



Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Теоретические основы электротехники»

# **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ  
по одноименному курсу  
для студентов специальностей 1-43 01 03  
«Электроснабжение (по отраслям)» и 1-53 01 05  
«Автоматизированные электроприводы»  
заочной формы обучения**

Гомель 2009

УДК 621.3(075.8)  
ББК 31.21я73  
Т33

*Рекомендовано научно-методическим советом  
заочного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 1 от 24.09.2008 г.)*

Составители: *С. А. Грачев, В. В. Соленков, Я. О. Шабловский*

Рецензент: зав. каф. «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого канд. техн. наук, доц.  
*А. В. Сычев*

**Теоретические основы электротехники** : лаб. практикум по одноим. курсу для  
Т33 студентов специальностей 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» и 1-53 01 05  
«Автоматизированные электроприводы» заоч. формы обучения / сост.: С. А. Грачев,  
В. В. Соленков, Я. О. Шабловский. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2009. – 49 с. – Систем. требования: РС не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

Содержатся рекомендации по выполнению одиннадцати лабораторных работ по дисциплине «Теоретические основы электротехники».

Для студентов специальностей 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» и 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» заочной формы обучения.

УДК 621.3(075.8)  
ББК 31.21я73

© Грачев С. А., Соленков В. В., Шабловский Я. О.,  
составление, 2009

© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2009

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Курс "Теоретические основы электротехники" состоит из трёх частей. В первой части изучают линейные электрические цепи постоянного и однофазного переменного тока, во второй части – трёхфазные цепи и переходные процессы в линейных цепях, в третьей части – цепи с распределёнными параметрами, магнитные цепи и нелинейные электрические цепи. Настоящее пособие содержит методические указания к выполнению лабораторных работ по ТОЭ студентами заочной формы обучения и включает описания основополагающих лабораторных опытов по всем трём частям курса.

### Общие методические указания

1. Все электрические схемы изображаются по ГОСТу.
2. Перед началом измерений студент должен произвести расчёт цепи в соответствии со своим вариантом лабораторного задания. При этом следует пояснить значение каждого буквенного обозначения. Однажды принятые обозначения, направления токов и наименование узлов, а также обозначения, заданные условием, изменять нельзя. При расчёте одной цепи разными способами одну и ту же величину обозначать одним и тем же символом. Расчёт цепи обязательно завершается составлением баланса мощностей.
3. Расчёт каждой определяемой величины производить в общем виде, после чего в полученную формулу подставить числовые значения. Все вычисления проводить с точностью до третьего знака после запятой. Окончательный результат приводить с указанием единиц измерения. *Пример:*

$$I = \frac{U}{R} = \frac{40 \text{ В}}{94 \text{ Ом}} = 0.425 \text{ А} = 425 \text{ мА} .$$

4. Все рисунки, графики, диаграммы и схемы должны быть выполнены предельно аккуратно и в удобочитаемом масштабе.
5. При построении графиков выбирать такой масштаб, чтобы на 1 см оси координат приходилось  $1 \cdot 10^{\pm n}$  или  $2 \cdot 10^{\pm n}$  единиц измерения физической величины ( $n$  – целое число). Градуировка осей выполняется равномерно. Числовые значения координат точек, по которым строятся зависимости, должны быть приведены в отдельной таблице.

6. Студент обязан давать исчерпывающие пояснения по каждому положению произведённого расчёта и по каждому экспериментальному результату.

При изучении курса и подготовке к выполнению лабораторных работ рекомендуется использовать следующие учебники:

Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. 10-е изд. М.: Гардарики, 2002. 638 с.

Новгородцев А.Б. Теоретические основы электротехники. 30 лекций по теории электрических цепей. С.-Петербург: "Питер", 2006. 576 с.

Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л. Теоретические основы электротехники. В 3-х т. С.-Петербург: "Питер", 2004. Т. 1. 463 с. Т. 2. 576 с.

Прянишников В.А., Петров Е.А., Осипов Ю.М. Электротехника и ТОЭ в примерах и задачах. С.-Петербург: КОРОНА принт, 2003. 336 с.

## Расчётно-лабораторная работа № 1

### Электрическая цепь постоянного тока и её элементы

**Цель работы:** овладение приёмами эквивалентных преобразований (свёртывания) электрических цепей с одним источником; получение первичных навыков сборки цепей, измерения токов, напряжений и сопротивлений.

#### Программа работы:

1. Определение фактических параметров резисторов и сравнение их с номинальными значениями.
2. Расчёт схемы изучаемой цепи с помощью эквивалентных преобразований (свёртывания).
3. Сборка изучаемой цепи, измерение токов всех ее ветвей и сравнение с расчетными значениями.

#### Содержание отчета:

1. Название, цель и программа работы.
2. Схема изучаемой цепи и исходные данные.
3. Расчет токов (с балансом мощностей).
4. Таблица фактических и номинальных сопротивлений резисторов.
5. Таблица расчетных и экспериментальных значений токов.

#### Порядок выполнения

1. Собрать электрическую цепь по схеме рис. 1.1, используя в качестве источника ЭДС регулируемый источник постоянного напряжения, а в качестве  $R_k$  – элемент 01.

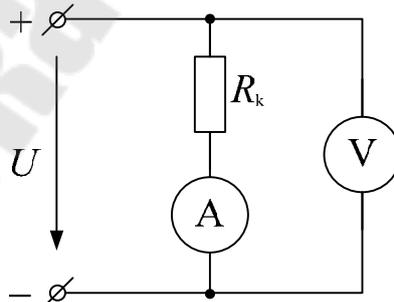


Рис. 1.1

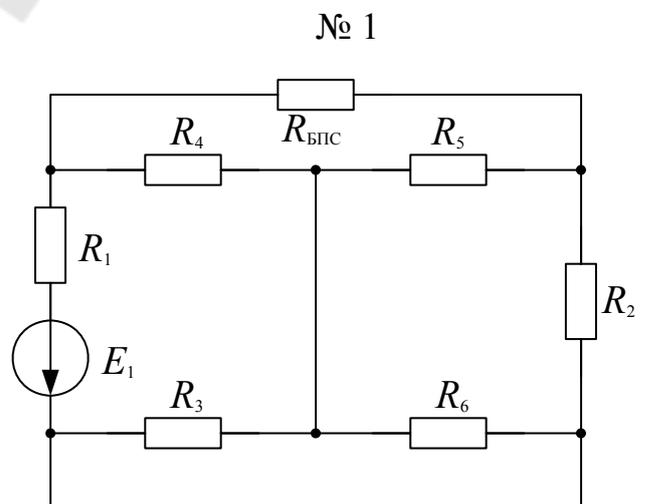
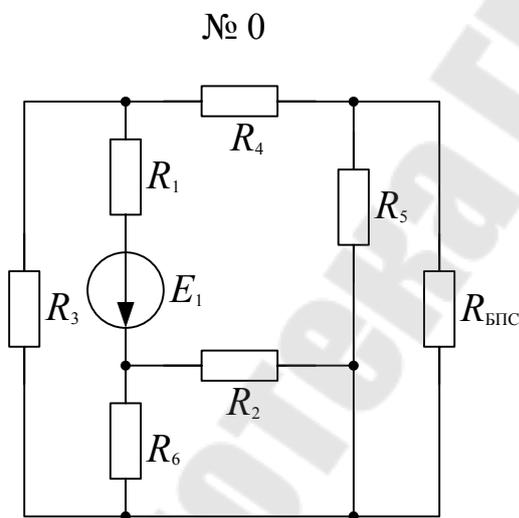
2. Задав напряжение  $U$  источника, не превышающее 11 В, произвести измерение силы тока. Результат измерений занести в таблицу 1.1.
3. Не меняя напряжение источника, заменить элемент 01 элементом 02, измерить силу тока и занести в таблицу 1.1.
4. Повторить действия п.3 для элементов 03 – 06.

5. По закону Ома рассчитать фактические сопротивления всех шести исследованных элементов, занести полученные значения в таблицу 1.1 и сравнить с соответствующими номинальными значениями.

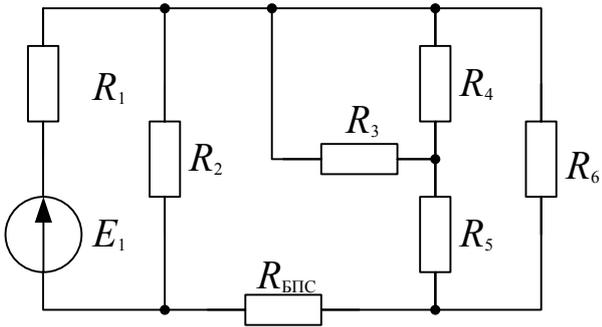
Таблица 1.1.

Элемент	U, В	I, А	Сопротивление элемента, Ом	
			фактическое	номинальное
01				
02				
03				
04				
05				
06				

6. По рис.1.2 выбрать цепь для изучения в соответствии с индивидуальным вариантом задания. Номер варианта совпадает с порядковым номером студента в списке группы (от 01 до 29) и состоит из двух цифр. По первой цифре с помощью таблицы 1.2 определяют входное напряжение цепи. Вторая цифра определяет номер схемы цепи на рис. 1.2.



№ 2



№ 3

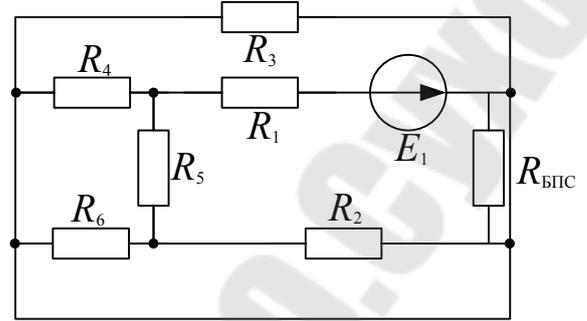
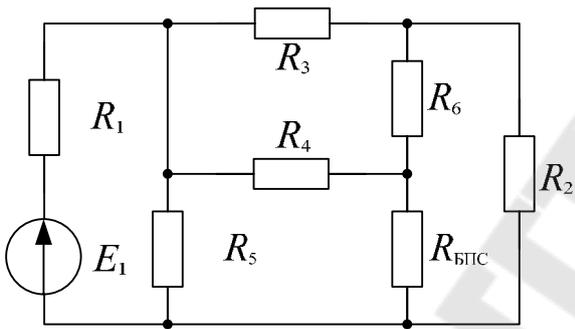
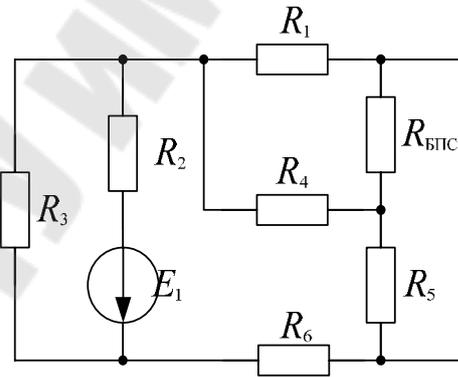


Рис. 1.2

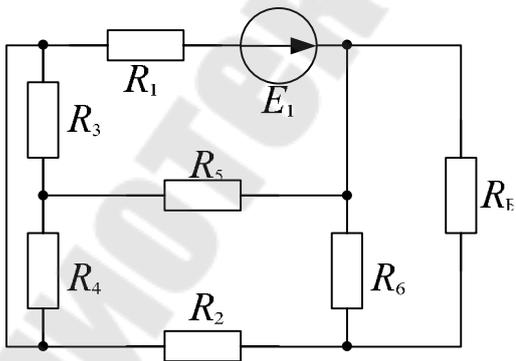
№ 4



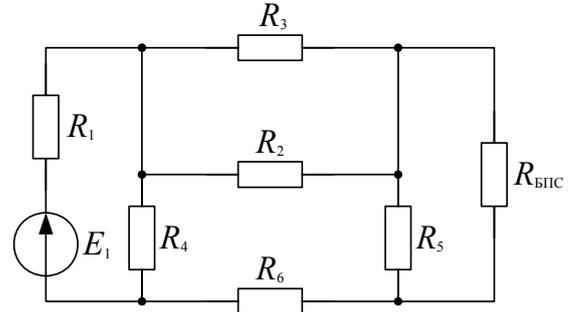
№ 5



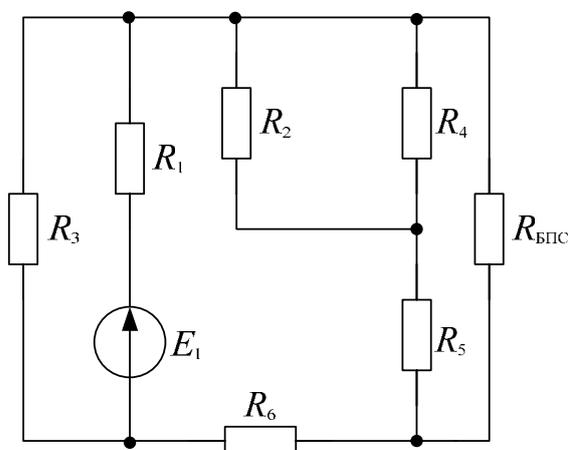
№ 6



№ 7



№ 8



№ 9

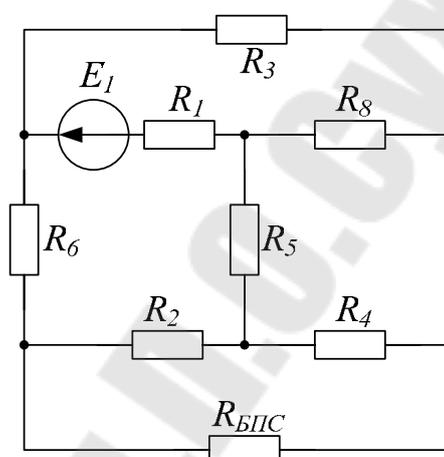


Рис. 1.2 (окончание)

Таблица 1.2.

