

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

С.Н. МИХАЛИН, Т.Ю. КОВАЛЕВА

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ
Сборник лабораторных работ

Методическое пособие

по курсам

«Электрофизика и электроника», «Основы теории цепей» и
«Электрофизика информационных систем»

для студентов, обучающихся по направлениям «Приборостроение», 220100 и
«Управление в технических системах», 220200

Под редакцией Ю.А. Казанцева

УДК 621.3
М 692

Рецензент:

канд. техн. наук, проф. Геворкян В.М.

Михалин С.Н., Ковалева Т.Ю.

Основы электротехники. Лабораторный практикум. Методическое пособие
под ред. Ю.А. Казанцева. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 40 с.

ISBN

Лабораторный практикум предназначен для студентов обучающихся по курсам «Электрофизика и электроника», «Основы теории цепей», «Электрофизика информационных систем» по направлениям «Приборостроение» и «Управление в технических системах».

Практикум содержит 8 лабораторных работ и методический материал, необходимый для их выполнения на оборудовании лаборатории «Основы электротехники и электроники» кафедры «Электрофизики информационных систем». Выполнение работ подразумевает подготовку к работе – теоретический расчет и подготовку шаблона к выполнению работы, проведение физических измерений и анализ результатов, а также математическое моделирование с помощью программного обеспечения *Design Lab 8.0*. Практикум ориентирован на индивидуальное выполнение студентом заданий лабораторных работ.

Лабораторная работа №1

Простейшие компоненты электрических цепей.

Цель работы: Ознакомление с оборудованием, изучение свойств реальных источников энергии и линейных компонентов электрической цепи.

Подготовка к работе

1. Ознакомиться с составом стенда, техническими характеристиками и правилами эксплуатации измерительных приборов.

Выполнение работы

2. **Измерение внешней вольт-амперной характеристики (ВАХ) реального источника постоянного тока.**

- 2.1. Собрать электрическую цепь – рис. 1.1.

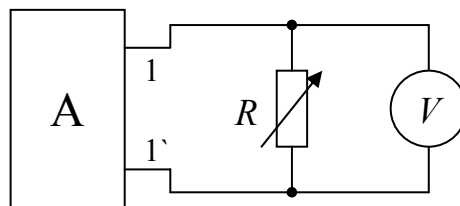


Рис. 1.1 – Схема для измерения внешней ВАХ реального источника.

- 2.2. С помощью вольтметра измерить напряжение на зажимах источника, устанавливая величину сопротивления нагрузки от 50 до 900 Ом, а также напряжение на разомкнутых зажимах источника (режим холостого хода, $R \rightarrow \infty$). По данным измерений рассчитать ток. Результаты измерений и расчетов свести в таблицу 1.

Таблица 1

R , Ом	50	100	150	200	250	300	400	500	600	700	800	900	∞
U , В													
I , мА													

- 2.3. Построить измеренную внешнюю вольт-амперную характеристику реального источника. По полученной характеристике определить внутреннее сопротивление источника.
- 2.4. Нарисовать последовательную и параллельную схемы замещения реального источника, рассчитать их параметры.

3. Исследование связи тока и напряжения в элементах при воздействии переменного источника ЭДС.

3.1. Собрать электрическую цепь рис. 1.2 в соответствии с вариантом (номером стенда), где Γ – генератор синусоидального напряжения.

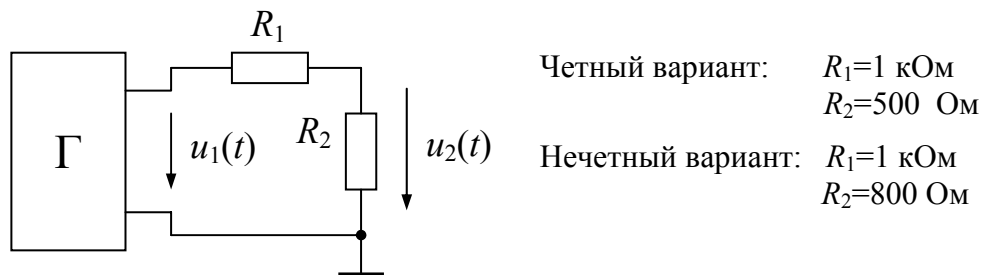


Рис. 1.2 – Схема резистивного делителя напряжения.

3.2. Согласно варианту аналитически рассчитать коэффициент деления резистивного делителя напряжения – рис. 1.2 ($K = U_{m2}/U_{m1}$).

3.3. На выходе генератора Γ задать синусоидальную форму напряжения, амплитуду $U_{1m}=5 \text{ В}$ и частоту $f=1 \text{ кГц}$: $u_1(t) = U_{1m} \sin(2\pi ft)$. С помощью осциллографа измерить амплитуды напряжений $u_1(t)$ и $u_2(t)$, сдвиг фаз между ними и период колебаний. Результаты измерений записать в отчет. Убедиться, что коэффициент деления делителя напряжения соответствует расчетной величине, а разность фаз между напряжением $u_1(t)$ и током цепи равна нулю.

3.4. Собрать электрическую цепь рис. 1.3 в соответствии с вариантом.

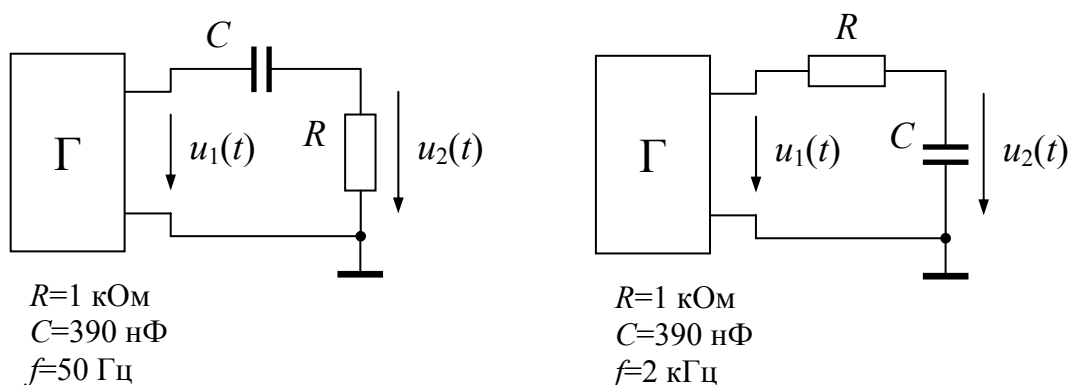


Рис. 1.3 – Простейшие цепи переменного тока (слева – для четного, справа – для нечетного вариантов).

3.5. На выходе генератора Γ установить синусоидальную форму напряжения, амплитуду 5 В и указанную на рис. 1.3 частоту f . С помощью осциллографа измерить амплитуды напряжений $u_1(t)$, $u_2(t)$ и сдвиг фаз между ними, сохранить осциллограммы в виде графических файлов.

3.6. На выходе генератора Γ задать треугольную для схемы 1.3а или прямоугольную для схемы 1.3б форму напряжения, установить амплитуду 5 В и указанную на рис. 1.3 частоту f . Наблюдая с помощью осциллографа напряжения $u_1(t)$ и $u_2(t)$ убедиться, что форма сигнала генератора изменяется в соответствии с компонентными уравнениями. Сохранить осциллограммы в виде графических файлов.

Контрольные вопросы.

1. Нарисуйте вольт-амперные характеристики идеальных источников напряжения и тока.
2. Каким образом находят ЭДС и внутреннее сопротивление реального источника напряжения?
3. Какие существуют эквивалентные схемы замещения реального источника?
4. Каково внутреннее сопротивление идеального вольтметра?
5. Каково внутреннее сопротивление идеального амперметра?
6. Нарисуйте резистивный делитель напряжения с заданным коэффициентом деления K ?
7. Запишите уравнения, связывающие ток $i(t)$ и напряжение $u(t)$ на конденсаторе (индуктивности).
8. Как сравнить по вольт-амперным характеристикам двух реальных источников их внутренние сопротивления?
9. Какими параметрами характеризуется источник напряжения?
10. Какими параметрами характеризуется источник тока?
11. Каково условие передачи максимальной мощности от источника в нагрузку?
12. Как выполнить эквивалентное преобразование источника тока в источник ЭДС?
13. Почему напряжение, установленное на генераторе, отличается по величине от напряжения на его зажимах, если к генератору синусоидального сигнала подключено сопротивление R ?
14. Сформулируйте первый закон Кирхгофа.
15. Сформулируйте второй закон Кирхгофа.

Лабораторная работа №2

Исследование простейших электрических цепей.

Цель работы: Изучение свойств линейных электрических цепей, методов расчета, приобретение навыков применения измерительных приборов.

Подготовка к работе

1. Расчет разветвленной цепи постоянного тока.

1.1. В схеме рис. 2.1 в соответствии с вариантом рассчитать указанный ток I_x , применяя теорему об активном двухполюснике, величину сопротивления R задать в соответствии с нижеследующей таблицей согласно варианту (N – младшая значащая цифра номера стенда).

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$R, \text{ Ом}$	100	200	250	300	400	500	600	700	800	900

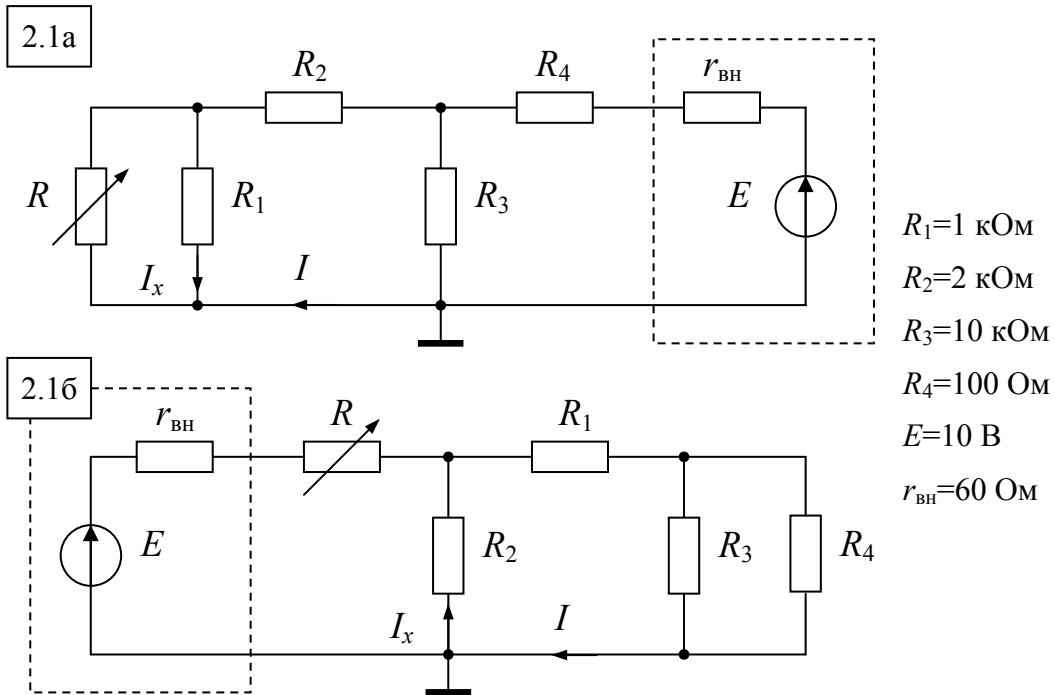


Рис. 2.1 – Расчетные схемы для четных (а) и нечетных (б) вариантов N .

