

**Федеральное агентство связи**  
**Ордена Трудового Красного Знамени**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное**  
**учреждение высшего образования**  
**«Московский технический университет связи и информатики»**

Кафедра «Теория электрических цепей»

**Отчет по лабораторной работе №5**  
по дисциплине «Электротехника» на тему:  
«Исследование входных частотных характеристик в RC-цепи»

Выполнил:  
студент группы БВТ-2306  
Кесслер А.С

Москва, 2024

## Цель работы

С помощью программы Micro-Cap исследовать входные амплитудно-частотные (АЧХ) и фазочастотные (ФЧХ) характеристики RC-цепи. Сравнить АЧХ и ФЧХ, полученные с помощью программы Micro-Cap, с аналогичными характеристиками, полученными расчётным путём.

## Задание

1) Рассчитать граничную частоту  $f_{ГР}$  для RC-цепи, схема которой представлена на рисунке 2.1, если  $R_1 = 100 \text{ Ом}$ , а  $C_1 = 219 \text{ нФ}$ .

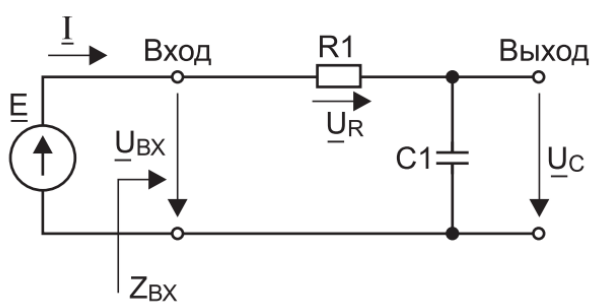


Рисунок 1

2) Рассчитать для RC-цепи отношение  $f/f_{ГР}$ , значение емкостного сопротивления  $X_C$ , модули входного сопротивления  $Z_{BX}$ , аргумента входного сопротивления  $\varphi_Z$ , модули тока в цепи  $I$ , падение напряжения на резисторе  $U_R$  и модули напряжения на конденсаторе  $U_C$ , на частотах  $f = 4, 6, 8, 10, 12, 14 \text{ кГц}$ ,  $E = 0,9 \text{ В}$ .

3) Построить в масштабе графики  $Z_{BX}$ ,  $\varphi_Z$ ,  $X_C$ ,  $I$ ,  $U_R$ ,  $U_C$  в диапазоне частот от 2 до 14 кГц

4) Рассчитать для нагруженной RC-цепи, частоту  $f_m$  при которой фаза  $\varphi_m$  входного сопротивления имеет минимум.

## Выполнение

Комплексное входное сопротивление находится косвенным методом, путём деления комплексного входного напряжения  $\underline{U}_{BX}$  на комплексный входной ток  $\underline{I}$ . С помощью программы Micro-Cap рассчитывается модуль и фаза входного сопротивления.

$$\underline{Z}_{BX} = \frac{\underline{U}_{BX}}{\underline{I}} = Z(\omega)e^{j\varphi_Z(\omega)} = Z(2\pi f)e^{j\varphi_Z(2\pi f)},$$

где  $\underline{U}_{BX}$  — комплексное входное напряжение;

$\underline{I} = \frac{\underline{U}_{BX}}{\underline{Z}_{BX}}$  — комплексный входной ток;

$\underline{U}_R = R\underline{I}$  — комплексное напряжение на резисторе;

$j = \sqrt{-1}$  — мнимая единица;

$\omega = 2\pi f$  — угловая частота;

$f$  — частота;

$|\underline{Z}_{BX}| = Z(2\pi f)$  — модуль комплексного входного сопротивления (АЧХ);

$\arg(\underline{Z}_{BX}) = \varphi_Z(2\pi f)$  — аргумент (фаза) комплексного входного сопротивления (ФЧХ).

