

Основы электротехники

Отчёт по лабораторной работе №3

Исследование линейных двухполюсников в электрических цепях однофазного синусоидального тока

Группа *P3331*
Вариант *29*

Выполнил: *Нодири Хисравхон*

Дата сдачи отчёта: *06.11.2024* / см. 07.11.2024г

Дата защиты: *08.11.2024*

Контрольный срок защиты: 23.10.2024

Количество баллов:

Содержание

Цель работы	2
Часть 1	2
1.1 Введение	2
1.2 Параметры элементов исследуемых схем	2
1.3 Общие расчёты	2
1.4 Двухполюсник 1	3
1.4.1 Схема исследуемой цепи	3
1.4.2 Расчётные формулы и расчёты	3
1.4.3 Вектора входного напряжения и тока	4
1.5 Двухполюсник 2	4
1.5.1 Схема исследуемой цепи	4
1.5.2 Расчётные формулы и расчёты	5
1.5.3 Вектора входного напряжения и тока	5
1.6 Двухполюсник 3	5
1.6.1 Схема исследуемой цепи	5
1.6.2 Расчётные формулы и расчёты	6
1.6.3 Вектора входного напряжения и тока	6
1.7 Двухполюсник 4	7
1.7.1 Схема исследуемой цепи	7
1.7.2 Расчётные формулы и расчёты	7
1.7.3 Вектора входного напряжения и тока	8
1.8 Двухполюсник 5	9
1.8.1 Схема исследуемой цепи	9
1.8.2 Расчётные формулы и расчёты	9
1.8.3 Вектора входного напряжения и тока	10
1.9 Двухполюсник 6	11
1.9.1 Схема исследуемой цепи	11
1.9.2 Расчётные формулы и расчёты	11
1.9.3 Вектора входного напряжения и тока	12
1.10 Двухполюсник 7	13
1.10.1 Схема исследуемой цепи	13
1.10.2 Расчётные формулы и расчёты	13
1.10.3 Вектора входного напряжения и тока	13
1.11 Двухполюсник 8	15
1.11.1 Схема исследуемой цепи	15
1.11.2 Расчётные формулы и расчёты	15
1.11.3 Вектора входного напряжения и тока	15
1.12 Двухполюсник 9	17
1.12.1 Схема исследуемой цепи	17
1.12.2 Расчётные формулы и расчёты	17
1.12.3 Вектора входного напряжения и тока	18
1.13 Заполненная таблица 2.2	18
1.14 Выводы	19

Цель работы

Исследование свойств линейных цепей синусоидального тока, а также особых режимов работы, таких как резонанс напряжений и токов.

Часть 1

1.1 Введение

В данной части лабораторной работы произведены измерения действующих значений входного напряжения, тока и фазового сдвига между ними для девяти различных двухполюсников, а также произведены сравнения результатов с расчётными значениями.

1.2 Параметры элементов исследуемых схем

1. Расчёт амплитуды синусоидального напряжения:

$$U_{max} = U_d \cdot \sqrt{2} = 14 \cdot \sqrt{2} = 19.799 \text{ В}$$

2. Известные значения:

$$U_d = 14 \text{ В}, \quad \psi_n = 0^\circ, \quad f = 397.887 \text{ Гц}, \quad R_1 = 25 \text{ Ом}, \quad R_k = 15 \text{ Ом} \\ L_k = 2.798 \text{ мГн}, \quad C = 27.713 \text{ мкФ}$$

1.3 Общие расчёты

1. Угловая частота:

$$\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3.1416 \cdot 397.887 \approx 2500 \text{ рад/с}$$

2. Реактивная составляющая сопротивления ёмкостного элемента:

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2500 \cdot 27.713 \cdot 10^{-6}} \approx 14.4 \text{ Ом}$$

3. Реактивная составляющая сопротивления индуктивного элемента:

$$X_L = \omega L = 2500 \cdot 2.798 \cdot 10^{-3} \approx 6.995 \text{ Ом}$$

4. Реактивная проводимость ёмкостного элемента:

$$B_c = \omega C = 2500 \cdot 27.713 \cdot 10^{-6} = 0.0693 \text{ См}$$

5. Реактивная проводимость индуктивного элемента:

$$B_k = \frac{X_L}{R_k^2 + X_L^2} = \frac{6.995}{15^2 + (6.995)^2} \approx 0.0267 \text{ См}$$

1.4 Двухполюсник 1

1.4.1 Схема исследуемой цепи

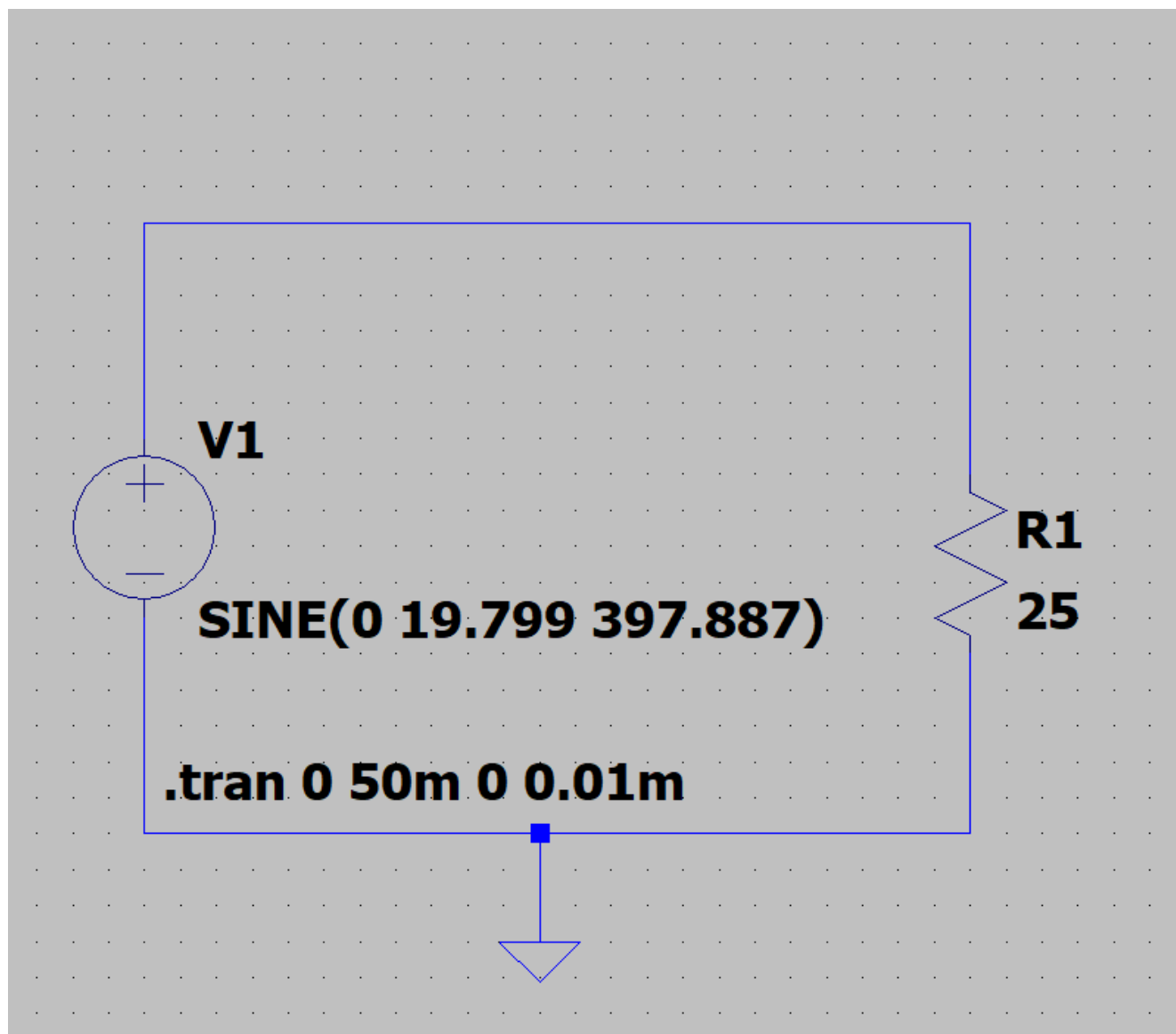


Рис. 1: Схема замещения Двухполюсника 1 в LTspice.