- 1.2. В схеме рис. 2.1 в соответствии с вариантом определить токи всех ветвей. Рассчитать отношение тока I к току источника.
- 1.3. По найденным значениям токов ветвей определить потенциалы всех узлов.

Выполнение работы

2. Экспериментальное определение входного сопротивления активного двухполюсника.

- 2.1. Нарисовать и собрать электрическую цепь – рис. 2.1 в соответствии со своим вариантом.
- 2.2. Поочередно разрывая и закорачивая ветвь с искомым током I_x , провести измерения напряжения холостого хода и тока короткого замыкания (нарисовать схемы, отобразив включение вольтметра и амперметра).
- 2.3. По результатам измерений определить входное сопротивление цепи относительно узлов присоединения ветви с искомым током. Сравнить полученную величину с данными теоретического расчета (п. 1.1).
- 2.4. Нарисовать эквивалентные последовательную и параллельную схемы замещения активного двухполюсника цепи относительно зажимов ветви с искомым током, указать их параметры.
- 2.5. Нарисовать схему, отобразив вольтметры, для измерения тока короткого замыкания без применения амперметра. Экспериментально убедитесь в идентичности результата.

3. Исследование разветвленной резистивной цепи при синусоидальном источнике ЭДС.

- 3.1. Нарисовать и собрать схему рис. 2.1 в соответствии со своим вариантом, заменив источник постоянного напряжения на источник синусоидального напряжения с амплитудой 5 В и частотой 1 кГц.
- 3.2. С помощью вольтметра определить действующее значение напряжения на зажимах источника. Объяснить отличие полученного значения напряжения на источнике от заданной генератором величины.
- 3.3. Провести необходимое измерение вольтметром для определения действующего значения тока источника.
- 3.4. С помощью вольтметра измерить действующие значения потенциалов всех узлов цепи. По результатам измерений определить ток I .
- 3.5. На основании данных пп. 3.3 и 3.4 рассчитать отношение действующего значения тока I к действующему значению тока источника. Сравнить полученную величину с данными п. 1.2.

Контрольные вопросы.

1. Какие схемы замещения эквивалентного генератора бывают?
2. В чем суть принципа компенсации?
3. Сформулируйте теорему об активном двухполюснике.
4. Как применить вольтметр для измерения тока ветви в разветвленной цепи?
5. В чем суть применения теоремы об активном двухполюснике к расчету тока ветви разветвленной цепи?
6. Каковы критерии применения одной из двух схем замещения эквивалентного генератора в линейных цепях?
7. Какие методы расчета токов (напряжений) в цепях Вам известны?
8. Запишите систему уравнений по законам Кирхгофа для заданной схемы.
9. Что называется последовательным соединением элементов?
10. Что называется параллельным соединением элементов?
11. Как определить входное сопротивление разветвленной цепи?
12. В чем суть принципа линейности?
13. Каковы показания идеального вольтметра, подключенного к генератору напряжения синусоидальной формы с амплитудой 10 В?

Лабораторная работа №3

Установившиеся режимы в линейных цепях с источниками синусоидального напряжения.

Цель работы: Измерение и расчет комплексных значений токов и напряжений в электрических цепях, содержащих элементы R , L и C при воздействии синусоидального источника ЭДС.

Подготовка к работе

1. Расчет электрических цепей переменного тока символическим методом.

1.1. Для схем рис. 3.1, полагая известным напряжение $\dot{U}_{вх}$, записать в общем виде комплексные значения тока \dot{I} и напряжения \dot{U}_R . На основании второго закона Кирхгофа определить напряжение \dot{U} . Качественно построить векторную диаграмму напряжений, считая элементы цепи идеальными.

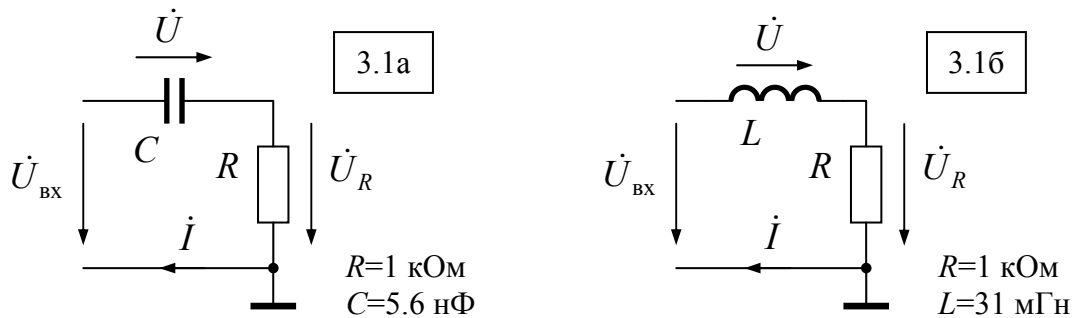


Рис. 3.1 – Последовательные цепи переменного тока (слева: активно-емкостная, справа: активно-индуктивная).

1.2. Для трех значений частот: 5, 10, 20 кГц рассчитать сопротивления реактивных элементов. В соответствии с выражениями, полученными в п. 1.1, определить модуль напряжения на резисторе, если действующее значение входного напряжения $U_{вх}=10$ В. Результаты свести в таблицу 3.1.

Таблица 3.1

f , кГц	X_C , Ом	X_L , Ом	U_R , В рис. 3.1а	U_R , В рис. 3.1б
5				
10				
20				

- 1.3. В последовательной RLC цепи – рис. 3.2 (согласно варианту), считая известным действующее значение входного напряжения $U_{\text{вх}}=10$ В, записать в общем виде и рассчитать ток цепи и напряжения на всех элементах. Построить векторную диаграмму напряжений. Записать мгновенные значения тока и напряжений цепи.

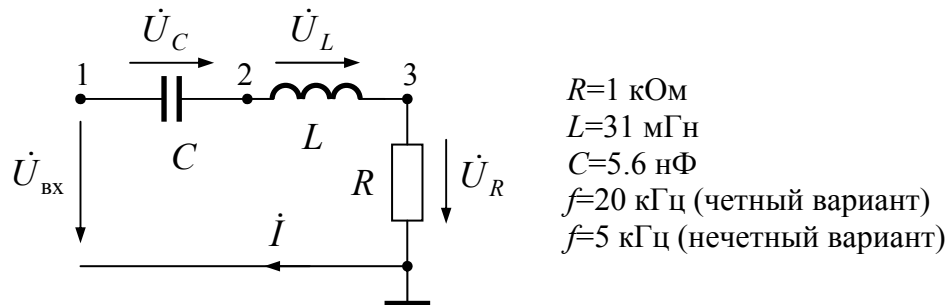


Рис. 3.2 – Последовательная RLC цепь.

- 1.4. Вывести формулу расчета входного комплексного сопротивления пассивного двухполюсника (П), если известны значения напряжений $\dot{U}_{\text{вх}}$ и \dot{U}_R , полученные в ходе измерений в схеме рис. 3.3.

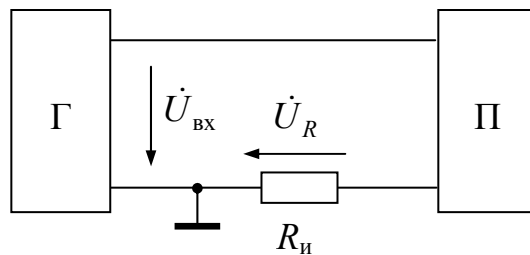


Рис. 3.3 – Схема для измерения входного сопротивления пассивного двухполюсника ($R_n=100$ Ом).

- 1.5. Ознакомиться с описанием среды численного расчета установившегося режима электрических цепей *DLab 8.0 (ORCAD)*.

Выполнение работы

2. Измерение гармонических токов и напряжений в последовательной электрической цепи.

- 2.1. Нарисовать и собрать электрическую цепь рис. 3.1а – четный вариант и рис. 3.1б – нечетный вариант, предусмотрев в качестве источника ЭДС генератор синусоидального напряжения с амплитудой 2 В и частотой 10 кГц.
- 2.2. Подключить к цепи осциллограф для измерения входного напряжения (первый канал) и напряжения на резисторе (второй канал). Измерить амплитуды напряжений и сдвиг фаз между ними, приняв начальную фазу входного напряжения равной нулю.

- 2.3. По измерениям записать комплексные значения тока и входного напряжения, рассчитать комплексное напряжение на реактивном элементе. Построить векторную диаграмму напряжений.
- 2.4. По полученным данным определить сопротивление реактивного элемента, сопоставить его с теоретической величиной (таблица 3.1).
- 3. Исследование последовательной RLC цепи при воздействии синусоидального источника напряжения.**
 - 3.1. Нарисовать и собрать электрическую цепь рис. 3.2. В качестве источника напряжения включить генератор синусоидальных колебаний с амплитудой 2 В и указанной на рисунке частотой.
 - 3.2. Подключить к цепи осциллограф для измерения амплитуд потенциалов в точках 1, 2, 3 и сдвига фаз между ними, приняв начальную фазу напряжения \dot{U}_R равной нулю. Записать результаты измерений комплексных значений потенциалов.
 - 3.3. На основании измерений рассчитать комплексные напряжения на элементах и ток цепи, построить векторную диаграмму напряжений и сопоставить ее с результатами теоретического расчета (п. 1.3).
 - 3.4. Определить комплексное входное сопротивление цепи на заданной частоте.
 - 3.5. Изменяя частоту генератора добиться режима, при котором сдвиг фаз между напряжением на входе и током цепи равен нулю. Записать значение этой частоты и амплитуды тока цепи и напряжения на входе. Рассчитать сопротивление цепи на этой частоте.
- 4. Определение параметров пассивных двухполюсников.**
 - 4.1. Нарисовать и собрать электрическую схему рис. 3.3, в качестве пассивного двухполюсника (П) включить Z_1 – для четного и Z_2 – для нечетного вариантов. Установить параметры генератора (Г): синусоидальная форма напряжения, амплитуда 2 В и частота 10 кГц.
 - 4.2. Провести измерения напряжений $\dot{U}_{вх}$, \dot{U}_R и рассчитать комплексное сопротивление пассивного двухполюсника.
 - 4.3. Нарисовать последовательную и параллельную эквивалентные схемы замещения двухполюсника, рассчитать их параметры.
- 5. Моделирование электрических схем в среде численного анализа цепей.**

- 5.1. Собрать виртуальную схему рис. 3.2, установить параметры источника синусоидального напряжения: амплитуда 2 В, частота указана на рисунке.
- 5.2. Выполнить расчет цепи с целью определения комплексных значений потенциалов и тока цепи, рассчитать напряжения на элементах цепи. Результаты представить в виде таблицы 3.2, дополнив ее данными теоретического расчета и экспериментальными результатами.

