

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

# **ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА**

Методические указания к лабораторным работам

Рязань 2014

## ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

1. При подготовке к очередной лабораторной работе студенты должны изучить теоретические вопросы по конспекту лекций и литературе (список ее указывается в конце указаний); изучить описание работы; выполнить предварительные расчеты.

2. Результаты оформляются на чистовом бланке отчета. Отчет должен содержать: исходные данные; электрические схемы; предварительные расчеты; экспериментальные данные; графики; расчетные данные; выводы.

3. При первом посещении лаборатории перед началом работы студенты обязаны ознакомиться с правилами техники безопасности и расписаться в соответствующем журнале.

4. Каждый студент должен иметь при себе бланк отчета, карандаш для построения графиков, инженерный калькулятор для расчетов.

5. При собеседовании преподаватель выясняет готовность студента к работе. После этого студенту дается разрешение приступить к эксперименту.

6. Источники питания можно включать только после проверки собранной схемы преподавателем или лаборантом.

7. Результаты каждого опыта рекомендуется показывать преподавателю или лаборанту, чтобы убедиться в их правильности, и только после этого собирать новую схему или делать изменения в прежней схеме. Все записи делать чернилами четко и аккуратно.

8. Поле выполнения всех экспериментов бригада студентов обрабатывает полученные результаты, проводит необходимые вычисления, строит графики и диаграммы, сравнивает расчетные и экспериментальные данные, делает выводы.

9. Защита проделанной работы может быть проведена в день выполнения эксперимента (в этом случае достаточно представить только один отчет на бригаду) или на следующем занятии (в этом случае отчет представляется индивидуально каждым студентом).

10. При защите проверяются знания студентов техники проведения эксперимента, понимание результатов эксперимента и расчетов, а также знание теоретических вопросов, связанных с темой работы (контрольных вопросов), и умение решать задачи.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ СО СМЕШАННЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ

#### Цель работы

Научиться измерять и рассчитывать входное сопротивление; исследовать распределение токов и напряжений при смешанном соединении элементов.

#### Подготовка к работе

1. Для схемы рис. 1.1 рассчитать входное сопротивление относительно зажимов источника, напряжения и токи в ветвях схемы. Данные для расчета взять из табл. 1.1 в соответствии с номером бригады. Результаты расчетов занести в табл. 1.2.

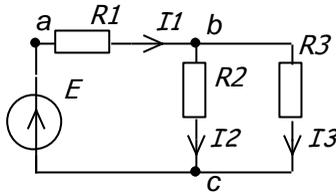


Рис. 1.1

2. Подготовить бланк отчета.
3. Ознакомиться с описанием установки.
4. Подготовить ответы на контрольные вопросы.

Таблица 1.1

Номер бригады	1	2	3	4	5	6	7	8
E, В	12	13	12	13	12	13	12	13
R1, Ом	150	100	200	120	150	100	100	180
R2, Ом	200	240	150	180	150	120	150	120
R3, Ом	750	750	680	560	360	430	680	360

#### Описание установки

Работа выполняется на стенде, на котором установлены все необходимые элементы и приборы. На панели приведены изображения элементов и выведены гнезда, к которым они присоединены. Сама цепь уже почти полностью собрана. Небольшие дополнительные соединения в цепи, а также подключение измерительных приборов проводятся с помощью проводников, которые можно получить у лаборанта перед началом работы.

### Выполнение работы

Собрать цепь по схеме рис. 1.1, измерить напряжения и токи в ветвях. По результатам измерений рассчитать сопротивления  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  и входное сопротивление цепи. Результаты измерений занести в табл.1.2 и сравнить с расчетными.

Таблица 1.2

Величина	$U_{ab}$ , В	$U_{bc}$ , В	$U_{ac}$ , В	$I_1$ , мА	$I_2$ , мА	$I_3$ , мА	$R_{вх}$ , Ом
Расчет							
Эксперимент							

### Контрольные вопросы

1. Какое соединение элементов называется последовательным, параллельным и смешанным?
2. Записать выражения для входного сопротивления схем, указанных на рис. 1.2, относительно заданных зажимов.

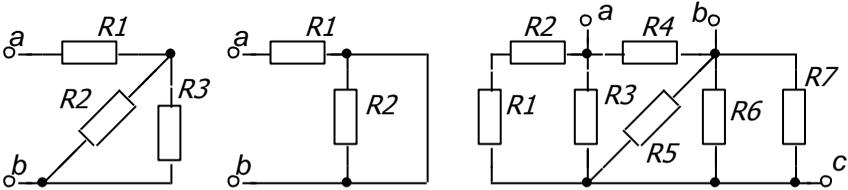


Рис. 1.2

3. Вычислить токи и напряжения в схемах рис. 1.3, если заданы следующие данные:  $E=100$  В,  $J=1$  А,  $R_1=100$  Ом,  $R_2=10$  Ом.

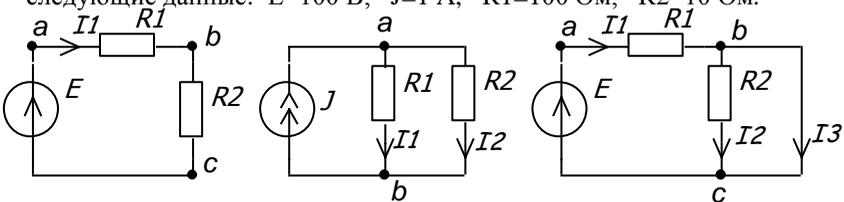


Рис. 1.3

4. Рассчитать режим в схеме, заданной преподавателем.

