



**Некоммерческое
акционерное
общество**

**АЛМАТИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ЭНЕРГЕТИКИ И
СВЯЗИ**

Кафедра электротехники

ЦЕПИ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ И СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ ПАРА- МЕТРАМИ. ТЕОРИЯ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКОВ

Методические указания и задания по выполнению лабораторных работ
для студентов специальности 5В070200 - Автоматизация и управление

Алматы 2019

СОСТАВИТЕЛИ: С.Ю. Креслина, А.Т. Аршабекова. Цепи с распределенными и сосредоточенными параметрами. Теория четырехполюсников. Методические указания и задания по выполнению лабораторных работ для студентов специальности - 5B070200 Автоматизация и управление – Алматы: АУЭС, 2019. – 28 с.

Методические указания и задания по выполнению лабораторных работ содержат четыре лабораторных работ по разделам: четырехполюсники, электрические фильтры, линии с распределенными параметрами.

Каждая лабораторная работа содержит следующие разделы: цель работы, подготовку к работе, задание к выполнению работы, методические указания по выполнению и анализу полученных результатов, а также выводы о проделанной работе.

Методические указания и задания по выполнению лабораторных работ предназначены для студентов специальности – 5B070200 Автоматизация и управление.

Ил. 21, табл. 16, библиогр. – 13 назв.

Рецензент: доцент каф. ЭССиС Б. К. Курпенов

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи» на 2019 г.

© НАО «Алматинский университет энергетики и связи», 2019

Введение

Для повышения качества подготовки специалистов, формирования у студентов творческого мышления и инженерных навыков большое значение имеют лабораторные занятия. Данная методическая разработка содержит описание лабораторных работ по дисциплинам «Цепи с распределенными и сосредоточенными параметрами» и «Теория четырехполюсников» для студентов специальности «Автоматизация и управление». Лабораторные задания представляют собой комплекс работ экспериментального и расчетного характера по четырехполюсникам, электрическим фильтрам, линиям с распределенными параметрами. Все лабораторные работы выполняются фронтальным методом после того, как материал данной темы изложен на лекции.

Порядок выполнения и оформления лабораторных работ по дисциплинам «Цепи с распределенными и сосредоточенными параметрами», «Теория четырехполюсников».

Предварительная подготовка и допуск к работе.

1. Прежде, чем приступить к очередным занятиям, студент должен ознакомиться с содержанием лабораторной работы, изучить теоретический материал по соответствующей теме.

2. Результаты подготовки должны быть отражены в отчёте выполняемой работы, который должен содержать:

- а) письменные ответы на вопросы по части «Подготовка к работе»;
- б) предварительные расчеты;
- в) исследуемые схемы;
- г) таблицы для записи результатов измерений.

3. В начале занятия студент должен получить допуск к следующей работе, имея индивидуальный отчёт.

Прежде чем приступить к следующей работе необходимо защитить полностью оформленную предыдущую работу.

Во время занятия студент должен выполнить работу (собрать схемы, проделать необходимые измерения и записать результаты в заранее подготовленные таблицы).

4. Готовность студентов к выполнению работы проверяет преподаватель, задавая контрольные вопросы по теории, порядку выполнения данной работы, действию схем, применяемым формулам и ожидаемым результатам. Вопросы могут быть заданы в устной и письменной форме.

5. Студенты, не выполнившие требования третьего пункта, а также те студенты, теоретическая подготовка которых признана неудовлетворительной, к работе не допускаются.

6. Студенты, не допущенные к работе, должны использовать оставшееся время для изучения теории, а также для оформления и защиты сделанных ранее работ.

7. Работы, не выполненные в срок, студенты проделывают в отведенное для отработки время. Допуск к работе студент получает на общих основаниях.

Оформление отчетов и защита лабораторных работ.

1. Студент должен представить полностью оформленный к защите отчёт каждой проделанной работы.

2. Оформленный отчёт предыдущей работы должен быть представлен в начале следующего занятия и защищён во время занятия.

3. Отчёт должен содержать титульный лист и следующие разделы:

- а) цель работы;
- б) основные теоретические положения и ответы на вопросы подготовки;
- в) схемы исследуемых цепей;
- г) расчётные формулы, вычисления, предполагаемые графики исследуемых электрических величин и режимов цепи;
- д) результаты исследования (таблицы, графики, числовые значения параметров и электрических величин);
- е) выводы по работе.

Отчёты оформляются на листах белой или линованной бумаги формата А4, которые заполняются с одной стороны. В тексте, написанном чётко и аккуратно пастой одного цвета, допускается применение только общепринятых обозначений или сокращений, расшифрованных при первом упоминании.

1 Лабораторная работа №1. Исследование пассивных симметричных четырёхполюсников

Цель: исследование режимов короткого замыкания и холостого хода работы пассивного симметричного четырёхполюсника и определение его параметров путём компьютерного моделирования с использованием программы «Electronics Workbench».

1.1 Подготовка к работе

1.1.1 Выбрать схему и параметры исследуемого четырехполюсника согласно заданному варианту (таблица 1.1).

1.1.2 Записать выражения, определяющие А-параметры пассивного симметричного четырёхполюсника, используя режим короткого замыкания и холостого хода.

1.1.3 Рассчитать А-параметры пассивного симметричного четырёхполюсника, согласно заданному варианту (таблица 1.1). Результаты расчётов записать в таблицу 1.4 (теоретический расчет).

1.1.4 Записать уравнения для определения входные сопротивления четырёхполюсника в режимах холостого хода Z_X , короткого замыкания Z_K .

1.1.5 Рассчитать входные сопротивления четырёхполюсника в режимах холостого хода Z_X , короткого замыкания Z_K согласно заданному варианту (таблица 1.1). Результаты расчётов записать в таблицу 1.5 (теор. расчет).

1.1.6 Записать уравнения для определения характеристического сопротивления четырёхполюсника Z_c , постоянной передачи четырёхполюсника Γ .

1.1.7 Рассчитать характеристическое сопротивление четырёхполюсника Z_c , постоянную передачи четырёхполюсника Γ согласно заданному варианту (таблица 2.1). Результаты расчёта записать в таблицу 1.5 (теор. расчет).

1.1.8 Нарисовать таблицу 1.2.

1.2 Задание к выполнению работы

1.2.1 Собрать электрическую схему (см. рисунок 1.9) заданного четырёхполюсника в режиме холостого хода согласно заданному варианту.

Таблица 1.1

№ варианта	№ рисунка	U_1 , В	f , кГц	R , Ом	L , мГн	C , мкФ
1	1.1	10	1,0	100	6	—
2	1.2	12	1,6	130	—	0,5
3	1.3	14	1,5	160	—	0,8
4	1.4	16	1,8	190	8	—
5	1.5	18	2,0	150	—	0,4
6	1.6	20	2,2	110	5	—
7	1.7	22	2,4	120	7	—
8	1.8	24	2,6	100	—	0,7