Первая цифра варианта	0	1	2
Входное напряжение цепи, В	14	12	10

7. Рассчитать токи в схеме заданной цепи, применяя эквивалентные преобразования. При расчёте принять, что сопротивления  $R_1 \div R_6$  равны соответственно сопротивлениям элементов 01 – 06, а  $R_{БПС} = 150$  Ом. Результаты расчёта занести в таблицу 1.3 .

Таблица 1.4

Ток, А	Рассчитано	Измерено
$I_1$		
$I_2$		
$I_3$		
$I_4$		
$I_5$		
$I_6$		
$I_{БПС}$		

8. Собрать изучаемую цепь, используя в качестве  $R_{БПС}$  блок переменных сопротивлений. Измерить токи в цепи, занести результаты в таблицу 1.3 и сравнить с расчётными значениями.

### Контрольные вопросы

1. Дайте определения основных электрических величин (ток, напряжение, ЭДС).
2. Что называют электрической цепью? Что называют схемой электрической цепи?
3. Что такое резистор и каково его изображение по ГОСТу на схеме? Каким параметром описывается этот элемент?
4. Что такое источник ЭДС (идеальный и реальный) и каково его изображение по ГОСТу на схеме? Каким параметром можно описать этот источник?
5. Что такое источник тока (идеальный и реальный) и каково его изображение по ГОСТу на схеме? Каким параметром можно описать этот источник?
6. Что такое напряжение холостого хода и ток короткого замыкания источника?
7. Что понимается под пассивным и активным приёмниками энергии?
8. Какими схемами замещения может быть представлен реальный линейный источник питания?
9. Дайте определение последовательного, параллельного и смешанного соединения приёмников электрической энергии.
10. Назовите признаки, по которым можно определить способ соединения приёмников.
11. Приведите примеры последовательного, параллельного и смешанного соединения приёмников электрической энергии в быту, на производстве и т.д.
12. Запишите расчётные формулы для определения токов, напряжений и мощностей в неразветвлённых и разветвлённых электрических цепях.
13. Какие режимы электрической цепи называют режимом холостого хода, режимом короткого замыкания и согласованным режимом?
14. Как распределяются напряжения и токи между отдельными элементами разветвлённой электрической цепи при последовательном, параллельном и смешанном соединениях?

15. Чему равны эквивалентное сопротивление и проводимость всей разветвлённой электрической цепи при последовательном, параллельном и смешанном соединениях?

Расчётно-лабораторная работа №2  
**Исследование электрической цепи постоянного тока  
с двумя источниками ЭДС**

**Цель работы:** закрепление приёмов расчёта сложных цепей, приобретение навыков экспериментального исследования таких цепей.

**Программа работы:**

1. Расчёт электрической цепи в соответствии с вариантом задания.
2. Сборка изучаемой цепи, измерение токов всех её ветвей и сравнение с расчётными значениями.
3. Расчёт тока в резисторе  $R_5$  методом эквивалентного генератора.
4. Определение параметров эквивалентного генератора с помощью опытов холостого хода и короткого замыкания. Сравнение этих параметров с расчётными значениями.

**Содержание отчета:**

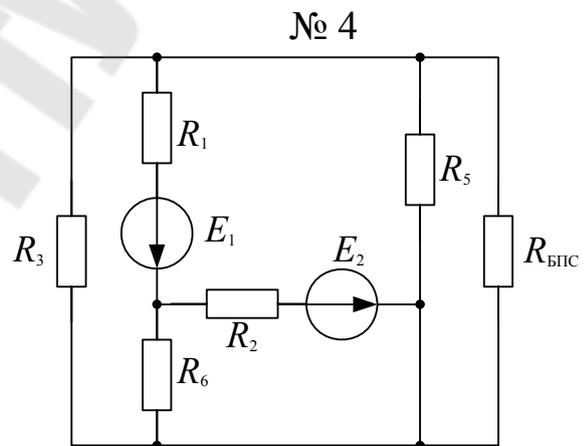
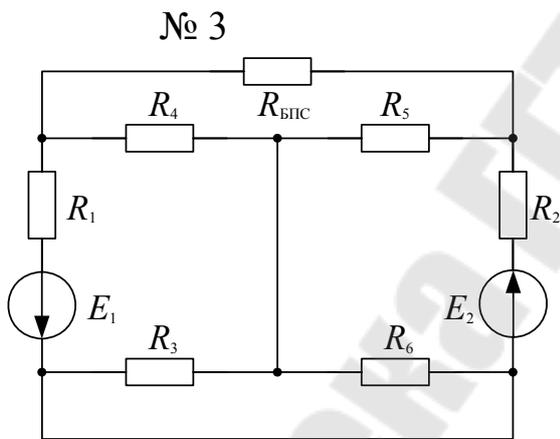
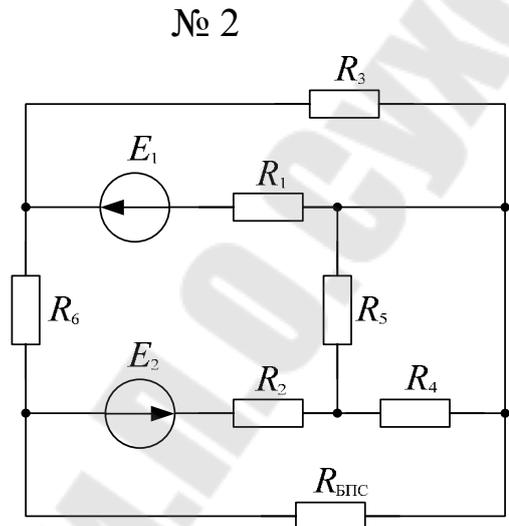
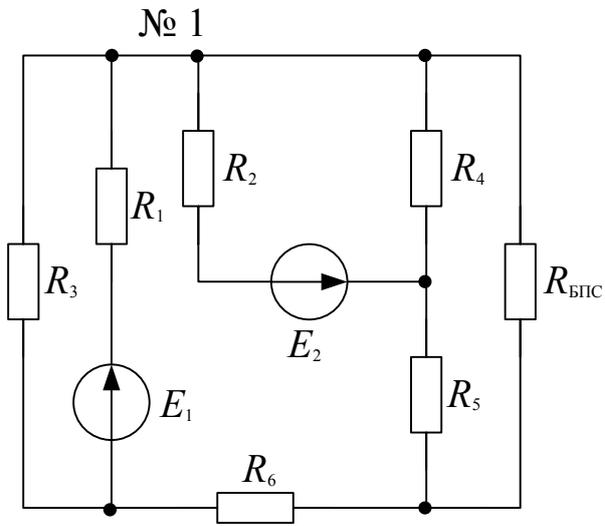
1. Название, цель и программа работы.
2. Схема изучаемой цепи и исходные данные.
3. Расчет токов цепи (с балансом мощностей).
4. Расчёт тока в резисторе  $R_5$  методом эквивалентного генератора.
5. Таблица расчётных и экспериментальных значений токов.
6. Таблица расчётных и экспериментальных значений параметров эквивалентного генератора.

**Порядок выполнения**

1. По рис. 2.1 выбрать цепь для изучения в соответствии с индивидуальным вариантом задания, номер которого был определён при выполнении РЛР № 1. При этом первая цифра определяет метод расчёта изучаемой цепи (см. табл. 2.1). Вторая цифра определяет номер схемы на рис. 2.1.

Таблица 2.1.

Первая цифра варианта	0	1	2
Метод расчёта цепи	контурных токов	узловых потенциалов	наложения



№ 5

№ 6

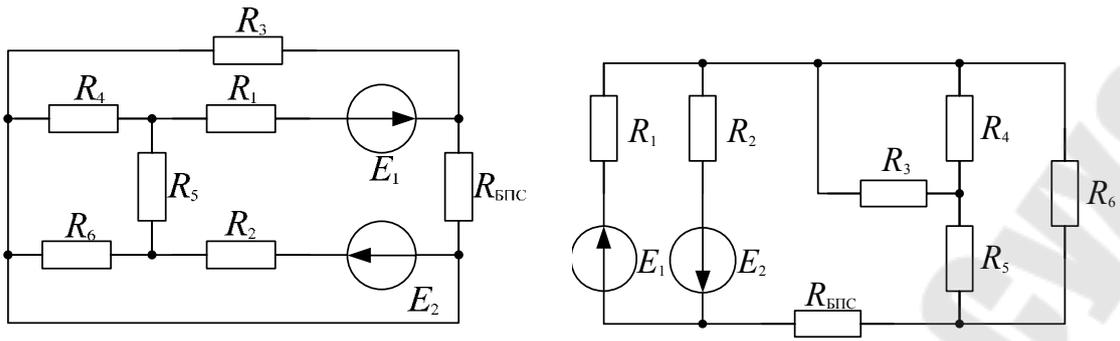
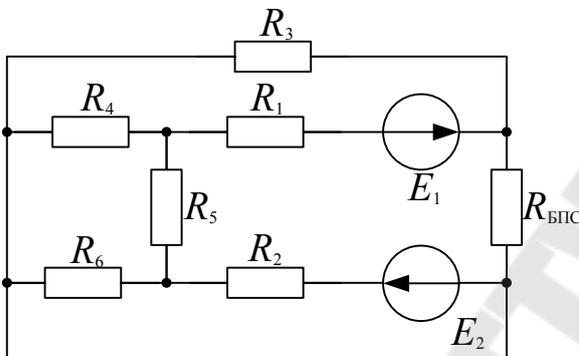
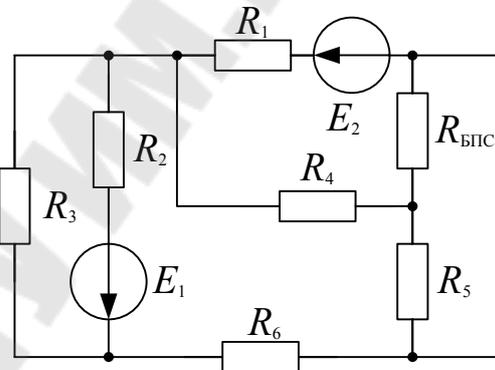


Рис. 2.1.

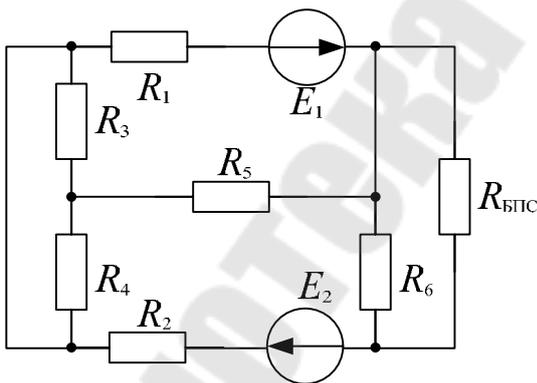
№ 7



№ 8



№ 9



№ 0

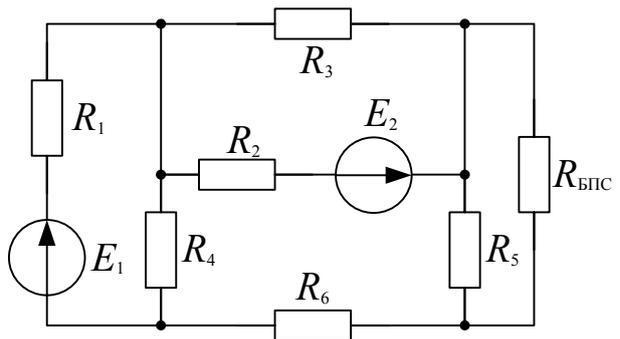


Рис. 2.1 (окончание)

2. Рассчитать токи заданной цепи способом, указанным в табл. 2.1. При расчёте принять, что сопротивления  $R_1 \div R_6$  равны соответст-

венно сопротивлениям элементов 01 – 06, а  $R_{\text{БПС}} = 150 \text{ Ом}$ . Значения  $E_1$  и  $E_2$  взять из таблицы 2.2. Произвести проверку выполненного расчёта, составив для изучаемой цепи уравнения Кирхгофа и баланс мощностей. Результаты расчёта занести в табл. 2.3.

