

ФГБОУ ВО  
«Воронежский государственный технический университет»

*Кафедра электропривода, автоматики  
и управления в технических системах*

**РАБОЧАЯ ТЕТРАДЬ**

по лабораторным работам  
по дисциплине «**Электротехника**»  
для студентов направления подготовки бакалавров  
28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника»  
очной формы обучения

Студента \_\_\_\_\_  
Фамилия, инициалы

Группы \_\_\_\_\_

Номер бригады \_\_\_\_\_

Принял(а) \_\_\_\_\_  
Должность преподавателя

\_\_\_\_\_  
Фамилия, инициалы преподавателя

<b>Тема лабораторного занятия</b>	<b><u>К занятию допущен</u></b> (дата, подпись препод.)	<b><u>Отметка о выполнении</u></b> работы (дата, подпись препод.)	<b><u>Отметка о защите работы</u></b>	<b>Дата, ПОДПИСЬ преподавателя</b>
Техника безопасности				
ЛЭЦПТ. Законы Ома и Кирхгофа				
ЛЭЦСТ. Разветвленная цепь				
ЛЭЦСТ. Четырехполюсники				
Переходные процессы в ЛЭЦ				

**ГРАФИК ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ  
И СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ТЕТРАДИ**

Номер лабораторного занятия	Дата выполнения работы по графику (неделя)	Дата защиты работы по графику (неделя)	Название лабораторной работы	Стр. в рабочей тетради
3 семестр				
1			Вводное занятие: Правила электробезопасности в лаборатории и порядок работы в лаборатории	3
1			Лабораторная работа № 1. Исследование разветвленной электрической цепи постоянного тока с помощью законов Ома и Кирхгофа	5
2			Лабораторная работа № 2. Исследование разветвленной электрической цепи синусоидального тока	13
3			Лабораторная работа № 3. Экспериментальное определение первичных и вторичных параметров пассивного четырехполюсника	19
4			Лабораторная работа № 4. Переходные процессы в линейной электрической цепи	26

**Замечание:** номера схем и пунктов заданий в рабочей тетради по лабораторным работам повторяют пункты задания учебного пособия по лабораторному практикуму

## Правила электробезопасности в лаборатории

Лабораторные установки являются действующими электроустановками с напряжением 220 В и при несоблюдении правил техники безопасности могут стать источником поражения электрическим током.

Перед началом выполнения работ студенты проходят инструктаж по технике безопасности и пожарной безопасности с записью об этом в соответствующем журнале и личной росписью в нем каждого студента.

### ***Категорически воспрещается:***

- 1) включать источники питания без разрешения преподавателя;
- 2) пользоваться проводами без наконечников;
- 3) прикасаться к незаизолированным частям стенда;
- 4) оставлять без надзора включенный стенд;
- 5) разбирать цепи и производить переключения под напряжением.

Во время лабораторных занятий студенты должны выполнять следующие **требования по технике безопасности:**

1) Перед сборкой цепи необходимо убедиться, что к клеммам передних панелей стенда и его аппаратам не подведено напряжение, т.е. на стенде сигнальные лампы не светятся.

2) При сборке необходимо следить за надежностью крепления наконечников или штырей токонесущих проводов и избегать их перекрещивания.

3) Напряжение на собранные цепи подается только с разрешения преподавателя или лаборанта после проверки ими правильности собранных цепей.

4) По окончании работы разборка цепи должна производиться только с разрешения преподавателя и после отключения напряжения.

5) В аварийных ситуациях необходимо быстро отключить напряжение и доложить преподавателю или лаборанту о неисправностях в цепи.

6) В случае поражения работающего электрическим током цепь должна быть немедленно отключена от источника питания и пострадавшему должна быть оказана первая помощь. При необходимости следует вызвать скорую медицинскую помощь.

***С правилами электробезопасности в лаборатории 141 ознакомлен*** \_\_\_\_\_

подпись студента

## ПОРЯДОК РАБОТЫ В ЛАБОРАТОРИИ

Студенческая группа разбивается на бригады по 2-3 человека в бригаде. Номер бригады соответствует номеру стенда и сохраняется в течение всего семестра.

Перед началом лабораторных работ необходимо:

а) подготовиться к занятию, изучив теоретические положения дисциплины по учебнику, конспекту лекций и учебному пособию по лабораторному практикуму, решить рекомендуемые задачи и ответить на контрольные вопросы;

б) выполнить предварительные расчеты;

в) получить допуск по технике безопасности к работе.

При подготовке к работе каждый студент заполняет рабочую тетрадь по выполнению лабораторной работы, которая служит основным документом при допуске к занятию. Тетрадь предъявляется преподавателю, который, убедившись в готовности студента к работе, ставит свою подпись на титульном листе рабочей тетради в графе «К занятию допущен».

Получив допуск, студент приступает к выполнению эксперимента. По окончании эксперимента студенты, **не разбирая цепи**, предъявляют результаты преподавателю, который отмечает выполнение задания в рабочей тетради.

Программа лабораторной работы может быть выполнена за 2 часа только при условии тщательной предварительной подготовки.

Защита выполненной лабораторной работы производится на следующем лабораторном занятии. Для этого студент предъявляет преподавателю оформленную рабочую тетрадь, содержащую обработку результатов эксперимента в виде дополнительных расчетов, графиков, диаграмм и выводов.

Лабораторные занятия проводятся по разделам дисциплины. Студент, не получивший зачета по предыдущему разделу дисциплины, к выполнению следующей работы не допускается.

*С порядком работы в лаборатории 141 ознакомлен \_\_\_\_\_*

подпись студента

Раздел: ЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВЕТВЛЕННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПОМОЩЬЮ ЗАКОНОВ ОМА И КИРХГОФА

Цель работы

получение навыков измерения электрических величин в цепи постоянного тока;  
 исследование распределения потенциалов в сложной электрической цепи;  
 определение параметров источников и приемников с помощью закона Ома;  
 получение навыков составления схемы замещения электрической цепи;  
 проверка выполнения законов Кирхгофа и баланса мощностей в электрической цепи и в схеме замещения.

Лабораторная установка для исследования

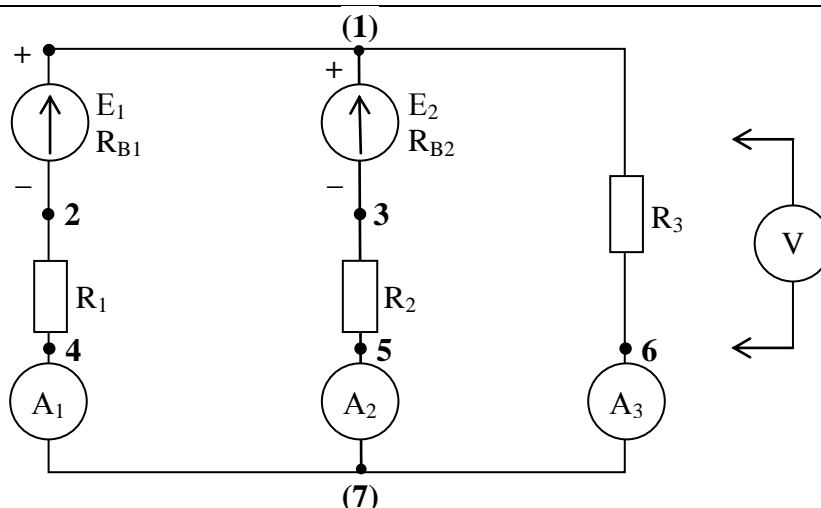


Рис. 1.19

Описание лабораторной установки

В работе исследуется электрическая цепь, содержащая два источника ЭДС. Источники энергии установлены в блоке лабораторного стенда справа внизу панели.