### Теоретическая часть

Входным сопротивлением пассивной электрической цепи называется отношение напряжения к току на зажимах этой цепи.

На практике часто возникает задача рассчитать входное сопротивление цепи, когда известны элементы цепи и способ их соединения. Простейшие виды соединений – это последовательное, параллельное и смешанное соединения элементов.

**Последовательным** называется такое соединение, при котором конец каждого элемента соединен только с началом последующего элемента. При последовательном соединении через все участки цепи проходит один и тот же ток. На рис. 1.4 показано последовательное соединение  $n$  сопротивлений.

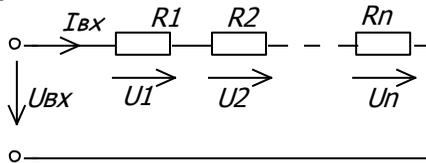


Рис. 1.4

Входное сопротивление для этой цепи может быть найдено, если согласно второму правилу Кирхгофа входное напряжение заменить суммой падений напряжений на сопротивлениях:

$$R_{\text{вх}} = \frac{U_{\text{вх}}}{I_{\text{вх}}} = \frac{I_{\text{вх}} R_1 + I_{\text{вх}} R_2 + \dots + I_{\text{вх}} R_n}{I_{\text{вх}}} = \sum_{k=1}^n R_k .$$

При последовательном соединении  $R_{\text{вх}}$  больше любого сопротивления, входящего в это соединение.

Напряжение на каждом сопротивлении может быть найдено по закону Ома:

$$U_k = I_{\text{вх}} R_k = \frac{U_{\text{вх}}}{R_{\text{вх}}} R_k = U_{\text{вх}} \frac{R_k}{R_1 + R_2 + \dots + R_n} .$$

Таким образом, напряжение на каждом сопротивлении меньше, чем на входе. Чем больше сопротивление, тем большая часть входного напряжения падает на нем.

**Параллельным** называется такое соединение, при котором элементы подключены к одной паре узлов. При параллельном соединении к элементам приложено одно и то же напряжение. Параллельное соединение  $n$  сопротивлений показано на рис. 1.5.

Для параллельного соединения легко находится входная проводимость  $g_{\text{вх}}$ , которая является обратной величиной для входного сопротивления  $g_{\text{вх}} = 1/R_{\text{вх}}$ .

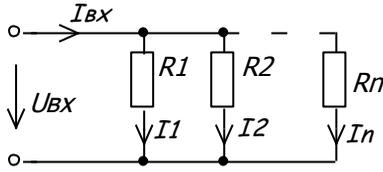


Рис. 1.5

Формулу для вычисления  $g_{\text{вх}}$  можно получить, используя первое правило Кирхгофа и закон Ома:

$$g_{\text{вх}} = \frac{I_{\text{вх}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{I_1 + I_2 + \dots + I_n}{U_{\text{вх}}} = \frac{\frac{U_{\text{вх}}}{R_1} + \frac{U_{\text{вх}}}{R_2} + \dots + \frac{U_{\text{вх}}}{R_n}}{U_{\text{вх}}} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k} = \sum_{k=1}^n g_k .$$

Эту формулу удобно использовать при большом количестве параллельных сопротивлений. Если параллельно соединены два сопротивления, то для вычисления  $R_{\text{вх}}$  удобнее использовать следующую формулу:

$$R_{\text{вх}} = \frac{1}{g_{\text{вх}}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} .$$

При параллельном соединении входное сопротивление меньше любого сопротивления, входящего в соединение.

Если известен ток на входе цепи, то ток в каждом сопротивлении может быть найден следующим образом:

$$I_k = \frac{U_{\text{вх}}}{R_k} = \frac{I_{\text{вх}} R_{\text{вх}}}{R_k} .$$

Для двух параллельных сопротивлений эта формула приводит к следующим, часто используемым выражениям:

$$I_1 = I_{\text{вх}} \frac{R_2}{R_1 + R_2} ; \quad I_2 = I_{\text{вх}} \frac{R_1}{R_1 + R_2} .$$

**Смешанным** называют такое соединение, при котором имеются только участки с последовательным и параллельным соединениями элементов. Для расчета режима в такой цепи можно последовательно преобразовывать схему до неразветвленной, заменяя последовательно и параллельно соединенные сопротивления эквивалентными. После расчета режима в неразветвленной цепи можно легко найти токи и напряжения во всех ветвях схемы, используя полученные выше формулы.

В качестве примера рассмотрим расчет режима в схеме рис. 1.6.

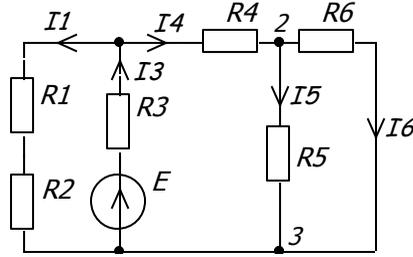


Рис. 1.6

Если заменить последовательно соединенные сопротивления  $R_1$  и  $R_2$  эквивалентным  $R_{\text{э}1} = R_1 + R_2$ , а параллельно соединенные сопротивления  $R_5$  и  $R_6$  – эквивалентным сопротивлением  $R_{\text{э}2} = R_5 R_6 / (R_5 + R_6)$ , исходная схема преобразуется к виду, показанному на рис. 1.7.