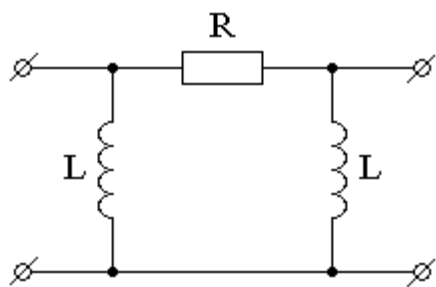


Рисунок 1.1

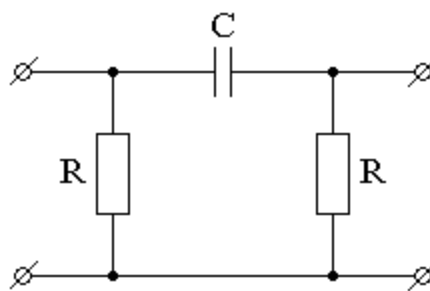


Рисунок 1.2

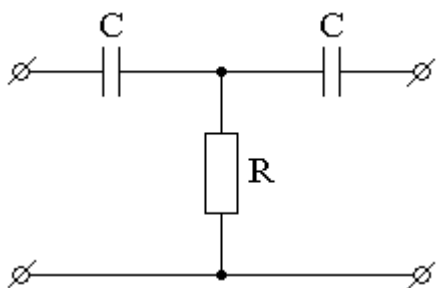


Рисунок 1.3

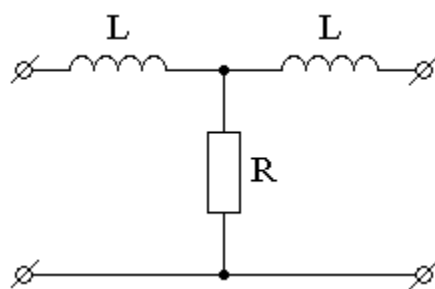


Рисунок 1.4

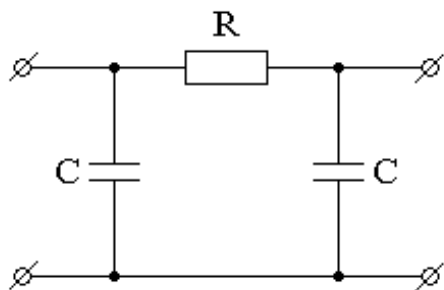


Рисунок 1.5

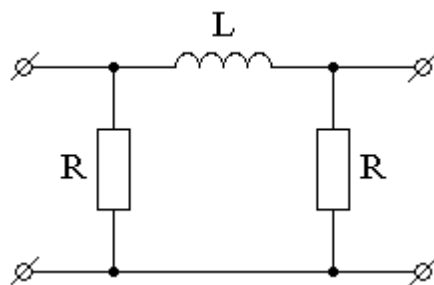


Рисунок 1.6

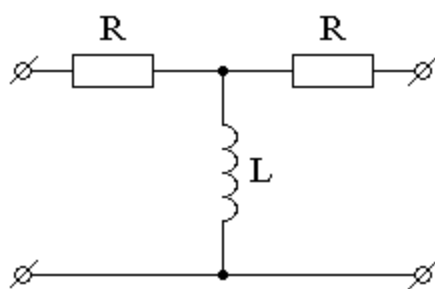


Рисунок 1.7

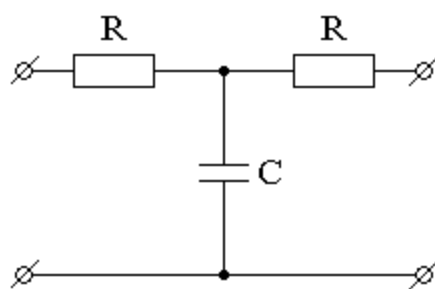


Рисунок 1.8

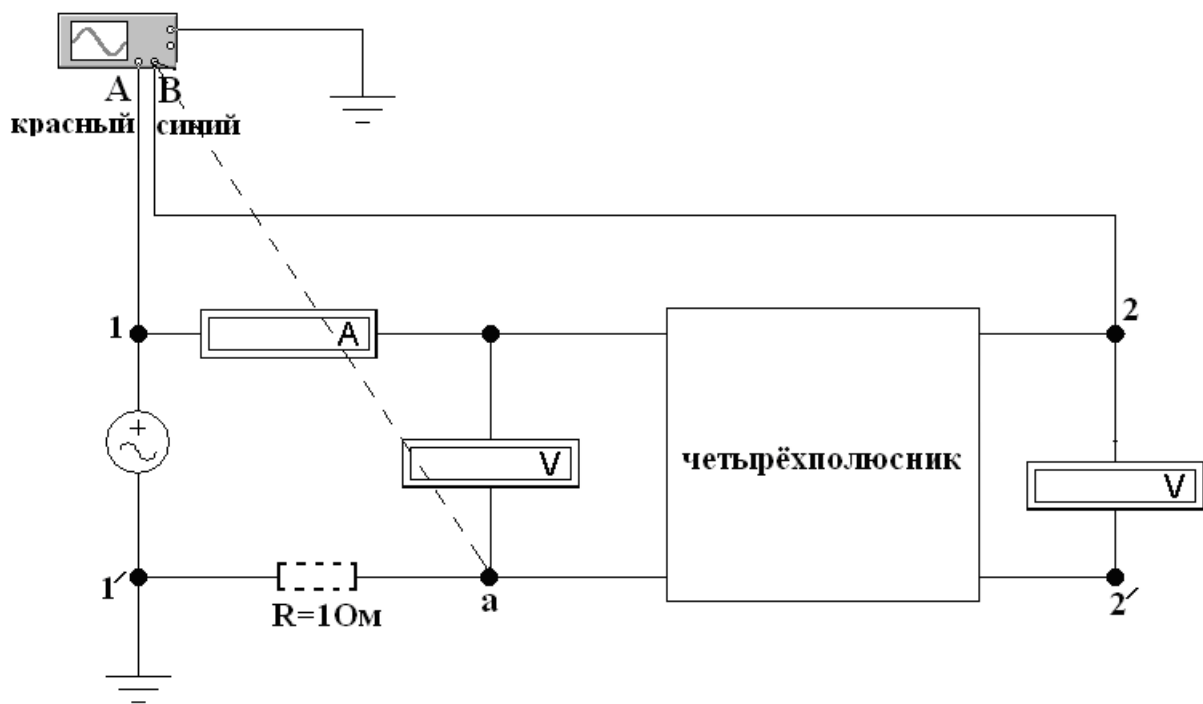


Рисунок 1.9

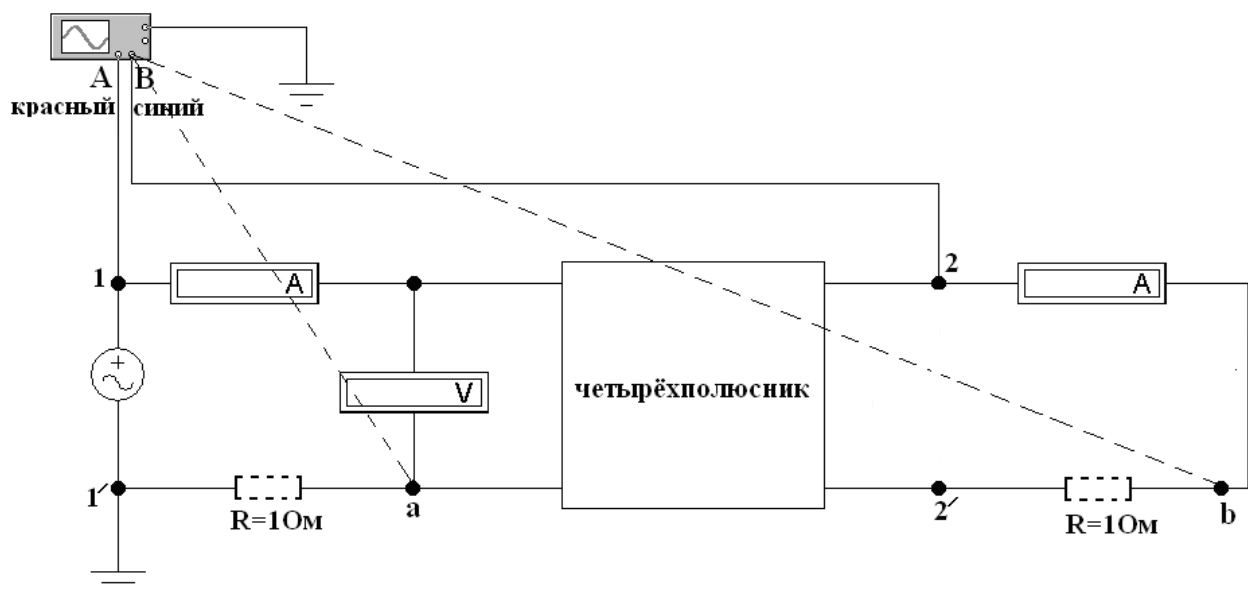


Рисунок 1.10

1.2.2 Установить на генераторе действующее значение входного напряжения U_1 и частоту f согласно таблице 1.1.

