

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»

Московский институт электроники и математики им. А.Н. Тихонова
Департамент электронной инженерии

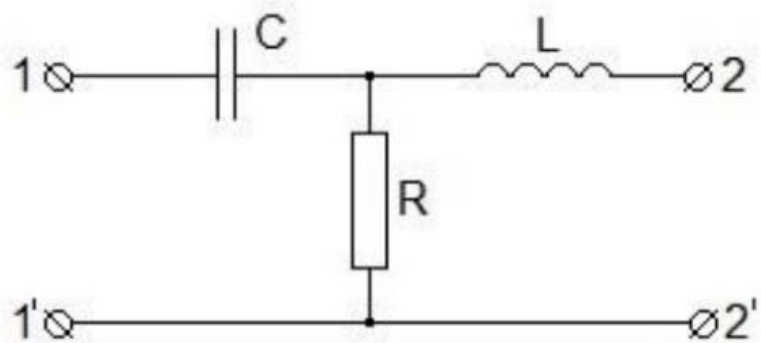
Курс: ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

ОТЧЕТ
ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №4

«ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИК»

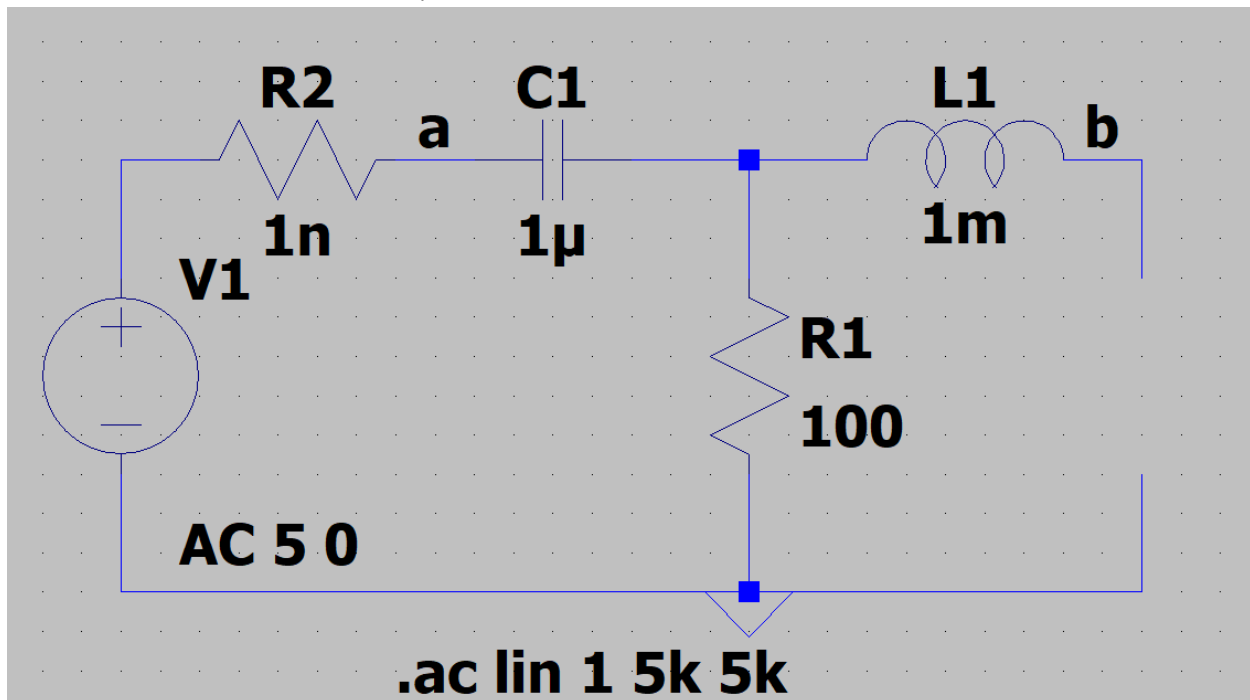
Ефремов Виктор Васильевич
БИТ-203
Бригада 1