Резисторы расположены на переносном блоке, который устанавливается в левой части стенда. Номиналы сопротивлений резисторов  $R_1 \div R_3$  (нужное подчеркнуть):

Таблица 1.2 (начало)

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$R_1$ , Ом	75	150	100	35	35	40	100	35	35	75	150	75
$R_2$ , Ом	100	75	160	75	100	75	75	75	100	165	100	165
$R_3$ , Ом	150	30	75	100	75	30	35	150	40	35	75	100

Измерительные приборы

цифровой вольтметр;  
 амперметры Э59 0,25÷1,0 А – 3 шт.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1-3. Измерение ЭДС, токов и напряжений на всех элементах цепи

Таблица 1.1

<i>Режим ХХ</i>		<i>Режим под нагрузкой</i>							
E <sub>1</sub> , В	E <sub>2</sub> , В	U <sub>E1</sub> , В	U <sub>E2</sub> , В	U <sub>R1</sub> , В	U <sub>R2</sub> , В	U <sub>R3</sub> , В	I <sub>1</sub> , А	I <sub>2</sub> , А	I <sub>3</sub> , А

Номер точки, потенциал которой принимается равным нулю (*нужное подчеркнуть*):

Таблица 1.2 (продолжение)

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Номер точки с $\varphi=0$	1	2	3	4	5	6	7	1	5	4	3	2

4. Измерение потенциалов точек цепи относительно базовой точки:

Таблица 1.3

φ <sub>1</sub> , В	φ <sub>2</sub> , В	φ <sub>3</sub> , В	φ <sub>4</sub> , В	φ <sub>5</sub> , В	φ <sub>6</sub> , В	φ <sub>7</sub> , В

### ПРОВЕРКА И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

5. Определение направлений токов в резисторах с помощью потенциалов точек цепи:

Сравнение величин потенциалов и определение направлений токов в ветвях цепи:

Так как φ<sub>—</sub> φ<sub>—</sub>, ток резистора R<sub>3</sub> направлен от точки \_\_\_\_ к точке \_\_\_\_.

Так как φ<sub>—</sub> φ<sub>—</sub>, ток резистора R<sub>2</sub> направлен от точки \_\_\_\_ к точке \_\_\_\_.

Так как φ<sub>—</sub> φ<sub>—</sub>, ток резистора R<sub>1</sub> направлен от точки \_\_\_\_ к точке \_\_\_\_.

**Указать токи стрелками на схеме цепи лабораторной работы.**

5. Вычисление напряжений на всех элементах цепи с использованием потенциалов точек как  $U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b$ , при этом  $\varphi_a > \varphi_b$ :

U<sub>ЭДС E1</sub>=

U<sub>ЭДС E2</sub>=

U<sub>R1</sub>=

U<sub>R2</sub>=

U<sub>R3</sub>=

U<sub>A1</sub>=

U<sub>A2</sub>=

U<sub>A3</sub>=

**Указать напряжения стрелками на схеме цепи лабораторной работы**

**ВЫВОД:**

5. Определение режимов работы источников энергии (режим отдачи или режим потребления).

Сравнение величины ЭДС источника, полученной на холостом ходу и напряжения на его полюсах при работе под нагрузкой:

$E_1$      $U_{E1}$  – режим \_\_\_\_\_ ;  
 $E_2$      $U_{E2}$  – режим \_\_\_\_\_ .

6. Проверка выполнения законов Кирхгофа по экспериментальным данным

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0:$$

$$\sum_{k=1}^n U_k = 0:$$

ВЫВОД:

7. Проверка баланса мощностей по данным измерений ( $\sum_{k=1}^m U_{E_k} I_k = \sum_{k=1}^n U_{R_k} I_k$ ):

ВЫВОД:

*Экспериментальные данные получены правильно* \_\_\_\_\_  
 подпись преподавателя

### СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ЦЕПИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ И РАБОТА С НЕЙ

8. Расчет сопротивлений резисторов и внутренних сопротивлений источников ЭДС

$R_{B1} =$                        $R_{B2} =$                        $R_1 =$                        $R_2 =$                        $R_3 =$

Результаты расчета занести в табл.1.4.

Таблица 1.4

R <sub>B1</sub> , Ом	R <sub>B2</sub> , Ом	R <sub>1</sub> , Ом	R <sub>2</sub> , Ом	R <sub>3</sub> , Ом

Расчет внутренних сопротивлений амперметров

$R_{A1} =$      $R_{A2} =$      $R_{A3} =$

**ВЫВОД:** (сравнение вычисленных значений сопротивлений приемников с номиналами, указанными на стенде)

$$R_1$$

$$R_2$$

$$R_3$$

**ВЫВОД** о качестве источников электрической энергии и о качестве измерительных приборов: (сравнение внутренних сопротивлений источников и сопротивлений амперметров с сопротивлениями приемников)

$$E_1 = \quad В, R_{B1} = \quad Ом,$$

$$E_2 = \quad В, R_{B2} = \quad Ом.$$

9. Схема замещения исследуемой цепи:

10. Проверка выполнения законов Кирхгофа для схемы замещения цепи

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0:$$

$$\sum_{k=1}^n R_k I_k = \sum_{k=1}^n E_k :$$

Проверка баланса мощностей для схемы замещения

$$\left( \sum_{k=1}^m E_k I_k = \sum_{k=1}^n R_k I_k^2 \right):$$

**ВЫВОД:**



11. Построение потенциальной диаграммы по опытным данным:

**ОТВЕТЫ НА КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Что такое электрическая цепь? Перечислите ее основные элементы.

2. Что называют схемой электрической цепи? Перечислите ее основные элементы.

3. С какими элементами электрической цепи познакомились в лабораторной работе?

4. С какими режимами работы источников электрической энергии познакомились в лабораторной работе?

5. В каких режимах могут работать активные элементы?

6. Закон Ома для пассивного участка.

Применение закона Ома для определения тока на участке, содержащем источник ЭДС.

7. Запишите выражение для напряжения на зажимах источника энергии, встречаемого в лабораторной работе.

8. Как выглядит зависимость величины напряжения на зажимах источника от величины его тока? Как эта зависимость называется?

9. Топологические понятия электрической схемы и цепи.

10. Для каких мест схемы применяют законы Кирхгофа? Формулировка и запись в обобщенном виде законов Кирхгофа.

11. Схемы замещения реальных источников ЭДС и тока.

Эквивалентное преобразование реального источника тока в источник ЭДС.

12. Как определить токи в ветвях разветвленной электрической схемы путем непосредственного применения законов Кирхгофа?

13. Как в лабораторной работе определяли сопротивления приемников и внутренние сопротивления источников электрической энергии?

14. Поясните составление уравнения баланса мощностей.

15. Как экспериментально определить направление тока ветви?

16. Как измерить потенциалы точек?

17. Порядок построения потенциальной диаграммы.

## Лабораторная работа № 2

### ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВЕТВЛЕННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

#### Цель работы

экспериментальная проверка основных законов и методов расчета разветвленных линейных электрических цепей синусоидального тока, получение навыков построения и анализа топографической диаграммы, совмещенной с векторной диаграммой токов.