1.2.3 В режиме холостого хода (зажимы 2-2' разомкнуты, $Z_H = \infty$, $I_2 = 0$) измерить напряжение на входе четырёхполосника U_1 , напряжение на выходе четырёхполосника U_2 , ток на входе четырёхполосника I_1 . Измерить временной сдвиг по фазе между напряжением на входе $u_1(t)$ и напряжением на вы-

ходе $u_2(t)$ четырёхполосника: $T2-T1$ и временной сдвиг по фазе между напряжением на входе четырёхполосника $u_1(t)$ и током $i_1(t)$ на входе четырёхполосника: $T2-T1$. Результаты записать в таблицу 1.2.

1.2.4 В режиме короткого замыкания на зажимах 2-2' ($Z_H = 0, U_2 = 0$) измерить напряжение на входе четырёхполосника U_1 , токи на входе I_1 и выходе I_2 четырёхполосника. Измерить временной сдвиг по фазе между напряжением на входе $u_1(t)$ и токами на входе $i_1(t)$ и выходе $i_2(t)$ четырёхполосника: $T2-T1$. Результаты записать в таблицу 1.2.

Таблица 1.2

Режим работы	U_1 , В	U_2 , В	$T2-T1$, с	Ψ_{u2}	I_1 , А	$T2-T1$, с	Ψ_{i1}	I_2 , А	$T2-T1$, с	Ψ_{i2}
Холостой ход								0	-	-
Короткое замыкание		0	-	-						

Таблица 1.3

Режим работы	U_1 , В	\dot{U}_2 , В	\dot{I}_1 , А	\dot{I}_2 , А
Холостой ход				
Короткое замыкание				

Таблица 1.4

Вид исследования	\underline{A}_{11}	\underline{A}_{12} , Ом	\underline{A}_{21} , См	\underline{A}_{22}
Теоретический расчет				
Расчет по экспериментальным данным				

Таблица 1.5

Вид исследования	\underline{Z}_K , Ом	\underline{Z}_x , Ом	\underline{Z}_c , Ом	$\underline{\Gamma}$
Теоретический расчет				
Расчет по экспериментальным данным				

1.3 Обработка результатов экспериментов

1.3.1 По значениям $T2-T1$ рассчитать начальные фазы напряжения на выходе четырёхполюсника ψ_{u2} и начальные фазы токов на входе ψ_{i1} и выходе ψ_{i2} четырёхполюсника для исследуемых режимов. Результаты записать в таблицу 1.2.

1.3.2 Записать комплексы напряжения \dot{U}_2 и токов \dot{i}_1, \dot{i}_2 для исследуемых режимов в таблицу 1.3 .

1.3.3 По экспериментальным данным рассчитать А-параметры пассивного симметричного четырёхполюсника: \underline{A}_{11} , \underline{A}_{12} , \underline{A}_{21} , \underline{A}_{22} по напряжениям \dot{U}_1, \dot{U}_2 и токам \dot{i}_1, \dot{i}_2 в режимах холостого хода и короткого замыкания:

$$\underline{A}_{11} = \left(\frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2} \right)_{\dot{i}_2=0} ; \underline{A}_{21} = \left(\frac{\dot{i}_1}{\dot{U}_2} \right)_{\dot{i}_2=0} ; \underline{A}_{12} = \left(\frac{\dot{U}_1}{\dot{i}_2} \right)_{\dot{U}_2=0} ; \underline{A}_{22} = \left(\frac{\dot{i}_1}{\dot{i}_2} \right)_{\dot{U}_2=0} .$$

1.3.4 По экспериментальным данным рассчитать входные сопротивления четырёхполюсника для всех исследуемых режимов. Результаты расчётов записать в таблицу 1.5 (расчёт по экспериментальным данным).

1.3.5 По экспериментальным данным рассчитать характеристическое сопротивление четырёхполюсника \underline{Z}_c , постоянную передачи четырёхполюсника $\underline{\Gamma}$ для всех исследуемых режимов. Результаты расчётов записать в таблицу 1.5 (расчёт по экспериментальным данным).

1.3.6 Сравнить результаты экспериментов и теоретических расчётов.

1.4 Методические указания по измерению начальных фаз напряжений и токов

Измерить начальные фазы напряжения и токов можно с помощью осциллографа (рисунок 1.11). Для измерения начальных фаз напряжений канал А осциллографа подключают к точке 1 (красят этот провод в красный цвет), а канал В к точке 2 (красят этот провод в синий цвет). Выставив курсор 1 на ноль напряжения на входе четырёхполюсника $u_1(t)$, а курсор 2 на ближайший ноль напряжения на выходе четырёхполюсника $u_2(t)$ можно измерить временной сдвиг между напряжениями $u_1(t)$ и $u_2(t)$ по табло $T2-T1$. Фазовый сдвиг вычисляется по формуле:

$$\psi_{U1} - \psi_{U2} = 360^\circ \times (T2-T1) \times f.$$

Если принять, что $\psi_{U1}=0$, то $\psi_{U2} = -360^\circ \times (T2-T1) \times f$.

Для измерения начальных фаз токов в ветвь измеряемого тока подключается резистор с малым сопротивлением.

Для измерения начальной фазы тока на входе четырёхполюсника $i_1(t)$ между точками $1'$ и a включают сопротивление $R=1\text{ Ом}$, канал B осциллографа подключается к точке a . Выставив курсор 1 на ноль напряжения $u_1(t)$, а курсор 2 на ближайший ноль тока $i_1(t)$, измеряют временной сдвиг между током $i_1(t)$ и напряжением $u_1(t)$ на табло $T2-T1$. Начальную фазу тока ψ_{i1} вычисляют по формуле:

$$\psi_{i1} = -360^\circ \times (T2-T1) \times f.$$

После измерения начальной фазы тока $i_1(t)$ сопротивление $R=1\text{ Ом}$ отключают.

Для измерения начальной фазы тока на выходе четырёхполюсника $i_2(t)$ между точками $2'$ и b включают сопротивление $R=1\text{ Ом}$, канал B осциллографа подключается к точке b . Выставив курсор 1 на ноль напряжения $u_1(t)$, а курсор 2 на ближайший ноль тока $i_2(t)$, измеряют временной сдвиг между напряжением $u_1(t)$ и током $i_2(t)$ на табло $T2-T1$. Начальную фазу тока $i_2(t)$ вычисляют по формуле:

$$\psi_{i2} = -360^\circ \times (T2-T1) \times f.$$

После измерения начальной фазы тока $i_2(t)$ сопротивление $R=1\text{ Ом}$ отключают.

