

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«БРАТСКИЙ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫЙ КОЛЛЕДЖ»
(ФГБПОУ «БЦБК»)

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

По дисциплине Электротехника

Для студентов специальности 13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования (по отраслям)

Братск 2024

Составила (разработала) И.С. Гареева, преподаватель кафедры энергетических и строительных дисциплин. ФГБПОУ «БЦБК»

Рассмотрено на заседании кафедры ЭиСД
« ____ » _____ 20__ г.

(Подпись зав. кафедры)

Одобрено и утверждено редакционным советом

(Подпись председателя РС)

« ____ » _____

№ _____

Содержание

| | | |
|----|--|----|
| 1. | Введение | 4 |
| 2. | Лабораторная работа №1. Ознакомление с комплектом лабораторного оборудования | 6 |
| 3. | Лабораторная работа №2. Измерение сопротивлений, токов, напряжений и мощности в цепи постоянного тока | 15 |
| 4. | Лабораторная работа №3. Цепь постоянного тока с последовательным и параллельным соединением резисторов | 18 |
| 5. | Лабораторная работа №4. Цепь постоянного тока при смешанном соединении резисторов | 22 |
| 6. | Лабораторная работа №5. Режимы источников ЭДС. Передача мощности от активного двухполюсника к нагрузке | 24 |
| 7. | Лабораторная работа №6. Снятие вольтамперных характеристик нелинейных элементов на постоянном токе | 28 |
| 8. | Лабораторная работа №7. Экспериментальное исследование и расчёт магнитной цепи при постоянном токе | 32 |
| 1. | Лабораторная работа №8. Цепь синусоидального тока при последовательном соединении R, L, и C. | 38 |
| 2. | Лабораторная работа №9. Цепь синусоидального тока при параллельном соединении R, L, и C. | 43 |
| 3. | Лабораторная работа №10. Параллельное соединение катушки индуктивности и конденсатора | 47 |
| 4. | Лабораторная работа №11. Определение параметров индуктивно связанных катушек | 52 |
| 5. | Лабораторная работа №12. Исследование трёхфазной цепи при соединении нагрузки в звезду | 60 |
| 13 | Лабораторная работа №13. Исследование трёхфазной цепи при соединении нагрузки в треугольник | 65 |
| 14 | Лабораторная работа №14. Аварийные режимы трёхфазной цепи при соединении нагрузки в звезду | 68 |
| 15 | Лабораторная работа №15. Исследование процессов заряда и разряда конденсатора | 74 |
| | Литература | 77 |

Введение

Настоящее руководство предназначено для проведения лабораторного практикума в соответствии с рабочими планами

Комплект типового лабораторного оборудования «Электрические цепи и основы электроники» предназначен для проведения лабораторного практикума по одноимённым разделам курсов «Теоретические основы электротехники», «Теория электрических цепей», «Электротехника и основы электроники», «Общая электротехника» и т.п. в профессиональных начальных, средних и высших учебных учреждениях.

Основными компонентами «ручного» (т.е. некомпьютеризованного) варианта комплекта «Теория электрических цепей и основы электроники» являются:

- однофазный источник питания,
- блок генераторов напряжений с наборным полем;
- набор миниблоков;
- блок мультиметров;
- ваттметр;
- соединительные провода и перемычки, питающие кабели.

Для осуществления в полном объёме всех экспериментов, описанных в данном руководстве, необходим также осциллограф, имеющий режим X – Y.

Описание каждого эксперимента содержит

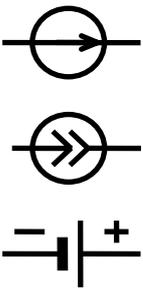
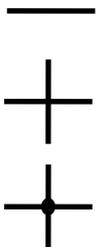
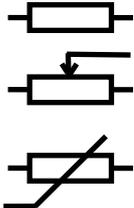
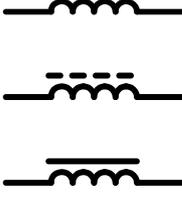
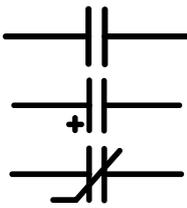
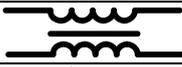
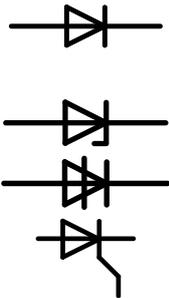
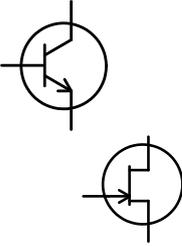
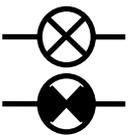
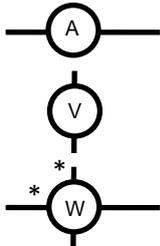
Раздел «Общие сведения» содержит краткое введение в теорию соответствующего эксперимента. Для более глубокого изучения теоретического материала учащемуся следует обратиться к учебникам и компьютерным программам тестирования для проверки усвоения теории и оценки готовности к лабораторно–практическим занятиям.

В разделе «Экспериментальная часть» сформулированы конкретные задачи эксперимента, представлены схемы электрических цепей, таблицы и графики для регистрации и представления экспериментальных данных.

На первом этапе внедрения рассматриваемых комплектов типового лабораторного оборудования в учебный процесс данное руководство или его отдельные фрагменты могут непосредственно использоваться студентами при выполнении лабораторных работ.

Условные обозначения основных элементов электрических цепей приведены в табл. В.1. В табл. В.2 представлены базовые электрические величины и их единицы измерения.

Таблица В.1

| Наименование элемента | Условное обозначение | Наименование элемента | Условное обозначение |
|--|---|--|---|
| Источники электрической энергии: источник напряжения (ЭДС) постоянного тока (идеальный) источник постоянного тока (идеальный) гальванический элемент или аккумулятор |  | Проводники электрической цепи: одиночный пересекающиеся, несоединенные пересекающиеся, соединенные |  |
| Резисторы: Постоянный линейный Переменный линейный Нелинейный |  | Выключатели: однополюсные двухполюсные |  |
| Индуктивности: Линейная С разомкнутым магнитопроводом С магнитопроводом |  | Конденсаторы Общее обозначение Полярный (электролитический) Нелинейный |  |
| Трансформатор |  | Диоды и тиристоры: Выпрямительный диод Стабилитрон Диодный тиристор Триодный тиристор |  |
| Транзисторы: Биполярный Униполярный (полевой) |  | Лампы накаливания: осветительная сигнальная |  |
| Измерительные приборы: амперметр вольтметр ваттметр |  | | |

| Величина | Обозначение | Единица измерения | Другие используемые величины |
|----------------|-------------|-------------------|------------------------------|
| Заряд | Q | 1 К = 1 Кулон | мК |
| Ток | I | 1 А = 1 Ампер | мА, мкА |
| Напряжение/ЭДС | U/E | 1 В = 1 Вольт | мВ, кВ |
| Сопротивление | R | 1 Ом | кОм, МОм |
| Проводимость | G | 1 См = 1 Сименс | |
| Индуктивность | L | 1 Гн = 1 Генри | мГн, мкГн |
| Ёмкость | C | 1 Ф = 1 Фарада | мкФ, нФ, пФ |

Лабораторная работа №1

Ознакомление с комплектом лабораторного оборудования

Общие сведения

На лабораторном столе закреплена рама, в которой устанавливаются блок генераторов с наборным полем, блок мультиметров, блок ваттметра и блок однофазного источника питания. Расположение блоков в раме жёстко не фиксировано. Оно может изменяться для удобства проведения того или иного конкретного эксперимента. На стол устанавливается осциллограф. Однофазный источник питается от трёхпроводной однофазной сети (фаза, ноль и земля). В нём смонтированы устройство защитного отключения при нарушении изоляции, автомат для защиты от сверхтоков и блок розеток и разъёмов (на тыльной стороне блока) для подключения всех остальных блоков и осциллографа.

Блок генераторов напряжений с наборным полем

Блок генераторов напряжения с наборным полем (БГНПП) предназначен для формирования однофазных сигналов различной формы, регулируемых по амплитуде и частоте, формирования трёхфазного напряжения и постоянных напряжений для питания исследуемых схем. БГНПП содержит наборное поле для сборки электрических схем с использованием набора миниблоков.

Синусоидальное, прямоугольное или импульсное напряжения на выходе генератора задается переключателем «ФОРМА». Амплитуда выходного напряжения устанавливается ручкой «АМПЛИТУДА» в пределах от 0 до 12 В. Диапазон регулирования частоты генератора напряжений специальной формы - от 0,2 Гц до 200 кГц. Частота устанавливается ручкой энкодера-потенциометра. При горящем состоянии светодиода частота меняется по декадам. При мигающем состоянии светодиода, частота меняется с минимально возможным шагом. Переключение между режимами производится путем нажатия кнопки энкодера-потенциометра.

Генератор постоянных напряжений предназначен для получения стабилизированных напряжений +15 В, -15 В и регулируемого напряжения от 0 до 13 В. Все генераторы имеют общую точку «⊥».

На рис.1.2 В левой части расположены органы управления источников питания, в правой – гнезда для подключения исследуемых элементов электрической цепи

Для измерения токов в ветвях цепи удаляется одна из перемычек и вместо неё в образовавшийся разрыв включается амперметр. Для измерения напряжений на элементах цепи параллельно рассматриваемому элементу включается вольтметр.

Набор миниблоков

Миниблоки представляют собой отдельные элементы электрических цепей (резисторы, конденсаторы, индуктивности диоды, транзисторы и т.п.), помещённые в прозрачные корпуса, имеющие штыри для соединения с гнездами наборной панели. Некоторые миниблоки содержат несколько элементов, соединённых между собой или более сложные функциональные блоки. На этикетках миниблоков изображены условные обозначения элементов или упрощённые электрические схемы их соединения, показано расположение выводов и приведены основные технические характеристики. Миниблоки хранятся в специальном контейнере. Общий вид контейнера с миниблоками представлен на рис. 1.3.

В табл. 1.1 приведены характеристики одноэлементных миниблоков, а ниже дано описание более сложных миниблоков.

Таблица 1.1

| Наименование и характеристики | Кол. | Наименование и характеристики | Кол. |
|-------------------------------------|------|---|------|
| 1. Резисторы МЛТ, 2 Вт, $\pm 5\%$: | | 2. Конденсаторы К-73-9, К73-17 63...100 В: | |
| 2,2 | 1 | 0,01 мкФ | 1 |
| 4,7 | 1 | 0,1 мкФ | 1 |
| 10 Ом | 1 | 0,22 мкФ | 1 |
| 22 Ом | 1 | 0,47 мкФ | 2 |
| 33 Ом | 1 | 1 мкФ | 2 |
| 47 Ом | 1 | 4,4 мкФ (2 по 2,2мкФ) | 1 |
| 100 Ом | 2 | SR-63 В, 10 мкФ | 1 |
| 150 Ом | 1 | SR-63 В, 100 мкФ | 1 |
| 220 Ом | 1 | SR-35 В, 470 мкФ | 1 |
| 330 Ом | 1 | 3.Потенциометр СП4-2М 1 кОм | 1 |
| 470 Ом | 2 | 4. Лампа сигнальная СМН-10 55 | 1 |
| 1 кОм | 3 | 5. Стабилитрон КС456А, 5,6 В | 1 |
| 2,2 кОм | 1 | 6. Светодиод АЛ 307 Б | 1 |
| 4,7 кОм | 1 | 7. Диоды КД 226 (1N5408) 1А, 100 В | 6 |
| 10 кОм | 2 | 8. Микропереключатель (тумблер) | 1 |
| 22 кОм | 1 | 10. Индуктивности: | |
| 47 кОм | 1 | 33 мГн, 50 мА (09P333J) | 2 |
| | | 100 мГн, 50 мА (3 шт. 09P333J) | 1 |
| | 1 | 14. Транзистор биполярный | |
| | 1 | КТ503Г (вывод базы справа) | 1 |
| | 1 | 17. Транзистор биполярный | |
| | 2 | КТ503Г (вывод базы слева) | 1 |

Миниблоки «Амперметр» (6 шт.) позволяют подключать амперметр в различные ветви исследуемой электрической цепи без разборки схемы. Эти миниблоки устанавливаются в наборную панель в тех местах схемы, где требуется измерять токи. В крышку миниблока встроено гнездо коаксиального разъёмного соединителя, а к амперметру подсоединяется кабель с соответствующим штырём.

Миниблок «*Фазовое управление тиристора*» содержит маломощный тиристор КУ101 и генератор импульсов (рис. 1.3). Генератор импульсов выполнен на однопереходном транзисторе VT1. При подаче полуволны напряжения на анод запертого тиристора конденсатор C1 заряжается через сопротивления R1, и R3. Когда напряжение на конденсаторе достигает значения 0,7...0,8 от напряжения стабилизации стабилитрона, транзистор открывается и конденсатор разряжается по цепи эмиттер – база – управляющий электрод – катод тиристора. Тиристор отпирается, создает цепь для протекания тока через нагрузку и одновременно шунтирует генератор импульсов. Скорость заряда конденсатора и, следовательно, задержка подачи отпирающего импульса по отношению к моменту подачи положительного напряжения на анод тиристора регулируется потенциометром R3. Вывод X2 служит только для наблюдения импульсов управления с помощью осциллографа.

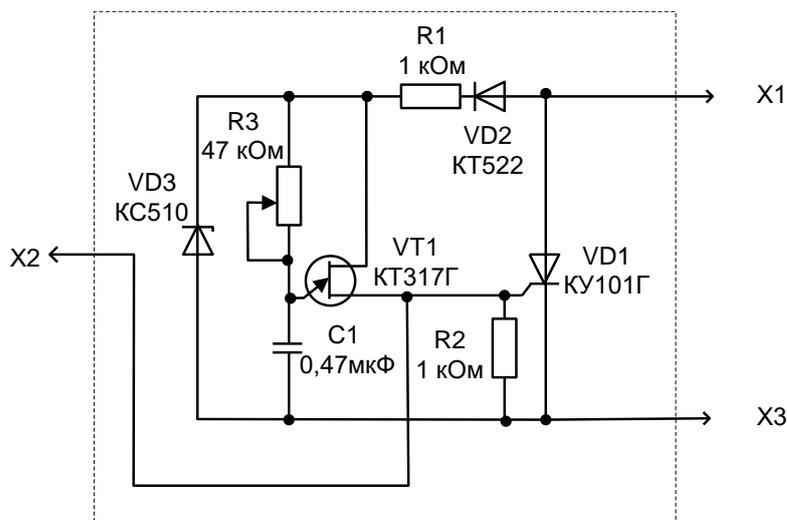


Рис.1.3

Миниблок «*Усилительный каскад с общим эмиттером*» служит для исследования однокаскадных и двухкаскадных транзисторных усилителей. Его схема изображена на рис. 1.4. Конденсатор C1 является разделительным, а конденсатор C2 служит для уменьшения верхней границы полосы пропускания.

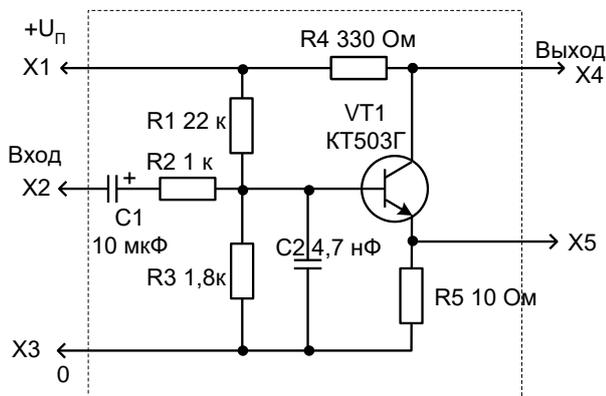


Рис. 1.4

Миниблок «*Стабилизатор напряжения*» (рис.1.5) представляет собой замкнутую систему автоматического регулирования выходного напряжения и состоит из регулирующего элемента, совмещенного с усилителем (VT1), (DD1), сравнивающего

устройства (DD1) и источника опорного напряжения (VD2). Для задания величины выходного напряжения служит потенциометр R2.

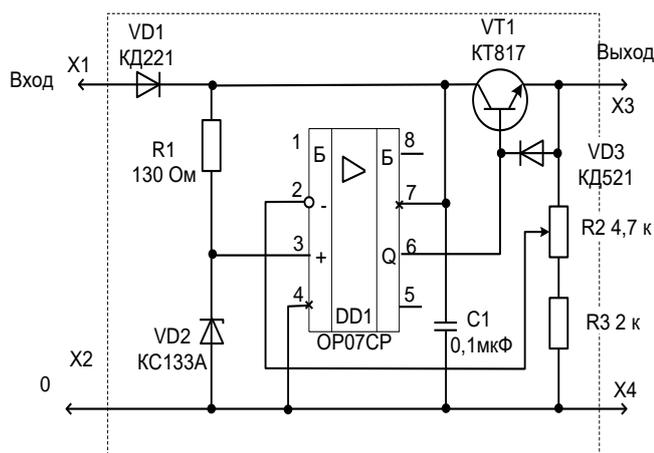


Рис.1.5

Миниблок **«Измерительный преобразователь»** служит для измерения высокочастотных сигналов, например, при снятии частотных характеристик электрических цепей. Необходимость в этом миниблоке обусловлена тем, что диапазон частот мультиметров, входящих в комплект стенда, составляет от 40 до 400 Гц. Он представляет собой выпрямитель на вход которого подаётся синусоидальное измеряемое напряжение, а к выходу подключается мультиметр в режиме измерения постоянного напряжения. Выпрямитель выполнен на операционном усилителе и его коэффициент передачи подобран так, что величина постоянного выходного напряжения равна действующему значению переменного входного напряжения.

Миниблок **«Трансформатор»**. Трансформатор выполнен на разъёмном U-образном сердечнике из листовой электротехнической стали с толщиной листа 0,08 мм. Сечение сердечника 16×12 мм. На сердечнике установлены катушки 900 и 300 витков, и имеются две сменные катушки 300 и 100 витков. Катушки легко переставляются в ходе лабораторной работы. Номинальные параметры трансформаторов при частоте 50 Гц приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

| W | U _н , В | I _н , мА | R, Ом | S _н , ВА |
|-----|--------------------|---------------------|-------|---------------------|
| 100 | 2,33 | 600 | 0,9 | 1,4 |
| 300 | 7 | 200 | 4,8 | 1,4 |
| 900 | 21 | 66,7 | 37 | 1,4 |

Миниблок **«Магнитная цепь»** (рис.1.6) представляет собой трансформатор с регулируемым зазором в магнитопроводе. Магнитопровод выполнен из двух Ш-образных ферритовых сердечников марки М2000НМ. На среднем стержне магнитопровода расположены две одинаковые обмотки (намагничивающая и измерительная) по 200 витков каждая. Зазор может регулироваться винтом, один оборот которого изменяет зазор на 0,5мм (шаг резьбы 0.5 мм). Для устранения перекоса сердечника рекомендуется в левый и правый зазоры вставить немагнитные прокладки (например, полоски бумаги) и осторожно от руки затянуть винт. Так, например, толщина бумаги «Снегурочка» для офисной техники 0,1 мм, толщина газетной бумаги - 0.05...0,06 мм.

Будьте осторожны: большое усилие при затягивании винта может привести к разлому печатной платы на которой смонтирована вся конструкция!

Необходимые для расчёта размеры сердечника и кривая намагничивания феррита М2000НМ приведены в описании экспериментов с этим миниблоком.

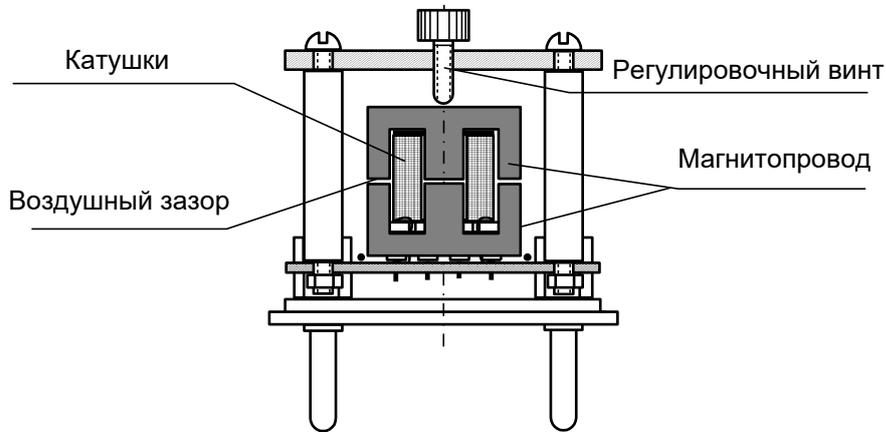


Рис. 1.6

Миниблок «*Операционный усилитель*» содержит операционный усилитель КР140УД или импортный аналог 608, подстроечный резистор для балансировки и диоды, защищающие микросхему от подачи обратного напряжения питания.

Миниблок «*Интегратор*» предназначен для интегрирования входного сигнала $u_{вх}(t)$ или $i_{вх}(t)$ по времени:

$$u_{вых} = \frac{1}{R_{вх}C} \int u_{вх}(t)dt = \frac{1}{C} \int i_{вх}(t)dt.$$

Параметры $R_{вх}$ и C указаны на упрощенной принципиальной схеме интегратора (рис.1.7).

Интегратор имеет два режима работы. При разомкнутом состоянии выключателя «Сброс» (нижнее положение тумблера на миниблоке) происходит интегрирование входного сигнала. Напряжение на выходе в этом режиме медленно изменяется даже при отсутствии входного сигнала, поскольку всегда есть внутренние утечки схемы и помехи. Этот режим используется для интегрирования кратковременных одиночных импульсов тока или напряжения. Перед началом интегрирования необходимо «обнулить» интегратор включив на 2...3 с выключатель «Сброс». При включённом выключателе «Сброс» (верхнее положение тумблера на миниблоке) медленно изменяющаяся составляющая входного сигнала не интегрируется. Этот режим используется для возвращения интегратора в

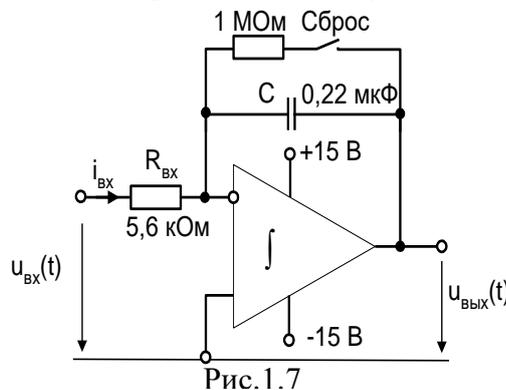


Рис.1.7

нулевое положение и для интегрирования периодических быстро протекающих процессов, например, при снятии петли гистерезиса.