#### Лабораторная установка для исследования **в соответствии с вариантом**

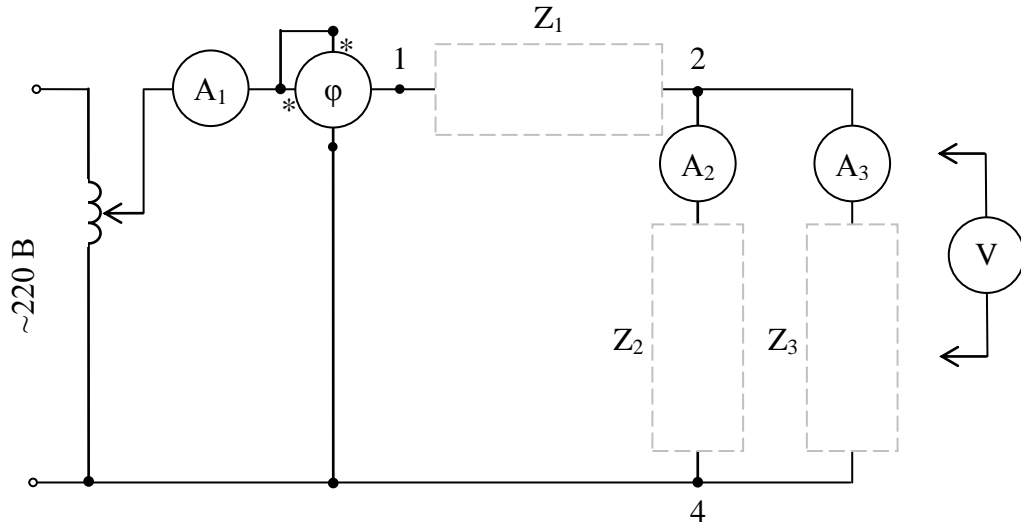


Рис. 4.3

#### Описание лабораторной установки

Цепь подключают к лабораторному автотрансформатору (ЛАТр), позволяющему регулировать напряжение на входе цепи в пределах от 0 до 250 В.

В качестве приемников используют:

катушку однофазного универсального трансформатора (клеммы 2-3, сердечник разомкнут) с параметрами  $R_K, L_K$ , определенными в лабораторной работе № 4;

конденсаторы с емкостями  $C_1=10 \text{ мкФ}, C_2=20 \text{ мкФ}, C_3=30 \text{ мкФ}$ ;

резисторы с сопротивлениями  $R_1=100 \text{ Ом}, R_2=150 \text{ Ом}, R_3=75 \text{ Ом}$ .

**Параметры сопротивлений ветвей  $Z_1, Z_2, Z_3$  выбирают согласно варианту по табл. 4.1 учебного пособия.**

Таблица 4.1

№ варианта	U, В	Параметры элементов		
		$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$
100				

#### Измерительные приборы

вольтметр типа Э59 0÷600 В- 1 шт.;

амперметр типа Э59 0÷1 А - 3 шт.;

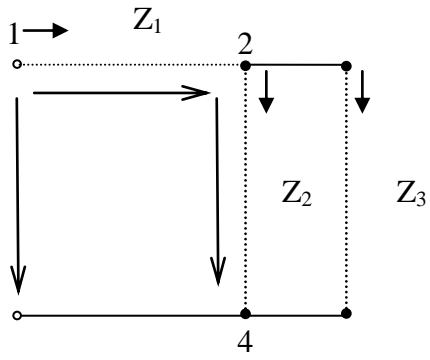
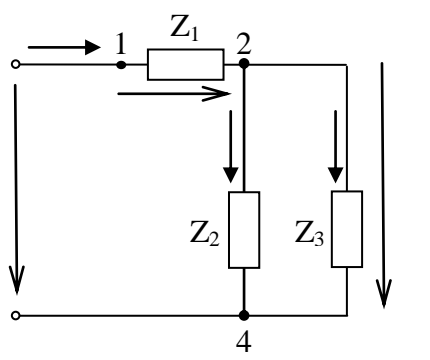
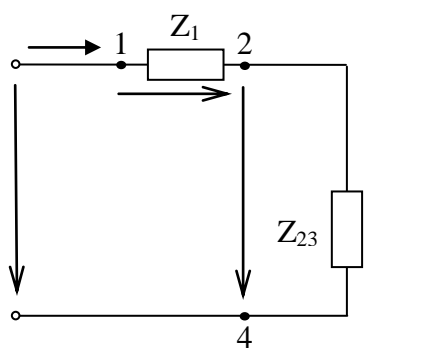
фазометр электродинамической системы;

цифровой вольтметр.

## ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАДАНИЯ НА ПОДГОТОВИТЕЛЬНУЮ РАБОТУ

4. Расчет токов и напряжений в разветвленной цепи **согласно варианту** (табл. 4.1 учебного пособия) МЕТОДОМ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ.

Вместо элементов  $Z_1, Z_2, Z_3$  (рис. 4.7) вставить элементы из табл. 4.1 учебного пособия согласно варианту и подписать на схеме 1 стрелки всех измеряемых электрических величин из табл. 4.2.

Эквивалентные схемы замещения	Числовые вычисления:
 <p style="text-align: center;">Схема 1</p>	<p>Реактивные сопротивления элементов (схема 1):</p> $X_L = \omega L =$ $X_C = 1/(\omega C) =$
 <p style="text-align: center;">Схема 2</p>	<p>Комплексные сопротивления ветвей <math>Z_1, Z_2, Z_3</math> (схема 2)</p> $Z_1 =$ $Z_2 =$ $Z_3 =$
 <p style="text-align: center;">Схема 3</p>	<p>Комплексное эквивалентное сопротивление участка 2-4 (схема 3):</p> $Z_{23} =$

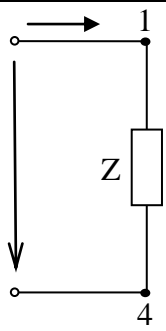


Схема 4

Комплексное эквивалентное сопротивление схемы 4:

$Z=$

Комплексное действующее значение напряжения источника питания:

Комплексное действующее значение тока в ветви с источником (схема 4):

Комплексные действующие значения напряжений на участках 1-2 и 2-4(схема 3):

Комплексные действующие значения токов в параллельно соединенных ветвях (схема 2):

Напряжения на элементах схемы 1:

Результаты расчетов занести в табл. 4.2.

Потенциалы точек схемы 1:

Таблица 4.2

Вычислено

$U_{14}, В$	$I_1, А$	$I_2, А$	$I_3, А$	$\varphi, \text{град}$	$\cos \varphi$	$U_{12}, В$	$U_{23}, В$	$U_{34}, В$	$U_{24}, В$
100									

4. Построение по результатам предварительных расчетов топографической диаграммы, совмещенной с векторной диаграммой токов. Проверка выполнения законов Кирхгофа.

Масштаб по току:  $m_i = \text{А/см};$

масштаб по напряжению:  $m_u = \text{В/см}.$

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1-2. Измерение токов в ветвях и напряжений на всех участках цепи

Таблица 4.2

$U, В$	$I_1, А$	$I_2, А$	$I_3, А$	$\varphi, \text{град}$	$\cos \varphi$	$U_{12}, В$	$U_{23}, В$	$U_{34}, В$	$U_{24}, В$

### ПРОВЕРКА И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Вывод:

*Экспериментальные данные получены правильно* \_\_\_\_\_

подпись преподавателя



3. Построение по опытным данным топографической диаграммы, совмещенной с векторной диаграммой токов.

Масштаб по току:  $m_i =$  А/см; масштаб по напряжению:  $m_u =$  В/см.

**ВЫВОДЫ:**

**ОТВЕТЫ НА КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Поясните порядок построения векторной диаграммы для разветвленной электрической цепи однофазного синусоидального тока.

2. Поясните порядок построения топографической диаграммы для цепи лабораторной работы по экспериментальным значениям.

3. Как рассчитать комплексное сопротивление цепи при смешанном соединении приемников?

4. Как вычислить токи в разветвленной части схемы?

5. Как вычислить токи в неразветвленной части схемы?

6. Поясните понятия: комплексная мощность, коэффициент мощности. Какой необходимо выбирать коэффициент мощности, и как этого можно добиться?

7. Возможен ли резонанс в цепи лабораторной установки? Поясните свой вывод.

