

Основы электротехники

Отчет по лабораторной работе №3

Исследование линейных двухполюсников в электрических цепях однофазного синусоидального тока

Группа *P3333*

Вариант *48*

Выполнил: *Рахматов Неъматджон*

Дата сдачи: *11.01.2025*

Контрольный срок сдачи: *04.12.2024*

Количество баллов:

СПб – 2025

**Исследование линейных двухполюсников в электрических цепях однофазного синусоидального тока.**

Цель работы

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

**1. Измерение действующих значений входного напряжения, тока и фазового сдвига между ними для каждого двухполюсника**

1.1 Схема №1

Схема моделирования в программе LTspice представлена на рисунке1.

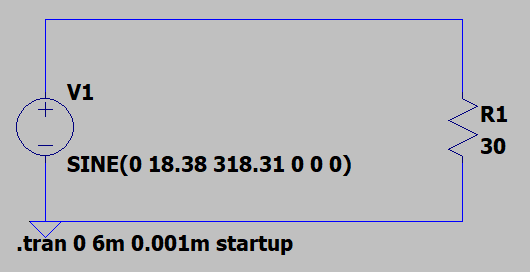


Рисунок 1 – Схема моделирования

Результат моделирования в программе LTspice представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – График моделирования

Измерения:

Расчётные формулы и расчёты:

;

;

*;*

*;*

*;*

Векторная диаграмма, полученная в результате моделирования представлена на рисунке 6.



Рисунок 3 – Векторная диаграмма

При активной нагрузке угол сдвига фаз между током и напряжением равен 0˚.

1.2 Схема №2

Схема моделирования в программе LTspice представлена на рисунке 4.

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Шрифт, диаграмма

Автоматически созданное описание

Рисунок 4 – Схема моделирования

Результат моделирования в программе LTspice представлен на рисунке 5.



Рисунок 5 – График моделирования

Измерения:

Расчётные формулы и расчёты:

;

*;*

*;*

*;*

Векторная диаграмма, полученная в результате моделирования представлена на рисунке 6.



Рисунок 6 – Векторная диаграмма

При емкостной нагрузке угол сдвига фаз между током и напряжением равен – 90˚.

1.3 Схема №3

Схема моделирования в программе LTspice представлена на рисунке 7.



Рисунок 7 – Схема моделирования

Результат моделирования в программе LTspice представлен на рисунке 8.



Рисунок 8 – График моделирования

Измерения:

Расчётные формулы и расчёты:

;

;

*;*

*;*

*;*

Векторная диаграмма, полученная в результате моделирования представлена на рисунке 9.



Рисунок 9 – Векторная диаграмма

При активно-емкостной нагрузке угол сдвига фаз между током и напряжением находится в пределах – 90˚<φ<0.

1.4 Схема №4

Схема моделирования в программе LTspice представлена на рисунке 10.



Рисунок 10 – Схема моделирования

Результат моделирования в программе LTspice представлен на рисунке 11.



Рисунок 11 – График моделирования

Измерения:

Расчётные формулы и расчёты:

;

;

*;*

*;*

*;*

Векторная диаграмма, полученная в результате моделирования представлена на рисунке 12.



Рисунок 12 – Векторная диаграмма

При активно-индуктивной нагрузке (с учетом активного сопротивления катушки) угол сдвига фаз между током и напряжением находится в пределах 0<φ< 90˚.

1.5 Схема №5

Схема моделирования в программе LTspice представлена на рисунке 13.



Рисунок 13 – Схема моделирования

Результат моделирования в программе LTspice представлен на рисунке 14.



Рисунок 14 – График моделирования

Измерения:

Расчётные формулы и расчёты:

;

;

*;*

*;*

*;*

Векторная диаграмма, полученная в результате моделирования представлена на рисунке 15.



Рисунок 15 – Векторная диаграмма

При активно-индуктивной нагрузке (с учетом активного сопротивления катушки) угол сдвига фаз между током и напряжением находится в пределах 0<φ< 90˚.

1.6 Схема №6

Схема моделирования в программе LTspice представлена на рисунке 16.



Рисунок 16 – Схема моделирования

Результат моделирования в программе LTspice представлен на рисунке 17.



Рисунок 17 – График моделирования

Измерения:

Расчётные формулы и расчёты:

;

;

*;*

*;*

*;*

Векторная диаграмма, полученная в результате моделирования представлена на рисунке 18.



Рисунок 18 – Векторная диаграмма

При смешанной нагрузке (активной с учетом активного сопротивления катушки, емкостной, индуктивной) угол сдвига фаз между током и напряжением определяется преобладающим реактивным сопротивлением, при сопротивлении XC>XL угол сдвига фаз между током и напряжением находится в пределах – 90˚<φ<0, при XC<XL угол сдвига фаз между током и напряжением находится в пределах 0<φ< 90˚.

