

РОСЖЕЛДОР
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ростовский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО РГУПС)

В.А. Осипов

**УЧЕБНО–МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ К ЗАНЯТИЯМ ПО
ДИСЦИПЛИНЕ**

ОП.02 "Основы электротехники"

Ростов-на Дону
2025

УДК 621.3(07)+06

Рецензент –

Осипов В.А.

Учебно–методическое пособие к занятиям по дисциплине ОП.02 "Основы электротехники" для студентов специальности среднего профессионального образования 08.02.01 Строительство и эксплуатация зданий и сооружений / В.А. Осипов. Рост. гос. университет путей сообщения. –Ростов н/Д, 2025.– с.26:

Даны рекомендации по методам исследования и указан порядок выполнения каждой лабораторной работы.

Работа одобрена к изданию кафедрой ТОЭ РГУПС.

© ФГБОУ ВО РГУПС, 2025

Лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОКА В ПРИЕМНИКАХ

Цель работы: изучить способы регулирования тока в приемнике при помощи регулируемых сопротивлений. Ознакомиться с приемами сборки электрических схем.

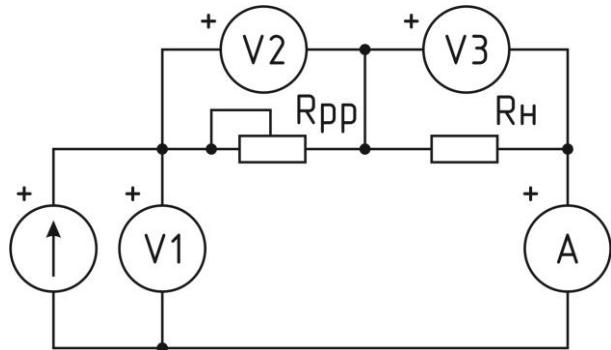


Схема №1

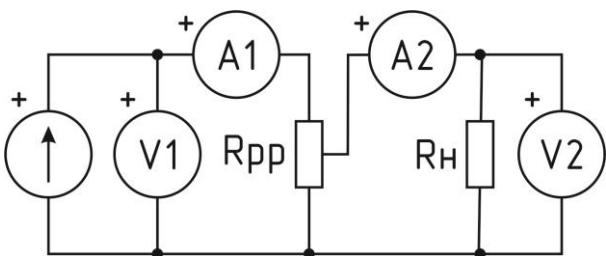


Схема №2

Рис.1 – Исследуемые схемы

Задание на лабораторную работу:

1. Собрать на лабораторном стенде схему №1, приведенную на рис.1 При сборке схемы следует соблюдать полярность подключения источников ЭДС и измерительных приборов, как показано на схеме.

2. Установить произвольные значения регулируемых сопротивлений, избегая крайних положений. После проверки схемы преподавателем включить питание стенда и включить источники ЭДС.

3. Изменяя положение рукоятки переменного сопротивления выполнить пять измерений токов и напряжений в схеме. При выполнении работы следует избегать крайних положений рукоятки регулируемого сопротивления. Результаты измерений следует занести в таблицу 1.1 в раздел «Наблюдаемые величины». Отключать питание источников ЭДС и отключить питание стенда.

Таблица 1.1

№ п/п	Наблюдаемые величины				Вычисленные величины				
	U_1	U_2	U_3	I	R_{pp}	R_h	$P_{\text{пол}}$	$P_{\text{отд}}$	η
	В	В	В	А	Ом	Ом	Вт	Вт	%
1									
...									
5									

4. Собрать на лабораторном стенде схему 2, приведенную на рис.1. Повторить задание пункты 2 и 3, занся результаты измерений в таблицу 1.2

Таблица 1.2

№ п/п	Наблюдаемые величины				Вычисленные величины						
	U_1	U_2	I_1	I_2	I_{pp}	R'_{pp}	R''_{pp}	R_h	$P_{\text{пол}}$	$P_{\text{отд}}$	η
	В	В	А	А	А	Ом	Ом	Ом	Вт	Вт	%
1											
...											
5											

5. Выполнить расчеты вычисляемых величин таблиц 1.1 и 1.2.
6. Построить зависимости $I_h = f(R_{pp})$ и $\eta = f(R_{pp})$ для схемы №1.
7. Построить зависимости $I_h = f(R''_{pp})$ и $\eta = f(R''_{pp})$ для схемы №2.

Теоретические сведения и пояснения к лабораторной работе.

Для расчета искомых значений сопротивлений в обоих случаях следует применить закон Ома для участка цепи:

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{или} \quad R = \frac{U}{I}.$$

Полагая сопротивления вольтметра бесконечно большим, можно сделать допущение, что токи в ветви с вольтметрами не ответвляются, а следовательно эти ветви можно исключить из расчета, так как в них нет тока. Исключив вольтметры из схемы № 1, получаем только одну ветвь, включающую оба сопротивления и амперметр. Ток во всех элементах ветви одинаков, а напряжения на сопротивлениях измеряются соответствующими вольтметрами.

При расчете сопротивления регулировочного реостата в схеме №2 его необходимо представить эквивалентной схемой замещения, приведенной на рис.2. Следует учесть, что нижняя секция реостата соединена параллельно с нагрузкой, а значит напряжение на ней измеряет вольтметр V_2 . Суммарное напряжение на обоих секциях реостата измеряется вольтметром V_1 .

Для определения значения полезной мощности ($P_{\text{пол}}$) – мощности, рассеиваемой на нагрузке и значения мощности, отдаваемой источником ЭДС, следует применить закон Ленца-Джоуля $P = UI$. При определении мощности, рассеиваемой нагрузкой следует подставлять в выражение напряжение на зажимах нагрузки (сопротивление R_h) и величину тока через нагрузку. Для расчета мощности, отдаваемой источником ЭДС, следует перемножать напряжение на зажимах источника ЭДС и ток через источник ЭДС.

При расчете коэффициента полезного действия для обоих схем следует найти процентное отношение полезной мощности от мощности отданной:

$$\eta = \frac{P_{\text{пол}}}{P_{\text{отд}}} \cdot 100\%.$$

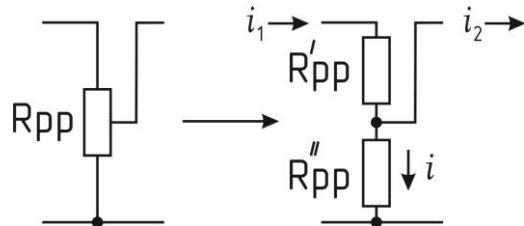


Рис.2 – Пояснение к расчёту сопротивления реостата для схемы № 2

Лабораторная работа №2.

ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЖНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы: проверка методов расчета сложных схем

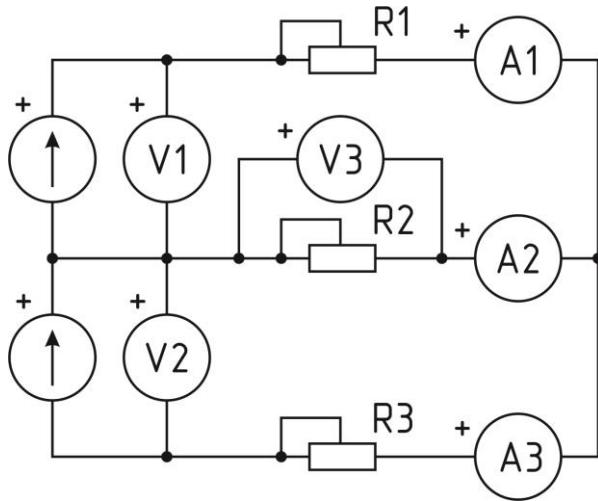


Рис. 3 – Рабочая схема

Задание на лабораторную работу:

1. Собрать на лабораторном стенде схему, приведенную на рис.3 При сборке схемы следует соблюдать полярность подключения источников ЭДС и измерительных приборов, как показано на схеме.

2. Установить произвольные значения регулируемых сопротивлений, избегая крайних положений. После проверки схемы преподавателем включить питание стенда и включить источники ЭДС.

3. Установить напряжение источников ЭДС, согласно заданию преподавателя.

4. Занести значение токов и напряжений в первую строчку таблицы 2.1.

Указание. Если при выполнении измерений на экране амперметра вместо цифр выводится сообщение «LLLL», то это значит, что ток в этой ветви протекает не слева направо (по схеме) а справа налево. В таком случае следует отключив питание изменить полярность соответствующего амперметра, а результат измерений записывать со знаком минус. Показание «LLLL» на экране вольтметра свидетельствует о неправильном подключении прибора.

8. Изменив сопротивление всех резисторов записать показания приборов во вторую строчку таблицы 2.1.

Таблица 2.1

№ п/п	Измеренные величины						Вычисленные величины						
	U_1	U_2	U_3	I_1	I_2	I_3	r_1	r_2	E_1	E_2	R_1	R_2	R_3
	В	В	В	А	А	А	Ом	Ом	В	В	Ом	Ом	Ом
1													
2													

9. Используя результаты измерений рассчитать величины всех сопротивлений и ЭДС, входящих в схему. При расчете следует считать сопротивление вольтметров бесконечно большим, а сопротивление амперметров равным нулю.