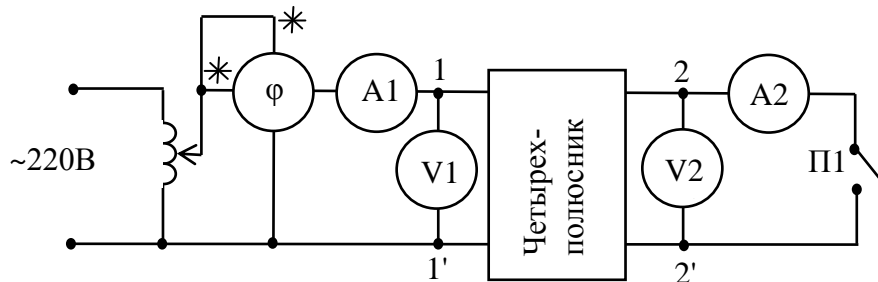
### Лабораторная работа № 3

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРВИЧНЫХ И ВТОРИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПАССИВНОГО ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКА

#### Цель работы

исследование режимов работы пассивного четырехполюсника, определение коэффициентов А- формы записи уравнений четырехполюсника, характеристического сопротивления, постоянной передачи.

#### Лабораторная установка для исследования



#### Описание лабораторной установки

Источник питания - сеть переменного тока лабораторного стенда напряжением 220 В и частотой 50 Гц. Напряжение на входе исследуемой цепи устанавливается с помощью лабораторного автотрансформатора (ЛАТр).

Параметры элементов четырехполюсника:  
 резисторы  $R=100 \text{ Ом}$ ,  $R_1 = 150 \text{ Ом}$ ;  
 конденсаторы  $C = 10 \text{ мкФ}$  и  $C_1 = 30 \text{ мкФ}$ ;  
 катушка с индуктивностью с параметрами, полученными экспериментально в лабораторной работе № 4.

Схема соединения элементов четырехполюсника согласно варианту приведена в табл. 6.1 учебного пособия.

Таблица 6.1

Схема соединения элементов четырехполюсника	Параметры элементов

#### Измерительные приборы

амперметры типа Э 359 0,25 - 1,0 А - 2 шт. ;  
 вольтметры типа Э 359 150-300 В - 2 шт. ;  
 фазометр.

## ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАДАНИЯ НА ПОДГОТОВИТЕЛЬНУЮ РАБОТУ

1. Расчет коэффициентов четырехполюсника A,B,C,D согласно варианту

<i>Расчетная схема четырёхполюсника</i>	<i>Расчет коэффициентов</i>

*ПРОВЕРКА: AD-BC=1*

*Вывод:*

*Результаты расчетов*

<i>Предва- ные рас- выпол- пра-</i>	A	B, Ом	C, Сим	D	<i>рите- ль- че- ты ны ны ильно</i>

*\_\_\_\_\_*  
подпись преподавателя

2. Расчет входных и выходных токов и напряжений в режимах холостого хода и короткого замыкания при прямом и обратном включении четырехполюсника

<i>Прямое включение</i>	<i>Обратное включение</i>
<b>Холостой ход</b>	
$\dot{U}_{1X} = 100e^{j0^\circ} \begin{cases} \dot{U}_{1X} = A \dot{U}_{2X}; \\ \dot{I}_{1X} = C \dot{U}_{2X}; \end{cases}$	$\dot{U}_{2X} = 100e^{j0^\circ} ; \begin{cases} \dot{U}_{2X} = D \dot{U}_{1X}; \\ \dot{I}_{2X} = C \dot{U}_{1X}; \end{cases}$

<b>Короткое замыкание</b>							
$\dot{U}_{1К} = 100e^{j0^\circ}; \begin{cases} \dot{U}_{1К} = B \dot{I}_{2К}; \\ \dot{I}_{1К} = D \dot{I}_{2К}. \end{cases}$				$\dot{U}_{2К} = 100e^{j0^\circ}; \begin{cases} \dot{U}_{2К} = B \dot{I}_{1К}; \\ \dot{I}_{2К} = A \dot{I}_{1К}. \end{cases}$			
<i>Результаты расчетов</i>							
Способ включения	Режим	U <sub>1</sub> , В	I <sub>1</sub> , А	φ <sub>1</sub> , град	U <sub>2</sub> , В	I <sub>2</sub> , А	φ <sub>2</sub> , град
Прямое включение	хх	100					-
	кз	100					-
Обратное включение	хх			-	100		
	кз			-	100		
<p><i>Предварительные расчеты выполнены правильно</i> _____  подпись преподавателя</p>							
<b>ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ</b>							
<p>1. Измерение входных и выходных напряжений, токов и угла сдвига фаз в опытах холостого хода и короткого замыкания при прямом и обратном включении четырехполюсника</p>							
Способ включения	Режим	U <sub>1</sub> , В	I <sub>1</sub> , А	φ <sub>1</sub> , град	U <sub>2</sub> , В	I <sub>2</sub> , А	φ <sub>2</sub> , град
Прямое включение	хх	100					-
	кз	100					-
Обратное включение	хх			-	100		
	кз			-	100		
<p>Вывод:</p> <p style="text-align: center;"><i>Экспериментальные данные получены правильно</i> _____  подпись преподавателя</p>							

**ПРОВЕРКА И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА**

**2. Расчет комплексных входных сопротивлений при прямом и обратном включении четырехполюсника**

<i>Расчетные формулы:</i>	<i>Числовые значения</i>
Входные сопротивления: $Z_{1X} = \frac{U_{1X}}{I_{1X}} e^{j\varphi_{1xx}} =$ $Z_{1K} = \frac{U_{1K}}{I_{1K}} e^{j\varphi_{1kx}} =$ $Z_{2X} = \frac{U_{2X}}{I_{2X}} e^{j\varphi_{2xx}} =$ $Z_{2K} = \frac{U_{2K}}{I_{2K}} e^{j\varphi_{2kx}} =$	
Коэффициенты: $A = \sqrt{\frac{Z_{1X}}{Z_{2X} - Z_{2K}}}$ $B = A Z_{2K}$ $C = A/Z_{1X}$ $D = AZ_{2X}/Z_{1X}$	

*ПРОВЕРКА: AD-BC=1*

**ВЫВОДЫ:**

Коэффициенты	A	B, Ом	C, Сим	D

**4. Расчет вторичных параметров четырехполюсника**

<i>Расчетные формулы:</i>	<i>Числовые значения</i>
Характеристические сопротивления: $Z_{1C} = \sqrt{Z_{1X} Z_{1K}} =$ $Z_{2C} = \sqrt{Z_{2X} Z_{2K}} =$ Постоянная передачи $g = a + jb = \ln(\sqrt{AD} + \sqrt{BC})$	

<i>Коэффициент затухания</i>	a=
<i>Коэффициент фазы</i>	b=
5. Построение по экспериментальным данным векторных диаграмм токов и напряжений для режимов холостого хода и короткого замыкания при прямом и обратном включении четырехполюсника.	

<i>Прямое включение</i>	<i>Обратное включение</i>
Холостой ход $\begin{cases} \dot{U}_{1X} = A \dot{U}_{2X}; \\ \dot{I}_{1X} = C \dot{U}_{2X}; \end{cases}$	Холостой ход $\begin{cases} \dot{U}_{2X} = D \dot{U}_{1X}; \\ \dot{I}_{2X} = C \dot{U}_{1X}; \end{cases}$
Короткое замыкание $\begin{cases} \dot{U}_{1K} = B \dot{I}_{2K}; \\ \dot{I}_{1K} = D \dot{I}_{2K}. \end{cases}$	Короткое замыкание $\begin{cases} \dot{U}_{2K} = B \dot{I}_{1K}; \\ \dot{I}_{2K} = A \dot{I}_{1K}. \end{cases}$

ВЫВОДЫ:

**ОТВЕТЫ НА КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Какие устройства называют четырехполюсником? Приведите примеры четырехполюсников.

2. Формы записи уравнений четырехполюсников.

3. Определение коэффициентов А-формы записи уравнений четырехполюсника аналитическими методами.



4. Определение коэффициентов А-формы записи уравнений четырехполюсника по опытным данным лабораторной работы.

5. Согласованный режим работы четырехполюсника. Характеристическое сопротивление. Определение характеристического сопротивления по опытным данным.

