

Министерство образования и науки Российской Федерации
Ульяновский государственный университет

Инженерно-Физический факультет высоких технологий
Кафедра радиофизики и электроники

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

по дисциплине

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОРАДИОТЕХНИКИ

Методические указания



Составитель: ***О.Ю. Сабитов***

Ульяновск 2020

Министерство образования и науки Российской Федерации
Ульяновский государственный университет

ББК 32.841
УДК 621.372.061 (076)

Печатается по решению Ученого совета Инженерно-физического факультета высоких технологий УлГУ

Рецензент: профессор кафедры физического материаловедения
УлГУ, к.ф.-м.н., доцент кафедры физического
материаловедения
А. А. Соловьев

О.Ю. Сабитов. Лабораторные работы по дисциплине «Теоретические основы электротехники»: Методические указания. – Ульяновск: УлГУ. 2019. – 62 с.

В методических указаниях к лабораторным работам приводятся задания и методика выполнения семи лабораторных работ по курсу «Теоретические основы электротехники». Материал методических указаний охватывает следующие разделы электроники: идеальные пассивные элементы, взаимоиндуктивность, последовательный и параллельный колебательные контуры, нелинейные резистивные элементы.

Содержание заданий соответствует образовательному стандарту и рабочей учебной программе дисциплины.

Материал подготовлен на кафедре радиофизики и электроники УлГУ.
Табл.1, Ил.42, Библ. назв.9.

© Ульяновский государственный университет, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

	стр
ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА _____	4
МЕТОДИКА БЕЗОПАСНОГО ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ _____	4
ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ _____	7
ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ _____	10
ПОРЯДОК ОТЧЕТНОСТИ И ПРИЕМА ЗАЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ _____	12
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1. <i>Исследование резистора</i> _____	13
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2. <i>Исследование конденсатора</i> _____	19
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3. <i>Исследование катушки индуктивности</i> _____	25
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4. <i>Исследование взаимоиндуктивностей</i> _____	31
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5. <i>Последовательный колебательный контур</i> _____	42
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6. <i>Параллельный колебательный контур</i> _____	49
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7. <i>Нелинейные электрические цепи постоянного тока</i> _____	57

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА

1.1. Цель лабораторного практикума состоит в подготовке студентов к практическому применению полученных навыков и умений при экспериментальном исследовании радиотехнических устройств и измерительных систем в экспериментальной радиофизике и информационных системах.

1.2. Рабочее задание к каждой лабораторной работе предусматривает:

1.2.1. Предварительную домашнюю подготовку студента к выполнению лабораторной работы, включающую:

1.2.1.1. Проработку рекомендуемой литературы (список литературы приведен в конце методических указаний) и описания настоящих методических указаний по исследуемому объекту.

1.2.1.2. Ответы на контрольные вопросы.

1.2.1.3. Заготовку отчета (бланк протокола исследований) по выполняемой работе в соответствии с правилами оформления (см. раздел 4) со свободными местами для введения результатов экспериментов и расчетов и формулирования выводов по работе.

1.2.2. Получение индивидуального задания (номера варианта) для каждой бригады студентов.

1.2.3. Ознакомление с лабораторным оборудованием и измерительными приборами, необходимыми для проведения эксперимента.

1.2.4. Проведение лабораторного эксперимента по определению параметров с данными экспериментальных исследований.

1.2.5. Выполнение необходимых расчетов и сравнение их результатов с данными экспериментальных исследований.

1.2.6. Формулировка выводов и оформление отчета по лабораторной работе (см. раздел 4).

2. МЕТОДИКА БЕЗОПАСНОГО ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ

2.1. К работе не допускаются студенты, не пошедшие инструктаж по технике безопасности, не ознакомившиеся с описанием работы и не

имеющие предварительно заготовленного бланка протокола исследования.

2.2. Работа студентов разрешается только на исправном оборудовании.

2.3. Выполнение работы разрешается только бригадой, состоящей не менее, чем из двух человек.

2.4. Сборка электрической цепи и изменение схемы производится только при полностью отключенном напряжении и только с разрешения преподавателя. Сборку электрической цепи осуществляет один из членов бригады, а второй его контролирует.

2.5. Собрав и проверив схему, необходимо установить ручку регулирования напряжения источника питания в начальное положение, измерительные приборы – на наибольший предел и доложить преподавателю о готовности к работе.

2.6. Разрешение на подачу напряжения дает преподаватель после проверки схемы.

2.7. Включение производится только тех приборов, которые непосредственно задействованы для проведения эксперимента.

2.8. Выполнив тот или иной тип работы, необходимо снять напряжение и, показав результаты измерения преподавателю, получить разрешение на требуемые изменения в схеме. Сделав изменения в схеме, необходимо вновь показать ее преподавателю и получить его разрешение на подачу напряжения для дальнейших исследований.

2.9. При обнаружении неисправности, появлении признаков перегрева оборудования, срабатывания защиты источника питания или при возникновении неясности в проведении работы немедленно снять напряжение и обратиться к преподавателю.

2.10. Запрещается:

2.10.1. Приступать к выполнению работ без ознакомления с правилами техники безопасности.

2.10.2. Работать на неисправном оборудовании.

2.10.3. Выполнять работу одному человеку.

2.10.4. Самостоятельно включать главный щит электрического питания.

2.10.5. Включать оборудование без предварительной проверки его преподавателем и без разрешения преподавателя.

2.10.6. Запрещается вставлять вилку шнура питания в розетку без защитных заземляющих контактов, а также в розетку с защитными заземляющими контактами, не присоединенными к защитному заземляющему проводнику.

2.10.7. Запрещается эксплуатация приборов при снятом кожухе.

2.10.8. Включать незадействованные в эксперименте приборы.

2.10.9. Производить переключения в схемах, находящихся под напряжением, если этого не допускает инструкция в работе.

2.10.10. Касаться оголенных проводников и неизолированных частей аппаратуры.

2.10.11. Оставлять без наблюдения установки, находящиеся под напряжением.

2.10.12. Использовать оборудование не по назначению, превышать номинальные параметры работы.

2.10.13. Включать посторонние электрорадиоприборы и аппаратуру, кроме калькуляторов.

2.10.14. Производить порчу лабораторного оборудования и измерительных приборов, выполнять демонтаж их отдельных частей и блоков, пытаться самостоятельно устранить неисправность.

2.10.13. Загромождать рабочее место в лаборатории портфелями, одеждой, книгами.

2.10.15. Облокачиваться на оборудования и приборы, бесцельно ходить по лаборатории, отвлекать товарищей, громко разговаривать, допускать в лабораторию посторонних.

2.10.16. Вмешиваться в работу других бригад.

2.10.17. Открывать без разрешения преподавателя окна.

2.11. При несчастном случае необходимо:

2.11.1. Обесточить поражающее оборудование, высвободить пострадавшего от действия тока, но так чтобы самому не оказаться под напряжением и сообщить о случившемся преподавателю.

2.11.2. Оказать первую помощь пострадавшему под руководством преподавателя, не допуская паники и неорганизованности.

2.11.3. При необходимости вызвать скорую помощь по телефону 112.

2.11.4. Доложить заведующему кафедрой.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ

3.1. Лабораторное оборудование включает в себя:

- комплект типового лабораторного оборудования «Теория электрических цепей и основы электроники» ТЭЦОЭ2-Н-Р, к которому прилагаются сменные блоки и двухканальный осциллограф.

3.2. Комплект типового лабораторного оборудования «Теория электрических цепей и основы электроники» ТЭЦОЭ2-Н-Р (рис.1) включает в себя:

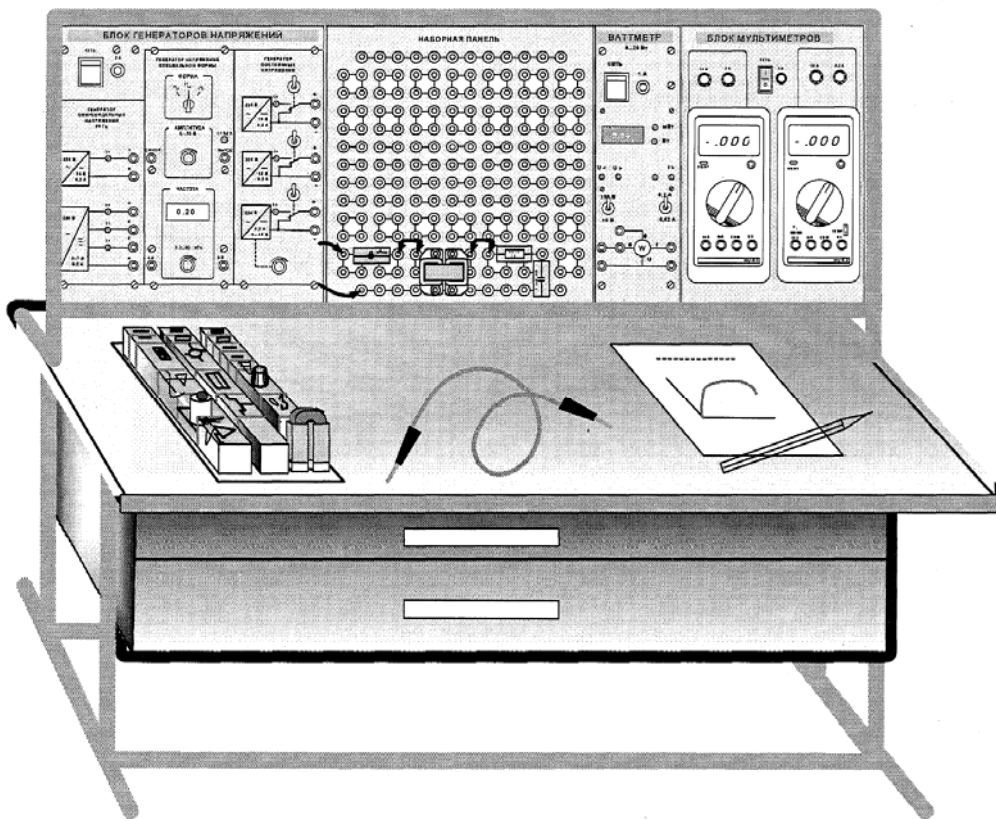


Рис.1. Комплект типового лабораторного оборудования «Теория электрических цепей и основы электроники» ТЭЦОЭ2-Н-Р

- Блок генераторов напряжений (рис.2) предназначен для моделирования источников ЭДС постоянного и переменного тока при испытаниях электрических цепей, а также электронных приборов и устройств. Имеет два нерегулируемых стабилизированных выхода постоянного напряжения величиной (15 ± 0.5) В и максимальным током 0.2 А; регулируемый стабилизированный выход постоянного напряжения $(0..15)$ В и максимальным током 0.2 А; нерегулируемый выход

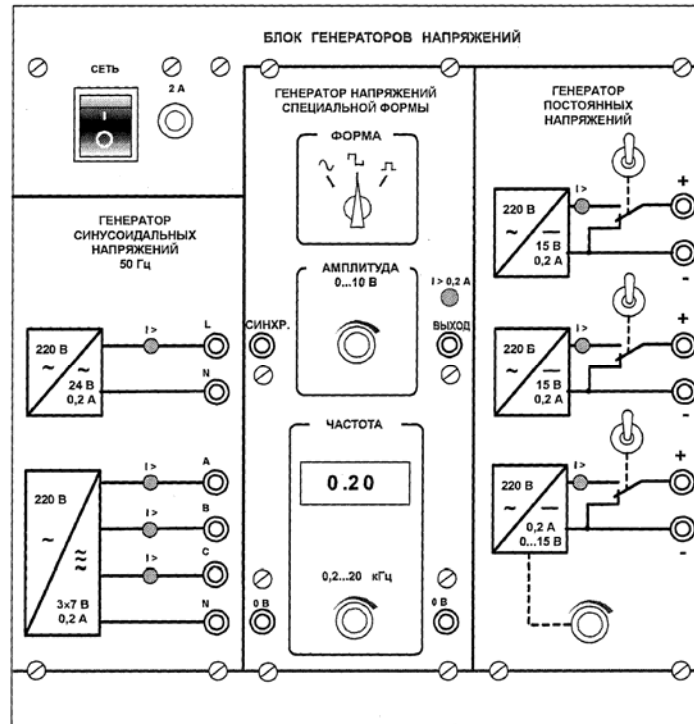


Рис.2. Блок генераторов напряжений

однофазного переменного напряжения величиной $24 \text{ В} \pm 10\%$ и максимальным током 0.1 А ; нерегулируемый выход трехфазного переменного напряжения величиной $3 \times 7 \text{ В} \pm 10\%$ и максимальным током 0.05 А ; регулируемый стабилизированный выход напряжения специальной формы: синусоидальное – амплитудой $(0.. \pm 10) \text{ В}$ и частотой $(200..20000) \text{ Гц}$; прямоугольное однополярное – амплитудой $(0..10) \text{ В}$, частотой $(200..20000) \text{ Гц}$ и скважностью 2; прямоугольное двухполярное – амплитудой $(0.. \pm 10) \text{ В}$, частотой $(200..20000) \text{ Гц}$ и скважностью 2.