Напряжение на выходе интегратора не может быть больше напряжения питания, поэтому, когда оно приближается к напряжению питания +15 В или –15 В, включается светодиод «Перегрузка».

Блок мультиметров

Блок мультиметров предназначен для измерения напряжений, токов, сопротивлений, а также для проверки диодов и транзисторов. Общий вид блока представлен на рис. 1.8. В нём установлены 2 серийно выпускаемых мультиметра МУ60, МУ62 или МУ64. Подробная техническая информация о них и правила применения приводится в руководстве по эксплуатации изготовителя. В блоке установлен источник питания мультиметров от сети с выключателем и предохранителем на 1 А. На лицевую панель блока вынесены также четыре предохранителя защиты токовых цепей мультиметров.

Для обеспечения надёжной длительной работы мультиметров соблюдайте следующие правила:

Не превышайте допустимых перегрузочных значений, указанных в заводской инструкции для каждого рода работы

Когда порядок измеряемой величины неизвестен, устанавливайте переключатель пределов измерения на наибольшую величину.

Перед тем, как повернуть переключатель для смены рода работы (не для изменения предела измерения!), отключайте щупы от проверяемой цепи.

Не измеряйте сопротивление в цепи, к которой подведено напряжение.

Не измеряйте ёмкость конденсаторов, не убедившись, что они разряжены.

Будьте внимательны при измерении тока мультиметрами МУ62 и МУ64. Предохранитель 0,2 А этих мультиметров может перегореть от источников напряжения имеющихся в данном стенде. Мультиметр МУ60 защищён предохранителем 2 А, который не может перегореть от токов, создаваемых источниками данного стенда.

До подключения мультиметра к цепи необходимо выполнить следующие операции:

выбор измеряемой величины: - V, ~ V, - A, ~ A или Ω ;

выбор диапазона измерений соответственно ожидаемому результату измерений;

правильное подсоединение зажимов мультиметра к исследуемой цепи.

Присоединение мультиметра как вольтметра, амперметра и омметра показано на рис. 1.9.

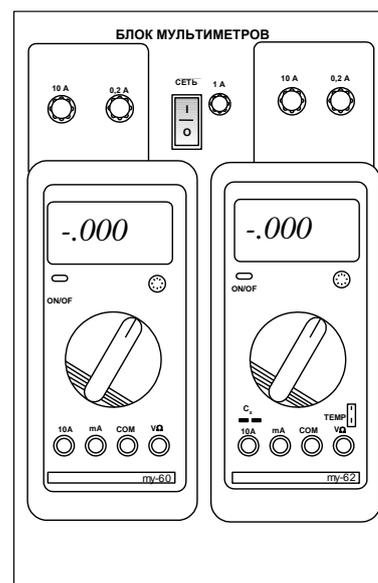


Рис. 1.8

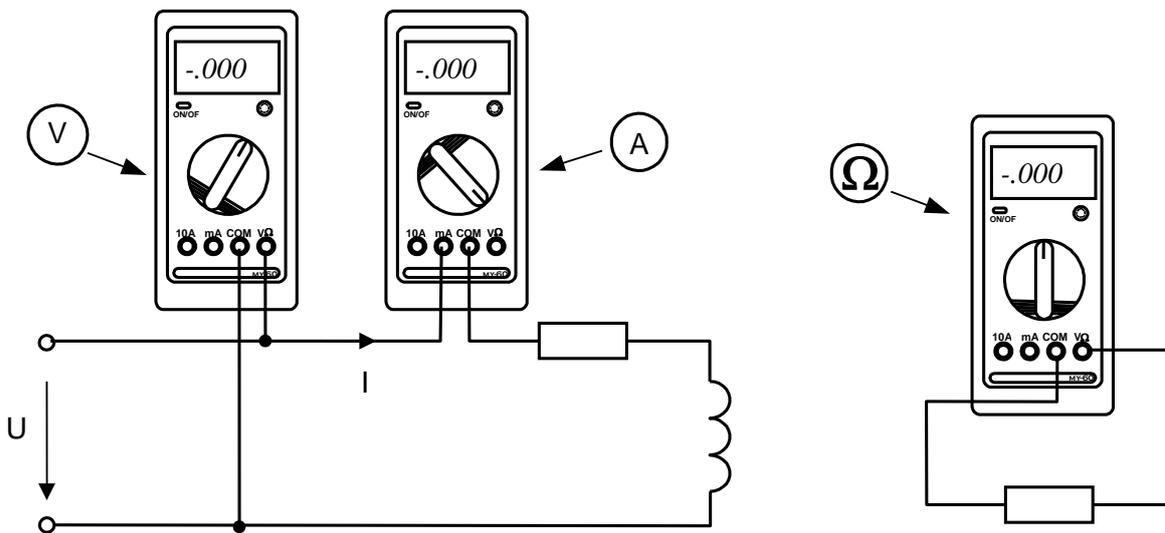


Рис. 1.9

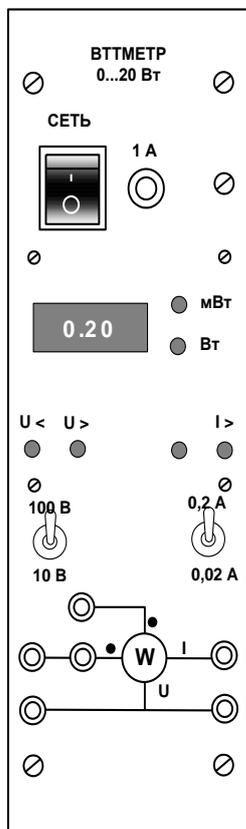


Рис.1.10

Ваттметр

Общий вид ваттметра изображён на рис. 1.10.

Его принцип действия основан на перемножении мгновенных значений тока и напряжения и отображении среднего значения этого произведения на дисплее прибора в цифровом виде.

Прибор включается в цепь согласно приведённой на лицевой панели схеме. Для измерения активной мощности, гнезда, помеченные символом «•», должны быть соединены перемычкой. После сборки схемы необходимо включить выключатель «Сеть» и установить необходимые пределы измерения по току и по напряжению тумблерами. Если выбран заниженный предел измерения, то включается сигнализация перегрузки $I >$ или $(и) U >$. Если, наоборот, предел превышен, то включается сигнализация $I <$ или $(и) U <$. Справа от окошка цифровых индикаторов включаются автоматически светодиоды сигнализации размерности **Вт** или **мВт**.

Экспериментальная часть

ЦЕЛЬ работы. Проверить работоспособность блока генераторов напряжений и измерительных приборов.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь согласно схеме рис.1.11, включив в нее для начала резистор $R = 100\text{ Ом}$. Подайте на вход питание от нерегулируемого источника постоянного напряжения $+15\text{ В}$, отрегулируйте осциллограф и убедитесь, что пульсации напряжения незначительны или отсутствуют, что напряжение равно $15 \pm 0,5\text{ В}$, а ток примерно равен 150 мА .

- Переключите мультиметр для измерения тока 2 А, замените резистор 100 Ом на 47 или 33 Ом, убедитесь, что появляются пульсации напряжения на выходе и через некоторое время срабатывает защита и включается сигнализация перегрузки.

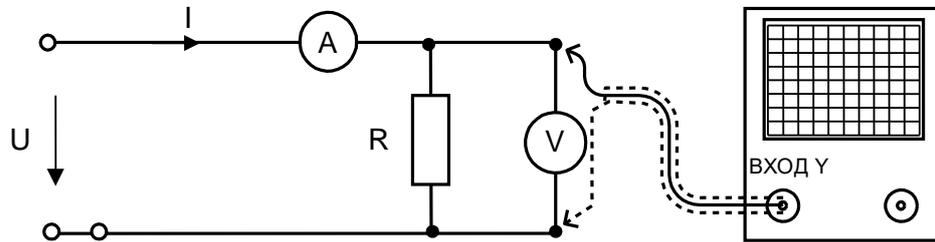


Рис. 1.12

- Повторите этот опыт с другим нерегулируемым источником напряжения -15 В и с регулируемым источником при максимальном напряжении на его выходе. Проверьте, как работает регулятор напряжения источника и сигнализация $I <$, и $U <$ ваттметра при уменьшении тока и напряжения.
- Установите в схему резистор 47 Ом, переключите мультиметры для измерения синусоидальных сигналов и подключите к схеме генератор напряжений специальной формы.
- Установите синусоидальный сигнал на выходе и убедитесь, что частота и амплитуда напряжения регулируются (по осциллографу). На частоте 1000 Гц (или какойнибудь другой) убедитесь, что переключается форма сигнала. **Внимание! Мультиметры не измеряют несинусоидальные токи и напряжения!**
- Замените резистор 47 Ом на 22 Ом и убедитесь, что срабатывает защита и сигнализация перегрузки.

Составьте и запишите вывод по проделанной работе.

Лабораторная работа №2

Измерение сопротивлений, токов, напряжений и мощности в цепи постоянного тока

Общие сведения

Электрической цепью называют совокупность соединенных друг с другом элементов, по которым может протекать **электрический ток**.

Для протекания тока необходимы **источники** электрической энергии – источники напряжения (ЭДС) или тока. Электрическая цепь содержит также устройства, в которых энергия электрического тока преобразуется в другие виды энергии (механическую, тепловую, световую и т.д.). Эти устройства называются **нагрузками**.

Для замыкания и размыкания цепей используют **выключатели** того или иного вида.

Электрический ток есть направленное (упорядоченное) движение **носителей зарядов**. В проводниках носителями отрицательных зарядов являются электроны, в жидкостях (электролитах) носители положительных и отрицательных зарядов – ионы. В полупроводниках носителями отрицательных зарядов являются электроны, носителями положительных зарядов – дырки. Дырка представляет собой вакантное место в атоме полупроводника, незанятое электроном.

Ток, неизменный во времени, называют **постоянным**. Он обозначается символом I . Количественно ток равен заряду q , который пересекает сечение проводника за единицу времени t (1 секунду):

$$I = q / t.$$

Для поддержания электрического тока требуется обеспечивать разделение носителей отрицательных и положительных зарядов, что и происходит в источниках.

Способность источника совершать работу по разделению зарядов характеризуется электродвижущей силой (ЭДС), которая обозначается символом E .

Когда источник подключен к цепи, возникает направленное движение зарядов под действием сил притяжения разноименных и отталкивания одноименных зарядов, т.е. электрический ток. Вне источника положительные носители заряда движутся от его положительного зажима (полюса) к отрицательному зажиму (полюсу). Направление движения отрицательных зарядов противоположно движению положительных зарядов. Работа, совершаемая при движении зарядов по элементам электрической цепи характеризуется напряжением, которое обозначается символом U .

Напряжение и ток на участке цепи постоянного тока связаны законом Ома:

$$U = RI \text{ или } I = U/R,$$

где R – коэффициент пропорциональности между током и напряжением, называемый сопротивлением.

Мощность преобразования электрической энергии в другие виды энергии выражается через ток и напряжение (закон Джоуля-Ленца):

$$P = UI = RI^2 = U^2/R.$$

Изображение электрической цепи с помощью условных обозначений называют **схемой** электрической цепи (рис. 2.1).

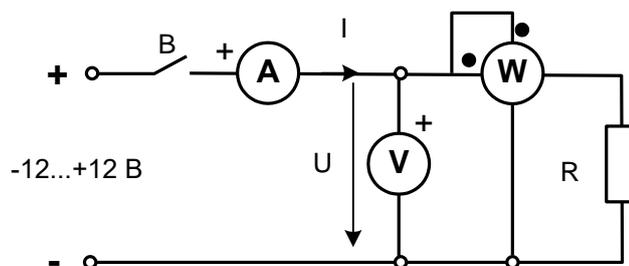


Рис.2.1

На расчётных схемах (т.е. на схемах, предназначенных для расчёта электрической цепи) показывают стрелками направления токов и напряжений. За направление тока принимают направление движения положительных зарядов, а за направление напряжения – направление от положительного полюса источника к отрицательному. Когда истинные направления неизвестны, на схеме показывают условные (или предполагаемые) положительные направления.

Экспериментальная часть

ЦЕЛЬ работы. Ознакомиться с измерениями токов, напряжений и сопротивлений с помощью мультиметра, с измерением мощности с помощью ваттметра, экспериментально убедиться в выполнении закона Ома и закона Джоуля-Ленца в электрической цепи постоянного тока.

Порядок выполнения эксперимента

Включите блок мультиметров, установите на одном из них переключатель в положение измерения сопротивлений (Ω), подключите к мультиметру с помощью соединительных проводов любое сопротивление из набора миниблоков, выберите ближайший превышающий измеряемое сопротивление предел измерения и запишите показание мультиметра $R_{изм}$ и номинальное сопротивление, указанное на этикетке миниблока:

$$R_{изм} = \dots\dots\dots \text{Ом}; \quad R_{ном} = \dots\dots\dots \text{Ом}.$$

Вычислите относительное отклонение измеряемого сопротивления от номинального значения в % (относительную погрешность):

$$\Delta R\% = \frac{R_{изм} - R_{ном}}{R_{ном}} \times 100\% = \dots\dots\dots$$

Соберите цепь в соответствии с принципиальной схемой (рис.2.1) и монтажной схемой (рис. 2.2), установив в наборную панель сопротивление $R_{ном}=100\dots1000$ Ом. Запишите значение сопротивления в табл.2.1.

Убедитесь, что при включении выключателя «В» в цепи появляется ток, а при выключении – исчезает.

Устанавливая регулятором напряжения указанные в табл. 2.1 значения, запишите в таблицу показания приборов. **Не забывайте следить за сигнальными светодиодами ваттметра! При включении светодиода $I >$ или $U >$ переводите соответствующий переключатель на больший предел. При включении светодиода $I <$ или $U <$ переключайте его на меньший предел. Следите также за светодиодами, указывающими размерность измеряемой мощности: Вт или мВт.**

Вычислите значения мощности $P = UI$ и сопротивления $R = U/I$ и запишите результаты в столбцы таблицы «Вычисленные значения». Сравните результаты измерений и вычислений и сделайте выводы.

Таблица 2.1

| $R_{\text{НОМ}}, \text{ Ом}$ | Измеренные значения | | | Вычисленные значения | |
|------------------------------|---------------------|-----------------|-----------------|----------------------|-----------------|
| | $U, \text{ В}$ | $I, \text{ мА}$ | $P, \text{ Вт}$ | $P, \text{ Вт}$ | $R, \text{ Ом}$ |
| | -13 | | | | |
| | 0 | | | | |
| | +13 | | | | |

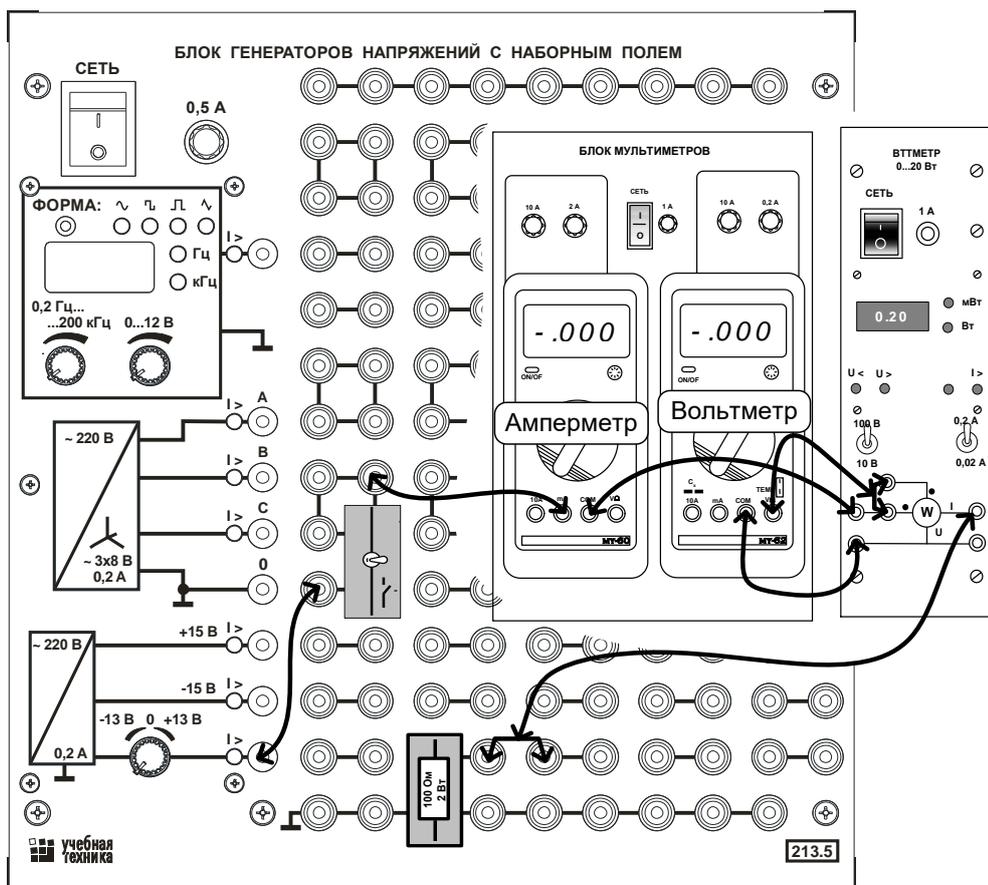


Рис.2.2

Составьте и запишите вывод по проделанной работе.

Лабораторная работа №3

Цепь постоянного тока с последовательным и параллельным соединением резисторов

1 часть. Общие сведения

Если резисторы или любые другие нагрузки соединены последовательно (рис. 3.1), по ним проходит один и тот же ток. Величина тока определяется приложенным напряжением U и эквивалентным сопротивлением $R_{\text{экв}}$:

$$I = U / R_{\text{экв}},$$

где $R_{\text{экв}} = \Sigma R = R_1 + R_2 + R_3$.

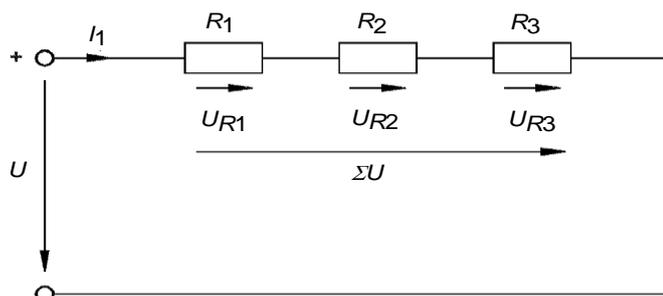


Рис. 3.1

На каждый отдельный резистор при этом приходится некоторая часть приложенного напряжения. Сумма напряжений на каждом резисторе в соответствии со вторым законом Кирхгофа равна полному приложенному напряжению:

$$I \cdot R_1 + I \cdot R_2 + I \cdot R_3 = U.$$

Экспериментальная часть

1 ЦЕЛЬ работы Измеряя токи и напряжения, убедиться, что ток одинаков в любой точке последовательной цепи и что сумма напряжений на резисторах равна напряжению, приложенному ко всей цепи. Сравнить результаты измерения с расчётом.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь согласно монтажной схеме (рис. 3.2). Последовательно с резисторами 47, 100 и 220 Ом включите специальные миниблоки для подключения амперметра.
- С помощью двухжильного измерительного проводника со штеккером поочередно подключайте к этим миниблокам мультиметр в режиме измерения тока и измеряйте ток вдоль всей последовательной цепи. Убедитесь, что ток имеет одно и то же значение и запишите его в табл. 3.1.
- Затем измерьте напряжения на каждом резисторе, а также полное напряжение на входе цепи.
- Рассчитайте эквивалентное сопротивление цепи, ток и падение напряжения на каждом резисторе. Результаты занесите в табл. 3.1 и сравните с измеренными значениями.