1.4.2 Расчётные формулы и расчёты

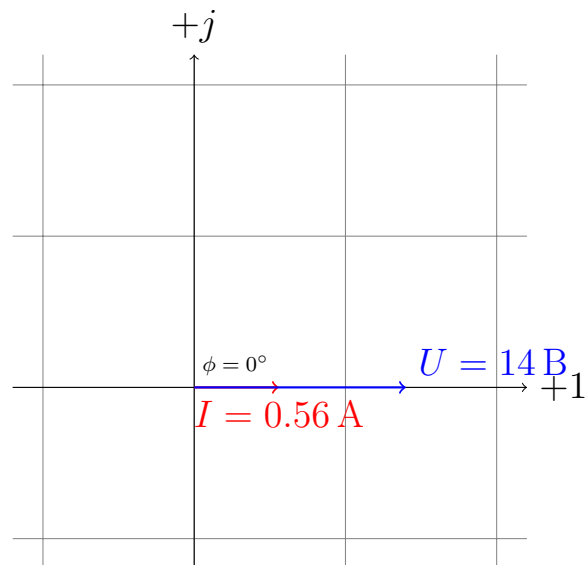
1. Расчёт действующего тока в цепи:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X^2}}$$
$$X = 0, R = R_1 \implies I = \frac{U}{R_1} = \frac{14}{25} = 0.56 \text{ A}$$

2. Расчёт фазового сдвига:

$$\phi = \arctan\left(\frac{0}{R_1}\right) = 0^\circ$$

1.4.3 Вектора входного напряжения и тока



1.5 Двухполюсник 2

1.5.1 Схема исследуемой цепи

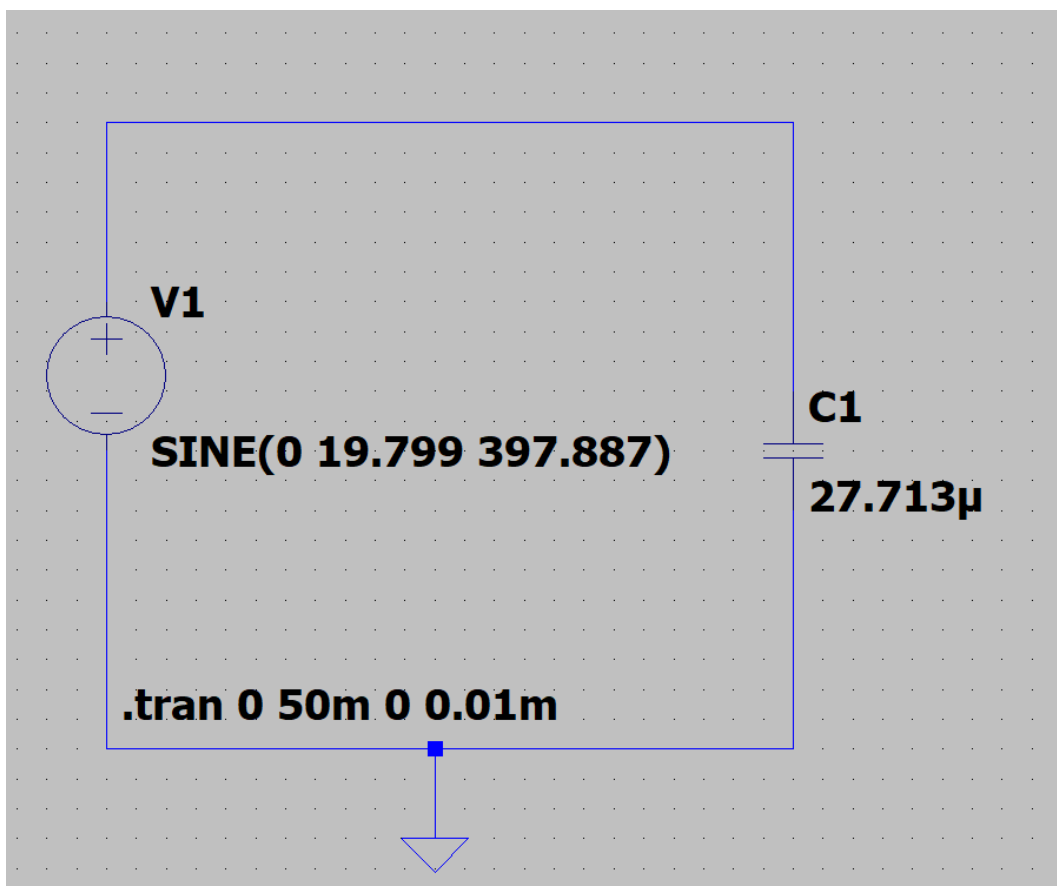


Рис. 2: Схема замещения Двухполюсника 2 в LTspice.

1.5.2 Расчётные формулы и расчёты

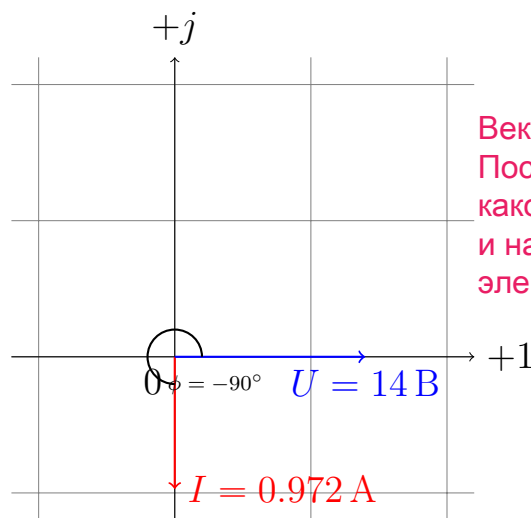
1. Расчёт действующего тока в цепи:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X^2}}$$
$$X = -X_C, R = 0 \implies I = \frac{U}{X_C} = \frac{14}{14.4} \approx 0.972 \text{ A}$$

2. Расчёт фазового сдвига:

$$\phi = \arctan(-\infty) = -90^\circ$$

1.5.3 Вектора входного напряжения и тока



Вектор тока построен неверно. Посмотрите в файле "лекция03", каково расположение векторов тока и напряжения у емкостного элемента.

1.6 Двухполюсник 3

1.6.1 Схема исследуемой цепи

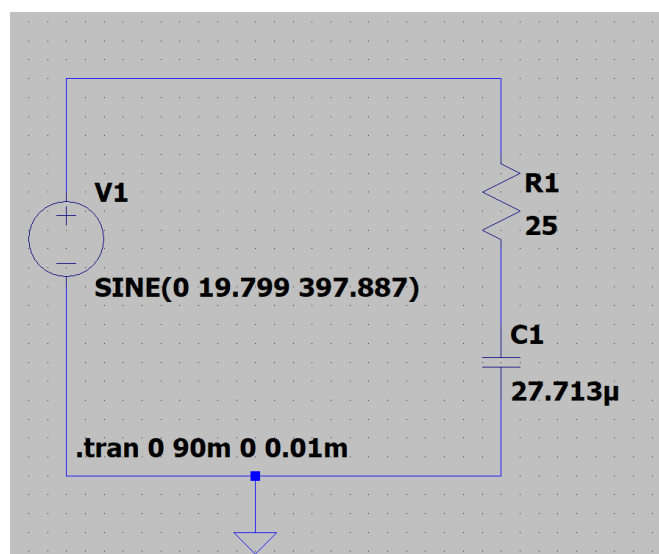


Рис. 3: Схема замещения Двухполюсника 3 в LTspice.

1.6.2 Расчётные формулы и расчёты

1. Расчёт действующего тока в цепи:

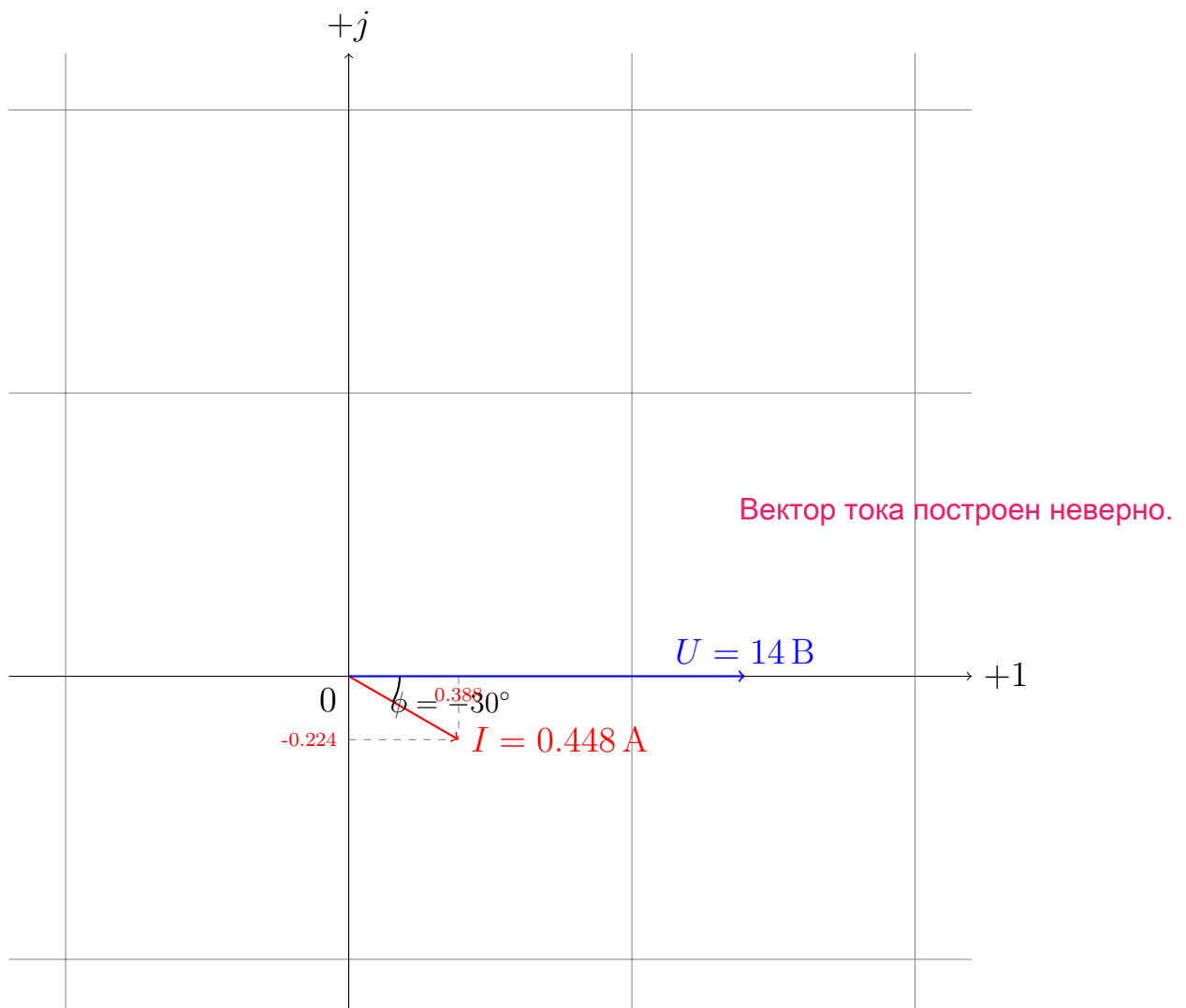
$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X^2}}$$
$$X = -X_C, R = R_1 \Rightarrow I = \frac{U}{\sqrt{R_1^2 + X_C^2}} = \frac{14}{\sqrt{25^2 + 14.4^2}} \approx 0.448 \text{ A}$$