- Однофазный источник питания предназначен для питания однофазным переменным током промышленной частоты функциональных блоков учебных лабораторных комплексов. Имеет 3 приборных и 3 штепсельных розетки с выходным напряжением $(220 \pm 22) \text{ В}$ и максимальным током 16 А .

- Наборная панель (рис.3) предназначена для установки и соединения между собой миниблоков при построении электрических и электронных цепей по заданным схемам. Состоит из 192 гнезд для соединения и 44 независимых узлов. Конструктивно панель выполнена в виде коробки с лицевой панелью и кожухом. На лицевой панели нанесена электрическая

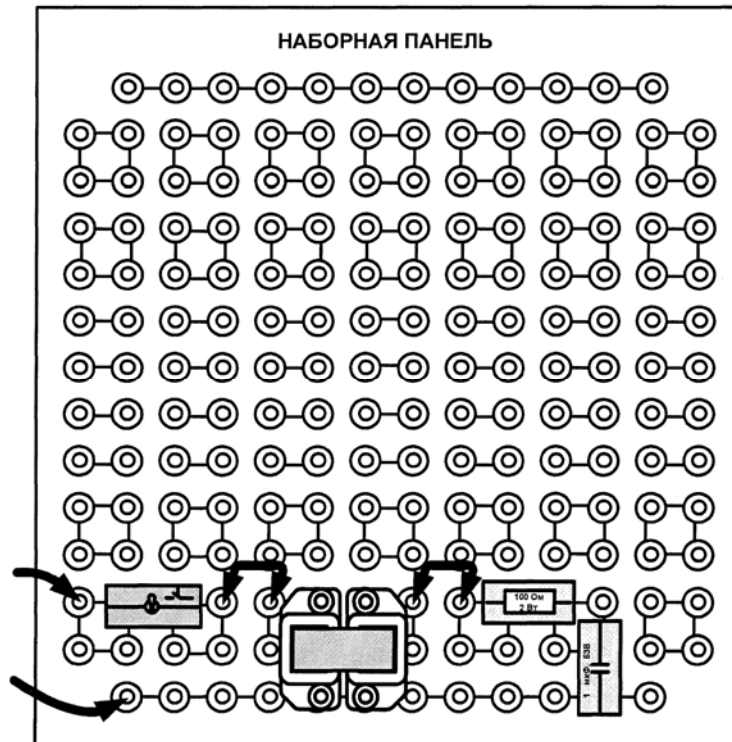


Рис.3. Наборная панель

мнемосхема соединений панели и в соответствии с ней размещены соединительные гнезда. На кожухе с тыльной стороны установлены ножки для возможности расположения панели на лабораторном столе. Электрический контакт миниблоков и проводников осуществляется путем введения контактных штырей последних в гнезда панели.

- Блок мультиметров (рис.4) предназначен для измерения активного сопротивления элементов электрической цепи, токов и напряжений в этой цепи. Конструктивно блок мультиметров выполнен в виде коробки с лицевой панелью и кожухом. На лицевой панели закреплены мультиметры, сетевой выключатель и держатели с предохранителями. На верхней боковой грани кожуха расположена вилка для присоединения шнура питания. Пределы и виды измеряемых параметров устанавливаются с помощью переключателей. **При работе с мультиметрами необходимо строго соблюдать соответствие вида измеряемого параметра и используемых контактов мультиметра!**

- Набор миниблоков «Электрические и электронные компоненты» предназначен для построения электрических и электронных цепей. В набор входят резисторы (постоянные и переменные), емкости, индуктивности,

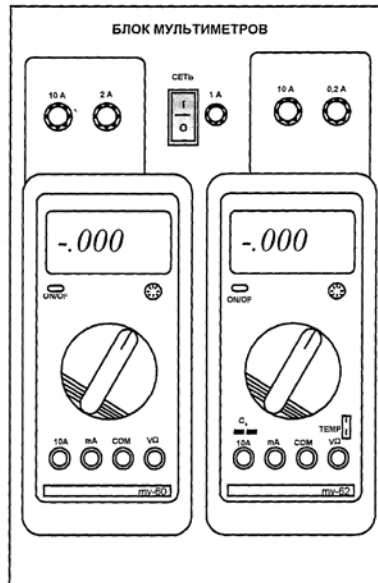


Рис.4. Блок мультиметров

трансформаторы, лампы накаливания, светодиод, фотодиод, термисторы, варикап, стабилитрон, симмистор, тиристор, биполярные и полевые транзисторы, операционный усилитель различного номинала и номенклатуры. Миниблоки монтируются в наборную панель, а после использования вставляются в установочное отверстие согласно маркировке.

4. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

4.1. Отчет оформляется на листах белой (клетчатой) бумаги формата А4 (210×297 мм) или близкого к нему. Допускается использовать обе стороны листа.

4.2. Текст следует оформлять с соблюдением размеров полей: слева – 30 мм, справа - 10 мм, сверху – 20 мм, снизу – 30 мм.

4.3. На первом листе вверху необходимо сделать заголовок:

УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра радиофизики и электроники

Дисциплина «Теоретические основы электротехники»

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № ____

(название работы)

Выполнил(и) студент(ы) группы _____

_____ (№ группы) (Ф. И. О.)

4.4. Отчет должен содержать:

- цель работы;
- задание с исходными данными;
- описание по пунктам выполненной работы с приведением необходимых схем, рисунков, таблиц, графиков, а также расчетных формул с численными значениями;
- вывод по каждому пункту экспериментальной части задания.

4.5. Текст отчета, рисунки, таблицы выполняются чернилами, фломастером или пастой одного цвета (черной, синей, фиолетовой) и оформляются в соответствии с требованиями к отчетам по научно - исследовательским работам (ГОСТ 7.32-81). Рисунки должны обязательно иметь номер и подрисуночные подписи, таблицы – номер и наименование.

4.6. Принципиальные схемы и схемы замещения должны соответствовать ГОСТ 2.721-74 и представляются в виде рисунков.

4.7. Графики представляются в виде рисунков и имеют пояснительные обозначения или надписи, указывающие на принадлежность экспериментальным или расчетным характеристикам.

4.8. Рисунки, оформленные на кальке или клетчатой (миллиметровой) бумаге, в отчете размещаются по ходу описания работы и должны быть приклеены.

4.9. Все листы отчета должны быть пронумерованы и скреплены.

5. ПОРЯДОК ОТЧЕТНОСТИ И ПРИЕМА ЗАЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

5.1. Зачет по каждой лабораторной работе производится преподавателем при наличии правильно оформленного отчета в результате индивидуального собеседования со студентами по выявлению у них знаний и практических навыков по исследуемому объекту.

5.2. Допускается оформление одного отчета на бригаду студентов.

5.3. Прием зачета по лабораторной работе проводится во время текущего занятия или в любой период времени последующих занятий, Студенты, имеющие к началу очередного занятия более одной задолженности, к занятию не допускаются.

5.4. По окончании лабораторного практикума организуется зачетное занятие, на котором преподавателем подводятся итоги выполнения работ и после сдачи всех задолженностей производится устный опрос студентов по тематике лабораторного практикума, завершающийся выставлением зачета в зачетную ведомость.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗИСТОРА

Цель работы: Ознакомиться со свойствами, параметрами и характеристиками резистора, приобрести навыки работы с измерительными приборами.

1. ЗАДАНИЕ

1.1. Получите у преподавателя заданные величины сопротивления исследуемого резистора R_z и напряжения гармонического воздействия U_z в соответствии с табл.1.1.

Табл. 1.1.

Исходные данные

Параметры\ № варианта	1	2	3	4	5	6	7	8
$R_z, \text{Ом}$	2,2	6,8	7.4	10.0	10.2	10.4	11,0	12.0
$U_z, \text{В}$	1	2	3	4	5	6	7	8

- 1.2. Проведите эксперимент по определению тока резистора R при заданном гармоническом воздействии. По результатам измерений рассчитайте активную мощность P резистора, а также расчетное сопротивление R_p резистора. Сравните величины заданного сопротивления R_z и расчетного сопротивления R_p .
- 1.3. Получите экспериментальным путем вольт-амперную характеристику (ВАХ) резистора по действующим значениям $I(U)$. Постройте график расчетной ВАХ на одном поле с графиком экспериментальной ВАХ.
- 1.4. Получите на экране осциллографа кривые мгновенных значений тока $i(t)$ и напряжения $u(t)$. Распечатайте полученную осциллограмму.
- 1.5. Получите осциллограмму ВАХ резистора по мгновенным значениям $i(u)$ в фазовой плоскости. Распечатайте полученную осциллограмму.
- 1.6. Постройте на комплексной плоскости векторную диаграмму тока I и напряжения U исследуемого резистора

- 1.7. По заданному напряжению U_3 рассчитайте и постройте зависимости мгновенных значений тока $I(t)$, мощности $P(t)$, и энергии $w(t)$.
- 1.8. Сравните экспериментальные и расчетные результаты. Сформулируйте выводы о проделанной работе.

2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ. СХЕМА И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕЗИСТОРА

Резистор (рис.1.1) представляет собой элемент электрической цепи, служащий для поглощения электромагнитной энергии. Характеризуется величиной сопротивления R . Номинальное значение сопротивления обычно указывается соответствующей маркировкой на корпусе резистора

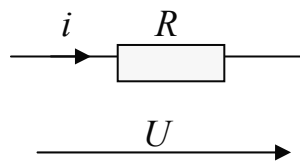


Рис 1.1. Условно-графическое обозначение резистора

Математическая модель резистора отображается следующими уравнениями:

$$u = RI \quad I = Gu \quad G = \frac{1}{R}$$

I - мгновенные значения напряжения и тока;

R, G - величины сопротивления и проводимости резистора;

$$p = UI \quad W = \int_{-\infty}^t p \cdot d\tau = W_0 + \int_0^t p \cdot d\tau$$

P, W - мгновенные значения мощности и энергии.

W_0 - начальное значение энергии.

Расчетные формулы для гармонического режима следующие:

$$u(t) = U_m \sin(\omega t) \quad i(t) = I_m \sin(\omega t) \quad I_m = \frac{U_m}{R}$$

$$I = \frac{U}{R} \quad P = UI \quad P = \frac{U^2}{R} \quad P = I^2 R$$

$$W(t) = UI t - \frac{UI}{2\omega} \sin(2\omega t)$$

где $\omega = 2\pi f$, f - частота гармонического напряжения;

U_m, I_m - амплитудные значения напряжения и тока;

I, U - действующие значения напряжения и тока;

p, P - мгновенная и средняя (активная) мощность.

3. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

3.1. Установить на блоке сопротивлений заданные значения сопротивления исследуемого резистора R_3 .

3.2. Для измерения тока резистора I собрать цепь по схеме, приведенной на рис.1.2. при отсутствии напряжения питания

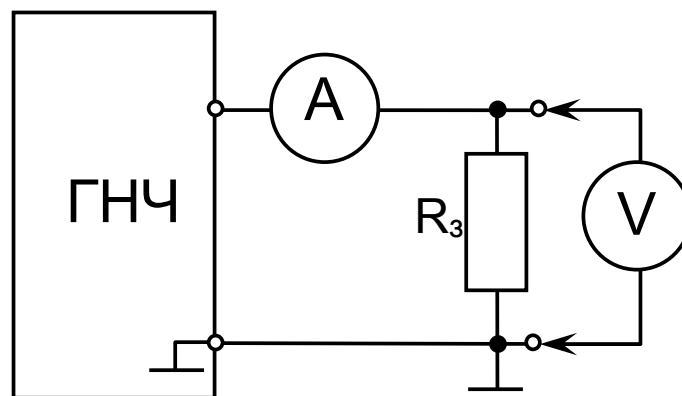


Рис. 1.2. Схема для измерения тока резистора

3.3. Перед началом эксперимента проверить правильность собранной схемы, установить ручку регулирования напряжения на выходе генератора в начальное положение, доложить преподавателю о готовности к работе. После проверки схемы преподавателем подать напряжение питания на генератор и установив заданное значение U_3 (см. табл.1.1.).

- 3.4. Для установки на выходе генератора заданного гармонического напряжения U_3 необходимо использовать мультиметр в режиме измерения переменного напряжения, предварительно установив соответствующий предел измерения.
- 3.5 Величину тока I снять с помощью мультиметра, который необходимо включить в режим измерения переменного тока, установив необходимый предел измерения.
- 3.6. Результаты измерений и расчета занести в табл.1.2. Сравнить величины заданного сопротивления R_3 и расчетного сопротивления R_p .

Табл. 1.2.

Результаты измерений и расчета параметров резистора

Измерение		Расчет	
$U_3, В$	$I, А$	$R_p, Ом$	$P, Вт$

- 3.7. ВАХ резистора по действующим значениям $I(U)$ снять по схеме, представленной на рис.1.3. по 5-7 точкам в диапазоне напряжении от минимального значения U_{min} до заданного U_3 . Результаты измерений занести в табл.1.3. Построить график расчетной ВАХ, на который нанести экспериментальные точки.