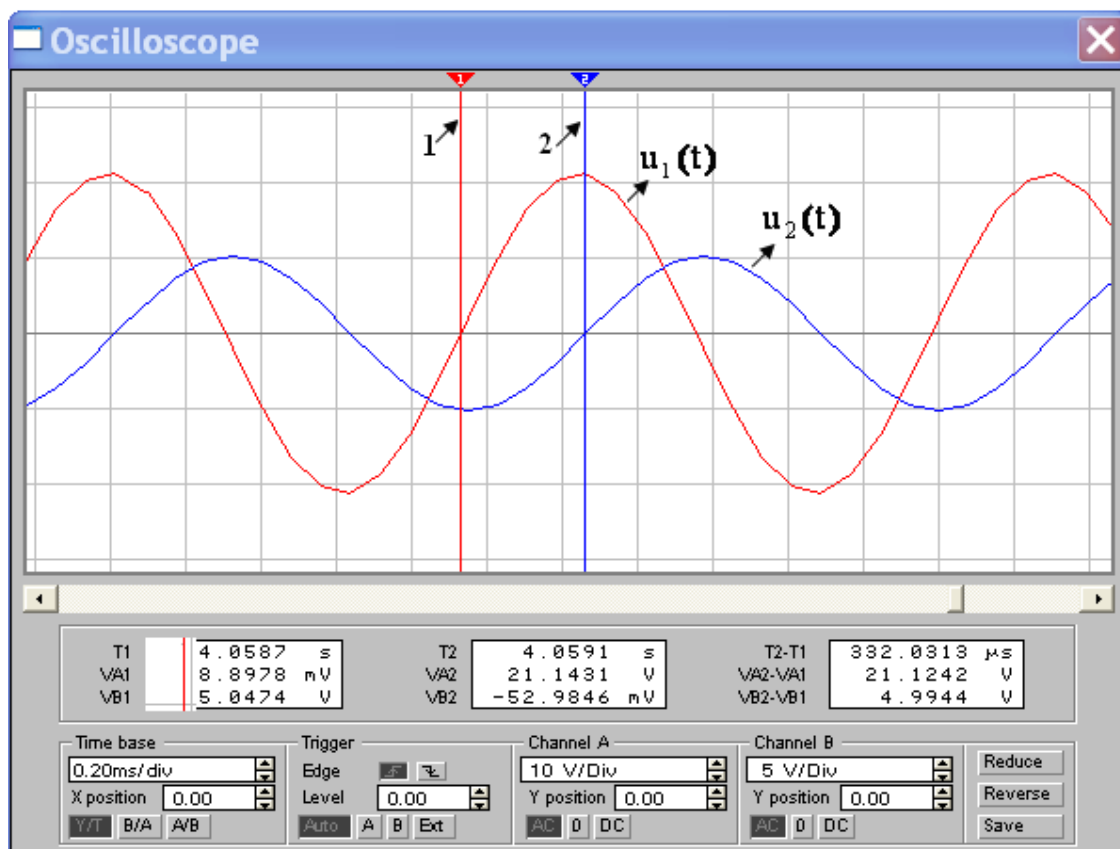


Рисунок 1.11

1.5 Контрольные вопросы

- 1.5.1 Дать определение четырехполюсников.
- 1.5.2 Какие четырехполюсники называются пассивными и активными?
- 1.5.3 Какие четырехполюсники называются симметричными и несимметричными?
- 1.5.4 Записать уравнения четырёхполюсника в А-, Z-, Y-, Н- параметрах.
- 1.5.5 Каким условиям удовлетворяют А-параметры пассивного четырёхполюсника, симметричного четырёхполюсника?
- 1.5.6 Как определяется входное сопротивление четырёхполюсника?
- 1.5.7 Записать уравнения для определения вторичных параметров четырёхполюсника.

2 Лабораторная работа №2. Исследование пассивных электрических фильтров

Цель: исследовать частотные характеристики для простейших низкочастотных (ФНЧ) и высокочастотных (ФВЧ) фильтров.

2.1 Подготовка к работе

2.1.1 Выбрать согласно варианту схему и параметры фильтра (таблица 2.1).

2.1.2 Рассчитать f_{cp} и ρ согласно варианту (таблица 2.1). Результаты занести в таблицу 2.2.

2.1.3 Нарисовать схему электрического фильтра согласно заданному варианту (рисунки 2.1 – 2.6) и таблицу 2.2.

Таблица 2.1

№ варианта	Тип Фильтра	Схема фильтра	U_1 (В)	L (мГн)	C (мкФ)
1	ФНЧ	Т-схема	5	80	0,5
2	ФВЧ	Т-схема	4	70	0,4
3	ФНЧ	П-схема	3	60	0,6
4	ФВЧ	П-схема	4	50	0,7
5	ФНЧ	Т-схема	5	40	0,3

2.2 Задание к выполнению работы

2.2.1 Собрать цепь (рисунок 2.1...2.4), включив в неё исследуемый фильтр согласно заданному варианту (таблица 3.1).

2.2.2 Установить значения входного напряжения U_1 , индуктивности L и емкости C , сопротивление $R_H = \rho$ согласно варианту (таблица 2.1).

3.2.3 Изменяя частоту генератора f , умножая на соответствующий коэффициент частоту среза (12 значений), используя таблицу 2.3 для ФНЧ или 2.4 для ФВЧ, измерить напряжения U_2 на выходе фильтра и временной сдвиг по фазе $T_2 - T_1$ между напряжениями на выходе $u_2(t)$ и входе $u_1(t)$. Напряжение на входе фильтра U_1 поддерживать постоянным. Результаты измерений занести в таблицу 2.2.