6. Постоянная передачи. Коэффициенты затухания и фазы.

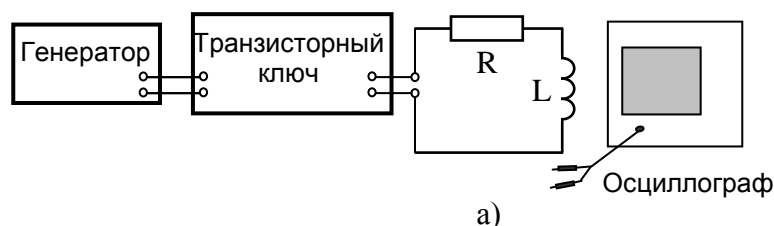
## Лабораторная работа № 4

### 1. ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЛИНЕЙНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПЕРВОГО ПОРЯДКА С RL-ЭЛЕМЕНТАМИ

#### Цель работы

исследование переходных процессов в линейных электрических цепях первого порядка

#### Лабораторная установка для исследования



#### Описание лабораторной установки

Источником питания исследуемых цепей является источник прямоугольных импульсов - транзисторный ключ, управляемый звуковым генератором.

Частота коммутации ключа равна частоте сигнала генератора, амплитуда выходного сигнала транзисторного ключа  $U_m = 10$  В.

Исследуемая цепь состоит из:

резистора с сопротивлением  $R$  - магазин сопротивлений  $0 \div 10000$  Ом;

катушки с индуктивностью  $L$  - обмотка однофазного универсального трансформатора на разомкнутом сердечнике из комплекта стенда:

клеммы 2-3 –  $L = 0,5$  Гн;

клеммы 1-3 –  $L = 0,16$  Гн;

клеммы 1-2 –  $L = 0,18$  Гн.

Катушка без сердечника:

клеммы 2-3 –  $L = 0,016$  Гн;

клеммы 1-3 –  $L = 0,09$  Гн.

#### Измерительные приборы

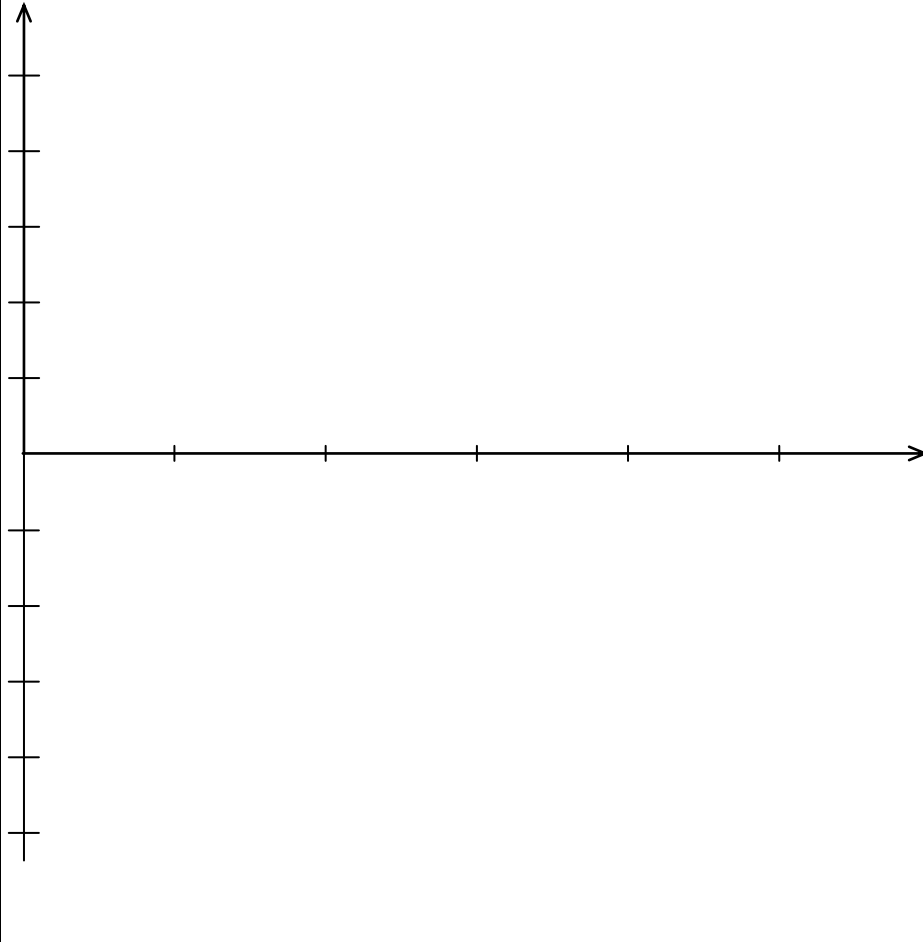
Для экспериментального снятия кривых переходного процесса используется осциллограф, позволяющий учитывать масштабы напряжения и времени.

#### ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАДАНИЯ НА ПОДГОТОВИТЕЛЬНУЮ РАБОТУ

1. Расчет переходного процесса в цепи первого порядка с элементами RL при коммутации питающего напряжения с  $U_m = 0$  на напряжение  $U_m = 10$  В (в соответствии с вариантом)

№ варианта	$R$ , Ом	$L$ , Гн	Искомая переходная функция

<p><i>Расчетная схема и параметры</i></p> <p><math>t=0.</math></p> <p><math>t=0</math></p> <p><math>t \geq 0</math></p> <p><math>t=\infty</math></p> <p><math>t=0</math></p> <p>Расчет необходимой длительности и частоты прямоугольных импульсов на выходе транзисторного ключа для цепи RL</p>	<p><i>Расчет требуемой переходной функции</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. До коммутации ток индуктивности</li> <li>2. Первый закон коммутации</li> <li>3. Уравнения электрического состояния цепи в момент коммутации</li> </ol> <p><i>Искомая переходная функция в общем виде:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Принужденная составляющая искомой величины</li> <li>5. Характеристическое уравнение и его корень</li> <li>6. Определение постоянной интегрирования искомой величины</li> <li>7. Зависимое начальное условие</li> </ol> <p><i>Постоянная времени</i></p> <p>Длительность переходного процесса:</p> <p>Длительность и частота прямоугольных импульсов</p> <p><i>Ответ: Искомая переходная функция</i></p>
--	---

<p><i>График переходного процесса</i></p>	
<p>2. Расчет переходного процесса в цепи первого порядка с элементами RL при коммутации питающего напряжения с <math>U_m = 10</math> на напряжение <math>U_m = 0</math> В (в соответствии с вариантом)</p>	
<p><i>Расчетная схема и параметры</i>  <math>t=0_-</math>   <math>t=0</math>   <math>t \geq 0</math>   <math>t=\infty</math></p>	<p><i>Расчет требуемой переходной функции</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. До коммутации ток индуктивности</li> <li>2. Первый закон коммутации</li> <li>3. Уравнения электрического состояния цепи в момент коммутации</li> </ol> <p><i>Искомая переходная функция в общем виде:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Принужденная составляющая искомой величины</li> <li>5. Характеристическое уравнение и его корень</li> </ol>

t=0

6. *Определение постоянной интегрирования искомой величины*

7. *Зависимое начальное условие*

Расчет необходимой длительности и частоты прямоугольных импульсов на выходе транзисторного ключа для цепи RL