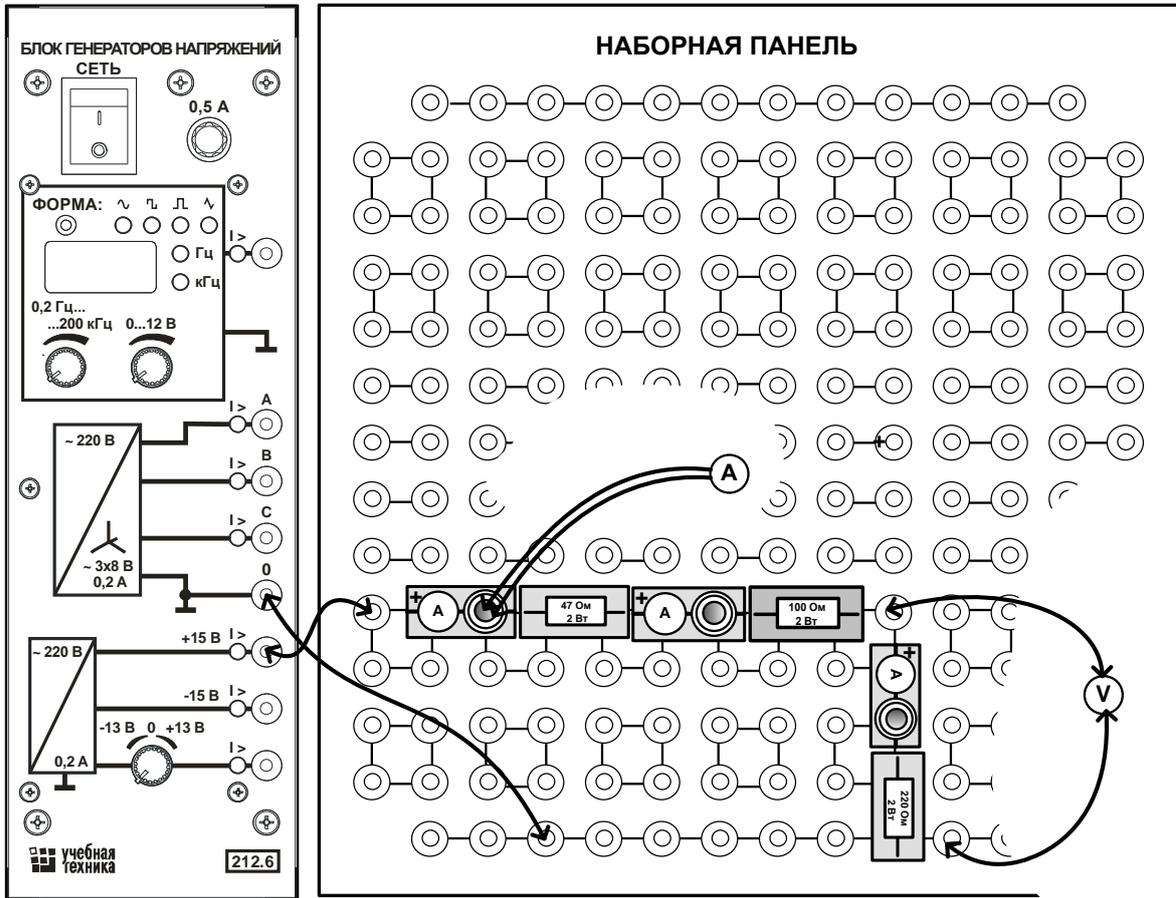


Рис. 3.2

Таблица 3.1

| | Ток (I), мА | Падения напряжения на резисторах, В | | | Напряжение на входе цепи, В |
|---------------------|--------------------|--|---------------------|---------------------|--|
| | | 47 Ом (U_1) | 100 Ом (U_2) | 220 Ом (U_3) | $R_{\text{экв}} = \dots$ Ом (U) |
| Измеренные значения | | | | | |
| Расчётные значения | | | | | |

Проверьте выполнение второго закона Кирхгофа по экспериментальным и по расчётным значениям напряжений:

$$U = U_1 + U_2 + U_3.$$

Часть 2. Общие сведения

Если резисторы или любые другие нагрузки соединены параллельно (рис. 3.3), все они находятся под одинаковым напряжением:

$$U = U_{R1} = U_{R2} = U_{R3}$$

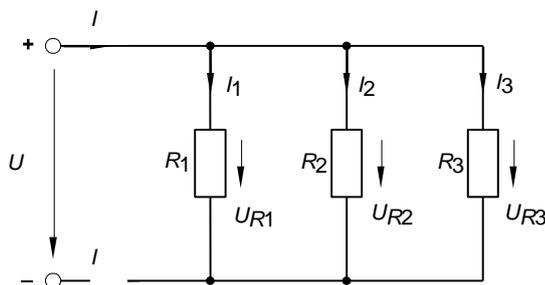


Рис. 3.3

В каждой ветви цепи протекает свой ток. Сумма токов всех ветвей в соответствии с первым законом Кирхгофа равна полному току:

$$I = I_1 + I_2 + I_3.$$

Величина тока ветви зависит от приложенного напряжения и сопротивления данной ветви:

$$I_1 = \frac{U}{R_1}, \quad I_2 = \frac{U}{R_2}, \quad I_3 = \frac{U}{R_3}$$

Ток в неразветвленной части цепи зависит от приложенного напряжения и эквивалентного сопротивления цепи:

$$I_{\text{э}} = \frac{U}{R_{\text{э}}}$$

Для вычисления эквивалентного сопротивления цепи служит формула:

$$\frac{1}{R_{\text{э}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}.$$

Для цепи с двумя параллельно соединенными резисторами:

$$R_{\text{э}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

2 ЦЕЛЬ работы Измеряя напряжения и токи, убедиться, что напряжение, прикладываемое к каждому резистору, одинаково и что сумма токов ветвей равна полному току цепи. Проверить результаты измерения расчётом.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь согласно монтажной схеме (рис. 3.4), вставив последовательно с каждым из резисторов (330, 220 и 470 Ом) специальные миниблоки для подключения амперметра.
- Измерьте напряжение на каждом резисторе, а также напряжение на источнике. Убедитесь, что все они одинаковы и запишите значение напряжения в табл. 3.2.
- С помощью мультиметра, специального проводника со штекером и миниблоков для подключения амперметра измерьте токи в каждом резисторе и на входе цепи. Результаты запишите в табл. 3.2
- Рассчитайте эквивалентное сопротивление цепи, ток в каждом резисторе и на входе цепи. Результаты занесите в табл. 3.2 и сравните с измеренными значениями.

- Проверьте как по экспериментальным, так и по расчётным данным, выполняется ли первый закон Кирхгофа:

$$I = I_1 + I_2 + I_3.$$

Таблица 3.2

| | Напряжение (U), В | Токи в ветвях, мА | | | Ток на входе цепи, мА |
|----------------------|-----------------------|-------------------|------------------|------------------|--|
| | | 330 Ом (I_1) | 220 Ом (I_2) | 470 Ом (I_3) | $R_{\text{экв}} = \dots$ Ом (I) |
| Измеренные значения | | | | | |
| Расчитанные значения | | | | | |

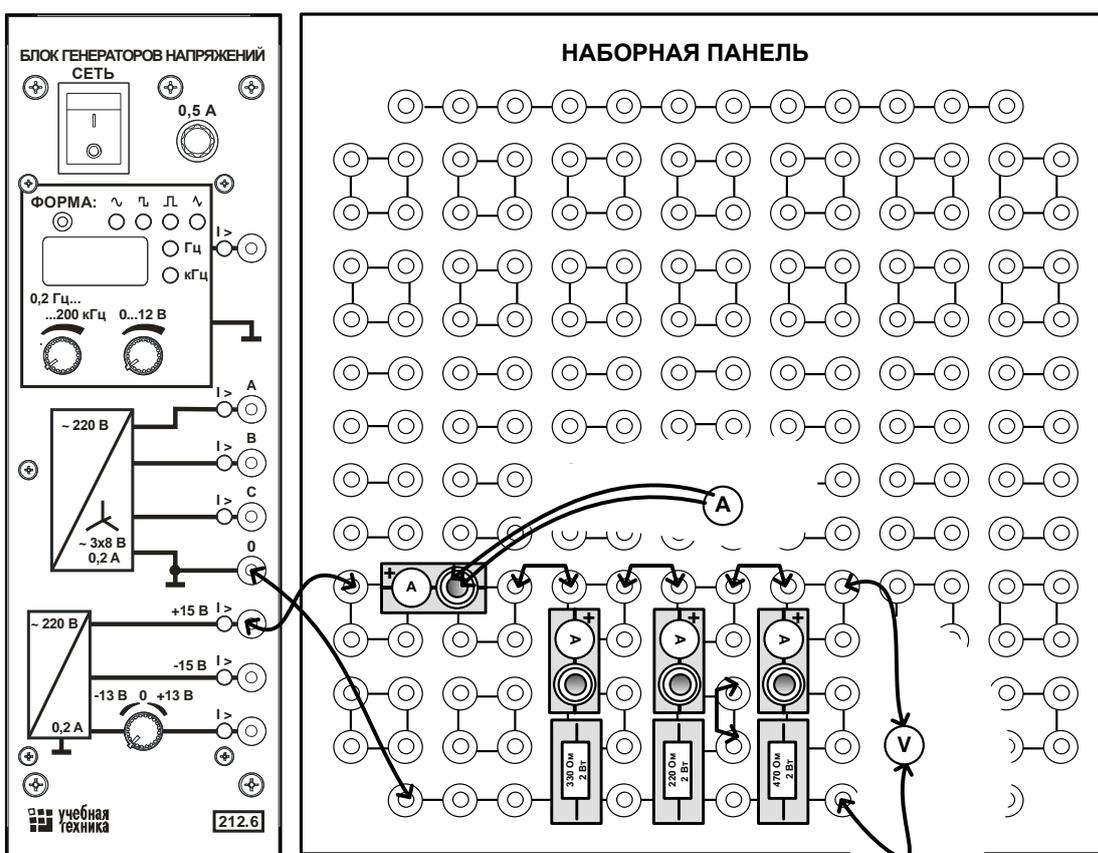


Рис. 3.4

Составьте и запишите вывод по проделанной работе.

Лабораторная работа № 4

Цепь постоянного тока при смешанном соединении резисторов

Общие сведения

На рис. 4.1 показан пример цепи со смешанным (т.е. последовательно-параллельным) соединением резисторов. Цепь состоит из последовательно (R_1 и R_2) и параллельно (R_3 и R_4) соединённых резисторов.

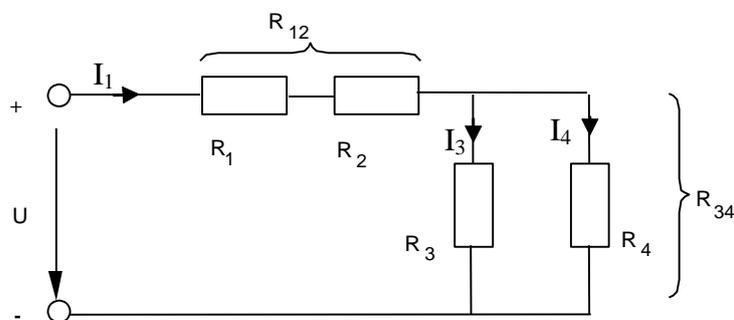


Рис. 4.1

Участки цепи с последовательным и параллельным соединением резисторов относительно друг друга соединены последовательно. Чтобы вычислить полное сопротивление цепи сначала определяют эквивалентное сопротивление параллельного участка:

$$R_{34} = \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}.$$

Затем определяют эквивалентное сопротивление всей цепи, состоящей теперь из трёх последовательно соединённых сопротивлений:

$$R_{\Sigma} = R_1 + R_2 + R_{34}.$$

Для расчёта токов в этой цепи необходимо сначала определить по закону Ома ток в эквивалентном сопротивлении, он же в сопротивлениях R_1 и R_2 :

$$I_1 = \frac{U}{R_{\Sigma}}.$$

После этого опять же по закону Ома определяются напряжение на участке с параллельным соединением и токи в параллельных ветвях:

$$U_{34} = I_1 R_{34}; \quad I_3 = \frac{U_{34}}{R_3}; \quad I_4 = \frac{U_{34}}{R_4}.$$

Экспериментальная часть

ЦЕЛЬ работы Измерить токи, напряжения и мощность в цепи при смешанном соединении резисторов. Проверить результаты измерений расчётом. Проверить выполнение первого и второго законов Кирхгофа и баланса мощностей.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь согласно монтажной схеме (рис. 4.2). В каждой из трёх ветвей этой схемы включены миниблоки для подключения амперметра. На входе цепи включён ваттметр для измерения полной мощности, потребляемой цепью.

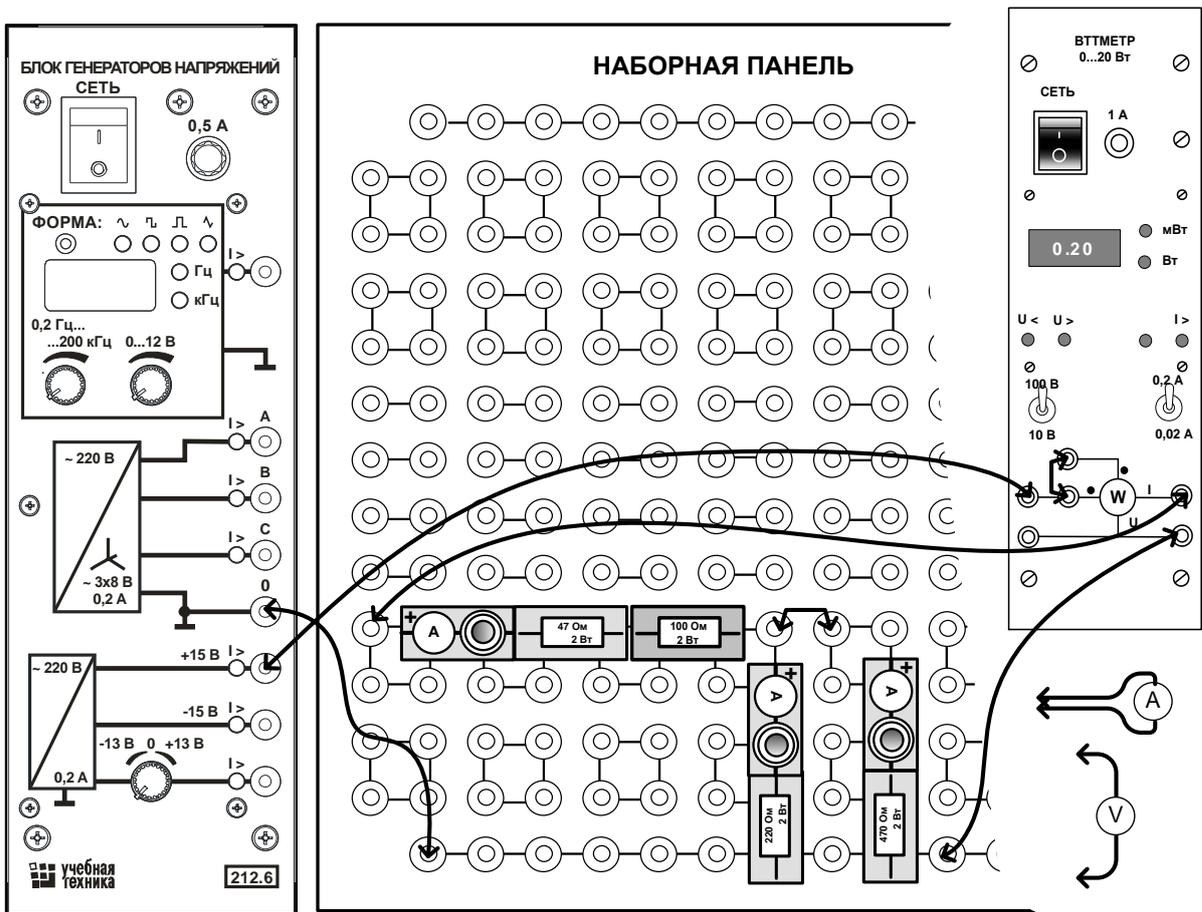


Рис.4.2

- Измерьте токи во всех ветвях, поочерёдно включая миллиамперметр в каждую ветвь цепи. Измерьте напряжения на всех элементах и мощность. **При измерении мощности правильно выберите пределы измерения ваттметра (так, чтобы не светились светодиоды I> и I<).** Результаты измерений занесите в табл. 4.1.

Таблица 4.1

| | I_1 , мА | I_3 , мА | I_4 , мА | U , В | U_1 , В | U_2 , В | U_{34} , В | P , Вт |
|---------------------|------------|------------|------------|---------|-----------|-----------|--------------|----------|
| Измеренные величины | | | | | | | | |
| Расчётные значения | | | | | | | | |

- Убедитесь, что выполняются первый и второй законы Кирхгофа, а именно:

$$I_1 = I_3 + I_4;$$

$$U_1 = U_1 + U_2 + U_{34}.$$

- Рассчитайте токи и напряжения на всех элементах по формулам, приведённым в разделе «Общие сведения», занесите результаты в строку «Расчётные значения» и сравните их с экспериментальными данными. Проверьте также выполнение первого и второго законов Кирхгофа по расчётным значениям.
- Определите мощность, потребляемую каждым резистором и сумму мощностей потребителей:

$$P_1 = I_1^2 R_1 = \dots \text{Вт};$$

$$P_2 = I_1^2 R_2 = \dots \text{Вт};$$

$$P_3 = I_3^2 R_3 = \dots \text{Вт};$$

$$P_4 = I_4^2 R_4 = \dots \text{Вт};$$

$$\dots \sum P = \dots \text{Вт}.$$

Вычислите мощность, отдаваемую источником, и убедитесь, что она примерно равна сумме мощностей потребителей:

$$P = UI = \dots \text{Вт}.$$

Занесите это значение в табл. 4.1 и сравните с мощностью, измеренной ваттметром.

Составьте и запишите вывод по проделанной работе.

Лабораторная работа №5

Режимы источников ЭДС. Передача мощности от активного двухполюсника к нагрузке

Общие сведения

Двухполюсник это любая, сколь угодно сложная цепь, имеющая два зажима для подключения внешних цепей. Активный двухполюсник имеет внутри себя источники питания. При расчёте электрических цепей, согласно теореме об эквивалентном генераторе, он может быть заменён эквивалентной ЭДС, равной напряжению холостого хода двухполюсника и внутренним сопротивлением, равным входному сопротивлению двухполюсника (рис. 6.1).

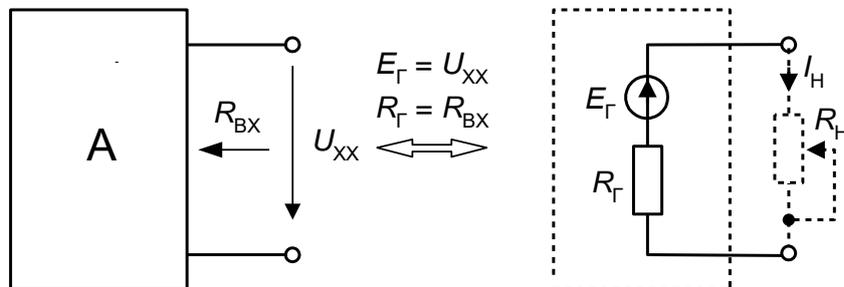


Рис. 5.1

После такой замены могут быть найдены ток, напряжение, и мощность, потребляемая в нагрузке по формулам:

$$I_H = \frac{E_G}{R_G + R_H}; \quad U_H = I_H R_H = \frac{E_G R_H}{R_G + R_H}; \quad P_H = I_H U_H = \frac{E_G^2 R_H}{(R_G + R_H)^2}.$$

Согласно этим выражениям ток, напряжение, и мощность изменяются при увеличении сопротивления нагрузки, как показано на графике (рис.5.2). В нагрузке выделяется максимальная мощность при $R_H = R_G$. Такой режим называется согласованным.

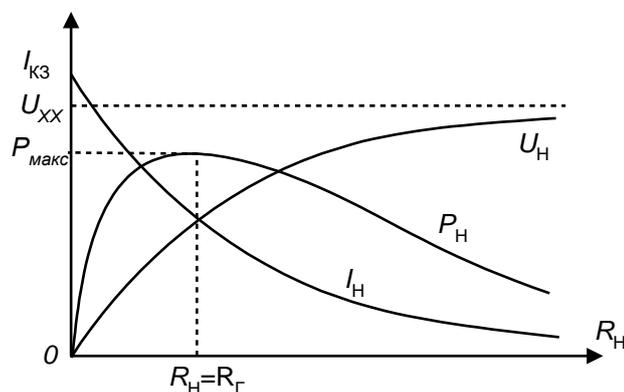


Рис. 5.2

Параметры эквивалентного генератора могут быть определены экспериментально из опытов холостого хода и короткого замыкания. При холостом ходе непосредственно измеряется $U_{ХХ} = E_{Г}$, а при коротком замыкании измеряется ток короткого замыкания $I_{кз}$ и вычисляется $R_{Г} = U_{ХХ} / I_{кз}$.

Экспериментальная часть

ЦЕЛЬ работы Экспериментально определить параметры эквивалентного генератора, снять зависимости $I_{H}(R_{H})$, $U_{H}(R_{H})$ и $P_{H}(R_{H})$ и построить графики. определить параметры эквивалентного генератора расчётом по известной схеме и номинальным параметрам элементов, рассчитать те же зависимости и сравнить с экспериментальными.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь согласно принципиальной схеме (рис. 5.3) и монтажной схеме (рис. 5.4). Включите питание и, вращая ручку переменного резистора, убедитесь, что ток и напряжение на нагрузке изменяются.
- Выньте из гнезд наборного поля переменный резистор 1 кОм и измерьте напряжение холостого хода. Запишите его значение в верхнюю строку табл. 5.1.
- Вставьте на место резистора перемычку и измерьте ток короткого замыкания, вычислите $R_{Г}$ и запишите их значения также в верхнюю строку табл. 5.1.
- Вставьте на своё место переменный резистор и, изменяя значение сопротивления нагрузки, записывайте в табл. 5.1 значения тока и напряжения на нагрузке.
- Вычислите по закону Ома значения сопротивлений нагрузки R_{H} , мощности P_{H} и на рис. 5.5 постройте графики $I_{H}(R_{H})$, $U_{H}(R_{H})$ и $P_{H}(R_{H})$.
- Сделайте расчёт параметров эквивалентного генератора, рассчитайте зависимости $I_{H}(R_{H})$, $U_{H}(R_{H})$ и $P_{H}(R_{H})$ при $R_{H} = 0 \dots 1$ кОм (табл.6.2) и на одном рисунке с опытными графиками постройте расчётные.
- Сравните результаты и сделайте выводы.