Таблица 2.2

Эдс	Номер рабочего места											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$E_1$ , В	20, 6	20, 5	20, 8	20, 8	18, 3	19, 7	20, 5	20	21	20, 8	20, 9	20, 1
$E_2$ , В	5	6	7	8	9	10	5	6	7	8	9	10

3. Рассчитать ток в сопротивлении  $R_5$  методом эквивалентного генератора.

4. Собрать изучаемую цепь, используя в качестве ЭДС  $E_1$  нерегулируемый источник постоянного напряжения, в качестве ЭДС  $E_2$  – регулируемый источник постоянного напряжения, а в качестве  $R_{\text{БПС}}$  – блок переменных сопротивлений. Измерить токи цепи, результаты занести в табл. 2.3 и сравнить с расчётными значениями.

Таблица 2.3

Ток, А	Рассчитано	Измерено
$I_1$		
$I_2$		
$I_3$		
$I_4$		
$I_5$		
$I_6$		
$I_{\text{БПС}}$		

5. Для ветви с сопротивлением  $R_5$  провести опыт холостого хода (вместо  $R_5$  включить вольтметр) и опыт короткого замыкания (вместо  $R_5$  включить амперметр). Результаты занести в табл. 2.4 и сравнить с расчётными значениями.

Таблица 2.4

	$I_5, \text{ A}$	$U_{xx}, \text{ В}$	$I_{кз}, \text{ A}$	$R_{вн}, \text{ Ом}$
рассчитано				
измерено				

### Контрольные вопросы

1. Сколько уравнений составляют по первому и по второму законам Кирхгофа при расчёте сложной электрической цепи?
2. Какие контуры называют независимыми?
3. Объясните суть метода узловых потенциалов.
4. Какой из узлов расчётной схемы принимают за базовый?
5. В каком случае метод узловых потенциалов предпочтительнее остальных методов расчёта?
6. Что представляют собой контурные токи? Как истинные токи выражаются в ветвях схемы через контурные?
7. В каком случае метод контурных токов предпочтительнее других методов расчёта?
11. Что такое энергетический баланс (баланс мощностей)?

### Расчётно-лабораторная работа №3

#### Исследование цепи однофазного синусоидального тока с одним реактивным элементом

**Цель работы:** приобретение навыков расчёта и экспериментального исследования простейших цепей однофазного синусоидального тока.

#### Программа работы:

1. Определение параметров реактивных элементов.
2. Определение активного, реактивного и полного сопротивления цепи.
3. Построение векторной диаграммы.

#### Содержание отчета:

1. Название, цель и программа работы.
2. Схема изучаемой цепи и векторные диаграммы.

3. Таблицы фактических и номинальных параметров реактивных элементов.

### Порядок выполнения

1. Определить полное сопротивление  $Z$  реактивного элемента **методом амперметра и вольтметра**. Два способа проведения измерений этим методом показаны на рис. 3.1а и 3.1б. При этом для определения  $Z$  достаточно разделить показание вольтметра  $U_V$  на показание амперметра  $I_A$ :

$$Z = \frac{U_V}{I_A}. \quad (3.1)$$

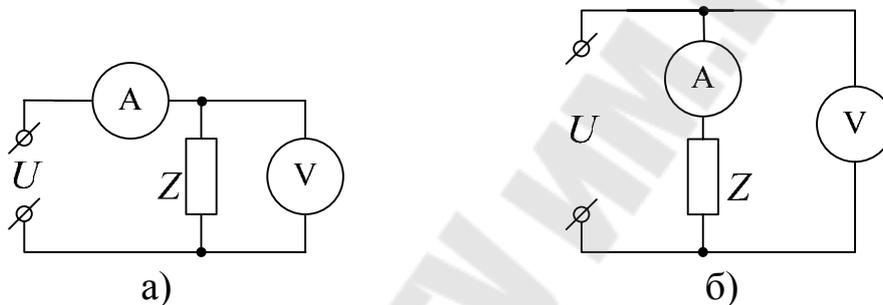


Рис. 3.1.

При измерении индуктивных сопротивлений учитывают, что всякая реальная катушка характеризуется двумя параметрами: индуктивностью  $L$  и активным сопротивлением  $R_k$ . Для их определения проводят два независимых измерения. Вначале подключают катушку к источнику постоянного напряжения (рис. 3.2а.). Измерив напряжение  $U_{V-}$  и силу тока  $I_{A-}$ , определяют активное сопротивление катушки:

$$R_k = \frac{U_{V-}}{I_{A-}}. \quad (3.2)$$

Затем катушку подключают к источнику переменного напряжения и определяют полное сопротивление  $Z_k$  катушки по формуле (3.1). После этого индуктивное сопротивление  $X_L$  и индуктивность  $L$  катушки определяют по формулам

$$X_L = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2}, \quad (3.3)$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f}. \quad (3.4)$$



Рис. 3.2.

2. Если источника постоянного напряжения нет, то параметры индуктивных катушек можно определить **методом трех вольтметров**. При этом используют источник синусоидального напряжения и резистор  $R_0$  с известным сопротивлением, значение которого соизмеримо с полным сопротивлением  $Z_k$  катушки. В цепи, показанной на рис. 3.3, измеряют входное напряжение  $U$ , напряжение  $U_0$  на резисторе с известным сопротивлением  $R_0$  и напряжение  $U_k$  на изучаемой катушке. По напряжению  $U_0$  находят ток в цепи

$$I = \frac{U_0}{R_0}$$

и рассчитывают полные сопротивления катушки ( $Z_k$ ) и всей цепи ( $Z$ ):

$$Z_k = \frac{U_k}{I}, \quad Z = \frac{U}{I}.$$

Поскольку

$$Z_k = \sqrt{R_k^2 + X_L^2}, \quad Z = \sqrt{(R_0 + R_k)^2 + X_L^2},$$

активное и индуктивное сопротивления катушек определяются по формулам

$$R_k = \frac{Z^2 - Z_k^2 - R_0^2}{2R_0}, \quad X_L = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2}. \quad (3.5)$$

После этого индуктивность катушки рассчитывают по формуле (3.4).

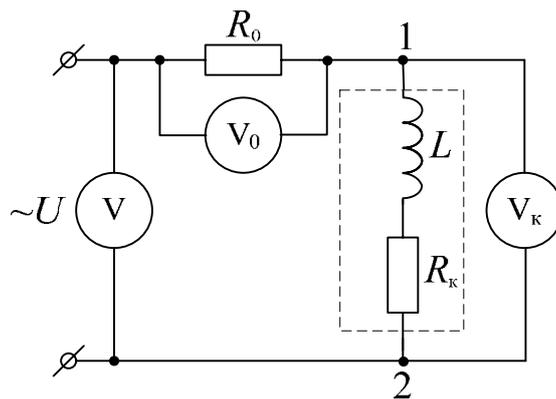


Рис. 3.3.

3. По образцу рисунка 3.1 самостоятельно изобразить схему цепи для измерения емкостного сопротивления методом амперметра и вольтметра и представить для проверки преподавателю. Собрать данную цепь, используя какой-либо из емкостных элементов 16 – 19. Подать на вход этой цепи синусоидальное напряжение 5...7 В частотой  $f = 2...5$  кГц, измерить  $U_V$  и  $I_A$ , после чего рассчитать емкостное сопротивление по формуле

$$X_C = \frac{U_V}{I_A}.$$

Результат занести в таблицу 3.1. По формуле

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C}$$

рассчитать емкость элемента и сравнить ее с номинальным значением.

Таблица 3.1

Емкостный элемент	$U_V$ В	$I_A$ А	$X_C$ Ом	$C, \mu\text{Ф}$	
				расчетное значение	номинальное значение

4. Собрать электрическую цепь по схеме рис. 3.2а, включив между точками 1 и 2 элемент 11. Подать на вход цепи постоянное напряжение, при котором ток в катушке не превышает 100 мА. По показаниям амперметра и вольтметра по формуле (3.5) рассчитать  $R_k$  и занести в

табл. 3.2. Подать на вход той же цепи синусоидальное напряжение  $U_{\sim} = 5...7$  В. На основании показаний амперметра и вольтметра по формулам (3.4) и (3.5) определить индуктивное сопротивление катушки, после чего рассчитать ее индуктивность по формуле (3.4). Результаты занести в табл. 3.2.

5. Собрать цепь рис. 3.3, используя в качестве  $R_0$  элемент 02. На основании измерений напряжений  $U$ ,  $U_0$  и  $U_K$  по формулам (3.4), (3.5) рассчитать  $R_K$ ,  $X_L$  и  $L$ , занести эти значения в табл. 3.2 и сравнить с результатами измерения тех же величин методом амперметра и вольтметра.

11. Прodelать то же, что описано в п. 10, включив в цепь между точками 1 и 2 в схеме рис. 3.3 элемент 12. Результаты занести в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Характеристики катушек индуктивности						
Элемент	Метод амперметра и вольтметра			Метод трех вольтметров		
	$R_K, \Omega$	$X_L, \Omega$	$L, \text{Гн}$	$R_K, \Omega$	$X_L, \Omega$	$L, \text{Гн}$
11						
12						

### Контрольные вопросы

1. Какие напряжения (токи) называют гармоническими?
2. Что называют фазой переменного напряжения (тока)?
3. Нарисуйте кривые переменного тока с начальными фазами  $\psi_i > 0$ ,  $\psi_i < 0$ .
4. Каким образом с помощью осциллографа определяют частоту переменного напряжения?
5. Какими величинами характеризуют синусоидально изменяющуюся функцию?
6. Как связаны между собой мгновенные значения напряжений и токов в сопротивлении, в индуктивности и в емкости?
7. Дайте определение действующего значения переменного тока и чему оно равно для синусоидального тока?
8. В чем сущность метода амперметра и вольтметра для определения параметров электрической цепи?

9. Как определяют параметры реальной катушки, используя источники постоянного и переменного напряжений?
10. Как определяют параметры реальной катушки методом трех вольтметров?
11. Чем отличается реальная катушка от идеальной?
12. Чему равны полное комплексное и модуль полного сопротивления последовательного соединения резистора и реальной индуктивной катушки?
13. Каким образом экспериментально с помощью осциллографа определяют разность фаз между током и напряжением?
14. В каких пределах меняется разность фаз напряжения и тока для неразветвленной  $RL$  - цепи?
15. Что представляют собой треугольники сопротивлений и мощностей для неразветвленной  $RL$  -цепи?
16. Чему равны полное комплексное и модуль полного сопротивления последовательного соединения конденсатора и резистора?

### **Расчётно-лабораторная работа № 4**

#### **Исследование линейной электрической цепи синусоидального тока**

**Цель работы:** овладение приёмами расчёта цепей синусоидального тока в символическом (комплексном) виде и приобретение навыков экспериментального исследования таких цепей.

**Программа работы:**

1. Символический расчёт схемы цепи в соответствии с вариантом задания, составление баланса мощностей.
2. Сборка изучаемой цепи, измерение токов всех её ветвей и сравнение с расчётными значениями.

**Содержание отчета:**

1. Название, цель и программа работы.
2. Схема изучаемой цепи и исходные данные.
3. Расчет токов (с балансом мощностей).
4. Таблица расчётных и экспериментальных значений токов.

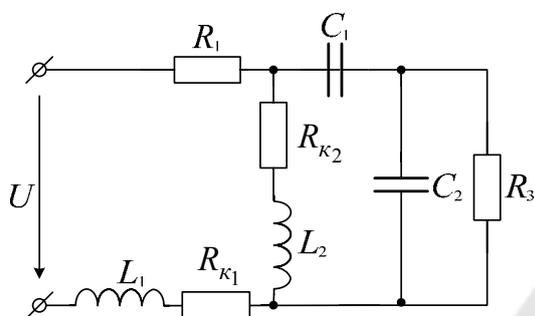
### Порядок выполнения

2. По рис. 4.1 выбрать цепь для изучения в соответствии с индивидуальным вариантом задания. По первой цифре с помощью табл. 4.1 определяет входное напряжение цепи и его частоту. Вторая цифра определяет номер схемы цепи на рис. 4.1 .