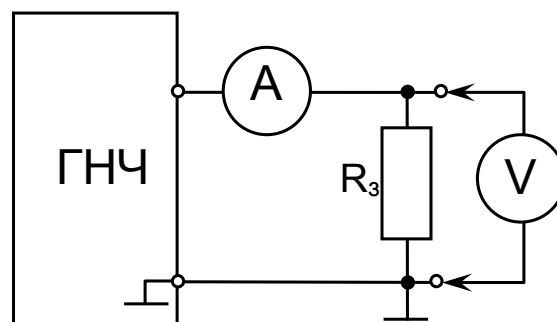


Рис.1.3. Схема для измерения ВАХ $I(U)$ резистора

Экспериментальная ВАХ $I(U)$ резистора

Измерение	U, B							
	I, A							

3.8. Осциллограммы мгновенных значений тока $I(t)$ и напряжения $U(t)$ снять используя схему на рис.1.4. В этом случае осциллограф использовать в двухканальном режиме, предварительно совместив линии развертки обоих каналов с горизонтальной осью масштабной сетки. На вход первого канала $Y1$ подается напряжение $u(t)$ на резисторе R_3 . На вход второго канала $Y2$ подать напряжение $u(t)$ с токосъемного резистора R_m , пропорциональное току $i(t)$ через резистор R_3 : $u(t) = R_T i(t)$. При этом для уменьшения погрешности измерений величина R_T не должна превышать $(0.05-0.1)R_3$. Осциллограммы распечатать.

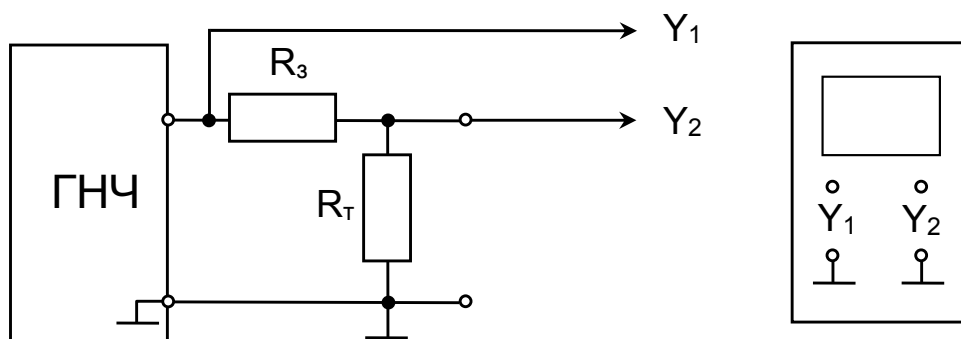


Рис. 1.4. Схема для снятия осциллограмм тока $i(t)$ и напряжения $u(t)$ резистора.

3.9. По полученным осциллограммам $i(t)$ определить наличие сдвига фаз между током и напряжением.

3.10. ВАХ резистора по мгновенным значениям $I(U)$ в фазовой плоскости снять по схеме, представленной на рис.1.5. В этом случае развертка осциллографа выключается, луч осциллографа устанавливается в начало координат масштабной сетки и на вход X подается напряжение $u(t)$ на резисторе R_3 , на вход $Y1$ - напряжение $u(t)$ с токосъемного

резистора R_T . пропорциональное току $i(t)$ через резистор R_3 .
Осциллограмму распечатать.

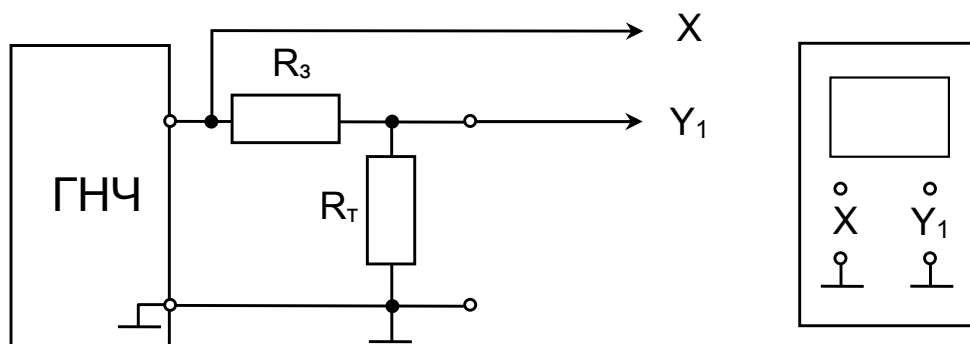


Рис.1.5. Схема для снятия $VAX I(U)$ резистора в фазовой плоскости

- 3.11. При формулировании выводов дать анализ экспериментальных и расчетных результатов.
- 3.12. По окончании работы отключить питание, установить ручку в начальное положение, выключить все приборы стенда, демонтировать все соединительные провода, доложить преподавателю о завершении работы. Сдать соединительные провода и настоящие методические указания, а также предъявить рабочее место лаборанту или преподавателю.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

- 4.1. Что называется активным сопротивлением? Его физическая сущность.
- 4.2. Как соотносятся по фазе протекающий через резистор ток и напряжение на резисторе?
- 4.3. Дайте определение мгновенных, действующих, средних, амплитудных значений периодических сигналов. Напишите их основные формулы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2. ИССЛЕДОВАНИЕ КОНДЕНСАТОРА

Цель работы: ознакомиться со свойствами, параметрами и характеристиками конденсатора.

1. ЗАДАНИЕ

1.1. Получите у преподавателя заданные величины емкости исследуемого конденсатора C_3 и напряжения гармонического воздействия U_3 в соответствии с табл.2.1.

Табл. 2.1.

Исходные данные

Параметры\ N варианта	1	2	3	4	5	6	7	8
C_3 , мкф	10	20	30	40	50	60	70	80
U_3 , В	1	2	3	4	5	6	7	8

- 1.2. Проведите эксперимент по определению тока конденсатора I_c сдвига фаз между напряжением и током при заданном гармоническом воздействии. По результатам измерений рассчитайте активную и реактивную Q мощности конденсатора, а также расчетную емкость конденсатора. Сравните величины заданной емкости C_3 и расчетной ёмкости C_p .
- 1.3. Снимите экспериментальным путем вольт-амперную характеристику (ВАХ) конденсатора по действующим значениям $I(U)$. Постройте график расчетной ВАХ на одном поле с графиком экспериментальной ВАХ.
- 1.4. Получите на экране осциллографа кривые мгновенных значений тока $i(t)$ и напряжения $u(t)$. Распечатайте осциллограммы.
- 1.5. Получите осциллограмму ВАХ конденсатора по мгновенным значениям $i(u)$ в фазовой плоскости (фазовый портрет конденсатора). Распечатайте осциллограмму.

- 1.6. Постройте на комплексной плоскости векторную диаграмму тока I и напряжения U исследуемого конденсатора.
- 1.7. По заданным значениям напряжения U_3 и емкости C_3 рассчитайте и постройте зависимости мгновенных значений тока $i(t)$, напряжения $u(t)$, мощности $p(t)$, энергии $w(t)$.
- 1.8. Сравните экспериментальные и расчетные результаты. Сформулируйте выводы о проделанной работе.

2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ, СХЕМА И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНДЕНСАТОРА

Конденсатор (рис.2.1) представляет собой элемент электрической цепи, служащий для накопления и передачи электрической энергии. Характеризуется параметром C - емкостью. Номинальная величина емкости указывается соответствующей маркировкой на корпусе конденсатора. Обозначение конденсатора по ГОСТ 2.721-74 приведено на рис.2.1 (два параллельных прямых отрезка длиной 8 мм с зазором 2 мм).

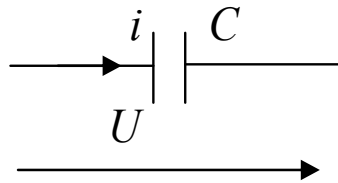


Рис. 2.1. Схема конденсатора

Математическая модель конденсатора отображается следующими уравнениями:

$$u(t) = U_m \sin(\omega t) \quad i(t) = C \frac{du(t)}{dt} \quad p = ui \quad w = \frac{Cu^2}{2}$$

где $u(t)$, $i(t)$ - мгновенные значения напряжения и тока;

p , w - мгновенные значения активной мощности и энергии.

Расчетные формулы для гармонического режима следующие:

$$I = Y_c U, \quad Y_c = g + jb = i\omega C, \quad S = jQ = UIe^{-j\varphi}, \quad \varphi_u = \varphi_i - \varphi, \quad \varphi = \frac{\pi}{2}$$

Характерным свойством идеального конденсатора является опережающий сдвиг по фазе тока по отношению к напряжению.

3. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

- 3.1. Установить заданное значение емкости исследуемого конденсатора C_3 .
- 3.2. Для измерения тока конденсатора I_c и напряжения U_c собрать электрическую цепь по схеме, приведенной на рис.2.2, при отсутствии напряжения питания. Для измерения разности фаз между током и напряжением конденсатора использовать осциллограф, для чего собрать схему, представленную на рис.2.4. Для оценки сдвига фаз использовать соотношение $\varphi=360 \cdot f \cdot \Delta t$, где f – частота напряжения, Δt – временной сдвиг между осциллограммами напряжения и тока конденсатора.

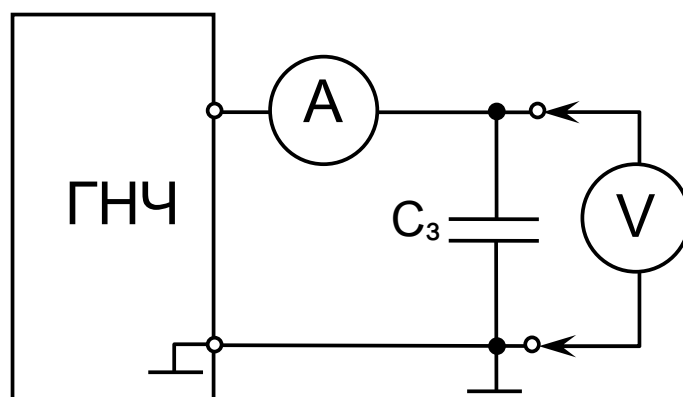


Рис.2.2. Схема для измерения тока I_c и напряжения U_c конденсатора

- 3.3. Перед началом эксперимента проверить правильность собранной схемы, установить ручку регулирования напряжения генератора в начальное положение. доложить преподавателю о готовности к работе. После проверки схемы преподавателем подать напряжение питания с генератора, установив заданное значение напряжения U_3 (см. табл.2.1).
- 3.4. Для установки на выходе генератора заданного гармонического напряжения U_3 необходимо использовать мультиметр в режиме измерения переменного напряжения, предварительно установив соответствующий предел измерения.
- 3.5. Величину тока I снять с помощью мультиметра, который необходимо включить в режим измерения переменного тока, установив

необходимый предел измерения.

3.6. Результаты измерений и расчета занести в табл.2.2. Сравнить величины заданной емкости C_3 и расчетной емкости C_p .

Табл.2.2.

Результаты измерений и расчета параметров конденсатора

Измерение			Расчет		
$U_3, В$	$I_c, А$	$\varphi, ^\circ$	$C_p, мкФ$	$P, Вт$	$Q, ВА$

3.7. ВАХ конденсатора по действующим значениям $I(U)$ снять по схеме, представленной на рис.2.3, по 5-7 точкам в диапазоне напряжений от минимального значения U_{min} до заданного U_3 . Результаты измерений занести в табл.2.3. Построить график расчетной ВАХ, на который нанести экспериментальные точки.

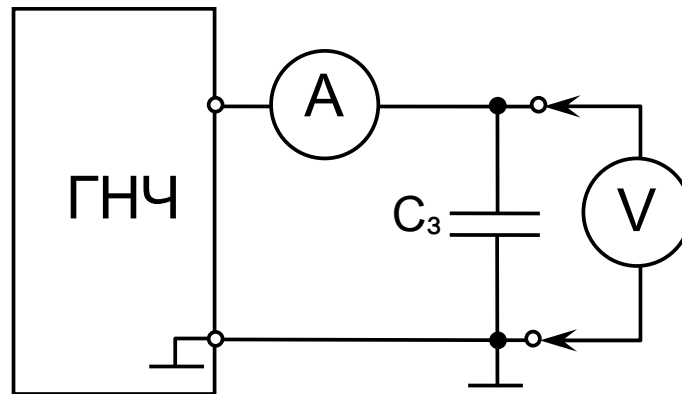


Рис.2.3. Схема для измерения ВАХ $I(U)$ конденсатора

Табл.2.3.

Экспериментальная ВАХ $I(U)$ конденсатора

Измерение	$U, В$							
	$I, А$							

3.8. Осциллограммы мгновенных значений тока $i(t)$ и напряжения $u(t)$ снять, используя схему на рис.2.4. В этом случае осциллограф использовать в двухканальном режиме, предварительно совместив с горизонтальной осью масштабной сетки. На вход первого канала Y_1 подается напряжение $u(t)$ на конденсаторе C_3 . На вход второго канала Y_2 подать напряжение $u(t)$ с токоъемного резистора R_m , пропорциональное току $i(t)$ через конденсатор C_3 : $u_m(t)=R_m i(t)$. При этом для уменьшения погрешности измерений величина u_m не должна превышать $(0.05-0.1)u_3$. Осциллограммы распечатать.