10. Выполнить проверку правильности расчета сопротивлений и ЭДС, составив баланс мощностей.

11. Используя параметры источников ЭДС и значения сопротивлений (номер опыта выбирается по указанию преподавателя) следует рассчитать токи в рабочей схеме одним из известных методов расчёта сложных схем. Метод расчета определяет преподаватель.

12. Построить потенциальную диаграмму отдельно для каждого контура.

Теоретические сведения и пояснения к лабораторной работе.

При измерении разности потенциалов на зажимах источника ЭДС показания вольтметра соответствуют соотношению:

$$U = E - I \cdot r$$

В этом выражении величины ЭДС и внутреннего сопротивления не зависят от тока, протекающего через источник, однако в результате измерений нами буду определены только напряжение на зажимах источника ЭДС и ток через источник ЭДС, то есть из четырех переменных известны будут только две. Для получения системы из двух уравнений необходимо выполнить два измерения напряжений на зажимах источника при различных токах – в данной работе это первый и второй опыт. В результате можно составить систему уравнений, например для первого источника ЭДС:

$$\begin{cases} U'_I = E_I - I'_I \cdot r_I \\ U''_I = E_I - I''_I \cdot r_I \end{cases}$$

В этом выражении значения с одним штрихом относятся к первому опыту, а с двумя штрихами – ко второму. Из записанной системы уравнений несложно получить:

$$r_I = \frac{U'_I - U''_I}{I''_I - I'_I}, \quad E_I = U'_I + I'_I \cdot r_I.$$

Аналогично определяют параметры второго источника ЭДС. Для нахождения значения сопротивления резистора R_1 следует применить второй закон Кирхгофа, и учесть, что первый вольтметр показывает сумму падений напряжений на первом и втором резисторе. Падение напряжения на втором резисторе измеряется вторым вольтметром. С учетом этого:

$$R_1 = \frac{U_1 - U_3}{I_1}$$

Сопротивление R_3 определяют аналогичным путем, а R_2 рассчитывают, пользуясь законом Ома.

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ АКТИВНОГО И РЕАКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЙ

Цель работы – экспериментально исследовать свойства цепи с последовательным соединением реактивного и активного сопротивлений при различных режимах работы.

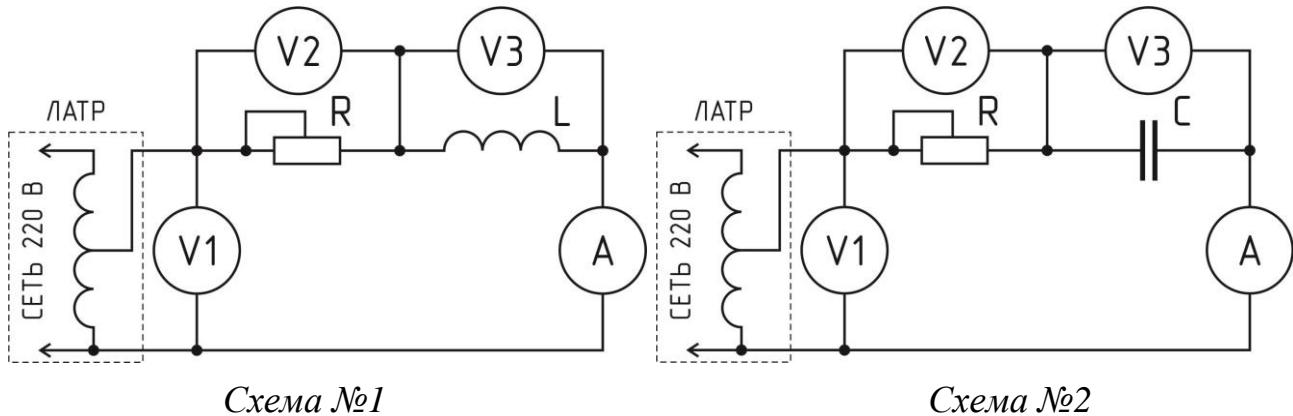


Рис.4 – Исследуемые схемы

Задание на лабораторную работу:

1. Собрать на лабораторном стенде схему №1, приведенную на рис.4.
2. Установить движок регулируемого сопротивления в положение, соответствующее максимальному значению активного сопротивления. После проверки схемы преподавателем включить питание стенда.
3. Установить напряжение ЛАТРа в соответствии с заданием преподавателя.
4. Изменяя величину регулируемого активного сопротивления, записать в таблицу 3.1 показания измерительных приборов для трех случаев: когда напряжение на активном сопротивлении больше напряжения на индуктивности, равно напряжению на индуктивности и меньше напряжения на индуктивности.

Таблица 3.1

№ п/п	Наблюдаемые величины				Вычисленные величины							
	U_1	U_2	U_3	I	R	X_L	Z	L	P	Q	S	φ
	В	В	В	А	Ом	Ом	Ом	Гн	Вт	вар	ВА	
1												
2												
3												

5. Для всех опытов построить диаграммы, совместив для каждого случая треугольники напряжения, сопротивления и мощности.

6. Собрать на лабораторном стенде схему 2, приведенную на рис.4. Повторить задание пункты 2 и 3, занося результаты измерений в таблицу 3.2

7. Изменяя величину ёмкости батареи конденсаторов, записать в таблицу 3.2 показания измерительных приборов для трех случаев: когда напряжение на активном сопротивлении больше напряжения на ёмкости, равно напряжению на ёмкости и меньше напряжения на ёмкости.

8. Для всех опытов построить семейства треугольников напряжения, сопротивления и мощности.

Таблица 3.2

№ п/п	Наблюдаемые величины				Вычисленные величины							
	U_1	U_2	U_3	I	R	X_C	Z	C	P	Q	S	φ
	В	В	В	А	Ом	Ом	Ом	мкФ	Вт	вар	ВА	
1												
2												
3												

Теоретические сведения и пояснения к лабораторной работе.

Пренебрегая токами, ответвляющимися в цепи вольтметров и падением напряжения на амперметре (ввиду их малости) полагаем, что во всей цепи протекает один ток, который измеряется амперметром. С учетом сказанного, для определения значений активного, реактивного и полного сопротивления следует пользоваться законом Ома, так как для этих элементов известны напряжения на их зажимах и ток, протекающий через них.

Активная, реактивная и полная мощности могут определены различными способами, один из которых — это нахождение искомого значения мощности как результат перемножения напряжения элемента на ток через элемент, для которого известен тип потребляемой мощности. Важно также учитывать, что реактивная мощность может быть, как положительной – на индуктивностях, так и отрицательной – на емкостях.

Угол φ – это угол между вектором тока и вектором напряжения в неразветвленной части цепи. Данную величину можно определить, зная либо напряжения на активном и реактивном элементах, либо рассчитав R и X , либо используя найденные значения мощностей. При использовании любого из способов значения угла φ должны быть одинаковыми. При определении угла φ следует учитывать характер нагрузки и помнить, что при активно-индуктивной нагрузке угол φ положительный, а при активно-ёмкостной -отрицательный, рис.5.

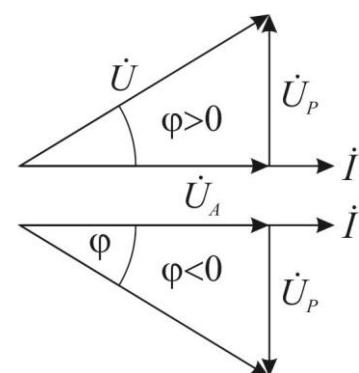


Рис.5 – пояснение
определения угла φ

Построение семейства треугольников напряжения следует начинать с построения вектора тока в цепи, как указывалось ранее в рассматриваемых

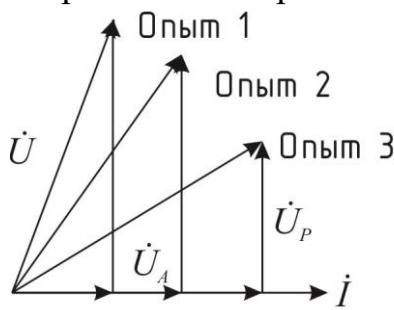


Схема №1

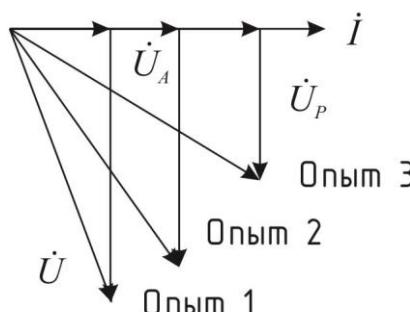


Схема №2

Рис.6 – Треугольники напряжений

напряжений на вектор тока, в результате будет получен треугольник сопротивлений. Необходимо обратить внимание, что в каждом опыте ток, протекающий в цепи, будет различен. Покажем на примере цепи с активно-индуктивной нагрузкой вид семейства треугольников сопротивлений. Здесь необходимо помнить, что при выполнении измерений для схемы №1 изменяется величина активного сопротивления, поэтому величина R будет различна во всех трех опытах, в отличии от составляющей X , которая должна быть неизменной. Для схемы №2 это не так, так как характеристика нагрузки неизменна, и о том, что теперь изменяемым параметром является емкость.