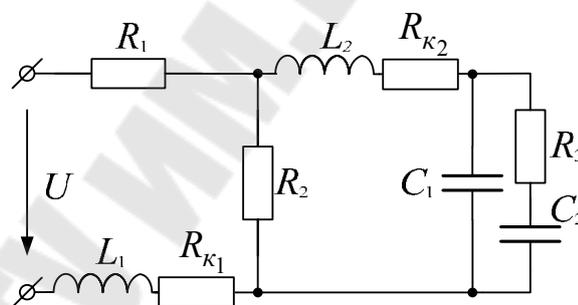
Таблица 4.1

Первая цифра варианта	0	1	2
Входное напряжение цепи, В	18	16	14
Частота, кГц	2.5	4	5

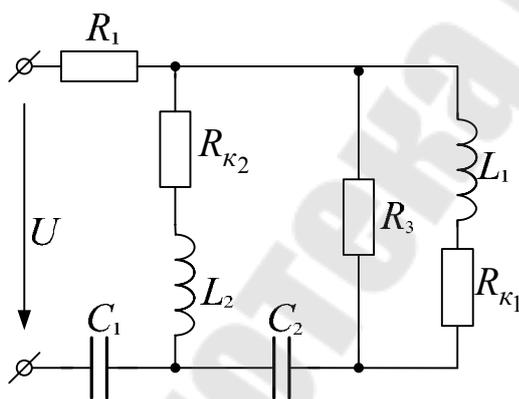
№ 1



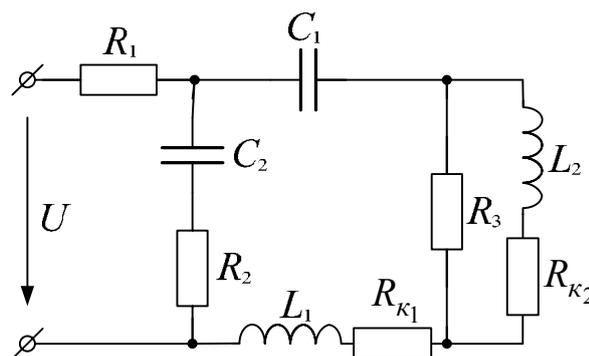
№ 2



№ 3

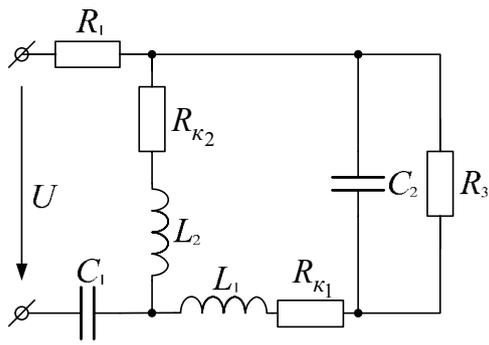


№ 4

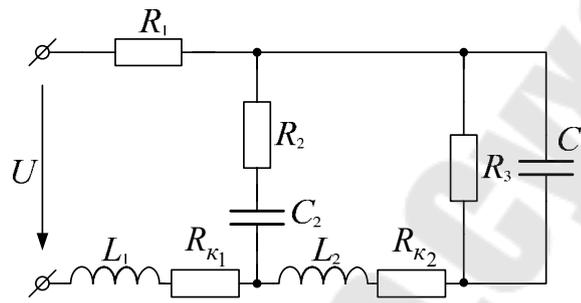


№ 5

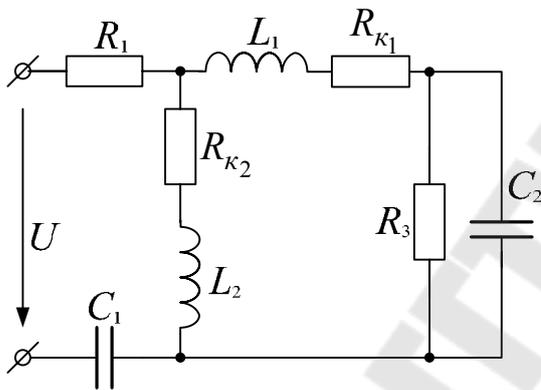
№ 6



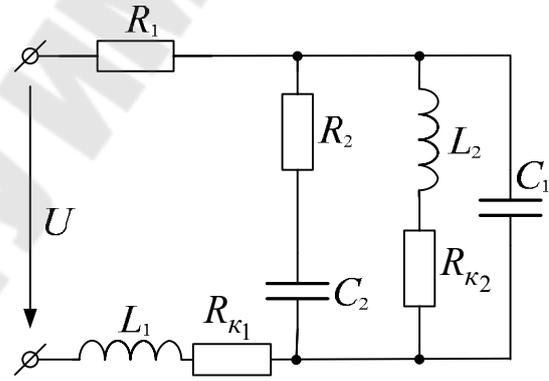
№ 7



№ 8



№ 9



№ 0

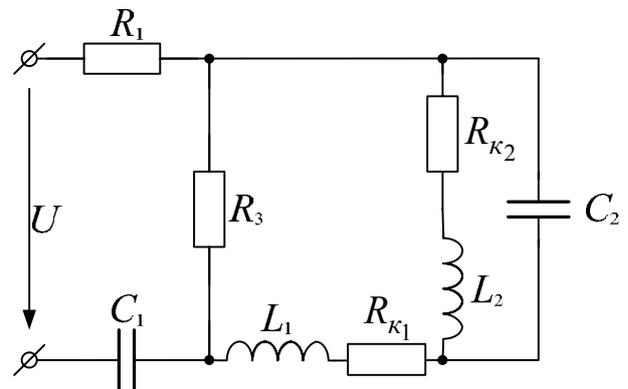
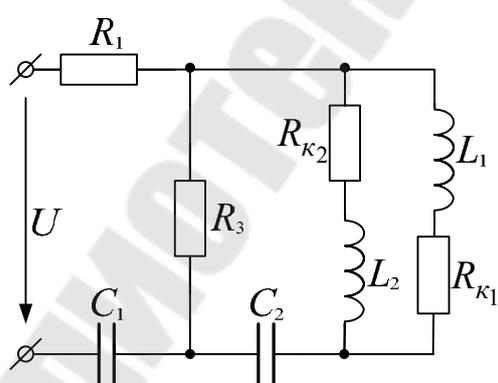


Рис. 4.1

2. Рассчитать токи заданной цепи в комплексном виде, применяя эквивалентные преобразования. При расчёте принять, что сопротивления  $R_1 - R_3$  равны соответственно сопротивлениям элементов 0,1-0,3, емкости  $C_1$  и  $C_2$  соответствуют элементам 16 и 17, а в качестве катушек  $L_1$  и  $L_2$  использовать элементы 11 и 12, характеристики которых были определены в РЛР №3. Результаты расчёта занести в таблицу 4.2 .

3. Собрать изучаемую цепь, измерить токи в ней. Результаты занести в табл. 4.2 и сравнить с расчётными значениями.

Таблица 4.2

Ток, А	Рассчитано	Измерено
$I_1$		
$I_2$		
$I_3$		
$I_4$		
$I_5$		
$I_6$		

### Контрольные вопросы

Контрольные вопросы

1. Чему равны полное комплексное и модуль полного сопротивления последовательного соединения резистора и реальной индуктивной катушки?
2. Чем отличается реальная катушка от идеальной?
3. В каких пределах меняется разность фаз напряжения и тока для неразветвлённой **RL** –цепи?
4. Что представляют собой треугольники сопротивлений и мощностей для неразветвлённой **RL**-цепи?
5. Запишите выражение **АЧХ** для неразветвлённой **RL**-цепи.
6. Запишите выражение **ФЧХ** для неразветвлённой **RL**-цепи.
7. Нарисуйте графики **АЧХ** и **ФЧХ** для неразветвлённой **RL**-цепи.
8. Как определить параметры параллельной схемы замещения, зная параметры последовательной **RL**-цепи?
9. Какие бывают схемы замещения и каковы условия их эквивалентности?
10. Запишите выражение второго закона Кирхгофа для **RL**-цепи в дифференциальной и векторной формах.

11. Постройте векторную диаграмму напряжения и токов для параллельной схемы замещения.
12. Постройте треугольники проводимости, токов и мощностей для параллельной схемы замещения.
13. Какова связь между параметрами эквивалентных схем замещения?
14. Объясните характер зависимостей параметров реактивной катушки, тока и угла сдвига фаз между током и напряжением от индуктивности и частоты.
15. Какая частота называется граничной? Как рассчитать граничную частоту в **RL**-цепи?
16. Каковы значения модуля и аргументы входного сопротивления на граничной частоте?
17. Что такое добротность катушки и как её определить?

## Расчётно-лабораторная работа №5

### Исследование резонансных явлений в цепях однофазного синусоидального тока

**Цель работы:** экспериментальное исследование электрических резонансов в цепях однофазного синусоидального тока

#### Программа работы:

1. Расчёт резонансных режимов в цепи с последовательным соединением  $L$ - и  $C$ -элементов и в цепи с параллельным соединением  $L$ - и  $C$ -элементов.
2. Достижение резонанса напряжений в цепи с последовательным соединением  $L$ - и  $C$ -элементов и резонанса токов в цепи с параллельным соединением  $L$ - и  $C$ -элементов.

#### Содержание отчета:

1. Название, цель и программа работы.
2. Схема изучаемой цепи и исходные данные.
3. Расчет токов цепи (с балансом мощностей).
4. Осциллограммы входного напряжения и тока цепи в резонансном режиме и таблицы с результатами измерений

#### Порядок выполнения

1. Рассчитать условия резонанса напряжений в цепи, показанной на рис. 5.1, и резонанса токов в цепи, показанной на рис. 5.2.

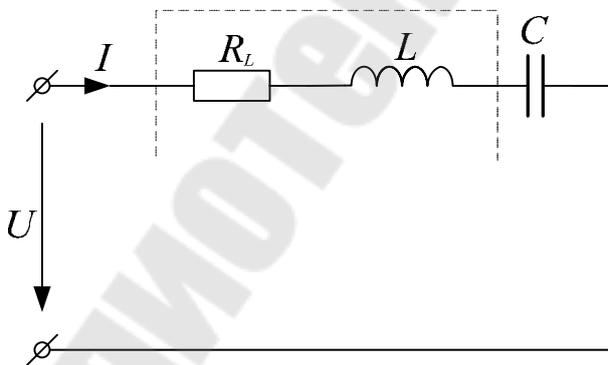


Рис. 5.1

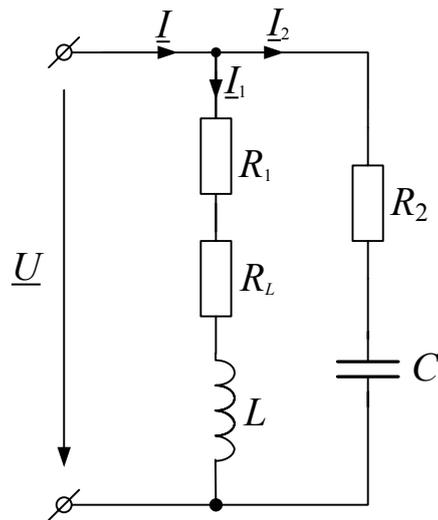


Рис. 5.2

При выполнении расчётов следует, приняв  $L = 0,09$  Гн,  $R_L = 58$  Ом, определить:

- а) резонансную частоту для заданного значения ёмкости  $C$ , произвольно выбранного в пределах  $0.5 \text{ мкФ} \leq C \leq 20 \text{ мкФ}$ ;
- б) резонансную ёмкость цепи для заданной частоты  $f$  её входного напряжения, произвольно выбранной в пределах  $1 \text{ кГц} \leq f \leq 5 \text{ кГц}$ . При этом, выполняя расчет для цепи рис. 5.2, следует принять  $R_2$  равным сопротивлению одного из элементов 01 ÷ 06, а  $R_1$  подобрать в соответствии с требованием

$$R_1 - R_L = R_2.$$

Результаты расчёта занести в таблицу 5.1.

2. Собрать цепь по схеме рис. 5.3 и произвести измерения, заполнив таблицу 5.1. Построить осциллограммы входного напряжения и тока цепи при  $f = 0.5 f_{\text{рез}}$ ,  $f = f_{\text{рез}}$  и при  $f = 1.5 f_{\text{рез}}$ .