2. Расчёт фазового сдвига:

$$\phi = \arctan\left(\frac{-X_C}{R_1}\right) = \arctan\left(\frac{-14.4}{25}\right) \approx -30^\circ$$

1.6.3 Вектора входного напряжения и тока

$$I_x = I \cos(\phi), \quad I_y = I \sin(\phi)$$
$$I_x = 0.448 \cdot \cos(30^\circ) \approx 0.388 \text{ A}, \quad I_y = 0.448 \cdot \sin(30^\circ) \approx -0.224 \text{ A}$$



1.7 Двухполюсник 4

1.7.1 Схема исследуемой цепи

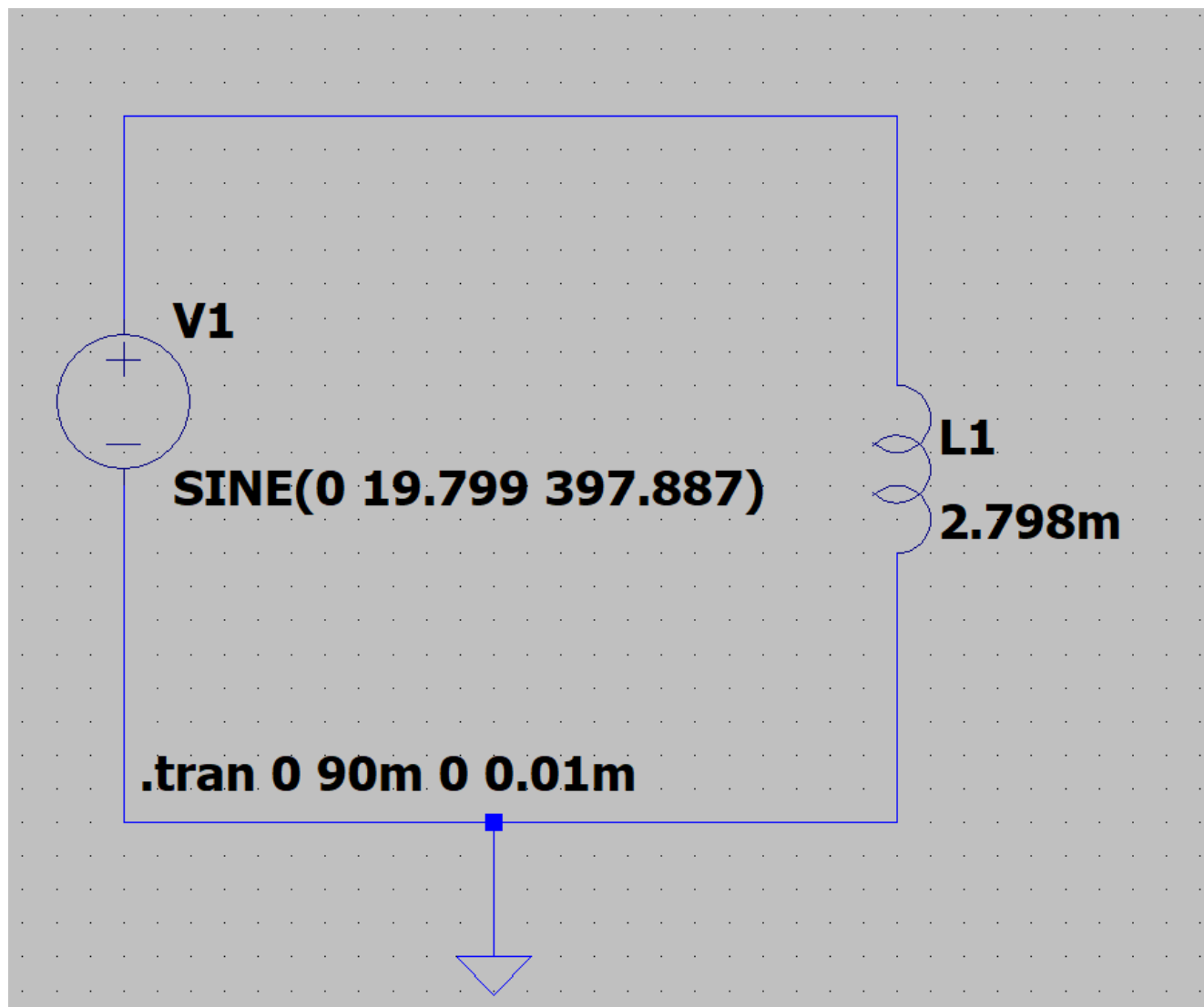


Рис. 4: Схема замещения Двухполюсника 4 в LTspice.

1.7.2 Расчётные формулы и расчёты

1. Расчёт действующего тока в цепи:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X^2}}$$
$$X = X_L, R = R_k \implies I = \frac{U}{\sqrt{R_k^2 + X_L^2}} = \frac{14}{\sqrt{15^2 + 6.995^2}} \approx 0.817 \text{ A}$$

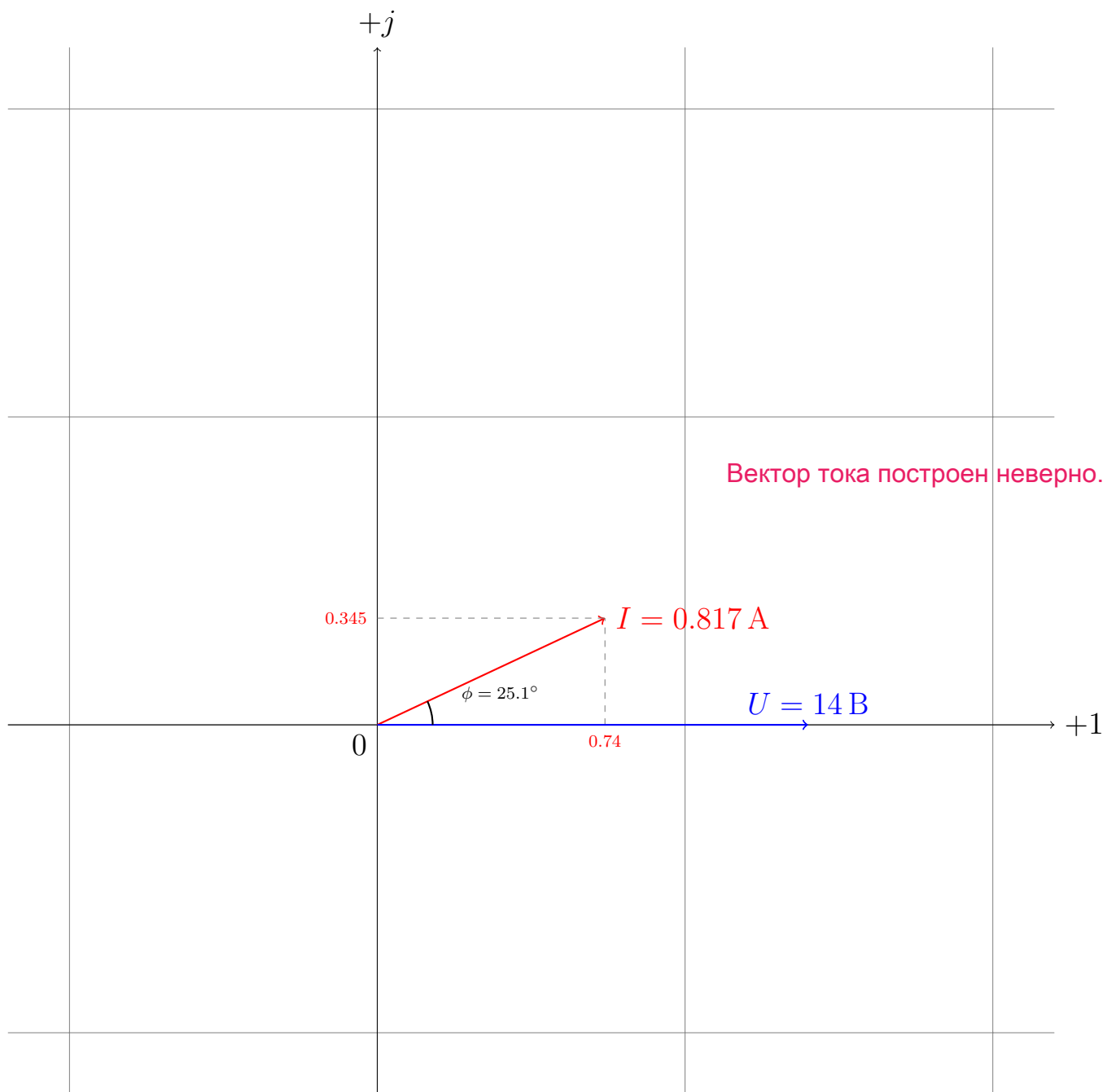
2. Расчёт фазового сдвига:

$$\phi = \arctan\left(\frac{X_L}{R_k}\right) = \arctan\left(\frac{6.995}{15}\right) \approx 25.1^\circ$$