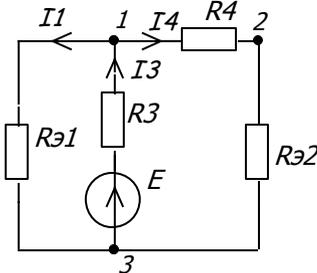


Рис. 1.7

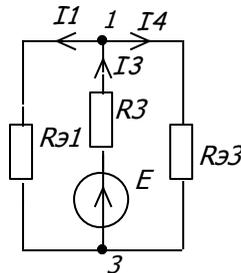


Рис. 1.8

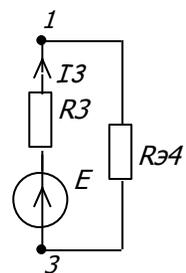


Рис. 1.9

Заменяя в ней последовательно соединенные сопротивления  $R_4$  и  $R_{\text{э}2}$  сопротивлением  $R_{\text{э}3} = R_4 + R_{\text{э}2}$ , получаем схему рис. 1.8. В этой схеме можно заменить параллельные сопротивления  $R_{\text{э}1}$  и  $R_{\text{э}3}$  сопротивлением  $R_{\text{э}4} = R_{\text{э}1} R_{\text{э}3} / (R_{\text{э}1} + R_{\text{э}3})$ . В результате этого получим неразветвленную схему, показанную на рис. 1.9, в которой можно найти ток  $I_3 = E / (R_3 + R_{\text{э}4})$ , а затем напряжение  $U_{13} = I_3 R_{\text{э}4}$ . Затем, возвращаясь к схеме рис. 1.8, находим токи  $I_1$  и  $I_4$ :

$$I_1 = \frac{U_{13}}{R_{\text{э}1}}, \quad I_4 = \frac{U_{13}}{R_{\text{э}3}}.$$

По найденному току  $I_4$  в схеме рис. 1.7 можно найти напряжение  $U_{23} = I_4 R_{\text{э}2}$ , а затем и токи  $I_5$  и  $I_6$  в схеме рис. 1.6:  $I_5 = \frac{U_{23}}{R_5}$ ,  $I_6 = \frac{U_{23}}{R_6}$ .

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

#### Цель работы

Экспериментальное определение параметров активного двухполюсника, исследование зависимости величины мощности, передаваемой от активного двухполюсника в нагрузку, от значения сопротивления нагрузки.

#### Подготовка к работе

1. Изучить рассматриваемые темы по конспекту лекций или литературе [1–3].

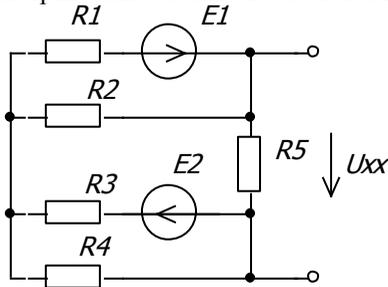


Рис. 2.1

2. Для активного двухполюсника, схема которого изображена на рис. 2.1, рассчитать параметры эквивалентной схемы замещения  $U_{ХХ}$ ,  $I_{КЗ}$  и  $R_{ВХ}$ . Данные для расчетов взять из табл. 2.1 в соответствии с номером бригады.

3. Используя найденные параметры активного двухполюсника, рассчитать зависимости и построить графики напряжения и мощности в нагрузке в зависимости от сопротивления нагрузки, изменяя его от 0 до 2 кОм.

Таблица 2.1

Номер бригады	1	2	3	4	5	6	7	8
E1, В	12	13	12	13	12	13	12	13
E2, В	6	7	6	7	6	7	6	7
R1, Ом	150	100	200	120	150	100	100	180
R2, Ом	200	240	150	180	150	120	150	120
R3, Ом	750	750	680	560	360	430	680	360
R4, Ом	510	560	470	360	680	510	560	510
R5, Ом	390	560	470	390	390	430	470	510

4. Подготовить бланк отчета.

5. Ознакомиться с описанием установки.
6. Подготовить ответы на контрольные вопросы.

### **Описание установки**

Работа выполняется на стенде, на котором установлены все элементы и приборы, необходимые для выполнения работы. На панели приведены изображения элементов и выведены гнезда, к которым они присоединены. Сама цепь уже почти полностью собрана. Небольшие дополнительные соединения в цепи, а также подключение измерительных приборов проводятся с помощью проводников, которые можно получить у лаборанта перед началом работы.

### **Выполнение работы**

1. Для активного двухполюсника, собранного по схеме рис. 2.1, измерить и записать  $U_{XX}$  и  $I_{K3}$ . По измеренным значениям рассчитать входное сопротивление двухполюсника и сравнить его с расчетным.
2. Подключить к зажимам активного двухполюсника нагрузку в виде переменного резистора и записать значения  $U_H$  и  $I_H$  при изменении сопротивления от нуля до максимального значения. По результатам измерений рассчитать  $R_H$  и  $P_H$ . Результаты измерений и расчетов оформить в виде таблицы.
3. Построить экспериментальный график  $P_H(R_H)$ , совместив его с расчетным графиком.