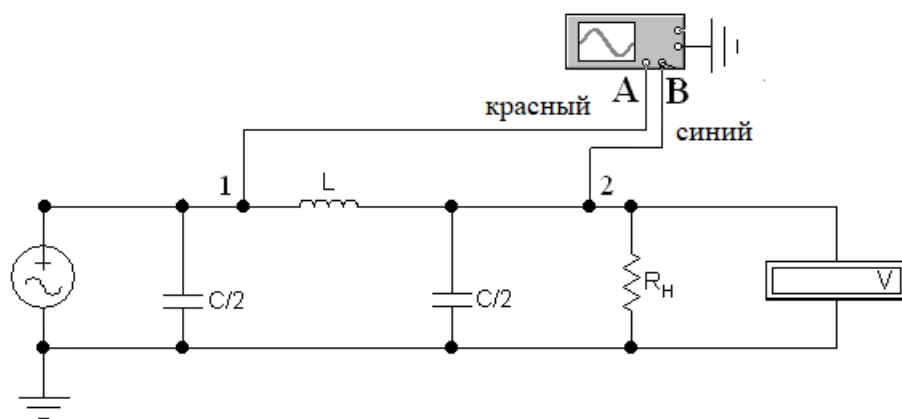


Рисунок 2.1 - Фильтр низкочастотный П-образный

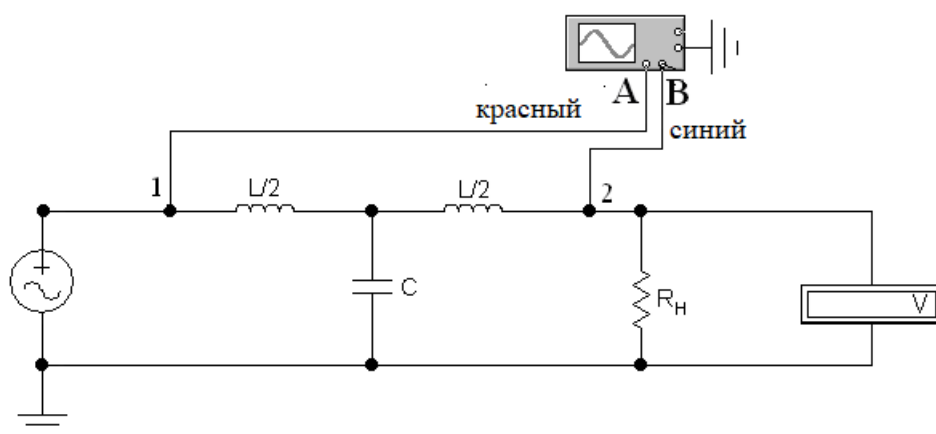


Рисунок 2.2 - Фильтр низкочастотный Т-образный

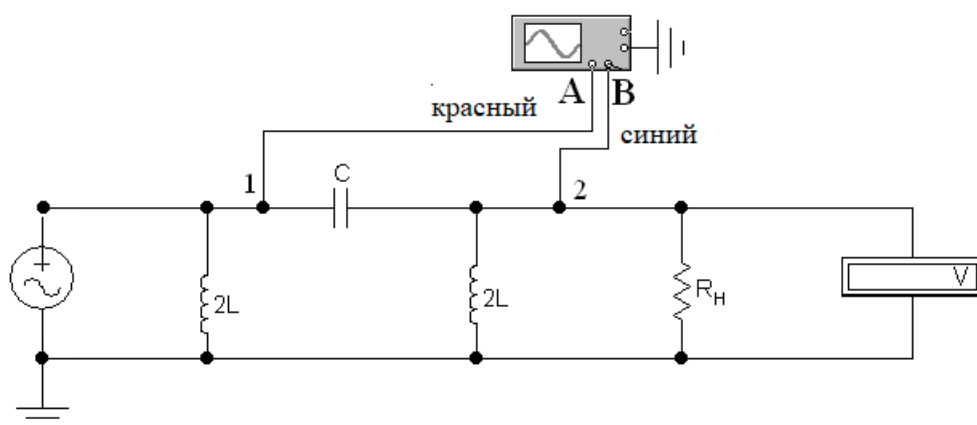


Рисунок 2.3 - Фильтр высокочастотный П-образный

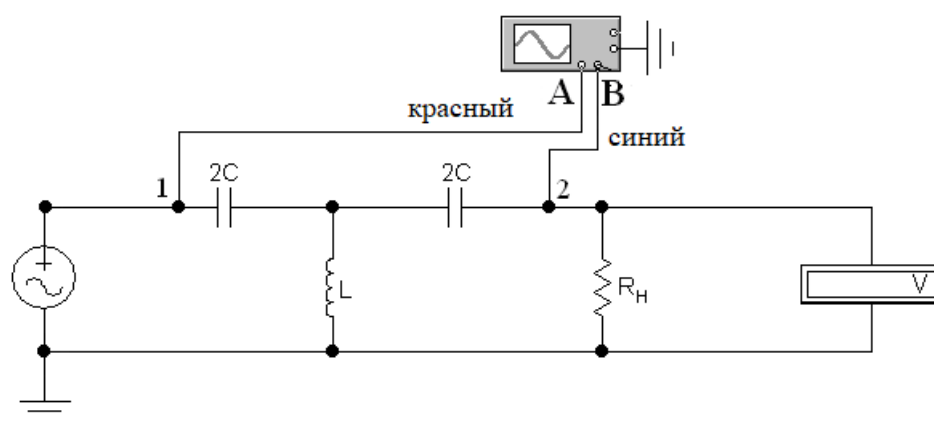


Рисунок 2.4 - Фильтр высокочастотный Т-образный

Таблица 2.2

$f_{cp} =$; $R_H =$; $U_1 =$; $L =$; $C =$;				
f , Гц	U_2	$T_2 - T_1$	a , Нп	b^0
f_1				
.				
.				
f_{12}				

2.3 Обработка результатов экспериментов

2.3.1 Рассчитать коэффициент затухания $a(f)$ и коэффициент фазы $b(f)$, занести в таблицу 2.2.

2.3.2 Построить экспериментальный график $a(f)$ по данным таблицы 2.2, совместив его с теоретическим графиком $a(f)$ (таблицы 2.3 или 2.4).

2.3.3 Построить экспериментальный график $b(f)$ по данным таблицы 2.2, совместив его с теоретическим графиком $b(f)$ (таблицы 2.3 или 2.4).

2.3.4 Сделать выводы о проделанной работе: сравнить теоретические графики $a(f)$ и $b(f)$ с экспериментальными, проанализировать зависимость $a(f)$ и $b(f)$ в полосе пропускания и в полосе задерживания.

Таблица 2.3

ФНЧ	f/f_{cp}	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1	1,2	1,5	2,0	4,0
	a , Нп	0	0	0	0	0	0	0	0,90	1,26	1,94	2,74	4,16
	b , 0	23	47	60	74	90	106	180	180	180	180	180	180

Таблица 2.4

ФВЧ	f/f_{cp}	0,25	0,5	0,67	0,83	0,9	1	1,25	1,43	1,67	2	2,5	5
	a , Нп	4,1	2,74	1,94	1,26	0,9	0	0	0	0	0	0	0
	$-b$, 0	180	180	180	180	180	180	106	90	74	60	47	23

2.4 Методические указания

При согласовании фильтра с нагрузкой напряжения входа U_1 и выхода U_2 связаны соотношением:

$$\frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2} = e^g = e^a e^{jb}.$$

Коэффициент затухания определяется по формуле:

$$a = \ln \frac{U_1}{U_2},$$

коэффициент фазы $b = \psi_1 - \psi_2$, где ψ_1 и ψ_2 – начальные фазы соответственно входного и выходного напряжений.

Частота среза f_{cp} для ФНЧ определяется по формуле $f_{cp} = \frac{1}{\pi\sqrt{LC}}$, а для ФВЧ - $f_{cp} = \frac{1}{4\pi\sqrt{LC}}$. Сопротивление нагрузки принимается равным характеристическому $R_H = \rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$.

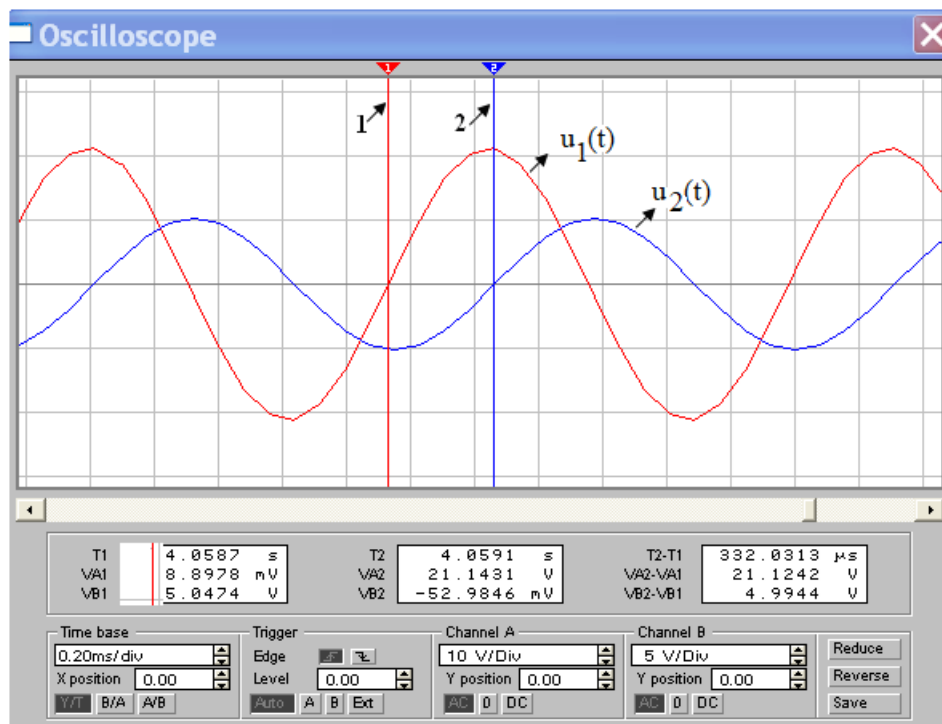


Рисунок 2.5

Коэффициент фазы определяется через временной сдвиг по фазе T_2-T_1 между напряжениями на выходе $u_2(t)$ и входе $u_1(t)$ по формуле $b = -(T_2 - T_1) \cdot 360^\circ \cdot f$.

Измерить начальные фазы напряжений можно с помощью осциллографа (рисунок 2.5). Для измерения начальной фазы напряжения $u_1(t)$ канал А осциллографа подключают к точке 1 (красят этот провод в красный цвет). Для измерения начальной фазы напряжения $u_2(t)$ на выходе канал В осциллографа подключают к точке 2 (красят этот провод в синий цвет). Выставив курсор 1 на ноль напряжения на входе $u_1(t)$, а курсор 2 на ближайший ноль напряжения на выходе $u_2(t)$, измерить временной сдвиг между напряжениями $u_2(t)$ и $u_1(t)$ по табло T_2-T_1 .

2.5 Контрольные вопросы

2.5.1 Дайте понятия низкочастотного, высокочастотного, полосного и заграждающего фильтров.

2.5.2 Дайте определение вторичных параметров фильтров. В каких единицах они измеряются?

2.5.3 Что такое область пропускания и область затухания идеального фильтра?

2.5.4 Привести П-образную и Т-образную схемы ФНЧ.

2.5.5 Привести П-образную и Т-образную схемы ФВЧ.

2.5.6 Привести графики зависимостей для $a(f)$ и $b(f)$ ФНЧ.

2.5.7 Привести графики зависимостей для $a(f)$ и $b(f)$ ФВЧ.

2.5.8 Привести расчётные формулы f_{cp} и ρ для ФНЧ.

2.5.9 Привести расчётные формулы f_{cp} и ρ для ФВЧ.