1.7.3 Вектора входного напряжения и тока

$$I_x = I \cos(\phi), \quad I_y = I \sin(\phi)$$

$$I_x = 0.817 \cdot \cos(25.1^\circ) \approx 0.74 \text{ A}, \quad I_y = 0.817 \cdot \sin(25.1^\circ) \approx 0.345 \text{ A}$$



1.8 Двухполюсник 5

1.8.1 Схема исследуемой цепи

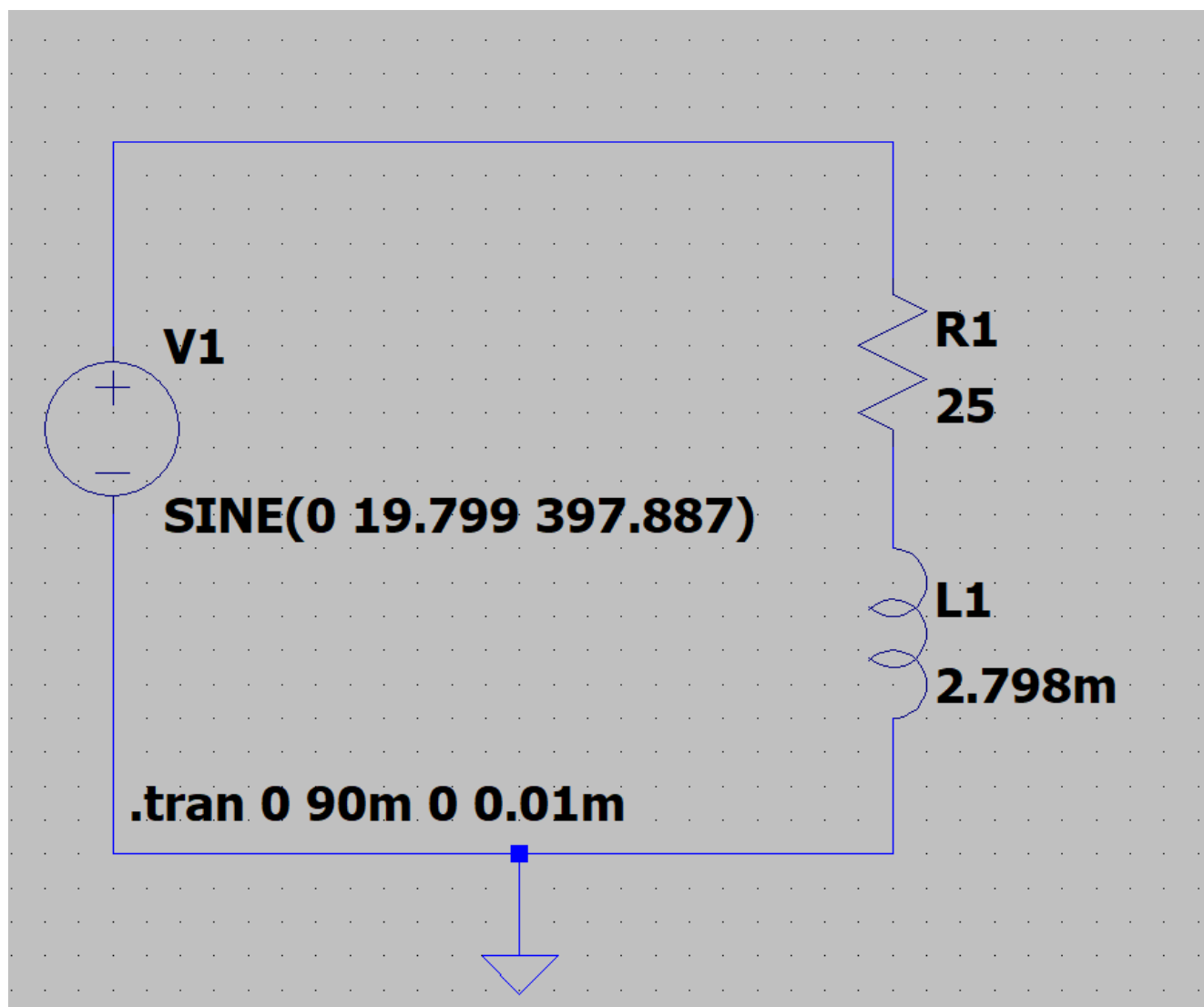


Рис. 5: Схема замещения Двухполюсника 5 в LTspice.

1.8.2 Расчётные формулы и расчёты

1. Расчёт действующего тока в цепи:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X^2}}$$
$$X = X_L, R = R_1 + R_k \implies I = \frac{U}{\sqrt{(R_1 + R_k)^2 + X_L^2}} = \frac{14}{\sqrt{(25 + 15)^2 + 6.995^2}}$$
$$\approx 0.359 \text{ A}$$

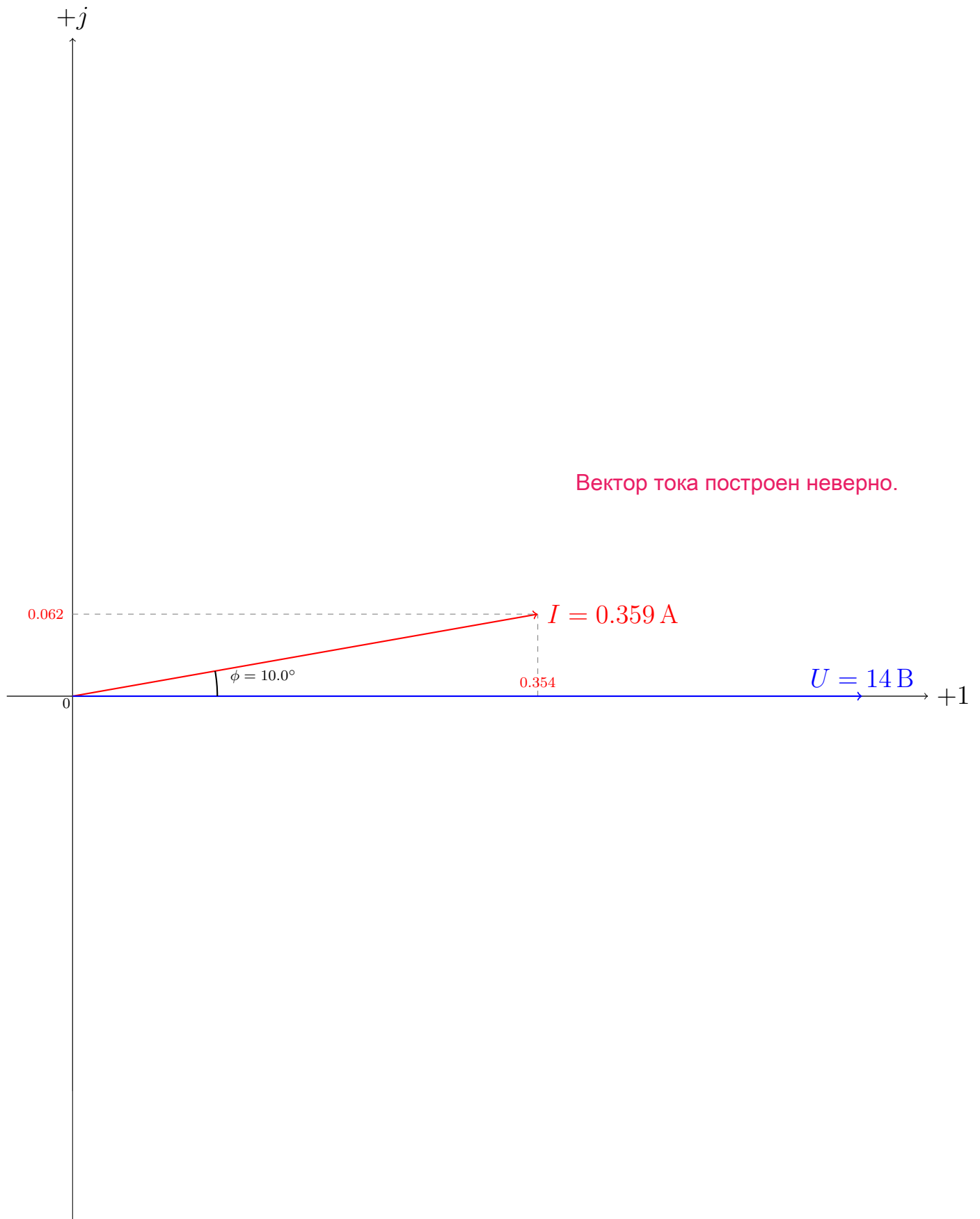
2. Расчёт фазового сдвига:

$$\phi = \arctan\left(\frac{X_L}{R_1 + R_k}\right) = \arctan\left(\frac{6.995}{25 + 15}\right) \approx 10.0^\circ$$