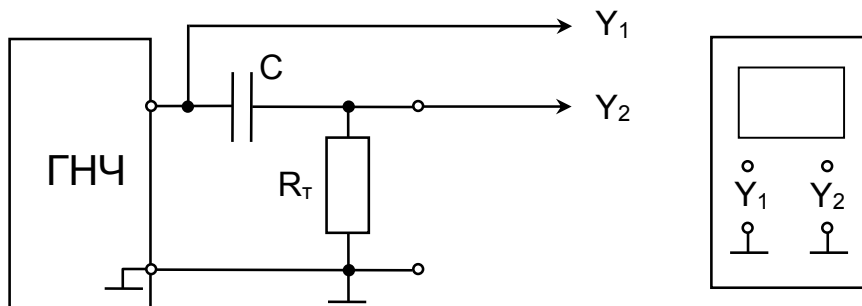


Рис.2.4. Схема для снятия осциллограмм тока $i(t)$ и напряжения $u(t)$ конденсатора

3.10. ВАХ конденсатора по мгновенным значениям $I(U)$ в фазовой плоскости снять по схеме, представленной на рис.5. В этом случае развертка осциллографа выключается, луч осциллографа устанавливается в начало координат масштабной сетки и на вход X подается напряжение $u(t)$ на конденсаторе C_3 , на вход Y_1 - напряжение $u(t)$, пропорциональное току $i(t)$ через конденсатор C_3 . Осциллограмму распечатать.

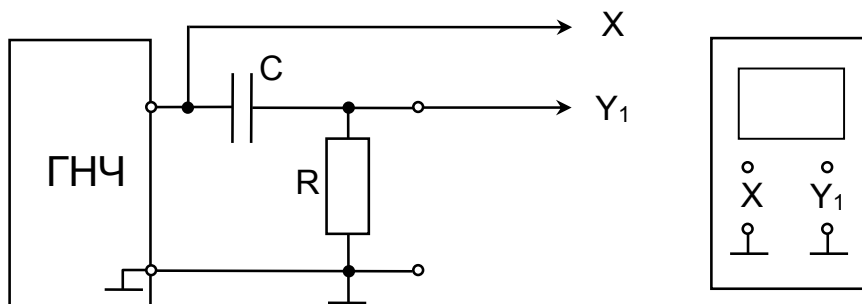


Рис. 2.5. Схема для снятия ВАХ $i(u)$ конденсатора в фазовой плоскости

- 3.11. При формулировании выводов дать анализ полученных результатов.
- 3.12. По окончании работы отключить питание, установить ручку в начальное положение, выключить все приборы стенда, демонтировать все соединительные провода, доложить преподавателю о завершении работы. Сдать соединительные провода и настоящие методические указания, а также предъявить рабочее место лаборанту или преподавателю.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется емкостью конденсатора? Его физическая сущность?
2. Как соотносится по фазе протекающий через конденсатор ток и напряжение на конденсаторе?
3. Назовите области применения и назначение конденсаторов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3. ИССЛЕДОВАНИЕ КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ

Цель работы: ознакомиться со свойствами, параметрами и характеристиками катушки индуктивности.

1. ЗАДАНИЕ

1.1. Получите у преподавателя заданные величины индуктивности исследуемой катушки L_3 и напряжения гармонического воздействия U_3 в соответствии с табл.2.1.

Табл. 3.1.

Исходные данные

Параметры\ N варианта	1	2	3	4	5	6	7	8
L_3 , мГн	40	44	48	52	50	54	58	64
U_3 , В	1	2	3	4	5	6	7	8

- 1.2. Проведите эксперимент по определению тока катушки индуктивности I_L и сдвига фаз между напряжением и током при заданном гармоническом воздействии. По результатам измерений рассчитайте активную P и реактивную Q мощности катушки индуктивности, а также расчетную индуктивность L_p катушки и ее активное (резистивное) сопротивление R . Сравните величины заданной индуктивности L_3 и расчетной индуктивности катушки L_p .
- 1.3. Снимите экспериментальным путем вольт-амперную характеристику (ВАХ) катушки индуктивности по действующим значениям $I(U)$. Постройте график расчетной ВАХ на одном поле с графиком экспериментальной ВАХ.
- 1.4. Получите на экране осциллографа кривые мгновенных значений тока $i(t)$ и напряжения $u(t)$. Распечатайте осциллограммы.
- 1.5. Получите осциллограмму ВАХ конденсатора по мгновенным значениям $i(u)$ в фазовой плоскости (фазовый портрет катушки

- индуктивности). Распечатайте осциллограмму.
- 1.6. Постройте на комплексной плоскости векторную диаграмму тока I и напряжения U исследуемой катушки индуктивности.
 - 1.7. По заданным значениям напряжения U_3 и емкости L_3 рассчитайте и постройте зависимости мгновенных значений тока $i(t)$, напряжения $u(t)$, мощности $p(t)$, энергии $w(t)$.
 - 1.8. Сравните экспериментальные и расчетные результаты. Сформулируйте выводы о проделанной работе.

2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ, СХЕМА И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ

Катушка индуктивности (рис.3.1) представляет собой элемент электрической цепи, служащий для накопления и передачи электромагнитной энергии. Характеризуется параметром L – индуктивностью. Номинальная величина индуктивности указывается соответствующей маркировкой на корпусе катушки. Обозначение катушки индуктивности по ГОСТ 2.721-74 приведено на рис.3.1.

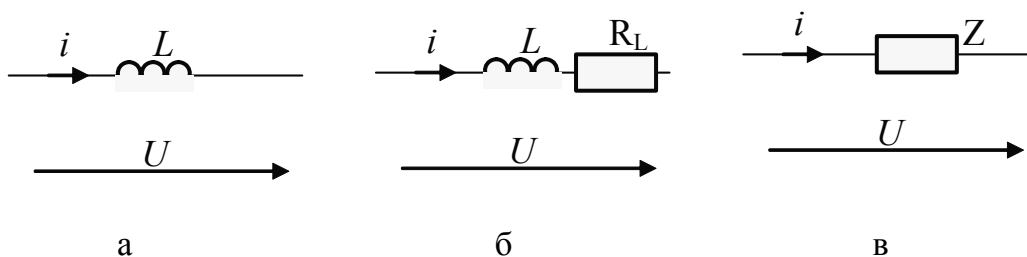


Рис. 3.1. Принципиальная схема катушки индуктивности (а) и ее схемы замещения: временная (б), комплексная (в)

Математическая модель катушки индуктивности отображается следующими уравнениями:

$$i(t) = I_m \sin(\omega t) \quad U(t) = L \frac{di(t)}{dt} + R_L i \quad p = ui \quad w = \frac{Li^2}{2}$$

где $u(t)$, $i(t)$ - мгновенные значения напряжения и тока;

p , w - мгновенные значения активной мощности и энергии.

Расчетные формулы для гармонического режима следующие:

$$I = Y_c U, \quad Y_c = g + jb = i\omega C, \quad S = jQ = UIe^{-j\varphi}, \quad \varphi_u = \varphi_i - \varphi, \quad \varphi = \frac{\pi}{2}$$

Характерным свойством идеальной катушки индуктивности является опережающий сдвиг по фазе напряжения по отношению к току.

3. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

- 3.1. Установить заданное значение индуктивности исследуемой катушки индуктивности L_3 .
- 3.2. Для измерения тока катушки I_L и напряжения U_L собрать электрическую цепь по схеме, приведенной на рис.3.2, при отсутствии напряжения питания. Для измерения разности фаз между током и напряжением катушки использовать осциллограф, для чего собрать схему, представленную на рис.3.3. Для оценки сдвига фаз использовать соотношение $\varphi = 360f \cdot \Delta t$, где f – частота напряжения, Δt – временной сдвиг между осциллограммами напряжения и тока конденсатора.

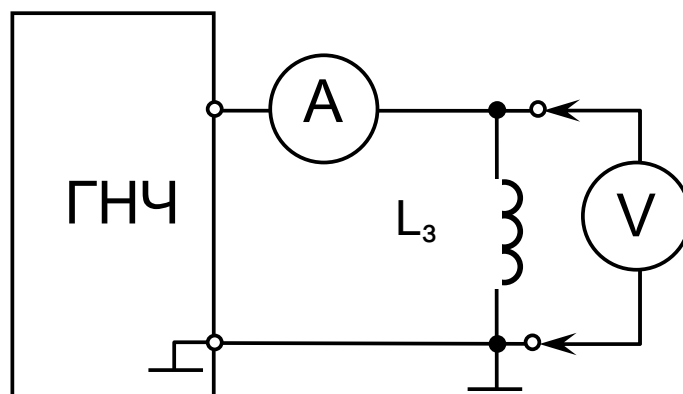


Рис.3.2. Схема для измерения тока I_L и напряжения U_L катушки

- 3.3. Перед началом эксперимента проверить правильность собранной схемы, установить ручку регулирования напряжения генератора в начальное положение. доложить преподавателю о готовности к работе. После проверки схемы преподавателем подать напряжение питания с генератора, установив заданное значение напряжения U_3 (см. табл.3.1).
- 3.4. Для установки на выходе генератора заданного гармонического напряжения U_3 необходимо использовать мультиметр в режиме измерения переменного напряжения, предварительно установив соответствующий предел измерения.

3.5. Величину тока I снять с помощью мультиметра, который необходимо включить в режим измерения переменного тока, установив необходимый предел измерения.

3.6. Результаты измерений и расчета занести в табл.2.2. Сравнить величины заданной индуктивности L_3 и расчетной индуктивности L_p .

Табл.3.2.

Результаты измерений и расчета параметров катушки

Измерение			Расчет		
$U_3, В$	$I_L, А$	$\varphi, ^\circ$	$L_p, мкФ$	$P, Вт$	$Q, ВА$

3.7. ВАХ катушки по действующим значениям $I(U)$ снять по схеме, представленной на рис.3.3, по 5-7 точкам в диапазоне напряжений от минимального значения U_{min} до заданного U_3 . Результаты измерений занести в табл.3.3. Построить график расчетной ВАХ, на который нанести экспериментальные точки.

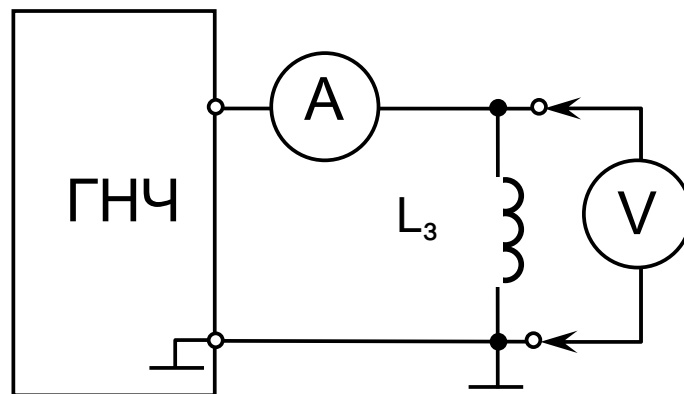


Рис.3.3. Схема для измерения ВАХ $I(U)$ катушки

Табл.3.3.

Экспериментальная ВАХ $I(U)$ катушки

Измерение	$U, В$							
	$I, А$							

3.8. Осциллограммы мгновенных значений тока $i(t)$ и напряжения $u(t)$ снять, используя схему на рис.3.4. В этом случае осциллограф использовать в двухканальном режиме, предварительно совместив с горизонтальной осью масштабной сетки. На вход первого канала Y_1 подается напряжение $u(t)$ на катушк L_3 . На вход второго канала Y_2 подать напряжение $u(t)$ с токосъемного резистора R_m , пропорциональное току $i(t)$ через катушку L_3 : $u_m(t)=R_m i(t)$. При этом для уменьшения погрешности измерений величина u_m не должна превышать $(0.05-0.1)u_3$. Осциллограммы распечатать.

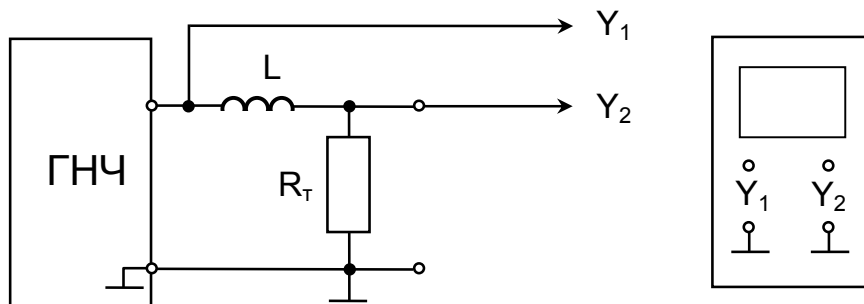


Рис.3.4. Схема для снятия осциллограмм тока $i(t)$ и напряжения $u(t)$ катушки

3.10. ВАХ катушки по мгновенным значениям $I(U)$ в фазовой плоскости снять по схеме, представленной на рис.3.5. В этом случае развертка осциллографа выключается, луч осциллографа устанавливается в начало координат масштабной сетки и на вход X подается напряжение $u(t)$ на катушке L_3 , на вход Y_1 - напряжение $u(t)$, пропорциональное току $i(t)$ через катушку L_3 . Осциллограмму распечатать.