### **Контрольные вопросы**

1. Какая цепь называется линейной?
2. Какими параметрами характеризуется активный двухполюсник? Изобразить его схемы замещения.
3. Как экспериментально определить параметры активного двухполюсника?
4. Каково условие передачи максимальной мощности от генератора в нагрузку?
5. Решить задачу, предложенную преподавателем (на метод эквивалентного генератора).

### **Теоретические сведения**

#### Передача энергии от активного двухполюсника нагрузке.

Мощность в нагрузке вычисляется по формуле:

$$P_H = I_H^2 R_H = \frac{U_{abxx}^2 R_H}{(R_{vxab} + R_H)^2}. \quad (1)$$

Для определения соотношения между сопротивлением нагрузки и входным сопротивлением при условии выделения в нагрузке максимальной мощности достаточно исследовать выражение (1) на экстремум, считая переменным параметром сопротивление нагрузки:

$$\frac{dP}{dR_H} = \frac{[(R_H + R_{BX})^2 - 2R_H(R_H + R_{BX})]U_{ab\ xx}^2}{(R_H + R_{BX})^4} = 0.$$

Отсюда  $R_H = R_{BX}$ . Максимальная мощность будет равна  $P_{H\ max} = \frac{U_{ab\ xx}}{4R_{BX}}$ .

Полезная мощность, выделяемая в нагрузке, определяется соотношением (1). Полная мощность, выделяемая эквивалентным

генератором:

$$P_{полн} = U_{ab\ xx} I_H = \frac{U_{ab\ xx}^2}{R_{BX} + R_H},$$

коэффициент полезного действия  $\eta = \frac{P_H}{P_{полн}} = \frac{R_H}{R_H + R_{BX}}$ .

На рис. 2.2 построен график зависимости коэффициента полезного действия от  $R_H$ .

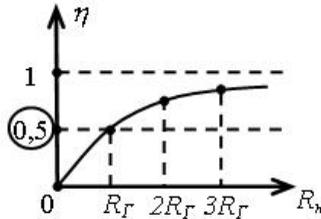


Рис. 2.2

В согласованном режиме ( $R_H = R_{BX}$ )  $\eta = 0,5$ .

На рис. 2.3 и 2.4 представлены зависимости  $P_H$ ,  $U_H$ ,  $\eta$ ,  $I_H$  от сопротивления нагрузки.

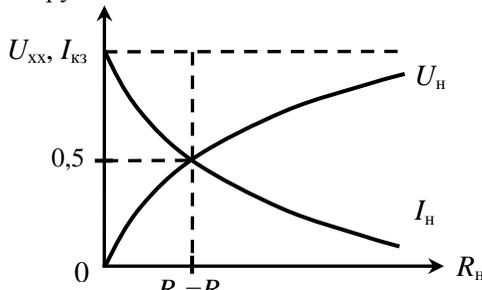


Рис. 2.3

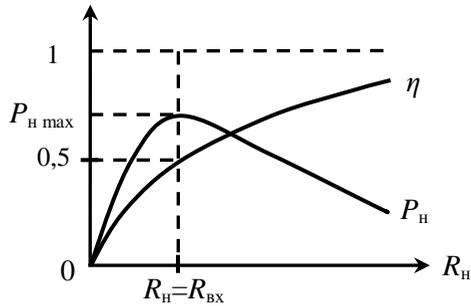


Рис. 2.4

При  $R_n = R_{вх}$  в нагрузку выделяется максимальная мощность. Такой режим называется согласованным. Однако очевидно, что мощные энергетические установки не могут работать с  $\eta = 0,5$ , так как половина вырабатываемой энергии теряется на внутреннем сопротивлении источника  $R_g$ , поэтому обычно стремятся к достижению максимально возможного к.п.д., выбирая  $R_n \gg R_g$ .

С другой стороны, при передаче маломощных сигналов, несущих информацию, важно выделить максимально возможную мощность на нагрузке (приемнике), и с низким к.п.д. можно не считаться.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТЕЙШИХ ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

#### Цель работы

Экспериментальное исследование амплитудных и фазовых соотношений между токами и напряжениями в цепях RL, RC, RLC.

#### Подготовка к работе

1. Изучить рассматриваемую тему по конспекту лекций и одному из учебников [1–3].

2. Для цепи рис. 3.1 рассчитать комплексы действующих значений тока и напряжений на резисторе и емкости. Исходные данные для расчетов взять из табл. 3.1.

На всех рабочих местах емкость  $C = 6000$  пФ, действующее значение напряжения источника  $U = 4$  В. Начальную фазу источника входного напряжения принять равной нулю.

Заполнить табл. 3.2. Построить на комплексной плоскости вектор тока и потенциальную диаграмму напряжений.