Таблица 3.2

Данные	$\dot{U}_C, В$	$\dot{U}_L, В$	$\dot{U}_R, В$
расчета			
эксперимента			
моделирования			

- 5.3. Повторить п. 5.2 с учетом внутреннего активного сопротивления катушки $R_k=110 \text{ Ом}$.

Контрольные вопросы.

1. В чем суть символического метода расчета токов и напряжений цепи переменного тока?
2. Как связаны ток и напряжение на конденсаторе?
3. Как связаны ток и напряжение на индуктивности?
4. Что такое реактивное сопротивление цепи?
5. Что такое активное сопротивление цепи?
6. Что такое сдвиг фаз двух синусоидальных сигналов?
7. Какие методы расчета цепей переменного тока Вам известны?
8. Нарисуйте качественно вектора тока и напряжения на входе пассивного двухполюсника, если известно, что его входное сопротивление имеет индуктивный характер.
9. Какова схема замещения реальной катушки?
10. Нарисуйте эквивалентную схему замещения цепи, входное сопротивление которой имеет активно-емкостной характер.

Лабораторная работа №4

Частотные характеристики пассивных электрических цепей.

Цель работы: Исследование комплексных передаточных функций четырехполюсников различного вида.

Подготовка к работе

1. Частотные характеристики RL , RC и RLC цепей.

1.1. Для схем четырехполюсников рис. 4.1а и 4.1б в соответствии с вариантом получить аналитические выражения комплексных передаточных функций.

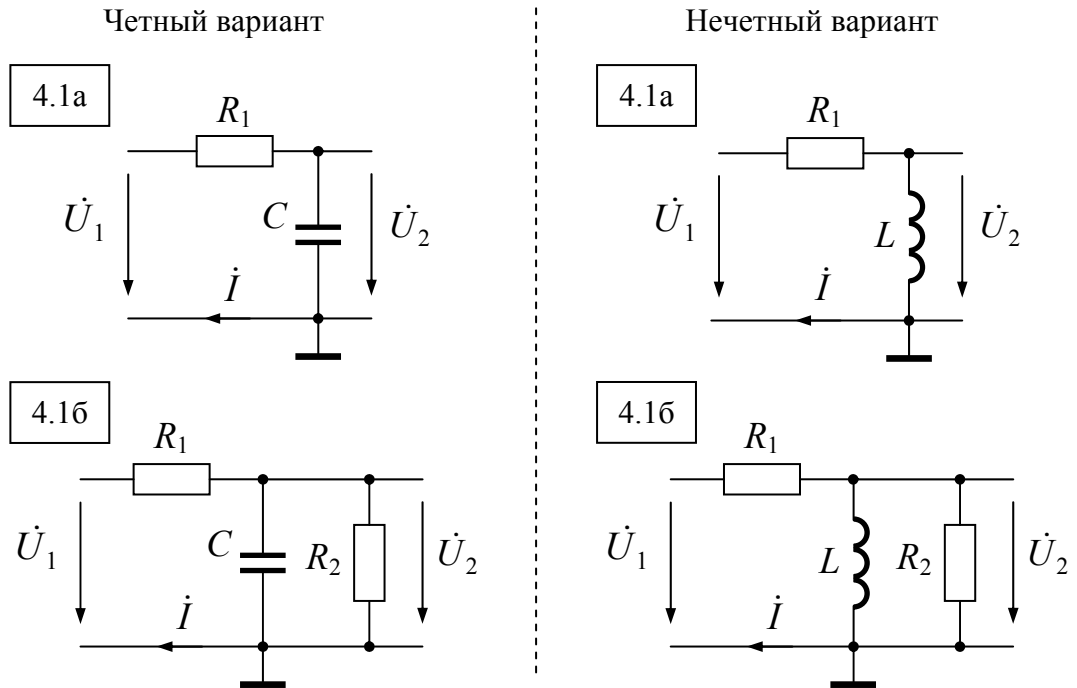


Рис. 4.1 – Схемы фильтров первого порядка
($R_1=1$ кОм, $R_2=2$ кОм, $C=5.6$ нФ, $L=31$ мГн).

- 1.2. Рассчитать и построить АЧХ и ФЧХ схем. Отметить на полученных характеристиках граничную частоту фильтра.
- 1.3. Получить аналитическое выражение для комплексной передаточной функции RLC цепи – рис. 4.2а.
- 1.4. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра для двух значений сопротивления R : 1 кОм и 10 кОм (частотные характеристики при разных величинах R совместить на одном графике). Определить резонансную линейную частоту и добротность контура для двух значений сопротивления R .

- 1.5. Получить выражение для комплексной передаточной функции схемы рис. 4.2б – нечетный вариант и рис. 4.2в – четный вариант. Построить АЧХ фильтра при $R=1$ кОм, отметить резонансную частоту фильтра.
- 1.6. Ознакомиться с методическими указаниями по применению среды *DLab 8.0 (ORCAD)* к анализу частотных характеристик цепей.

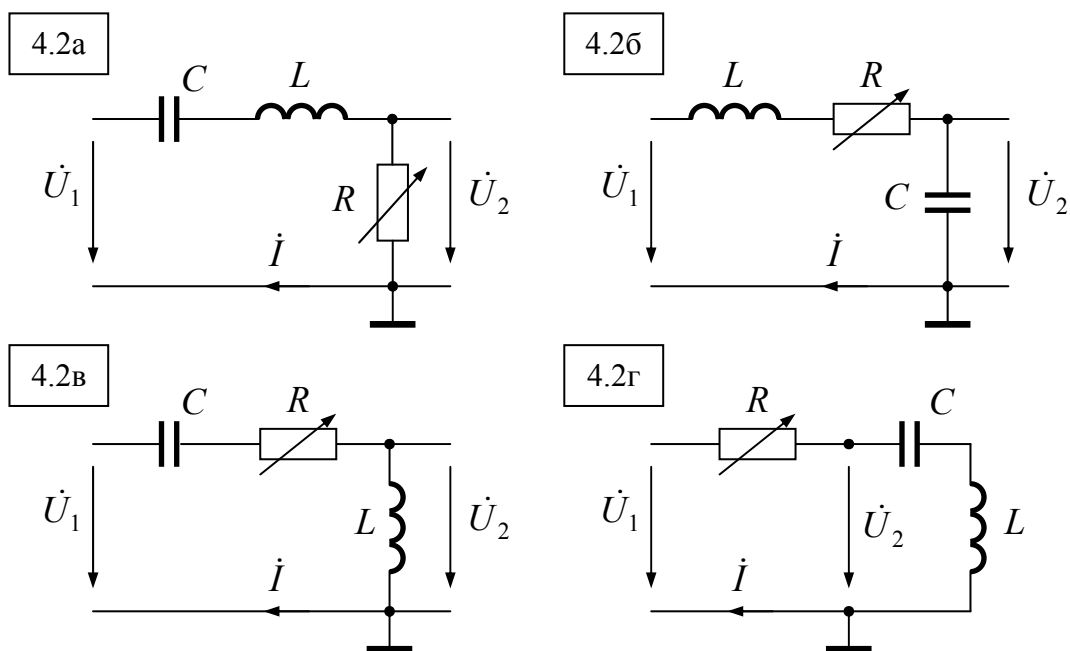


Рис. 4.2 – Схемы фильтров второго порядка ($L=31$ мГн, $C=5.6$ нФ).

Указание: при построении теоретически рассчитанных частотных характеристик выбрать частотный диапазон от 500 Гц до значения $4f_0$ (f_0 – граничная или резонансная частота соответственно для цепи первого и второго порядка), частоту откладывать по оси абсцисс в линейном масштабе.

Выполнение работы

2. Экспериментальное определение частотных характеристик цепей первого порядка.

- 2.1. Нарисовать и собрать электрическую цепь рис. 4.1а (в соответствии с вариантом), подключив к входу фильтра генератор синусоидального напряжения с амплитудой 5 В. Подключить к цепи осциллограф для измерения входного напряжения (первый канал) и выходного напряжения (второй канал).
- 2.2. Изменяя частоту генератора, измерить амплитуды напряжений и сдвиг фаз между ними, приняв начальную фазу входного напряжения равной нулю. Результаты представить в виде таблицы 4.1 (f_0 – теоретически полученное значение граничной частоты, в таблицу писать фактические численные значения частот).

Таблица 4.1

f , кГц	1	$0.3f_0$	$0.5f_0$	$0.8f_0$	f_0	$1.2f_0$	$1.5f_0$	$1.8f_0$	$2.0f_0$	$2.5f_0$	$3.0f_0$
U_1 , В											
U_2 , В											
Δt , мкс											
$H(f)$											
$\psi(f)$											

- 2.3. Нанести экспериментально полученные точки АЧХ и ФЧХ на теоретически построенные зависимости.
- 2.4. Нарисовать и собрать электрическую цепь рис. 4.1б (в соответствии с вариантом), подключив к входу фильтра генератор синусоидального напряжения с амплитудой 5 В.
- 2.5. Произвести необходимые измерения для получения экспериментальной АЧХ фильтра. Данные представить в виде таблицы аналогичной таблице 4.1. Нанести результат на теоретически полученную характеристику.
- 3. Экспериментальное определение частотных характеристик цепей второго порядка.**
- 3.1. Нарисовать и собрать электрическую цепь рис. 4.2а при $R=1$ кОм, подключив к входу фильтра генератор синусоидального напряжения с амплитудой 5 В.
- 3.2. Подключить к цепи осциллограф для измерения входного напряжения u_1 (первый канал) и выходного напряжения u_2 (второй канал).
- 3.3. Экспериментально определить резонансную частоту фильтра f_0 (сдвиг фаз между током цепи и напряжением на входе равен нулю). С помощью вольтметра измерить амплитуды входного и выходного напряжений на этой частоте.
- 3.4. Экспериментально определить граничные частоты фильтра (сдвиг фаз между выходным и входным напряжениями равен $\pm 45^\circ$). С помощью вольтметра измерить амплитуды входного и выходного напряжений на этих частотах.
- 3.5. По экспериментальным данным п.3.3-3.4 определить добротность контура.
- 3.6. Нарисовать и собрать электрическую цепь рис. 4.2б для нечетного и рис. 4.2в – для четного вариантов при $R=1$ кОм. К входу цепи подключить генератор синусоидальных колебаний с амплитудой 5 В.