3 Лабораторная работа №3. Исследование различных режимов в длинных линиях с потерями

Цель: получение навыков исследования различных режимов в длинных линиях с потерями путем компьютерного моделирования.

3.1 Подготовка к работе

3.1.1 Выбрать согласно варианту первичные параметры линии (таблица 3.1).

3.1.2 Рассчитать R_l , L_l , C_2 , R_2 согласно заданному варианту (таблица 3.1).

3.1.3 Рассчитать волновое сопротивление линии Z_B согласно заданному варианту (таблица 3.1).

Таблица 3.1

вариант	U_1 , КВ	ℓ , км	$ k_1 $	$ k_2 $	$R_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$L_0 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Гн}}{\text{км}}$	$G_0 \cdot 10^{-6} \frac{\text{См}}{\text{км}}$	$C_0 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Ф}}{\text{км}}$	R_H , Ом
1	400	700	1,043	0,927	0,07	1,0	0,2	9,0	450
2	600	800	1,056	0,899	0,09	1,2	0,08	8,3	400
3	110	1000	1,11	0,815	0,1	1,3	0,3	9,5	500
4	220	900	1,089	0,845	0,08	1,4	0,06	8,8	470
5	330	1100	1,16	0,753	0,06	1,35	0,1	10	550

3.2 Задание к выполнению работы

3.2.1 Собрать схему линии с потерями (рисунок 3.1). Выставить значения R_l , L_l , C_2 , R_2 согласно предварительному расчету по заданному варианту.

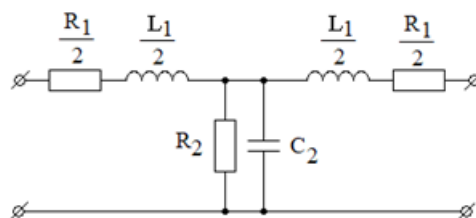


Рисунок 3.1

3.2.2 Подключить генератор, нагрузку и измерительные приборы (рисунок 3.2).

3.2.3 Установить на генераторе значение напряжения в начале линии U_1 , частоту $f = 50 \text{ Гц}$, сопротивление приемника R_H согласно заданному варианту.

В нагрузочном режиме измерить и записать в таблицу 4.2 действующее значение напряжения в конце линии U_2 , действующие значения токов в начале линии I_1 и в конце линии I_2 , начальную фазу напряжения в конце линии ψ_{U_2} и начальные фазы токов в начале ψ_{i_1} и в конце линии ψ_{i_2} .

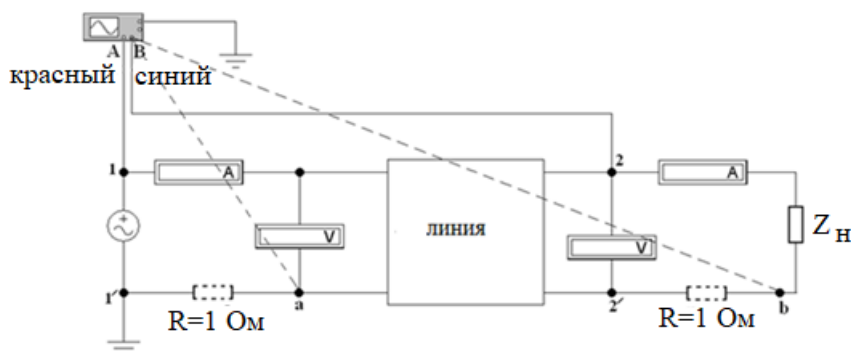


Рисунок 3.2

В нагрузочном режиме измерить и записать в таблицу 3.2 действующее значение напряжения в конце линии U_2 , действующие значения токов в начале линии I_1 и в конце линии I_2 , начальную фазу напряжения в конце линии ψ_{u_2} и начальные фазы токов в начале ψ_{i_1} и в конце линии ψ_{i_2} .

3.2.4 Изменить сопротивление R_H на Z_B (режим согласованной нагрузки). Измерить и записать в таблицу 3.2 действующее значение напряжения U_2 , действующие значения токов в начале линии I_1 , в конце линии I_2 , начальную фазу напряжения в конце линии ψ_{U_2} и начальные фазы токов в начале ψ_{i_1} и в конце линии ψ_{i_2} .

3.2.5 Зажимы 2 и 2' замыкаем накоротко (режим короткого замыкания в конце линии $U_2=0$). Измерить и записать в таблицу 3.2 действующие значения токов в начале линии I_1 , в конце линии I_2 , начальные фазы токов в начале ψ_{i_1} и в конце линии ψ_{i_2} .

3.2.6 Зажимы 2 и 2' размыкаем (режим холостого хода в конце линии $I_2=0$). Измерить и записать в таблицу 3.2 действующее значение напряжения в конце линии U_2 , действующие значения токов в начале линии I_1 , начальные фазы напряжения в конце линии ψ_{U_2} и тока в начале линии ψ_{i_1} .

Таблица 3.2

Режим работы	$U_1, \text{кВ}$	$U_2, \text{кВ}$	$T_2-T_1, \text{с}$	$\psi_{U_2}, \text{град}$	$I_1, \text{А}$	$T_2-T_1, \text{с}$	$\psi_{i_1}, \text{град}$	$I_2, \text{А}$	$T_2-T_1, \text{с}$	$\psi_{i_2}, \text{град}$
Нагрузочный режим $R_H =$										
Согласованная нагрузка $Z_H = Z_B =$										
Короткое замыкание $R_H = 0$		0	—	—						
Холостой ход $R_H = \infty$								0	—	—

3.3 Обработка результатов экспериментов

3.3.1 Рассчитать начальные фазы напряжения ψ_{U_2} и токов ψ_{i_1}, ψ_{i_2} для всех режимов. Результаты записать в таблицу 3.2.

3.3.2 Записать комплексы напряжений \dot{U}_2 и токов \dot{I}_1, \dot{I}_2 для всех исследуемых режимов. Результаты занести в таблицу 3.3.

3.3.3 По экспериментальным значениям рассчитать входное сопротивление линии Z_{BX} , активные мощности в начале P_1 и конце P_2 линии и КПД линии η для всех исследуемых режимов. Результаты записать в таблицу 3.3.

3.3.4 Сравнить полученные результаты. Сделать выводы по результатам работы.

Таблица 3.3

Режим работы	Z_{BX}	$\dot{I}_1, \text{А}$	$\dot{U}_2, \text{кВ}$	$\dot{I}_2, \text{А}$	$P_1, \text{кВт}$	$P_2, \text{кВт}$	$\eta\%$
Нагрузочный режим $R_H =$							
Согласованная нагрузка $Z_H = Z_B =$							
Короткое замыкание $R_H = 0$							
Холостой ход $R_H = \infty$							

3.4 Методические указания

Для исследования различных режимов в длинной линии с потерями путем компьютерного моделирования линия рассматривается как симметричный четырехполюсник, представленный симметричной Т-образной схемой замещения (рисунок 3.3).

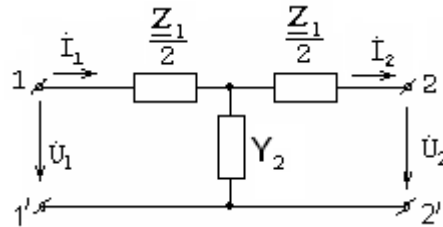


Рисунок 3.3

Сопротивление R_l , индуктивность L_l , проводимость G_2 и емкость C_2 для симметричной Т-схемы равны:

$$Z_1 = Z_0 l k_1 = (R_0 + j\omega L_0) l k_1 = R_1 + j\omega L_1;$$

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= R_0 l |k_1| \\ L_1 &= L_0 l |k_1| \end{aligned} \right\};$$

$$Y_2 = Y_0 l k_2 = (G_0 + j\omega C_0) l k_2 = G_2 + j\omega C_2;$$

$$\left. \begin{aligned} G_2 &= G_0 l |k_2|; R_2 = \frac{1}{G_2} \\ C_2 &= C_0 l |k_2| \end{aligned} \right\},$$

где R_0, L_0, G_0, C_0 - первичные параметры линии;

l - длина линии;

$k_1 = \frac{2(ch\gamma l - 1)}{\gamma sh\gamma l}$, $k_2 = \frac{sh\gamma l}{\gamma l}$ - комплексные коэффициенты, с достаточной

для практических расчётов точностью можно использовать модули $|k_1|, |k_2|$, $\gamma = \sqrt{(R_0 + j\omega L_0)(G_0 + j\omega C_0)}$ - коэффициент распространения.