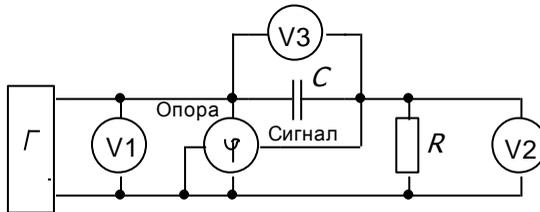


Рис. 3.1

Таблица 3.1

Номер бригады	1	2	3	4	5	6	7	8
f, кГц	33	30	28	28	22	20	28	21
R, Ом	560	620	620	620	750	750	620	550
L, мГн	3,95	5,24	6,08	4,05	9,18	7,99	3,85	7,23

Таблица 3.2

Величина	$U_1, \text{В}$	$U_R, \text{В}$	$U_C, \text{В}$	$\varphi, \text{град.}$	$I, \text{А}$	$\underline{Z}_{\text{BX}}=ze^{j\varphi}$
Расчет						
Эксперимент						

3. На рис. 3.1 заменить емкость индуктивностью. Выполнить расчеты, аналогичные п. 2; результаты расчетов занести в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Величина	$U_1, \text{В}$	$U_R, \text{В}$	$U_L, \text{В}$	$\varphi, \text{град.}$	$I, \text{А}$	$\underline{Z}_{\text{BX}}=ze^{j\varphi}$
Расчет						
Эксперимент						

4. Для цепи на рис. 3.2 выполнить расчеты, аналогичные п. 2. Результаты занести в табл. 3.4. Построить на комплексной плоскости вектор тока и потенциальную диаграмму напряжений.

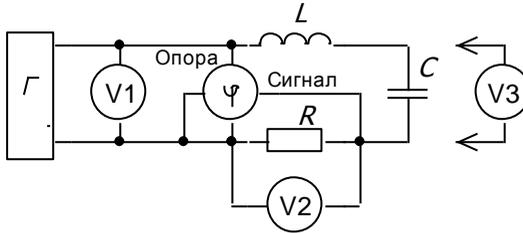


Рис. 3.2

Таблица 3.4

Величина	$U_1, \text{В}$	$U_R, \text{В}$	$U_L, \text{В}$	$U_C, \text{В}$	$\varphi, \text{град.}$	$I, \text{А}$	$\underline{Z}_{\text{BX}}=ze^{j\varphi}$
Расчет							
Эксперимент							

5. Подготовить бланк отчета.
6. Ознакомиться с описанием установки.
7. Подготовить ответы на контрольные вопросы.

### Описание установки

Генератор синусоидального напряжения, электронные вольтметры V1 и V2 и фазометр работают от сети переменного напряжения. Их зажимы «Земля» должны быть соединены между собой. В связи с этим вольтметрами V1 и V2 можно измерять напряжение между любой точкой цепи и общей точкой соединения всех перечисленных выше приборов. Вольтметр V3 не связан с сетью переменного напряжения. Им можно измерять напряжение между любыми точками исследуемой электрической цепи. Фазометр

показывает разность между фазами напряжений, подаваемых на зажимы «Сигнал» и «Опора». Величину тока определяют косвенным способом, посредством измерения напряжения на известном сопротивлении резистора  $R$ .

### Выполнение работы

1. Исследование режима в цепи RC. Собрать цепь по схеме рис. 3.1. Установить частоту и напряжение согласно заданию. Записать в табл. 3.2 показания приборов. Экспериментальную величину  $Z_{вх}$  рассчитывают на основании показаний приборов. Сравнить результаты эксперимента с расчетными. Убедиться, что напряжение источника равно геометрической сумме напряжений на емкости и резисторе.

2. Исследование режима в цепи RL. Заменить конденсатор (схема на рис. 3.1) катушкой индуктивности. Выполнить измерения и расчеты, аналогичные для цепи RC, их результаты занести в табл. 3.3.

3. Исследование режима в цепи RLC. Собрать цепь по схеме рис. 3.2. Записать в табл. 3.3 показания приборов и расчетов, выполненных на основе этих показаний. Изменяя частоту источника, добиться изменения характера входного сопротивления, наблюдая за показаниями фазометра.

### Контрольные вопросы

1. Как связаны между собой мгновенные значения токов и напряжений на элементах  $R$ ,  $L$ ,  $C$ ?

2. Записать выражения для комплексного сопротивления индуктивности и емкости.

3. Дать полное название следующим величинам:  $i, I_m, \dot{I}_m, I, \dot{I}, u, U_m, \dot{U}_m, U, \dot{U}, z, Z, R, X$ .

4. Записать выражения для перехода от показательной формы записи комплексного сопротивления  $Z$  к алгебраической, также для обратного перехода от алгебраической формы к показательной.

5. Построить качественно векторную и потенциальную диаграммы для схемы, заданной преподавателем.

### Теоретические сведения

1. При анализе установившихся режимов синусоидального тока в линейных электрических цепях применяют символический метод расчета, основанный на изображении синусоидальных функций времени комплексными числами: комплексами действующего или комплексами амплитудного значения.

Если мгновенное значение э.д.с.

$$e(t) = E_m \sin(\omega t + \psi),$$

то комплекс амплитудного значения (или комплексная амплитуда)

$$\dot{E}_m = E_m e^{j\psi},$$

комплекс действующего значения

$$\dot{E} = \frac{\dot{E}_m}{\sqrt{2}} = \frac{E_m}{\sqrt{2}} e^{j\psi} = E e^{j\psi}.$$

Аналогично записываются комплексные значения и для токов.