$$\begin{aligned}\underline{Z}_{BX} &= \operatorname{Re}(\underline{Z}_{BX}) + j\operatorname{Im}(\underline{Z}_{BX}) = R_1 - jX_C = \sqrt{R_1^2 + X_C^2} \cdot e^{-j\arctg\left(\frac{X_C}{R_1}\right)} = \\ &= R_1 \sqrt{1 + \left(\frac{f_{гр}}{f}\right)^2} \cdot e^{-j\arctg\left(\frac{f_{гр}}{f}\right)},\end{aligned}$$

где  $\operatorname{Re}(\underline{Z}_{BX}) = R_1$  — резистивное входное сопротивление (рано сопротивлению резистора  $R_1$ );

$\operatorname{Im}(\underline{Z}_{BX}) = -X_C$  — реактивное входное сопротивление;

$X_C = \frac{1}{\omega C_1}$  — реактивное сопротивление конденсатора  $C_1$ ;

$f_{гр} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$  — граничная частота RC-цепи.

Для нагруженной RC-цепи:

$$f_m = \frac{1}{2\pi R_2 C_1} \sqrt{1 + \frac{R_2}{R_1}}, \quad \varphi_m^0 = \frac{180^\circ}{\pi} \arctg \left[ \frac{1}{2 \sqrt{\left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2 + \frac{R_1}{R_2}}} \right]$$

Где  $R_2 = 320 \text{ Ом}$  – сопротивление нагрузки.

Таблица предварительного расчета:

По предварительному расчету							
f, кГц	f/f <sub>ГР</sub>	X <sub>C</sub> , Ом	Z <sub>ВХ</sub> , Ом	φ <sub>Z</sub> , град	I, мА	U <sub>R</sub> , В	U <sub>C</sub> , В
4	0,550	181,776	207.4	-61,17	4,822	482,2	876,062
6	0,826	121,184	157.129	-50,46	6,367	636,7	771,139
8	1,101	90,888	135.207	-42,25	7,402	740,2	672,397
10	1,376	72,710	123.634	-36,01	8,089	808,9	587,883
12	1,651	60,592	116.924	-31,2	8,554	855,4	518,018
14	1,927	51,936	112.684	-27,43	8,875	887,5	460,718