1.7 Схема №7

Схема моделирования в программе LTspice представлена на рисунке 19.



Рисунок 19 – Схема моделирования

Результат моделирования в программе LTspice представлен на рисунке 20.



Рисунок 20 – График моделирования

Измерения:

Расчётные формулы и расчёты:

;

;

*;*

*;*

*;*

*;*

Векторная диаграмма, полученная в результате моделирования представлена на рисунке 21.



Рисунок 21 – Векторная диаграмма

При активно-емкостной нагрузке угол сдвига фаз между током и напряжением находится в пределах – 90˚<φ<0..

1.8 Схема №8

Схема моделирования в программе LTspice представлена на рисунке 22.



Рисунок 22 – Схема моделирования

Результат моделирования в программе LTspice представлен на рисунке 23.



Рисунок 23 – График моделирования

Измерения:

Расчётные формулы и расчёты:

;

;

*;*

*;*

*;*

*;*

*;*

Векторная диаграмма, полученная в результате моделирования представлена на рисунке 24.



Рисунок 24 – Векторная диаграмма

При активно-индуктивной нагрузке (с учетом активного сопротивления катушки) угол сдвига фаз между током и напряжением находится в пределах 0<φ< 90˚.

1.9 Схема №9

Схема моделирования в программе LTspice представлена на рисунке 25.



Рисунок 25 – Схема моделирования

Результат моделирования в программе LTspice представлен на рисунке 26.



Рисунок 26 – График моделирования

Измерения:

Расчётные формулы и расчёты:

;

;

*;*

*;*

*;*

*;*

*;*

*;*

Векторная диаграмма, полученная в результате моделирования представлена на рисунке 27.



Рисунок 27 – Векторная диаграмма

При смешанной нагрузке (активной с учетом активного сопротивления катушки, емкостной, индуктивной) угол сдвига фаз между током и напряжением определяется преобладающим реактивным сопротивлением, при сопротивлении XC>XL угол сдвига фаз между током и напряжением находится в пределах – 90˚<φ<0, при XC<XL угол сдвига фаз между током и напряжением находится в пределах 0<φ< 90˚.

Результаты расчетов и моделирования в программе LTspice приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты расчетов и моделирования в программе LTspice

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер  схемы  цепи | Параметры  двухполюсников | | | | Результаты  измерений | | | Результаты  вычислений | |
| R1 | Rk | L | C | U | I | φ | I | φ |
| Ом | | Гн | мкФ | В | А | ˚ | А | ˚ |
| 1 | 30 | - | - | - | 13,0 | 0,43 | 0 | 0,43 | 0 |
| 2 | 30 | - | - | 23,802 | 13,0 | 0,62 | -90,1 | 0,62 | -90,0 |
| 3 | 30 | - | - | 23,802 | 13,0 | 0,35 | -35,3 | 0,35 | -35,0 |
| 4 | 30 | 10 | 3,501 | - | 13,0 | 1,06 | 34.9 | 1,06 | 35,0 |
| 5 | 30 | 10 | 3,501 | - | 13,0 | 0,32 | 10.1 | 0,32 | 9,9 |
| 6 | 30 | 10 | 3,501 | 23,802 | 13,0 | 0,31 | -19,1 | 0,31 | -19,2 |
| 7 | 30 | 10 | - | - | 13,0 | 0,75 | -54,7 | 0,75 | 54,9 |
| 8 | 30 | 10 | 3,501 | - | 13,0 | 1,44 | 25,3 | 1,44 | 25,1 |
| 9 | 30 | 10 | 3,501 | 23,802 | 13,0 | 1,23 | 19,5 | 1,23 | 19,3 |

Выводы по 1 части работы:

В ходе выполнения лабораторной работы было проведено измерение действующих значений входного напряжения, тока и фазового сдвига между ними для каждого двухполюсника, а также проведены расчеты соответствующих параметров.

Расчётные и экспериментальные значения действующих токов, фазовых сдвигов и напряжений практически полностью совпадают. Небольшие погрешности в экспериментальных данных связаны с ручным измерением значений в LTSpice, а также округлением в процессе расчета.

**2. Исследование и анализ частотных характеристик электрической цепи с последовательным и параллельным соединением резистивного, индуктивного и ёмкостного элементов**

2.1 Исследование и анализ частотных характеристик электрической цепи с последовательным соединением резистивного, индуктивного и ёмкостного элементов.

Схема моделирования представлена на рисунке 28.

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Шрифт, диаграмма

Автоматически созданное описание

Рисунок 28 – Схема моделирования

Результат моделирования в программе LTspice представлен на рисунке 29.