Комплексные сопротивления  $\underline{Z}$  отдельных элементов сведены в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Элементы цепи	Комплексное сопротивление $\underline{Z} = R + jX$
$R$	$\underline{Z}_R = R$
$L$	$\underline{Z}_L = j\omega L$
$C$	$\underline{Z}_C = \frac{1}{j\omega C} = -j \frac{1}{\omega C} = -jX_C$

Расчет установившихся процессов синусоидального тока проводится всеми известными методами, но все уравнения составляются относительно комплексов амплитудного или комплексов действующего значения. Этот метод называется символическим методом расчета.

2. Порядок расчета цепи символическим методом:

1 – от синусоидальных функций времени (э.д.с., тока, напряжения) перейти к соответствующим комплексам действующего (или амплитудного) значения;

2 – определить комплексные сопротивления пассивных элементов схемы;

3 – в зависимости от сложности заданной схемы рассчитать искомую комплексную величину рациональным методом;

4 – по полученным комплексам действующего (или амплитудного) значения записать мгновенное значение искомых величин по соотношению  $u(t) = \text{Im} \left\{ \dot{U}_m e^{j\omega t} \right\} = U_m \sin(\omega t + \psi)$  (аналогично для тока).

3. Форма записи комплексных чисел.

Любое комплексное число может быть изображено точкой на комплексной плоскости (рис. 3.3). Положение этой точки однозначно определяется парой чисел  $a$  и  $b$  или  $M$  и  $\varphi$ . В соответствии с этим

существуют две формы записи комплексных чисел: алгебраическая и показательная.

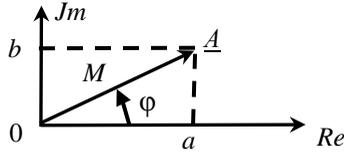


Рис. 3.3

1 – алгебраическая  $\underline{A} = a + jb$ , где  $a$  – действительная часть комплексного числа,  $b$  – мнимая часть комплексного числа.

2 – показательная  $\underline{A} = Me^{j\varphi}$ , где  $M$  – модуль комплексного числа,  $\varphi$  – аргумент комплексного числа.

Переход от одной формы записи комплексного числа к другой выполняется в соответствии с формулами тригонометрии. Все вычисления на калькуляторе желательно сопровождать вспомогательными построениями.

На рис. 3.4 показаны  $a$ ,  $b$ ,  $M$ ,  $\varphi$  при расположении комплексного числа в различных четвертях комплексной плоскости.

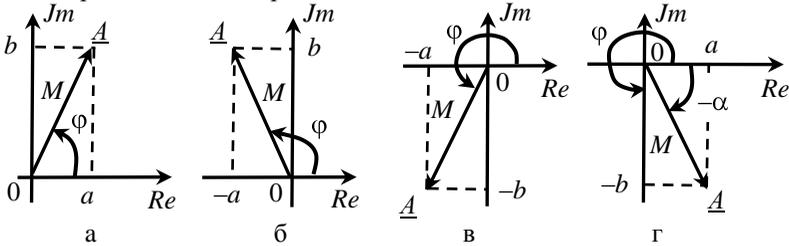


Рис. 3.4

Примечание: аргумент комплексного числа  $\varphi$  всегда отсчитывается от положительного направления оси действительных чисел.

Если отсчет ведется против часовой стрелки (как показано на рис. 3.4), то угол  $\varphi$  записывается со знаком «плюс», если по часовой стрелке, то угол  $\varphi$  записывается со знаком «минус».

Например, на рис. 3.4, г число  $\underline{A}$  может быть записано  $\underline{A} = Me^{-j\varphi}$ .

Пример 1. По заданным  $a$  и  $b$  определить  $M$  и  $\varphi$ :

$$\underline{A} = -18 + j81 = Me^{j\varphi}.$$

Отмечаем на комплексной плоскости заданное комплексное число  $\underline{A}$  (рис. 3.5). Из рисунка видно, что

$$\alpha = \arctg \frac{|b|}{|a|} = \arctg \frac{81}{18} = 77,5^\circ, \quad \varphi = 180^\circ - 77,5^\circ = 102,5^\circ,$$

$$M = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{18^2 + 81^2} = 83.$$

Следовательно,  $\underline{A} = -18 + j81 = 83e^{j102,5^\circ}$ .

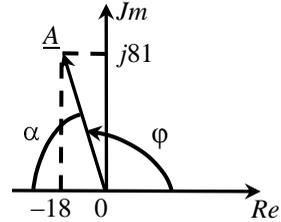


Рис. 3.5

Пример 2. По заданным  $M$  и  $\varphi$  определить  $a$  и  $b$ :

$$\underline{A} = 15e^{j210^\circ} = a + jb.$$

Изобразим на комплексной плоскости заданное комплексное число без масштаба (рис. 3.6). Как видно из чертежа, угол  $\alpha$  прямоугольного

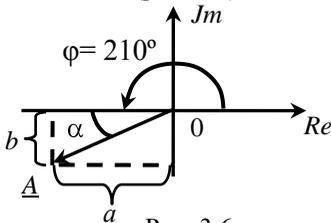


Рис. 3.6

треугольника со сторонами  $a$ ,  $b$  и  $M$  равен  $\alpha = 210^\circ - 180^\circ = 30^\circ$ .

$$\begin{aligned} \text{Тогда } |a| &= M \cos \alpha = 15 \cos 30^\circ = 13, \\ |b| &= M \sin \alpha = 15 \sin 30^\circ = 7,5. \end{aligned}$$

Следовательно,  $\underline{A} = 15e^{j210^\circ} = -13 - j7,5$ .

