

Московский государственный технический университет им. Н.Э.  
Баумана  
Факультет «Специальное машиностроение»  
Кафедра «Автономные информационные и управляющие системы»

---

Лабораторная работа №4  
по дисциплине  
«ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЦЕПЕЙ»  
Согласованные режимы работы  
четырехполюсников  
Вариант № 16

Выполнил ст. группы РЛ6-41

Филимонов Степан

Фамилия И.О.

Проверил Копейкин Р.Е.

Оценка в баллах \_\_\_\_\_

Москва, 2022

**Цель работы:** изучить режим работы четырехполюсника при согласованной нагрузке, научиться путем эксперимента подтверждать полученные результаты расчетов характеристических сопротивлений.

**Задание:**

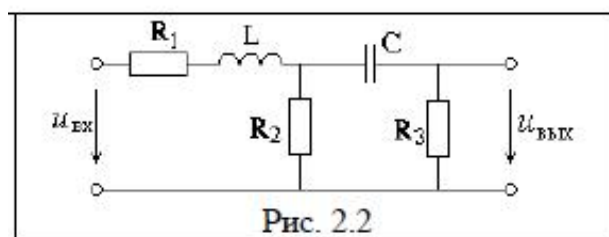
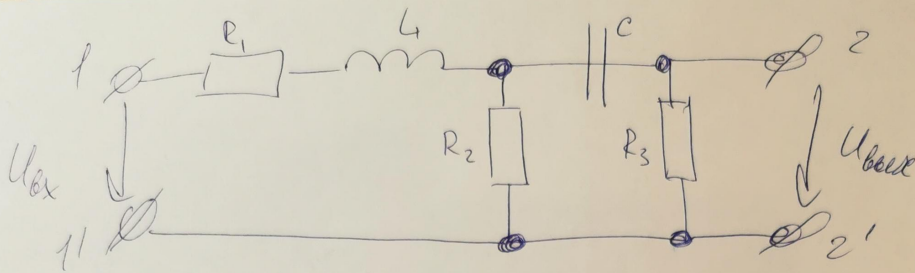


Рис. 8.1. Электрическая схема пассивного четырехполюсника

Параметры цепи:

L, мГн	C, мкФ	R1, Ом	R2, Ом	R3, Ом	Um, В	f, Гц
1	7	4	180	3	36	1600

# Теоретический расчет



$$Z_{1x} = R_1 + jX_L + \frac{R_2(R_3 - jX_C)}{R_2 + R_3 - jX_C} = 4 + j10 + \frac{180(3 - j14,2)}{180 + 3 - j14,2} =$$

$$= 8,01 - 3,656j = 8,805 e^{-j24,53^\circ}$$

$$Z_{1k} = R_1 + jX_L + \frac{R_2 \cdot -jX_C}{R_2 - jX_C} = 4 + j10 + \frac{180 \cdot -j14,2}{180 - j14,2} =$$

$$= 5,113 - 4,112j = 6,56 e^{-j38,810^\circ}$$

$$Z_{2x} = \frac{R_3(R_2 - jX_C)}{R_3 + R_2 - jX_C} = \frac{3(180 - j14,2)}{3 + 180 - j14,2} =$$

$$= 2,95 - 0,0038j = 2,951 e^{-j0,0738^\circ}$$

$$Z_{2k} = \frac{R_3(-jX_C + \frac{R_2(R_1 + jX_L)}{R_2 + R_1 + jX_L})}{R_3 - jX_C + \frac{R_2(R_1 + jX_L)}{R_2 + R_1 + jX_L}} = \frac{3(-j14,2 + \frac{180(4 + j10)}{180 + 4 + j10})}{3 - j14,2 + \frac{180(4 + j10)}{180 + 4 + j10}} =$$

$$= 2,13 - 0,545j = 2,199 e^{-j14,35^\circ}$$

$$Z_{1c} = \sqrt{Z_{1k} \cdot Z_{1x}} = 6,469 - 3,99j = 7,16 e^{-j31,67^\circ} \text{ Ом.}$$

$$Z_{2c} = \sqrt{Z_{2k} \cdot Z_{2x}} = 2,527 - 0,32j = 2,547 e^{-j7,213^\circ} \text{ Ом.}$$