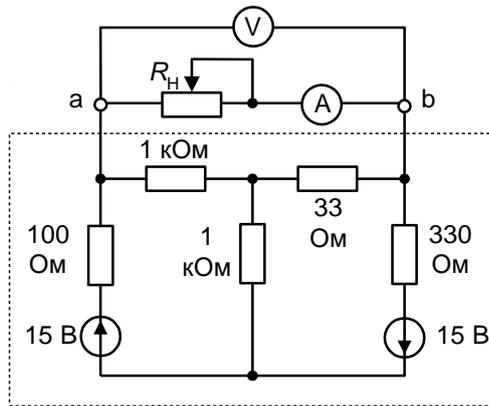


Рис. 5.3

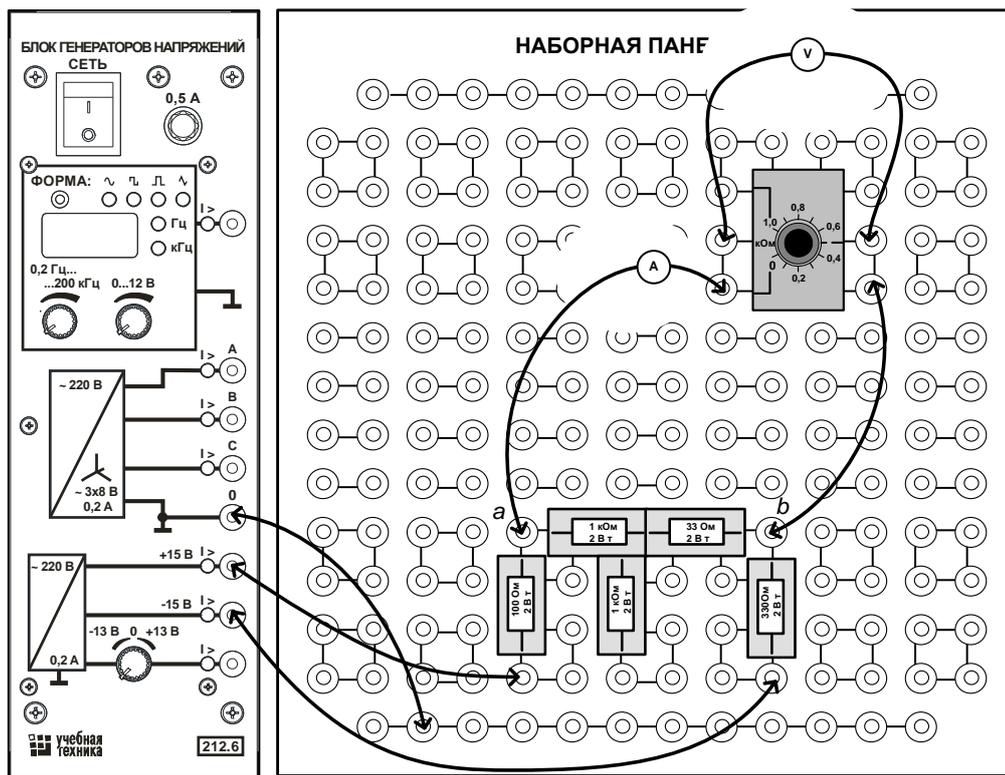


Рис. 5.4

Таблица 5.1

Опытные значения: $U_{XX} = \dots\dots\dots В$, $I_{K3} = \dots\dots\dots мА$, $R_{Г} = \dots\dots\dots Ом$

| | | | | | | | | | | |
|-------------|---|--|--|--|--|--|--|--|--|----------|
| U, В | | | | | | | | | | |
| I, мА | | | | | | | | | | |
| P_H , мВт | | | | | | | | | | |
| R_H , Ом | 0 | | | | | | | | | ∞ |

Таблица 5.2

Расчётные значения: $E_{Г} = \dots\dots\dots В$, $R_{Г} = \dots\dots\dots Ом$, $I_{K3} = \dots\dots\dots мА$

| | | | | | | | | | | |
|-------------|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| R_H , Ом | 0 | | | | | | | | | |
| I, мА | | | | | | | | | | |
| U, В | | | | | | | | | | |
| P_H , мВт | | | | | | | | | | |

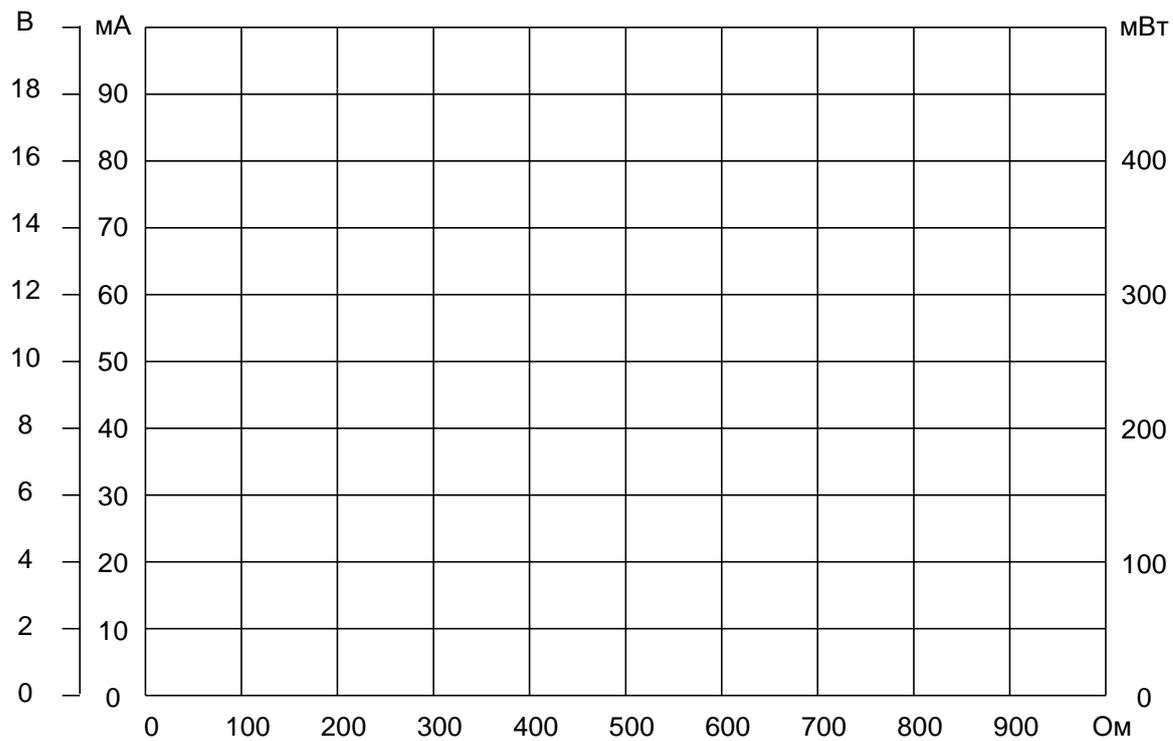


Рис. 5.5

Составьте и запишите вывод по проделанной работе.

Лабораторная работа №6

Снятие вольтамперных характеристик нелинейных элементов на постоянном токе

Общие сведения

Вольтамперная характеристика представляет собой график зависимости напряжения от тока $U(I)$ (или наоборот $I(U)$) на данном элементе электрической цепи.

У линейных резисторов вольтамперная характеристика представляет собой прямую линию $U = RI$ (рис. 6.1). У нелинейных элементов (лампы накаливания, электрическая дуга, диоды, транзисторы и другие электронные приборы) эта зависимость более сложная и часто неоднозначная.



Рис. 6.1

Две принципиальные схемы для снятия вольтамперных характеристик на постоянном токе изображены на рис. 6.2а и 6.2б. В них используется регулируемый источник постоянного напряжения, а резистор $R_{\text{огр}}$ в этих схемах служит для ограничения тока в цепи при малых сопротивлениях исследуемых элементов.

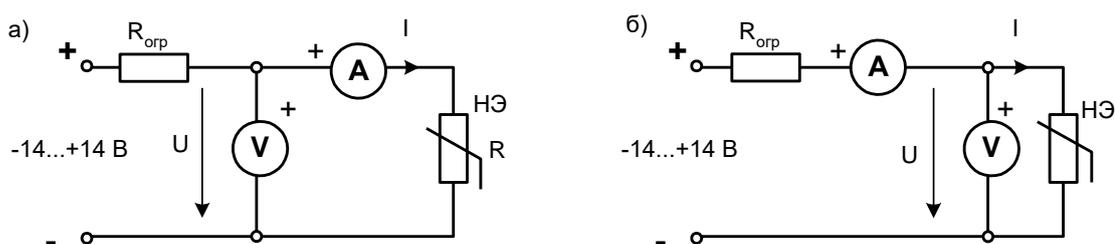


Рис. 6.2

Схема (а) называется схемой измерения с погрешностью по напряжению. Она используется в том случае, когда сопротивление испытуемого элемента велико по сравнению с сопротивлением амперметра. Тогда показание вольтметра близко к напряжению на элементе, хотя фактически он измеряет сумму напряжений на данном элементе и амперметре.

Вторая схема (б) называется схемой измерения с погрешностью по току. Здесь амперметр фактически измеряет сумму токов в данном элементе и вольтметре. Эта схема используется, если сопротивление испытуемого элемента мало по сравнению с

сопротивлением вольтметра. Тогда ток вольтметра гораздо меньше тока в испытуемом элементе и им можно пренебречь.

В данной работе по схеме (а) снимаются вольтамперные характеристики лампы накаливания, прямая ветвь характеристики стабилитрона и обратная ветвь характеристики полупроводникового диода. По схеме (б) снимаются обратная ветвь характеристики стабилитрона, прямая ветвь характеристики полупроводникового диода и характеристики **n-p-n** транзистора

Полупроводниковый прибор **транзистор** имеет три вывода: эмиттер (э), коллектор (к) и база (б). Если между базой и эмиттером прикладывать небольшое напряжение, то можно управлять значительным током, протекающим от коллектора к эмиттеру. Таким образом, транзистор имеет управляемую вольтамперную характеристику. Принципиальная схема для снятия вольтамперных характеристик транзистора и их вид при различных токах базы показаны на рис. 6.3.

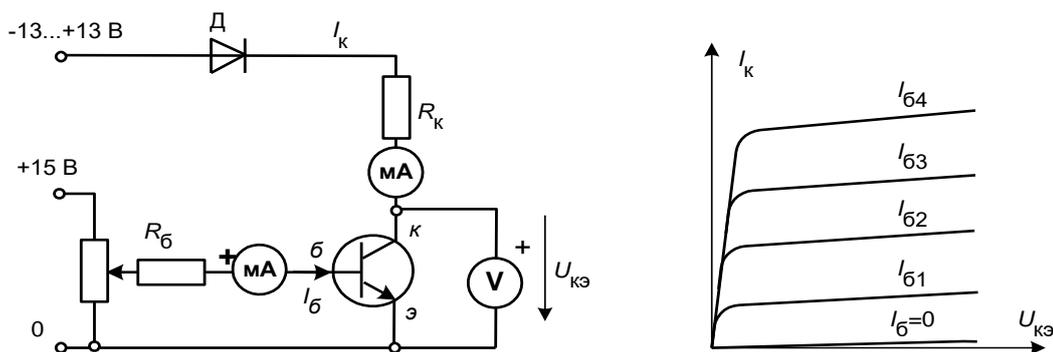


Рис.6.3

Экспериментальная часть

ЦЕЛЬ РАБОТЫ Снять экспериментально и построить графики вольтамперных характеристик лампы накаливания, стабилитрона, полупроводникового диода, n-p-n транзистора при трёх значениях тока базы.

Порядок выполнения работы

Соберите цепь (рис.6.2.а) для снятия вольтамперной характеристики лампы накаливания. Монтажная схема изображена на рис. 6.4. **Обратите внимание, что вольтметр и амперметр в этой схеме своими положительными клеммами подключены к точке «А»**

Изменяя ток в цепи, как показано в табл. 6.1, запишите в табл. 6.1 соответствующие значения напряжения на лампе и на рис. 6.5 постройте график вольтамперной характеристики лампы накаливания.

Таблица 6.1
Резистор

| | | | | | | | | | | | | | |
|------------|-----|-----|----|----|----|----|---|----|----|----|----|-----|-----|
| $I,$ мА | | | | | | | | | | | | | |
| $U,$ В | -12 | -10 | -8 | -6 | -4 | -2 | 0 | +2 | +4 | +6 | +8 | +10 | +12 |

Замените лампу накаливания стабилитроном, соблюдая полярность, показанную на рис. 6.4, и снимите его вольтамперную характеристику, устанавливая либо напряжения, либо токи, указанные в табл.6.2. **Для увеличения точности при отрицательных напряжениях и токах вольтметр должен быть подключён**

к точке «В», а при положительных – к точке «А». График вольтамперной характеристики стабилитрона постройте также на рис. 6.5.

Таблица 6.2
Лампа накаливания

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-----|-----|----|----|----|----|---|----|----|----|----|-----|-----|
| I , мА | | | | | | | | | | | | | |
| U , В | -12 | -10 | -8 | -6 | -4 | -2 | 0 | +2 | +4 | +6 | +8 | +10 | +12 |

Замените стабилитрон диодом и устанавливая токи или напряжения, указанные в табл. 6.3, снимите его вольтамперную характеристику. **В этом опыте, наоборот, при отрицательных напряжениях и токах вольтметр должен быть подключён к точке «А», а при положительных – к точке «В».** График вольтамперной характеристики диода постройте на том же рис. 6.5.

Таблица 6.3
Полупроводниковый диод

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-----|-----|----|----|----|----|---|----|----|----|----|-----|-----|
| I , мА | | | | | | | | | | | | | |
| U , В | -12 | -10 | -8 | -6 | -4 | -2 | 0 | +2 | +4 | +6 | +8 | +10 | +12 |

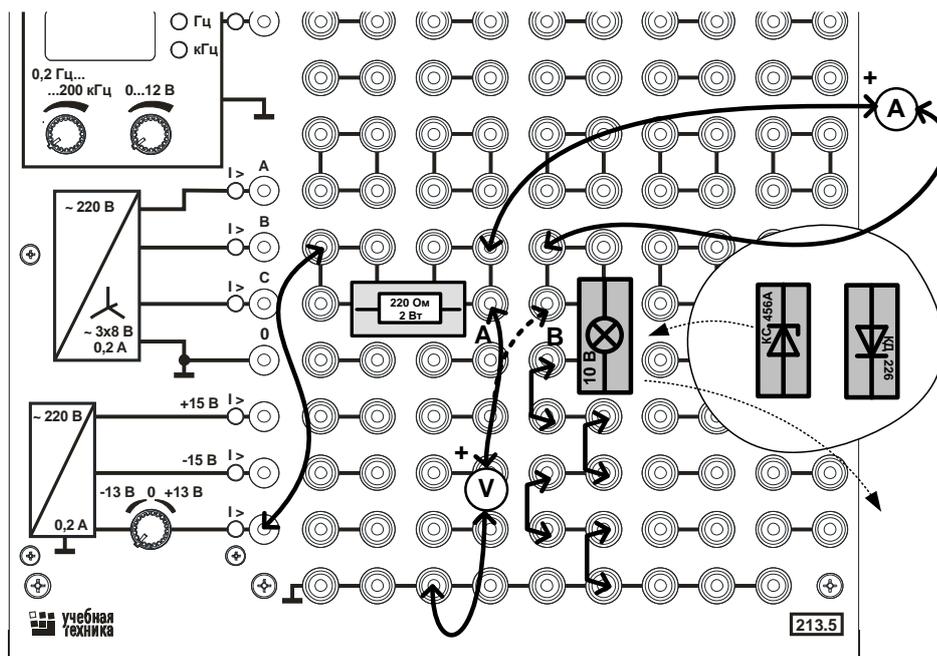


Рис. 6.4

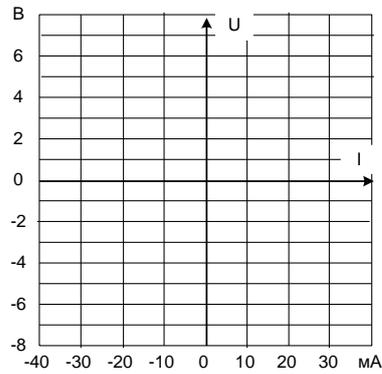


Рис.6.5

Для снятия вольтамперных характеристик транзистора соберите цепь по принципиальной схеме (рис. 6.3). Монтажная схема показана на рис. 6.6. Установите максимальное напряжение на выходе регулируемого источника и отрегулируйте потенциометром ток базы так, чтоб ток коллектора составлял 8...12 мА. Запишите это первое значение тока базы в табл. 6.4. Уменьшая напряжение, подаваемое на коллектор, снимите вольтамперную характеристику и постройте её график на рис. 6.7. Снова установите максимальное напряжение на коллекторе и отрегулируйте ток базы так, чтобы ток коллектора составлял 20...25 мА. Запишите новое значение тока базы, снимите и постройте новую вольтамперную характеристику. Ещё раз установите максимальное напряжение на коллекторе и отрегулируйте ток базы так, чтобы теперь ток коллектора составлял 35...40 мА. Снимите и постройте третью вольтамперную характеристику.

Таблица 6.4

| | | | | | | | | |
|----------------------------|--------------------|---|-----|---|-----|---|----|----|
| $I_{B1} = \dots \text{мА}$ | $U_{КЭ}, \text{В}$ | 1 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |
| | $I_{К}, \text{мА}$ | | | | | | | |
| $I_{B2} = \dots \text{мА}$ | $U_{КЭ}, \text{В}$ | 1 | 1,5 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| | $I_{К}, \text{мА}$ | | | | | | | |
| $I_{B3} = \dots \text{мА}$ | $U_{КЭ}, \text{В}$ | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 4 | 6 |
| | $I_{К}, \text{мА}$ | | | | | | | |

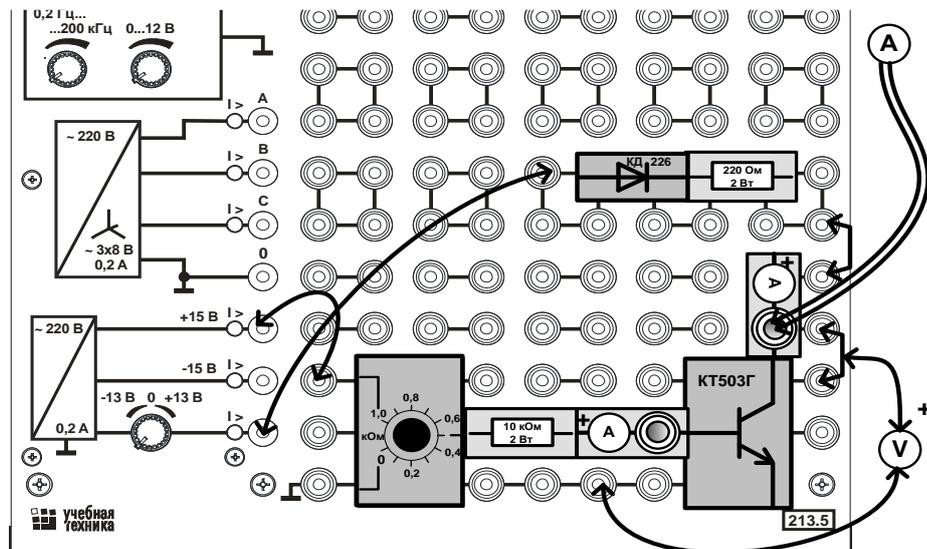


Рис. 6.6

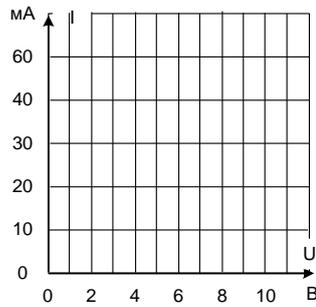


Рис.6.7

Составьте и запишите вывод по проделанной работе.

Лабораторная работа №7.

Экспериментальное исследование и расчёт магнитной цепи при постоянном токе

Общие сведения

Участок магнитной цепи характеризуется вебер-амперной характеристикой, т.е. зависимостью магнитного потока Φ от магнитного напряжения на этом участке Hl , где H – напряжённость магнитного поля, а l – длина участка. В замкнутом контуре магнитной цепи алгебраическая сумма магнитных напряжений всех участков равна алгебраической сумме намагничивающих (магнитодвижущих) сил всех катушек iw ,

$$\sum Hl = \sum iw,$$

где i – ток в катушке, а w – число витков.

Вебер-амперная характеристика неразветвлённой магнитной цепи представляет собой зависимость $\Phi(iw)$. Её можно построить, если известны кривая намагничивания $B(H)$ ферромагнитного материала, из которого сделан магнитопровод и его геометрические размеры: площадь поперечного сечения S и длина средней линии l каждого участка.

Задаваясь рядом произвольных значений магнитной индукцией B_1 для одного из участков магнитной цепи, находим по кривой намагничивания напряжённость H_1 на этом участке, магнитный поток $\Phi = B_1 S_1$ и магнитное напряжение $H_1 l_1$ на этом участке. Считая магнитный поток вдоль всей неразветвлённой цепи одинаковым находим далее магнитную индукцию на втором участке B_2 и находим аналогично H_2 , и $H_2 l_2$. Повторяем этот расчёт для всех участков замкнутой магнитной цепи, находим $Hl = iw$ и строим график $\Phi(iw)$. Для воздушных зазоров магнитной цепи при определении H вместо кривой намагничивания используем зависимость

$$H = B/\mu_0,$$

где $\mu_0 = 4 \cdot 10^{-7}$ - магнитная проницаемость пустоты.

Принципиальная схема лабораторной установки показана на рис. 7.1. Конденсатор 100 мкФ включён параллельно катушке $W1$ для предотвращения перенапряжений при отключении цепи и более плавного нарастания напряжения при включении.

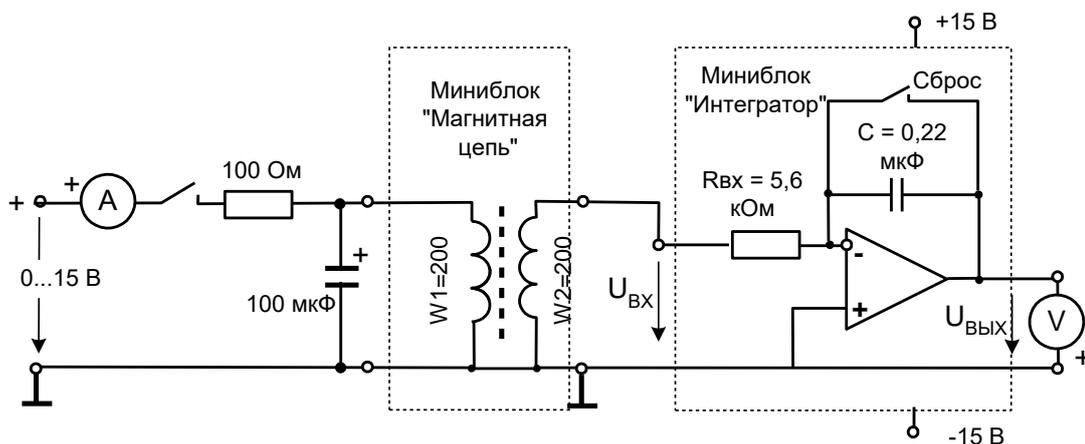


Рис.7.1

Для измерения магнитного потока на постоянном токе обычно используется так называемый баллистический метод, основанный на измерении заряда, протекающего по измерительной катушке, намотанной на магнитопровод. При включении цепи на постоянный ток или при её выключении магнитный поток изменяется. При этом, в измерительной катушке индуцируется ЭДС $E = w d\Phi/dt$, в ней возникает ток $I = E/R$. За время dt через измерительную катушку протекает заряд $dq = Idt = wd\Phi/R$,

где R – сопротивление контура с измерительной катушкой.

Для измерения заряда часто использовался баллистический гальванометр, отклонение подвижной части которого пропорционально заряду протекшего через него за короткое время. Отсюда этот метод получил название баллистического. В данной работе вместо баллистического гальванометра используется интегрирующий усилитель. Приращение напряжения на его выходе пропорционально интегралу от тока, протекающего через его входные зажимы. Если начальное напряжение на выходе усилителя равно нулю, то после протекания заряда q на его выходе устанавливается напряжение

$$U_{\text{вых}} = q/C,$$

где C – входная ёмкость интегратора.

Подставляя в эту формулу выражение заряда через магнитный поток, получим

$$U_{\text{вых}} = w\Phi/RC.$$

Отсюда:

$$\Phi = U_{\text{вых}} \cdot RC/w,$$

где R и C – параметры входной цепи интегрирующего усилителя, указанные на его этикетке.