Построение треугольников мощности осуществляется путем умножения треугольника напряжений током, в результате будет также построен треугольник мощностей. Построение ведется аналогично описанному ранее. В качестве примера на рис.7 приведено семейство треугольников мощностей для схемы №2.

схемах протекает единственный ток, так как исследуются неразветвленные цепи. Далее в выбранном масштабе строится вектор падения напряжения на активном сопротивлении, совпадающий по фазе с током. При построении вектора падения напряжения на реактивном сопротивлении следует учитывать тип используемого реактивного элемента – вектор падения напряжения на индуктивности опережает по фазе ток на угол 90 градусов, а вектор падения напряжения на ёмкости, наоборот, отстает от вектора тока по фазе на 90 градусов. Вектор напряжения, действующего на зажимах схемы получаем как сумму векторов падения напряжения на активном и реактивном сопротивлениях. Учитывая, что напряжение на входе схемы неизменно, сумма падений напряжений на активном и реактивных элементах схемы во всех опытах должна быть неизменна, рис.6.

Треугольник сопротивления можно получить, разделив все стороны треугольника

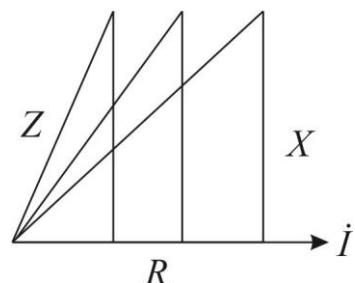


Рис.6 – Треугольники сопротивлений

на величину тока i . При построении

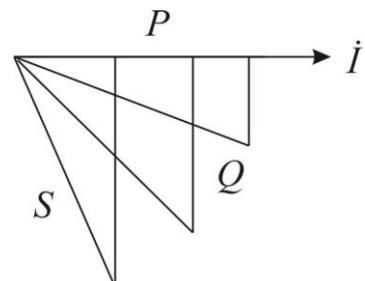


Рис.7 – Треугольники мощностей

Лабораторная работа 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ АКТИВНОГО И ИНДУКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЙ

Цель работы – экспериментально исследовать свойства цепи с параллельным соединением реактивного и активного сопротивлений при различных режимах работы.

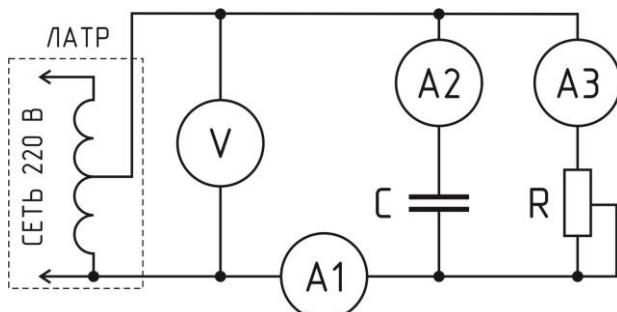


Схема №1

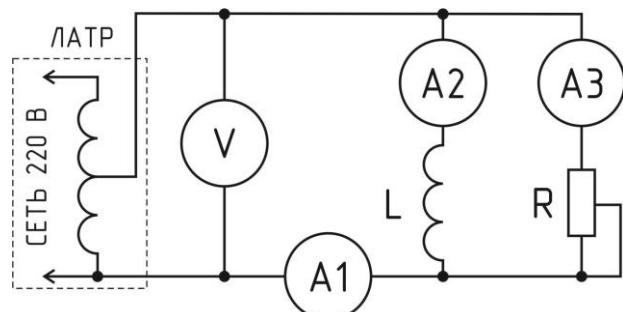


Схема №2

Рис.8 – Исследуемые схемы

Задание на лабораторную работу:

1. Собрать на лабораторном стенде схему №1, приведенную на рис.8.
2. Установить движок регулируемого сопротивления в положение, соответствующее максимальному значению активного сопротивления. После проверки схемы преподавателем включить питание стенда.
3. Установить напряжение ЛАТРа в соответствии с заданием преподавателя.
4. Изменяя величину ёмкости батареи конденсаторов, записать в таблицу 4.1 показания измерительных приборов для трех случаев: когда ток через активное сопротивление больше тока через емкость, равен току через емкость и меньше тока через емкость.

Таблица 4.1

№ п/п	Наблюдаемые величины				Вычисленные величины							
	I_1	I_2	I_3	U	g	b_L	y	L	P	Q	S	φ
	В	В	В	А	См	См	См	Гн	Вт	вар	ВА	
1												
2												
3												

5. Для всех опытов построить диаграммы, совместив для каждого случая треугольники токов, проводимости и мощности.

6. Собрать на лабораторном стенде схему 2, приведенную на рис.8. Повторить задание пункты 2 и 3.

7. Изменяя величину регулируемого активного сопротивления, записать в таблицу 4.2 показания измерительных приборов для трех случаев: когда ток через активное сопротивление больше тока через индуктивность, равен току через индуктивность и меньше тока через индуктивность.

8. Для всех опытов построить диаграммы, совместив для каждого случая треугольники токов, проводимости и мощности.

Таблица 4.2

№ п/п	Наблюдаемые величины				Вычисленные величины							
	I_1	I_2	I_3	U	g	b_c	y	C	P	Q	S	φ
	В	В	В	А	См	См	См	мкФ	Вт	вар	ВА	
1												
2												
3												

Теоретические сведения и пояснения к лабораторной работе.

Пренебрегая падениями напряжения на амперметрах (ввиду их малости), полагаем, что на всех элементах цепи напряжение одинаково и равно напряжению источника питания. С учетом сказанного, для определения значений активной, реактивной и полной проводимости следует пользоваться законом Ома, так как для этих элементов известны напряжения на их зажимах и ток, протекающий через них. Закон Ома в таком случае следует записать в виде:

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

Угол φ – это угол между вектором тока и вектором напряжения в неразветвленной части цепи, который определяется нагрузкой всей цепи. Данную величину можно определить, зная либо токи на активном и реактивном элементах, либо рассчитав g и b , либо используя найденные значения мощностей. Как и в предыдущей работе при использовании любого из способов значение угла φ должны быть одинаковыми. При определении угла φ следует учитывать характер нагрузки и помнить, что при активно-индуктивной нагрузке угол φ положительный, а при активно-ёмкостной – отрицательный, рис.9. В отличии от предыдущей работы здесь в качестве опорного вектора следует выбрать вектор напряжения источника питания.

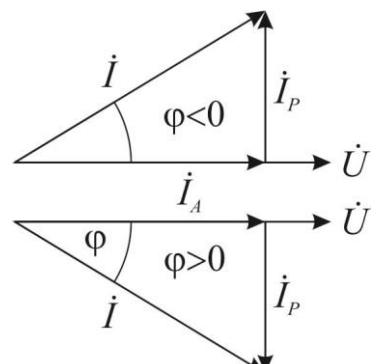


Рис.9 – пояснение к определению угла φ

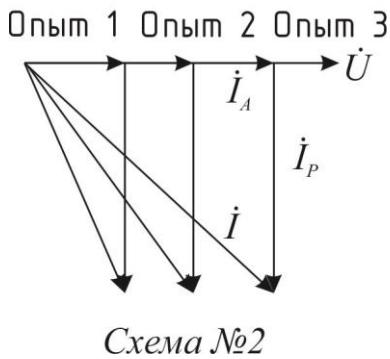
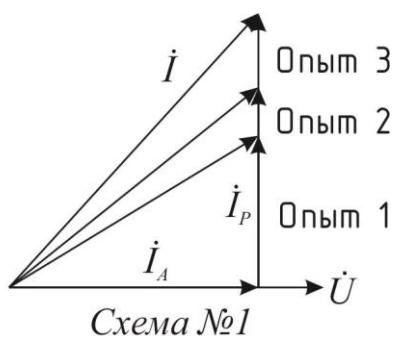


Рис.10 – Треугольники токов

соответствующие вектора токов должны быть одинаковыми во всех трех опытах. Пример построения треугольников тока приведен на рис.10.

Треугольник проводимостей можно получить, разделив все стороны треугольника токов на вектор напряжения, в результате будет получен треугольник проводимостей. Покажем на примере цепи с активно-индуктивной нагрузкой вид семейства треугольников проводимостей. Здесь необходимо помнить, что при выполнении измерений для схемы №1 изменяется величина активного сопротивления, поэтому величина b будет различна во всех трех опытах, в отличии от составляющей g , которая должна быть неизменной. При построении треугольников проводимостей для схемы №2

следует помнить об изменении характера нагрузки, и о том, что теперь изменяемым параметром является активное сопротивление.

Построение треугольников мощностей осуществляем путем умножения треугольника токов на напряжение, в результате будет также построен треугольник мощностей. Построение ведется аналогично описанному ранее. В качестве примера на рисунке 12 приведено семейство треугольников мощностей для схемы №1.