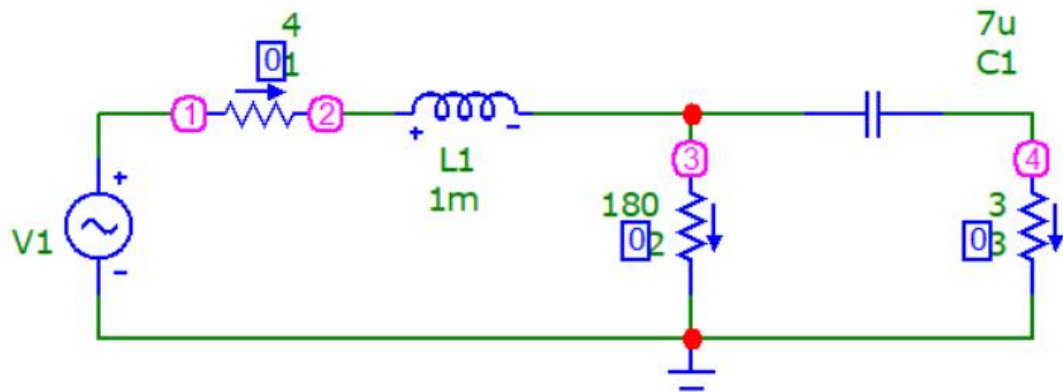


Рис. 8.4. Схема в Microcap

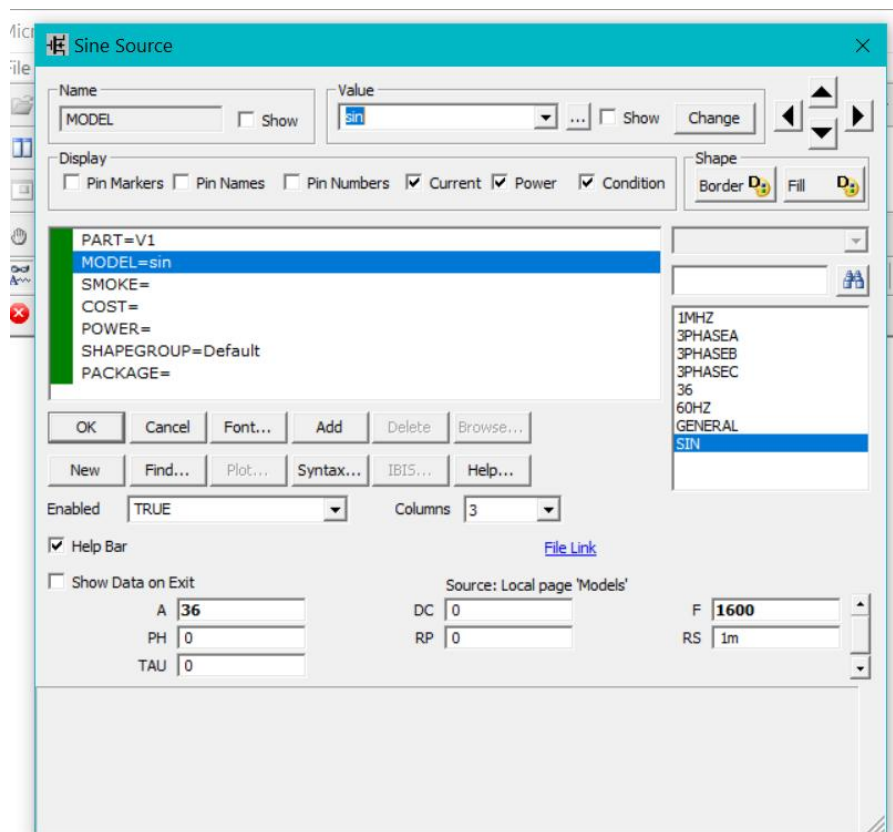
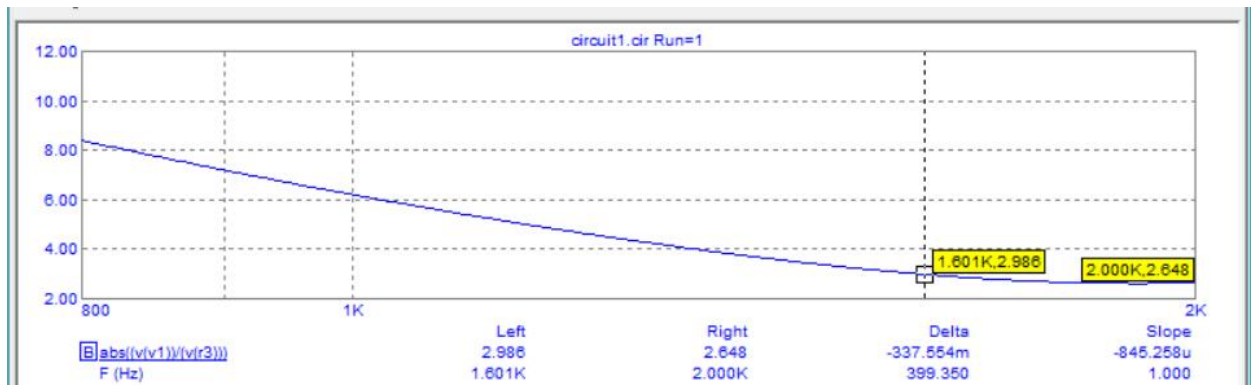