При измерениях следует иметь в виду, что даже при отсутствии напряжения на входе интегратора, напряжение на его выходе медленно изменяется (дрейфует) вследствие несовершенства интегратора и внешних помех. Поэтому, непосредственно перед включением или выключением цепи нужно «обнулить» интегратор, замкнув на 2...3 с выключатель «Сброс», а отсчёт выходного напряжения произвести после включения или выключения цепи в течение нескольких секунд. Для увеличения достоверности результатов рекомендуется произвести несколько включений и выключений и записать среднее значение выходного напряжения.

Исследуемая магнитная цепь схематично показана на рис. 7.2.

Магнитопровод выполнен из двух Ш-образных ферритовых сердечников марки М2000НМ. На среднем стержне магнитопровода расположены две одинаковые обмотки (намагничивающая и измерительная) по 200 витков каждая. Зазор может регулироваться винтом, один оборот которого изменяет зазор на 0,5мм (шаг резьбы 0.5

мм). Для устранения перекоса сердечника рекомендуется в левый и правый зазоры вставить немагнитные прокладки (например, полоски бумаги) и осторожно от руки затянуть винт. Так, например, толщина бумаги «Снегурочка» для офисной техники 0,1 мм, толщина газетной бумаги - 0,05...0,06 мм.

Будьте осторожны: большое усилие при затягивании винта может привести к разлому печатной платы на которой смонтирована вся конструкция!

Необходимые для расчёта размеры сердечника приведены на рис. 13.3, а кривая намагничивания феррита М2000НМ – на рис. 13.4.

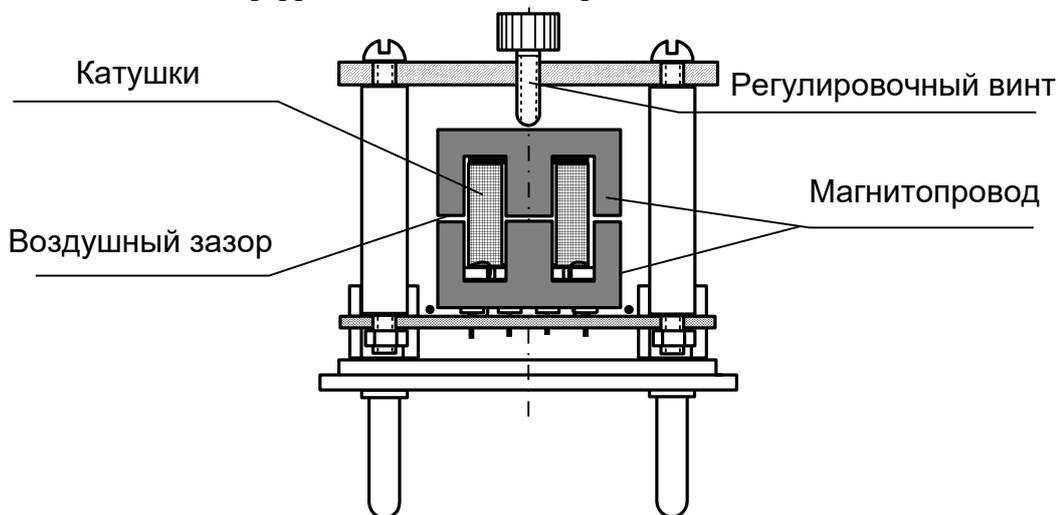


Рис.7.2

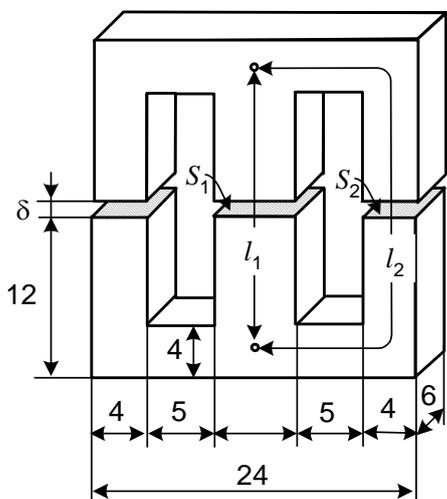


Рис.13.3

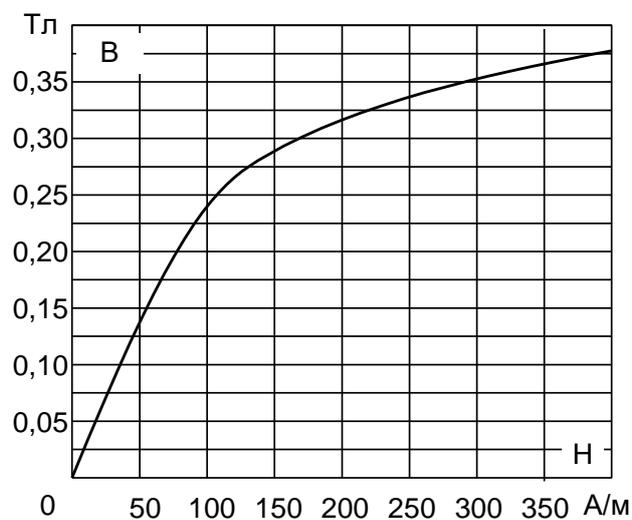


Рис. 13.4

Экспериментальная часть

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Снять экспериментально вебер-амперные характеристики магнитной цепи без зазора, а также с зазорами 0,06 и 0,1 мм. Сделать расчёт характеристики без зазора и с одним из зазоров. Сравнить результаты.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите электрическую цепь согласно принципиальной схеме (рис. 7.1) и монтажной схеме (рис. 7.5). Конденсатор 100 мкФ в этой цепи установлен для

того, чтобы после отключения цепи в контуре L-C возникали затухающие колебания, и сердечник размагничивался.

- Устраните зазор в магнитной цепи, завернув до отказа регулировочный винт усилием «от руки». Переключите интегратор в положение «Сброс» (верхнее положение переключателя), включите генератор напряжений и установите первое значение тока из табл. 13.1. Убедитесь что напряжение на выходе равно нулю.

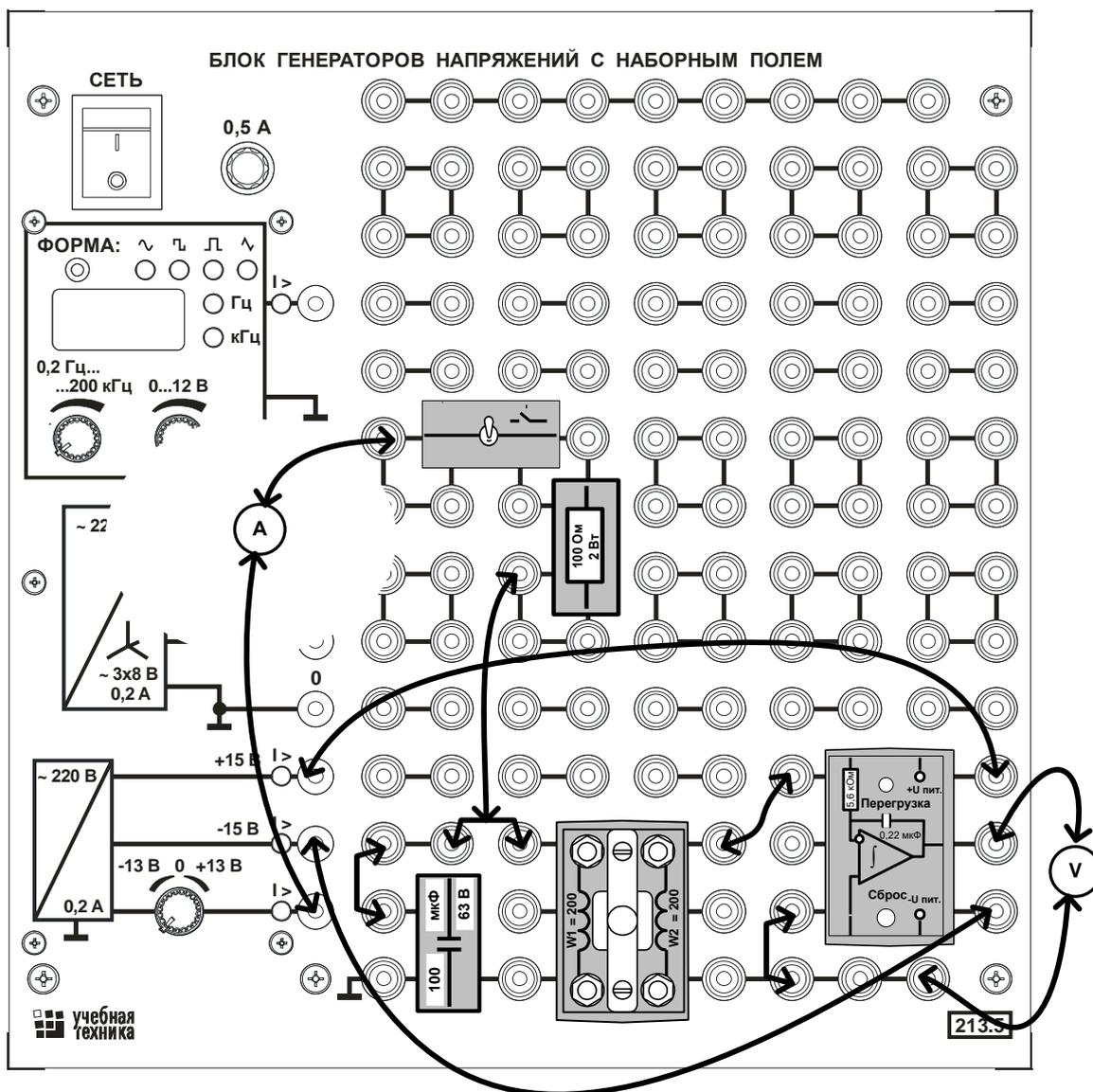


Рис.7.5

- Включите интегрирование, и тотчас отключите ток выключателем на входе цепи. В течение двух – трёх секунд после этого запомните значение напряжения на выходе интегратора.
- Снова произведите сброс, включите интегрирование и тотчас включите выключатель на входе цепи. Снова запомните показание вольтметра на выходе. Оно должно быть примерно такое же, как и при выключении, только с другим знаком.
- Прodelайте операции включения и выключения несколько раз и запишите в таблицу среднее или наиболее часто повторяющееся значение.

- Установите следующее значение тока и повторите операции выключения и включения.
- Повторите опыт при всех значениях тока, указанных в табл. 11.1, рассчитайте магнитный поток $\Phi = U_{\text{вых.}} RC/w$ и магнитодвижущую силу I .
- Постройте экспериментальные графики $\Phi(Iw)$ на рис. 7.6.
- Установите второе значение зазора и повторите опыт при значениях тока, указанных для этого зазора. Постройте графики на том же рис.
- Прделайте эти же опыты для третьего значения зазора и также постройте графики.

Таблица 7.1

| | | | | | | | | |
|-----------------------|-----------------------|----|----|----|----|----|-----|-----|
| $\delta = 0$ | I, мА | 10 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 |
| | $U_{\text{вых.}}$, В | | | | | | | |
| | Iw , А | | | | | | | |
| | Φ , Вб | | | | | | | |
| $\delta = 0,06$ мм | I, мА | | 20 | 40 | | 80 | | 120 |
| | $U_{\text{вых.}}$, В | | | | | | | |
| | Iw , А | | | | | | | |
| | Φ , Вб | | | | | | | |
| $\delta = 0,1$ мм | I, мА | | | 40 | | 80 | | 120 |
| | $U_{\text{вых.}}$, В | | | | | | | |
| | Iw , А | | | | | | | |
| | Φ , Вб | | | | | | | |

Расчёт магнитной цепи

При расчёте магнитной цепи в силу её симметрии две крайних ветви объединяются в одну ветвь удвоенного сечения. Придерживаетесь следующего порядка расчёта:

По размерам, указанным на рис. 7.2 определите длины средних линий участков магнитной цепи l_1 и l_2 (при $\delta = 0$), а также их сечения S_1 и S_2 .

$l_1 = \dots\dots\dots$ м.

$l_2 = \dots\dots\dots$ м.

$S_1 = \dots\dots\dots$ м².

$S_2 = \dots\dots\dots$ м².

Расчёт вебер-амперных характеристик магнитной цепи без зазора и с одним из зазоров ведите в форме табл. 13.2

Таблица 13.2

| B_1 , Тл | 0,1 | 0,2 | 0,25 | 0,3 | 0,35 |
|---|-----|-----|------|-----|------|
| H_1 , А/м (по рис. 11.3) | | | | | |
| $H_1 l_1$, А | | | | | |
| $\Phi = B_1 S_1$, Вб | | | | | |
| $B_2 = \Phi / S_2$, Тл | | | | | |
| H_2 , А/м (по рис. 11.3) | | | | | |
| $H_2 l_2$, А | | | | | |
| $Iw = H_1 l_1 + H_2 l_2$, А (при $\delta = 0$) | | | | | |
| $H_{\square 1} = B_1 / \square_0$, А/м | | | | | |
| $H_{\square 2} = B_2 / \square_0$, А/м | | | | | |
| $Iw = H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_{\square 1} \square \square$ $H_{\square 2} \square \square \square$ А | | | | | |

- На рис. 7.6 постройте две рассчитанные характеристики $\Phi(I_w)$ и сравните их с опытными.

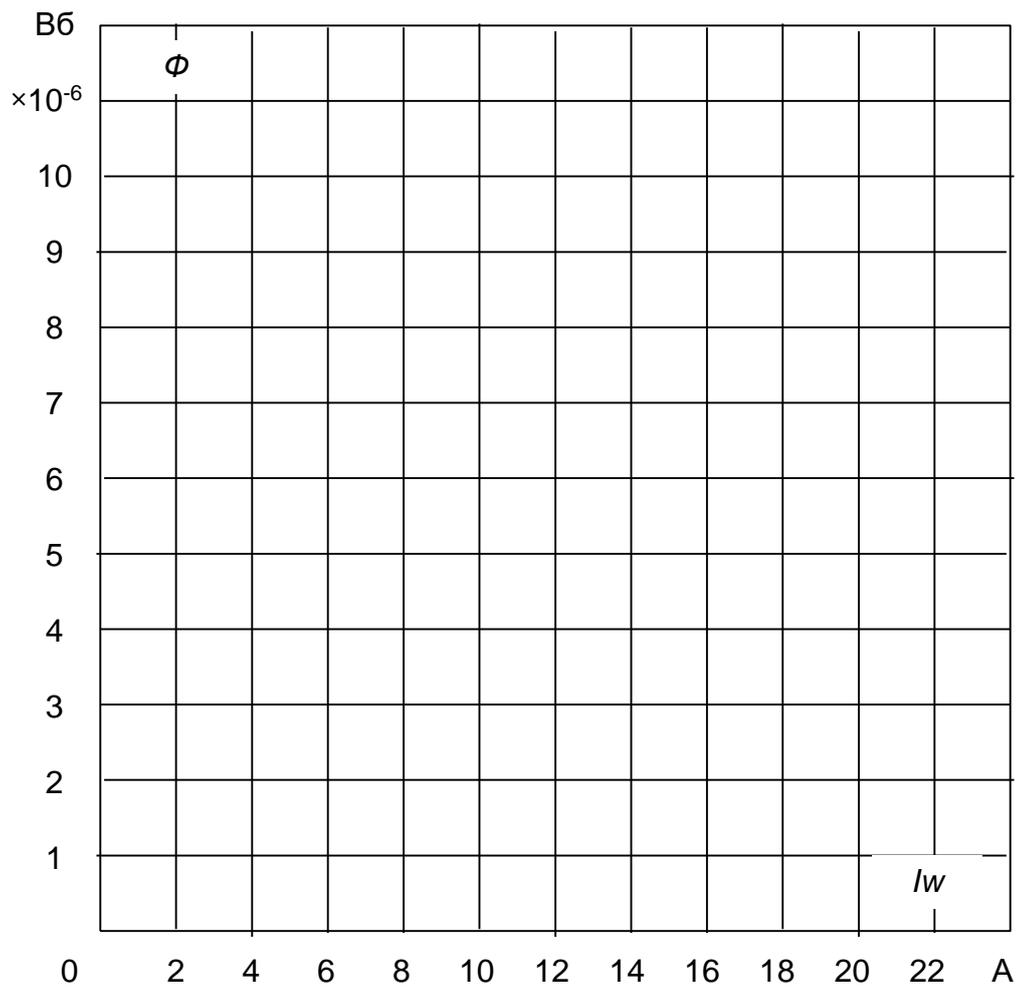


Рис. 7.6

Составьте и запишите вывод по проделанной работе.

Лабораторная работа № 8

Цепь синусоидального тока при последовательном соединении R, L, и C.

Общие сведения

В цепи переменного тока кроме сопротивлений используются также катушки индуктивности и конденсаторы.

На сопротивлениях, которые в цепи переменного тока называют ещё *активными сопротивлениями*, связь между током и напряжением определяется законом Ома. Если по активному сопротивлению R протекает синусоидальный ток $i = I_m \sin \omega t$, то напряжение на этом сопротивлении $u = U_m \sin \omega t$, где $\omega = 2\pi f$ – круговая частота, а амплитуды тока и напряжения связаны законом Ома: $U_m = RI_m$.

Если по идеальной индуктивности L (т.е. активное сопротивление провода катушки равно нулю) протекает ток $i = I_m \sin \omega t$, то напряжение на ней $u = U_m \sin(\omega t + 90^\circ)$, т.е. напряжение на катушке опережает ток на 90° , или ток отстаёт от напряжения по фазе на 90° . Амплитуды тока и напряжения связаны соотношением, аналогичным закону Ома: $U_m = X_L I_m$, где $X_L = \omega L$ – *индуктивное сопротивление*.

Наконец, если по конденсатору, ёмкость которого C , протекает синусоидальный ток $i = I_m \sin \omega t$, то напряжение на нём $u = U_m \sin(\omega t - 90^\circ)$ отстаёт от тока по фазе на 90° . Амплитуда напряжения связана с током также выражением, аналогичным закону Ома: $U_m = X_C I_m$, где $X_C = 1/\omega C$ – *ёмкостное сопротивление*.

Выражения аналогичные закону Ома применяются и для действующих значений синусоидальных токов и напряжений:

$$U_R = RI; \quad U_L = X_L I; \quad U_C = X_C I.$$

При последовательном соединении R , L , и C (рис. 8.1.1а) через все элементы протекает один и тот же ток. Тогда напряжение на всей цепи можно определить по второму закону Кирхгофа, как сумму напряжений на отдельных элементах. При сложении, чтобы учесть фазовые сдвиги между напряжениями, удобно использовать векторные диаграммы. На векторной диаграмме действующие (или амплитудные) значения токов и напряжений изображают векторами, длины которых равны численным значениям токов и напряжений, а углы между ними соответствуют фазовым сдвигам (рис. 8.1.1б).

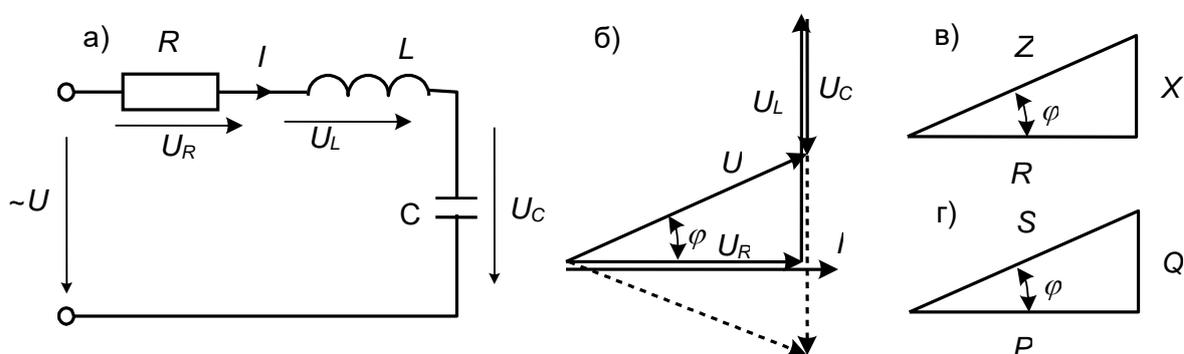


Рис. 8.1.1

Из векторной диаграммы следует, что напряжение на всей цепи

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = \sqrt{R^2 I^2 + (X_L I - X_C I)^2} = ZI,$$

где $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + X^2}$ - **полное сопротивление** цепи при последовательном соединении R , L , и C , а $X = X_L - X_C$ - реактивное сопротивление.

Из векторной диаграммы следует также, что угол сдвига между током и напряжением

$$\phi = \arctg \frac{U_L - U_C}{U_R} = \arctg \frac{X_L - X_C}{R} = \arctg \frac{X}{R}$$

Все соотношения между активным, реактивным и полным сопротивлениями, а также углом ϕ , хорошо иллюстрируются с помощью треугольника сопротивлений (рис. 8.1.1в), который подобен треугольнику напряжений.

Если $X_L > X_C$, то угол ϕ положительный и напряжение опережает ток. Этот случай показан на векторной диаграмме сплошными линиями. Если же $X_L < X_C$, то угол ϕ отрицательный, и напряжение отстает от тока (показано на векторной диаграмме пунктиром). Если же, наконец, $X_L = X_C$, тогда и $U_L = U_C$ и $\phi = 0$, и ток совпадает с напряжением по фазе. Этот случай называется **резонансом напряжений**.

Условие резонанса $X_L = X_C$ или $\phi = 0$ можно также записать в виде:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \quad \text{или} \quad \omega^2 LC = 1.$$

Отсюда можно определить частоту, индуктивность или ёмкость, при которой в цепи будет наблюдаться резонанс.

При синусоидальном токе мощность, потребляемая цепью, периодически изменяется во времени с двойной частотой. Однако, кроме переменной составляющей, она содержит также и постоянную составляющую. Среднее значение мощности за период называется **активной мощностью**: $P = UI \cos \phi = I^2 R$. Она измеряется в Вт. Кроме активной мощности в цепях переменного тока используют понятия **полной мощности** $S = UI = I^2 Z$, (В·А), **реактивной мощности** $Q = UI \sin \phi = I^2 X$, (вар), а также индуктивной мощности $Q_L = I^2 X_L$, (вар) и ёмкостной мощности $Q_C = I^2 X_C$, (вар). Очевидно, что $Q = Q_L - Q_C$. Все соотношения между мощностями можно проиллюстрировать треугольником мощностей, подобным треугольникам напряжений и сопротивлений (рис. 3.1.1г). При резонансе, когда $X = X_L - X_C = 0$ и $\phi = 0$, реактивная мощность также равна нулю, а активная равна полной мощности.