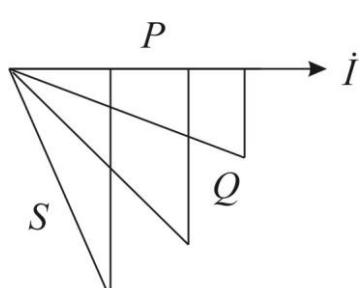
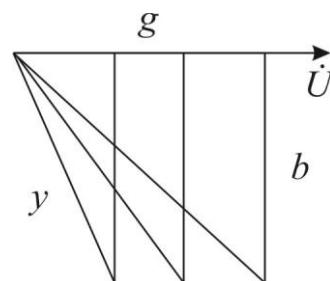


Рис.12 – Треугольники мощностей

Лабораторная работа № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ИНДУКТИВНОГО, ЕМКОСТНОГО И АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЙ

Цель работы – экспериментально исследовать свойства цепи с последовательным соединением индуктивного, емкостного и активного сопротивлений при различных режимах работы цепи.

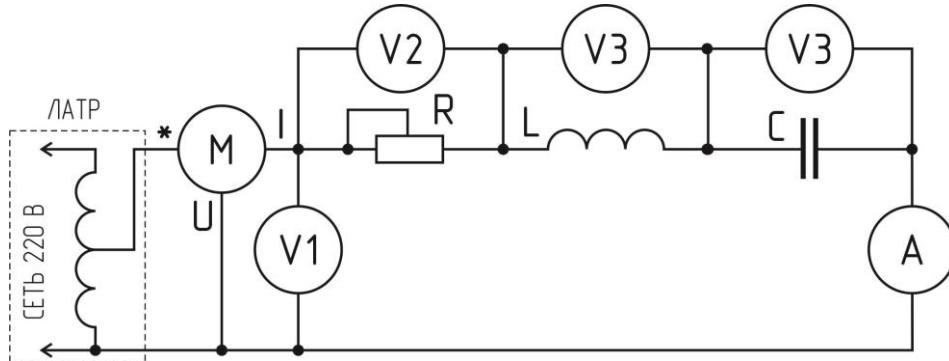


Рис.13 – Исследуемая схема

Задание на лабораторную работу:

1. Собрать схему, изображенную на рис.13 и установить заданное преподавателем напряжение источника. Напряжение на выходах ЛАТРа не должно превышать 15 В.
2. Изменяя емкость конденсаторной батареи, снять показания электроизмерительных приборов для нескольких режимов работы схемы, перечисленный в таблице 1, результаты наблюдений и вычислений записать в таблицу 1.
3. Для каждого режима построить векторную диаграмму напряжений
4. Рассчитать на основании замеров все параметры, указанные в правой части таблицы 1, по данным расчетов построить семейство треугольников сопротивлений и треугольников мощностей для исследуемой схемы.
6. Построить зависимости $U_C = f(C)$, $U_L = f(C)$, $U_R = f(C)$.

Таблица №1

Режим	Измеренные величины						Вычисленные величины						
	I A	U В	U_L В	U_C В	U_R В	Q вар	R Ом	X_C Ом	Z Ом	C мкФ	P Вт	S ВА	φ °ЭЛ
1. $Q > 0$													
2. $Q > 0$													
3. $Q = 0$													
4. $Q < 0$													
5. $Q < 0$													
Параметры катушки индуктивности: $R_k = \underline{\hspace{2cm}}$ [Ом] $X_L = \underline{\hspace{2cm}}$ [Ом] $L = \underline{\hspace{2cm}}$ [Гн]													

Пояснения к работе

Исследуемая схема, показанная на рисунке 1, имеет в своём составе четыре вольтметра, амперметр и многофункциональный измерительный прибор, обозначенный на схеме буквой «М». Это прибор позволяет измерять ток, напряжение, активную, реактивную и полную мощность, а также косинус угла между током и напряжением. Выбор режима измерения осуществляется нажатием кнопки «◀» на передней панели прибора. В данной работе прибор необходимо настроить на измерение реактивной мощности, при этом индикатор на панели прибора должен показывать «Q».

В ходе работы, как сказано в задании, необходимо выполнить пять замеров, изменяя соотношение между сопротивлениями двух реактивных элементов, находящихся в схеме. Величина индуктивности катушки в лабораторной установке неизменная, а ёмкость конденсатора может меняться в весьма широких пределах – от нуля до 96 мкФ. Выбор величины ёмкости осуществляется переключением выключателей соответствующих номиналов конденсаторов на испытательном стенде. Важно помнить, что при выполнении расчетов точное значение ёмкости следует определять исходя из измеренных значений тока и напряжения на них, так как промышленностью конденсаторы выпускаются с некоторым разбросом величины ёмкости.

Начать процесс расчета величин правой части таблицы 1 следует с определения параметров катушки индуктивности. Следует помнить, что катушка индуктивности, используемая в работе, не является идеализированной, а, следовательно, имеет кроме реактивной составляющей сопротивления X_L активную составляющую R_k , обусловленную наличием активного сопротивления проводника, которым намотана катушка. Учитывая, что эти сопротивления включены последовательно делаем вывод, что вольтметр V_3 измеряет напряжение на активно-индуктивном сопротивлении. Для разделения активной и реактивной частей сопротивления катушки рассмотрим векторную диаграмму исследуемой схемы, в режиме резонанса напряжений, когда реактивная мощность $Q = 0$, рис.14.

На показанной диаграмме видно, что в режиме резонанса напряжение на индуктивности - U_L полностью компенсируется напряжением на ёмкости U_C , в результате чего напряжение источника распределяется между активным сопротивлением U_R и внутренним активным сопротивлением катушки индуктивности U_{RK} . Таким образом, активное сопротивление схемы можно определить в режиме резонанса как отношение полного напряжения на зажимах цепи к току в этой цепи. Это значение будет включать в себя неизменную часть – активное сопротивление катушки индуктивности R_k и сопротивление переменного резистора R_p , величина которого может меняться

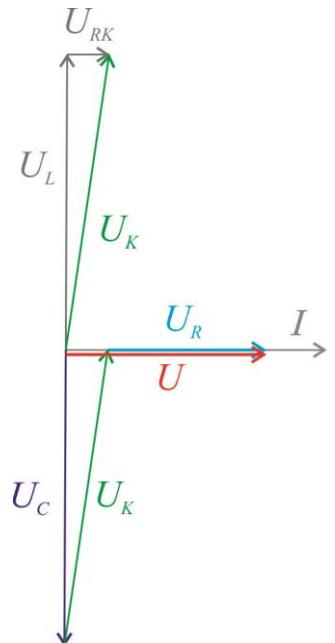


Рис.14 – векторная диаграмма $Q = 0$

в зависимости от положения движка реостата. Величину R_p в каждом из четырех опытов можно определить как отношение напряжения на реостате к току через реостат. С учётом этого параметры катушки индуктивности, установленной в испытательном стенде, можно определить в режиме резонанса по выражениям:

$$R_k = R - R_p; \quad X_L = \frac{U_3}{I}$$

В этих выражениях

$$R_p = \frac{U_1}{I}; \quad R = \frac{U}{I}$$

Рассчитанные значение R_k , X_L и L записать в нижней строке таблицы 1. Расчет величины сопротивления конденсатора X_C , его ёмкости и модуля полного сопротивления цепи Z осуществляется по закону Ома:

$$X_C = \frac{U_3}{I}; \quad Z = \frac{U}{I}.$$

Для определения значений активной и полной мощности следует воспользоваться известными соотношениями:

$$S = U \cdot I \quad P = U \cdot I \cdot \cos(\phi) \quad Q = U \cdot I \cdot \sin(\phi)$$

Пример построения зависимостей напряжения на элементах схемы от ёмкости конденсатора $U_C = f(C)$, $U_L = f(C)$, $U_R = f(C)$ показан на рис.15. Важно помнить, что напряжение на реактивных элементах может значительно превосходить по величине напряжение источника. Что видно в том числе из диаграмм на рис.3.