Рис. 8.5. Параметры настройки источника синусоидального напряжения

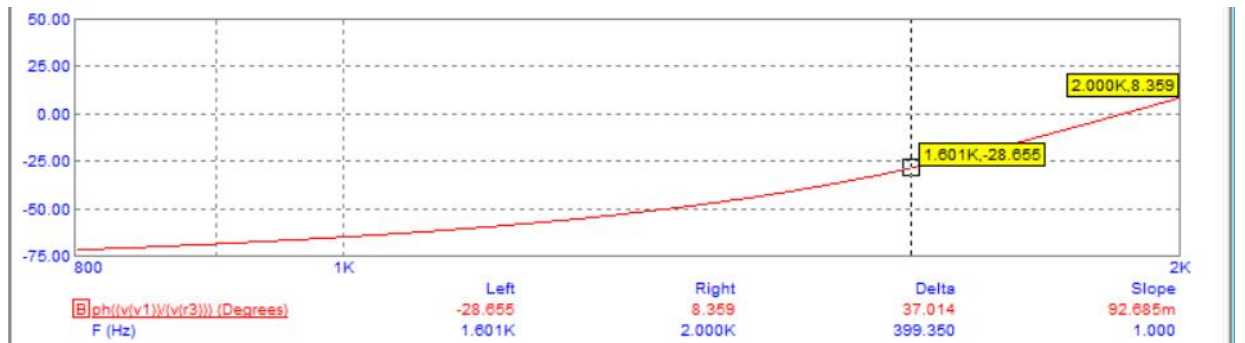
Найдем А-параметры:

1) x-x на 2-2

$$A_{11} = \left( \frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2} \right)_{I_2=0} = \frac{v(V1)}{v(R3)}$$