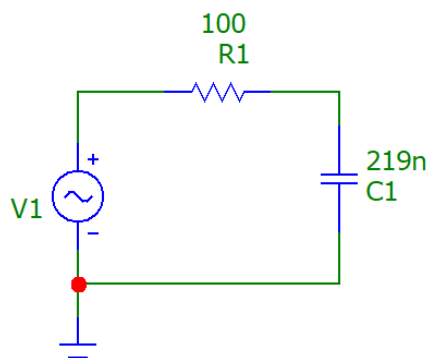


Схема RC-цепи

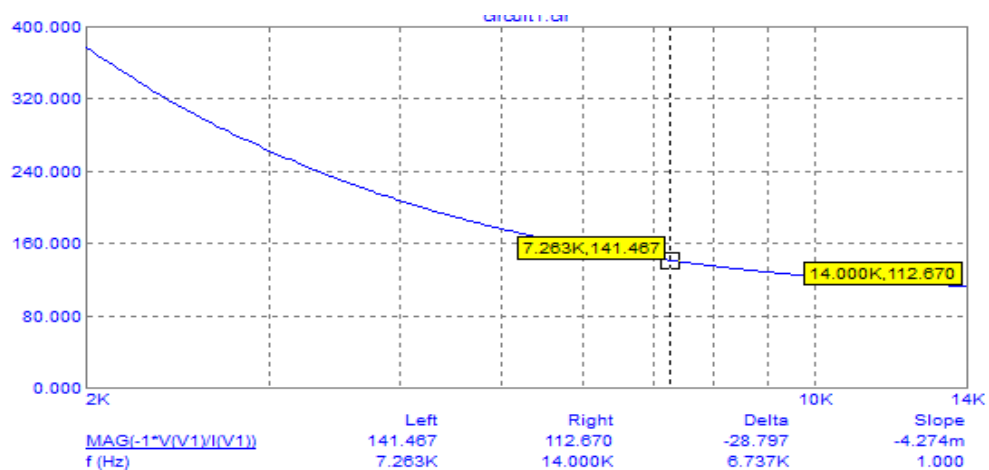


График зависимости модуля входного сопротивления от частоты

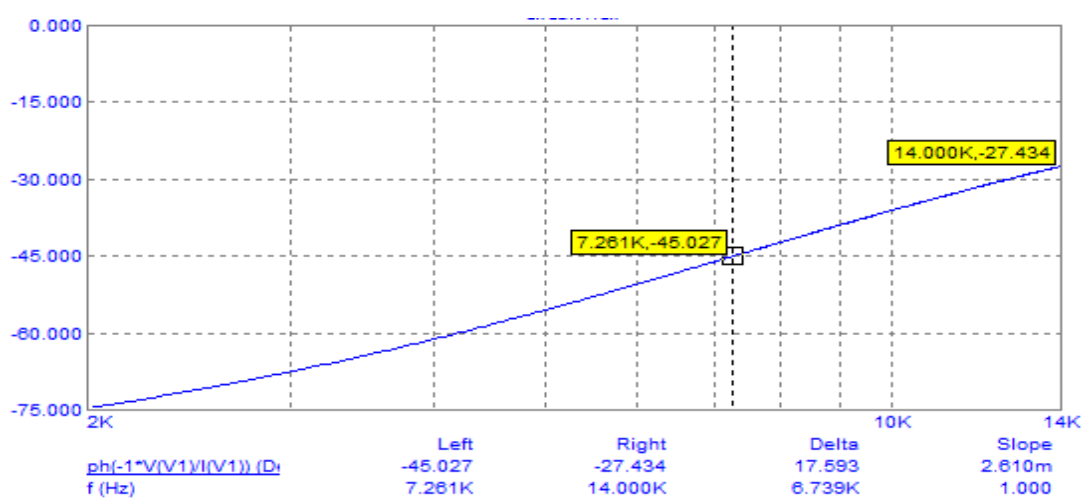


График зависимости фазы входного сопротивления от частоты

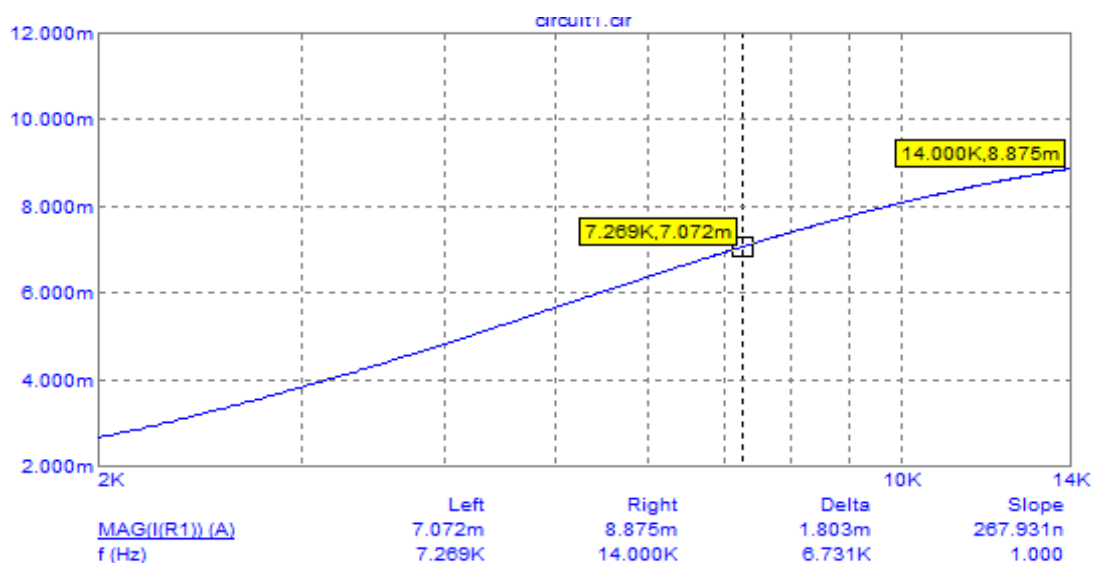


График зависимости силы тока от частоты

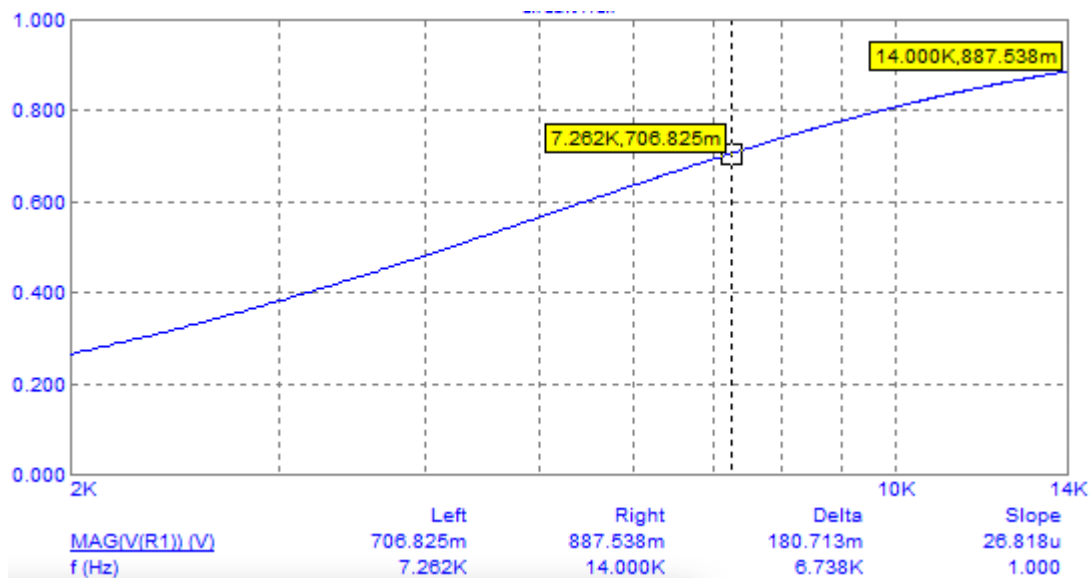