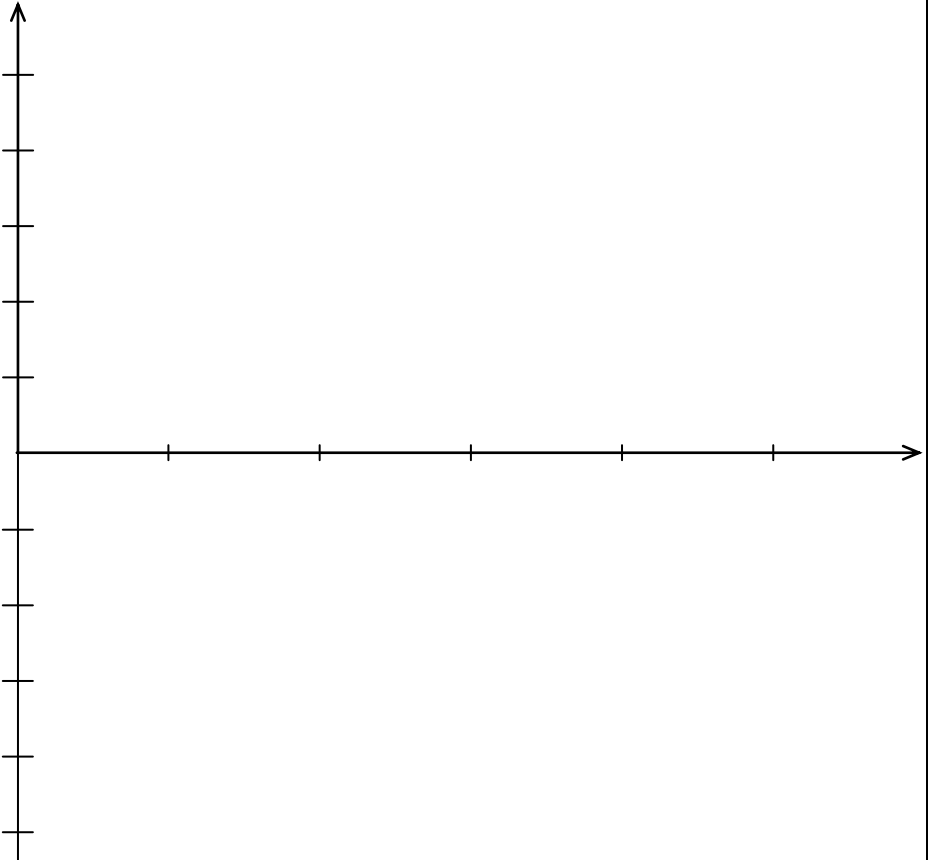
*Постоянная времени*

Длительность переходного процесса:

Длительность и частота прямоугольных импульсов

*Ответ: Искомая переходная функция*

*График переходного процесса*



***Предварительные расчеты выполнены правильно*** \_\_\_\_\_

подпись преподавателя

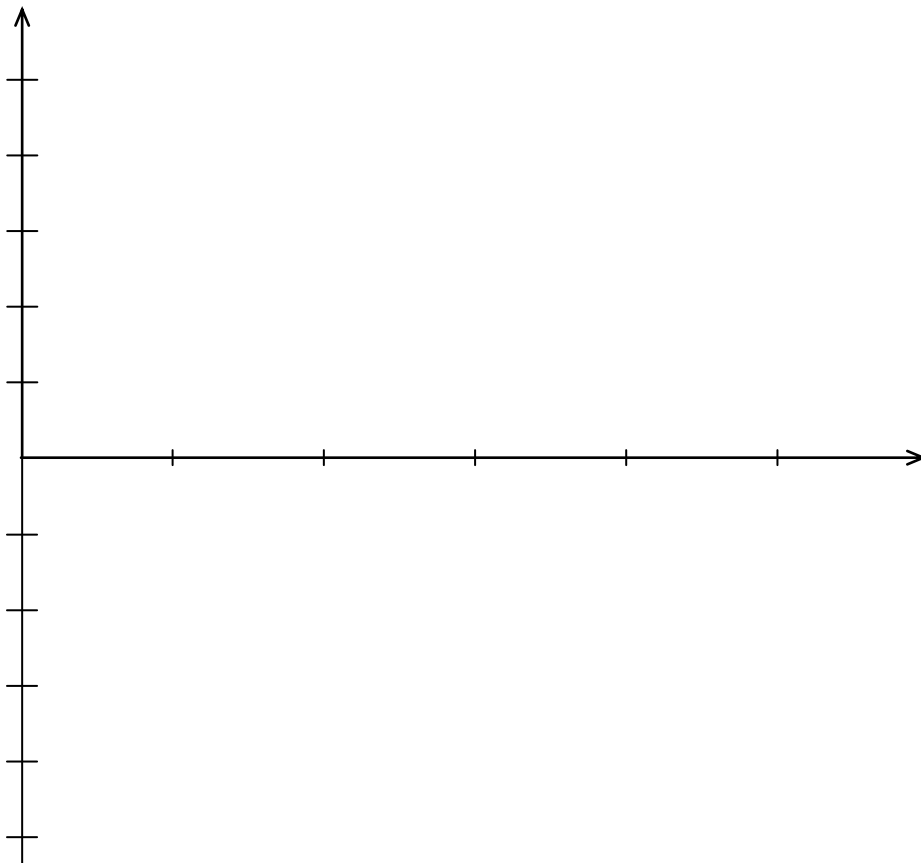
## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Снять осциллограмму выходного напряжения транзисторного ключа:

Подключить транзисторный ключ к выходу звукового генератора (рис. 9.11, а).

Установить на выходе генератора напряжение 5 – 10 В и расчетную частоту.

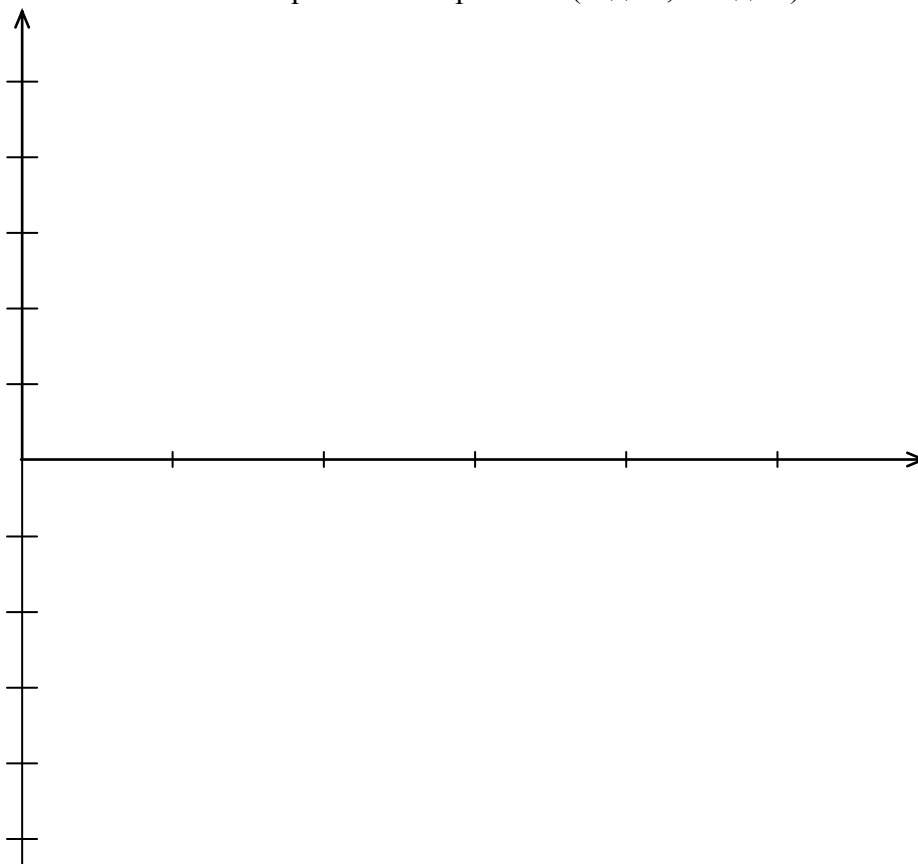
Подключить осциллограф к клеммам Выход транзисторного ключа. Убедиться, что выходное напряжение имеет вид последовательности прямоугольных импульсов.