Рисунок 29 – График моделирования

Измерения:

Расчётные формулы и расчёты:

;

;

*;*

*;*

*;*

*;*

*;*

*;*

*;*

*;*

*;*

*;*

Выше приведён пример расчёта для резонансной частоты. Расчеты для остальных частот сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты расчетов

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| f | U = 13 В; R1 = 12 Ом; Rk = 10 Ом; L = 3,501 мГн; C = 23,802 мкФ; f0 = 551.337 Гц | | | | | | | | | |
| Расчёт | | | | | Эксперимент | | | | |
| Qp=0,551 | | | | | Qe=0,551 | | | | |
| 𝜑 | I | 𝑈𝑅1 | 𝑈𝑘 | 𝑈𝐶 | 𝜑 | I | 𝑈𝑅1 | 𝑈𝑘 | 𝑈𝐶 |
| Гц | ˚ | А | В | В | В | ˚ | А | В | В | В |
| 55,1 | -79,6 | 0,11 | 1,28 | 1,07 | 12,92 | -79,6 | 0,11 | 1,28 | 1,07 | 12,92 |
| 110,3 | -69,3 | 0,21 | 2,51 | 2,15 | 12,67 | -69,3 | 0,21 | 2,51 | 2,15 | 12,67 |
| 165,4 | -59,1 | 0,30 | 3,64 | 3,23 | 12,26 | -59,1 | 0,30 | 3,64 | 3,23 | 12,26 |
| 220,5 | -49,2 | 0,39 | 4,64 | 4,29 | 11,71 | -49,1 | 0,39 | 4,64 | 4,29 | 11,71 |
| 275,7 | -39,6 | 0,46 | 5,46 | 5,33 | 11,05 | -39,5 | 0,46 | 5,46 | 5,33 | 11,05 |
| 330,8 | -30,5 | 0,51 | 6,11 | 6,30 | 10,30 | -30,4 | 0,51 | 6,11 | 6,30 | 10,30 |
| 385,9 | -21,9 | 0,55 | 6,58 | 7,19 | 9,50 | -21,8 | 0,55 | 6,58 | 7,19 | 9,50 |
| 441,1 | -13,9 | 0,57 | 6,88 | 7,99 | 8,69 | -13,9 | 0,57 | 6,88 | 7,99 | 8,69 |
| 496,2 | -6,6 | 0,59 | 7,04 | 8,69 | 7,91 | -6,6 | 0,59 | 7,04 | 8,69 | 7,91 |
| **551,3** | **0,0** | **0,59** | **7,09** | **9,29** | **7,17** | **0,00** | **0,59** | **7,09** | **9,29** | **7,17** |
| 606,5 | 6,0 | 0,59 | 7,05 | 9,80 | 6,48 | 6,0 | 0,59 | 7,05 | 9,80 | 6,48 |
| 661,6 | 11,4 | 0,58 | 6,95 | 10,23 | 5,85 | 11,4 | 0,58 | 6,95 | 10,23 | 5,85 |
| 716,7 | 16,3 | 0,57 | 6,81 | 10,59 | 5,29 | 16,3 | 0,57 | 6,81 | 10,59 | 5,29 |
| 771,9 | 20,7 | 0,55 | 6,63 | 10,89 | 4,79 | 20,7 | 0,55 | 6,63 | 10,89 | 4,79 |
| 827,0 | 24,7 | 0,54 | 6,44 | 11,15 | 4,34 | 24,6 | 0,54 | 6,44 | 11,15 | 4,34 |
| 882,1 | 28,3 | 0,52 | 6,25 | 11,36 | 3,95 | 28,2 | 0,52 | 6,25 | 11,36 | 3,95 |
| 937,3 | 31,5 | 0,50 | 6,05 | 11,54 | 3,59 | 31,5 | 0,50 | 6,05 | 11,54 | 3,59 |
| 992,4 | 34,5 | 0,49 | 5,85 | 11,70 | 3,28 | 34,4 | 0,49 | 5,85 | 11,70 | 3,28 |
| 1047,5 | 37,1 | 0,47 | 5,65 | 11,83 | 3,01 | 37,1 | 0,47 | 5,65 | 11,83 | 3,01 |
| 1102,7 | 39,6 | 0,46 | 5,46 | 11,95 | 2,76 | 39,5 | 0,46 | 5,46 | 11,95 | 2,76 |

По результатам моделирования получены зависимости I(f), φ(f), UR1(f ), Uk(f ), UC(f ), UL(f ), графики представлены на рисунке 30.

Рисунок 30 – Графики I(f), φ(f), UR1(f ), Uk(f ), UC(f ), UL(f )

Векторная диаграмма, полученная в результате моделирования представлена на рисунке 31.