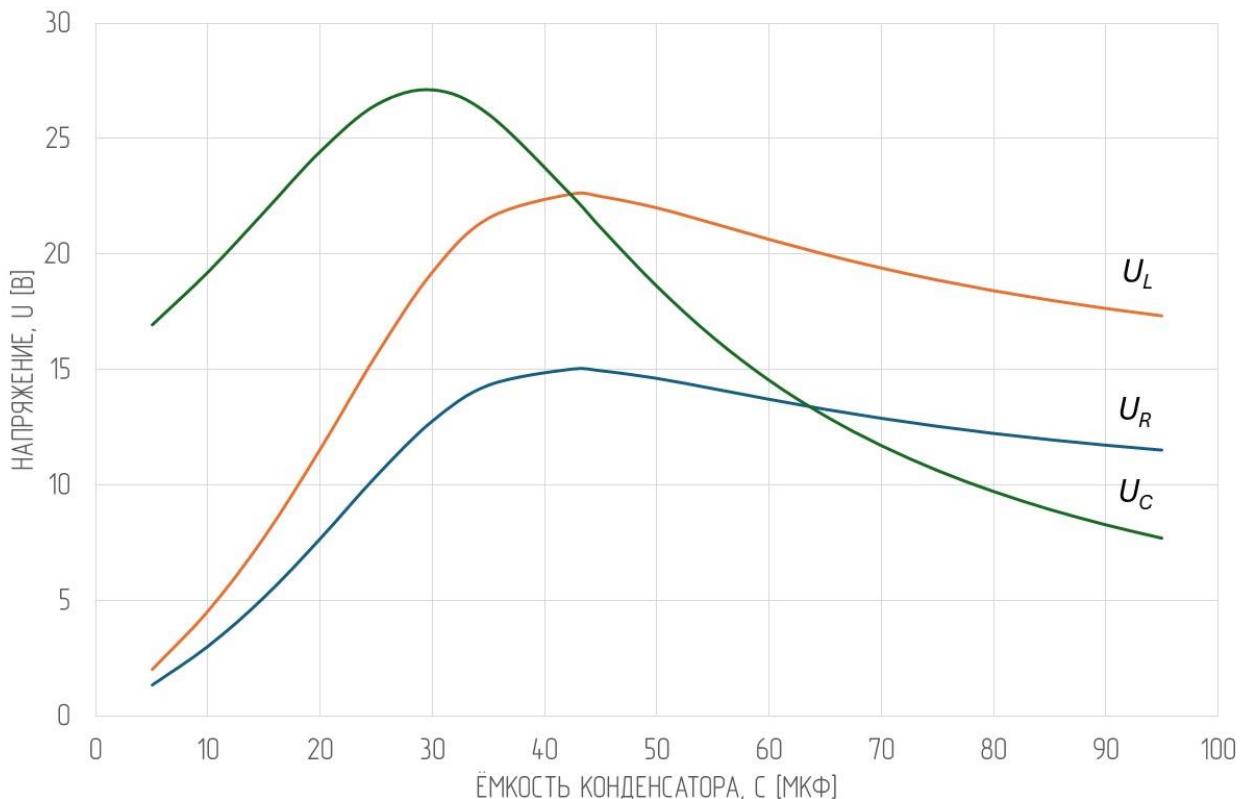


Рис.15 – зависимости $U_C = f(C)$, $U_L = f(C)$, $U_R = f(C)$

Лабораторная работа № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ИНДУКТИВНОГО, ЁМКОСТНОГО И АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЙ

Цель работы – экспериментально исследовать свойства цепи с параллельным соединением индуктивного, ёмкостного и активного сопротивлений при различных режимах работы цепи.

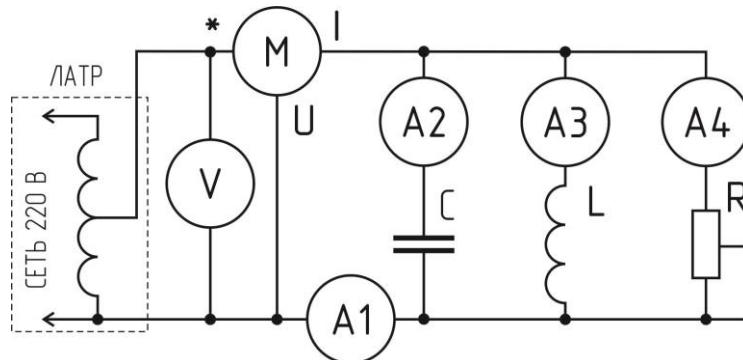


Рис.16 – Исследуемая схема

Задание на лабораторную работу:

- Собрать схему, изображенную на рис.16 и установить заданное преподавателем напряжение источника. Напряжение на выходах ЛАТРа не должно превышать 30 В.
- Изменяя ёмкость конденсаторной батареи, снять показания электроизмерительных приборов для нескольких режимов работы схемы, перечисленный в таблице 2, результаты наблюдений и вычислений записать в таблицу 2.
- Для каждого режима построить векторную диаграмму токов
- Рассчитать на основании замеров все параметры, указанные в правой части таблицы 2, по данным расчетов построить семейство треугольников проводимостей и треугольников мощностей для исследуемой схемы.
- Построить зависимости $I = f(C)$, $I_C = f(C)$, $I_L = f(C)$, $I_R = f(C)$.

Таблица №2

Режим	Измеренные величины						Вычисленные величины						
	U В	I А	I_L А	I_C А	I_R А	Q вар	g См	b_C См	y См	C мкФ	P Вт	S ВА	φ °ЭЛ
1. $Q > 0$													
2. $Q > 0$													
3. $Q = 0$													
4. $Q < 0$													
5. $Q < 0$													
Параметры катушки индуктивности: $g_k = \underline{\hspace{2cm}}$ [Ом] $b_L = \underline{\hspace{2cm}}$ [Ом] $L = \underline{\hspace{2cm}}$ [Гн]													

Пояснения к работе

Предлагаемая работа во многом аналогична предыдущей, здесь тоже необходимо выполнить пять замеров, причем третий замер должен соответствовать режиму резонанса токов. После выполнения измерений на лабораторном стенде начинать расчеты следует с определения параметров схемы замещения катушки индуктивности. Представим реальную катушку индуктивности, включенную в схему эквивалентной схемой замещения, содержащей параллельно включенные две ветви – ветвь с реактивной проводимостью катушки b_L и ветвь с активной проводимостью катушки g_k . Эти величины связаны с индуктивным и активным сопротивлениями катушки известными соотношениями:

$$g_k = \frac{R_k}{X_L^2 + R_k^2}; \quad b_L = \frac{X_L}{X_L^2 + R_k^2}; \quad X_L = \omega L$$

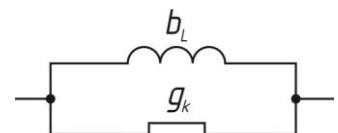


Рис. 17 – схема замещения катушки

С учетом сказанного рассмотрим векторную диаграмму токов схемы, показанной на рис.18. В режиме резонанса угол φ между током в неразветвленной части цепи и напряжением на входе цепи равен нулю, эквивалентная проводимость схемы носит чисто активный характер. Следовательно, ток, протекающий по ветви с ёмкостью, полностью компенсируется током, протекающим по ветви с индуктивностью катушки b_L . Их сумма, как видно из векторной диаграммы, равна нулю. Таким образом ток, протекающий в неразветвленной части цепи, будет складываться только из токов ветвей с проводимостью g_p и g_k , где g_p – проводимость ветви с реостатом.

Для определения эквивалентной проводимости цепи следует разделить ток в неразветвленной части цепи на входное напряжение. В режиме резонанса ток I будет носить чисто активный характер, следовательно, полная проводимость цепи у в режиме резонанса токов будет определяться выражением:

$$y = \frac{I_1}{U_1} = g_p + g_k = g$$

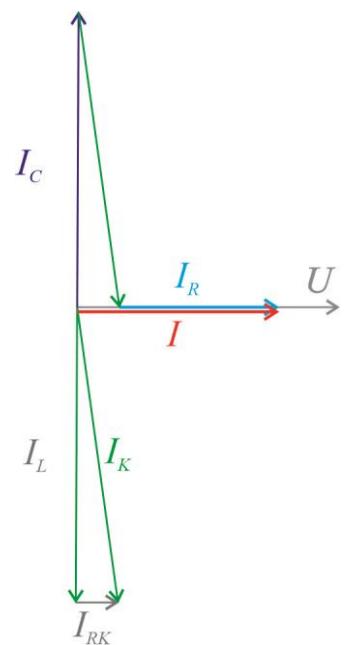


Рис. 18 – векторная

В этом выражении составляющая активной проводимости катушки индуктивности является неизменной величиной, а проводимость ветви с реостатом может меняться в широких пределах, в зависимости от положения движка реостата. Величина g_p может быть определена по закону Ома:

$$g_p = I_4/U_1.$$

Для расчета характеристик катушки индуктивности поступают следующим образом. В режиме резонанса определяют значение активной

проводимости всей цепи, а затем из полученного значения вычитают величину проводимости ветви с реостатом.

$$g_k = g - g_p = \frac{I_1 - I_4}{U_1}$$

Учитывая сказанное ранее, проводимость ветви с идеализированной индуктивностью катушки определяют также в режиме резонанса как

$$b_L = \frac{I_1}{U_1}$$

Рассчитанные значение g_k , b_L и L записать в нижней строке таблицы 1. Параметры схемы замещения катушки индуктивности следует сравнить с результатом, полученным в предыдущей лабораторной работе, сделать вывод. Расчет величины проводимости конденсатора b_C , его ёмкости и модуля полной проводимости цепи у осуществляется по закону Ома:

$$b_C = \frac{I_1}{U_2}; \quad y = \frac{I_1}{U_1}.$$

Для определения значений активной и полной мощности следует воспользоваться известными соотношениями:

$$S = U_1 \cdot I_1 \quad P = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos(\varphi) \quad Q = U_1 \cdot I_1 \cdot \sin(\varphi)$$

Пример построения зависимостей напряжения на элементах схемы от ёмкости конденсатора $I = f(C)$, $I_C = f(C)$, $I_L = f(C)$, $I_R = f(C)$ показан на рис.19.