2. Снятие осциллограммы искомой величины для цепи RL, определение принужденной составляющей искомой величины и постоянной времени переходного процесса:

Подключить к выходу транзисторного ключа цепь, собранную по схеме а.

Снять в масштабе исследуемую кривую, используя сетку экрана осциллографа и установленные масштабы напряжения и времени (В/дел.; сек/дел.).



#### ПРОВЕРКА И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

По графику определить принужденную составляющую и постоянную времени и сравнить ее с расчетной

**ВЫВОД:** (сравнить полученные графики переходных процессов с расчетными)

*Экспериментальные данные получены правильно* \_\_\_\_\_

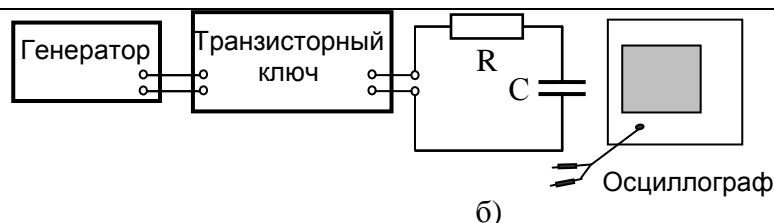
подпись преподавателя

## 2. ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЛИНЕЙНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПЕРВОГО ПОРЯДКА С RC-ЭЛЕМЕНТАМИ

### Цель работы

исследование переходных процессов в линейных электрических цепях

### Лабораторная установка для исследования



### Описание лабораторной установки

Источником питания исследуемых цепей является источник прямоугольных импульсов - транзисторный ключ, управляемый звуковым генератором.

Частота коммутации ключа равна частоте сигнала генератора, амплитуда выходного сигнала транзисторного ключа  $U_m=10$  В.

Исследуемая цепь состоит из:

резистора с сопротивлением  $R$  - магазин сопротивлений  $0 \div 10000$  Ом;

конденсатора с емкостью  $C$  - блок конденсаторов универсального стенда  $0 \div 34.75$  мкФ.

### Измерительные приборы

Для экспериментального снятия кривых переходного процесса используется осциллограф, позволяющий учитывать масштабы напряжения и времени.

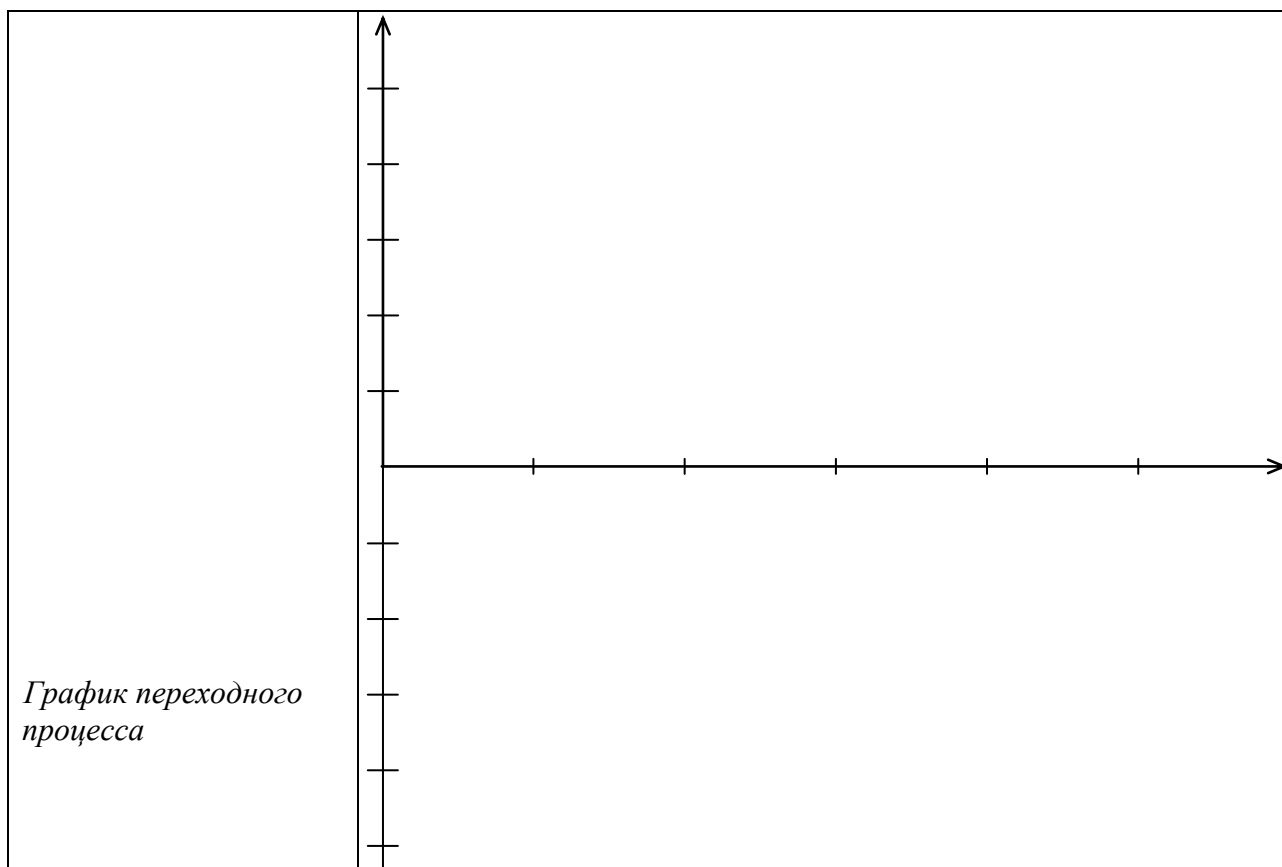
### ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАДАНИЯ НА ПОДГОТОВИТЕЛЬНУЮ РАБОТУ

3. Расчет переходного процесса в цепи первого порядка с элементами RC при коммутации питающего напряжения с  $U_m = 0$  на напряжение  $U_m = 10$  В (в соответствии с вариантом)

№ варианта	$R$ , Ом	$C$ , мкФ	Искомая переходная функция



<p><i>Расчетная схема</i>  <math>t=0_.</math></p> <p><math>t=0</math></p> <p><math>t \geq 0</math></p> <p><math>t=\infty</math></p> <p><math>t=0</math></p> <p>Расчет необходимой длительности и частоты прямоугольных импульсов на выходе транзисторного ключа для цепи RC</p>	<p><i>Расчет требуемой переходной функции</i></p> <p>1. До коммутации напряжение на емкости</p> <p>2. Второй закон коммутации</p> <p>3. Уравнения электрического состояния цепи в момент коммутации</p> <p><i>Искомая переходная функция в общем виде:</i></p> <p>4. Принужденная составляющая искомой величины</p> <p>5. Характеристическое уравнение и его корень</p> <p>6. Определение постоянной интегрирования искомой величины</p> <p>7. Зависимое начальное условие</p> <p><i>Постоянная времени</i></p> <p>Длительность переходного процесса:</p> <p>Длительность и частота прямоугольных импульсов</p> <p><i>Ответ: искомая переходная функция:</i></p>
---	--



3. Расчет переходного процесса в цепи первого порядка с элементами RC при коммутации питающего напряжения с  $U_m = 10$  на напряжение  $U_m = 0$  В (в соответствии с вариантом)

Расчетная схема

$t=0.$

$t=0$

$t \geq 0$

$t = \infty$

Расчет требуемой переходной функции

1. До коммутации напряжение на емкости

2. Второй закон коммутации

3. Уравнения электрического состояния цепи в момент коммутации

Искомая переходная функция в общем виде:

4. Принужденная составляющая искомой величины

5. Характеристическое уравнение и его корень

t=0

6. *Определение постоянной интегрирования искомой величины*

7. *Зависимое начальное условие*

Расчет необходимой длительности и частоты прямоугольных импульсов на выходе транзисторного ключа для цепи RC