График зависимости напряжения на резисторе от частоты

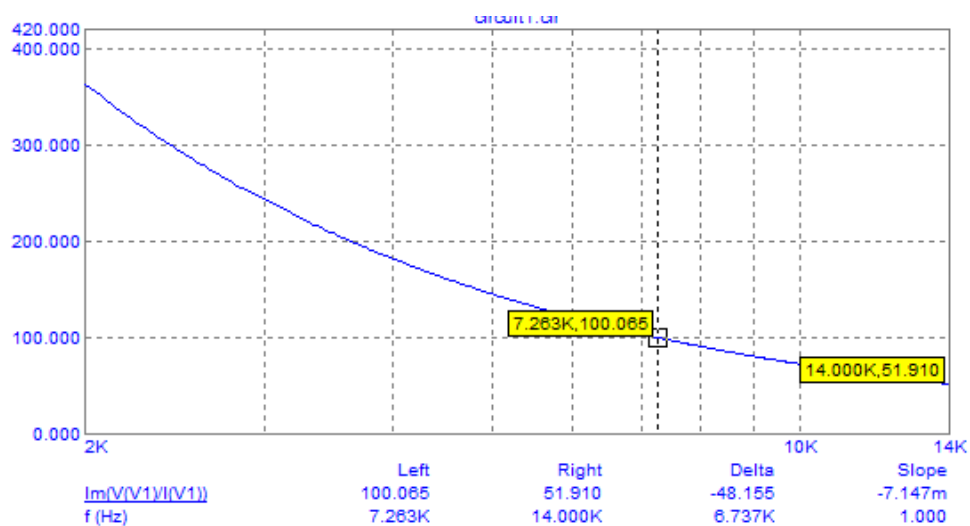


График зависимости реактивного сопротивления от частоты

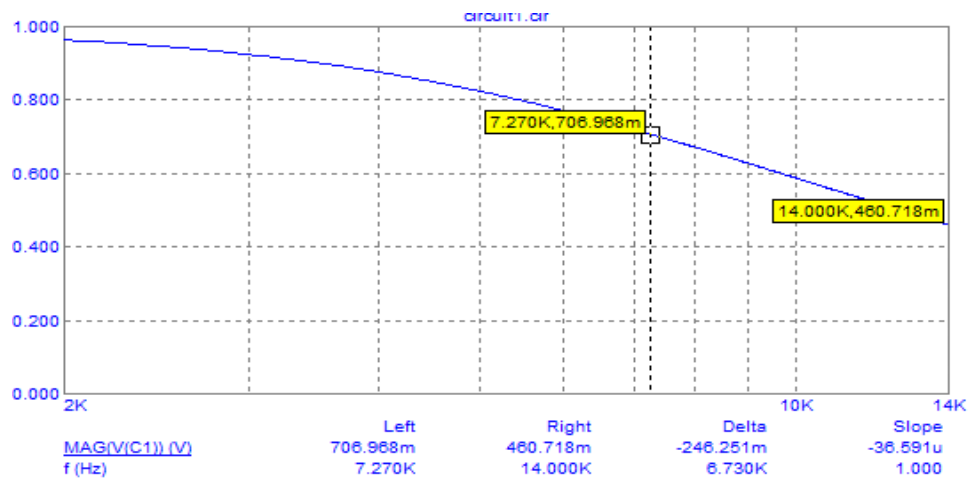


График зависимости напряжения на конденсаторе от частоты

Таблица экспериментального расчета:

Получено экспериментально						
f, кГц	X <sub>C</sub> , Ом	Z <sub>ВХ</sub> , Ом	φ <sub>Z</sub> , град	I, мА	U <sub>R</sub> , В	U <sub>C</sub> , В
4	181,684	207,387	-61,17	4,822	482,192	876,062
6	121,123	157,069	-50,46	6,367	636,660	771,139
8	90,842	135,101	-42,25	7,402	740,184	672,397
10	72,674	123,618	-36,01	8,089	808,938	587,883
12	60,561	116,909	-31,2	8,554	855,361	518,018
14	51,91	112,67	-27,43	8,875	887,538	460,718

Исследование частотных характеристик нагруженной RC-цепи:

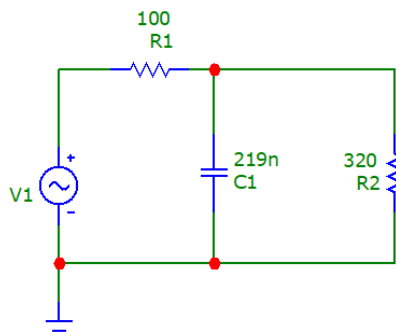


Схема нагруженной RC-цепи

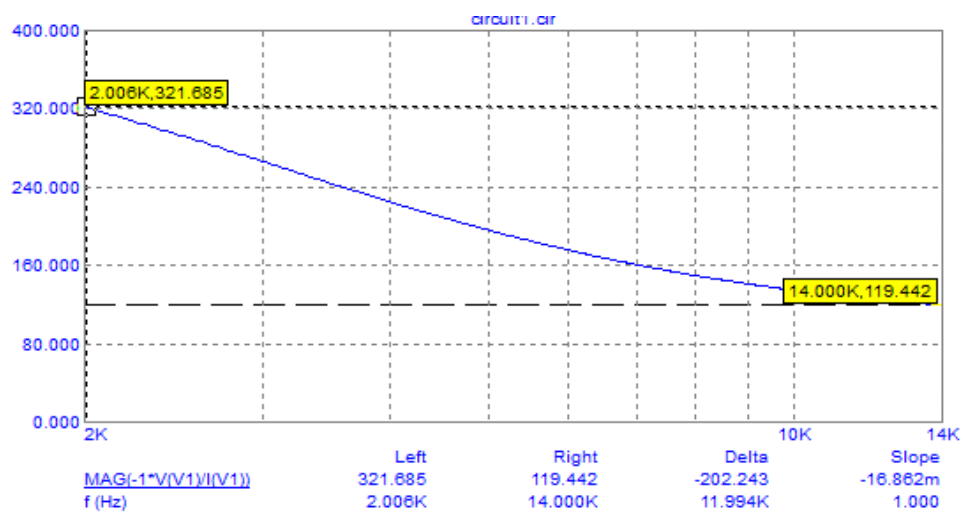


График зависимости модуля входного сопротивления от частоты

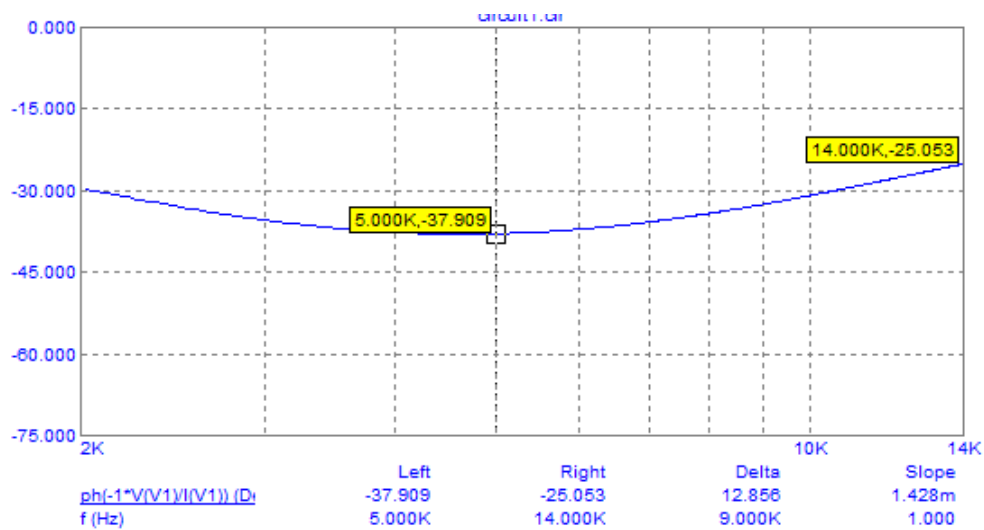


График зависимости фазы входного сопротивления от частоты



Для нагруженной цепи:

$$f_m = \frac{1}{2\pi R_2 C_1} \sqrt{1 + \frac{R_2}{R_1}}, \quad \phi_m^0 = \frac{180^\circ}{\pi} \arctg \left[ \frac{1}{2\sqrt{\left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2 + \frac{R_1}{R_2}}} \right]$$

Таблица нагруженной цепи:

Нагруженная RC-цепь	Предв. расчёт	ЭВМ
$f_m$ , Гц	465,7	119,4
$\phi_m$	-38	-37,9

### **Вопросы для самопроверки:**

1) Какая частота называется граничной для RC-цепи?

Ответ: Граничная частота RC-цепи – частота, при которой модуль реактивного сопротивления равен резистивному сопротивлению

2) Какая частота называется граничной для RL-цепи?

Ответ: Граничная частота RL-цепи – это частота, при которой модуль индуктивного сопротивления равен резистивному сопротивлению.

3) Каково значение модуля входного сопротивления RC-цепи на граничной частоте?

Ответ: Значение модуля входного сопротивления RC-цепи на граничной частоте равно произведению резистивного сопротивления на корень из 2.

4) Каково значение аргумента входного сопротивления RC-цепи на граничной частоте?

Ответ: Значение аргумента входного сопротивления RC-цепи на граничной частоте равно  $-45^\circ$ .

5) К чему стремится модуль входного сопротивления нагруженной на резистор RC-цепи при увеличении частоты?

Ответ: Модуль входного сопротивления нагруженной на резистор RC-цепи стремится при увеличении частоты к R.

6) Чему равен модуль входного сопротивления нагруженной на резистор RC-цепи при частоте равной нулю?

Ответ: Модуль входного сопротивления нагруженной RC-цепи при частоте равной нулю стремится к резистивному сопротивлению ( $R$ )