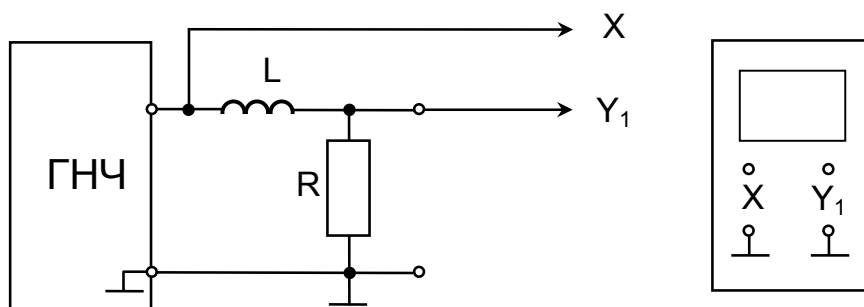


Рис. 3.5. Схема для снятия ВАХ $i(u)$ катушки в фазовой плоскости

3.11. При формулировании выводов дать анализ полученных результатов.

3.12. По окончании работы отключить питание, установить ручку в начальное положение, выключить все приборы стенда, демонтировать все соединительные провода, доложить преподавателю о завершении работы. Сдать соединительные провода и настоящие методические указания, а также предъявить рабочее место лаборанту или преподавателю.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 4.1. Что называется индуктивностью катушки? Ее физический смысл?
- 4.2. Как соотносятся по фазе протекающий через катушку ток и напряжение на катушке?
- 4.3. Назовите области применения и назначение катушки индуктивности.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОИНДУКТИВНОСТЕЙ

Цель работы: Исследовать взаимоиндуктивности воздушного (без магнитного сердечника) двухобмоточного трансформатора и последовательное соединение двух взаимосвязанных катушек индуктивности.

1. ЗАДАНИЕ

1.1. Получите у преподавателя лабораторный макет взаимоиндуктивностей №5 и заданные величины индуктивностей катушек L_1 и L_2 частоты f и напряжения U гармонического воздействия в соответствии с табл. 1.

Таблица 1.

Исходные данные

Параметры\ № варианта	1	2	3	4	5	6	7	8
$L_1, \text{мГн}$	40	44	48	52	50	54	58	64
$L_2, \text{мГн}$	25	30	40	45	30	50	48	30
$U_3, \text{В}$	1,0	2	3	4	5	6	7	8

1.2. Проведите эксперимент по определению параметров схемы значения воздушного трансформатора способом холостого хода при заданном гармоническом воздействии. Сравните величины заданных и расчётных индуктивностей катушек L_1 и L_2 .

1.3. Определите экспериментальным путем одноименные зажимы (начало и конец обмотки) катушек индуктивности воздушного трансформатора для способа холостого хода.

- 1.4. Снимите экспериментальным путем нагрузочную характеристику воздушного трансформатора Ku (I_2). Постройте ее график.
- 1.5. Проведите эксперимент по определению параметров схемы замещения воздушного трансформатора способом последовательного соединения двух индуктивно-связанных катушек при гармоническом воздействии. Сравните величины заданных и расчетных индуктивностей катушек L_1 и L_2 .
- 1.6. Определите экспериментальным путем одноименные зажимы катушек индуктивности воздушного трансформатора для способа последовательного соединения двух индуктивно-связанных катушек.
- 1.7. Постройте векторные диаграммы токов и напряжений для последовательного соединения катушек индуктивности при согласном и встречном их включении
- 1.8. Сравните параметры схемы замещения найденные по п.1.2, с результатами, полученными по п. 1.5. Оцените точность каждого способа определения параметров.
- 1.9. Сформулируйте выводы о проделанной работе.

2. СХЕМА И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОЗДУШНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

В качестве модели трансформатора применим схему замещения на основе взаимосвязанных катушек индуктивности (рис.1).

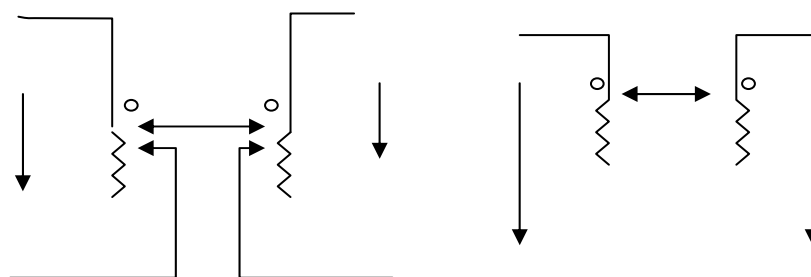


Рис. 1. Принципиальная схема (а) и схема замещения (б) воздушного



Точка на схемах рис. 1 обозначает начало обмоток трансформатора.

Трансформатор характеризуется коэффициентами, которые определяются на холостом ходу:

$$K_{12} = \frac{U_{2x}}{U_1} \quad K_{21} = \frac{U_{1x}}{U_2}$$

где K_{12} - коэффициент трансформации напряжения с первичной обмотки (L_1) во вторичную (L_2)

K_{21} - коэффициент трансформации напряжения обмотки (L_2) в первичную (L_1):

U_{2x} - напряжение на разомкнутой (при холостом ходе) вторичной обмотке при подаче на первичную обмотку напряжения U_1 ;

U_{1x} - напряжение на разомкнутой первичной обмотке при подаче на вторичную обмотку напряжения U_2 .

Параметры элементов схемы замещения могут быть определены двумя способами

Первый способ- способ холостого хода.

Активные (резистивные) сопротивления R измеряются мультиметром. Величины индуктивностей L_1 и L_2 определяются расчетным путем по модулям комплексных сопротивлений Z_1 и Z_2 катушек индуктивности.

$$L1 = \frac{1}{\omega} \sqrt{Z1^2 - (R_{L1})^2} \qquad L2 = \frac{1}{\omega} \sqrt{Z1^2 - (R_{L2})^2}$$

Где $\omega = 2\pi f$ - круговая частота.

Коэффициенты взаимной индукции M_{12} и M_{21} определяются по формулам:

$$M_{12} = \frac{U_{2x}}{I_1} \qquad M_{21} = \frac{U_{1x}}{I_2}$$

где M_{12} - коэффициент индуктивного воздействия первой катушки на вторую;

M_{21} - коэффициент индуктивного воздействия второй катушки на первую;

I_1, I_2 - токи первой и второй катушек, соответственно.

Второй способ использует результаты исследования последовательного соединения катушек индуктивности.

Формулы в этом случае следующие:

$$Z_{bx} = \frac{U}{I} \quad Z_1 = \frac{U_1}{I_1} \quad Z_2 = \frac{U_2}{I_2}$$

$$x_1 = \sqrt{Z_1^2 - (R_{L1})^2} \quad x_2 = \sqrt{Z_2^2 - (R_{L2})^2}$$

$$L_1 = \frac{x_{1co} - x_{1bc}}{2\omega} \quad L_2 = \frac{x_{2co} - x_{2bc}}{2\omega}$$

$$M = \frac{x_{1co} - x_{1bc}}{4\omega} = \frac{x_{2co} - x_{2bc}}{4\omega}$$

где Z_{bx} - входное сопротивление (модуль) последовательного соединения двух катушек

Z_1, Z_2 - сопротивления первой и второй катушек индуктивности соответственно;

X_1, X_2 - реактивные сопротивления катушек индуктивности:

$M = M_{12} = M_{21}$ - коэффициент взаимной индукции.

Индексы "согл", "встр" означают согласное и встречное включение катушек индуктивности, соответственно.

Коэффициент связи двух катушек определяется по формуле:

$$K_{cb} = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

3. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

- 3.1. Установить заданные величины индуктивностей L_1 и L_2 на лабораторном макете N5. сопротивления токосъемного резистора $R_T = 1$. Ом на блоке сопротивлений.
- 3.2. Для определения параметров схемы замещения воздушного трансформатора способом холостого хода собрать электрическую цепь по схеме, приведенной на рис.2. при отсутствии выходного напряжения с генератора.

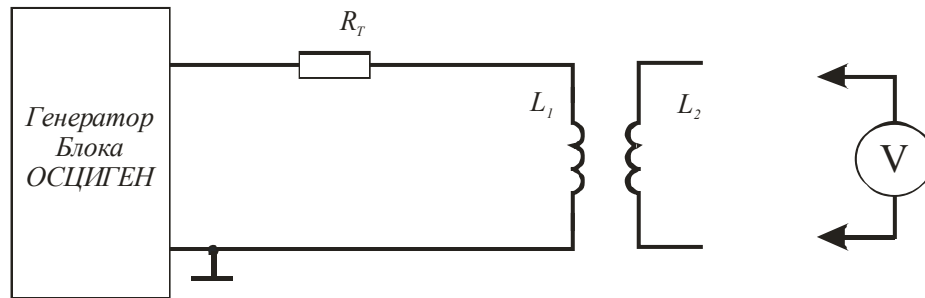


Рис.2. Схема для исследования воздушного трансформатора способом холостого хода

- 3.3. Перед началом эксперимента проверит правильность собранной схемы, установить ручку регулирования выходного напряжения генератора в начальное положение, доложить преподавателю о готовности к работе. После проверки схемы преподавателем подать напряжение с генератора установив заданную величину U_1 (U_2) и частоту f .
- 3.4. Для установки на выходе генератора заданного гармонического напряжения U_1 (U_2) необходимо использовать мультиметр в режиме измерения переменного напряжения, предварительно установив соответствующий предел измерения. Погрешность выставленного напряжения не более 5%.
- 3.5. Провести измерение параметров воздушного трансформатора. результаты которого занести в табл.2. При этом сопротивления R измерить мультиметром: величину токов I_1 , I_2 определить расчетным путем, измерив напряжение U_T на токосъемном резисторе R_T ($I_{1,2} = L_2$

U_T/R_T); напряжения U_{1x} , U_{2x} измерить при холостом ходе соответствующих обмоток воздушного трансформатора.

- 3.6. По результатам измерений рассчитать параметры воздушного трансформатора и занести их в табл.2. Сравнить величины заданных и расчетных индуктивностей катушек L_1 и L_2 .
- 3.7. Одноименные зажимы катушек индуктивности L_1 и L_2 определить с помощью двухлучевого осциллографа. Для этого собрать электрическую цепь по схеме, предоставленной на рис.3.

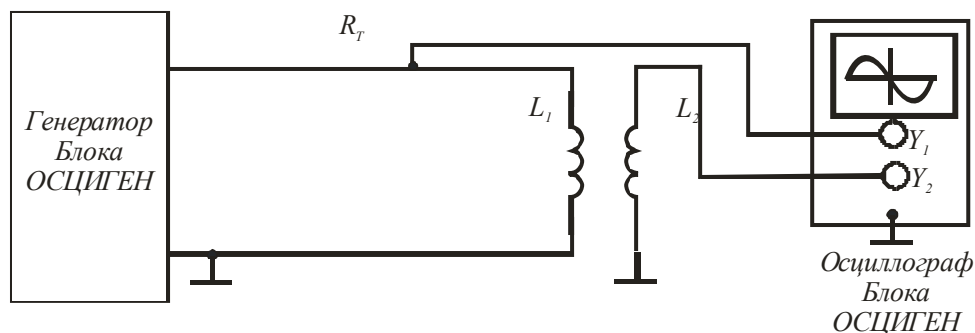


Рис.3. Схема для определения одноименных зажимов катушек индуктивности для способа холостого хода

- 3.8. Получить на экране осциллографа кривые мгновенных значений входного $u_1(t)$ и выходного $u_2(t)$ напряжений, предварительно совместив линии развертки обоих каналов осциллографа с горизонтальной осью масштабной сетки. Распечатать полученные кривые. Зафиксировать сдвиг по фазе между входным $u_1(t)$ и выходным $u_2(t)$ напряжением.
- 3.9. Поменять зажимы вторичной обмотки (катушки индуктивности L_2 между собой и повторить эксперимент по п. 3. 8. Тот вариант включения, при котором сдвиг по фазе меньше $\pi/2$ (сигналы находятся в "фазе"), является согласным включением, а зажимы катушек, соответствующие началу (концу) условно положительных направлений напряжений считаются одноименными. Другой вариант включения, при котором сдвиг по фазе близок к π (сигналы находятся в "противофазе"), является встречным включением.

3.10. Результаты определения одноименных зажимов зафиксировать в протоколе исследований (отчете). При этом необходимо подтвердить (или не подтвердить) правильность соответствующих обозначений на макете.

3.11. Нагрузочную характеристику воздушного трансформатора зависимость коэффициента передачи $K_u = U_2/U_1$ по напряжению от тока нагрузки $I_2 = U_2/R_H$ - снять по схеме, приведенной на рис.3. Значения нагрузочного резистора R_H устанавливать на блоке сопротивлений. Результаты измерений занести в табл.3. Построить график нагрузочной характеристики $K_u(I_2)$.