Таблица 5.1

	Резонанс напряжений		Резонанс токов		
Задано	$C = \dots \text{ мкФ}$	$f = \dots \text{ кГц}$	$R_2 = \dots \text{ Ом}$	$C = \dots \text{ мкФ}$	$f = \dots \text{ кГц}$
Рассчитано	$f_{\text{рез}} = \dots \text{ кГц}$	$C_{\text{рез}} = \dots \text{ мкФ}$	$R_1 = \dots \text{ Ом}$	$f_{\text{рез}} = \dots \text{ кГц}$	$C_{\text{рез}} = \dots \text{ мкФ}$
Измерено	$f_{\text{рез}} = \dots \text{ кГц}$	$C_{\text{рез}} = \dots \text{ мкФ}$	$f_{\text{рез}} = \dots \text{ кГц}$	$C_{\text{рез}} = \dots \text{ мкФ}$	

3. Собрать цепь по схеме рис. 5.4. Произвести измерения, заполнив таблицу 5.1, и построить осциллограммы входного напряжения и тока цепи при  $f = 0.5 f_{\text{рез}}$ ,  $f = f_{\text{рез}}$  и при  $f = 1.5 f_{\text{рез}}$ .

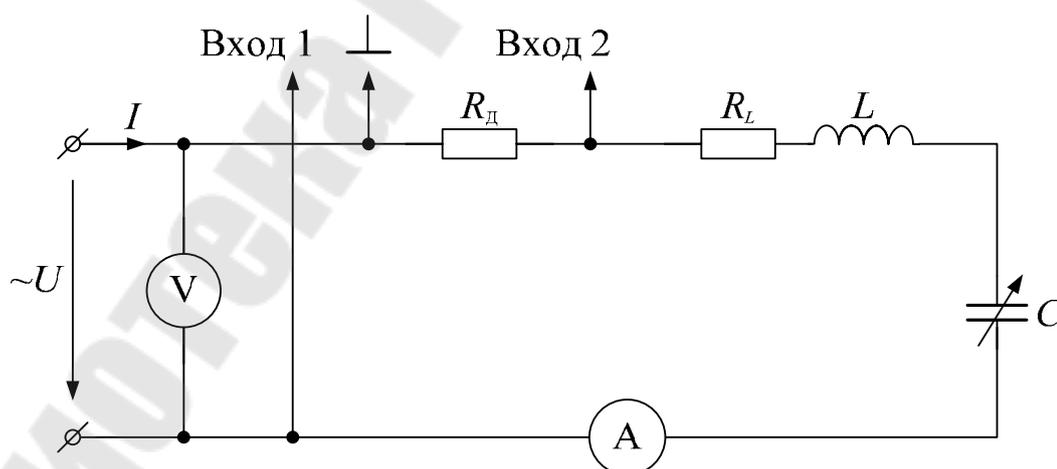


Рис. 5.3.

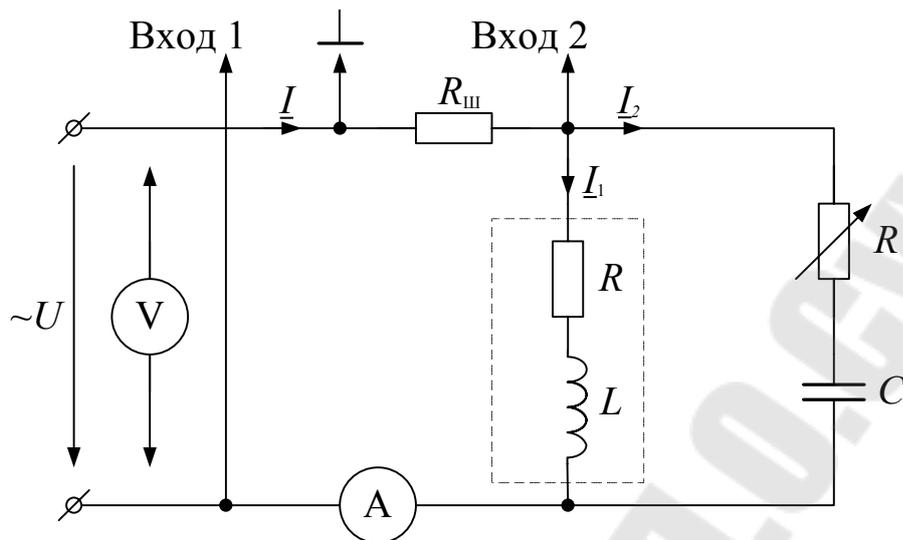


Рис. 5.4

### Контрольные вопросы

#### Контрольные вопросы

1. Объясните, почему в **RLC**- цепи на резонансной частоте входное сопротивление цепи чисто активное?
2. От чего зависит резонансная частота в последовательной **RLC**- цепи?
3. Каковы условия возникновения резонанса напряжений?
4. Изменением каких параметров можно получить резонанс напряжений и как его достигают в данной работе?
5. С помощью каких приборов и по каким признакам можно судить о наступлении резонанса напряжений?
6. Что показывает добротность контура и как её рассчитать по экспериментальным данным?
7. Как рассчитать действующее значение тока в последовательной **RLC**-цепи при известных её параметрах и напряжении источника?
8. От каких величин зависит значение угла сдвига фаз между напряжением и током в **RLC**- цепи?
9. Как рассчитать активную, реактивную и полную мощности последовательной **RLC**- цепи?
10. От чего зависит резонансная частота в параллельном колебательном контуре?
11. Каковы условия возникновения резонанса токов? Изменением каких параметров можно получить резонанс токов?

12. Опасен или нет резонанс токов для электрической цепи? Какое вы знаете практическое использование явления резонанса токов?

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

Расчётно-лабораторная работа № 6  
**Определение взаимной индуктивности  
 индуктивно-связанных катушек**

**Цель работы:** приобретение навыков измерения взаимной индуктивности магнитно-связанных катушек.

**Программа работы:**

Определение взаимной индуктивности и собственных параметров индуктивно-связанных катушек.

**Содержание отчета:**

1. Название, цель и программа работы.
2. Схемы исследуемых цепей.
3. Таблицы экспериментально определенных параметров индуктивно-связанных катушек.

**Порядок выполнения**

1. Определить активное сопротивление и индуктивность каждой из катушек по методике, изложенной в РЛР № 3. Результаты измерений и расчётов на их основе занести в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Катушка	Цепь постоянного тока			Цепь синусоидального тока					
	$U, В$	$I, А$	$R_k, Ом$	$f, кГц$	$U, В$	$I, А$	$Z, Ом$	$X, Ом$	$L, Гн$
I									
II									

2. Собрать цепь по схеме рис. 6.1.

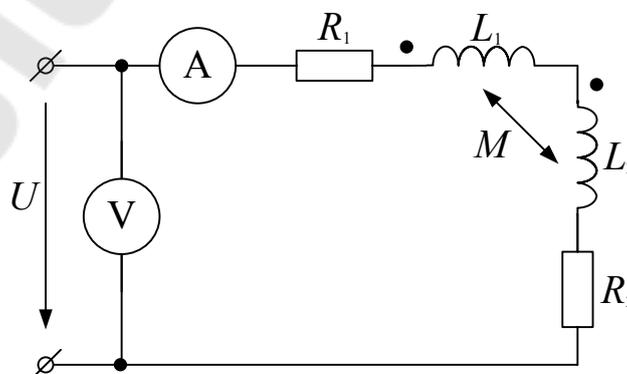


Рис. 6.1

3. Произвести измерения, заполнив таблицу 6.2. Взаимоиндукцию  $M$  и коэффициент магнитной связи  $k$  вычислить по формулам

$$M = \frac{|Z_{\text{согл.}} - Z_{\text{встр.}}|}{4\omega} = \frac{L_{\text{согл.}} - L_{\text{встр.}}}{4},$$

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}.$$

Таблица 6.2

Включение катушек:	$U$	$I$	$f$	$Z$	$X$	$M$	$k$
	В	А	Гц	Ом	Ом	Гн	—
согласное							
встречное							

3. Собрать электрическую цепь по схеме рис. 6.2 .

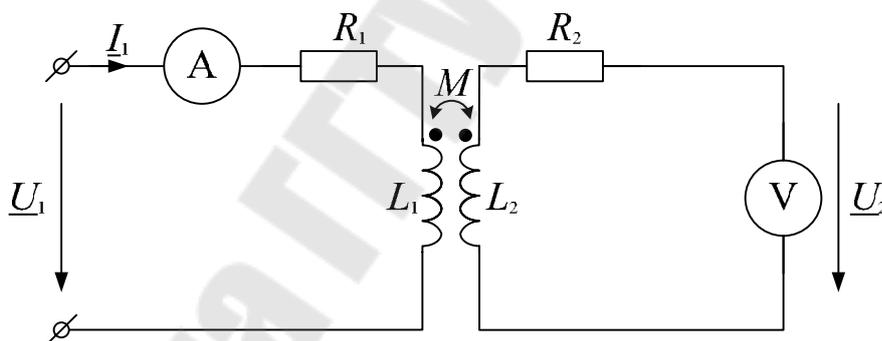


Рис. 6.2.

4. Произвести измерения, заполнив таблицу 6.3. При этом величину  $M$  вычислить по формуле

$$M = \frac{U_2}{\omega I_1}.$$

Таблица 6.3.

$U_2$	$I_2$	$f$	$M$
В	А	Гц	Гн

### Контрольные вопросы

1. Что понимают под взаимной индуктивностью двух катушек?
2. Какое соединение катушек называют согласным и какое – встречным?
3. Как экспериментально определить взаимную индуктивность ?
4. Объясните метод определения взаимной индуктивности при последовательном соединении катушек.
5. Расскажите о резонансном методе определения взаимной индуктивности.
6. Объясните способ определения взаимной индуктивности с помощью трансформаторной схемы.
7. Как определить коэффициент связи катушек?
8. Каковы особенности расчета входного сопротивления цепи при наличии взаимных индуктивностей?

### **Расчётно-лабораторная работа №7**

#### **Исследование трёхфазной цепи с несимметричной нагрузкой: соединение нагрузки треугольником**

**Цель работы:** исследование свойств и особенностей работы трехфазных цепей в схеме  $\Lambda - \Delta$ , приобретение навыков анализа таких цепей.

#### **Программа работы:**

1. Расчёт трёхфазной цепи  $\Lambda - \Delta$  в соответствии с вариантом задания.
2. Измерение фазных и линейных токов изучаемой цепи.

#### **Содержание отчета:**

1. Название, цель и программа работы.
2. Схема изучаемой цепи и исходные данные.
3. Расчет токов цепи (с балансом мощностей).
4. Таблица расчетных и экспериментальных значений токов.
5. Векторная диаграмма токов и напряжений.

## Порядок выполнения

1. Рассчитать фазные и линейные токи в цепи, показанной на рис. 7.1, и занести результаты расчёта в табл. 7.2. Номер варианта задания определяется номером рабочего места. Содержание задания приведено в таблице 7.1.
2. Измерить токи в исследуемых цепях. Результаты измерений занести в табл. 7.2 и сравнить с расчётными значениями.

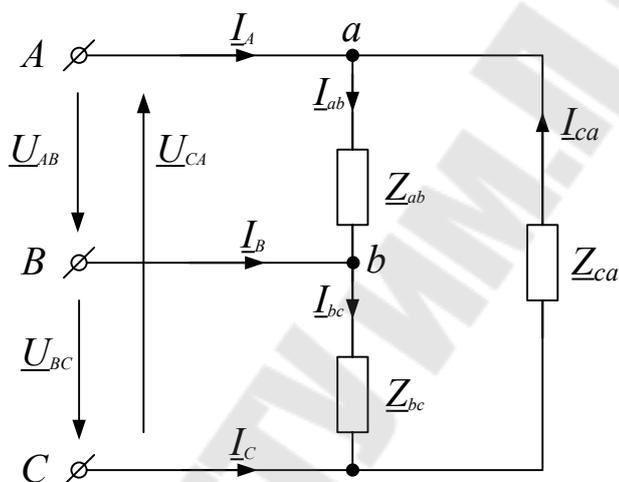


Рис. 7.1.

Таблица 7.1.

Вариант	E <sub>φ</sub> В	Элементы в фазах			Обрыв фазы	Обрыв линейного провода
		ab	bc	ca		
1	27	R <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	L <sub>1</sub>	ab	Aa
2	23	C <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	L <sub>1</sub>	ca	Bb
3	25	R <sub>1</sub>	L <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	bc	Cc
4	15	R <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	bc	Cc
5	11	C <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	ab	Aa
6	20	C <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	ca	Cc
7	12	L <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	bc	Bb
8	18	L <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	ab	Bb
9	16	C <sub>1</sub>	L <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	bc	Aa

10	19	$C_1$	$C_1$	$L_1$	ab	Cc
11	10	$R_1$	$R_1$	$L_1$	bc	Bb
12	21	$C_1$	$L_1$	$R_1$	ca	Cc
13	20	$R_1$	$C_1$	$R_1$	ab	Bb

Таблица 7.2.