Москва
2021



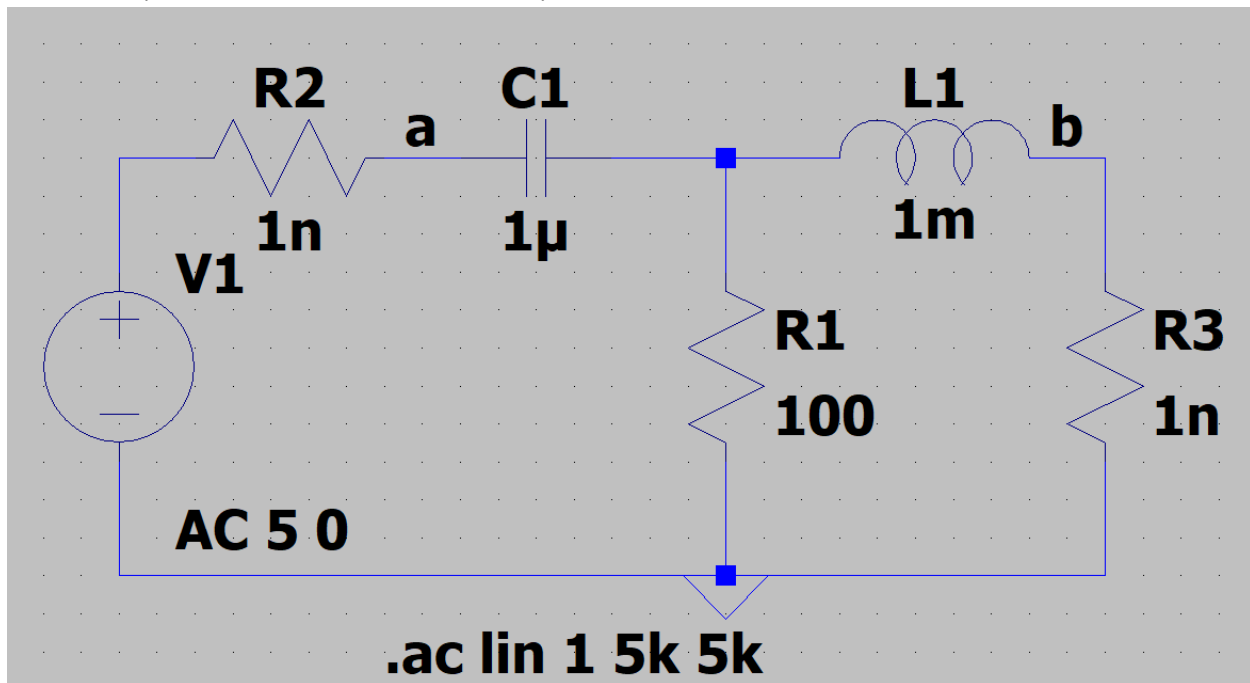
$R=100 \text{ Ом}, C=1 \text{ мкФ}, L=1 \text{ мГн}, f=5 \text{ кГц}.$

Холостой ход на вторичных выводах:



* C:\Users\Wicirellis\Documents\LTspiceXVII\lab_4.asc							
--- AC Analysis ---							
frequency:	5000	Hz					
V(n002) :	mag:	4.76445	phase:	17.6568°	voltage		
V(b) :	mag:	4.76445	phase:	17.6568°	voltage		
V(a) :	mag:	5	phase:	-1.65602e-010°	voltage		
V(n001) :	mag:	5	phase:	-2.54444e-015°	voltage		
I(C1) :	mag:	0.0476445	phase:	-162.343°	device_current		
I(L1) :	mag:	0	phase:	0°	device_current		
I(R2) :	mag:	0.0476446	phase:	17.6567°	device_current		
I(R1) :	mag:	0.0476445	phase:	17.6568°	device_current		
I(V1) :	mag:	0.0476448	phase:	-162.343°	device_current		

Короткое замыкание на вторичных выводах:



* C:\Users\Wicirellis\Documents\LTspiceXVII\lab_4.asc

AC Analysis

frequency:

5000

Hz

V(n002):

mag:

12.2568

phase:

90.7341°

voltage

V(b):

mag:

3.88606e-010

phase:

5.82726°

voltage

V(a):

mag:

5

phase:

-1.85654e-009°

voltage

V(n001):

mag:

5

phase:

0°

voltage

I(C1):

mag:

0.417726

phase:

-157.179°

device_current

I(L1):

mag:

0.388606

phase:

5.82726°

device_current

I(R3):

mag:

0.388606

phase:

5.82726°

device_current

I(R2):

mag:

0.417726

phase:

22.8205°

device_current

I(R1):

mag:

0.122568

phase:

90.7341°

device_current

I(V1):

mag:

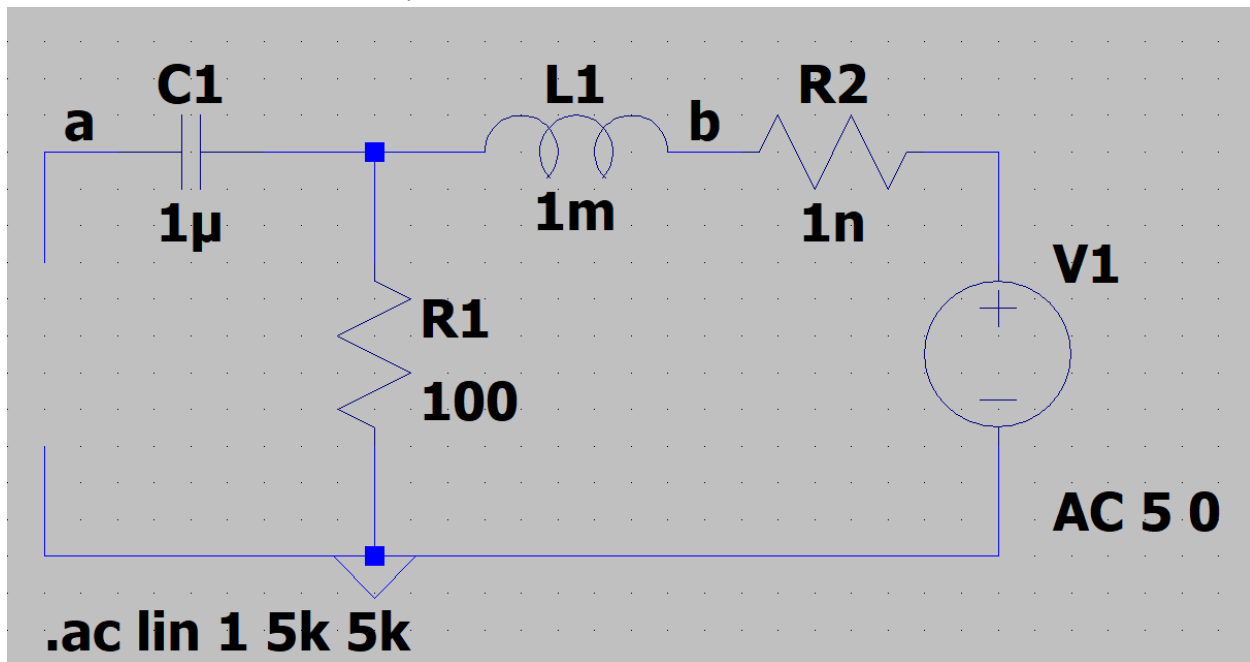
0.417726

phase:

-157.179°

device_current

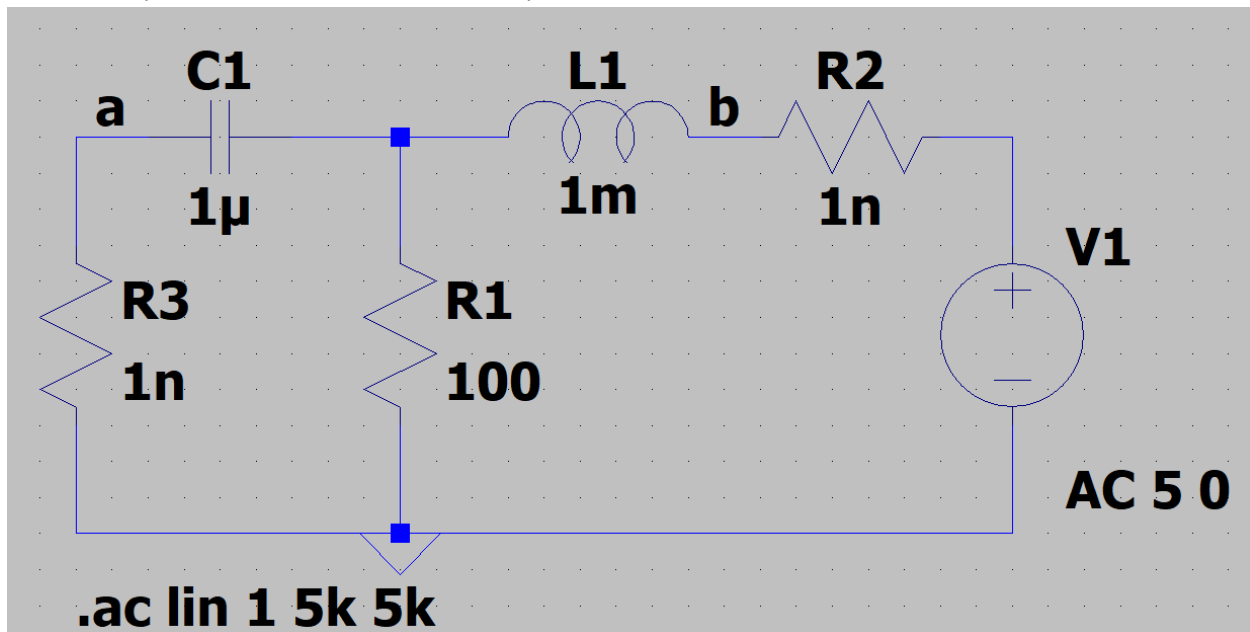
Холостой ход на первичных выводах:



--- AC Analysis ---

frequency:	5000	Hz		
V(n001):	mag:	4.65145	phase:	-16.9933° voltage
V(b):	mag:	5	phase:	1.55779e-010° voltage
V(a):	mag:	4.65145	phase:	-16.9933° voltage
V(n002):	mag:	5	phase:	0° voltage
I(C1):	mag:	0	phase:	0° device_current
I(L1):	mag:	0.0465145	phase:	163.007° device_current
I(R2):	mag:	0.0465144	phase:	-16.9933° device_current
I(R1):	mag:	0.0465145	phase:	-16.9933° device_current
I(V1):	mag:	0.046515	phase:	163.007° device_current

Короткое замыкание на первичных выводах:



* C:\Users\Wicirellis\Documents\LTspiceXVII\lab_4.asc

Входные сопротивления (эксперимент):

Входные сопротивления ищутся как отношение входного напряжения (которое в нашем случае всегда 5В) и входного тока.

$$Z_{1x} = \frac{5}{0.0476446 * e^{j17.6567^\circ}} \approx \mathbf{100 - j31.831}$$

$$Z_{1к} = \frac{5}{0.417726 * e^{j22.8205^\circ}} \approx \mathbf{11.033 - j4.642}$$

$$Z_{2x} = \frac{5}{0.0465144 * e^{-j16.9933^\circ}} \approx \mathbf{102.8 + j31.416}$$

$$Z_{2к} = \frac{5}{0.407818 * e^{-j11.8295^\circ}} \approx \mathbf{12 + j2.513}$$

Входные сопротивления (теория):