1.8.3 Вектора входного напряжения и тока

$$I_x = I \cos(\phi), \quad I_y = I \sin(\phi)$$

$$I_x = 0.359 \cdot \cos(10.0^\circ) \approx 0.354 \text{ A}, \quad I_y = 0.359 \cdot \sin(10.0^\circ) \approx 0.062 \text{ A}$$



1.9 Двухполюсник 6

1.9.1 Схема исследуемой цепи

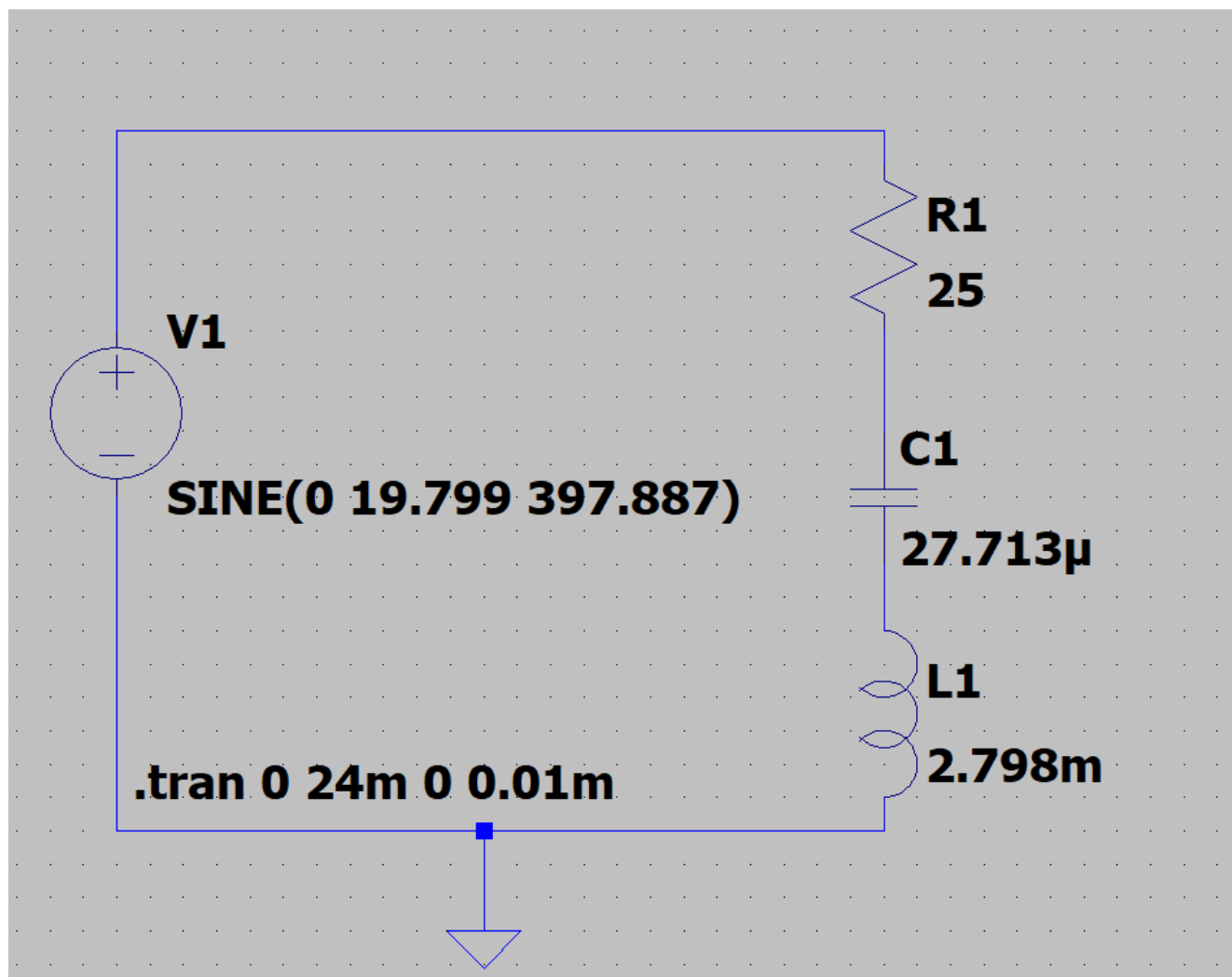


Рис. 6: Схема замещения Двухполюсника 6 в LTspice.

1.9.2 Расчётные формулы и расчёты

1. Расчёт действующего тока в цепи:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X^2}}$$
$$X = X_L - X_C, R = R_1 + R_k \Rightarrow I = \frac{U}{\sqrt{(R_1 + R_k)^2 + (X_L - X_C)^2}} =$$
$$= \frac{14}{\sqrt{(25 + 15)^2 + (6.995 - 14.4)^2}} \approx 0.378 \text{ A}$$

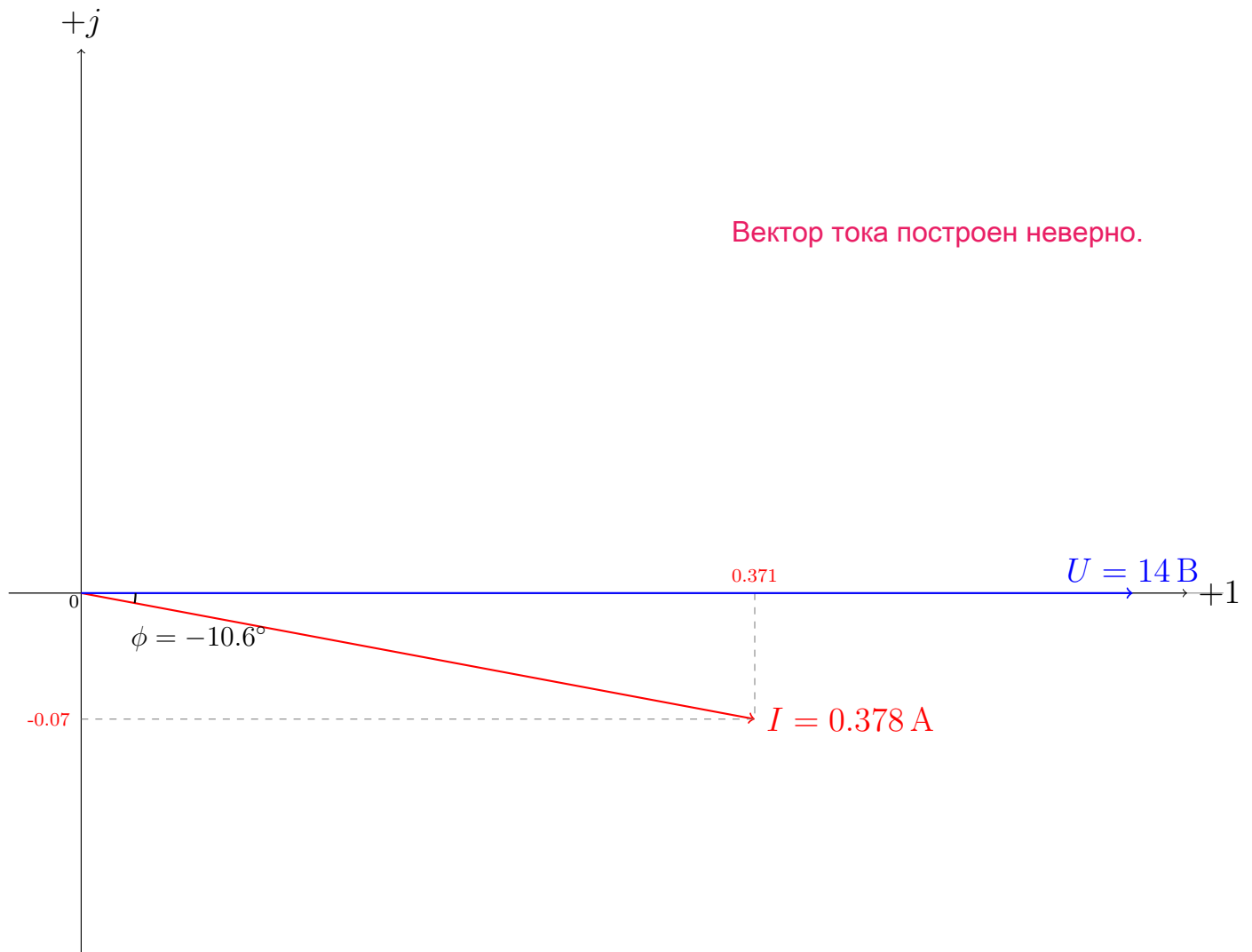
2. Расчёт фазового сдвига:

$$\phi = \arctan\left(\frac{X_L - X_C}{R_1 + R_k}\right) = \arctan\left(\frac{6.995 - 14.4}{25 + 15}\right) \approx -10.6^\circ$$

1.9.3 Вектора входного напряжения и тока

$$I_x = I \cos(\phi), \quad I_y = I \sin(\phi)$$

$$I_x = 0.378 \cdot \cos(-10.6^\circ) \approx 0.371 \text{ A}, \quad I_y = 0.378 \cdot \sin(-10.6^\circ) \approx -0.07 \text{ A}$$