№ п/ п	Токи:		Фазные			Линейные		
	Приёмник (аномальные режимы)		$I_{ab}$	$I_{bc}$	$I_{ca}$	$I_A$	$I_B$	$I_C$
			A	A	A	A	A	A
1	Несимметр. $Z_{ab} \neq Z_{bc} \neq Z_{ca}$	Расчёт						
		Эксп.						
2	Обрыв фазы	Расчёт						
		Эксп.						
3	Обрыв провода	Расчёт						
		Эксп.						
Линейные напряжения			$U_{AB} = \dots B, U_{BC} = \dots B, U_{CA} = \dots B$					

### Контрольные вопросы

1. Дайте определение симметричных и несимметричных приемников.
2. Какую нагрузку называют однородной, а какую – равномерной?
3. Каково соотношение между фазными и линейными напряжениями при соединении нагрузки треугольником?
4. Как рассчитать фазные токи нагрузки, соединенной в треугольник?
5. Каковы соотношения между линейными и фазными токами приемника, соединенного треугольником?

### Расчётно-лабораторная работа №8

#### Исследование трёхфазной цепи с несимметричной нагрузкой: соединение нагрузки звездой

**Цель работы:** исследование свойств и особенностей работы трехфазных цепей в схеме  $\Delta - \Delta$ ; приобретение навыков анализа таких цепей.

#### Программа работы:

1. Расчёт трёхфазной цепи  $\Delta - \Delta$  в соответствии с вариантом задания.
2. Измерение фазных и линейных токов изучаемой цепи.

#### Содержание отчета:

1. Название, цель и программа работы.
2. Схема изучаемой цепи и исходные данные.
3. Расчет токов цепи.
4. Таблица расчетных и экспериментальных значений токов.

5. Векторная диаграмма токов и напряжений.

**Порядок выполнения**

1. В соответствии с вариантом задания рассчитать токи в схемах цепей, показанных на рис. 8.1 и 8.2. Содержание задания см. в таблице 8.1. Результаты расчёта занести в таблицу 8.2.

Таблица 8.1.

Вариант	Источник	Приёмник							
		Фазы			R Ом	Катушка		Обрыв фазы	Короткое замык. фазы
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>		$R_K$ Ом	$L_K$ Гн		
1	32	$R_K L_K$	<i>R</i>	<i>R</i>				<i>b</i>	<i>c</i>
2	18	<i>R</i>	<i>R</i>	$R_K L_K$				<i>a</i>	<i>b</i>
3	30	<i>C</i>	$R_K L_K$	<i>C</i>				<i>c</i>	<i>a</i>
4	12	$R_K L_K$	<i>C</i>	<i>R</i>				<i>c</i>	<i>b</i>
5	10	<i>R</i>	<i>C</i>	<i>R</i>				<i>a</i>	<i>c</i>
6	17	<i>R</i>	$R_K L_K$	<i>C</i>				<i>a</i>	<i>a</i>
7	9	<i>R</i>	<i>R</i>	<i>C</i>				<i>b</i>	<i>a</i>
8	10	$R_K L_K$	<i>R</i>	<i>C</i>				<i>c</i>	<i>b</i>
9	16	<i>R</i>	<i>C</i>	$R_K L_K$				<i>a</i>	<i>a</i>
10	36	<i>C</i>	$R_K L_K$	<i>R</i>				<i>b</i>	<i>c</i>
11	8	<i>C</i>	<i>R</i>	<i>R</i>				<i>c</i>	<i>a</i>
12	20	<i>C</i>	<i>R</i>	$R_K L_K$				<i>b</i>	<i>b</i>
13	34	<i>R</i>	$R_K L_K$	<i>R</i>				<i>c</i>	<i>c</i>

Таблица 8.2.

№ п/п	Приемник	Нейтральный провод	Токи				Напряжения				
			$I_A$	$I_B$	$I_C$	$I_N$	$U_a$	$U_b$	$U_c$	$U_n$	
			А	А	А	А	В	В	В	В	
1	Несимметричный	Вкл.	Расчет								
			Эксп.								
		Откл.	Расчет								
			Эксп.								
2	Обрыв фазы	Расчет									

		Эксп.										
		Расчет	Откл.									
		Эксп.										
3	Короткое замыкание фазы	Расчет	Откл.									
		Эксп.										

2. Измерить токи в исследуемых цепях. Результаты измерений занести в табл. 8.2 и сравнить с расчётными значениями.

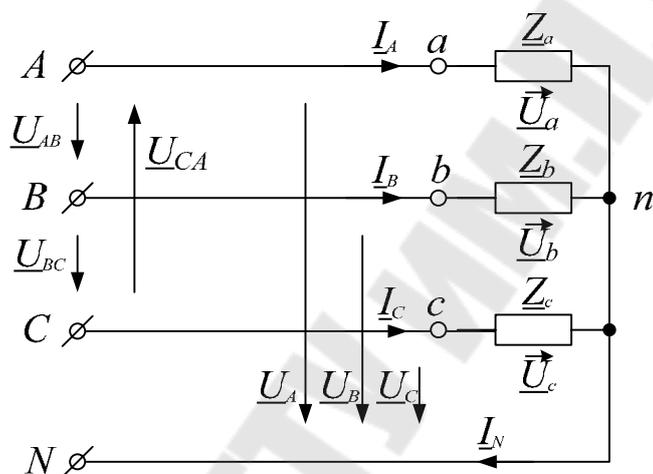


Рис 8.1.

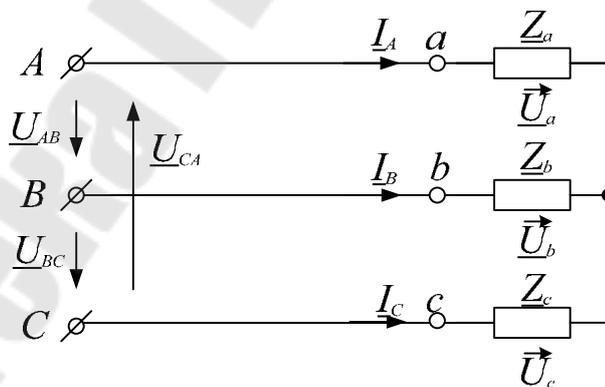


Рис 8.2.

### Контрольные вопросы

1. Как рассчитать фазные токи нагрузки в четырехпроводной системе?
3. Объясните назначение нейтрального провода.

4. Постройте совмещенную векторную диаграмму токов и напряжений при симметричной нагрузке, соединенной звездой с нейтральным проводом.
5. Постройте совмещенную векторную диаграмму токов и напряжений при несимметричной нагрузке, соединенной звездой с нейтральным проводом.
6. Постройте совмещенную векторную диаграмму токов и напряжений при несимметричной нагрузке, соединенной звездой без нейтрального провода.
7. Запишите формулу, определяющую напряжение смещения нейтрали.
8. Как определяются фазные напряжения приемника, фазы которого соединены звездой без нейтрального провода?
9. Запишите формулу, определяющую напряжение смещения в схеме, учитывающей сопротивления линии передач и сопротивление нейтрального провода.

## Расчётно-лабораторная работа № 9

### Переходные процессы в линейных цепях первого порядка

**Цель работы:** приобретение навыков расчёта и экспериментального определения характеристик переходных процессов в RC и RL – цепях.

#### Программа работы:

1. Расчёт переходных процессов в RC – и RL – цепях в соответствии с заданием своего варианта.
2. Сборка изучаемых цепей, экспериментальное определение характеристик переходных процессов в этих цепях и сравнение с соответствующими расчётными значениями.

#### Содержание отчёта

1. Название, цель и программа работы.
2. Схема изучаемой цепи и исходные данные.
3. Расчет переходных процессов.
4. Таблицы расчётных и экспериментальных характеристик изучаемых переходных процессов.
5. Временные развёртки (осциллограммы) изучаемых переходных характеристик, построенные на основании выполненного расчёта.

#### Порядок выполнения

1. По рис. 9.1 и 9.2 выбрать цепи для изучения в соответствии с индивидуальным вариантом задания. По первой цифре варианта с помощью таблицы 9.1 определяют входное напряжение цепи. Вторая цифра определяет номер схемы цепи на рис. 9.1 и 9.2. При этом вид коммутаций в цепях определяет преподаватель.
2. Рассчитать переходные процессы в заданных цепях, получив зависимости  $u_C(t)$ ,  $i_C(t)$  и  $i_L(t)$ ,  $u_L(t)$ . Определить характеристики переходных процессов и занести их в таблицу 9.2.
3. Собрать изучаемые цепи, определить по осциллограммам характеристики переходных процессов и занести их в таблицу 9.2. Сравнить результаты опыта с расчётными значениями.

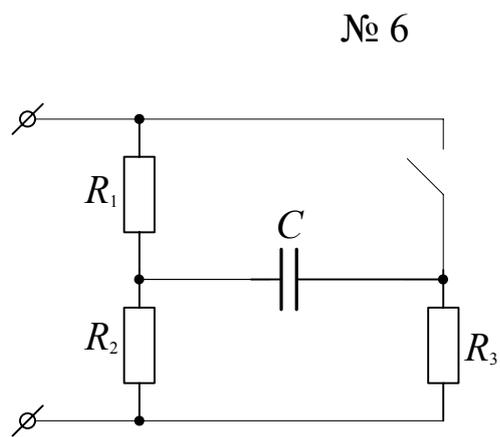
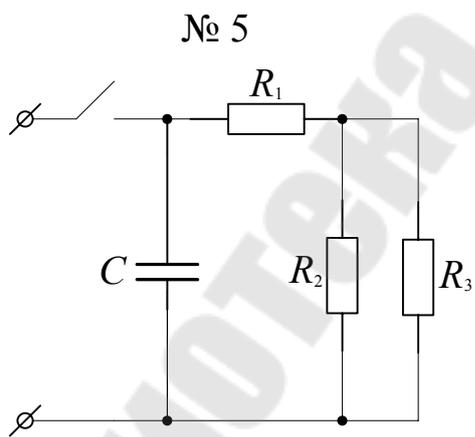
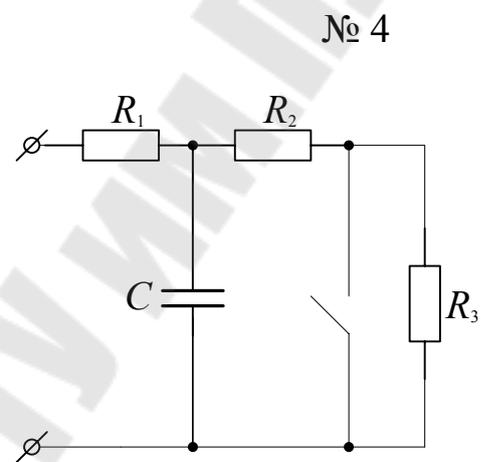
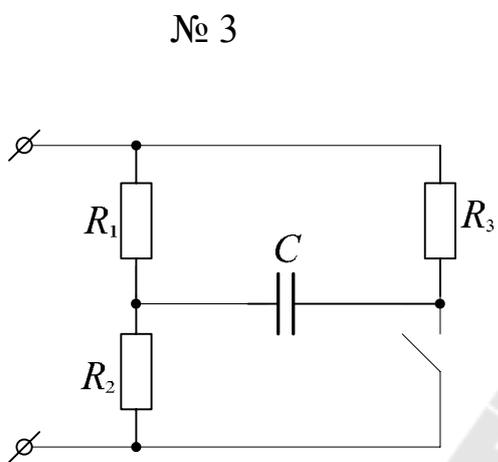
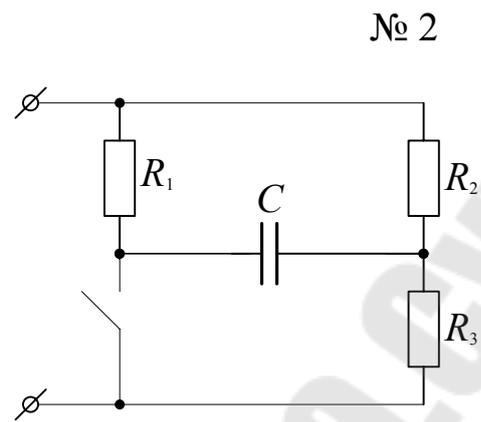
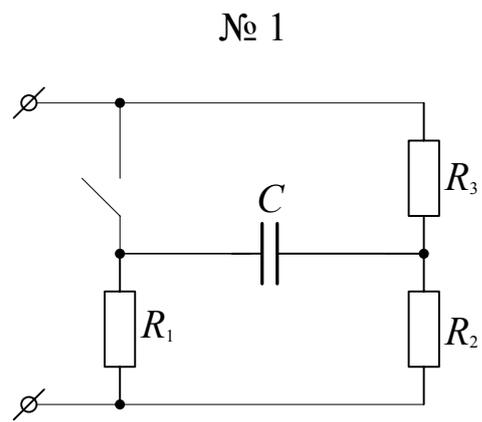


Рис. 9.1.