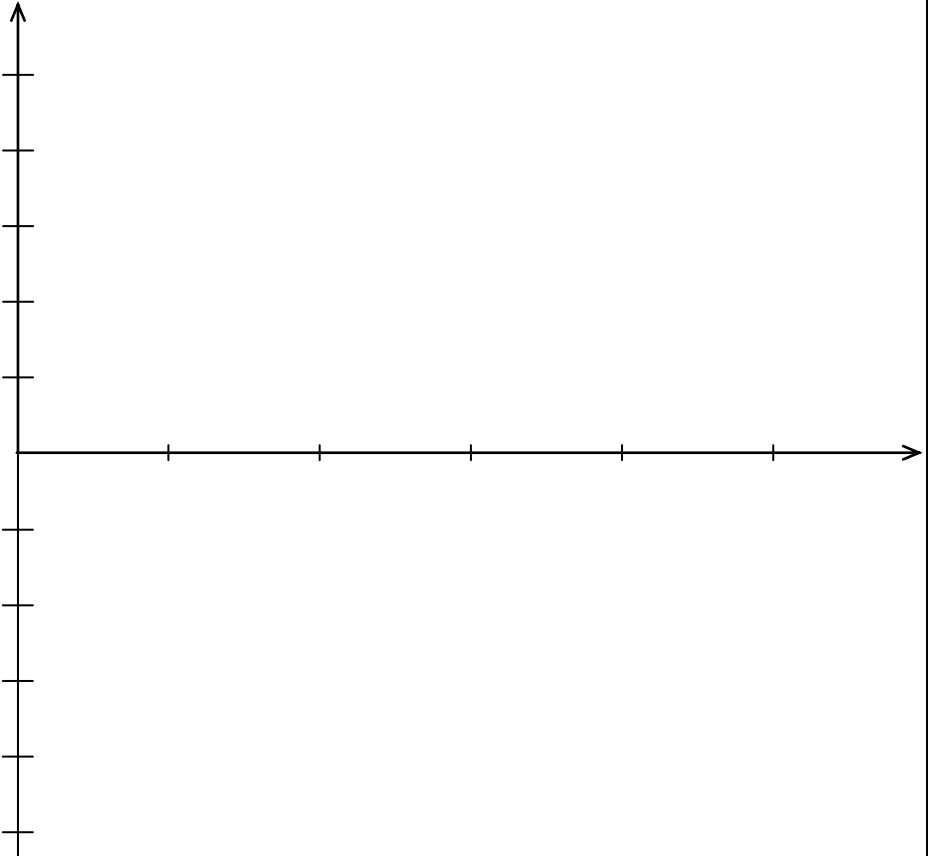
*Постоянная времени*

Длительность переходного процесса:

Длительность и частота прямоугольных импульсов

*Ответ: искомая переходная функция:*

*График переходного процесса*

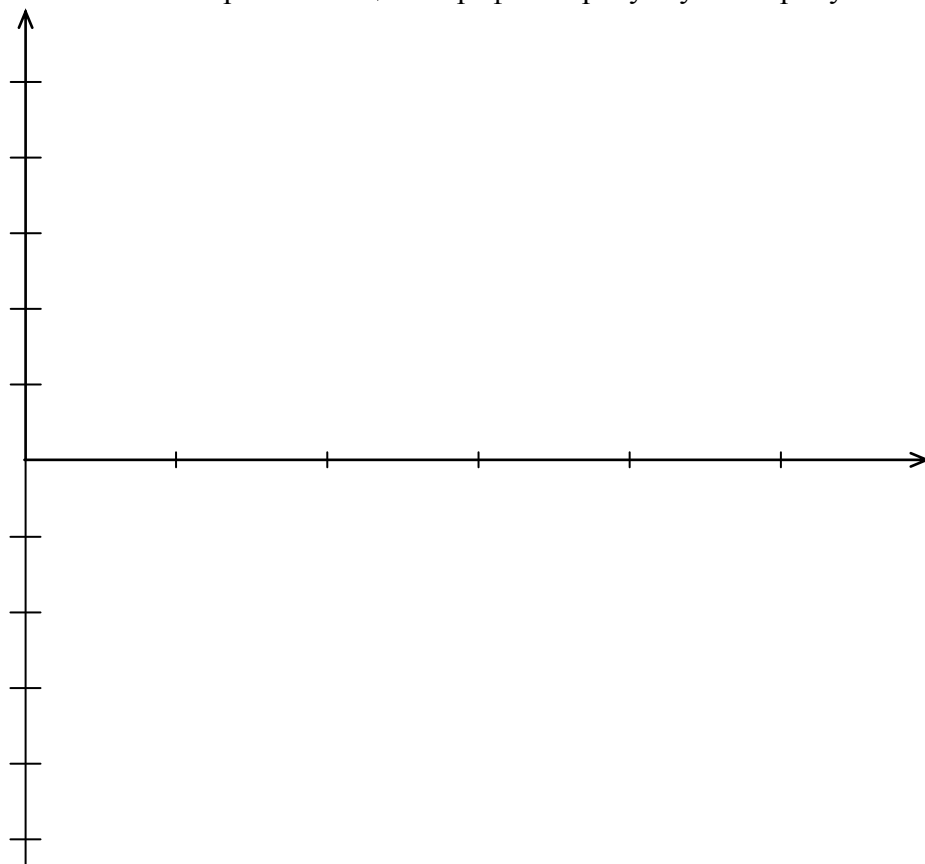


***Предварительные расчеты выполнены правильно*** \_\_\_\_\_

подпись преподавателя

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

3. Снятие осциллограммы искомой величины для цепи RC, определение принужденной составляющей искомой величины и постоянной времени переходного процесса: подключить к выходу транзисторного ключа цепь, собранную по схеме б и получить на экране осциллографа требуемую кривую переходного процесса.



### ПРОВЕРКА И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

По полученному графику определить принужденную составляющую и постоянную времени и сравнить ее с расчетной

**ВЫВОД:** (*сравнить полученные графики переходных процессов с расчетными*)

*Экспериментальные данные получены правильно* \_\_\_\_\_  
подпись преподавателя

### ОТВЕТЫ НА КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ по части 1

1. Причины возникновения переходных процессов в электрических цепях.
2. Что позволило в лабораторной работе наблюдать переходные процессы?

2. Первый закон коммутации. В чем он выразился в лабораторной работе?
3. Что называют начальными условиями? Понятие независимых начальных условий. Как их можно определить в лабораторной работе?
4. Физический смысл принужденной составляющей переходной функции. Определение принужденной составляющей переходной функции аналитически и графически на примере лабораторной работы.
5. Что представляет собой свободная составляющая переходной функции? Как ее определяли в лабораторной работе?
6. Методы составления характеристического уравнения для цепи первого порядка.
7. Постоянная времени. Физический смысл постоянной времени. От чего она зависит? Графическое определение постоянной времени.

8. Что вы понимаете под зависимыми начальными условиями?

9. Классический метод расчета (алгоритм) переходных процессов в цепях первого порядка при воздействии постоянного напряжения.

**ОТВЕТЫ НА КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ по части 2**

1. Какова продолжительность переходных процессов в электрических цепях?

2. Второй закон коммутации. В чем он выразился в лабораторной работе?

3. В чем проявились независимые начальные условия в лабораторной работе?

4. Возможно ли менять время переходного процесса? К чему это приведет?

5. Вид переходного процесса в цепях первого порядка. Общий вид записи переходной функции.

6. К чему приведет отсутствие резистивного элемента в цепи лабораторной работы?

8. В чем отличие классического метода расчета переходных процессов в цепях с индуктивными элементами от расчета переходных процессов в цепях с емкостными элементами?

7. Общий вид записи свободной составляющей переходной функции для цепи второго порядка. От чего он зависит?