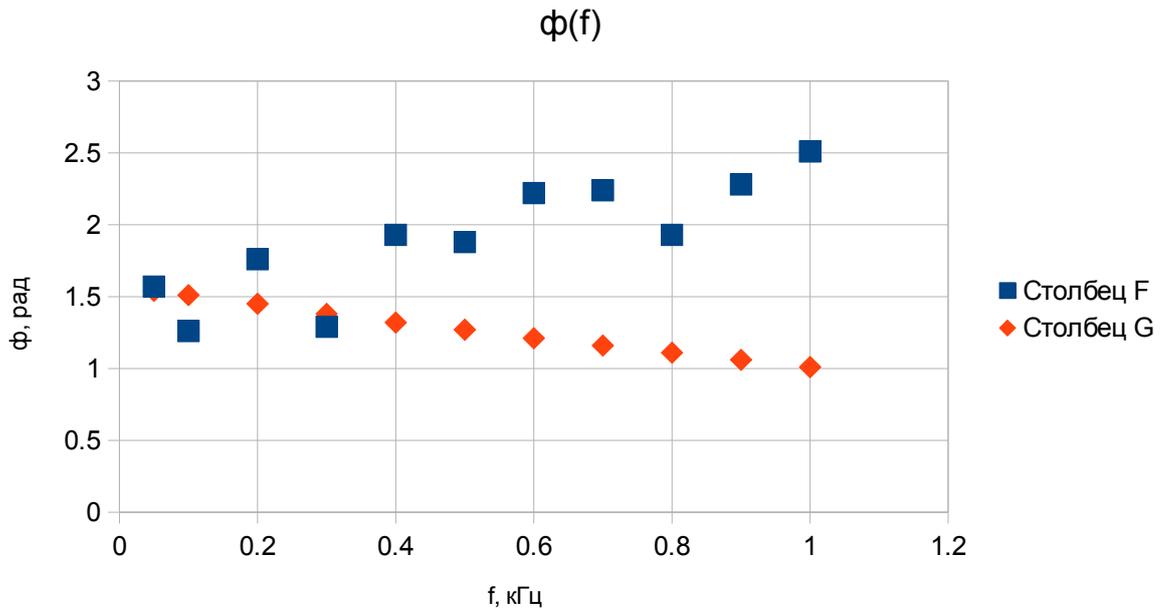
$$\varphi_{изм} = (2,28 \pm 0,20) \text{ рад}$$

### Графический материал:

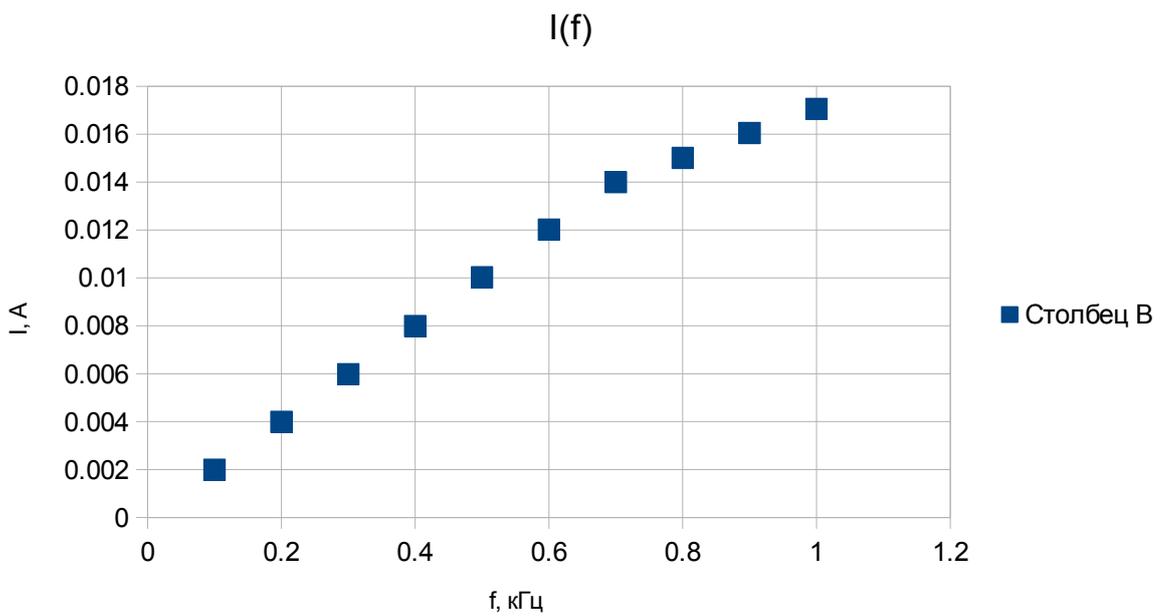
1. Зависимость импеданса  $\Phi$  от частоты переменного тока  $f$



2. Зависимость сдвига фаз  $\Phi$  от частоты переменного тока  $f$



3. Зависимость силы тока  $I$  в цепи от частоты переменного тока  $f$



**Вывод:**

В ходе выполнения данной работы были определены величины и зависимости импеданса, фазо-частотных характеристик и силы тока в резистивно-ёмкостной цепи от частоты переменного тока в цепи. Были получены следующие результаты:

$$C_{cp} = (1,12 \pm 0,09) \text{ мкФ}$$

$$100(C_{cp} - C_{meop})/C_{meop} = 100(1,12 - 1)/1 = 12\%$$