- 3.7. Произвести необходимые измерения для получения экспериментальной АЧХ фильтра, данные представить в виде таблицы аналогичной таблице 4.1 (значение частоты f_0 взять из п. 3.3). Нанести экспериментальные точки на теоретически полученные характеристики.
- 3.8. По показаниям осциллографа определить резонансную частоту цепи.
4. **Определение частотных характеристик с помощью численного моделирования.**
- 4.1. Собрать виртуальную схему рис. 4.2б или 4.2в в соответствии с п. 3.6 и провести расчет АЧХ и ФЧХ фильтра, сохранить результаты в электронном виде.
- 4.2. По полученным характеристикам определить граничную и резонансную частоты фильтра и частоту, соответствующую максимуму АЧХ.
- 4.3. Собрать виртуальную схему рис. 4.2г, рассчитать АЧХ и ФЧХ цепи при двух значениях сопротивления R : 1 кОм и 10 кОм. Полученные зависимости попарно совместить на одном графике, сохранить результаты в электронном виде.

Контрольные вопросы.

1. Каков физический смысл АЧХ?
2. Каков физический смысл ФЧХ?
3. Как связана комплексная передаточная функция с АЧХ и ФЧХ?
4. Что такое добротность RLC контура?
5. Что такое граничная частота фильтра?
6. Как экспериментально с помощью осциллографа определить резонансную частоту полосового фильтра второго порядка?
7. Как экспериментально с помощью осциллографа определить резонансную частоту НЧ (ВЧ) фильтра второго порядка?
8. Как экспериментально определить граничную частоту RC -фильтра?
9. Нарисуйте НЧ (ВЧ) фильтр первого порядка.

Лабораторная работа №5

Исследование параметров индуктивно связанных катушек и линейных пассивных четырехполюсников.

Цели работы: Определение параметров индуктивно связанных катушек. Исследование несимметричных линейных пассивных четырехполюсников и их каскадного соединения.

Подготовка к работе

1. Анализ и расчет цепей с магнитносвязанными индуктивностями, определение параметров четырехполюсников.

1.1. Для схемы рис. 5.1 в соответствии с вариантом записать уравнения типа *A* четырехполюсника и получить аналитические выражения для его коэффициентов. Рассчитать параметры четырехполюсника при частоте входного напряжения 10 кГц.

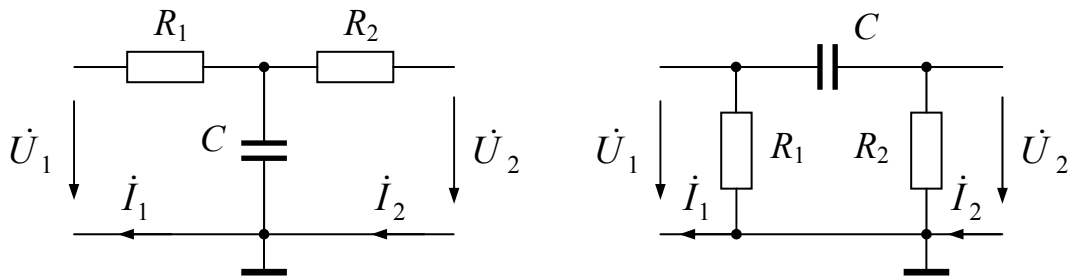


Рис. 5.1 – Схемы четырехполюсников (слева – для четного варианта, справа – для нечетного): $R_1=1$ кОм, $R_2=2$ кОм, $C=5.6$ нФ.

1.2. Для схемы рис. 5.2 в соответствии с вариантом записать уравнения типа *A* и определить в общем виде параметры четырехполюсника, считая известными параметры элементов цепи.

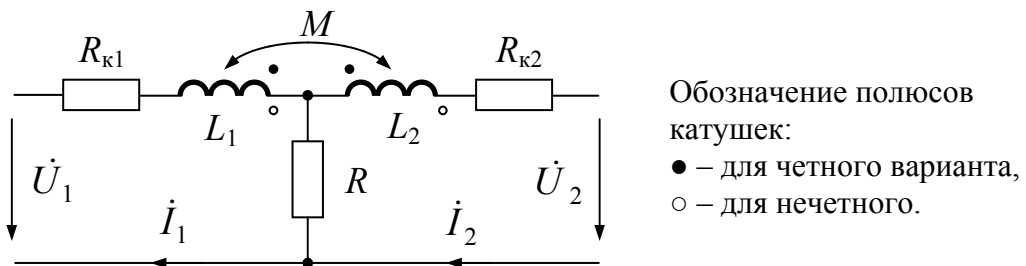


Рис. 5.2 – Цепь с магнитносвязанными катушками.

1.3. Для схемы последовательного соединения двух магнитносвязанных катушек, записав законы Кирхгофа для встречного и согласного включения с учетом внутреннего активного сопротивления катушек, получить выражение для расчета сопротивления магнитной связи x_m .

- 1.4. Получить формулы определения A -параметров каскадного соединения двух пассивных четырехполюсников с известными A -параметрами.

Выполнение работы

2. Экспериментальное определение параметров четырехполюсников.

- 2.1. Для четырехполюсника рис. 5.1 (в соответствии с вариантом) нарисовать измерительную цепь, предусмотрев в ней источник синусоидального напряжения и измерительные приборы, для определения параметров \underline{A} и \underline{C} четырехполюсника (модули напряжений измерять вольтметром, а разность фаз – осциллографом).
- 2.2. Собрать полученную схему и произвести измерения при частоте генератора 10 кГц и амплитуде 5 В.
- 2.3. Аналогично п. 2.1 нарисовать и собрать измерительную цепь для определения параметров \underline{B} и \underline{D} четырехполюсника.
- 2.4. Собрать полученную схему и произвести измерения при частоте генератора 10 кГц и амплитуде 5 В.
- 2.5. По полученным экспериментальным данным рассчитать A -параметры четырехполюсника. Результаты представить в виде таблицы 5.1.

Таблица 5.1

Параметр	\underline{A}	\underline{B}	\underline{C}	\underline{D}
Теоретическое значение				
Экспериментальное значение				

3. Исследование магнитно связанных цепей.

- 3.1. Нарисовать и собрать электрическую цепь рис. 5.4, в которой в качестве элементов R_k и L_k включить поочередно первичную и вторичную обмотки трансформатора. Предусмотреть в цепи генератор синусоидального напряжения с амплитудой 5 В и частотой 20 кГц.

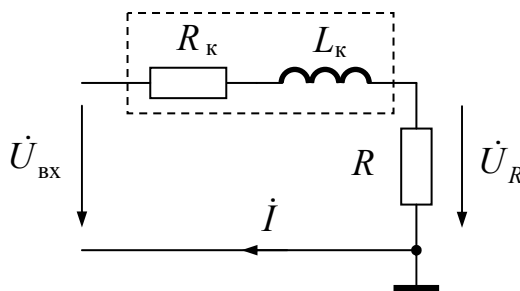


Рис. 5.4 – Схема для определения параметров катушки индуктивности ($R=100$ Ом).

- 3.2. С помощью осциллографа произвести измерения амплитуд напряжений и сдвига фаз между ними (начальную фазу напряжения на резисторе принять равной нулю) для случаев включения первичной и вторичной обмоток трансформатора.
- 3.3. По результатам измерений определить комплексное сопротивление цепи $\underline{Z} = R + R_k + j\omega L_k$. Записать величины активного и реактивного сопротивлений катушек, а также их собственные индуктивности.
- 3.4. С помощью омметра определить активные сопротивления катушек (предварительно необходимо отключить обмотки от других элементов и генератора).
- 3.5. Нарисовать схемы последовательного соединения магнитносвязанных катушек для случаев согласного и встречного включения, отобразив номера зажимов трансформатора и точки включения каналов осциллографа для измерения входного напряжения и тока цепи.
- 3.6. Подключив ко входу полученной цепи генератор синусоидального напряжения с амплитудой 5 В и частотой 20 кГц, провести необходимые измерения (начальную фазу тока цепи принять равной нулю). По формулам п. 1.3 рассчитать величины сопротивлений x_m и взаимной индуктивности M .
- 3.7. По экспериментальным данным и формулам п. 1.2 рассчитать A -параметры четырехполюсника – рис. 5.2 при $R=600$ Ом.

4. Каскадное соединение четырехполюсников.

- 4.1. Нарисовать измерительную схему для определения параметров \underline{A} , \underline{C} четырехполюсника, полученного каскадным соединением двух четырехполюсников рис. 5.1 и рис. 5.2. Предусмотреть на входе цепи генератор синусоидального напряжения с амплитудой 5 В и частотой 10 кГц, а также измерительные приборы (модули напряжений измерять вольтметром, а разность фаз определять по осциллографу).
- 4.2. Собрать полученную схему и произвести необходимые измерения.
- 4.3. По экспериментальным данным рассчитать значения параметров \underline{A} и \underline{C} четырехполюсника. Сопоставить данные с результатами расчета по формулам п. 1.4, данные представить в виде таблицы 5.1.

Указание:

- 1) измерение токов ветвей необходимо осуществлять с помощью измерительного сопротивления $R=100$ Ом, включаемого в разрыв ветви, в которой необходимо измерить ток (в т.ч. при определении параметров \underline{B} и \underline{D} четырехполюсника, т.к. нет возможности измерить фазу тока короткого замыкания);

- 2) для получения более качественных результатов измерений токов рекомендуется уточнить значения измерительных сопротивлений с помощью омметра (предварительно резистор необходимо отключить от цепи).

Контрольные вопросы.

1. Какие опыты необходимо проделать для определения Z -параметров четырехполюсника?
2. Какие опыты необходимо проделать для определения Y -параметров четырехполюсника?
3. В чем особенности записи уравнений Кирхгофа в цепях содержащих магнитно-связанные катушки?
4. Какие методы расчета цепей с магнитносвязанными катушками Вам известны?
5. Как определить сопротивление магнитной связи у трансформатора?
6. Нарисуйте согласное (встречное) включение катушек с магнитной связью.
7. Нарисуйте симметричный четырехполюсник.
8. Запишите уравнения типа A четырехполюсника.

Лабораторная работа №6

Переходные процессы в RL и RC цепях.