1.10 Двухполюсник 7

1.10.1 Схема исследуемой цепи

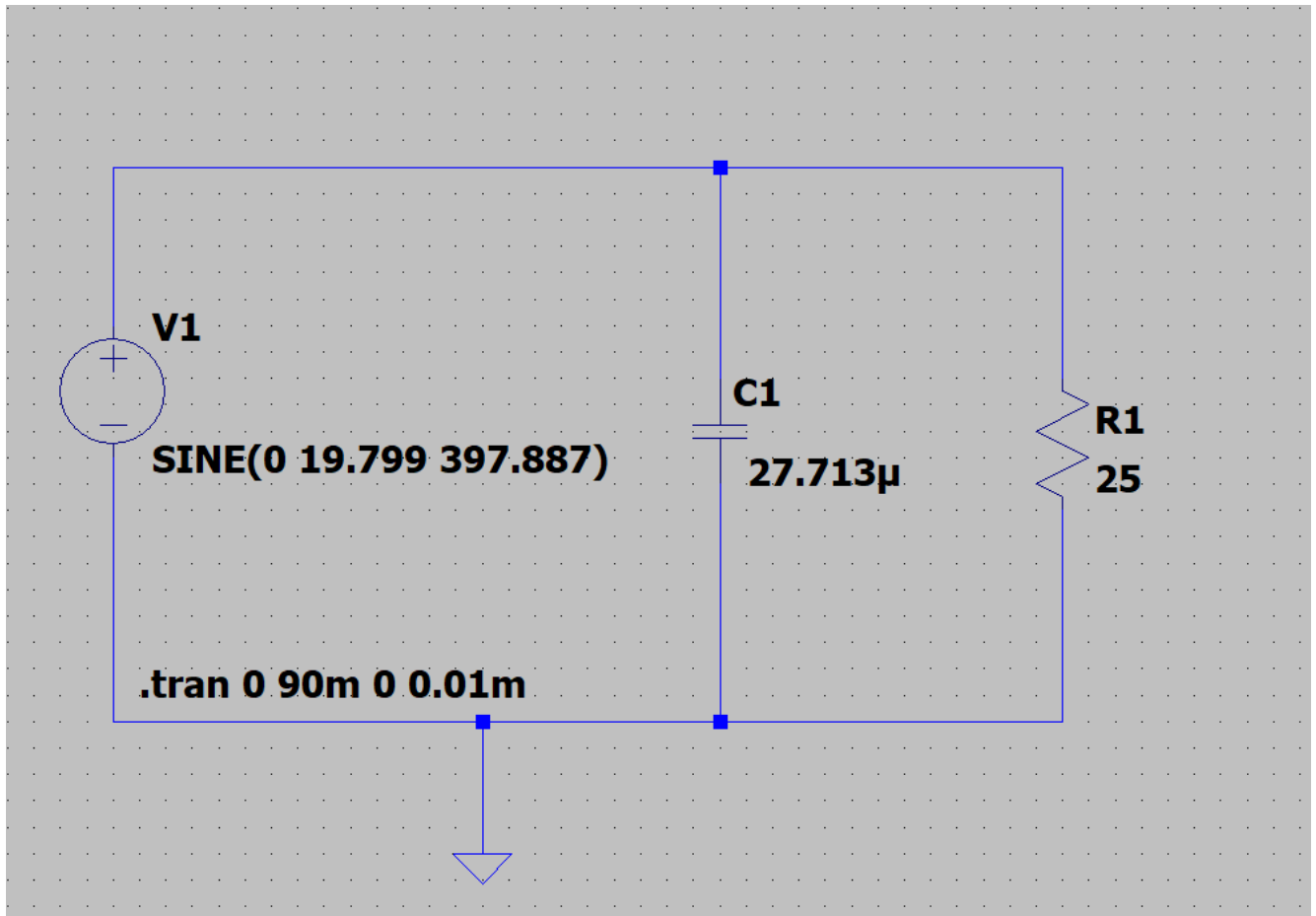


Рис. 7: Схема замещения Двухполюсника 7 в LTspice.

1.10.2 Расчётные формулы и расчёты

1. Расчёт действующего тока в цепи:

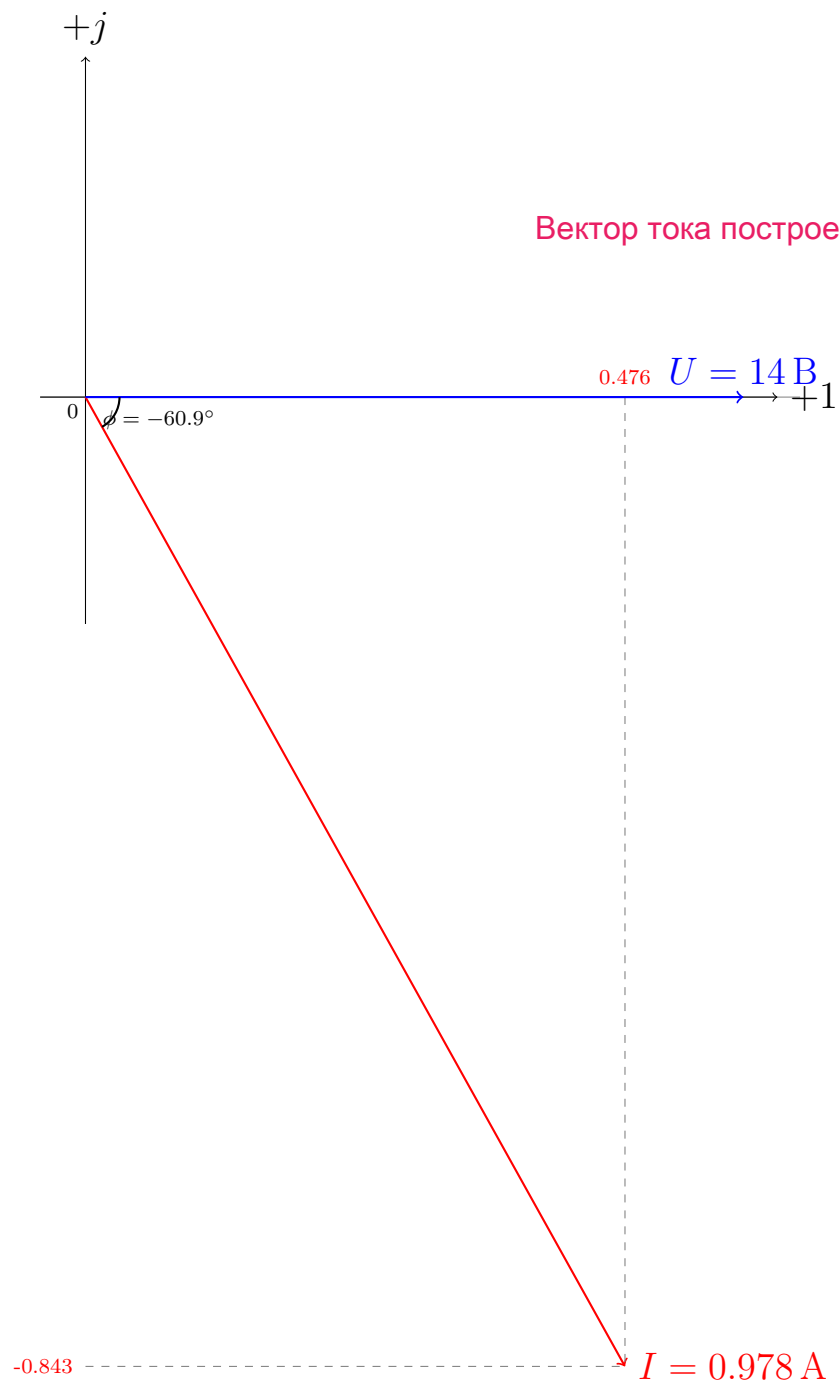
$$I = U \cdot Y = U \cdot \sqrt{G^2 + B^2}$$
$$G = \frac{1}{R_1}, B = -B_C \Rightarrow I = U \cdot \sqrt{\frac{1}{R_1^2} + B_C^2} = 14 \cdot \sqrt{\frac{1}{25^2} + 0.0693^2} \approx 0.978 \text{ A}$$

2. Расчёт фазового сдвига:

$$\phi = \arctan\left(\frac{-B_C}{\frac{1}{R_1}}\right) = \arctan\left(\frac{-0.0693}{0.04}\right) \approx -60.9^\circ$$

1.10.3 Вектора входного напряжения и тока

$$I_x = I \cos(\phi), \quad I_y = I \sin(\phi)$$
$$I_x = 0.978 \cdot \cos(-60.9^\circ) \approx 0.476 \text{ A}, \quad I_y = 0.978 \cdot \sin(-60.9^\circ) \approx -0.843 \text{ A}$$



Вектор тока построен неверно.