Сложение и вычитание комплексных чисел удобно производить в алгебраической форме, а умножение и деление – в показательной. При необходимости избавиться в выражении от комплексного числа в знаменателе можно домножить и числитель, и знаменатель на комплексно-сопряженное ему число, т.е.

$$\underline{Z} = \frac{\underline{Z1}}{a + jb} = \frac{\underline{Z1}(a - jb)}{a^2 + b^2} = \frac{\underline{Z2}}{c}.$$

4. Векторная диаграмма токов и топографическая диаграмма напряжений.

Совокупность векторов токов и потенциалов на комплексной плоскости с указанием векторов напряжений на всех элементах называется векторной диаграммой токов и топографической диаграммой напряжений.

Качественное построение векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений можно провести для цепи, содержащей только один источник энергии и последовательно-параллельное соединение пассивных элементов. Построение проводится в том же порядке, в котором ведется расчет методом пропорциональных величин, т.е. начинать качественное построение нужно, произвольно задавшись током в наиболее удаленной от источника и наиболее нагруженной ветви.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ

#### Цель работы

Исследовать переходные процессы в цепях RC, RL, RLC при подключении их к источнику постоянного напряжения.

#### Подготовка к работе

1. Изучить разделы курса по конспектам лекций и учебникам [1–3].
2. Выполнить расчеты. Исходные данные взять из табл. 4.1 согласно номеру бригады.

Таблица 4.1

Номер бригады	1	2	3	4	5	6	7	8
L, мГн	214	300	260	290	180	160	190	145

2.1. Для схемы (рис. 4.1) найти напряжения на элементах R и C и начертить их графики. Определить постоянную времени  $\tau$ . При расчетах принять  $R = 24 \text{ кОм}$ ,  $C = 8000 \text{ пФ}$ ,  $E = 2 \text{ В}$ .

2.2. Для схемы (рис. 4.2) найти напряжения на элементах R и L и начертить их графики. Определить постоянную времени цепи  $\tau$ . При расчетах принять  $R = 1 \text{ кОм}$ ,  $E = 2 \text{ В}$ .

2.3. Для последовательной RLC схемы (рис. 4.3) записать выражения и начертить качественно графики изменения напряжения на элементах R и C для случаев апериодического и колебательного процессов. Выразить через параметры схемы частоту собственных колебаний контура и коэффициент затухания  $\alpha$ .

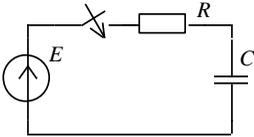


Рис. 4.1

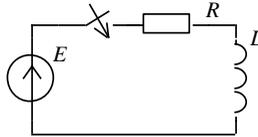


Рис. 4.2

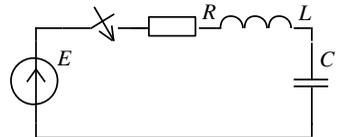


Рис. 4.3

3. Подготовить бланк отчета.

4. Ознакомиться с описанием установки.

5. Подготовить ответы на контрольные вопросы.

#### Описание установки

Элементы исследуемой цепи собраны внутри блока. На его лицевой панели с помощью контактных гнезд закреплены выводы и показаны условные изображения элементов R, L, C. На передней

панели находится также переключатель, с помощью которого можно изменять величину сопротивления.

Для сборки цепи используются проводники с наконечниками, с помощью которых соединяются гнезда, показанные на схеме. Питание цепи осуществляется от генератора прямоугольных импульсов типа Г5-54. Длительность импульса выбрана такой, что переходный процесс в цепи практически заканчивается за время действия импульса. Длительность паузы между импульсами выбрана такой, что в цепи после прекращения импульса переходный процесс также практически заканчивается.

Выбранные соотношения длительностей позволяют моделировать реакцию цепи при подключении ее к источнику постоянного напряжения путем исследования реакции цепи во время действия импульса с такой же амплитудой.

Напряжение на выходе генератора контролируется по пиковому вольтметру, встроенному в генератор. Наблюдение формы кривых напряжения осуществляется с помощью однолучевого осциллографа С1-72.

### Выполнение работы

1. Для наблюдения импульсов генератора присоединить осциллограф (зажимы 2–2') к выходу генератора (зажимы 1–1') по схеме рис. 4.4. Установить частоту повторения импульсов равной 100 Гц, длительность импульса – 1000 мкс. Амплитуду импульса установить равной 2 В.

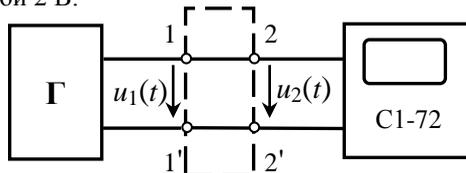


Рис. 4.4

Экспериментально легко определить, какой вывод кабеля является сигнальным (2), а какой соединен с корпусом (2'). Для этого надо подключить кабель ко входу осциллографа и коснуться рукой поочередно его концов. При касании сигнального конца на экране появится заметный сигнал с частотой 50 Гц.