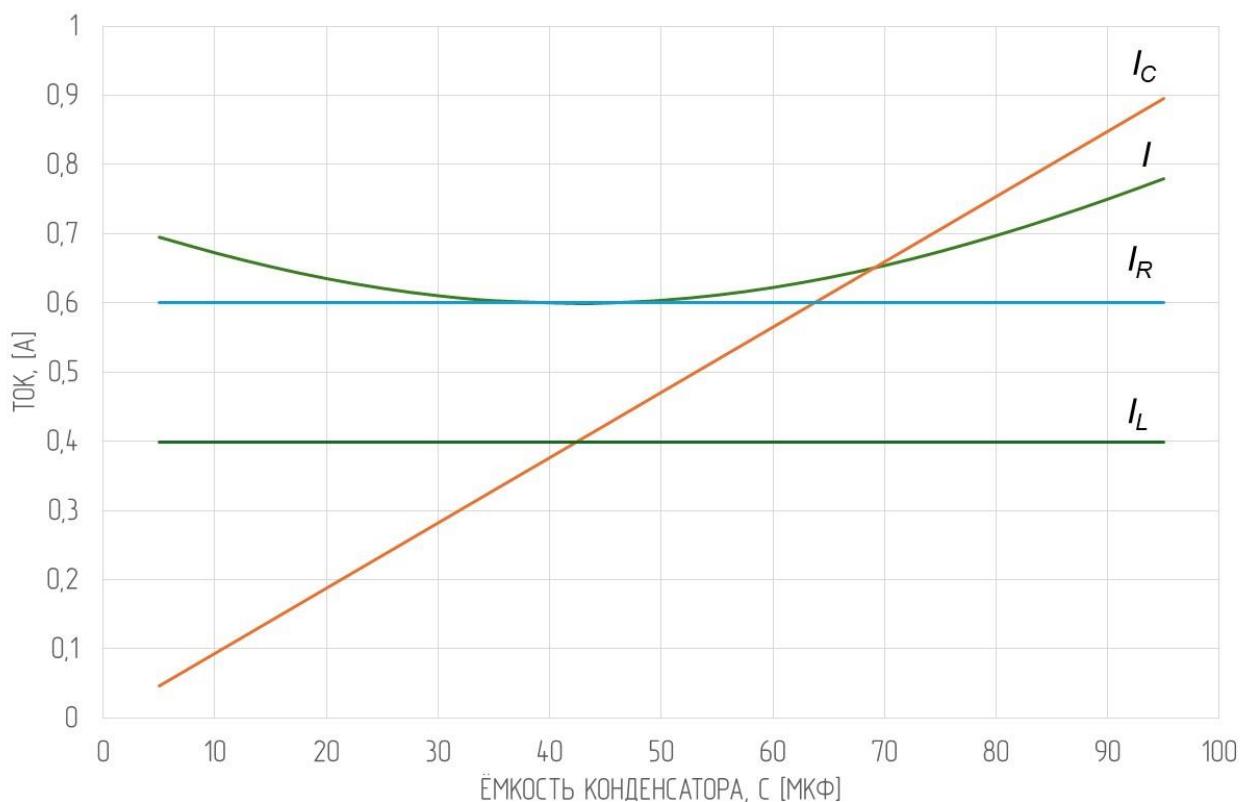


Рис.19 – зависимости $I = f(C)$, $I_C = f(C)$, $I_L = f(C)$, $I_R = f(C)$

Лабораторная работа №7

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы – экспериментальное исследование метода расчета сложной электрической цепи с одним нелинейным элементом.

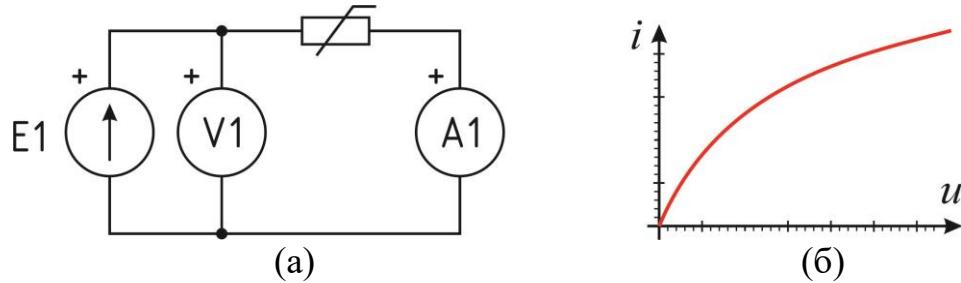


Рис.20 – Исследуемая схема

Задание на лабораторную работу:

- Собрать схему, показанную на рис.20(а) и изменения величину напряжения на выходе источника ЭДС от 0 до 15 вольт снять 15 пар значений тока и напряжения. Полученные данные занести в таблицу 4 и построить вольтамперную характеристику (ВАХ) нелинейного элемента, аналогичную показанной на рис.20(б).

Таблица №4

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
U , В															
I , А															

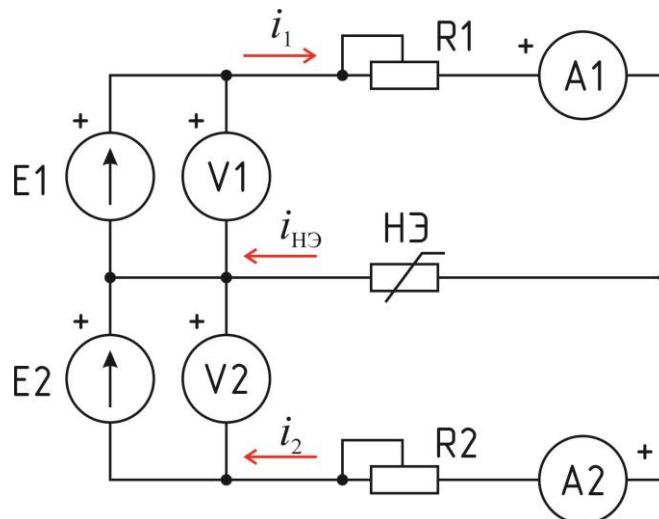


Рис.21 – Исследуемая схема

- Собрать схему, показанную на рисунке 21 и установить различное напряжение источников ЭДС: E_1 – в диапазоне 10–15 вольт, E_2 – в диапазоне 3–7 вольт. Положение обоих реостатов выставить произвольно, при этом избегая крайних положений. После этого изменять положение ручек реостатов

нельзя, так как значение сопротивления реостатов будет использовано в дальнейшем.

3. Снять показания измерительных приборов. Используя полученные данные совместно с ВАХ нелинейного элемента рассчитать параметры активных линейных сопротивлений схемы R_1 и R_2 . Источники ЭДС считать идеальными, внутренним сопротивлением пренебречь. Значение занести в таблицу 5.

Таблица №5

Измеренные величины				Вычисленные величины			
U_1	U_2	I_1	I_2	$I_{HЭ}$	$U_{HЭ}$	R_1	R_2
В	В	мА	мА	мА	В	Ом	Ом

4. Изменить напряжение источников ЭДС, таким образом, чтобы значение E_1 лежало в диапазоне 3–7 вольт, E_2 – в диапазоне 10–15 вольт. Записать показания приборов в таблицу 6

Таблица №6

Измеренные величины				Вычисленные величины			
U_1	U_2	I_1	I_2	$I_{HЭ}$	I_1	I_2	P
В	В	мА	мА	мА	мА	мА	Вт

5. Используя данные расчета R_1 и R_2 из п.3 и данные о значениях напряжения источников из п.4, а также ВАХ НЭ, полученную в п.1 выполнить расчет схемы используя теорему об активном двухполюснике, полагая что нагрузкой этого двухполюсника является НЭ.

6. Сравнить результат расчета токов в п.5 с результатом измерения п.4.

Пояснения к работе

Расчет токов в нелинейной электрической цепи, содержащей только один нелинейный элемент целесообразно осуществлять с использованием теоремы об активном двухполюснике, и основанной на ней методе эквивалентного генератора. Предлагаемая лабораторная работа выполняется в три этапа. На первом этапе следует снять вольтамперную характеристику нелинейного элемента, помещенного в лабораторный стенд. О нелинейном элементе известно, что это активный нелинейный элемент с симметричной вольтамперной характеристикой.

На втором этапе необходимо определить параметры всех элементов, составляющих исследуемую схему, за исключением нелинейного элемента, ВАХ его уже построена. Так как в задании сказано, что источники ЭДС следует считать идеальными, следовательно внутренними сопротивлениями этих источников следует пренебречь, положив их равными нулю. Для расчета значения сопротивления следует использовать выражение, записанное по второму закону Кирхгофа:

$$R_1 = \frac{E_1 - U_{H\Theta}}{I_1}; \quad R_2 = \frac{E_2 + U_{H\Theta}}{I_2}.$$

Значение напряжения на нелинейном элементе $U_{H\Theta}$ следует определить по ВАХ НЭ, полученной в п.1. Значение тока нелинейного элемента несложно определить по первому закону Кирхгофа, см. рис.22.

$$I_{H\Theta} = I_1 - I_2$$

На третьем этапе, используя данные о значениях ЭДС источников из таблицы 6 и значения сопротивлений реостатов, рассчитанные ранее необходимо рассчитать входное сопротивление, относительно точек подключения нелинейного элемента, рис.13.