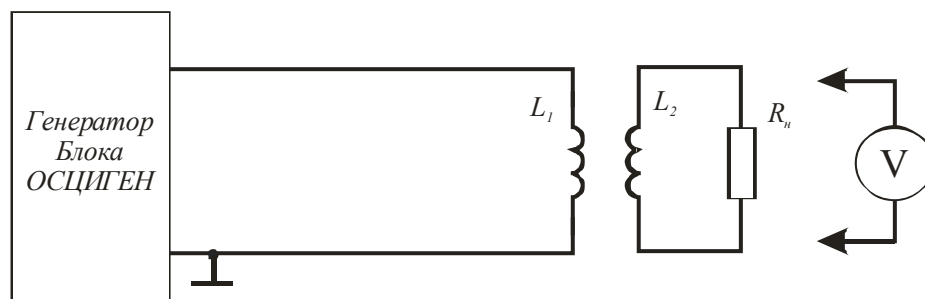


Рис.3. Схема для снятия нагрузочной характеристики воздушного трансформатора

Таблица 3.

Экспериментальная нагрузочная характеристика воздушного трансформатора

Измерение			Расчет	
$U_1, В$	$U_2, В$	$R_H, Ом$	$I_2, А$	K_u
		10		
		30		

		50		
		70		
		90		
		00		

3.12. Для определения параметров схемы замещения воздушного трансформатора способом последовательного соединения двух индуктивно-связанных катушек собрать электрическую цепь сначала по первому варианту (рис.4), затем по второму варианту (рис.5).

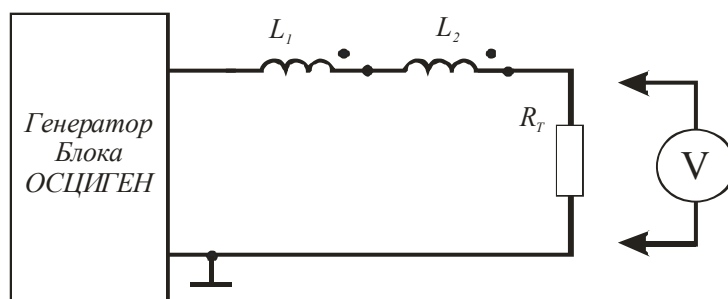


Рис.4. Первый вариант последовательного соединения катушек индуктивности

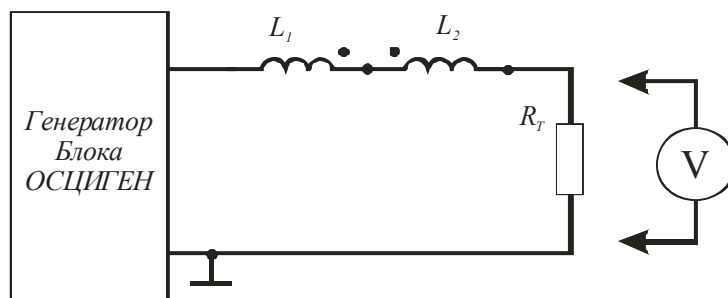


Рис.5. Второй вариант последовательного соединения катушек индуктивности

3.13. Провести измерение параметров U, I, U_1, U_2 для каждого варианта. результаты которого занести в табл 4. Величину тока I определить расчетным путем. Определить тип включения катушек индуктивности в каждой из схем по величине измеренного тока I .

Таблица 4.

Результат измерений при последовательном соединении катушек индуктивности

№ Варианта	$U, В$	$I, А$	$U_1, В$	$U_2, В$	Тип включения
1					
2					

- 3.14. По результатам измерений рассчитать параметры схемы замещения и занести их в табл.5. Сравнить величины заданных и расчетных индуктивностей катушек L_1 и L_2 .
- 3.15. Одноименные зажимы катушек индуктивности определить, исходя из типа включения. Результаты зафиксировать в протоколе исследований (отчете). При этом необходимо подтвердить (или не подтвердить) правильность соответствующих обозначений на макете.
- 3.16. Для построения векторной диаграммы токов и напряжения последовательного соединения катушек индуктивности заполнить табл.6.

Таблица 6.

Напряжения на элементах схемы замещения взаимосвязанных катушек индуктивности при последовательном включении

Тип вклю чения	$I, А$	$U, В$	$U_{L1}, В$	$U_{RL12}, В$	$U_{L2}, В$	$U_{RL2}, В$
Согласное						
Встречное						

3.17. Расчет напряжений производить по формулам:

$$U_{L1} = wL1I \quad U_{L2} = wL2I \quad U_{RL1} = R_{L1} I$$

$$U_{RL2} = R_{L2} I \quad U_m = wMI$$

3.18. Векторную диаграмму построить в масштабе.

3.19. Сравнить результаты, полученные способом холостого хода (табл.2) и способом последовательного соединения катушек индуктивности (табл.5). Оценить точность каждого способа определения параметров.

3.20. При формулировании выводов дать анализ полученных экспериментальных и расчетных результатов.

3.21. По окончании работы отключить питание, установить ручки регулирования в начальное положение, выключить все приборы и стенд УЛС, демонтировать все соединительные провода, доложить преподавателю о завершении работы. Сдать соединительные провода и настоящие методические указания, а также предъявить рабочее место лаборанту или преподавателю.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

4.1. Что называется трансформатором? Виды трансформаторов, их конструктивные особенности.

4.2. Нарисуйте схемы замещения и условия (соотношение параметров) для идеального, совершенного и реального трансформаторов.

4.3. Назовите и охарактеризуйте способы определения параметров элементов схемы замещения трансформатора.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР

Цель работы: Исследовать частотные характеристики входного сопротивления и коэффициента передачи напряжение последовательного LC - контура.

1. ЗАДАНИЕ

1.1. Получите у преподавателя заданные величины параметров элементов исследуемого контура: индуктивность L и емкость C , в соответствии с табл. 1.

Таблица 1.

Исходные параметры элементов контура

Параметры\№варианта	1	2	3	4	5	6	7	8
L .мГн	2.0	3,0	4.0	5,0	6,0	7,0	8,0	9.0
C .мкф	0.2	0, 1	0.2	0, 1	0.2	0,1	0,2	0,2

1.2. Снимите экспериментальные амплитудно-частотную, (АЧХ) $Z_{ex}(f)$ и фазочастотную (ФЧХ) $\varphi(f)$ характеристики входного сопротивления заданного контура. Определите экспериментальным путем резонансную частоту контура f_o и соответствующее ей входное сопротивление контура Z_o .

1.3. Снимите экспериментальные АЧХ $K_u(f)$ и фЧХ $\varphi_u(f)$ коэффициента передачи напряжения заданного контура. Определите максимум коэффициента передачи напряжения K_{umax} и зафиксируйте соответствующую частоту f_{kmax} .

1.4. Рассчитайте добротность контура Q_p , резонансную частоту f_{op} и частоту f_{kmax} по его параметрам. а также добротность контура Q_s по АЧХ его коэффициента передачи напряжения. Сделайте вывод о соответствии экспериментальных и расчетных параметров контура.

1.5. По заданным значениям индуктивности L и емкости C постройте графики расчетных АЧХ и ФЧХ входного сопротивления $Z_{ex}(f)$, $z(f)$ и коэффициента передачи $K_{uc}(f)$, $K_u(f)$ контура на которые нанесите соответствующие экспериментальные точки АЧХ и ФЧХ.

1.6. Сравните экспериментальные и расчетные результаты сформулируйте выводы о проделанной работе.

2. СХЕМА И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО КОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОНТУРА

Схемы последовательного колебательного контура изображены на рис.1.



Рис.1. Схемы последовательного контура:

а) принципиальная; б) схема замещения

Расчетные параметры и характеристики контура определяются по формулам:

- резонансная частота контура:

$$\omega_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad \omega_0 = 2\pi f_0$$

- добротность контура

$$Q = \omega_0 \frac{L}{R_L} = \frac{1}{\omega_0 C R_L}$$

- АЧХ входного сопротивления контура

$$Z_{\text{вх}}(\omega) = \sqrt{(R_L)^2 + x^2} \quad x = \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \quad \omega = 2\pi f$$

- характеристическое сопротивление контура:

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

- частота, соответствующая максимуму коэффициента передачи:

$$\left(f_{\text{кmax}} = \frac{1}{2\pi} \right) \omega_0 \sqrt{1 - \frac{1}{(2Q)^2}}$$

- - максимум коэффициента передачи:

$$K_{\text{устmax}} = K_{\text{ус}}(f_{\text{кmax}}).$$

3. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

- 3.1. Установить заданные величины индуктивности L , ёмкости C , сопротивлений токосъемного резистора $R_T = 1$ Ом на блоках индуктивностей, емкостей и сопротивлений.
- 3.2. Измерить активное (резистивное) сопротивление R катушки индуктивности с помощью мультиметра. Величину R занести в протокол исследований.

- 3.3. Для снятия экспериментальных АЧХ и ФЧХ входного сопротивления необходимо последовательно собрать соответствующие электрические цепи по схемам представленным на рис. 2, 3. При отсутствии выходного напряжения питания с генератора.
- 3.4. Перед началом эксперимента проверить правильность собранной схемы установить ручку регулирования выходного напряжения генератора в начальное положение, доложить преподавателю о готовности к работе. После проверки схемы преподавателем подать напряжение с генератора, установив минимальную частоту и выходное напряжение $U_I = 5 + 0,2В$
- 3.5. Изменяя частоту генератора в схеме на рис 2 определить экспериментальную резонансную частоту контура $f_{оэ}$ по максимуму тока I в цепи при постоянном уровне входного напряжения U_I . Значение тока рассчитать по формуле: $I = U_T/R_T$ ($I \leq 0,01 А$). Входное сопротивление контура $Z_{вх}$ рассчитать по формуле: $Z_{вх} = U_I/I$.
- 3.6. Для снятия АЧХ входного сопротивления измерить и рассчитать аналогичные параметры контура для фиксированных значений частот (см. табл.2).
- 3.7. Результаты измерений и расчёта занести в табл.2

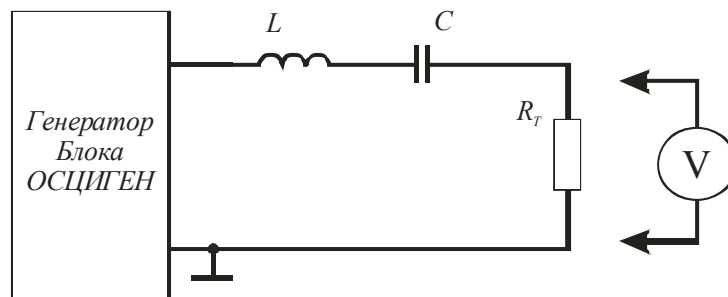


Таблица 2.

**Экспериментальные АЧХ и ФЧХ входного сопротивления
последовательного контура**

Из-	$f/f_{оэ}$	0.1	0,25	0,5	0.7	1	2	3	4
-----	------------	-----	------	-----	-----	---	---	---	---

ме- ре- нне	$f, \text{Гц}$								
	$U_1, \text{В}$								
	$U_T, \text{В}$								
	$\varphi, \text{Град}$								
Рас- чёт	$I, \text{мА}$								
	$Z_{вх}, \text{Ом}$								

3.8. ФЧХ входного сопротивления снять используя схему на рис.3. При подключении фазометра обратить внимание на условно положительные направления напряжения U_1 и тока I . Результаты измерений занести в табл.2.

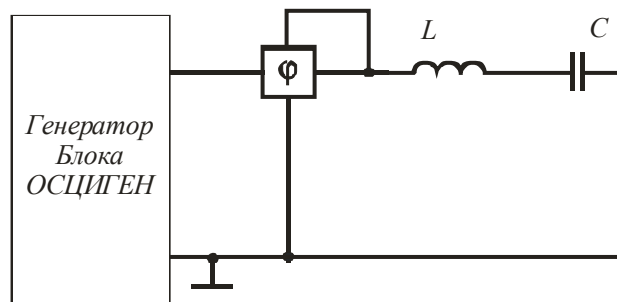


Рис.3. Схема для снятия ФЧХ входного сопротивления последовательного контура

3.9. Для снятия АЧХ и ФЧХ коэффициента передачи напряжения контура собрать электрическую цепь по схеме, представленной на рис.4. Произвести необходимые измерения. Частоту f_{kmax} зафиксировать при максимуме коэффициента передачи $K_{ис}$.

3.10. Результаты измерений и расчета занести в табл.3.

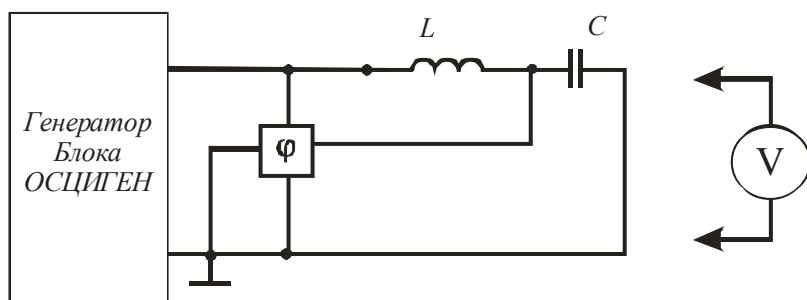


Рис.4. Схема для снятия АЧХ и ФЧХ коэффициента передачи напряжения последовательного контура

Таблица 3.