$Z_B = \sqrt{\frac{Z_0}{Y_0}} = \sqrt{\frac{R_0 + j\omega \cdot L_0}{G_0 + j\omega \cdot C_0}} = z_B \cdot e^{j\theta}$ - волновое или характеристическое сопротивление линии.

Для измерения и расчета начальных фаз напряжений и токов использовать «Методические указания по измерению начальных фаз напряжений и токов» в лабораторной работе № 1.

3.5 Контрольные вопросы

- 3.5.1 Какие величины называются первичными параметрами линии?
 3.5.2 Какие величины называются вторичными параметрами линии?
 3.5.3 Записать формулы для определения \underline{Z}_0 , \underline{Y}_0 .
 3.5.4 Записать выражения, определяющие коэффициент распространения γ и волновое сопротивление \underline{Z}_B .
 3.5.5 Записать уравнения линии с гиперболическими функциями.
 3.5.6 Какая нагрузка называется согласованной?
 3.5.7 Как рассчитать мощность в начале линии P_1 , мощность в конце линии P_2 , КПД линии?

4 Лабораторная работа №4. Исследование различных режимов в линии без потерь

Цель работы: получение навыков исследования различных режимов в линии без потерь путём компьютерного моделирования.

4.1 Подготовка к работе

4.1.1 Выбрать согласно варианту первичные параметры линии (таблица 4.1).

4.1.2 Рассчитать параметры линии: Z_B , λ , k_1 , k_2 , L_1 , C_2 согласно варианту (таблица 5.1). Исходные данные и результаты расчётов записать в таблицу 4.2.

4.1.3 Рассчитать согласно заданному варианту токи, напряжения для различных режимов работы линии. Результаты расчётов занести в таблицу 4.4 (теоретический расчет).

Таблица 4.1

№	$U_1, В$	$f, Гц$	$\ell, м$	$L_0, \frac{мкГн}{м}$	$C_0, \frac{пФ}{м}$	$R_H, Ом$
1	10	10^8	0,375	1,57	7,1	800
2	15	10^8	0,5	1,67	6,67	1000
3	20	10^7	3,75	2,0	5,57	200
4	12	10^9	0,1	2,5	4,46	400
5	18	10^8	0,25	1,57	7,1	700
6	25	10^7	2,5	2,0	5,57	300

Таблица 4.2

$U_1, В$	$f, Гц$	$\ell, м$	$L_0, \frac{мкГн}{м}$	$C_0, \frac{пФ}{м}$	$Z_B, Ом$	k_1	k_2	$L_1, мкГн$	$C_2, пФ$	$\lambda, м$

Таблица 4.3

Режим работы	U_1, B	U_2, B	T_2-T_1, c	$\psi_{U_2}, гр.$	I_1, A	T_2-T_1, c	$\psi_{i1}, гр.$	I_2, A	T_2-T_1, c	$\psi_{i2}, гр.$
Нагрузочный режим $R_H =$										
Согласованная нагрузка $R_H = Z_B =$										
Короткое замыкание $R_H = 0$		0	—	—						
Холостой ход $R_H = \infty$								0	—	—

4.2 Задание к выполнению лабораторной работы

4.2.1 Собрать электрическую схему (рисунок 4.1).

4.2.2 Установить на генераторе действующее значение напряжения в начале линии U_1 , частоту f , согласно заданному варианту, и рассчитанные параметры четырёхполюсника L_1 и C_2 .

4.2.3 Установить сопротивление приёмника R_H , согласно заданному варианту. В нагрузочном режиме измерить и записать в таблицу 4.3 действующее значение напряжения в конце линии U_2 , действующие значения токов в начале линии I_1 и в конце линии I_2 , начальную фазу напряжения в конце линии ψ_{U_2} и начальные фазы токов в начале ψ_{i1} и в конце линии ψ_{i2} . Результаты записать в таблицу 4.3.

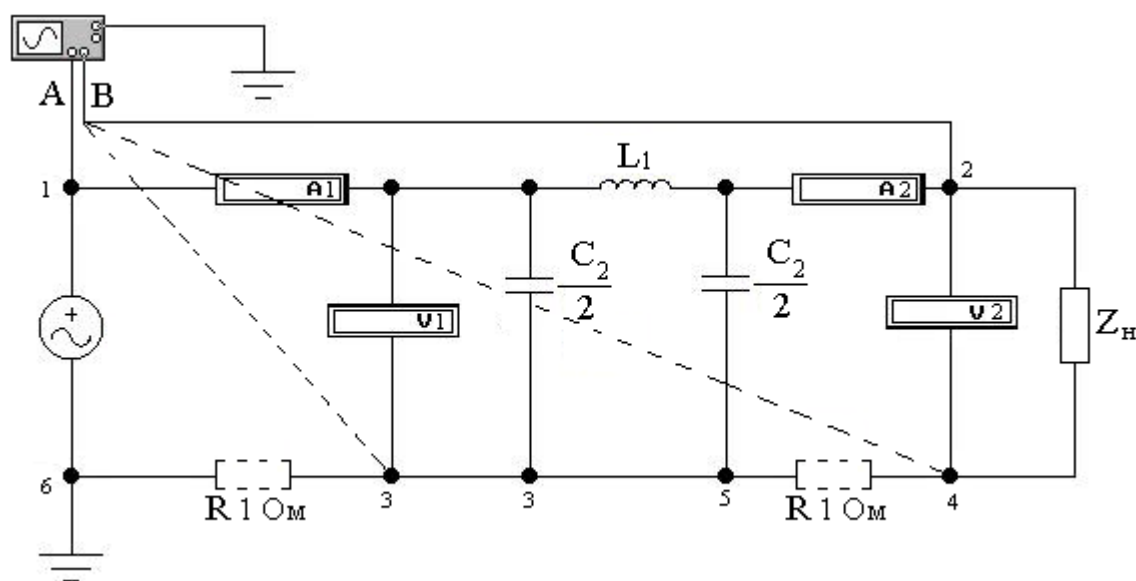


Рисунок 4.1

4.2.4 Изменить сопротивление R_H на Z_B (режим согласованной нагрузки). Измерить и записать в таблицу 4.3 действующее значение напряжения U_2 , действующие значения токов в начале линии I_1 , в конце линии I_2 , начальную фазу напряжения в конце линии ψ_{U_2} и начальные фазы токов в начале ψ_{i_1} и в конце линии ψ_{i_2} .

4.2.5 Зажимы 2 и 2' замыкаем накоротко (режим короткого замыкания в конце линии $U_2=0$). Измерить и записать в таблицу 4.3 действующие значения токов в начале линии I_1 , в конце линии I_2 , начальные фазы токов в начале ψ_{i_1} и в конце линии ψ_{i_2} .

4.2.6 Зажимы 2 и 2' размыкаем (режим холостого хода в конце линии $I_2=0$). Измерить и записать в таблицу 4.3 действующее значение напряжения в конце линии U_2 , действующие значения токов в начале линии I_1 , начальные фазы напряжения в конце линии ψ_{U_2} и тока в начале линии ψ_{i_1} .

4.3 Оформление и анализ результатов работы

4.3.1 Рассчитать начальные фазы напряжения ψ_{U_2} и токов ψ_{i_1} , ψ_{i_2} . Для всех режимов. Результаты записать в таблицу 4.3.