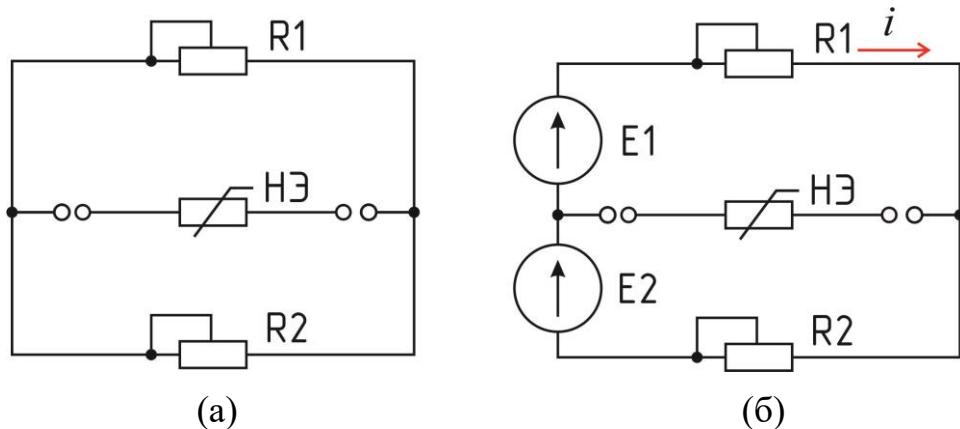


Рис.22 – Расчетная схема опыта К3(а) и опыта ХХ(б)

Из схемы, рис.13(а) можно найти величину входного сопротивления:

$$R_{BX} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Напряжение на зажимах двухполюсника, к которому подключается нелинейный элемент, можно рассчитать по выражению:

$$U_{XX} = E_1 - I \cdot R_1 = -E_2 + I \cdot R_2$$

Ток нелинейного элемента определяется графоаналитическим методом, с использованием ВАХ НЭ, рисунок 23. Используя результат расчета входного сопротивления двухполюсника R_{BX} необходимо построить ВАХ линейного элемента R_{BX} . Далее, графически суммируя вдоль оси напряжений токи НЭ и R_{BX} строят ВАХ активного сопротивления, эквивалентного последовательно включенному НЭ и R_{BX} . По полученной характеристике, используя значение U_{XX} следует определить ток на НЭ, а используя ВАХ НЭ – значение напряжения на НЭ. Токи в ветвях, с учетом принятого направления токов на схеме, рис.12 определяют как:

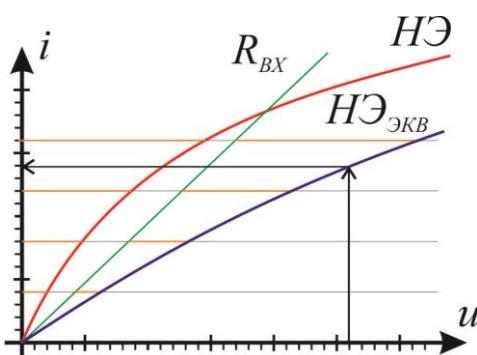


Рис.23 – Расчет тока в НЭ

$$I_1 = R_1 \cdot (E_1 - U_{H\Theta}); \quad I_2 = R_2 \cdot (E_2 + U_{H\Theta}).$$

Лабораторная работа №8

Исследование полупроводникового диода

Цель работы: Изучение устройства и принципа работы полупроводникового диода. Экспериментальное построение вольтамперной характеристики полупроводникового диода.

1. Общие сведения:

Рассмотрим процессы, происходящие в двухслойном полупроводниковом приборе, образованном полупроводниками «р» и «п» типа. Вблизи границы соединения полупроводников в результате диффузии электроны из «п»-слоя попадают, или диффундируют в «р»-слой, где рекомбинируют с дырками, восстанавливая разорванные связи. В результате вблизи границы контакта создаётся избыток дырок в «п»-слое, и избыток электронов в «р»-слое. Таким способом формируется зона, обеднённая свободными носителями заряда, и как следствие имеющая высокое сопротивление, рисунок 24. Кроме этого, возникающая разность потенциалов создает электрическое поле, вектор напряжённости которого направлен таким образом, что препятствует перемещению основных носителей заряда через границу контакта двух слоёв полупроводника.

Если к аноду диода относительно катода будет приложено положительное напряжение, то область, обедненная основными носителями заряда, сузится. При достижении некоторого порогового значения приложенного напряжения эта область полностью исчезнет, в результате чего сопротивление диода существенно снизится. Такой режим называют режимом прямого включения диода либо режимом прямого смещения. Ток через диод в указанном режиме обусловлен движением основных носителей заряда.

Режим обратного включения диода, или режим обратного смещения возникает если изменить полярности приложенного напряжения. В таком режиме к аноду диода относительно катода прикладывается отрицательное напряжение. Очевидно, что полярность приложенного напряжения будет совпадать с полярностью объемного нескомпенсированного заряда зоны, обедненной основными носителями заряда (рисунок 24), что приведет к расширению последней. Величина напряженности электрического поля возрастет, и движение основных носителей заряда через переход будет невозможным. Однако, в «р»-слое и «п»-слое кроме основных носителей заряда формируются так называемые неосновные носители, каковыми для «п»-слоя являются дырки, а для «р»-слоя – электроны. Электрическое поле, создаваемое в «р-п» – переходе способствует переносу неосновных носителей заряда между областями, что приводит к протеканию электрического тока через полупроводниковый диод. Величина этого тока значительно меньше тока, протекающего при прямом включении диода.

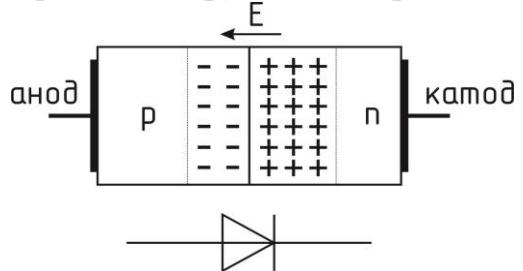


Рисунок 24

2. Описание лабораторной установки:

На рис. 25 изображена схема исследования полупроводникового диода. Нагрузкой диода служит переменный резистор R , позволяющий изменять в небольших пределах ток, протекающий через диод при заданном напряжении питания. Для измерения тока и напряжения при выполнении эксперимента используются цифровые вольтметры, установленные на лабораторном стенде.

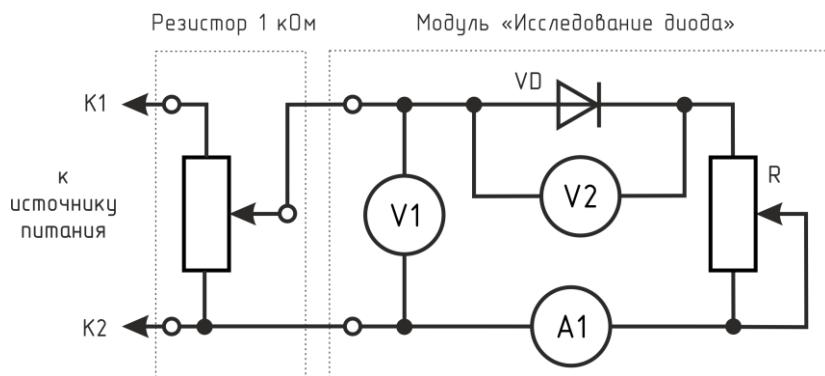


Рисунок 25

3. Порядок выполнения работы:

А собрать схему для выполнения исследования, используя в качестве амперметра « $A1$ » стендовый прибор $PA1$

б) подать на вход постоянное напряжение источника питания через делитель напряжения, собранный на активном сопротивлении 1 кОм , при этом вход « $K1$ » соединяется с плюсовым выводом источника питания, а « $K2$ » - с минусовым.

в) снять участок прямой ветви ВАХ диода и всей цепи, изменения напряжение от 0 д $5[\text{В}]$. Точную регулировку напряжения осуществлять при помощи делителя напряжения, собранного на резисторе 1 кОм , результаты измерения занести в таблицу 1.1.

Таблица 1.1

№	Наблюдаемые величины			Вычисляемые величины				
	U_1 , В	U_2 , В	I_1 , А	U_R , В	R_H , Ом	$R_{стам}$, Ом	P_{VD} , Вт	P_H , Вт

г) изменить полярность подключения к источнику питания, заменить амперметр « $A1$ » на стендовый прибор $PA3$. Снять участок обратной ветви ВАХ диода и всей цепи, изменения напряжение от 0 д 20 [В], результаты измерения занести в таблицу 1.1.

д) используя законы электротехники рассчитать напряжение на нагрузочном сопротивлении, сопротивление нагрузки, статическое сопротивление диода, мощности, потребляемые диодом и нагрузкой, сделать вывод к работе.

Лабораторная работа 9

Исследование биполярных транзисторов

Цель работы: Изучение устройства и принципа работы биполярных транзисторов. Экспериментальное построение вольтамперной характеристики.