Цель работы: Исследование переходных процессов в RL и RC цепях, определение переходной функции, анализ цепи при воздействии источника напряжения произвольной формы.

Подготовка к работе

1. Временные характеристики цепей первого порядка.

1.1. Для схем рис. 6.1а и 6.1б в соответствии с вариантом получить законы изменения напряжения $u_2(t)$ в интервалах импульса и паузы входного напряжения $u_1(t)$ прямоугольной формы – рис. 6.2. Нарисовать кривые напряжений $u_1(t)$ и $u_2(t)$, считая постоянную времени много меньшей длительности импульса ($t_{и}$) и паузы ($t_{п}$).

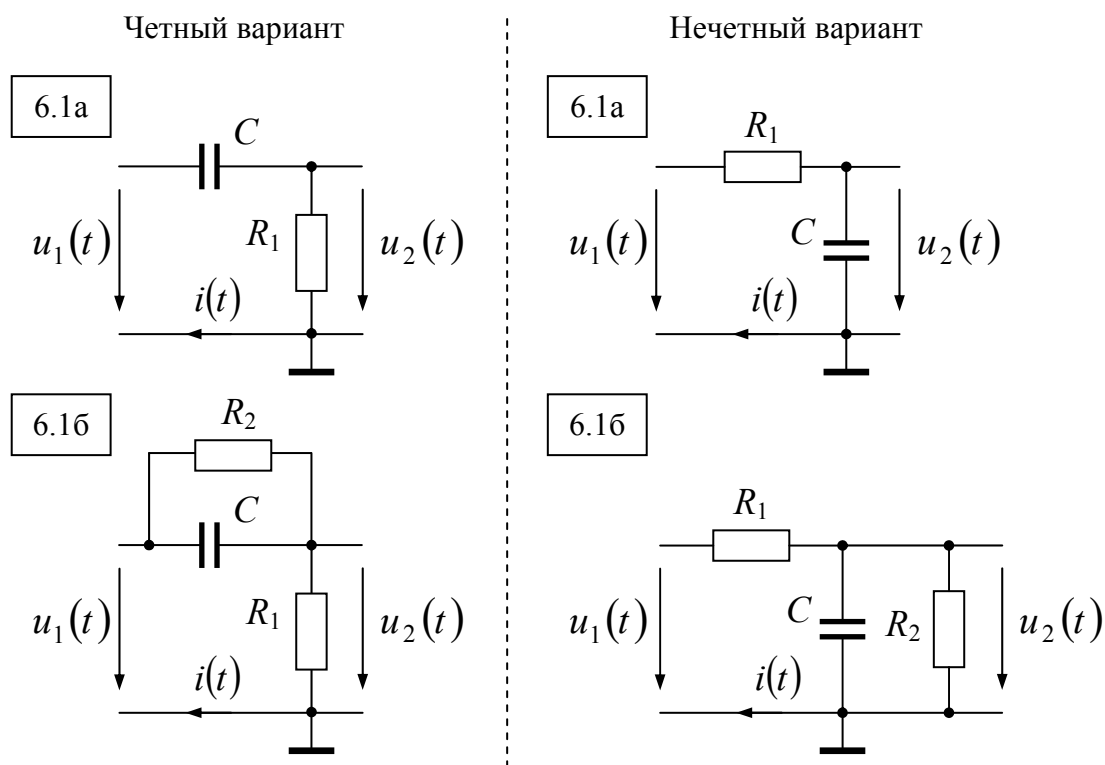


Рис. 6.1 – Схемы цепей первого порядка ($R_1=1$ кОм, $R_2=2$ кОм, $C=5.6$ нФ).

- 1.2. Определить постоянные времени цепей рис. 6.1 и рассчитать их значения. Получить формулу для расчета постоянной времени τ по двум произвольным значениям напряжения $u_2(t)$ в интервале паузы.
- 1.3. Для схемы рис. 6.1б в соответствии с вариантом получить переходную функцию. С помощью интеграла Дюамеля определить и построить

выходное напряжение в интервале времени $0 \leq t \leq T$, если ко входу цепи подключен генератор напряжения треугольной формы – рис. 6.2 ($U_{1m}=2$ В, $T=0.1$ мс).

- 1.4. Ознакомиться с методическими указаниями по применению среды *DLab 8.0 (ORCAD)* к расчету переходных процессов.

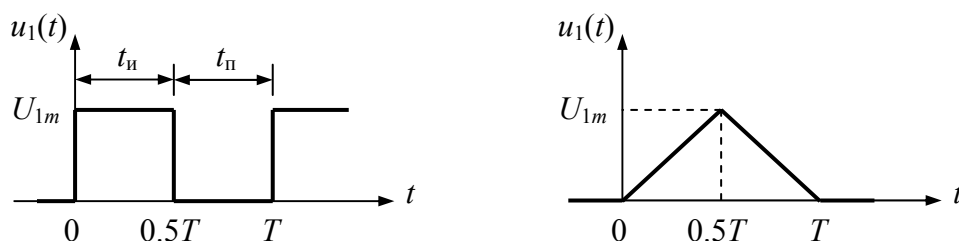


Рис. 6.2 – Формы входного напряжения

Выполнение работы

2. Экспериментальное определение переходной функции цепи.

- 2.1. Нарисовать и собрать электрическую цепь рис. 6.1а (в соответствии с вариантом), подключив к входу цепи генератор напряжения прямоугольной формы рис. 6.2 ($t_{н}=t_{п}=0.5T$) с амплитудой $U_{1m}=1$ В и периодом $T=0.1$ мс.
- 2.2. Подключить к цепи осциллограф для измерения входного напряжения (первый канал) и выходного напряжения (второй канал). Получить экспериментальные кривые напряжения $u_2(t)$ и напряжения $u_1(t) - u_2(t)$. Совместить на экране осциллографа кривые этих напряжений с кривой входного напряжения и сохранить результат в электронном виде.
- 2.3. По полученным данным определить установившееся значение выходного напряжения $u_{2уст}$ и постоянную времени τ в интервалах импульса и паузы. Результаты свести в таблицу 6.1.

Таблица 6.1

Параметр	$u_{2уст}$, В	τ , мкс
Расчет		
в интервале $t_{н}$		
в интервале $t_{п}$		

- 2.4. В цепи рис. 6.1а заменить конденсатор индуктивностью $L=31$ мГн, нарисовать соответствующую схему. Произвести измерения установившегося значения напряжения $u_2(t)$ и постоянной времени при периоде входного напряжения прямоугольной формы $T=500$ мкс. Сохранить в электронном виде переходную функцию цепи.

3. Переходные процессы в разветвленной RC цепи при действии источника напряжения произвольной формы.

- 3.1. Нарисовать и собрать электрическую цепь рис. 6.1б (в соответствии с вариантом). Подключить к цепи осциллограф для измерения входного напряжения (первый канал) и выходного напряжения (второй канал). Установить параметры генератора как в п. 2.1, получить и записать в электронном виде кривую переходной функции.
- 3.2. По полученной кривой переходной функции определить постоянную времени. Сопоставить результат с расчетной величиной.
- 3.3. Установить параметры генератора так, чтобы получить одиночный треугольный импульс напряжения – рис. 6.2 ($U_{1m}=2$ В, $T=0.1$ мс). Получить кривую выходного напряжения, записать результат в электронном виде и сопоставить его с данными теоретического расчета (п. 1.3).

4. Определение временных характеристик с помощью численного моделирования.

- 4.1. Нарисовать и собрать виртуальную электрическую схему рис. 6.1а в соответствии с вариантом. Провести расчет переходной функции. Сохранить результаты в электронном виде. По полученной кривой определить постоянную времени.
- 4.2. Рассчитать переходной процесс в цепи при изменении сопротивления от 1 кОм до 5 кОм с шагом 2 кОм.
- 4.3. Нарисовать и собрать виртуальную цепь рис. 6.1а, заменив конденсатор индуктивностью $L=31$ мГн. Получить переходную функцию и сопоставить с данными п. 2.4.

Методические указания:

- 1) для получения на выходе генератора однополярного сигнала из двухполярного необходимо установить величину смещения равную половине амплитуды (например, требуется сигнал с амплитудой $U_{1m}=1$ В, тогда на генераторе необходимо установить значения амплитуды 0.5 В, а смещения 0.25 В);
- 2) при измерении осциллографом однополярных сигналов необходимо сместить уровень запуска осциллографа на половину величины амплитуды сигнала (например, если амплитуда сигнала $U_{1m}=1$ В, то уровень запуска осциллографа должен быть 0.5 В) или в настройках осциллографа выбрать закрытый вход синхронизации;
- 3) формирование одиночного импульса осуществляется с помощью функции генератора «пакет» (режим одиночный с фазой -90° , параметр «МодГен» 100 Гц);
- 4) рекомендуемый масштаб развертки осциллографа по оси абсцисс при измерении постоянной времени не менее 1 мкс/дел.

Контрольные вопросы.

1. Что такое переходная функция?
2. Что такое постоянная времени цепи, каков физический смысл?
3. Как экспериментально получить переходную функцию заданной цепи?
4. Запишите вид решения дифференциального уравнения фильтра первого порядка.
5. Объясните, как по переходной функции цепи первого порядка определить постоянную времени.
6. Как получить корни характеристического уравнения цепи?
7. Какие начальные условия Вам известны?

Лабораторная работа №7

Переходные процессы в RLC цепях.

Цель работы: Исследование переходных процессов в последовательной RLC цепи, нахождение переходной функции, анализ влияния параметров цепи на характер переходных процессов.

Подготовка к работе

1. Временные характеристики RLC цепей.

- 1.1. Для последовательной RLC цепи (рис. 7.1) получить корни характеристического уравнения. Показать, при каком соотношении параметров цепи переходной процесс имеет аperiodический и колебательный характер. Вывести формулы для расчета коэффициента затухания и частоты свободных колебаний через параметры элементов цепи.
- 1.2. Рассчитать корни характеристического уравнения цепи рис. 7.1 при двух значениях сопротивления R : 1 кОм и 10 кОм, записать соответствующие виды решений дифференциального уравнения.
- 1.3. Для схемы рис. 7.1 записать в общем виде выражение для $u_2(t)$ при $R=1$ кОм на интервалах импульса и паузы ($t_{и}=t_{п}$), считая, что переходной процесс за время $0.5T$ успевает завершиться. Построить график переходного процесса при $0 \leq t < T$ ($T=0.5$ мс).