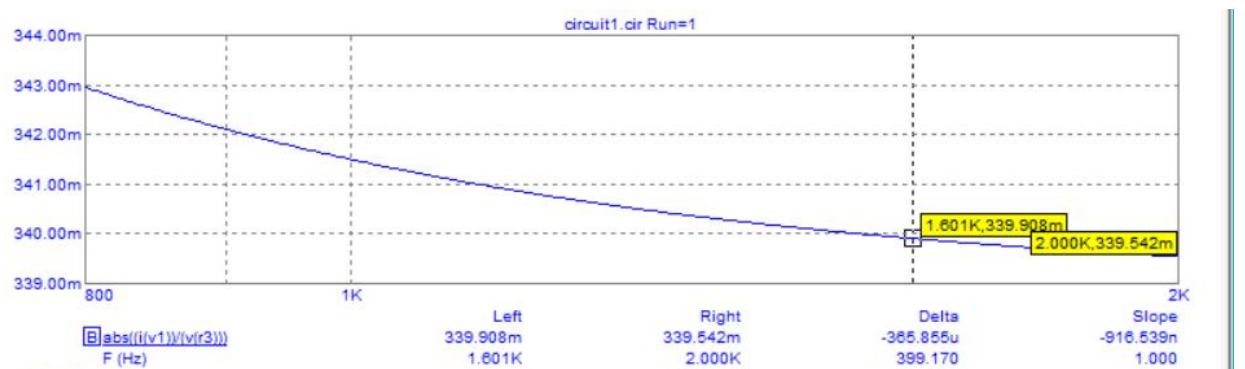


АЧХ



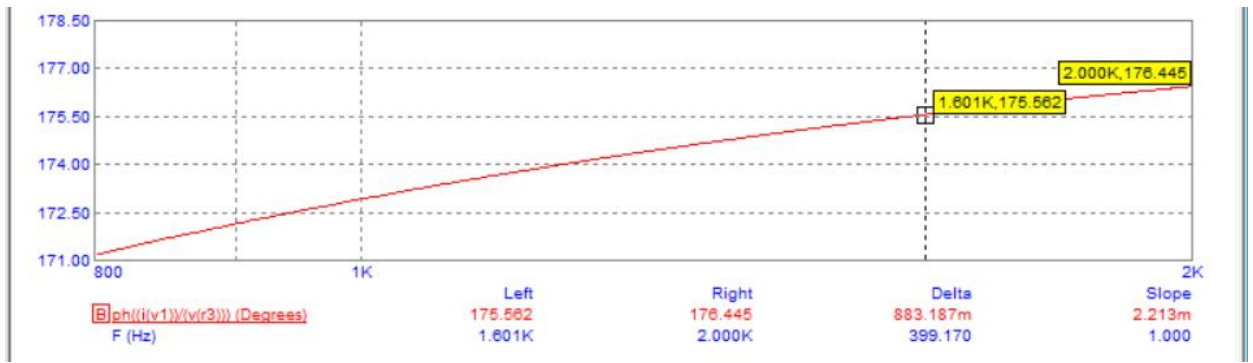
ФЧХ

$$A_{21} = \left( \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_2} \right)_{I_2=0} = \frac{i(V1)}{v(R3)}$$



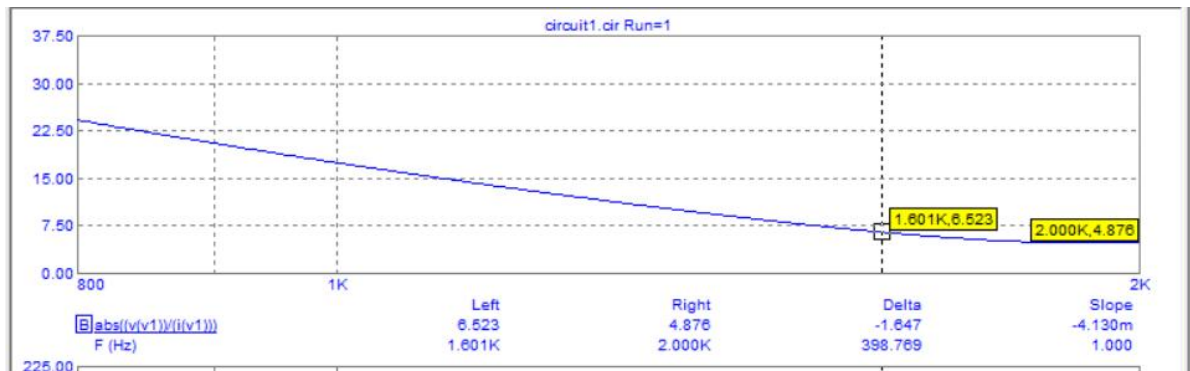
АЧХ

ФЧХ

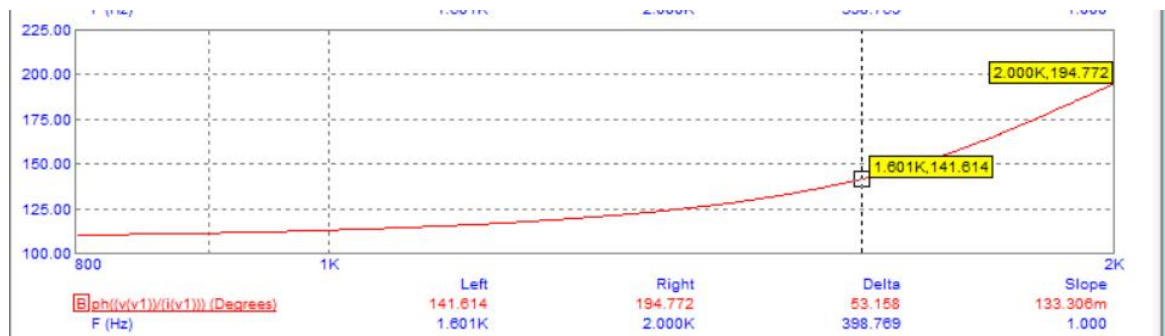


2) кз на 2-2

$$A_{12} = \left( \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_2} \right)_{U_2=0} = \left( \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} \right)_{U_2=0} = \frac{v(V1)}{i(v1)}$$



АЧХ



ФЧХ

$A_{22} = 1$  по определению из-за Г-образной формы четырехполюсника

$$Z_{c1} = \sqrt{\frac{A_{11}A_{12}}{A_{22}A_{21}}} = 7.546e^{-i31,3^\circ}$$

$$Z_{c2} = \sqrt{\frac{A_{22}A_{12}}{A_{11}A_{21}}} = 2.542e^{-i2.650}$$

Таблица 4. Результаты расчетов и измерений первичных параметров

Характеристическое сопротивление четырехполюсника	Расчет		Измерено	
	Модуль	Аргумент (в град)	АЧХ	ФЧХ
$Z_{1c}$	7.6	-31.67	7.54	-31.3
$Z_{2c}$	2.547	-7.213	2.542	-2.65