1.11 Двухполюсник 8

1.11.1 Схема исследуемой цепи

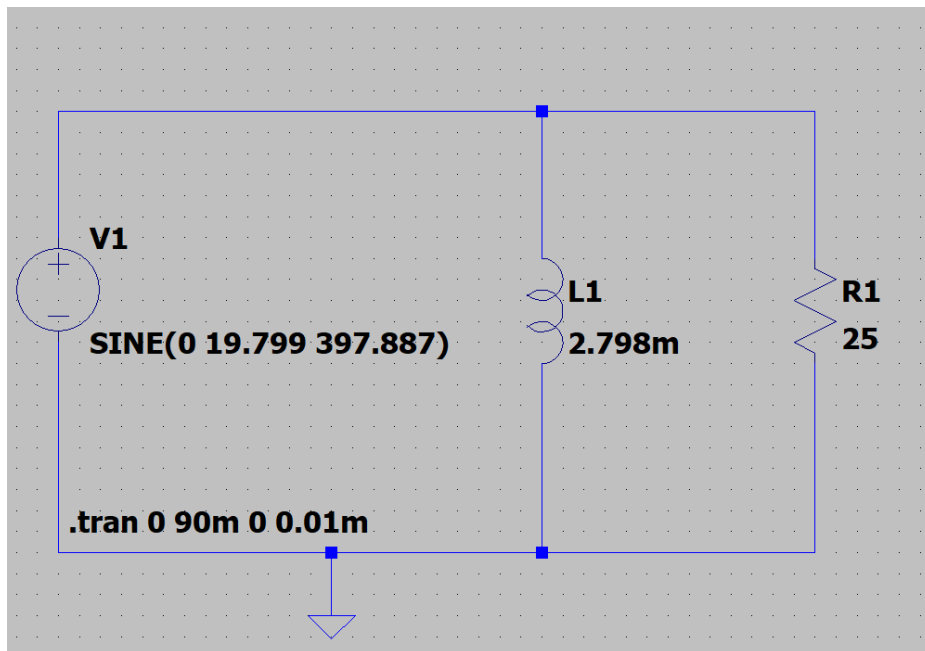


Рис. 8: Схема замещения Двухполюсника 8 в LTspice.

1.11.2 Расчётные формулы и расчёты

1. Расчёт действующего тока в цепи:

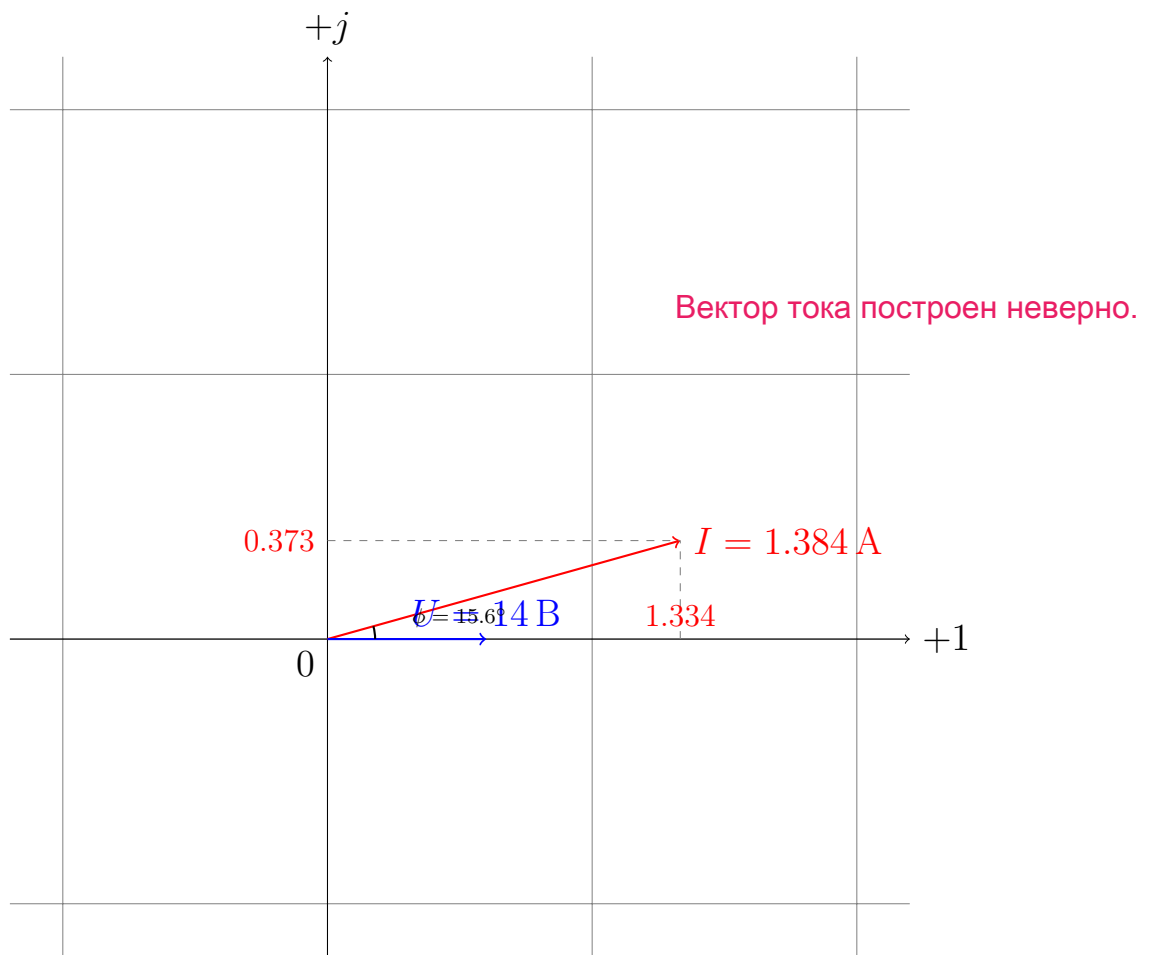
$$\begin{aligned} I &= U \cdot Y = U \cdot \sqrt{G^2 + B^2} \\ G &= G_1 + G_k, B = B_k - B_1 \implies I = U \cdot \sqrt{(G_1 + G_k)^2 + (B_k - B_1)^2} = \\ &= U \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{R_1} + \frac{R_k}{R_k^2 + X_L^2}\right)^2 + \left(\frac{X_L}{R_k^2 + X_L^2} - 0\right)^2} = \\ &= 14 \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{25} + \frac{15}{15^2 + 6.995^2}\right)^2 + \left(\frac{6.995}{15^2 + 6.995^2}\right)^2} \approx 1.384 \text{ A} \end{aligned}$$

2. Расчёт фазового сдвига:

$$\phi = \arctan\left(\frac{B_k - B_1}{G_1 + G_k}\right) = \arctan\left(\frac{0.0267}{0.096}\right) \approx 15.6^\circ$$

1.11.3 Вектора входного напряжения и тока

$$\begin{aligned} I_x &= I \cos(\phi), \quad I_y = I \sin(\phi) \\ I_x &= 1.384 \cdot \cos(15.6^\circ) \approx 1.334 \text{ A}, \quad I_y = 1.384 \cdot \sin(15.6^\circ) \approx 0.373 \text{ A} \end{aligned}$$



1.12 Двухполюсник 9

1.12.1 Схема исследуемой цепи

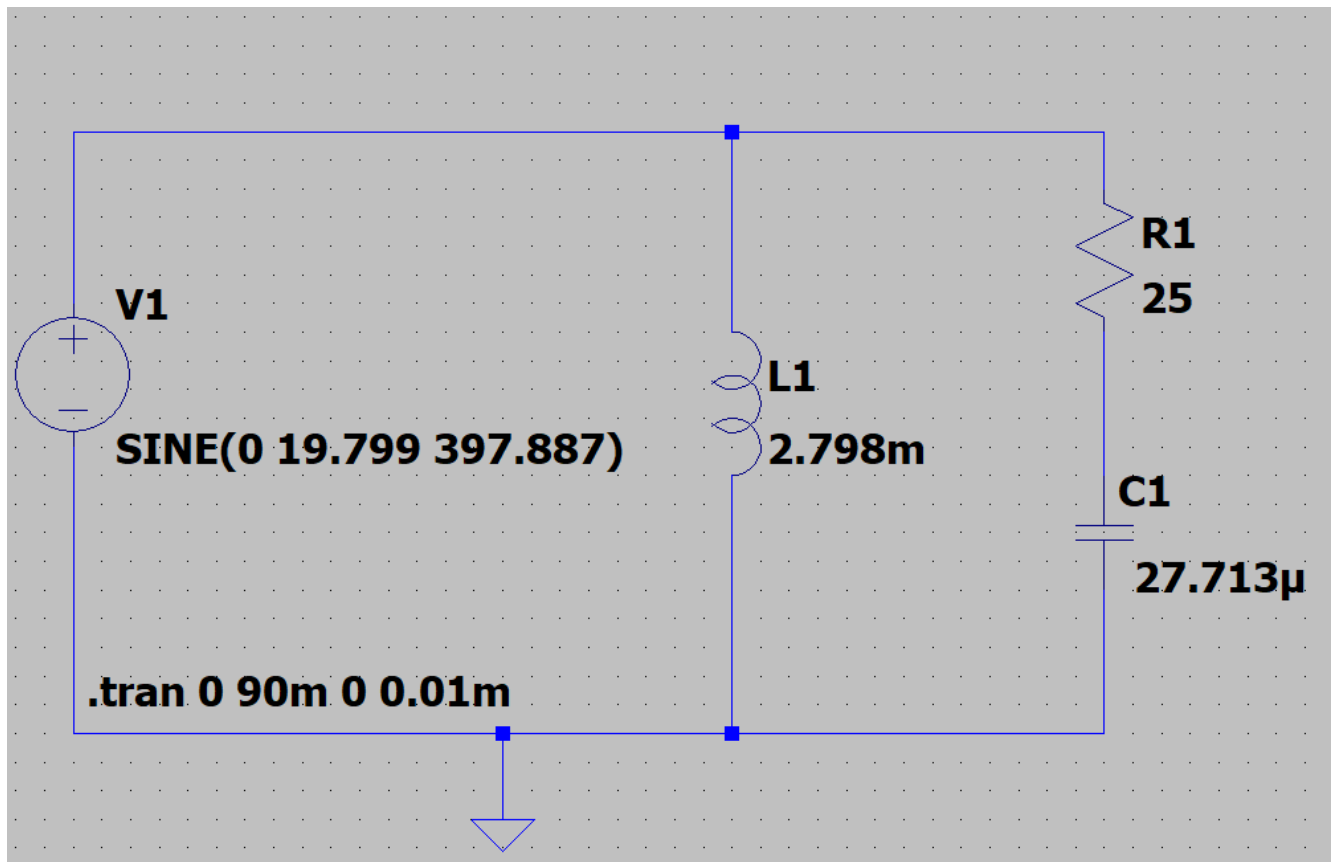


Рис. 9: Схема замещения Двухполюсника 9 в LTspice.