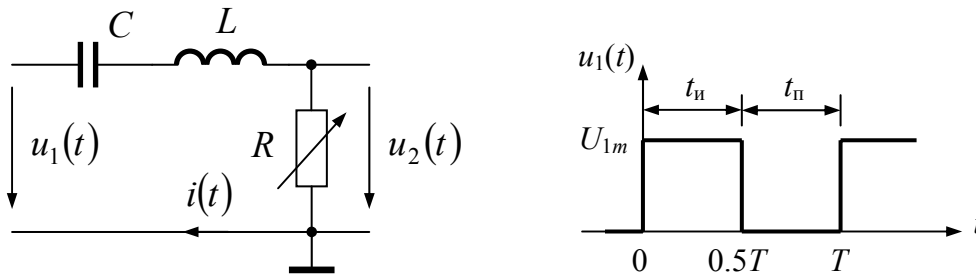


Рис. 7.1 – Схема последовательного RLC контура ($L=31$ мГн, $C=5.6$ нФ).

- 1.4. Рассчитать и построить, согласно варианту, переходную функцию в цепи рис. 7.2 при двух значениях сопротивления R : 1 кОм и 10 кОм.
- 1.5. Рассчитать и построить переходной процесс цепи рис. 7.2 ($R=1$ кОм), если длительности импульса и паузы прямоугольного сигнала на входе равны $t_{и}=t_{п}=110$ мкс.
- 1.6. Повторить материал по применению среды $DLab$ 8.0 ($ORCAD$) к расчету переходных процессов.

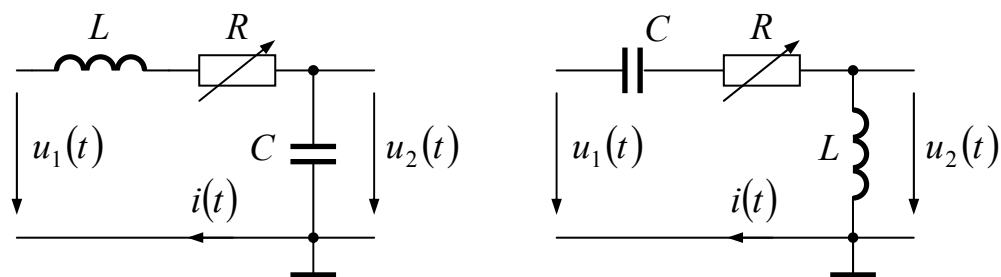


Рис. 7.2 – RLC цепи (слева – для четного варианта, справа – для нечетного).
 $L=31$ мГн, $C=5.6$ нФ

Выполнение работы

2. Экспериментальное исследование переходных процессов в RLC цепи.

- 2.1. Нарисовать и собрать электрическую цепь рис. 7.1, предусмотрев в качестве источника генератор напряжения прямоугольной формы (рис. 7.1) с амплитудой $U_{1m}=2$ В. Установить частоту генератора как в п. 1.3, чтобы переходной процесс за время $t_{и}$ и $t_{п}$ успевал завершиться.
- 2.2. Подключить к цепи осциллограф для измерения входного напряжения (первый канал) и выходного напряжения (второй канал). Установить величину сопротивления $R=1$ кОм. Получить экспериментальные кривые напряжений (сохранить в электронном виде) и сопоставить их с данными п. 1.3.
- 2.3. По полученному графику выходного напряжения определить коэффициент затухания α и период свободных колебаний $T_{св}$. Результаты представить в виде таблицы 7.1.

Таблица 7.1

Параметр	α	$T_{св}$
Расчет		
Эксперимент		

- 2.4. Изменить величину сопротивления R на 10 кОм. Получить экспериментальные кривые напряжений (сохранить в электронном виде). Объяснить результат.
- 2.5. В соответствии с вариантом нарисовать и собрать цепь рис. 7.2. Установить параметры генератора такими же как в п. 2.1.
- 2.6. Подключить к цепи осциллограф для измерения входного напряжения (первый канал) и выходного напряжения (второй канал). Установить величину сопротивления $R=1$ кОм. Получить экспериментальные

кривые напряжений (сохранить в электронном виде) и сопоставить их с данными п. 1.4. Определить длительность переходного процесса.

2.7. Изменить период прямоугольных импульсов (T) на значение 220 мкс. Получить экспериментальные кривые напряжений (сохранить в электронном виде) и сопоставить их с данными п. 1.5.

3. Исследование переходных процессов в цепях второго порядка с помощью численного моделирования.

3.1. Собрать виртуальную электрическую схему рис. 7.1. Выполнить расчет переходной функции цепи при двух значениях сопротивления R : 1 кОм и 10 кОм. Сопоставить результаты с теоретическими и экспериментальными данными.

3.2. Воспользовавшись результатами теоретического расчета указать сопротивление, при котором добротность контура равна 0.5. Установив в цепи необходимую величину сопротивления, получить переходную функцию и пояснить результаты.

Контрольные вопросы.

1. Запишите вид решения дифференциального уравнения фильтра второго порядка соответствующего колебательному процессу.
2. Запишите вид решения дифференциального уравнения фильтра второго порядка соответствующего апериодическому процессу.
3. Какой вид имеют корни характеристического уравнения, если добротность цепи фильтра второго порядка больше 0.5?
4. Как экспериментально получить переходную функцию RLC цепи?
5. Как получить корни характеристического уравнения цепи второго порядка?

Лабораторная работа №8

Линейные цепи несинусоидального периодического тока.

Цель работы: Исследование гармонического состава несинусоидальных периодических сигналов и расчет линейных цепей с несинусоидальными источниками.

Подготовка к работе

1. Расчет и анализ линейных цепей с несинусоидальными источниками.

- 1.1. Для напряжения прямоугольной формы со скважностью 2 и амплитудой $E_m=5$ В – рис. 8.1 записать разложение в ряд Фурье. Рассчитать амплитуды первых 5 гармонических составляющих напряжения и теоретическую величину действующего значения. Качественно построить линейчатый спектр напряжения.
- 1.2. Для напряжения симметричной треугольной формы (рис. 8.1) с амплитудой $E_m=5$ В записать разложение в ряд Фурье. Рассчитать амплитуды первых 5 гармонических составляющих напряжения.

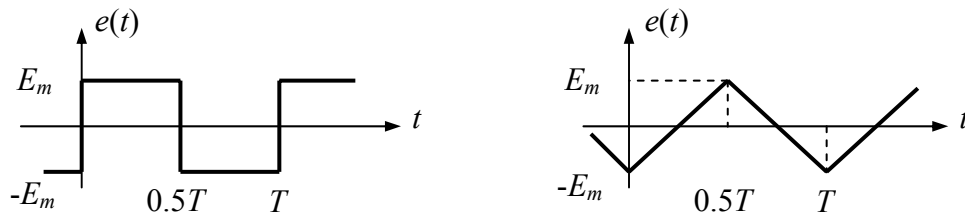


Рис. 8.1 – Формы входного напряжения

- 1.3. В схеме рис. 8.2 определить в общем виде резонансную частоту с учетом, что активное сопротивление реальной катушки равно R_k . Рассчитать резонансную частоту f_0 и показать, что влияние величины R_k на ее величину пренебрежимо мало.
- 1.4. Ко входу цепи рис. 8.2 ($R_d=1$ кОм) подключен источник напряжения $e(t)$ треугольной формы – рис. 8.1 ($E_m=5$ В, $T=2/f_0$ для четного варианта и $T=3/f_0$ – для нечетного). Рассчитать амплитуды первых 5 гармоник тока $i(t)$. Результат представить в виде таблицы 8.1. Записать выражение для тока во временной области.

Таблица 8.1

Гармоника	1	2	3	4	5
$E_k, \text{ В}$					
I_k/I_1					

- 1.5. Ознакомиться с методическими указаниями по применению среды *DLab 8.0 (ORCAD)* к анализу линейных цепей с несинусоидальными источниками.

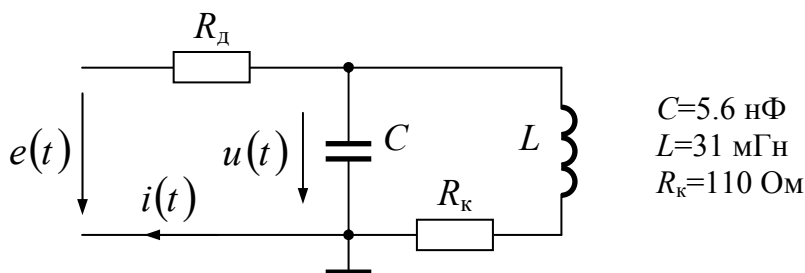


Рис. 8.2 – Схема параллельного *LC* контура.

Выполнение работы

2. **Экспериментальное исследование спектрального состава токов и напряжений цепи с несинусоидальным источником.**
- 2.1. Подключить к осциллографу генератор прямоугольных импульсов со скважностью 2 – рис. 8.1 ($E_m=1.5 \text{ В}$, $T=1 \text{ мс}$). Выполнить с помощью осциллографа преобразование Фурье (рекомендуемые масштабы разверток 500 мВ/дел и 500 мкс/дел, окно Хеннинга). Убедиться, что характер спектра дискретный. Записать осциллограмму в виде графического файла.
- 2.2. Подключить вольтметр к источнику и измерить действующее значение напряжения, сравнить с теоретическим значением.
- 2.3. Собрать цепь рис. 8.2 ($R_d=10 \text{ кОм}$). Установить синусоидальную форму напряжения генератора, амплитуду 5 В и частоту f_0 из п. 1.3.
- 2.4. Подключить вольтметр параллельно резистору R_d и, плавно изменяя частоту генератора, добиться режима, при котором показания вольтметра минимальны. Записать резонансную частоту $f_{0\text{э}}$, сравнить с теоретическим значением.
- 2.5. Изменить форму напряжения генератора на прямоугольную со скважностью 2 и амплитудой 2 В, подключить вольтметр для измерения напряжения на контуре.
- 2.6. Установить частоту генератора $f_r=f_{0\text{э}}/k$, где k – номер гармоники ($k=1, 3, 5$). По показаниям вольтметра измерить действующее значение k -ой гармоники напряжения на контуре.
- 2.7. Повторив п. 2.6 для указанных гармоник, представить результаты в виде таблицы 8.2, где U_k – действующее значение k -ой гармоники напряжения на контуре, дополнив таблицу данными из п. 1.1.

- 2.8. По полученным данным рассчитать действующее значение напряжения на контуре, сопоставить с данными п. 1.1.

Таблица 8.2

Гармоника	1	3	5
$U_k, \text{В}$			
U_k/U_1			
E_k/E_1 теор.			