**Вычисление среднего значения погрешности по модулю и по фазе:**

$$\Delta x_1 = \frac{1}{N} \sum_i^N \Delta x_i$$

Модуль: 0.0325

Фаза: 2.4665

**Выводы:** В ходе лабораторной работы я изучил первичные характеристики и основные уравнения связи пассивных четырехполюсников и с их помощью определил согласованные сопротивления четырехполюсника. Результаты измерений и теоретических расчётов по большей части совпадают. Различия в измерениях и теоретических расчетах фазы  $Z_{c2}$  объяснить не удастся.

### Ответы на контрольные вопросы

1. Q: Что называют входным сопротивлением четырёхполюсника?

A: Отношение напряжения к току при питании четырёхполюсника со стороны первичных (вторичных) выводов и сопротивлении нагрузки на вторичных называется входным сопротивлением четырёхполюсника со стороны первичных (вторичных) выводов.

2. Q: Какое сопротивление называют характеристическим?

A: Входные сопротивления в согласованном режиме называют характеристическими.

3. Q: Чему равно характеристическое сопротивление симметричного четырёхполюсника?

A: Характеристическое сопротивление симметричного

четырёхполюсника будет равно  $\sqrt{\frac{A_{12}}{A_{21}}}$

4. Q: Чему равна постоянная передачи четырёхполюсника?

A: Постоянная передачи четырёхполюсника определяется через отношение произведения напряжения и тока на входе четырёхполюсника к произведению напряжения и тока на его выходе, взятое в логарифмическом масштабе:

$$\underline{\Gamma}_c = \frac{1}{2} \ln \left( \frac{U_1 I_1}{U_2 I_2} \right)$$

5. Q: Что характеризует коэффициент затухания?

A: Коэффициент затухания характеризует амплитуды выходного сигнала относительно входного в  $e$  раз:

$$\frac{U_1}{U_2} = \underline{A} + \sqrt{\underline{B}\underline{C}} = e^\gamma = e^\alpha e^{j\beta}$$

где  $\alpha$  – коэффициент затухания (в неперах),  $\beta$  – коэффициент фазы

6. Q: Чему равен коэффициент фазы?



А: Коэффициент фазы:

$$\beta = \frac{1}{2}(\psi_{u_1} - \psi_{u_2}) + \frac{1}{2}(\psi_{i_1} - \psi_{i_2})$$

где  $\psi_{u_1} - \psi_{u_2}$  – разность фаз входного и выходного напряжений,  $\psi_{i_1} - \psi_{i_2}$  – входного и выходного токов.

7. Q: Чему равны  $chg$  и  $shg$ ?

А: Запишем выражения постоянной передачи через А-параметры:

$$\underline{\Gamma_c} = \ln \left( \sqrt{\frac{A_{11}}{A_{22}}} + \sqrt{\frac{A_{12}}{A_{21}}} \right)$$

Добавим экспоненту справа и слева:

$$e^{\underline{\Gamma_c}} = \sqrt{\frac{A_{11}}{A_{22}}} + \sqrt{\frac{A_{12}}{A_{21}}}$$

$$e^{-\underline{\Gamma_c}} = \sqrt{\frac{A_{11}}{A_{22}}} - \sqrt{\frac{A_{12}}{A_{21}}}$$

Преобразуем с помощью выражений для гиперболических функций:

$$shx = \frac{e^x - e^{-x}}{2} \rightarrow sh\underline{\Gamma_c} = \frac{e^{\underline{\Gamma_c}} - e^{-\underline{\Gamma_c}}}{2} = \frac{\sqrt{\frac{A_{11}}{A_{22}}} + \sqrt{\frac{A_{12}}{A_{21}}} - \sqrt{\frac{A_{11}}{A_{22}}} + \sqrt{\frac{A_{12}}{A_{21}}}}{2} = \sqrt{\frac{A_{12}}{A_{21}}}$$

$$chx = \frac{e^x + e^{-x}}{2} \rightarrow ch\underline{\Gamma_c} = \frac{e^{\underline{\Gamma_c}} + e^{-\underline{\Gamma_c}}}{2} = \frac{\sqrt{\frac{A_{11}}{A_{22}}} + \sqrt{\frac{A_{12}}{A_{21}}} + \sqrt{\frac{A_{11}}{A_{22}}} - \sqrt{\frac{A_{12}}{A_{21}}}}{2} = \sqrt{\frac{A_{11}}{A_{22}}}$$