1.12.2 Расчётные формулы и расчёты

1. Расчёт действующего тока в цепи:

$$\begin{aligned}
 I &= U \cdot Y = U \cdot \sqrt{G^2 + B^2} \\
 G &= G_1 + G_k, B = B_k - B_1 \implies I = U \cdot \sqrt{(G_1 + G_k)^2 + (B_k - B_1)^2} = \\
 &= U \cdot \sqrt{\left(\frac{R_1}{R_1^2 + X_C^2} + \frac{R_k}{R_k^2 + X_L^2}\right)^2 + \left(\frac{X_L}{R_k^2 + X_L^2} - \frac{X_C}{R_1^2 + X_C^2}\right)^2} = \\
 &= 14 \cdot \sqrt{\left(\frac{25}{25^2 + 14.4^2} + \frac{15}{15^2 + 6.995^2}\right)^2 + \left(\frac{6.995}{15^2 + 6.995^2} - \frac{14.4}{25^2 + 14.4^2}\right)^2} \approx \\
 &\approx \cancel{1.112} \text{ A } \mathbf{1.193}
 \end{aligned}$$

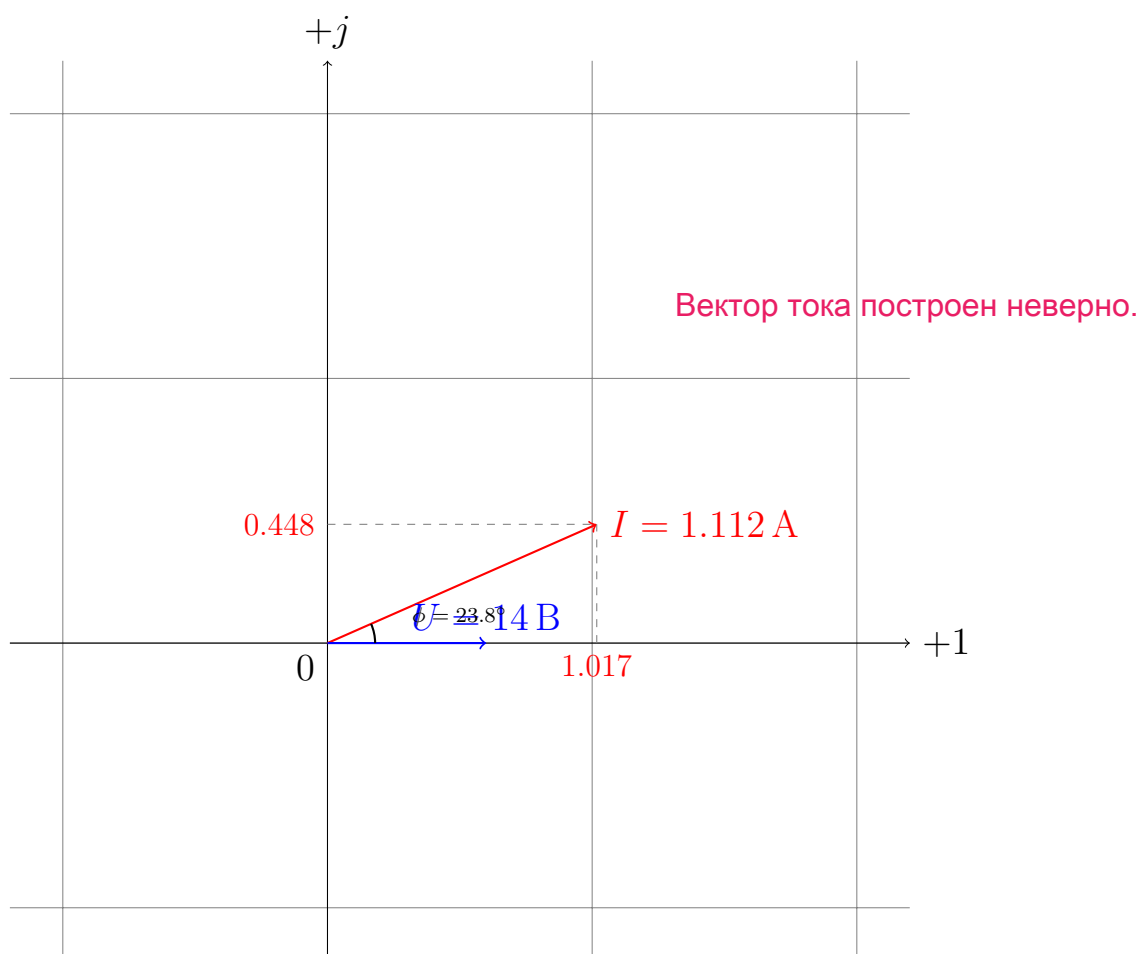
2. Расчёт фазового сдвига:

$$\begin{aligned}
 \phi &= \arctan\left(\frac{B_k - B_1}{G_1 + G_k}\right) = \arctan\left(\frac{\mathbf{0.0255} - \mathbf{0.0173}}{\mathbf{0.03} + \mathbf{0.055}}\right) \approx \mathbf{23.8^\circ}
 \end{aligned}$$

1.12.3 Вектора входного напряжения и тока

$$I_x = I \cos(\phi), \quad I_y = I \sin(\phi)$$

$$I_x = 1.112 \cdot \cos(23.8^\circ) \approx 1.017 \text{ A}, \quad I_y = 1.112 \cdot \sin(23.8^\circ) \approx 0.448 \text{ A}$$



1.13 Заполненная таблица 2.2

Для каждого двухполюсника 1-9, представленного выше, были не только произведены теоретические расчёты действующего тока и фазового сдвига, но и произведено построение временных диаграмм, из которых величины действующего напряжения, тока и фазового сдвига определены экспериментально. Для напряжения и тока были измерены амплитудные значения и вычислены по формуле:

$$U_{\text{д}} = \frac{U_{\text{max}}}{\sqrt{2}}$$

$$I_{\text{д}} = \frac{I_{\text{max}}}{\sqrt{2}}$$

А фазовый сдвиг рассчитан следующим образом:

$$\phi = 180^\circ \cdot \frac{\delta h}{h}$$

, где δh - расстояние между моментами перехода синусоид напряжения и тока от отрицательных значений к положительным, а h - половина периода синусоиды, измеренная в секундах.

Таблица 1: Итоговая таблица 2.2

Номер схемы	Параметры двухполюсников		Результаты измерений			Результаты вычислений			
	R_1 (Ом)	R_k (Ом)	L (Гн)	C (мкФ)	U (В)	I (А)	φ (°)	I (А)	φ (°)
1	25	-	-	-	14	0.56	0	0.56	0
2	-	-	-	14.4	14	0.972	-90	0.972	-90
3	25	-	-	14.4	14	0.448	-30	0.448	-30
4	-	15	6.995	-	14	0.817	25.1	0.817	25.1
5	25	15	6.995	-	14	0.359	10.0	0.359	10.0
6	25	15	6.995	14.4	14	0.378	-10.6	0.378	-10.6
7	25	-	-	14.4	14	0.978	-60.9	0.978	-60.9
8	25	15	6.995	-	14	1.384	15.6	1.384	15.6
9	25	15	6.995	14.4	14	1.112	23.8	1.112	23.8

1.14 Выводы

В ходе выполнения работы были исследованы параметры девяти двухполюсников, включая значения действующего тока, напряжения и фазового сдвига. Теоретические расчёты подтвердились экспериментальными данными, что указывает на корректность проведённых опытов.

В цепях с резисторами (двухполюсник 1) фазовый сдвиг отсутствует, так как ток и напряжение меняются синхронно. В цепях с конденсаторами (двухполюсники 2, 3 и 7) ток опережает напряжение, что объясняется особенностями ёмкостных элементов. В цепях с индуктивностью (двухполюсники 4, 5 и 8) ток, наоборот, запаздывает относительно напряжения, так как индуктивность сопротивляется изменению тока.

Наиболее интересные эффекты наблюдаются в цепях с комбинированными элементами (двухполюсники 6 и 9), где взаимодействие индуктивности и ёмкости приводит к изменению фазового сдвига в зависимости от соотношения их реактивностей. Эти цепи демонстрируют, как баланс ёмкости и индуктивности может либо сближать, либо отдалять фазы тока и напряжения.

Небольшие расхождения между теоретическими и эмпирическими значениями можно объяснить погрешностями измерений и округления.

Добавляйте "Часть 2"