- 2.9. В цепи рис. 8.2 изменить величину резистора R_d на 1 кОм. Установить синусоидальную форму напряжения генератора.
- 2.10. Задать частоту генератора $f_r = kf_0/2$ для четного варианта, $f_r = kf_0/3$ – для нечетного. Установить амплитуду синусоидального сигнала, соответствующую амплитуде k -ой гармоники разложения в ряд Фурье напряжения треугольной формы с амплитудой 5 В – по таблице 8.1.
- 2.11. Провести измерения действующих значений гармоник $k=1\div 5$ напряжения на резисторе R_d . Результаты представить в виде таблицы 8.2 (где U_k – действующее значение k -ой гармоники напряжения на резисторе R_d), дополнив таблицу данными из п. 1.2. Сопоставить результаты с теоретическими значениями (п. 1.4).

3. Математическое моделирование цепей с несинусоидальными токами.

- 3.1. Собрать виртуальную цепь рис. 8.2 ($R_d=1$ кОм). В качестве источника подключить генератор прямоугольных импульсов со скважностью 2, амплитудой 5 В и частотой f_0 . С помощью преобразования Фурье проанализировать спектральный состав источника и тока цепи. Сопоставить результаты с теоретическими данными.
- 3.2. Изменить параметры виртуального генератора, так чтобы смоделировать треугольную форму напряжения с частотой $f_0/2$ для четного варианта и $f_0/3$ – для нечетного. С помощью преобразования Фурье проанализировать спектральный состав напряжения источника и тока цепи. Сопоставить данные с теоретическими и экспериментальными результатами.
- 3.3. Согласно методу наложения, в модели цепи заменить один источник напряжения треугольной формы на 5 источников напряжения синусоидальной формы, параметры которых соответствуют разложению в ряд Фурье напряжения треугольной формы (частота первой гармоники: $f_0/2$ для четного варианта и $f_0/3$ – для нечетного) – по таблице 8.1. Рассчитать действующие значения входного напряжения и тока источника. Объяснить результаты.

Контрольные вопросы.

1. Как связано частотное представление напряжения с его временной формой?
2. Как определить выходное напряжение пассивного четырехполюсника, если известны его АЧХ и ФЧХ, а также задан несинусоидальный сигнал на входе четырехполюсника?
3. Какой характер носят спектры периодических токов (напряжений)?
4. Как определить действующее значение несинусоидального сигнала?
5. Как выделить в несинусоидальном напряжении первую гармонику?

ПРИЛОЖЕНИЕ

Измерения модуля и фазы напряжения, тока.

В лабораторных работах измерения параметров напряжения или тока осуществляется с помощью осциллографа *GDS-2062* или универсального прибора *GDM-8135*, включающего в себя вольтметр, амперметр и омметр. Вольтметр и осциллограф включаются в цепь параллельно участку цепи, на котором необходимо измерить напряжение. Амперметр включается в разрыв ветви, в которой необходимо измерить ток. Омметр подключается только к пассивной цепи к узлам, относительно которых необходимо измерить активное сопротивление. Клемма *GND* каналов осциллографа всегда должна быть подключена к общей точке на стенде (точке нулевого потенциала). Аналогичное требование к вольтметру носит рекомендательный характер, т.к. его входы электрически развязаны по цепи питания и заземлению.

В случае применения вольтметра, осциллографа, амперметра в цепях постоянного тока результатом измерения является:

- для вольтметра значение разности потенциалов между зажимами прибора, причем из потенциала, к которому подключен зажим *V* (красный провод), вычитается потенциал, к которому подключен зажим *COM* (черный провод);
- для амперметра значение тока ветви, положительным направлением принято направление от зажима *V* к зажиму *COM*;
- для осциллографа значение напряжения.

При измерении переменного напряжения или тока полярность не имеет смысла. Результатом измерения переменного напряжения/тока с помощью вольтметра/амперметра является действующее значение напряжения/тока, например для синусоидального напряжения его действующее значение (U) в $\sqrt{2}$ раз меньше амплитуды (U_m). При применении осциллографа к измерению напряжения результатом является временная зависимость напряжения от времени, по которой возможно определение формы, амплитуды напряжения и сдвига фазы относительно другого напряжения. Например, для цепи с синусоидальным источником, один канал осциллографа измеряет напряжение на произвольной ветви цепи, другой – ток в рассматриваемой ветви (посредством включенного в эту ветвь резистора или токового пробника), результаты измерения представлены на рис. 1, на котором совмещены кривые напряжения $u(t) = U_m \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right)$ и тока $i(t) = I_m \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \psi\right)$ в относительном масштабе по оси абсцисс, где U_m – амплитуда напряжения, I_m – амплитуда тока, T – период колебаний, φ – начальная фаза напряжения, ψ – начальная

фаза тока, $\varphi - \psi$ – сдвиг фаз и действующие значения напряжения U и тока I (длины векторов) связаны с их амплитудой константой $\sqrt{2}$.

В электрических цепях абсолютное значение фазы напряжения или тока интереса не представляет. Однако важным параметром является разность фаз (или говорят сдвиг фаз) двух напряжений или напряжения и тока. Поэтому для определенности при измерениях переменных напряжений фазу любого напряжения или тока цепи принимают равной нулю – выбирают опорный сигнал, относительно которого измеряют все остальные сдвиги фаз. Например, если принять начальную фазу напряжения $\varphi=0$ ($\Delta t < 0$), то ток отстает от напряжения по фазе, т.е. $\psi < 0$. А если принять начальную фазу тока $\psi=0$ ($\Delta t > 0$), то напряжение опережает ток и $\varphi > 0$, что, по сути, эквивалентно предыдущему случаю. Поэтому выбор опорного сигнала на результаты измерений не влияет. Поэтому, если известно значение Δt , то разность фаз сигналов в градусах определяется формулой $\theta = \varphi - \psi = \frac{360}{T} \Delta t$.

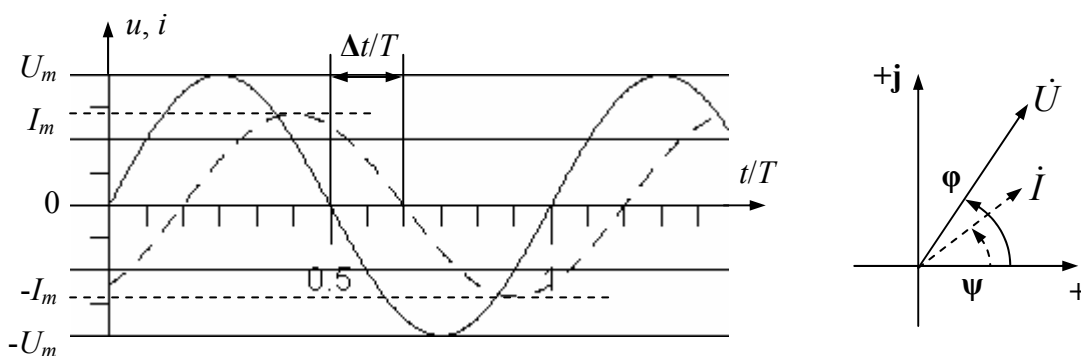


Рис. 1 – Представление гармонических напряжения и тока (пунктир).

Измерение сопротивления пассивной цепи.

Измерение активного сопротивления пассивной цепи возможно с помощью универсального прибора *GDM-8135* в режиме омметра. Для осуществления измерений необходимо включить соответствующий режим и подключить клеммы прибора к узлам цепи, относительно которых необходимо измерить активное сопротивление.

Для измерения комплексного сопротивления пассивной цепи (например, входного или выходного сопротивления четырехполюсника) необходимо рассмотреть эту цепь как двухполюсник, подключив к нему генератор (Γ) *GFG-3015* – рис. 2. В результате, измерив напряжение на зажимах генератора и ток цепи (напряжение на резисторе R отнесенное к его величине), получим искомое сопротивление Z пассивного

двухполюсника как отношение входного напряжения к току цепи за вычетом измерительного сопротивления R .

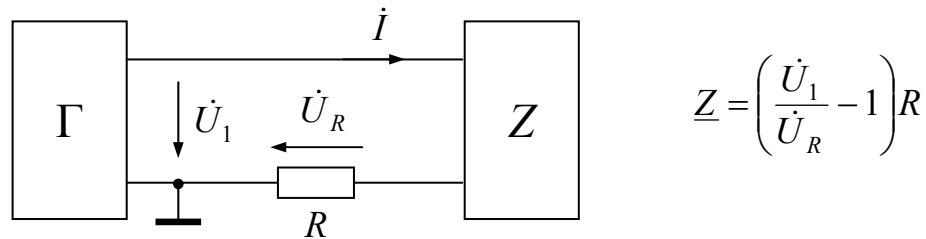


Рис. 2 – Схема для измерения входного сопротивления пассивного двухполюсника.

Измерение параметров четырехполюсников.

При нахождении параметров четырехполюсника любого вида и типа уравнений необходимо провести измерения входных напряжения и тока, а также выходных напряжения и тока. При этом предполагается, что четырехполюсник является «черным ящиком». На рис. 3 представлена схема, позволяющая осуществить необходимые измерения, в которой предусмотрены измерительные сопротивления $R_{и}$ – для измерения модуля и фазы входного и выходного токов. Источником энергии является генератор (Γ) напряжения синусоидальной формы с амплитудой 5-10 В и заданной частотой (выбирается из предполагаемых свойств четырехполюсника или экспериментально так, чтобы величины измеряемых токов и напряжений не были слишком малы – превосходили по величине уровень помеховых воздействий и порог чувствительности измерительных приборов). В результате задача экспериментального определения параметров четырехполюсника сводится к измерению напряжений $\dot{U}_0, \dot{U}_1, \dot{U}_2$ (начальную фазу напряжения \dot{U}_0 удобно принять равной нулю) в двух опытах:

1) опыт холостого хода $\dot{I}_2 = 0$ (клеммы a и b не соединены). Тогда

$$\text{входной ток определяется по закону Ома: } \dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_0 - \dot{U}_1}{R_{и}};$$

2) опыт короткого замыкания $\dot{U}_2 = 0$ (клеммы a, b соединены). Тогда

$$\text{входной и выходной токи определяются формулами: } \dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_0 - \dot{U}_1}{R_{и}} \text{ и}$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_2}{R_{и}}.$$

Например, для определения коэффициентов уравнения типа A необходимо собрать схемы: рис. 4 – для определения коэффициентов $\underline{A}, \underline{C}$

и рис. 5 – для определения коэффициентов \underline{B} , \underline{D} . При чем в последнем случае необходимо учитывать наличие на выходе четырехполюсника не нулевой нагрузки в виде измерительного сопротивления.