Сначала посчитаем комплексные сопротивления элементов схемы. 2.8 Ом в импедансе катушки нужны, т.к. модель в спайсе их учитывает и без них будет заметное расхождение в результатах.

$$Z_C = \frac{1}{j2\pi fC} = \frac{1}{j * 2 * 3.14159256 * 5 * 10^3 * 10^{-6}} \approx -j31.831$$

$$Z_R = R = 100$$

$$Z_L = 2.8 + j2\pi fL = 2.8 + j * 2 * 3.14159256 * 5 * 10^3 * 10^{-3} \approx 2.8 + j31.416$$

$$Z_{1x} = Z_C + R = -j31.831 + 100 \approx \mathbf{100 - j31.831}$$

$$Z_{1к} = Z_C + (R || Z_L) = Z_C + \frac{R * Z_L}{R + Z_L} = -j31.831 + \frac{100 * (2.8 + j31.416)}{100 + 2.8 + j31.416} \approx \mathbf{11.033 - j4.642}$$

$$= 11.970 * e^{-j22.820^\circ}$$

$$Z_{2x} = Z_L + R = 2.8 + j31.416 + 100 \approx \mathbf{102.8 + j31.416}$$

$$Z_{2к} = Z_L + (R || Z_C) = Z_L + \frac{R * Z_C}{R + Z_C} = 2.8 + j31.416 + \frac{100 * (-j31.831)}{100 - j31.831} \approx \mathbf{12 + j2.513}$$

Можно видеть, что с хорошей точностью расчеты совпадают с моделированием спайса.

Первичные параметры (эксперимент):

Будем считать А-параметры. Они определяются системой:

$$U_1 = A_{11}U_2 + A_{12}I_2$$

$$I_1 = A_{21}U_2 + A_{22}I_2$$

Расчет по результатам моделирования:

В случае холостого хода $I_2 = 0$, откуда

$$A_{11} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{5}{4.76445 * e^{j17.6568^\circ}} \approx \mathbf{1 - j0.318}$$

$$A_{21} = \frac{I_1}{U_2} = \frac{0.0476446 * e^{j17.6567^\circ}}{4.76445 * e^{j17.6568^\circ}} \approx \mathbf{0.01}$$

В случае короткого замыкания $U_2 = 0$, откуда

$$A_{12} = \frac{U_1}{I_2} = \frac{5}{0.388606 * e^{j5.82726^\circ}} \approx \mathbf{12.8 - j1.306}$$

$$A_{22} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{0.417726 * e^{j22.8205^\circ}}{0.388606 * e^{j5.82726^\circ}} \approx \mathbf{1.028 + j0.314}$$

Первичные параметры (теория):

Холостой ход на вторичных выводах:

$$A_{11} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{U_1}{I_1 * Z_R} = \frac{Z_{1x}}{Z_R} = \frac{Z_C + Z_R}{Z_R} = 1 + \frac{Z_C}{Z_R} \approx \mathbf{1 - j0.318}$$

$$A_{21} = \frac{I_1}{U_2} = \frac{I_1}{I_1 * Z_R} = \frac{1}{Z_R} \approx \mathbf{0.01}$$

Короткое замыкание на вторичных выводах:

$$A_{12} = \frac{U_1}{I_2} = \frac{U_1}{I_1 * \frac{Z_R}{Z_R + Z_L}} = \frac{U_1}{\frac{U_1}{Z_C + \frac{Z_R Z_L}{Z_R + Z_L}} * \frac{Z_R}{Z_R + Z_L}} = \frac{Z_C(Z_R + Z_L) + Z_R Z_L}{Z_R} = Z_C + Z_L + \frac{Z_C Z_L}{Z_R} \approx \mathbf{12.8 - j1.306}$$

$$A_{22} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{I_1}{I_1 * \frac{Z_R}{Z_R + Z_L}} = \frac{Z_R + Z_L}{Z_R} = 1 + \frac{Z_L}{Z_R} \approx \mathbf{1.028 + j0.314}$$

Здесь так же все с хорошей точностью совпадает.