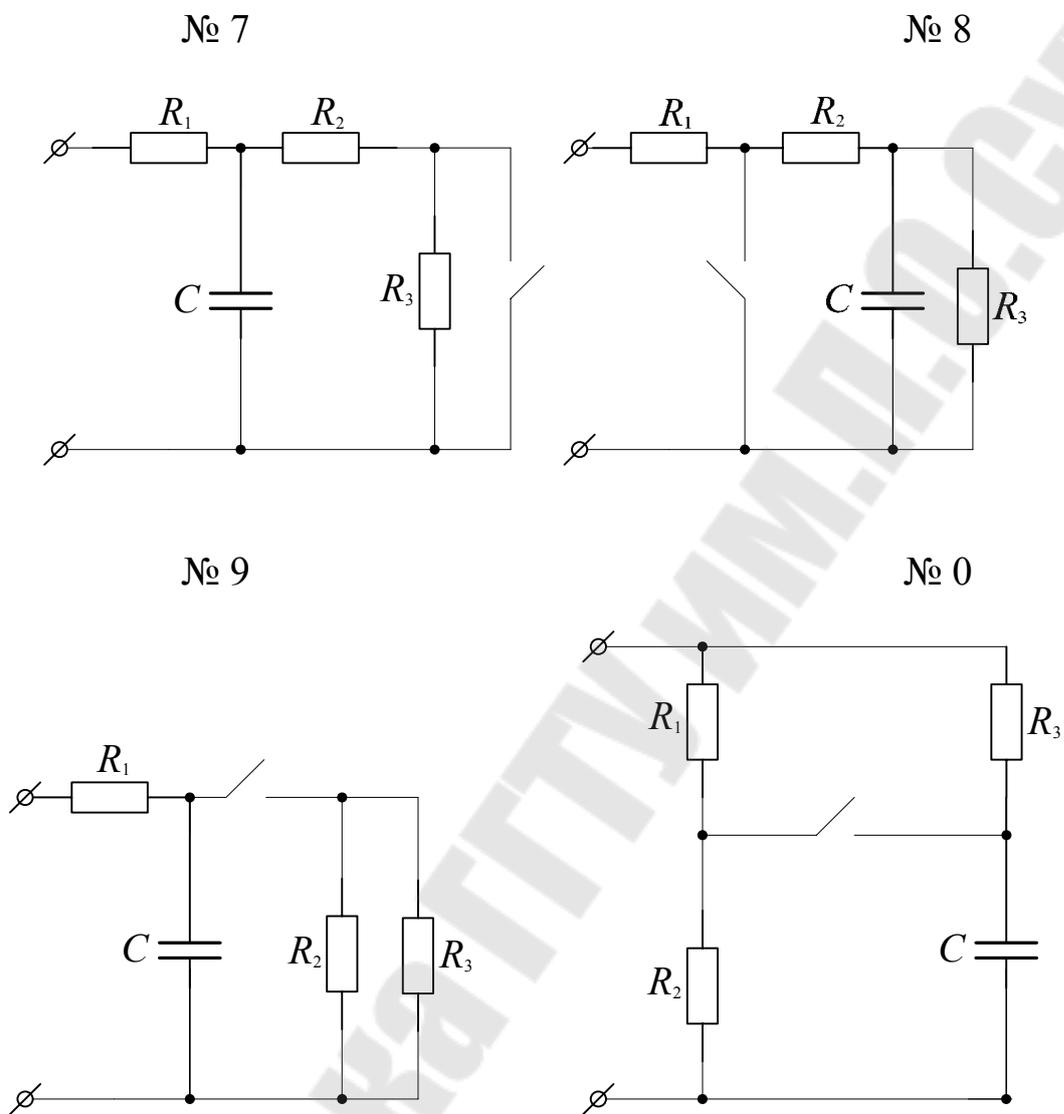


Рис. 9.1 (окончание).

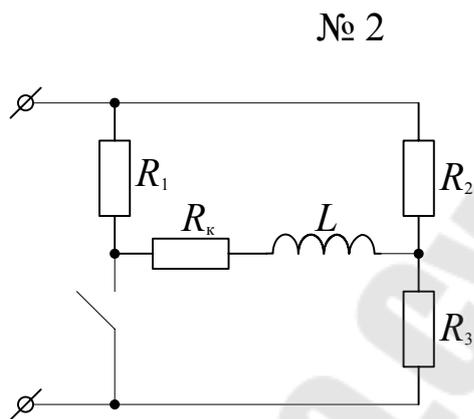
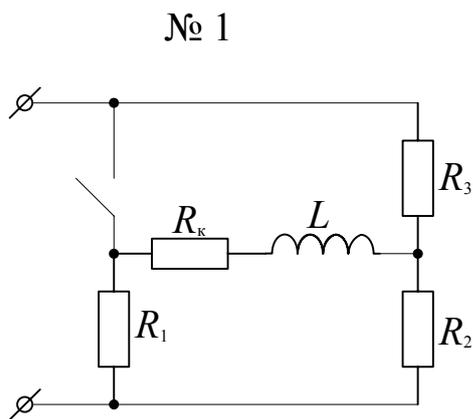
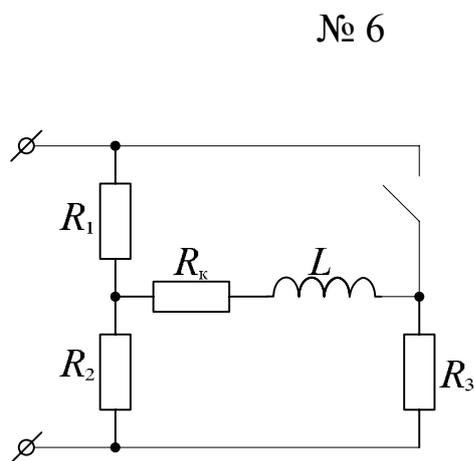
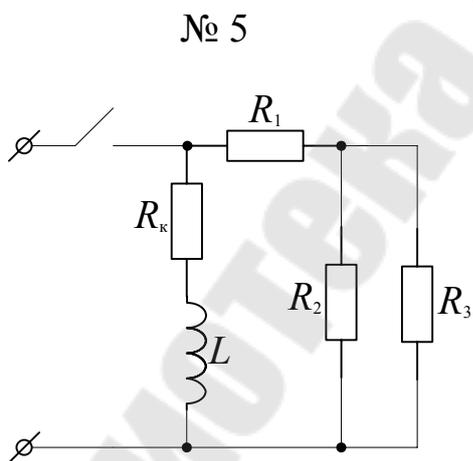
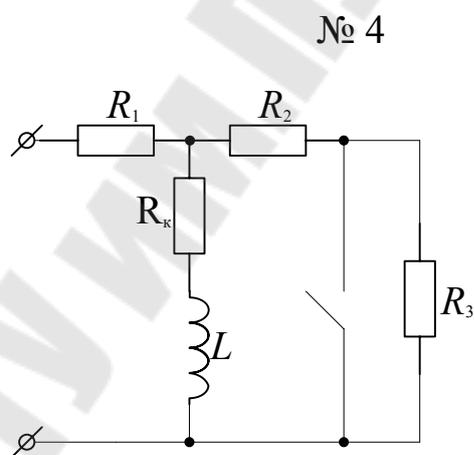
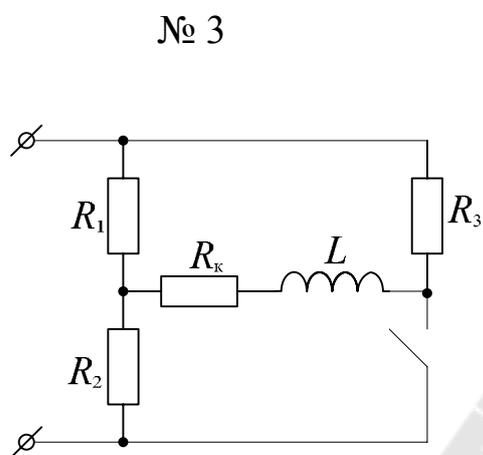
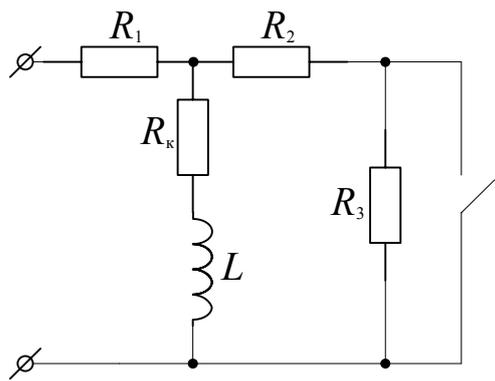


Рис. 9.2.

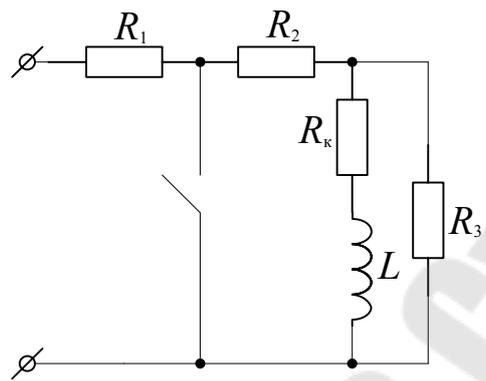


№ 7

№ 8



№ 9



№ 0

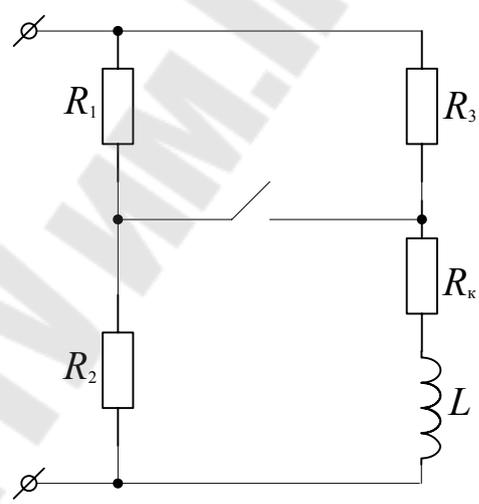
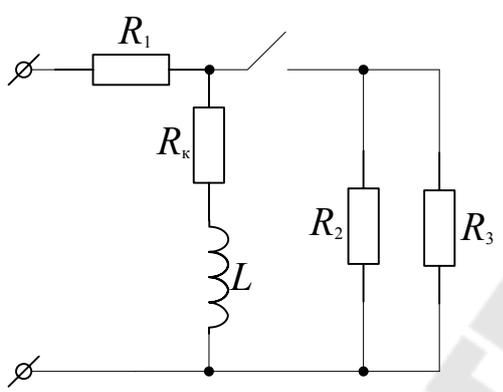


Рис. 9.2 (окончание).

### Контрольные вопросы

1. Дайте определение переходного процесса.
2. Что понимают под установившимися (принужденными) и свободными токами и напряжениями?
3. Сформулируйте первый закон коммутации.
4. Дайте определение зависимым и независимым начальным условиям.
5. Какие вы знаете способы составления характеристического уравнения?
6. Чем определяется число корней характеристического уравнения?

7. Изложите сущность классического метода расчета переходных процессов.
8. Как определяется постоянная интегрирования?
9. Поясните понятия время  $t = -0$ ,  $t = +0$  и  $t = \infty$ .
10. Каков физический смысл постоянной времени цепи  $\tau$ ?
11. Как практически оценивается время переходного процесса в цепи?
12. Сформулируйте второй закон коммутации.
13. Какие электрические величины в конденсаторе могут изменяться скачком, а какие не могут? Почему?
14. Изложите сущность операторного метода расчета переходных процессов.
15. Какова последовательность расчета переходных процессов операторным методом?
16. Как составляют операторные уравнения состояния цепи?
17. Как составить эквивалентную операторную схему цепи при наличии начальных условий?

### **Расчетно-лабораторная работа № 10**

#### **Анализ нелинейной электрической цепи постоянного тока**

**Цель работы:** Приобретение навыков графоаналитического расчёта нелинейных электрических цепей постоянного тока и экспериментального определения их характеристик.