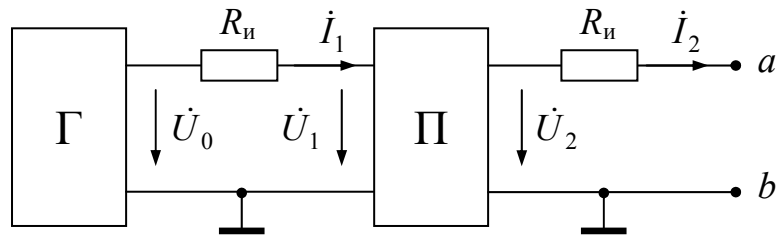


Рис. 3 – Обобщенная схема для измерения входных и выходных напряжений и токов пассивного четырехполюсника.

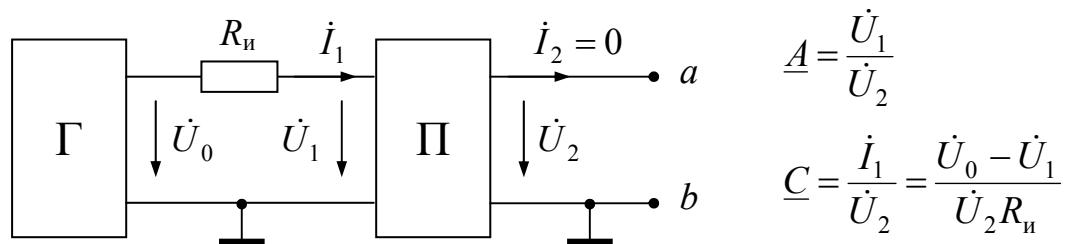


Рис. 4 – Схема для определения параметров \underline{A} , \underline{C} пассивного четырехполюсника.

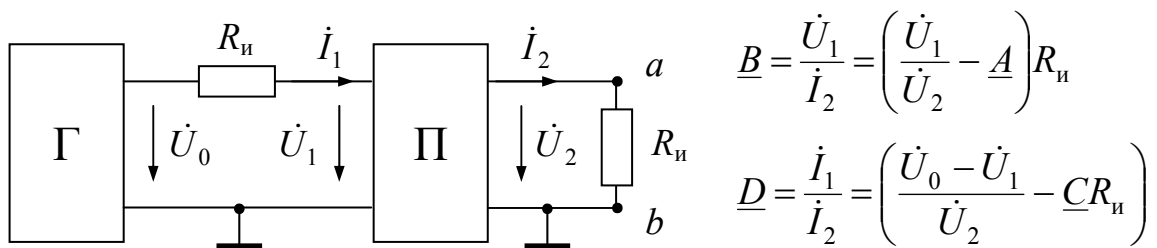


Рис. 5 – Схема для определения параметров \underline{B} , \underline{D} пассивного четырехполюсника.

Экспериментальное определение передаточной функции.

Для измерения амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристик (АЧХ и ФЧХ) необходимо на вход цепи подключить генератор напряжения и проводить измерение напряжений на входе и выходе цепи, а также измерять сдвиг фаз между ними. В результате, отношение выходного напряжения ко входному на каждой частоте есть АЧХ, а при условии, что начальная фаза входного напряжения равна нулю, получаемый сдвиг фаз на каждой частоте есть ФЧХ. При этом амплитуда и частотный диапазон входного напряжения выбирается из предполагаемых свойств цепи или экспериментально.

Экспериментальное определение переходной функции.

Переходная функция цепи по определению есть реакция цепи на единичный скачек (функцию Хевисайда) при нулевых начальных условиях. Однако в действительности на входе электрической цепи включают генератор прямоугольных импульсов. Поэтому при экспериментальном определении переходной функции подразумевают ее отождествление с кривой выходного напряжения при воздействии на входе цепи прямоугольных импульсов с амплитудой 1 В и периодом (длительностями импульса и паузы) много большими длительности переходного процесса. На практике необходимую величину длительности импульса или периода напряжения прямоугольной формы выбирают из предполагаемых свойств цепи или экспериментально. Применяемый в лаборатории генератор *GFG-3015* по умолчанию формирует на своем выходе двуполярное напряжение. Поэтому для формирования однополярного напряжения, которое отождествляется с функцией Хевисайда, необходимо, установить на генераторе амплитуду 0.5 В и смещение (ввести постоянную составляющую) 0.25 В – рис. 6.

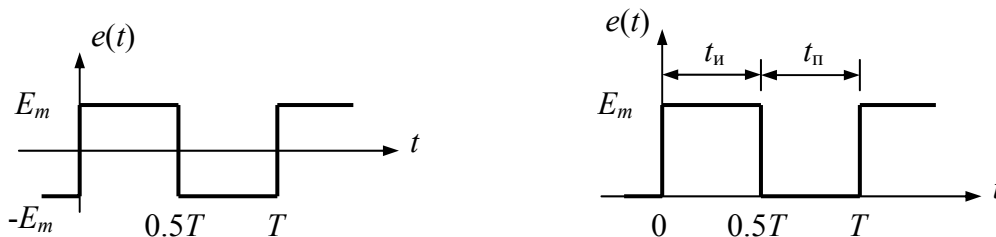


Рис. 6 – напряжение прямоугольной формы: слева – двуполярное, справа – однополярное.

На рис. 7 представлена схема для экспериментального определения переходной функции, в которой под знаком равенства понимается отождествление по форме.

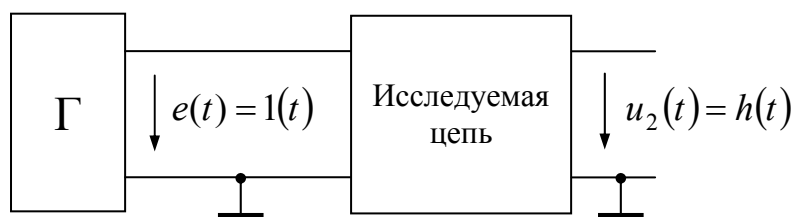


Рис. 7 – Схема для измерения переходной функции цепи.

Генератор *GFG-3015* дает возможность формирования импульсов, период следования которых многократно превышает их длительность, т.е. их можно рассматривать как одиночные импульсы. Это достигается группой клавиш «пакет» и клавишей «МодГен», которая определяет период следования пачек импульсов. В частности, для формирования

одиночного однополярного треугольного импульса (рис. 8) амплитудой U_m необходимо: установить частоту (период) импульса (при одиночном импульсе – это есть его длительность T), установить амплитуду генератора равной величине $E_m=0.5U_m$, а смещение $0.25U_m$, включить режим «пакет», задать режим одиночного пакета и выставить фазу пакета $(-90)^\circ$. Для корректного отображения сигнала на осциллографе выставить необходимые масштабы по осям ординат и абсцисс, а также уровень запуска осциллографа на значение примерно равное $0.5U_m$ или включить закрытый вход синхронизации при нулевом уровне запуска.

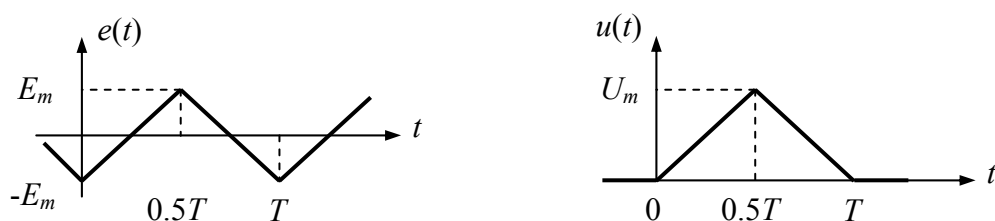


Рис. 8 – Формирование треугольного напряжения импульса.

Экспериментальное определение спектрального состава напряжения (тока).

Общий подход к аналитическому решению задач, в которых есть источники несинусоидального тока или напряжения заключается в разложении сигналов источников в ряд Фурье и применение метода суперпозиции. Это позволяет свести решение исходной задачи к решению N задач с синусоидальными функциями токов и напряжений (N -суммарное число различных гармонических составляющих спектров всех источников). На практике оказывается, что разложение в ряд Фурье может содержать бесконечно много гармонических составляющих. Поэтому в этих случаях говорят о приближенном решении, т.е. ограничивают разложение в ряд определенным числом слагаемых.

Для экспериментального обнаружения гармонического состава периодического сигнала (напряжения или тока) заданной формы необходимо выделить каждую гармонику в отдельности. Этого можно достичь, например, применением фильтров второго порядка, т.е. с помощью явления резонанса. Однако если частота периодического сигнала фиксирована, то для исследования его спектра понадобится столько фильтров, сколько гармоник необходимо измерить. С другой стороны, если изменять частоту несинусоидального сигнала так, что частота каждой гармоники будет совпадать с резонансной частотой фильтра, то измерение амплитуд гармоник возможно с применением одного фильтра. В обоих подходах к фильтру предъявляется требование высокой добротности, что

необходимо для обеспечения узкой полосы пропускания фильтра. В идеале фильтр должен обеспечивать полное подавление сигнала на частотах соседних гармоник по отношению к измеряемой.

В нижеследующей таблице для справки приведены разложение в ряд Фурье прямоугольного и треугольного сигналов.

Форма напряжения	Разложение в ряд Фурье
	$e(t) = \frac{4E_m}{\pi} \left(\sin(\omega_1 t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega_1 t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega_1 t) + \dots \right)$
	$e(t) = \frac{8E_m}{\pi^2} \left(\sin(\omega_1 t) + \frac{1}{9} \sin(3\omega_1 t) + \frac{1}{25} \sin(5\omega_1 t) + \dots \right)$

Список рекомендуемой литературы.

1. Основы теории цепей /Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхов. – М.: Энергия, 1975. – 752 с.
2. Теоретические основы электротехники. Т. 1. Основы теории линейных цепей /Под ред. П.А. Ионкина – М.: Высшая школа, 1976. – 544 с.
3. Поливанов К.М. Теоретические основы электротехники. Т.1 – М.: Энергия, 1972. – 239 с.
4. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – М.: Высшая школа, 1978 – 528 с.
5. Нейман. Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. Т.1. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 536 с.
6. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи. – М.: Энергия, 1978. – 592 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Лабораторная работа №1</i> Простейшие компоненты электрических цепей.	3
<i>Лабораторная работа №2</i> Исследование простейших электрических цепей.	6
<i>Лабораторная работа №3</i> Установившиеся режимы в линейных цепях с источниками синусоидального напряжения.	9
<i>Лабораторная работа №4</i> Частотные характеристики пассивных электрических цепей.	13
<i>Лабораторная работа №5</i> Исследование параметров индуктивно связанных катушек и линейных пассивных четырехполюсников.	17
<i>Лабораторная работа №6</i> Переходные процессы в RL и RC цепях.	21
<i>Лабораторная работа №7</i> Переходные процессы в RLC цепях.	25
<i>Лабораторная работа №8</i> Линейные цепи несинусоидального периодического тока.	28
Приложение	32
Список рекомендуемой литературы	39