Экспериментальные АЧХ и ФЧХ коэффициента передачи напряжения, последовательного контура

	f/f_{o3}	0.1	0.25	0.5	0.7	f_{kmax}	1	2	3	4
	$f, Гц$									
Измерения	$U_1, В$									
	$U_2, В$									
	$F_{кв}, град$									
Расчёт	$K_{ис}$									

3. 11. Добротность Q_p , резонансную частоту f_{op} и частоту f_{kmax} контура рассчитать используя теоретические и экспериментальные данные. Значение экспериментальной добротности Q_3 определяются по формуле: $Q_3 = K_{ис}$ при $f = f_{o3}$.
- 3.12. Результаты занести в табл.4. Сравнить величины экспериментальных и расчетных параметров контура.

Таблица 4.

Экспериментальные и расчетные параметры последовательного контура

Q_3		f_{o_3} , Гц		f_{kmax_3} , Гц	
Q_p		f_{o_p} , Гц		f_{kmax_p} , Гц	

3.13. Расчетные АЧХ и ФЧХ входного сопротивления и коэффициента передачи напряжения контура свести в таблицы, аналогичные табл.2. 3. Построить расчетные графики АЧХ и ФЧХ, на которых выделить полосу пропускания контура f . На одном поле с расчетными графиками нанести соответствующие экспериментальные точки АЧХ и ФЧХ.

3.14. При формулировании выводов дать анализ полученных экспериментальных и расчетных результатов.

3.15. По окончании работы отключить питание, установить ручку регулирования в начальное положение выключить все приборы и стенд УЛС. демонтировать ВСЕ соединительные провода доложить преподавателю о завершении работы. Сдать соединительные провода и настоящие методические указания а также предъявить рабочее место лаборанту или преподавателю.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

4.1. Как влияет добротность контура на его резонансную частоту?

4.2. При каких условиях контур работает как избирательный усилитель напряжения.

4.3. Как влияет сопротивление R контура на различие частот?

4.4. Для каких целей применяется последовательный контур в радиотехнике?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР

Цель работы: Исследовать частотные характеристики входного сопротивления и коэффициента передачи по току параллельного LC - контура.

1. ЗАДАНИЕ

1. 1. Получите у преподавателя заданные величины параметров элементов исследуемого контура: индуктивность L и емкость C , в соответствии с табл.1.

Таблица 1.

Исходные параметры элементов контура

Параметры\№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8
$L, мГн$	10	15	20	5	6	,8	9	7
$C, мкф$	0, 1	0. 1	0.2	0.4	0.5	0,6	0,2	0. 1

1.2. Снимите экспериментальные амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) входного сопротивления $Z_{вх}(f)$ и коэффициента передачи по току $K_{ic}(f)$ заданного контура. Определите экспериментальным путем резонансную частоту контура $f_{оэ}$ и соответствующее ей входное сопротивление контура $Z_{оэ}$.

1.3. Снимите экспериментальную фазо-частотную характеристику (ФЧХ) входного сопротивления $Z(f)$ заданного контура.

1.4. Рассчитайте добротность контура Q_p и резонансную частоту $f_{ор}$ по его параметрам а также добротность контура Q_s по АЧХ его коэффициента

передачи по току. Сделайте вывод о соответствии экспериментальных и расчетных результатов.

1.5. По заданным значениям индуктивности L и емкости C постройте графики расчетных АЧХ и ФЧХ входного сопротивления $Z_{ex}(f)$. $Z(f)$ и коэффициента передачи по току $K_{ic}(f)$, $k_i(f)$ контура, на которые нанесите соответствующие экспериментальные точки АЧХ и ФЧХ (кроме экспериментальных точек ФЧХ коэффициента передачи по току $k_i(f)$)

1.6. Сравните экспериментальные и расчетные результаты. Сформулируйте выводы о проделанной работе.

2. СХЕМА И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО КОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОНТУРА

Схемы параллельного колебательного контура изображены на рис. 1

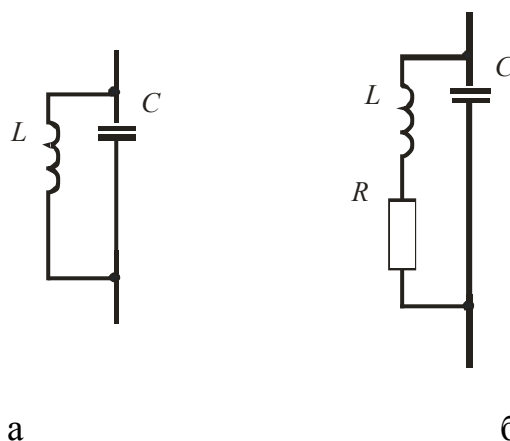


Рис.1. Схемы параллельного контура:

а) принципиальная; б) схема замещения

Расчетные параметры и характеристики контура определяются по формулам:

- резонансная частота контура:

$$\phi_0 = \frac{1}{2\pi} \left[\sqrt{\frac{1}{LC}} - \frac{(R_L)^2}{L^2} \right] \quad \omega = 2\pi \phi$$

- добротность контура:

$$Q = \frac{\omega_0 C}{R_L} \left[(\omega_0)^2 L^2 + (R_L)^2 \right]$$

- АЧХ входной проводимости и сопротивления контура:

$$Y(\phi) = \sqrt{\frac{R_L}{(R_L)^2 + \omega^2 L^2}} + \sqrt{\left[\omega C - \frac{\omega L}{(R_L)^2 + \omega^2 L^2} \right]^2}$$

$$Z(\phi) = \frac{1}{Y(\phi)}$$

- ФЧХ входной проводимости и сопротивления

$$\phi_y(f) = \text{arctg} \left[\frac{\left[\omega C \left[(R_L)^2 + \omega^2 L^2 \right] - \omega L \right]}{R_L} \right]$$

$$\phi_Z(f) = -\phi_y(f)$$

- АЧХ коэффициента передачи по току:

$$K_{ic} = \frac{I_c}{I} = \omega C Z(f)$$

- ФЧХ коэффициента передач по току:

$$f_{kl}(f) = \pi/2 + f_z(f)$$

3. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

- 3.1. Установить заданные величины индуктивности L , емкости C и сопротивления токосъемного резистора $R_T = 1$ Ом на блоках индуктивностей емкостей и сопротивлений.
- 3.2. Измерить активное (резистивное) сопротивление R катушки индуктивности с помощью мультиметра.
- 3.3. Для снятия экспериментальных АЧХ входного сопротивления $Z_{ex}(f)$ и коэффициента передачи по току $K_{Ic}(f)$ собрать электрическую цепь по схеме представленной на рис.2. при отсутствии выходного напряжения питания с генератора. В качестве ключей K_1 и K_2 , предназначенных для измерения тока использовать свободные пары клемм на панели N8. Замыкание и размыкание ключей производить с помощью соединительных проводов.

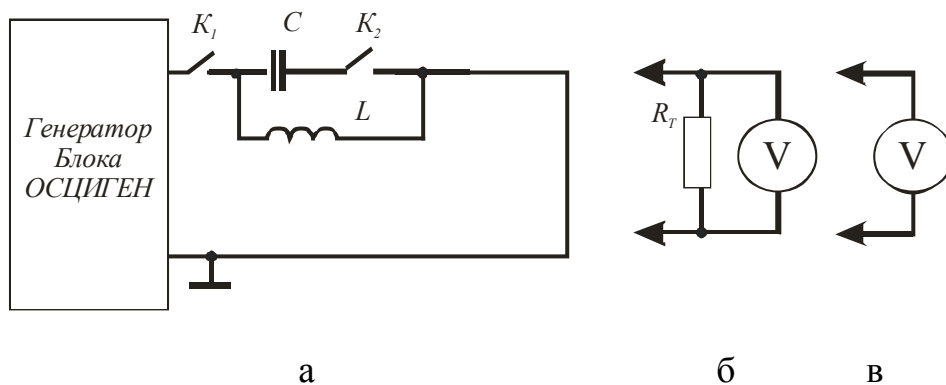


Рис.2. Схема для снятия АЧХ входного сопротивления и коэффициента передачи по току параллельного контура: а - схема исследования ; б - схема для измерения тока (напряжения на токосъемном резисторе); в – вольтметр

- 3.4. Перед началом эксперимента проверить правильность собранной схемы. установить ручку регулирования выходного напряжения генератора в начальное положение, доложить преподавателю о

готовности к работе. После проверки схемы преподавателем подать напряжение с генератора установив минимальную частоту и выходное напряжение $U_{ex} = 5 + 0.2\%$.

- 3.5. Изменяя частоту генератора, определить экспериментальную резонансную частоту контура f_{o3} по минимуму тока I_{ex} в цепи при постоянном уровне входного напряжения U_{ex} .
- 3.6. При измерении токов I_{ex} и I_c соответствующий ключ разомкнуть и к его зажимам подключить мультиметр в режиме измерения переменного напряжения, зашунтированный токосъемным резистором $R_T = 1.0\text{м}$ (рис.2.б). При этом другой ключ должен быть замкнут. Токи рассчитать по формулам: $I_{ex} = U_{k1}/R_T$; $I_c = U_{k2}/R_T$. Входное сопротивление контура Z_{ex} рассчитать по формуле: $Z_{ex} = U_{ex}/I_{ex}$.
- 3.7. Для снятия АЧХ $Z_{ex}(f)$ и аналогичные параметры контура для (СМ. табл. 2) . $\kappa_{ic}(f)$ измерить и рассчитать фиксированных значений частот.
- 3.8. Результаты измерений и расчета занести в табл.2.

Таблица 2.

Экспериментальные АЧХ и ФЧХ входного сопротивления параллельного контура

из-	f/f_{o3}	0, 1	0.25	0.5	0,7	1	2	3	4	5
ме-:- ре- ние	f , Гц									
	U_{ex} , В									
	U_{k1} , В									
	U_{k2} , В									
	ϕ , град									
Рас	I_{ex} , А									

чѐт	I_c, A									
	$Z_{вх}, Ом$									

3.9. ФЧХ входного сопротивления $Z(f)$ снять, используя схему на рис.3. При подключении фазометра обратить внимание на условно положительные направления напряжения $U_{вх}$ и тока $I_{вх}$. Результаты измерений занести в табл.2.

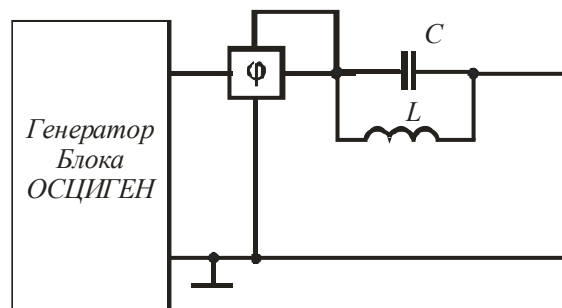


Рис. 3 Схема для снятия ФЧХ входного сопротивления параллельного контура.

3.10. Добротность Q_p и резонансную частоту $f_{ор}$ контура рассчитать используя теоретические и экспериментальные данные. Значение экспериментальной добротности $Q_э$ определяется по формуле:

$Q_э = K_{ic}$. при $f = f_{ор}$. Сравнить величины экспериментальных и расчетных параметров контура.

3.11. Расчетные АЧХ и ФЧХ входного сопротивления и коэффициента передачи по току параллельного контура свести в табл. 3. построить расчетные графики АЧХ и ФЧХ, на которых выделить полосу пропускания контура. На одном поле с расчетными графиками нанести соответствующие экспериментальные точки АЧХ и ФЧХ (кроме ФЧХ коэффициента передачи по току)

Таблица 3.

Расчетные ДЧХ и ФЧХ входного сопротивления и коэффициента передачи по току параллельного контура

f/f_0	0,1	0,25	0,5	0,7	1	2	3	4	5
$f, Гц$									
$Z_{вх}, Ом$									
$\varphi, град$									
K_{ic}									
Φ_{ki}									

3.12. При формулировании выводов дать анализ полученных экспериментальных и расчетных результатов.

3.13. По окончании работы отключить питание, установить ручки регулирования в начальное положение, выключить все приборы и стенд УЛС, демонтировать все соединительные провода, доложить преподавателю о завершении работы. Сдать соединительные провода и настоящие методические указания, а также предъявить рабочее место лаборанту или преподавателю.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

4.1. Какого рода резонанс (токов или напряжений) в параллельном колебательном контуре?

4.2. Как проявляется резонанс в электрическом режиме контура?

4.3. В каких устройствах применяется параллельный колебательный контур?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7
НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ
ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы:

Исследовать вольт-амперные характеристики (ВАХ) нелинейных резистивных элементов, подтвердить экспериментальным путем графический метод расчета нелинейных резистивных цепей методом сложения ВАХ.