#### **Программа работы**

1. Снять вольтамперные характеристики (ВАХ) нелинейных элементов (НЭ): лампы накаливания и специального НЭ.
2. Рассчитать графоаналитическим методом нелинейную электрическую цепь в соответствии с заданием.
3. Собрать заданную электрическую цепь, измерить напряжения и токи НЭ и сравнить их с расчетными значениями.

#### **Порядок выполнения**

1. Снять ВАХ лампы накаливания (элемент 20) при произвольной полярности приложенного напряжения. Несимметричную ВАХ специального НЭ2 (элемент 23) следует снимать при полярности, указанной преподавателем. Напряжение, подаваемое на НЭ, необходимо изме-

нять в диапазоне от 0 до 12 В, производя при этом 10...12 измерений напряжения и тока. Результаты измерений занесите в табл. 10.1.

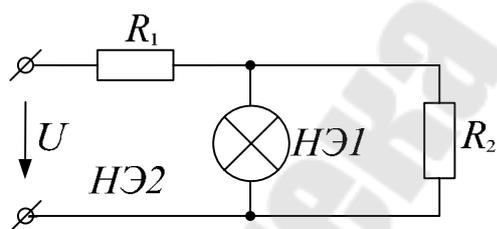
2. В соответствии с вариантом задания (см. рис. 10.1) рассчитайте графическим методом режим работы (напряжение и ток) каждого НЭ. Результаты расчёта занесите в табл. 10.2.

3. Измерьте напряжение и ток каждого НЭ. Результаты измерения занесите в табл. 10.2 и сравните с расчётными значениями.

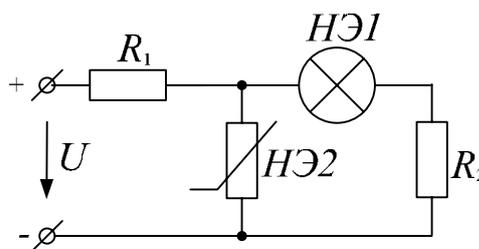
Таблица 10.1

№ п/п	Лампа накаливания		Специальный НЭ	
	$U$	$I$	$U$	$I$
	В	А	В	А
1				
2				
·				
·				
·				
12				

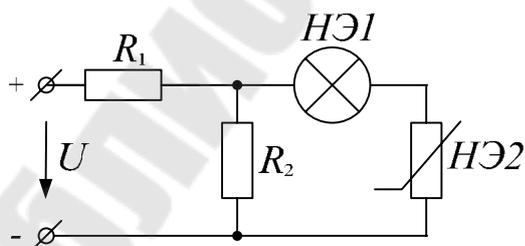
№ 1



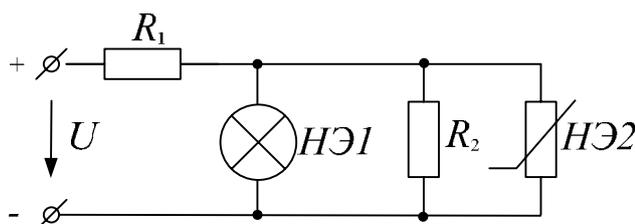
№ 2



№ 3



№ 4



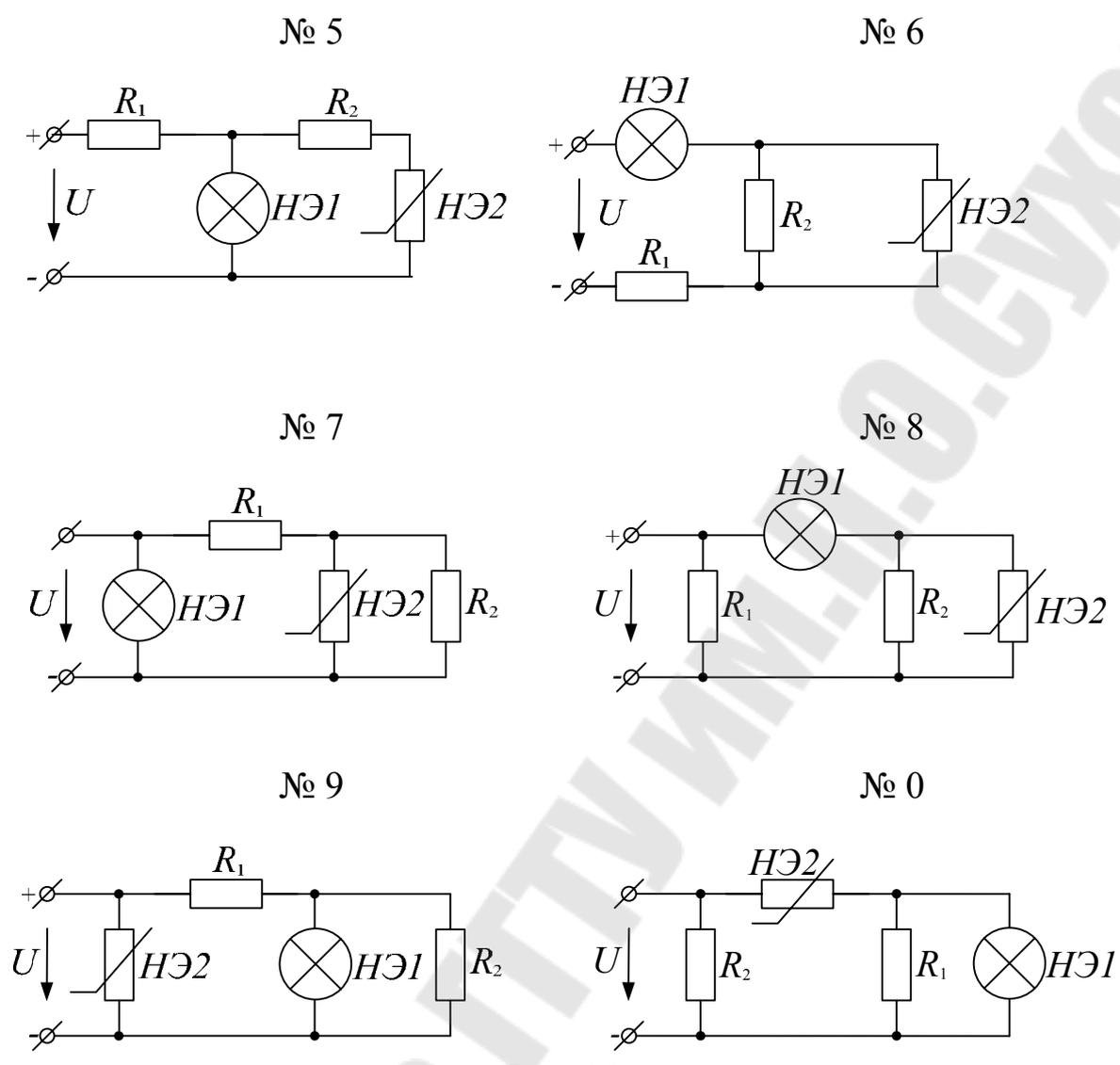


Рис. 10.

Таблица 10.2

Данные	Лампа накаливания		Специальный НЭ	
	U	I	U	I
	В	А	В	А
Расчёта				
Эксперимента				

3. Соберите исследуемую электрическую цепь на лабораторном стенде, проведите измерения токов и напряжений на НЭ, занесите их в табл. 10.2 и сравните с расчётными данными. Оцените погрешности расчёта и эксперимента.

### Контрольные вопросы

1. Дайте определение нелинейного резистора и нелинейной электрической цепи.
2. Как определить статическое сопротивление НЭ?
3. Как определить дифференциальное сопротивление НЭ?
4. Каким образом производится расчет последовательно соединенных НЭ?
5. Каким образом производится расчет параллельно соединенных НЭ?
6. Изложите методику расчета параллельно-последовательных НЭ.

### Расчётно-лабораторная работа № 11 Определение параметров схемы замещения индуктивной катушки с ферромагнитным сердечником

**Цель работы:** приобретение навыков экспериментального определения параметров схемы замещения индуктивной катушки с ферромагнитным сердечником.

#### Программа работы

1. Снятие вольтамперной характеристики нелинейной катушки (элемент 26 либо элемент 27).
2. Расчёт параметров схемы замещения нелинейной катушки.

#### Содержание отчёта

1. Вольт-амперная характеристика нелинейной катушки.
2. Схема замещения исследованной катушки и расчёт её параметров.

#### Порядок выполнения

1. По указанию преподавателя выберите нелинейную катушку (элемент 26 либо 27) и рабочую частоту  $f$  в диапазоне 200 ... 500 Гц.
2. Соберите цепь по схеме рис. 11.1 и получите вольт-амперную характеристику катушки  $U(I)$ .

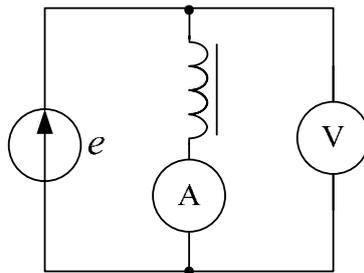


Рис. 11.1.

3. Заменяв в цепи рис. 11.1 источник переменного напряжения источником постоянного напряжения, определите активное сопротивление  $R_L$  катушки методом амперметра и вольтметра (см. РЛР № 3).
4. Рассчитайте параметры схемы замещения (рис. 11.3):

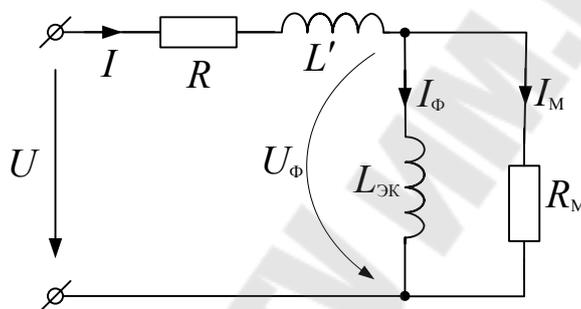


Рис.11.3

мощность потерь

$$P = UI \cos \varphi;$$

мощность тепловых потерь в обмотке

$$P_R = RI^2;$$

мощность магнитных потерь в сердечнике

$$P_M = P - P_R;$$

действующее значение составляющей входного напряжения, связанной с магнитным потоком в сердечнике

$$\underline{U}_\phi = Ue^{j\varphi} - RI;$$

эквивалентное сопротивление магнитных потерь

$$R_M = \frac{U_\phi^2}{P_M};$$

составляющая тока, связанная с потерями в сердечнике

$$I_M = \frac{U_\Phi}{R_M};$$

намагничивающий ток

$$I_\Phi = \sqrt{I^2 - I_M^2};$$

эквивалентное индуктивное сопротивление

$$X_{L_{\text{эк}}} = \frac{U_\Phi}{I_\Phi};$$

эквивалентная индуктивность

$$L_{\text{эк}} = \frac{X_{L_{\text{эк}}}}{2\pi f};$$

полное сопротивление катушки

$$Z = \frac{U}{I};$$

полное комплексное сопротивление схемы замещения

$$\underline{Z} + R + j2\pi fL' + \frac{j2\pi fL_{\text{эк}}R_M}{R_M + j2\pi fL_{\text{эк}}},$$

приводимое к виду

$$\underline{Z} = \tilde{R} + j2\pi f(L' - \tilde{L}),$$

где  $\tilde{R}$  и  $\tilde{L}$  известны;

эквивалентная индуктивность рассеяния магнитного потока

$$L' = \frac{\sqrt{Z^2 - \tilde{R}^2}}{2\pi f} - \tilde{L}.$$

## Контрольные вопросы

1. Почему катушка с ферромагнитным сердечником является нелинейным элементом?
2. Объясните физическую сущность гистерезисных потерь.
3. Чем определяется величина потерь на гистерезис?
4. Какой магнитный поток называют основным, а какой - потоком рассеяния?
5. Объясните физическую сущность потерь на вихревые токи.
6. Как можно уменьшить потери энергии на гистерезис и вихревые токи?
7. Нарисуйте схему замещения дросселя и объясните ее элементы.
8. Каким образом можно экспериментально определить параметры схемы замещения дросселя?

# **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ  
по одноименному курсу  
для студентов специальностей 1-43 01 03  
«Электроснабжение (по отраслям)» и 1-53 01 05  
«Автоматизированные электроприводы»  
заочной формы обучения**

Составители: **Грачев** Станислав Анатольевич  
**Соленков** Виталий Владимирович  
**Шабловский** Ярослав Олегович

Подписано к размещению в электронную библиотеку  
ГГТУ им. П.О. Сухого в качестве электронного документа  
учебно-методических материалов 18.02.09.

Рег. № 26Е.

E-mail: [ic@gstu.gomel.by](mailto:ic@gstu.gomel.by)  
<http://www.gstu.gomel.by>