Параметры цепи переменного тока R , X_L и X_C можно определить по показаниям трёх приборов вольтметра, амперметра и ваттметра. Измерив этими приборами U , I , и P , определяем $Z = U/I$ и $\phi = \arccos P/UI$. Затем из треугольника сопротивлений определяем $R = Z \cos \phi$ и $X = Z \sin \phi$.

Экспериментальная часть

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Определить экспериментально параметры цепи с последовательным соединением R , L и C для трёх случаев $X_L > X_C$, $X_L = X_C$ и $X_L < X_C$. Построить векторные диаграммы. Сделать расчёт цепи при резонансе и сравнить результаты расчёта с экспериментальными данными.

Порядок выполнения работы

- Измерьте омметром и запишите активное сопротивление катушки индуктивности 900 витков. $R_K = \dots\dots\dots$ Ом.
- Снимите с трансформатора катушку 900 витков, вставьте в неё **только одну половинку** разъёмного сердечника и соберите цепь, принципиальная схема которой показана на рис. 3.1.2, а монтажная – на рис. 3.1.3.

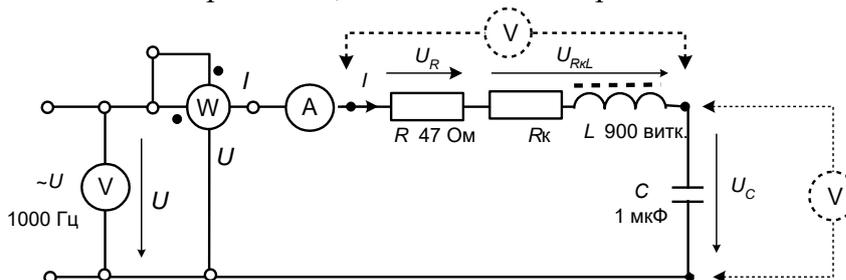


Рис. 3.1.2

- Установите переключатель сигналов генератора напряжений в положение «~», регулятор частоты – в положение 1000 Гц и регулятор напряжения в крайнее правое положение (максимальная амплитуда).
- Включите генератор и, регулируя частоту, добейтесь резонанса по максимуму тока.
- Измерьте мощность, ток и напряжения на входе цепи, на резисторе, на катушке с активным внутренним сопротивлением и на конденсаторе. Запишите эти показания приборов в строку $X_L = X_C$ табл. 3.1.1. **При измерении мощности следите за сигнализацией ошибок в выборе пределов измерения I , I , U , U .**

Таблица 8.1.1

| f =Гц | Измерения | | | | | | Вычисления | |
|---|-----------|----------|---------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|---|---|
| | P, мВт | I, мА | U, В | U _R , В | U _{RKL} , В | U _C , В | U _{RK} =R _K I, В | U _L = √(U _{RêL} ² - U _{Rê} ²), В |
| C = 1 мкФ (X _L =X _C) | | | | | | | | |
| C = 1,47 мкФ (X _L >X _C) | | | | | | | | |
| C = 0,47 мкФ (X _L <X _C) | | | | | | | | |

- Включите параллельно конденсатору 1 мкФ конденсатор 0,47 мкФ и запишите показания приборов в строку $X_L > X_C$.
- Оставьте в цепи один конденсатор 0,47 мкФ и запишите показания приборов в строку $X_L < X_C$.
- По опытным данным рассчитайте напряжения на активном и индуктивном сопротивлениях катушки и занесите результаты также в табл. 3.1.1.

- На рис. 8.1.4 постройте в масштабе векторные диаграммы для всех случаев.
- По экспериментальным данным определите параметры цепи Z , φ , R , X и сведите результаты расчёта в табл. 8.1.2.

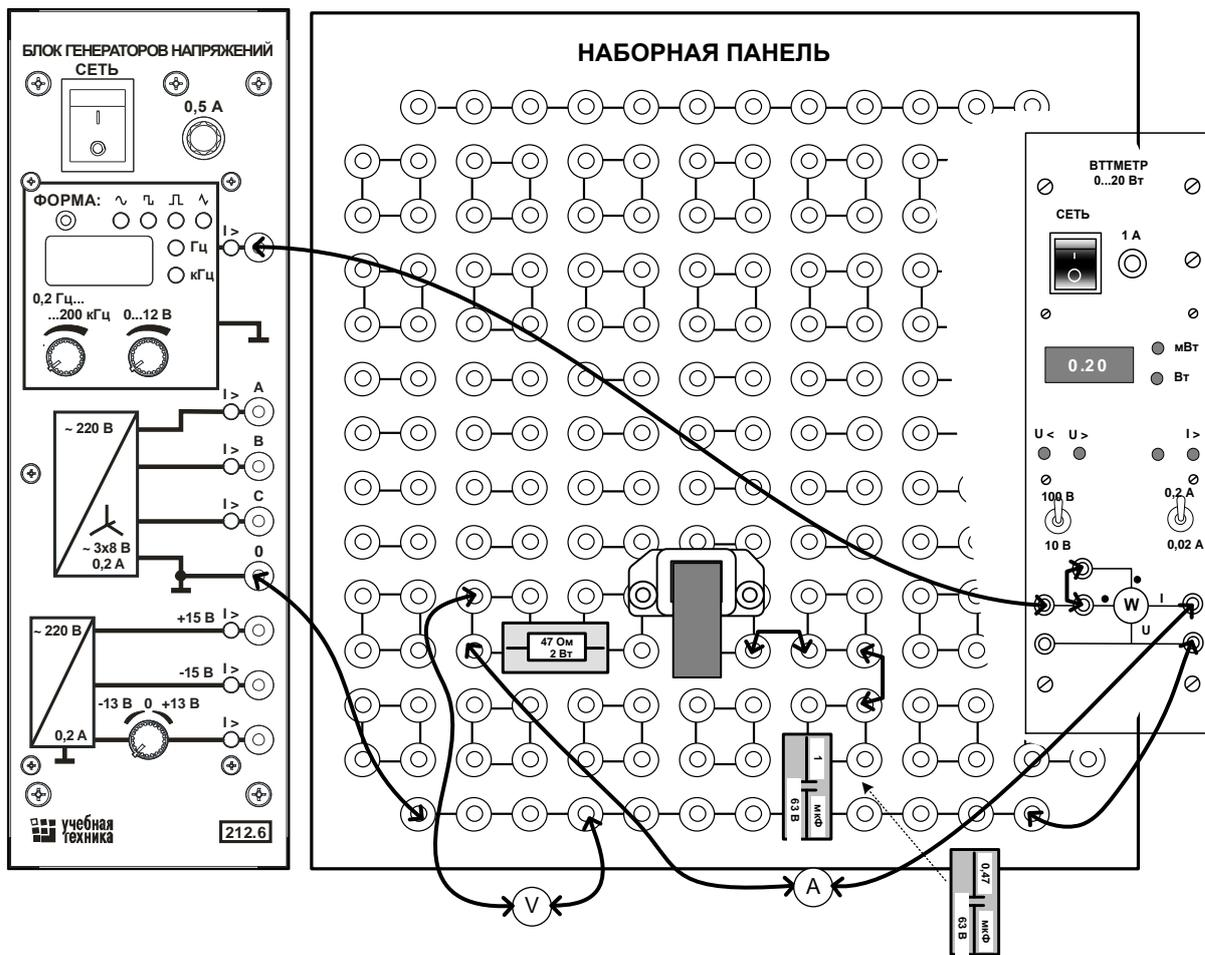


Рис. 8.1.3

- Определите те же эквивалентные параметры цепи Z , φ , R , X по номинальным данным, указанным на этикетках (кроме катушки) и сведите результаты расчёта в табл. 8.1.3. Сравните результаты. Проверьте расчёт путём непосредственного измерения сопротивлений Z , R , X и угла φ виртуальными приборами.



Рис. 8.1.4

Таблица 8.1.2

| | $\cos \phi = \frac{P}{UI}$ | ϕ , град | $\sin \phi$ | $Z = \frac{U}{I}$, Ом | $R = Z \cos \phi$, Ом | $X = Z \sin \phi$, Ом |
|-------------|----------------------------|---------------|-------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| $X_L = X_C$ | | | | | | |
| $X_L > X_C$ | | | | | | |
| $X_L < X_C$ | | | | | | |

Таблица 8.1.3

| | $R = R_k + R$, Ом | $X_L = U_L / I$, Ом (по данным табл. 7.1) | $X_C = \frac{1}{\omega C}$, Ом | $X = X_L - X_C$, Ом | $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$, Ом | $\phi = \arctg \frac{X}{R}$, град. |
|-------------|--------------------|---|---------------------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| $X_L = X_C$ | | | | | | |
| $X_L > X_C$ | | | | | | |
| $X_L < X_C$ | | | | | | |

Составьте и запишите вывод по проделанной работе.

Лабораторная работа №9

Цепь синусоидального тока при параллельном соединении R, L, и C.

Общие сведения

В общем случае, на входе цепи синусоидального тока, содержащей сопротивления, индуктивности и ёмкости (рис. 8.1а) протекает ток, сдвинутый по фазе относительно напряжения на угол φ , что можно показать на векторной диаграмме (рис. 8.1б). Действующее значение этого тока определяется по закону Ома:

$$I = U/Z = UY,$$

где $Y = 1/Z$ – **полная проводимость** цепи.

Если ток отстаёт от напряжения ($\varphi > 0$), то говорят, что цепь носит индуктивный характер, если опережает ($\varphi < 0$) – ёмкостный характер. Второй случай показан на векторной диаграмме пунктиром.

Ток можно представить в виде суммы двух составляющих: **активной**, совпадающей по фазе с приложенным напряжением и **реактивной**, сдвинутой относительно напряжения на + или -90° .

Активная составляющая тока $I_a = I \cos \varphi = UY \cos \varphi = UG$, где $G = Y \cos \varphi$ называется **активной** проводимостью.

Реактивная составляющая тока $I_p = I \sin \varphi = UY \sin \varphi = UB$, где $B = Y \sin \varphi$ называется **реактивной** проводимостью.

Все соотношения между проводимостями Y , G , и B , а также углом φ могут быть наглядно представлены в виде треугольника проводимостей, подобного треугольнику токов (рис.8.1.в).

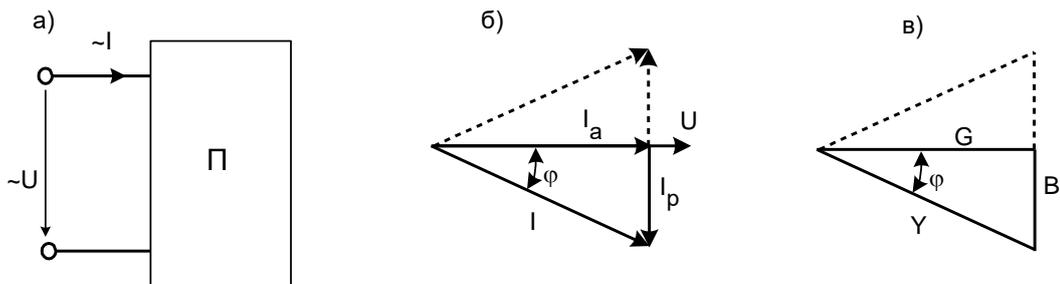


Рис. 9.1

Если катушка, обладающая индуктивностью L и активным сопротивлением R соединена параллельно с конденсатором ёмкостью C (рис.8.2а), то напряжение на них одно и то же, а ток I на входе цепи представляет сумму тока в катушке I_k , отстающим от напряжения на угол φ , и тока в конденсаторе I_C , опережающего напряжение на 90° .

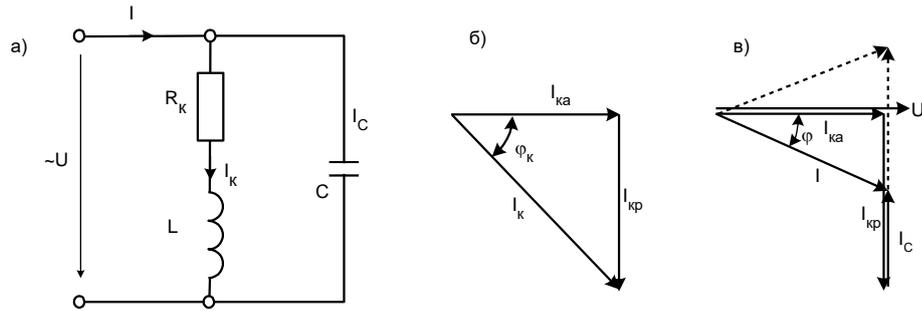


Рис.9.2

Для сложения токов сначала представим ток в катушке в виде двух составляющих: активной $I_{ка}$, и реактивной $I_{кр}$, как показано на рис.8.2б, а затем нарисуем из конца вектора $I_{кр}$ вектор тока в конденсаторе (рис. 8.2.в), опережающий напряжение на 90° и получим суммарный ток. Из векторной диаграммы следует, что

$$I = \sqrt{I_{ка}^2 + (I_{кр} - I_C)^2} = \sqrt{U^2 G^2 + U^2 (B_L - B_C)^2} = U \sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2} = UY,$$

где $Y = \sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2} = \sqrt{G^2 + B^2}$, - полная проводимость этой цепи.

В свою очередь:

$B = B_L - B_C$ - реактивная проводимость всей цепи;

$B_L = Y_k \sin \phi_k$ - индуктивная проводимость катушки;

$B_C = \omega C$ - ёмкостная проводимость конденсатора;

$G = Y_k \cos \phi_k$ - активная проводимость катушки;

Из векторной диаграммы следует также, что угол сдвига между током и напряжением

$$\phi = \arctg \frac{I_{кр} - I_C}{I_{ка}} = \arctg \frac{B_L - B_C}{G} = \arctg \frac{B}{G}.$$

Если $B_L > B_C$, то угол ϕ положительный и напряжение опережает ток. Этот случай показан на векторной диаграмме сплошными линиями. Если же $B_L < B_C$, то угол ϕ отрицательный, и напряжение отстает от тока (показано на векторной диаграмме пунктиром). Если же, наконец, $B_L = B_C$, тогда и $I_{кр} = I_C$ и $\phi = 0$, и ток совпадает с напряжением по фазе. Этот случай называется резонансом токов.

Условие резонанса $B_L = B_C$ или $\phi = 0$ можно также записать в виде:

$$Y_k \sin \phi_k = \omega C \quad .$$

В свою очередь,

$$Y_k = \frac{1}{Z_k} = \frac{1}{\sqrt{R_k^2 + \omega^2 L^2}}, \quad \text{а} \quad \sin \phi_k = \frac{\omega L}{\sqrt{R_k^2 + \omega^2 L^2}}, \quad \text{поэтому} \quad \frac{L}{R_k^2 + \omega^2 L^2} = C.$$

Отсюда можно определить ёмкость, индуктивность или частоту, при которой в цепи будет наблюдаться резонанс.

Экспериментальная часть

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Определить экспериментально параметры катушки индуктивности, рассчитать резонансную ёмкость параллельно включенного конденсатора, снять зависимость токов в цепи от ёмкости, построить векторные диаграммы для трёх случаев $C < C_{рез}$, $C = C_{рез}$ и $C > C_{рез}$.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь (принципиальная схема рис. 9.2, монтажная – 9.3), включив в каждую ветвь по миниблоку для подключения амперметра. Конденсаторы в первом опыте не включайте.

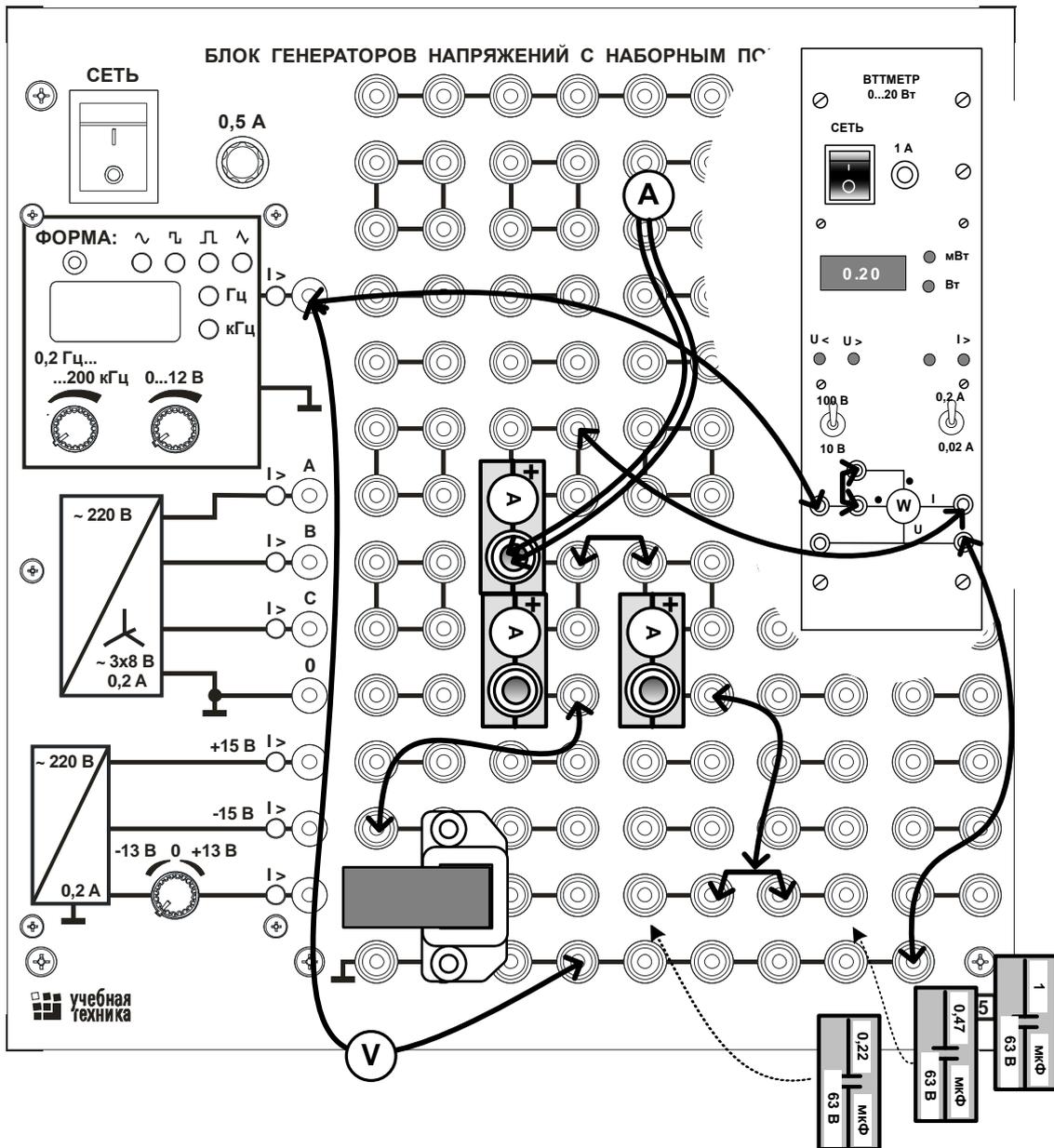


Рис.9.3

- Установите частоту питающего напряжения 1000 Гц, максимальную амплитуду и измерьте напряжение, на входе цепи, ток и мощность, потребляемые цепью. Результаты измерений запишите в табл. 8.1.
- Вычислите параметры катушки и ожидаемую резонансную ёмкость. Все формулы приведены в разделе «Общие сведения»

Таблица 9.1

| Измерения | | | Вычисления | | | |
|-----------|----------|-----------|--------------|--------------------|-------|-----------------|
| U , В | I , мА | P , мВт | Y_k , 1/Ом | φ_k , град | B_L | $C_{рез}$, мкФ |
| | | | | | | |

- Устанавливайте параллельно индуктивности поочерёдно различные конденсаторы как показано на рис. 9.3, измеряйте и записывайте в табл. 9.2 значения токов в трёх ветвях цепи.
- На рис. 9.4 постройте графики изменения токов от ёмкости параллельно включенного конденсатора и по минимуму тока определите фактическую резонансную ёмкость. Сравните её с расчётным значением.

Таблица 9.2

| | | | | | | |
|------------|------|------|---------------------|---|------------------|------------------|
| C , мкФ | 0,22 | 0,47 | 0,69 (0,22+0,47) | 1 | 1,22 (1+0,22) | 1,47 (1+0,47) |
| I_k , мА | | | | | | |
| I_C , мА | | | | | | |
| I , мА | | | | | | |

- На рис. 8.5 постройте векторные диаграммы для трёх случаев: $C < C_{рез}$, $C = C_{рез}$ и $C > C_{рез}$. Для резонансного режима значения токов возьмите из графика.

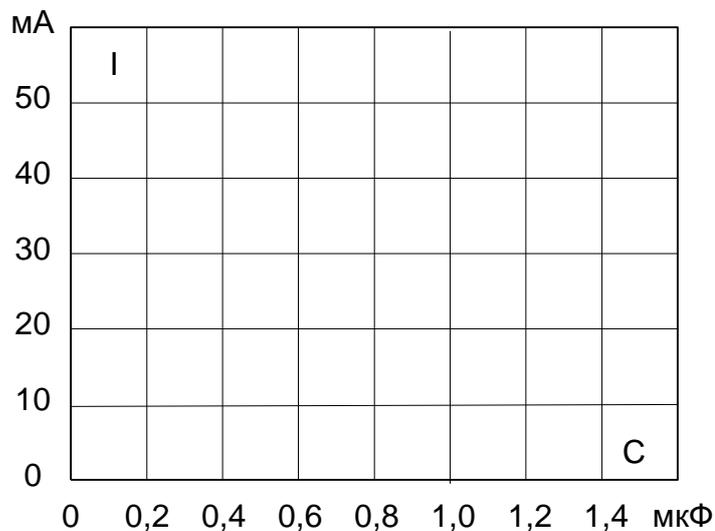


Рис. 9.4

Реактивная составляющая тока $I_p = I \sin \varphi = UY \sin \varphi = UB$, где $B = Y \sin \varphi$ называется **реактивной** проводимостью.

Все соотношения между проводимостями Y , G , и B , а также углом φ могут быть наглядно представлены в виде треугольника проводимостей, подобного треугольнику токов (рис 10.1.в).