1. ЗАДАНИЕ

1.1 Получите у преподавателя лабораторный макет N12, содержащий три нелинейных резистивных элемента, и величину заданного контрольного постоянного напряжения питания U_k в соответствии с табл.1

1.2 Снимите ВАХ всех трех нелинейных резистивных элементов: R_1, R_2, R_3

Проведите эксперимент по измерению тока и напряжений в цепи, содержащей последовательное соединение двух нелинейных резистивных элементов R_1 и R_2 при подаче контрольного напряжения питания U_k .

1.4 Проведите эксперимент по измерению токов и напряжений всех ветвей цепи, содержащей параллельное соединение двух нелинейных резистивных элементов R_2 и R_3 , при подаче контрольного напряжения питания U_k .

1.5 Проведите эксперимент по измерению токов и напряжений всех ветвей цепи, содержащей последовательно-параллельное соединение трех нелинейных резистивных элементов R_1, R_2 и R_3 при подаче контрольного напряжения питания U_k .

1.6 Проведите расчет всех трех исследуемых цепей графическим методом-методом сложения ВАХ при входном напряжении U_k .

1.7 Сравните экспериментальные и расчетные результаты. Сформулируйте выводы о проделанной работе.

2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Нелинейный резистивный элемент представляет собой идеальный элемент электрической цепи, характеризующийся нелинейной ВАХ. Используется при моделировании реальных нелинейных электрических и электронных

приборов (ламп накаливания, диодов, стабилитронов и т.д.) обозначение нелинейного резистивного элемента в схемах замещения приведено на рис.1

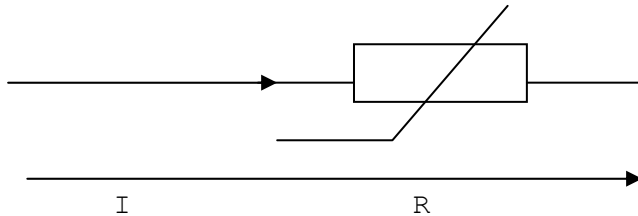


Рис.1. Схема нелинейного резистивного элемента

Одним из распространенных методов расчета электрических цепей постоянного тока, содержащих нелинейные резистивные элементы, является графический метод. Сущность метода подробно изложена в работе (2).

3. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

3.1. ВАХ нелинейных резистивных элементов $U(I)$ снять, используя схему, представленную на РИС.2. При сборке электрической цепи необходимо соблюдать полярность приложенного напряжения U . Следует отметить, что линейный резистор R_3 является частным случаем нелинейного резистивного элемента.

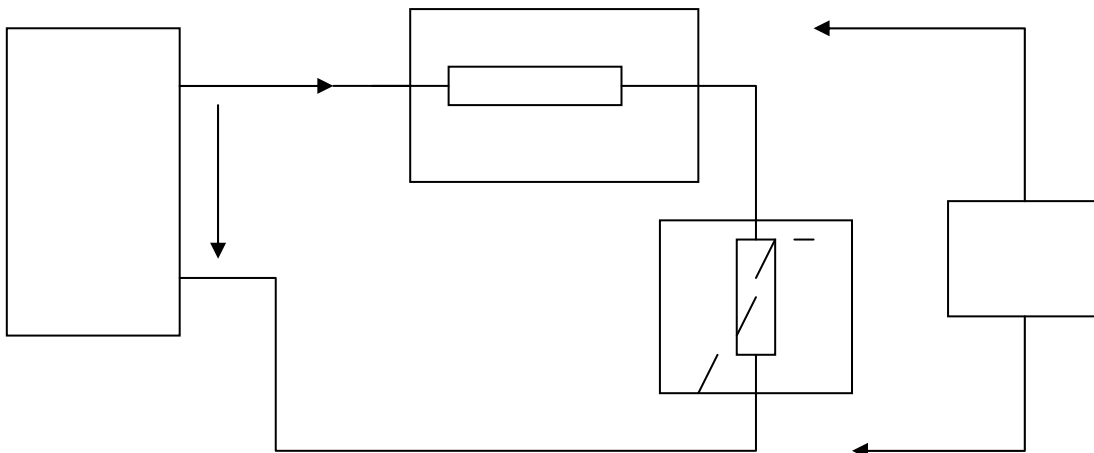


Рис.2. Схема для снятия ВАХ нелинейного резистивного элемента

- 3.2 Перед началом эксперимента проверить правильность собранной схемы, установить ручку регулирования напряжения источника питания БП 3...36В в начальное положение. доложить преподавателю о готовности к работе. После Проверки схемы преподавателем включить стенд УЛС, подать постоянное напряжение U с регулируемого источника БП 3...36В, предварительно установив минимальное выходное напряжение.
- 3.3. Напряжение на элементе R1 (R2. R3) изменять в диапазоне $U=0...10В$. При этом ток I нелинейных резистивных элементов определить расчетным путем, измерив напряжение U_T на токоъемном резисторе $R_T = 1 \text{ Ом}$ ($I=U_T/R_T$).В этом случае мультиметр использовать в режиме измерения постоянного напряжения, предварительно установив соответствующий предел измерения и соблюдая полярность при подключении. При отключении источника питания БП 3...36В (срабатывает защита) во время проведения эксперимента в случае $U < 10 \text{ В}$ дальнейшее увеличение напряжения до 10 В для снятия ВАХ исследуемого нелинейного элемента не производить. Результаты измерений занести в табл.2

Экспериментальные ВАХ нелинейных резистивных элементов

№Э	U. в	о	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R1	I. mA											
R2	I. mA											
R3	I. mA											

- 3.4. Для экспериментального исследования последовательного соединения двух нелинейных резистивных элементов на лабораторном макете N12 использовать схему, представленную на рис. 3. На выходе источника БП 3.. .36В установить заданное контрольное напряжение

Таблица 3 Результаты экспериментального исследования и расчета последовательного соединения элементов

Параметры	Uк В	I мА	UR 1 В	UR2 В
эксперимент				
Расчет				

3.5. для экспериментального исследования параллельного соединения двух нелинейных резистивных элементов на лабораторном макете N12 использовать схему представленную на рис.4. Напряжение источника БП 3...36 В сохранить равным Uк. В качестве ключей К1. К2. К3, предназначенным для измерения тока использовать свободные пары клемм на панели N8. Замыкание и размыкание ключей производить с помощью соединительных проводов.

3.6. При измерении токов I1 I2 I3 соответствующий ключ разомкнуть и к его зажимам подключить мультиметр в режиме измерения постоянного напряжения, зашунтированный токосъемным резистором $R_T = 1,0\text{м}$ (рис.4.6). При этом остальные ключи должны быть замкнуты. При подключении мультиметра необходимо соблюдать полярность. Токи рассчитать по формулам: $I = U_T / R_T$; $I_2 = U_{T2} / R_T$; $I_3 = U_{T3} / R_T$.

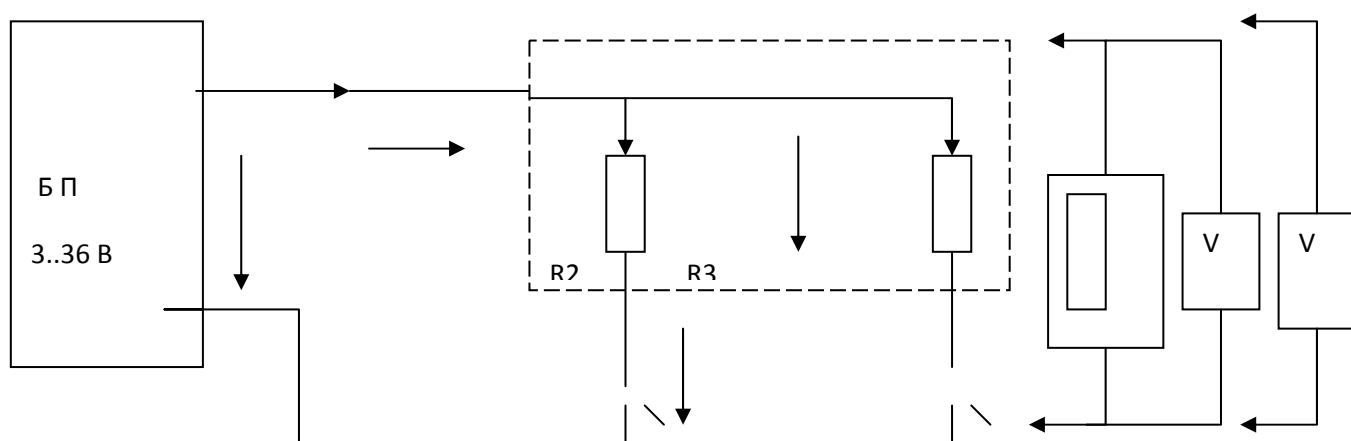


Рис.4. Схема исследования параллельного соединения двух нелинейных резистивных элементов: а параллельное соединение элементов; б - схема

для измерения тока (напряжения на токосъемном резисторе); в вольтметр

3.7. При измерении напряжений UR1, UR2 все ключи в схеме на рис 4,а замкнуть и использовать вольтметр (рис.4,в), соблюдая полярность. Результаты измерений занести в табл.4.

Таблица 4 Результаты экспериментального исследования и расчета параллельного соединения элементов

Параметры	Uк, В	I1, А	I2, тА	I3, тА	UR2, В	UR3, В
Эксперимент						
Расчет						

3.8. для экспериментального исследования параллельного последовательного соединения трех нелинейных резистивных элементов использовать схему, представленную на рис.5. Напряжение источника сохранить равным UK Методичка определения токов I1, I2, I3 и напряжений UR1, UR2 и UR3 аналогична методичке по П.п. 3.5, 3.6, 3.7 Результаты измерений занести в табл.5.

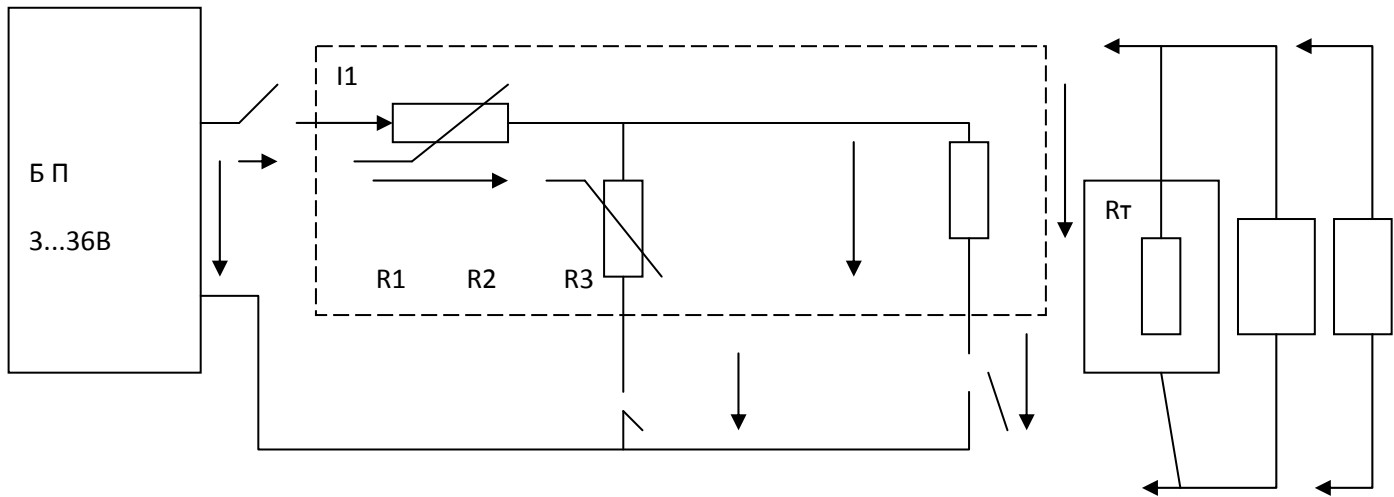


Рис 4. Схема исследования параллельного последовательного соединения трёх нелинейных резистивных элементов

Результаты экспериментального исследования и расчёта параллельного последовательного соединения элементов

Параметры	Uк. В	I mA	I2. mA	I3. mA	UR2, В	UR3. В
Эксперимент						
Расчет						

3.9. При графическом расчете цепей представить на одном поле графика кривые всех экспериментальных ВАХ: R1, R2, R3 и расчетных ВАХ последовательного параллельного и параллельно-последовательного соединения элементов построенных методом сложения

3.10. Произвести расчет токов и напряжений всех ветвей исследуемых цепей графическим методом по заданному контрольному напряжению питания схемы Uк. Полученные результаты занести в табл, 3, 4, 5.

3.11. При формулировании выводов дать анализ полученных экспериментальных и расчетных результатов.

3.12. По окончании работы отключить питание. установить ручки регулирования в начальное положение выключить все приборы и стенды демонтировать все соединительные провода доложить преподавателю о завершении работы. Сдать соединительные провода и настоящие методические указания а также предъявить рабочее место лаборанту или преподавателю

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 4.1 Назовите примеры нелинейных резистивных элементов
- 4.2 Какие существуют методы расчета нелинейных электрических цепей?
- 4.3 Как определить статическое сопротивление нелинейного резистивного элемента?
- 4.4 Какие существуют способы аппроксимации нелинейных ВАХ?