Таблица 4.4

Режим работы	Вид иссл.	\underline{Z}_{BX}	\dot{I}_1, A	\dot{U}_2, B	\dot{I}_2, A	P_1, Bm	P_2, Bm	$\eta\%$
Нагрузочный режим $R_H=$	Теор. расч.							
	эксп.							
Согласованная нагрузка $R_H= Z_B =$	Теор. расч.							
	эксп.							
Короткое за- мыкание $R_H=0$	Теор. расч.							
	эксп.							
Холостой ход $R_H=\infty$	Теор. расч.							
	эксп.							

4.3.2 Записать комплексы напряжений \dot{U}_2 и токов \dot{I}_1, \dot{I}_2 для всех исследуемых режимов. Результаты занести в таблицу 4.4.

4.3.3 По экспериментальным значениям рассчитать входное сопротивление линии \underline{Z}_{BX} , активные мощности в начале P_1 и конце P_2 линии и КПД линии η для всех исследуемых режимов. Результаты записать в таблицу 4.4.

4.3.4 Сравнить полученные результаты. Сделать выводы по результатам работы.

Для измерения и расчета начальных фаз напряжений и токов использовать «Методические указания по измерению начальных фаз напряжений и токов» в лабораторной работе № 1.

4.4 Методические указания

Для высокочастотных коротких по длине линий выполняются условия $R_0 \ll \omega L_0$ и $G_0 \ll \omega C_0$, поэтому с достаточно большой точностью можно пренебречь сопротивлением R_0 и проводимостью утечки G_0 и рассматривать линию, как линию без потерь.

При исследовании различных режимов в линии путём компьютерного моделирования линия рассматривается как симметричный четырёхполюсник, который может быть представлен симметричной Т- или П-образной схемой замещения.

Представим линию без потерь симметричной П-образной схемой (рисунок 4.2).

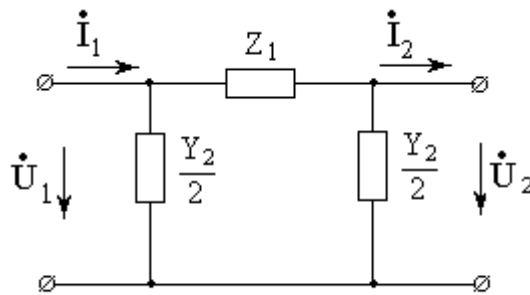


Рисунок 4.2

Сопротивление \underline{Z}_1 и проводимость \underline{Y}_2 для симметричной П-схемы равны:

$$\underline{Z}_1 = j\omega L_0 k_1 = j\omega L_1;$$

$$\underline{Y}_2 = j\omega C_0 k_2 = j\omega C_2;$$

$$\left. \begin{aligned} L_1 &= L_0 \ell k_1 \\ C_2 &= C_0 \ell k_2 \end{aligned} \right\},$$

где ℓ - длина линии;

L_0, C_0 – первичные параметры линии без потерь;

$$k_1 = \frac{\sin \beta \ell}{\beta \ell}, k_2 = \frac{2(1 - \cos \beta \ell)}{\beta \ell \sin \beta \ell} - \text{коэффициенты};$$

$\omega = 2\pi f$ - угловая частота, $\beta = \omega \sqrt{L_0 C_0}$ - коэффициент фазы, $\beta \ell$ измеряется в рад.

Токи и напряжения для различных режимов работы линии вычисляют по формулам:

- нагрузочный режим:

$$\dot{U}_2 = \frac{\dot{U}_1}{\cos \beta \ell + j(Z_B/R_H) \sin \beta \ell};$$

$$\dot{I}_2 = \dot{U}_2/R_H;$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_2(\cos \beta \ell + j \frac{R_H}{Z_B} \sin \beta \ell);$$

- холостой ход:

$$\dot{U}_2 = \frac{\dot{U}_1}{\cos \beta \ell}; \dot{I}_2 = 0; \dot{I}_1 = j \frac{\dot{U}_2}{Z_B} \sin \beta \ell;$$

- короткое замыкание:

$$\dot{U}_2 = 0; \dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_1}{jZ_B \sin \beta \ell}; \dot{I}_1 = \dot{I}_2 \cos \beta \ell;$$

- согласованная нагрузка:

$$Z_H = Z_B; \dot{U}_2 = \dot{U}_1 e^{-j\beta \ell}; \dot{I}_2 = \dot{U}_2/Z_B; \dot{I}_1 = \dot{U}_1/Z_B.$$

4.5 Контрольные вопросы

4.5.1 Какая линия называется линией без потерь?

4.5.2 Как определяются вторичные параметры линии без потерь?

4.5.3 Записать уравнения передачи линии без потерь.

4.5.4 Какая нагрузка называется согласованной? Чему равно входное сопротивление линии при согласованной нагрузке?

4.5.5 При какой нагрузке в линии без потерь наблюдается режим стоячих волн?

4.5.6 Входное сопротивление короткозамкнутой линии без потерь.

4.5.7 Входное сопротивление разомкнутой линии без потерь.

Список литературы

Основная

1 Креслина С.Ю., Нурмадиева Э.А. Цепи с распределенными и сосредоточенными параметрами. Теория четырехполюсников. Методические указания и задания к лабораторным работам для специальности 5В070200 - Автоматизация и управление. – Алматы: АУЭС, 2014. – 21 с.

2 Креслина С.Ю., Аршабекова А.Т. Цепи с распределенными и сосредоточенными параметрами. Методические указания и задания к расчетно-графическим работам № 1,2. - Алматы: АУЭС, 2013. - 14 с.

3 Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. - М.: Гардарики, 2013. – 638 с.

4 Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле. - М.: Гардарики, 2014. – 638 с.

5 К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин, В.Л. Чечурин. ТОЭ: В 3-х т. Учебник для вузов. - СПб.: Питер, 2006.

6 Денисенко В.И., Креслина С.Ю., Светашев Г.М. ТОЭ2. Конспект лекций (для бакалавриата 050702 – Автоматизация и управление). - Алматы: АИЭС, 2009. - 62 с.

7 Денисенко В.И., Креслина С.Ю. ТОЭ1. Конспект лекций (для бакалавриата 050702 – Автоматизация и управление). - Алматы: АИЭС, 2008. - 67 с.

8 Денисенко В.И., Зуслина Е.Х. ТОЭ. Учебное пособие. - Алматы: АИЭС, 2000. - 83 с.

Дополнительная

9 Сборник задач по теоретическим основам электротехники/ Л.Д.Бессонов, И.Г.Демидова, М.Е.Заруди и др. -М.: Высшая школа, 2003. -159 с.

10 Прянишников В.А. ТОЭ: Курс лекций: Учебное пособие – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб., 2000 – 368 с.

11 Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях: Практикум на Electronics Workbench. В 2-х томах/ Под ред. Д.И. Панфилова – М.: ДОДЭКА, 1999. - т.1-Электротехника. – 304 с.

12 Шебес М.Р., Каблукова М.В. Задачник по теории линейных электрических цепей. - М.: Высшая школа, 1990. - 544с.

13 Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей. - М.: Энергоатомиздат, 1989. -528 с.

Содержание

Введение	3
1 Лабораторная работа №1. Исследование пассивных симметричных четырёхполюсников	5
2 Лабораторная работа №2. Исследование пассивных электрических фильтров	12
3 Лабораторная работа №3. Исследование различных режимов в длинных линиях с потерями	17
4 Лабораторная работа №4. Исследование различных режимов в линии без потерь	21
Список литературы	26

Светлана Юрьевна Креслина
Алма Тулендиевна Аршабекова

ЦЕПИ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ И СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ ПАРАМЕТ-
РАМИ. ТЕОРИЯ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКОВ

Методические указания и задания по выполнению лабораторных работ
для студентов специальности 5В070200 - Автоматизация и управление

Редактор Л.Т. Сластихина
Специалист по стандартизации Г.И. Мухаметсариева

Подписано в печать «___» _____
Тираж 50 экз.
Объем 1.7 уч. - изд. л.

Формат 60х84 1/16
Бумага типографская №1
Заказ ____ Цена 850 тенге

Копировально-множительное бюро
некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи»
050013, Алматы, ул. Байтурсынова, 126.