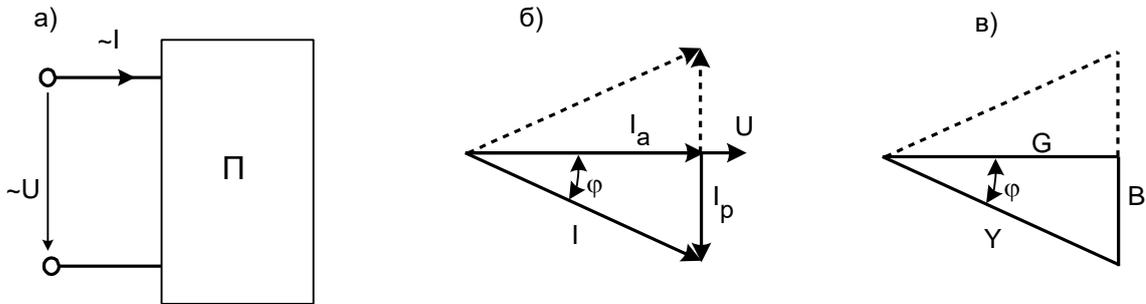


Рис. 10.1

Если катушка, обладающая индуктивностью L и активным сопротивлением R соединена параллельно с конденсатором ёмкостью C (рис.10.2а), то напряжение на них одно и то же, а ток I на входе цепи представляет сумму тока в катушке I_k , отстающим от напряжения на угол φ , и тока в конденсаторе I_c , опережающего напряжение на 90° .

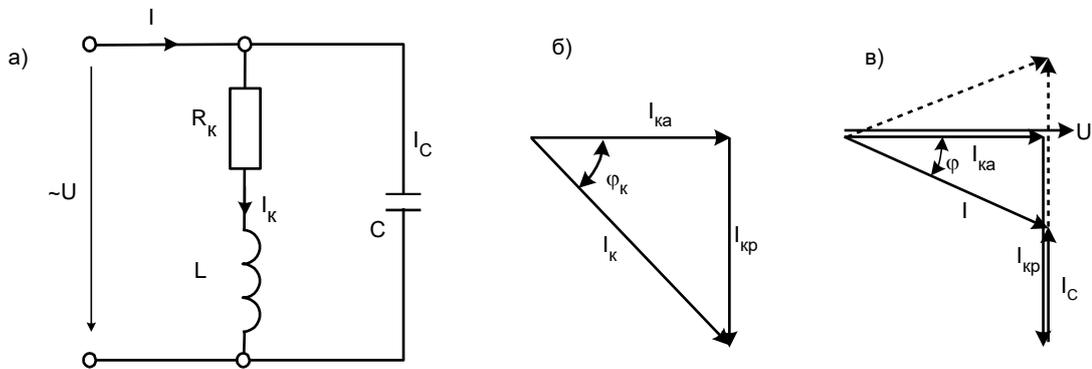


Рис.10.2

Для сложения токов сначала представим ток в катушке в виде двух составляющих: активной $I_{ка}$, и реактивной $I_{кр}$, как показано на рис.10.2б, а затем нарисуем из конца вектора $I_{кр}$ вектор тока в конденсаторе (рис. 10.2.в), опережающий напряжение на 90° и получим суммарный ток. Из векторной диаграммы следует, что

$$I = \sqrt{I_{ка}^2 + (I_{кр} - I_c)^2} = \sqrt{U^2 G^2 + U^2 (B_L - B_C)^2} = U \sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2} = UY,$$

где $Y = \sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2} = \sqrt{G^2 + B^2}$, - полная проводимость этой цепи.

В свою очередь:

$B = B_L - B_C$ - реактивная проводимость всей цепи;

$B_L = Y_k \sin \varphi_k$ - индуктивная проводимость катушки;

$B_C = \omega C$ - ёмкостная проводимость конденсатора;

$G = Y_k \cos \varphi_k$ - активная проводимость катушки;

Из векторной диаграммы следует также, что угол сдвига между током и напряжением

$$\phi = \arctg \frac{I_{кп} - I_C}{I_{ка}} = \arctg \frac{B_L - B_C}{G} = \arctg \frac{B}{G}.$$

Если $B_L > B_C$, то угол φ положительный и напряжение опережает ток. Этот случай показан на векторной диаграмме сплошными линиями. Если же $B_L < B_C$, то угол φ отрицательный, и напряжение отстает от тока (показано на векторной диаграмме пунктиром). Если же, наконец, $B_L = B_C$, тогда и $I_{кп} = I_C$ и $\varphi = 0$, и ток совпадает с напряжением по фазе. Этот случай называется **резонансом токов**.

Условие резонанса $B_L = B_C$ или $\varphi = 0$ можно также записать в виде:

$$Y_k \sin \varphi_k = \omega C.$$

В свою очередь,

$$Y_k = \frac{1}{Z_k} = \frac{1}{\sqrt{R_k^2 + \omega^2 L^2}}, \quad \text{а} \quad \sin \varphi_k = \frac{\omega L}{\sqrt{R_k^2 + \omega^2 L^2}}, \quad \text{поэтому} \quad \frac{L}{R_k^2 + \omega^2 L^2} = C.$$

Отсюда можно определить ёмкость, индуктивность или частоту, при которой в цепи будет наблюдаться резонанс.

Экспериментальная часть

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Определить экспериментально параметры катушки индуктивности, рассчитать резонансную ёмкость параллельно включенного конденсатора, снять зависимость токов в цепи от ёмкости, построить векторные диаграммы для трёх случаев $C < C_{рез}$, $C = C_{рез}$ и $C > C_{рез}$.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь (принципиальная схема рис. 10.2, монтажная – 10.3), включив в каждую ветвь по миниблоку для подключения амперметра. Конденсаторы в первом опыте не включайте.

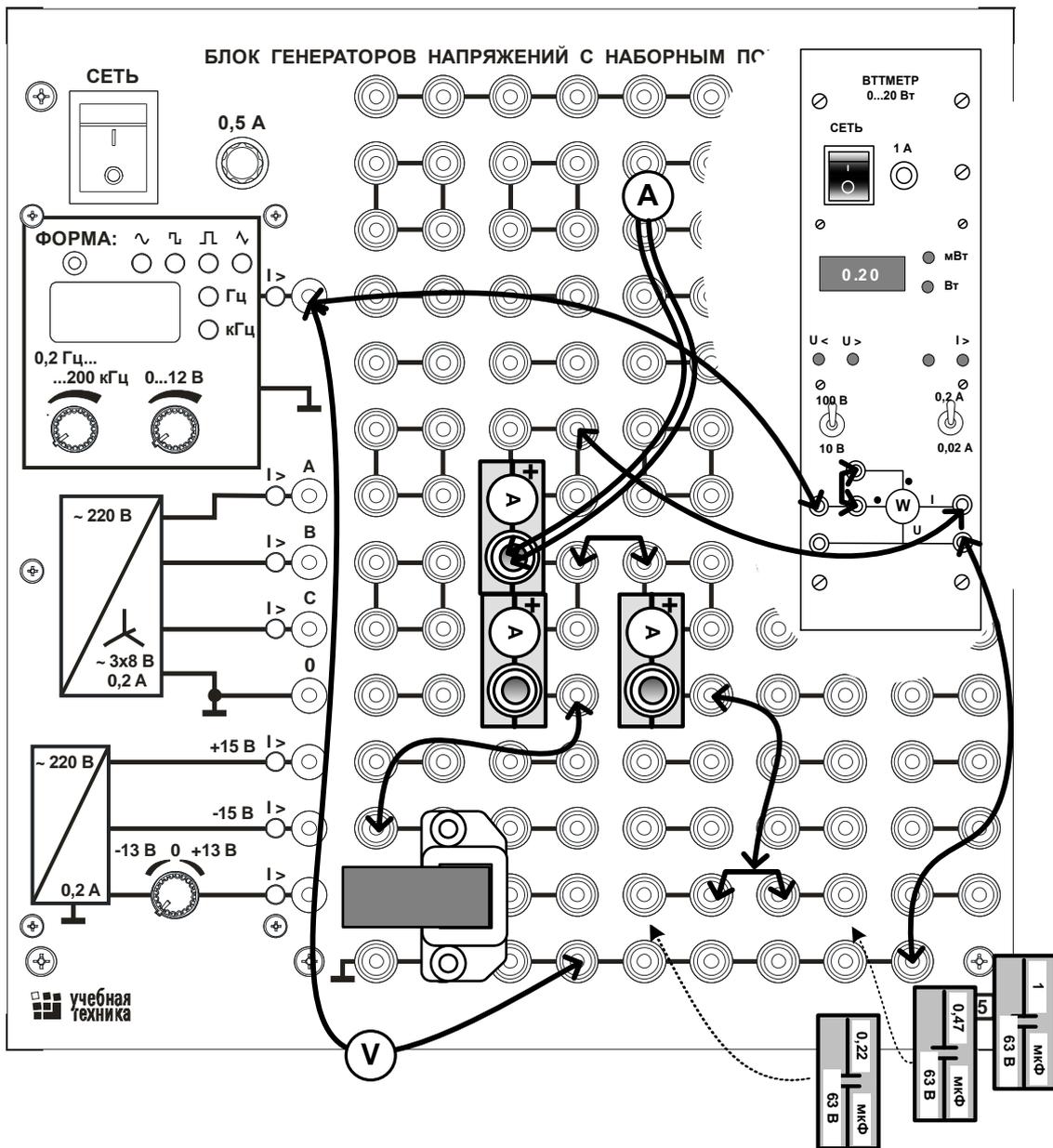


Рис.10.3

- Установите частоту питающего напряжения 1000 Гц, максимальную амплитуду и измерьте напряжение, на входе цепи, ток и мощность, потребляемые цепью. Результаты измерений запишите в табл. 10.1.
- Вычислите параметры катушки и ожидаемую резонансную ёмкость. Все формулы приведены в разделе «Общие сведения»

Таблица 10.1

| Измерения | | | Вычисления | | | |
|-----------|----------|-----------|--------------|--------------------|---------|-----------------|
| U , В | I , мА | P , мВт | Y_k , 1/Ом | φ_k , град | B_L , | $C_{рез}$, мкФ |
| | | | | | | |

- Устанавливайте параллельно индуктивности поочерёдно различные конденсаторы как показано на рис. 10.3, измеряйте и записывайте в табл. 10.2 значения токов в трёх ветвях цепи.
- На рис. 10.4 постройте графики изменения токов от ёмкости параллельно включенного конденсатора и по минимуму тока определите фактическую резонансную ёмкость. Сравните её с расчётным значением.

Таблица 8.2

| | | | | | | |
|-------------------|------|------|---------------------|---|------------------|------------------|
| $C, \text{ мкФ}$ | 0,22 | 0,47 | 0,69 (0,22+0,47) | 1 | 1,22 (1+0,22) | 1,47 (1+0,47) |
| $I_K, \text{ мА}$ | | | | | | |
| $I_C, \text{ мА}$ | | | | | | |
| $I, \text{ мА}$ | | | | | | |

- На рис.10.5 постройте векторные диаграммы для трёх случаев: $C < C_{рез}$, $C = C_{рез}$ и $C > C_{рез}$. Для резонансного режима значения токов возьмите из графика.

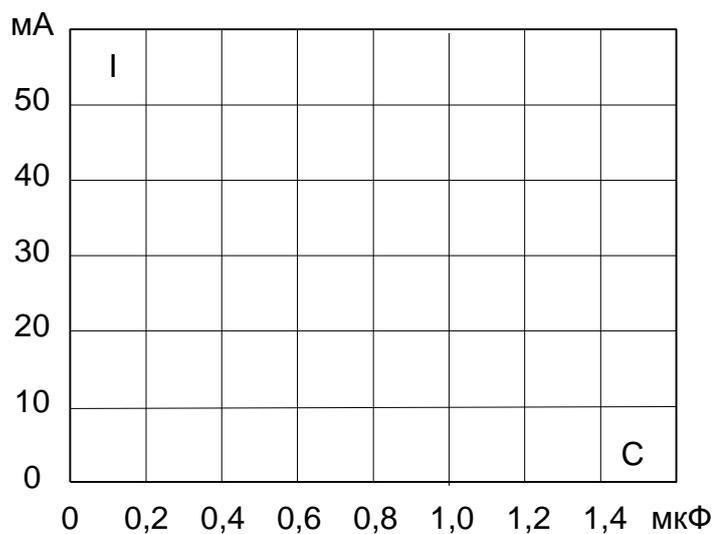


Рис. 10.4

(отброс стрелки вправо), то одноимёнными являются зажимы, подключенные к «+» источника и к «+» измерительного прибора. Этот опыт можно проделать и с использованием цифровых приборов, только из-за дискретности отсчётов прибора не каждый раз удаётся зафиксировать кратковременный отброс показаний прибора.

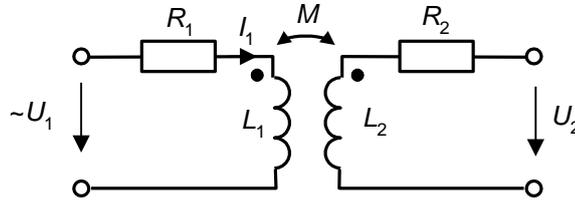


Рис. 11.1

Если синусоидальное напряжение источника приложено только к первой катушке, а вторая катушка разомкнута, то согласно законам Кирхгофа эта цепь описывается следующими двумя уравнениями в комплексной форме:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= (R_1 + j\omega L_1)\dot{I}_1; \\ \dot{U}_2 &= j\omega M\dot{I}_1. \end{aligned} \quad (1)$$

Аналогично, если ко второй катушке приложено напряжение, а первая разомкнута то:

$$\begin{aligned} \dot{U}_2 &= (R_2 + j\omega L_2)\dot{I}_2; \\ \dot{U}_1 &= j\omega M\dot{I}_2. \end{aligned} \quad (2)$$

Если две катушки имеют одинаковые размеры и форму то их индуктивности пропорциональны квадрату числа витков, т.е. $L_2 = L_1 W_2^2 / W_1^2$. С учётом выражений (1) для таких катушек получим:

$$k_{св} = \frac{W_1 M}{W_2 L_1} = \frac{W_1 U_2}{W_2 U_1 \sin \varphi},$$

где U_1 и U_2 – напряжения на первой и второй катушках, когда первая катушка подключена к источнику питания, а вторая разомкнута; φ - угол сдвига тока и напряжения в первой катушке.

Для экспериментального определения параметров катушек необходимо проделать два опыта. В первом опыте подать синусоидальное напряжение на первую катушку и измерить напряжения U_1 и U_2 , ток I_1 и мощность P_1 . Мощность измеряется для расчёта угла сдвига фаз, поэтому, если есть такая возможность, измеряют непосредственно этот угол. Во втором опыте аналогичные измерения делают при подаче питания на вторую катушку. Затем по результатам первого опыта вычисляют параметры по формулам, вытекающим из уравнений (1):

$$z_1 = \frac{U_1}{I_1}; \quad L_1 = \frac{z_1}{\omega} \sin \phi_1; \quad R_1 = z_1 \cos \phi_1; \quad M_{21} = \frac{U_2}{\omega I_1}, \quad \text{где } \phi_1 = \arccos \frac{P_1}{U_1 I_1}.$$

Аналогично, по результатам второго опыта и из уравнений (2):

$$z_2 = \frac{U_2}{I_2}; \quad L_2 = \frac{z_2}{\omega} \sin \phi_2; \quad R_2 = z_2 \cos \phi_2; \quad M_{12} = \frac{U_1}{\omega I_2}; \quad \text{где } \phi_2 = \arccos \frac{P_2}{U_2 I_2}.$$

Причём, должно выполняться равенство $M_{21} = M_{12}$.

Взаимная индуктивность между элементами сложной цепи может, как увеличивать, так и уменьшать эквивалентную индуктивность. Рассмотрим две возможные схемы последовательного соединения двух индуктивно связанных катушек (рис. 11.2а и 11.2б). Первый случай называется согласным включением катушек, второй – встречным.

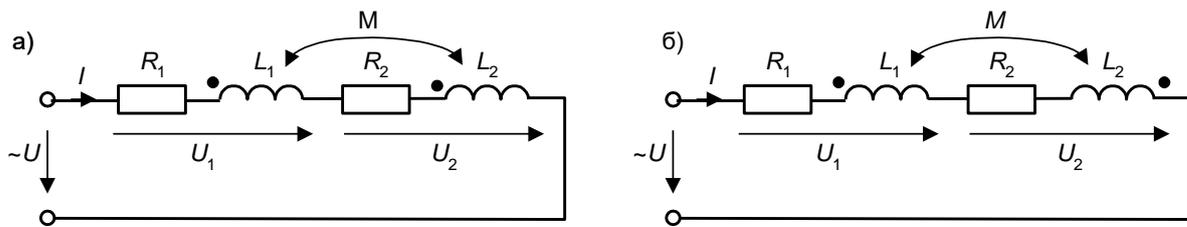


Рис. 11.2

В первом случае:

$$\dot{U} = \dot{U}_1 + \dot{U}_2 = [(R_1 + j\omega L_1)\dot{I}_1 + j\omega M\dot{I}_2] + [(R_2 + j\omega L_2)\dot{I}_2 + j\omega M\dot{I}_1].$$

Поскольку при последовательном соединении $\dot{I}_1 = \dot{I}_2 = I$, получим:

$$\dot{U} = (R_1 + R_2) + j\omega(L_1 + L_2 + 2M)I,$$

т.е. эквивалентная индуктивность при последовательном согласном включении двух катушек:

$$L'' = L_1 + L_2 + 2M.$$

Аналогично при последовательном встречном включении получим:

$$L'' = L_1 + L_2 - 2M.$$

Отсюда вытекает ещё один способ определения взаимной индуктивности. Вычитая последнее уравнение из предыдущего, получим:

$$L'_3 - L''_3 = 4M, \text{ откуда } M = \frac{L'_3 - L''_3}{4}.$$

Измерив индуктивности цепи при согласном и встречном включениях катушек, по этой формуле можно определить взаимную индуктивность.

Экспериментальная часть

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Определить экспериментально одноимённые зажимы и параметры катушек R_1, R_2, L_1, L_2, M . Исследовать влияние ферромагнитного сердечника на коэффициент связи. Измерить эквивалентную индуктивность цепи при последовательном согласном и встречном включениях катушек.

Порядок выполнения работы

- С помощью мультиметра определите сначала одноимённые зажимы катушек трансформатора с $W_1 = 900$ и $W_2 = 300$ и разборным сердечником из набора миниблоков как описано в общих сведениях. В этом опыте используйте нерегулируемый источник постоянного напряжения +15 В, а для ограничения тока в катушке включите последовательно с ней сопротивление 10...50 Ом.
- Соберите цепь по принципиальной схеме, изображённой на рис. 11.3..

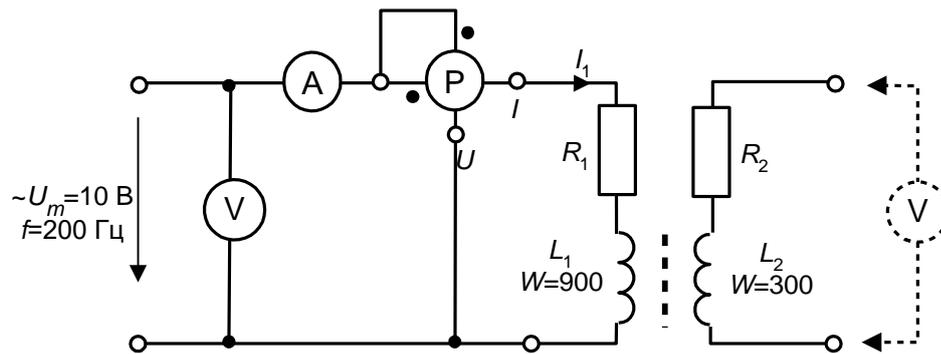


Рис. 11.3

- Подайте на цепь питания, установите оптимальные пределы измерения и запишите показания приборов в табл. 11.1. **При измерении мощности следите за сигнализацией ошибок в выборе пределов измерения I , I , U , U .**
- Разберите трансформатор, вставьте между половинками сердечника полоски бумаги в 3...4 слоя, вновь соберите и сделайте аналогичные измерения при наличии воздушного зазора. При необходимости скорректируйте при этом пределы измерения. Запишите показания приборов в табл. 11.1
- Удалите верхнюю половину сердечника, и снова запишите в табл. 11.1 результаты измерений.
- Удалите теперь нижнюю половинку сердечника и сделайте все измерения без сердечника.

Таблица 11.1

| Измеренные и рассчитанные параметры | При наличии замкнутого сердечника | При наличии сердечника с зазором | При наличии половины сердечника | При отсутствии сердечника |
|--|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| $U_1, \text{В}$ | | | | |
| $I_1, \text{мА}$ | | | | |
| $U_2, \text{В}$ | | | | |
| $P, \text{Вт.}$ | | | | |
| $\phi_1 = \arccos \frac{P_1}{U_1 I_1}, \text{град.}$ | | | | |
| $z_1 = \frac{U_1}{I_1}, \text{Ом}$ | | | | |
| $L_1 = \frac{z_1}{\omega} \sin \phi_1, \text{мГн}$ | | | | |
| $M_{21} = \frac{U_2}{\omega I_1}, \text{мГн}$ | | | | |
| $R_1 = z_1 \cos \phi_1, \text{Ом}$ | | | | |

- Определите теперь параметры ϕ , z_1 , L_1 , M_{21} , R_1 по формулам, приведённым в разделе «Общие сведения» и экспериментальным данным табл. 11.1.
- Для одного из рассмотренных четырёх случаев проделайте опыт при подаче питания на вторую катушку. Для этого поверните трансформатор на 180° в наборной панели. Результаты измерений и вычислений занесите в табл. 3.5.3, указав в верхней строке наличие сердечника, его половины или зазора.

Таблица 11.3

| Питание со стороны W_2 при..... | | | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|-----------------|----------------------|------------------|------------------|---------------------|-------|
| $U_2, \text{В}$ | $I_2, \text{мА}$ | $U_1, \text{В}$ | $\phi, \text{град.}$ | $z_2, \text{Ом}$ | $L_2, \text{Гн}$ | $M_{12}, \text{Гн}$ | R_2 |
| | | | | | | | |

- Включите две катушки сначала последовательно согласно, затем последовательно встречно, сделайте измерения и рассчитайте эквивалентные параметры. Результаты запишите в табл. 11.4. Рассчитайте также эквивалентные параметры по результатам предыдущих опытов. и сравните результаты.