Рекомендуется использовать ждущий режим работы осциллографа (кнопка  нажата). В этом режиме синхроимпульсы с генератора Г5-54 (Г) подаются на запуск развертки осциллографа С1-72. Для наблюдения реакции на включение напряжения следует установить задержку основного импульса относительно синхронизирующего около 10 мкс.

Для наблюдения переходных процессов исследуемые цепи подключаются входными зажимами 1–1' к выходу генератора, а выходными зажимами 2–2' – к осциллографу.

## 2. Переходный процесс в RL–цепи.

2.1. Для наблюдения осциллограммы напряжения на резисторе  $R$  в RL–цепи входные и выходные зажимы выбрать, как показано на рис. 4.5, переключателем установить величину резистора  $R = 1$  кОм. Зарисовать осциллограмму напряжения на резисторе  $R$  и определить постоянную времени цепи. Сопоставить результаты с расчетными.

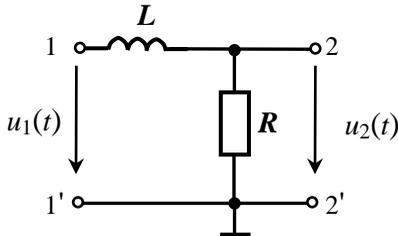


Рис. 4.5

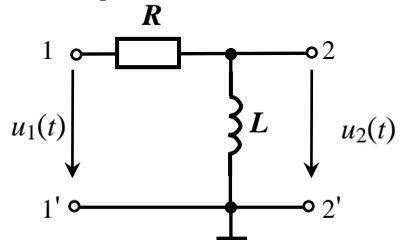


Рис. 4.6

## 3. Переходный процесс в RC–цепи.

3.1. Для наблюдения осциллограммы напряжения на конденсаторе использовать схему рис. 4.7. Установить емкость конденсатора  $C = 8000$  пФ,  $R = 24$  кОм. Зарисовать осциллограмму напряжения на конденсаторе. Определить постоянную времени цепи. Сопоставить полученные результаты с расчетными.

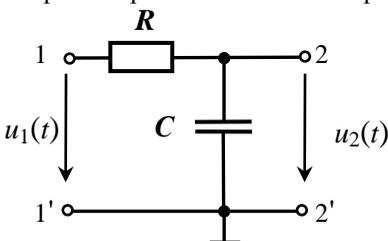


Рис. 4.7

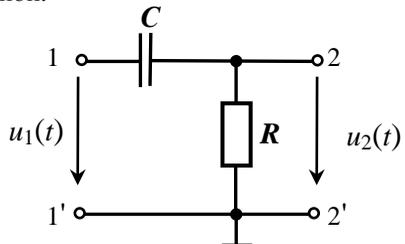


Рис. 4.8

#### 4. Переходный процесс в RLC-цепи.

Собрать цепь, используя схему рис. 4.9.

##### 4.1. Колебательный процесс.

Установить емкость конденсатора  $C=8000$  пФ, установить переключатель сопротивления в положение «Переменное». Плавно изменяя величину сопротивления резистора  $R$ , добиться затухающего колебательного процесса, при котором в течение переходного процесса наблюдается около трех периодов колебаний. Зарисовать осциллограмму напряжения. По ее виду определить частоту собственных колебаний и коэффициент затухания.

##### 4.2. Аperiodический процесс.

Увеличивая величину сопротивления резистора  $R$ , добиться момента исчезновения колебаний, что соответствует критическому режиму. Продолжая увеличивать сопротивление резистора  $R$ , получить аperiodический процесс. Зарисовать осциллограммы напряжений на резисторе  $R$  для обоих случаев.

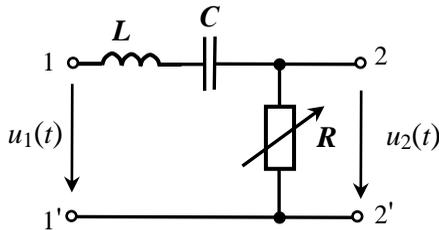


Рис. 4.9

#### Контрольные вопросы

1. Как формулируются законы коммутации?
2. Что понимают под независимыми и зависимыми начальными условиями?
3. Как составляется характеристическое уравнение?
4. Что понимают под принужденным и свободным режимами? Каков их смысл?
5. Что такое постоянная времени цепи первого порядка? Как ее определить по осциллограмме переходного процесса?
6. Как определить частоту собственных затухающих колебаний и коэффициент затухания по осциллограмме переходного процесса?
7. Решить задачу, предложенную преподавателем.

Библиографический список

1. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей. 5-изд., перераб. М.: Энергоатомиздат, 1989. 527 с.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. М.: Гардарики, 2002. 638 с.
3. Попов В.П. Основы теории цепей: учебник для вузов. М.: Высшая школа, 2003. 575 с.

**ПРИЛОЖЕНИЕ**

Образец оформления титульного листа бланка отчета

---

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Рязанский государственный радиотехнический университет

КАФЕДРА ТОЭ

Отчет о  
лабораторной работе № 4  
"РЕЗОНАНС В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ КОНТУРЕ"

**БРИГАДА № 2**

Выполнил: ст. гр. № 0111  
Иванов В.В.  
Проверила: доц. каф. ТОЭ  
Литвинова В. С.

Рязань, 2014