1. Общие сведения:

Биполярным транзистором называют полупроводниковый прибор, состоящий из двух взаимосвязанных *p-n* - переходов (рисунок 26). Каждый из слоев полупроводника снабжен выводом для подключения в электрическую цепь. Из рисунка видно, что транзистор имеет три области полупроводника, две крайние области имеют одинаковый тип проводимости, а средняя область - противоположный. На рисунке изображен транзистор *p-n-p*-типа. Одна из крайних областей транзистора называется эмиттером (*Э*). Эта область служит для создания потока основных носителей, направленного из эмиттера в соседнюю область, называемую базой (*Б*). Другая крайняя область транзистора, называемая коллектором (*К*), служит для сбора потока носителей, эмиттируемых эмиттером. База предназначена для управления потоком носителей, движущихся из эмиттера в коллектор. Базу выполняют весьма тонкой, с целью уменьшения рекомбинации электронов с дырками. Между

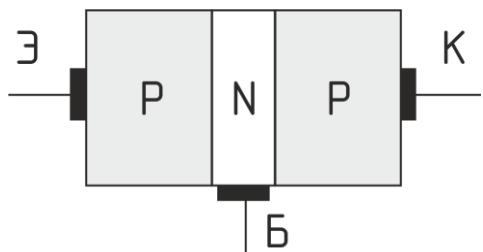


Рис. 26

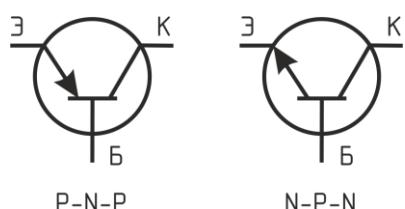


Рис. 27

слоями полупроводника образуются *p-n* -переходы. Переход, разделяющий эмиттер и базу, называется эмиттерным переходом, а переход, разделяющий базу и коллектор, - коллекторным переходом. Следует отметить, что кроме транзисторов *p-n-p* - структуры, существуют транзисторы с симметричной *n-p-n* - структурой. Условные обозначения *p-n-p*- и *n-p-n* - транзисторов, используемые в электрических цепях, приведены на рис. 27.

Транзистор имеет три вывода, а, следовательно, для анализа электрической цепи его удобно представить в качестве четырехполюсника - устройства, имеющего два входных и два выходных вывода. Так как транзистор имеет только три вывода, один из выводов необходимо сделать общим для входной и выходной цепей. Соответственно существует три варианта включения транзистора: схема с общей базой (ОБ), общим эмиттером (ОЭ) и общим коллектором (ОК).

В схеме с общей базой (рис. 28а) входной цепью является цепь эмиттера, а выходной - цепь коллектора. Такая схема практически не обеспечивает

усиления по току, но обладает высокой термостабильностью. Такая схема имеет малое входное сопротивление, что делает ее нежелательной при наличии источника сигнала с большим внутренним сопротивлением. В схеме с общим эмиттером (рис. 28 б) входной цепью является цепь базы, а выходной - цепь коллектора. Схема обеспечивает наибольшее значение коэффициента усиления мощности и одновременно высокое входное сопротивление. Малое значение входного тока обусловило наиболее широкое, по сравнению с другими, применение данной схемы включения транзистора.

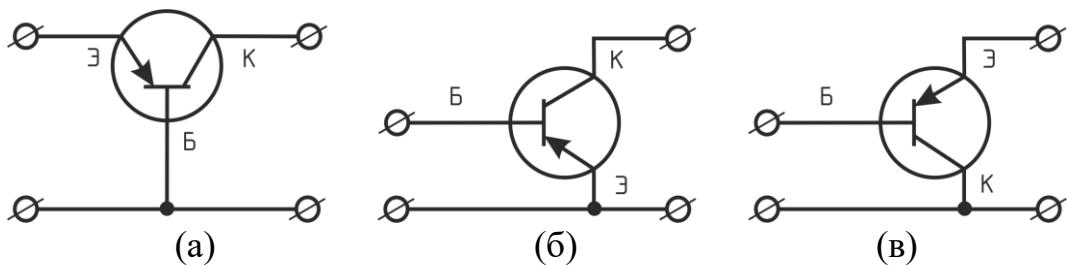


Рис. 28

В схеме с общим коллектором (см. рис. 28 в) входной цепью является цепь базы, а выходной - цепь эмиттера. Эта схема обладает малым выходным и высоким входным сопротивлением, однако не дает усиления по напряжению. Эта схема включения используется в качестве согласующего каскада в усилительных устройствах. В литературе данную схему называют эмиттерным повторителем.

Как ранее указывалось, что наибольшее распространение получила схема с общим эмиттером, поэтому все дальнейшие рассуждения приводятся именно для этой схемы. В схеме с общим эмиттером (рис. 28 б) входным током является ток базы I_B , а выходным - ток коллектора I_K , соответственно, входным напряжением является напряжение $U_{B\bar{E}}$, а выходным - напряжение $U_{K\bar{E}}$. Входная характеристика в схеме ОЭ представляет собой зависимость $i_B=f(U_{B\bar{E}})$ при $U_{K\bar{E}}=const$. Семейство входных характеристик биполярного транзистора приведено на рисунке 29.

Выходная характеристика в схеме с общим эмиттером представляет собой зависимость тока коллектора от напряжения на переходе коллектор-эмиттер, при неизменном токе базы $I_K=f(U_{K\bar{E}})$, $U_B=const$. На рисунке 30 приведено семейство выходных характеристик биполярного транзистора. Как видно из рисунка характеристика в активном режиме практически не зависит от напряжения $U_{K\bar{E}}$. Однако с ростом $U_{K\bar{E}}$ имеет место

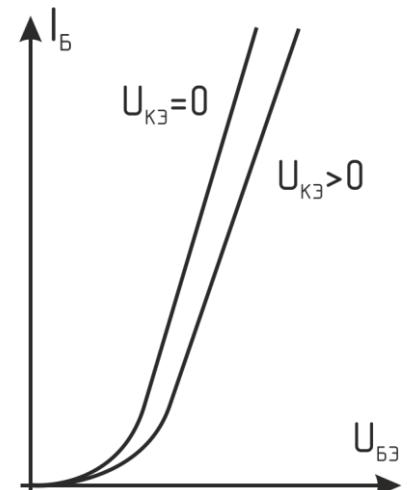


Рис. 29

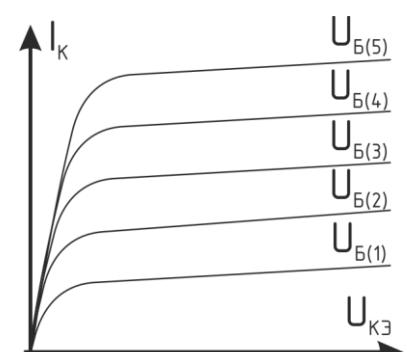


Рис. 30

небольшой рост тока коллектора I_K , связанный с уменьшением толщины базы при обратном смещении коллекторного перехода.

2. Описание установки и порядок выполнения работы:

Для исследования характеристик транзистора на лабораторном стенде собрана электронная схема, приведенная на рис. 31. Для регулировки тока базы предусмотрен переменный резистор R_1 , напряжение на коллекторном переходе регулируется резистором R_3 .

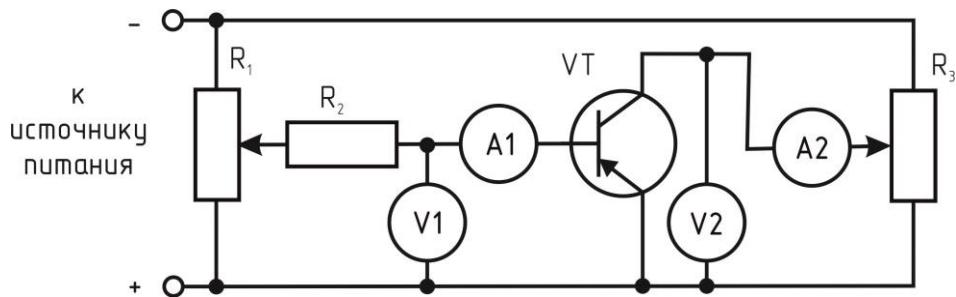


Рис. 31

а) собрать схему на рисунке 31, установить на источнике постоянного напряжения 10 В и подключить электрическую схему, соблюдая полярность;

в) задавшись напряжениям $U_{K\bar{E}}$ снять семейство входных характеристик транзистора, результаты занести в таблицу 3.1. Опыт повторить для нескольких значений $U_{K\bar{E}}$, задаваемых преподавателем;

Таблица 3.1

$U_{K\bar{E}} = 0 \text{ В}$	$U_{\bar{E}B}$, В						
	I_B , mA						
$U_{K\bar{E}} = 5 \text{ В}$	$U_{\bar{E}B}$, В						
	I_B , mA						
$U_{K\bar{E}} = \dots$	$U_{\bar{E}B}$, В						
	I_B , mA						

г) задавшись током базы снять зависимость тока коллектора I_K от напряжения на коллекторном переходе $U_{K\bar{E}}$, поддерживая ток базы постоянным. Опыт повторить для нескольких значений тока базы. Результаты измерения занести в таблицу 3.2;

Таблица 3.2

$I_B = 0 \text{ mA}$	$U_{\bar{E}K}$, В						
	I_K , mA						
$I_B = 10 \text{ mA}$	$U_{\bar{E}K}$, В						
	I_K , mA						
$I_B = 20 \text{ mA}$	$U_{\bar{E}K}$, В						
	I_K , mA						
$I_B = \dots \text{ mA}$	$U_{\bar{E}K}$, В						
	I_K , mA						

д) по результатам измерения построить в масштабе семейства входных и выходных характеристик;