Рисунок 31 – Векторная диаграмма

2.2 Исследование и анализ частотных характеристик электрической цепи с параллельным соединением ветвей с индуктивным и ёмкостным элементами.

Схема моделирования представлена на рисунке 32.

Изображение выглядит как текст, диаграмма, Шрифт, снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 32 – Схема моделирования

Результат моделирования в программе LTspice представлен на рисунке 33.



Рисунок 33 – График моделирования

Измерения:

Расчётные формулы и расчёты:

;

*;*

*;*

*;*

*;*

*;*

*;*

*;*

Выше приведён пример расчёта для резонансной частоты. Расчеты для остальных частот сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты расчетов

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| f | U = 13 В; R1 = 12 Ом; Rk = 10 Ом; L = 3,501 мГн; C = 23,802 мкФ; f0 = 551.337 Гц | | | | | | | |
| Расчёт | | | | Эксперимент | | | |
| 𝜑 | I | I1 | I2 | 𝜑 | I | I1 | I2 |
| Гц | ˚ | А | В | В | ˚ | А | В | В |
| 215 | 6,6 | 1,21 | 0,39 | 1,17 | 6,6 | 1,21 | 0,39 | 1,17 |
| 431 | 6,5 | 1,10 | 0,66 | 0,94 | 6,5 | 1,10 | 0,66 | 0,94 |
| 646 | 4,1 | 1,05 | 0,82 | 0,75 | 4,1 | 1,05 | 0,82 | 0,75 |
| 861 | 2,3 | 1,05 | 0,91 | 0,61 | 2,3 | 1,05 | 0,91 | 0,61 |
| 1077 | 1,3 | 1,05 | 0,96 | 0,51 | 1,3 | 1,05 | 0,96 | 0,51 |
| 1292 | 0,7 | 1,06 | 0,99 | 0,43 | 0,7 | 1,06 | 0,99 | 0,43 |
| 1507 | 0,4 | 1,06 | 1,02 | 0,38 | 0,4 | 1,06 | 1,02 | 0,38 |
| 1722 | 0,2 | 1,07 | 1,03 | 0,33 | 0,2 | 1,07 | 1,03 | 0,33 |
| 1938 | 0,1 | 1,07 | 1,04 | 0,30 | 0,1 | 1,07 | 1,04 | 0,30 |
| **2153** | **0,0** | **1,07** | **1,04** | **0,27** | **0,0** | **1,08** | **1,04** | **0,28** |
| 2368 | 0,0 | 1,07 | 1,05 | 0,25 | 0,0 | 1,07 | 1,05 | 0,25 |
| 2584 | -0,1 | 1,07 | 1,06 | 0,23 | -0,1 | 1,07 | 1,06 | 0,23 |
| 2799 | -0,1 | 1,08 | 1,06 | 0,21 | -0,1 | 1,08 | 1,06 | 0,21 |
| 3014 | -0,1 | 1,08 | 1,07 | 0,19 | -0,1 | 1,08 | 1,07 | 0,19 |
| 3230 | -0,1 | 1,08 | 1,07 | 0,18 | -0,1 | 1,08 | 1,07 | 0,18 |
| 3445 | -0,1 | 1,08 | 1,07 | 0,17 | -0,1 | 1,08 | 1,07 | 0,17 |
| 3660 | -0,1 | 1,08 | 1,07 | 0,16 | -0,1 | 1,08 | 1,07 | 0,16 |
| 3875 | -0,1 | 1,08 | 1,07 | 0,15 | -0,1 | 1,08 | 1,07 | 0,15 |
| 4091 | -0,1 | 1,08 | 1,07 | 0,14 | -0,1 | 1,08 | 1,07 | 0,14 |
| 4306 | -0,1 | 1,08 | 1,07 | 0,14 | -0,1 | 1,08 | 1,07 | 0,14 |

По результатам моделирования получены зависимости I(f), φ,(f ), I1(f ), I2(f ), графики представлены на рисунке 34.

Рисунок 34 – Графики I(f ) φ(f ), I1(f ), I2(f )

Векторная диаграмма, полученная в результате моделирования представлена на рисунке 35.



Рисунок 35 – Векторная диаграмма

Выводы по 2 части работы:

В ходе выполнения 2 части лабораторной работы было проведено исследование и анализ частотных характеристик электрической цепи с последовательным и параллельным соединением резистивного, индуктивного и ёмкостного элементов.

В результате работы произведены теоретические расчеты, которые были сопоставлены с результатами, полученными в ходе моделирования в программе в LTSpice. Небольшие погрешности в экспериментальных данных связаны с ручным измерением значений в LTSpice, а также округлением в процессе расчета.

Цель лабораторной работы достигнута.