Таблица 11.3

| Последовательное соединение катушек при..... | | | | | | | |
|---|---------|----------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------|--------------|
| | U , В | I , мА | φ , град. | z_{Σ} , Ом | L_{Σ} , Гн | M_{12} , Гн | R_{Σ} |
| Согласн. включ. | | | | | | | |
| Встречн. включ. | | | | | | | |

$$L'' = L_1 + L_2 + 2M =$$

$$L'' = L_1 + L_2 - 2M =$$

$$M = \frac{L'_{\Sigma} - L''_{\Sigma}}{4} =$$

Выводы

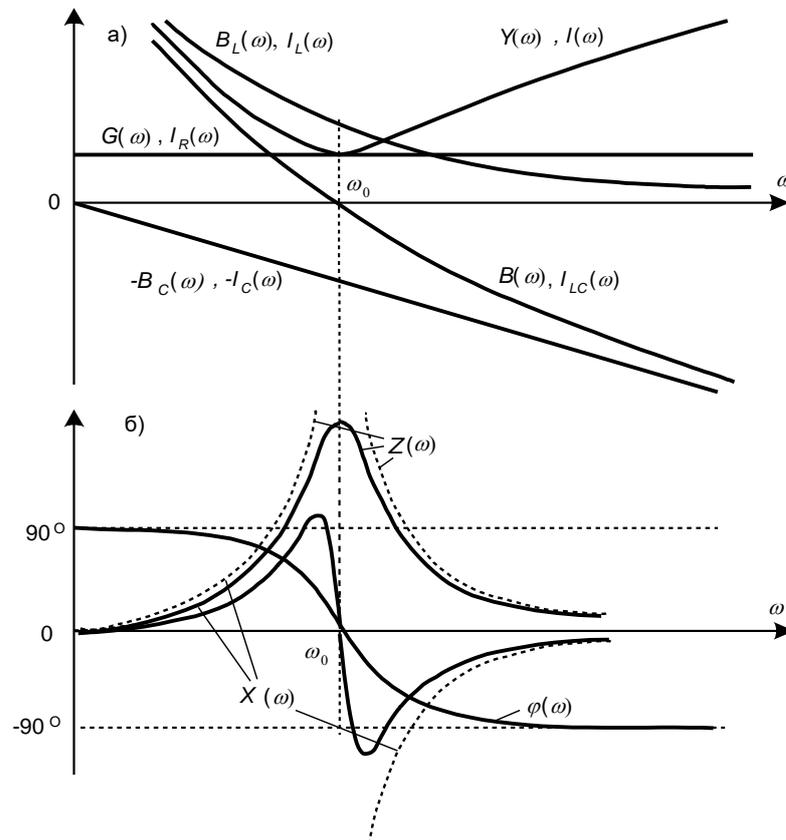


Рис. 11.2

На рис. 11.2б кроме $\varphi(\omega)$ построены также зависимости от частоты полного $Z(\omega)$ и реактивного $X(\omega)$ сопротивлений. В общем случае (см. сплошные линии на рисунке):

$$Z(\omega) = 1/Y(\omega) = 1/\sqrt{G^2 + B^2};$$

$$X(\omega) = B / (G^2 + B^2).$$

При резонансе полное сопротивление принимает максимальное значение, а реактивное обращается в ноль.

В идеализированном случае, когда активная проводимость настолько мала, что ей можно пренебречь ($G=0$):

$$X(\omega) = 1/B; \quad Z(\omega) = 1/|B|.$$

Тогда в точке резонанса кривые $X(\omega)$ и $Z(\omega)$ имеют разрыв (см. пунктирные линии на рис. 3.4.2б).

Экспериментальная часть

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Снимите экспериментально частотные характеристики параллельного резонансного контура с высокой добротностью- $I(\omega)$, $I_L(\omega)$, $I_C(\omega)$, $X(\omega)$, $Z(\omega)$ и $\varphi(\omega)$.

Порядок выполнения работы

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 11.3). В качестве катушки индуктивности с малым активным сопротивлением используйте обмотку трансформатора $W=300$ витков, вставив между подковами разъемного сердечника полоски бумаги в один слой. Монтажная схема такая же, как в предыдущей работе (рис. 10.3).
- Подайте на схему синусоидальное напряжение от генератора напряжений специальной формы $U=5В$, $f=500Гц$ и, изменяя частоту, добейтесь резонанса по минимуму тока. Запишите значение резонансной частоты

$$f_0 = \dots\dots\dots Гц.$$

- Рассчитайте по показаниям мультиметров реактивное сопротивление катушки индуктивности, индуктивность и резонансную частоту:

$$X_L = U/I_L = \dots\dots\dots Ом;$$

$$L = X_L / (2\pi f) = \dots\dots\dots Гн;$$

$$f_0 = 1 / 2\pi \sqrt{LC} = \dots\dots\dots Гц.$$

- Сравните экспериментальную резонансную частоту с расчётной:

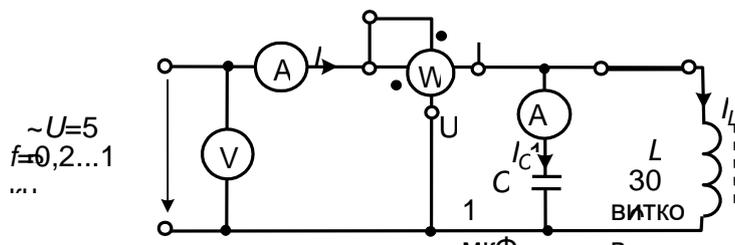


Рис. 11.3.

- Изменяя частоту от 0,2 до 1 кГц, запишите в табл. 11.1 значения мощности P и токов I , I_C , I_L . В области резонансной частоты экспериментальные точки должны быть расположены чаще, чем по краям графиков.

Рассчитайте:

$$\varphi = \arccos P/(U \cdot I); \quad Z = U/I; \quad X = Z \cdot \sin \varphi.$$

- По этим результатам на рис 11.4. и 11.5. постройте графики частотных характеристик.

Таблица 11.1

| f , Гц | P , Вт | I , мА | I_C , мА | I_L , мА | φ , град | Z , Ом | X , Ом |
|----------|----------|----------|------------|------------|------------------|----------|----------|
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Составьте и запишите вывод по проделанной работе.

Лабораторная работа №12

Исследование трёхфазной цепи при соединении нагрузки в звезду

Общие сведения

Если нагрузки (приемники) соединены в трехфазную цепь по схеме «звезда» (рис. 12.1), то к сопротивлениям нагрузки приложены фазные напряжения. Линейные напряжения (U_L) в $\sqrt{3}$ раз больше фазных (U_Φ), а линейные токи (I_L) равны фазным (I_Φ) и определяются по закону Ома:

$$I_A = \frac{U_A}{R_A}; \quad I_B = \frac{U_B}{R_B}; \quad I_C = \frac{U_C}{R_C},$$

Ток нейтрали (I_N) равен векторной сумме этих токов: $\vec{I}_N = \vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C$.

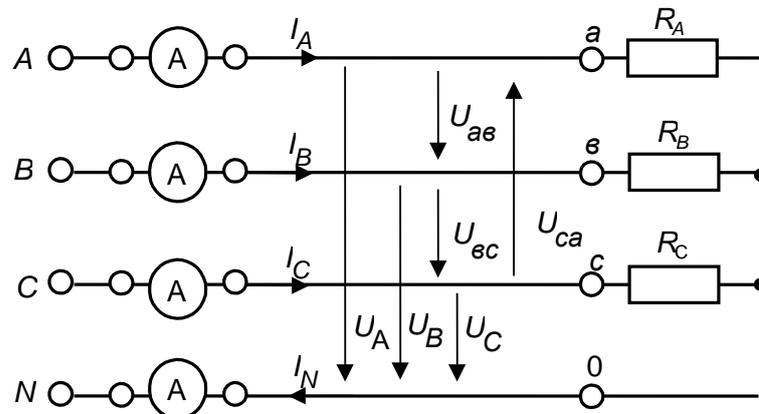


Рис. 12.1

При симметричных напряжениях U_A, U_B, U_C и одинаковых сопротивлениях $R_A = R_B = R_C = R$ токи I_A, I_B, I_C также симметричны и их векторная сумма (I_N) равна нулю. Тогда $I_L = I_\Phi = U_\Phi / R$; $I_N = 0$.

Если же сопротивления фаз нагрузки неодинаковы, то через нулевой провод протекает некоторый ток $I_N \neq 0$, а в схеме без нейтрали происходит смещение точки 0 на векторной диаграмме напряжений. Это поясняется на векторных диаграммах (рис. 12.2).

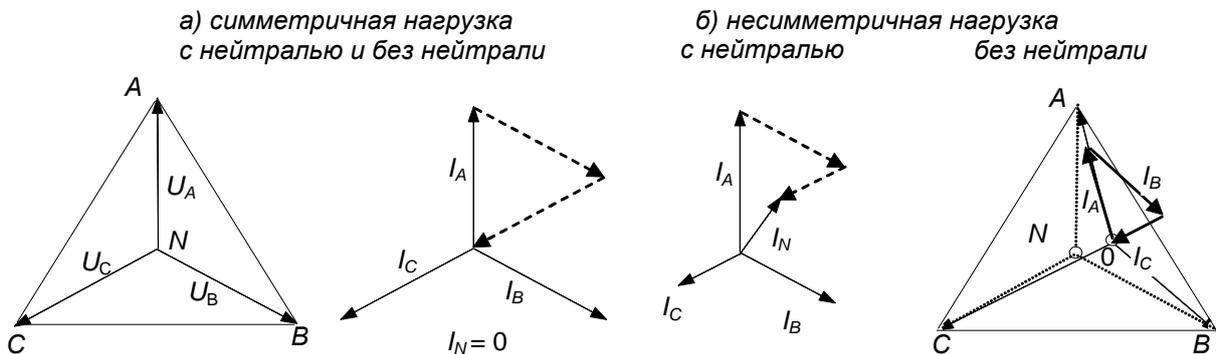


Рис. 12.2

Мощность складывается из мощностей трёх фаз: $\Sigma P = P_A + P_B + P_C$. При симметричной и чисто активной нагрузке, имеем: $\Sigma P = 3 P_\Phi = 3 U_\Phi I_\Phi = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L$.

При смешанной (активно-индуктивной или активно-емкостной) нагрузке в симметричной трёхфазной цепи:

$$\text{Активная мощность } \Sigma P = 3 \cdot U_{\text{Ф}} \cdot I_{\text{Ф}} \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot U_{\text{Л}} \cdot I_{\text{Л}} \cdot \cos \varphi.$$

$$\text{Реактивная мощность } \Sigma Q = 3 \cdot U_{\text{Ф}} \cdot I_{\text{Ф}} \cdot \sin \varphi = \sqrt{3} \cdot U_{\text{Л}} \cdot I_{\text{Л}} \cdot \sin \varphi.$$

$$\text{Полная мощность } \Sigma S = 3 \cdot U_{\text{Ф}} \cdot I_{\text{Ф}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{Л}} \cdot I_{\text{Л}}.$$

Активная мощность в четырёхпроводной трёхфазной цепи измеряется с помощью трёх ваттметров (рис. 12.3а), а в трёхпроводной - с помощью двух ваттметров (рис. 12.3б).

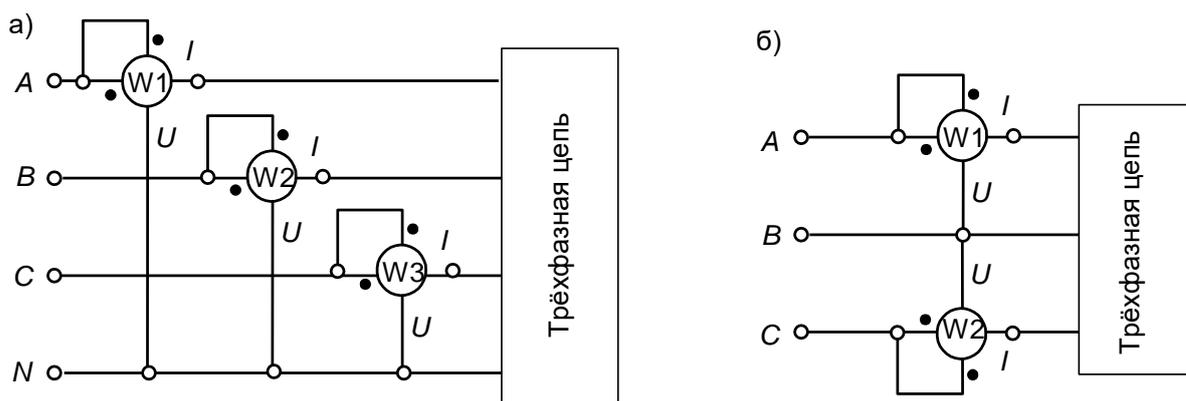


Рис. 12.3

Экспериментальная часть

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. В трехфазной цепи при соединении нагрузки в звезду измерить действующие значения токов и напряжений, мощность, построить векторные диаграммы и проверить баланс мощностей для следующих случаев:

- Симметричная активная нагрузка с нейтральным проводом и без него.
- Несимметричная активная нагрузка с нейтральным проводом и без него.
- Несимметричная смешанная нагрузка с нейтральным проводом и без него.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь с симметричной активной нагрузкой ($R_A = R_B = R_C = 1 \text{ кОм}$) согласно принципиальной схеме (рис. 12.1) и монтажной схеме (рис. 12.4).
- Измерьте напряжения, токи и мощности на нагрузке в схеме с нейтральным проводом. Результаты измерений занесите в табл. 12.1.
- Подключая ваттметр сначала в фазу А, затем в фазу В и, наконец, в фазу С измерьте мощности трёх фаз и вычислите суммарную мощность. Результаты запишите в также в табл. 12.1. *При измерении мощности следите за сигнализацией ошибок в выборе пределов измерения $I >$, $I <$, $U >$, $U <$. Для переключения ваттметра из одной цепи в другую, также как и амперметра, используйте специальный коммутационный миниблок «амперметр» и пару проводников с коаксиальным разъёмом!* Проверьте баланс мощностей, т.е. сравните суммарную измеренную мощность с суммой рассчитанных фазных мощностей.
- Уберите из схемы нейтральный провод (перемычку между точками N и 0) и снова измерьте токи и напряжения.

- Подключая токовую цепь ваттметра сначала в фазу A , а цепь напряжения – на напряжение U_{AB} , затем токовую цепь в фазу C , а цепь напряжения – на напряжение U_{CB} , измерьте две мощности и вычислите суммарную мощность. Проверьте баланс мощностей.

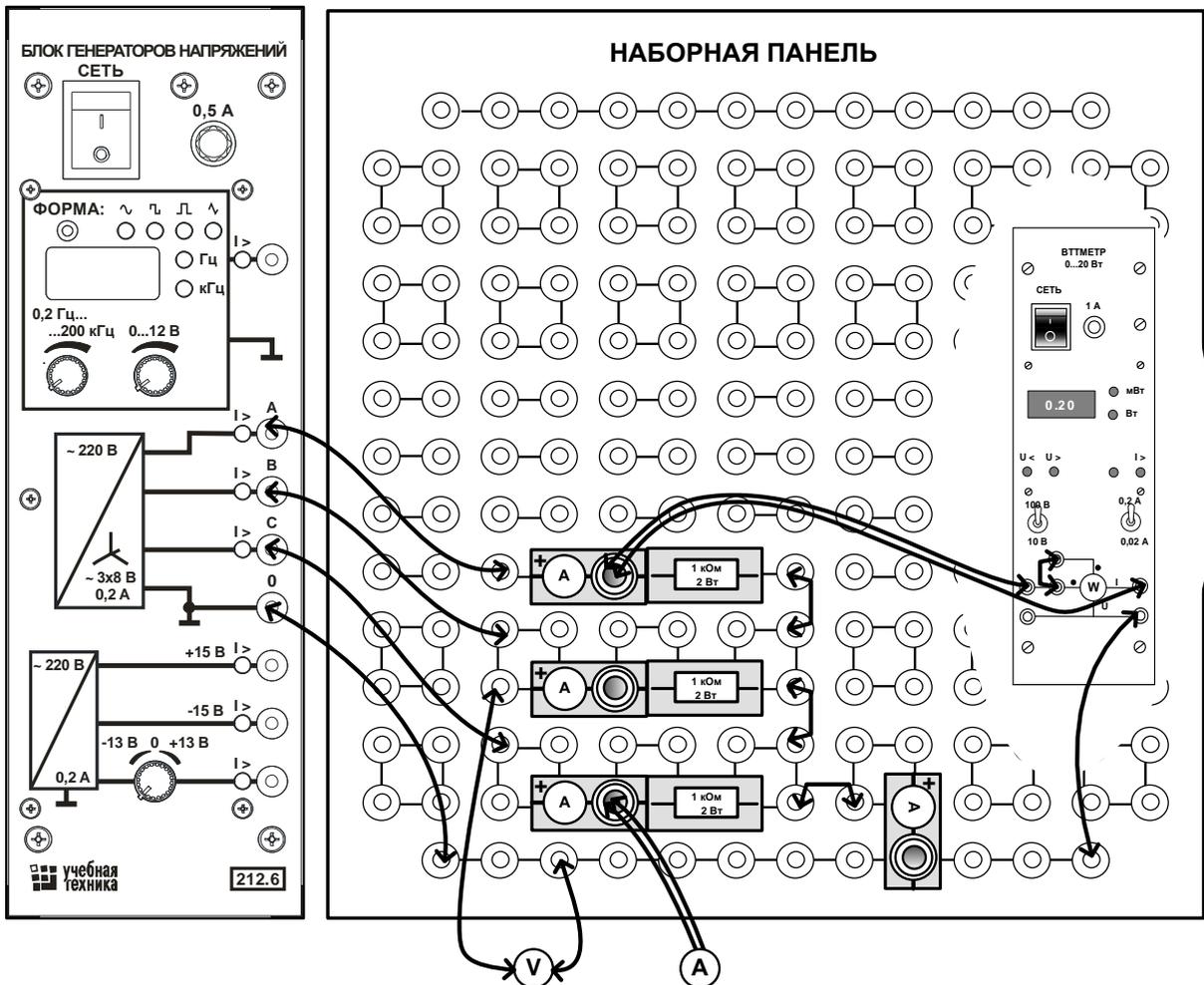


Рис. 12.4

- Повторите измерения и вычисления для несимметричной нагрузки с нейтральным и без нейтрального провода ($R_A = 1 \text{ кОм}$, $R_B = 330 \text{ Ом}$, $R_C = 470 \text{ Ом}$).
- Повторите измерения и вычисления, заменив резистор фазы B конденсатором $4,4 \text{ мкФ}$, а резистор фазы C – катушкой индуктивности 900 витков с собранным ферромагнитным сердечником. Выберите масштабы токов и напряжений и постройте векторные диаграммы для всех случаев.

Таблица 12.1

| Схема «звезда» | | Симметричная активная нагрузка | | Несимметричная активная нагрузка | | Несимметричная смешанная нагрузка | |
|---------------------------------|------------|--------------------------------|--------------|----------------------------------|--------------|-----------------------------------|--------------|
| | | с нейтралью | без нейтрали | с нейтралью | без нейтрали | с нейтралью | без нейтрали |
| Фазные токи, ток нейтрали мА | I_A | | | | | | |
| | I_B | | | | | | |
| | I_C | | | | | | |
| | I_N | | | | | | |
| Линейные напряжения, В | U_{AB} | | | | | | |
| | U_{BC} | | | | | | |
| | U_{CA} | | | | | | |
| Фазные напряжения, В | U_A | | | | | | |
| | U_B | | | | | | |
| | U_C | | | | | | |
| Рассчитанные мощности, мВт | P_A | | | | | | |
| | P_B | | | | | | |
| | P_C | | | | | | |
| | ΣP | | | | | | |
| Измеренные мощности, мВт | P_1 | | | | | | |
| | P_2 | | | | | | |
| | P_3 | | - | | - | | - |
| | ΣP | | | | | | |

Векторные диаграммы

1. Симметричная активная нагрузка $R_A = R_B = R_C = 1 \text{ кОм}$

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $m_U = \dots\dots\dots \text{В/см}$ | | | | | | | | | | $m_I = \dots\dots\dots \text{мА/см}$ | | | | | | | | | |

2. Несимметричная активная нагрузка $R_A = 1 \text{ кОм}$, $R_B = 330 \text{ Ом}$, $R_C = 470 \text{ Ом}$

| С нейтралью | | | | | Без нейтрали | | | | |
|-------------------------------------|--|--|--|--|--------------------------------------|--|--|--|--|
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| $m_U = \dots\dots\dots \text{В/см}$ | | | | | $m_I = \dots\dots\dots \text{мА/см}$ | | | | |

3. Смешанная несимметричная нагрузка фаз:

$R_A = 1 \text{ кОм}$, $C_B = 4,4 \text{ мкФ}$, $L_C \rightarrow$ катушка 900 витков с сердечником

| С нейтралью | | | | | Без нейтрали | | | | |
|-------------------------------------|--|--|--|--|--------------------------------------|--|--|--|--|
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| $m_U = \dots\dots\dots \text{В/см}$ | | | | | $m_I = \dots\dots\dots \text{мА/см}$ | | | | |

Составьте и запишите вывод по проделанной работе.

Лабораторная работа №13

Исследование трехфазной цепи при соединении нагрузки в треугольник

Общие сведения

В схеме «треугольник» (рис. 13.1), нагрузка R_{AB} , R_{BC} и R_{CA} каждой фазы включается на *линейное напряжение*, которое в данном случае равно *фазному* ($U_L = U_\Phi$).

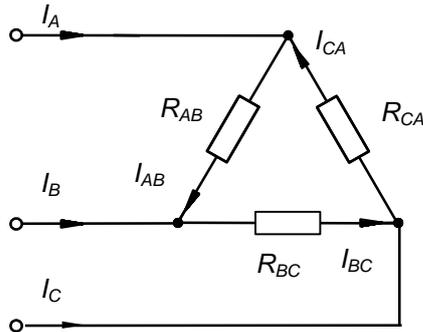


Рис. 13.1

Фазные токи I_{AB} , I_{BC} и I_{CA} определяются по закону Ома:

$$I_{AB} = \frac{U_{AB}}{R_{AB}}; \quad I_{BC} = \frac{U_{BC}}{R_{BC}}; \quad I_{CA} = \frac{U_{CA}}{R_{CA}}.$$

Линейные токи определяются по первому закону Кирхгофа как векторные разности соответствующих фазных токов:

$$\vec{I}_A = \vec{I}_{AB} - \vec{I}_{CA}; \quad \vec{I}_B = \vec{I}_{BC} - \vec{I}_{AB}; \quad \vec{I}_C = \vec{I}_{CA} - \vec{I}_{BC}.$$

Построение этих векторов показано на векторной диаграмме (рис. 13.2).

При симметричных напряжениях U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} и одинаковых нагрузках фаз $R_{AB} = R_{BC} = R_{CA} = R$ токи также симметричны, причём, линейный ток по величине в $\sqrt{3}$ раз больше фазного. Это поясняется на векторных диаграммах (рис. 13.2).

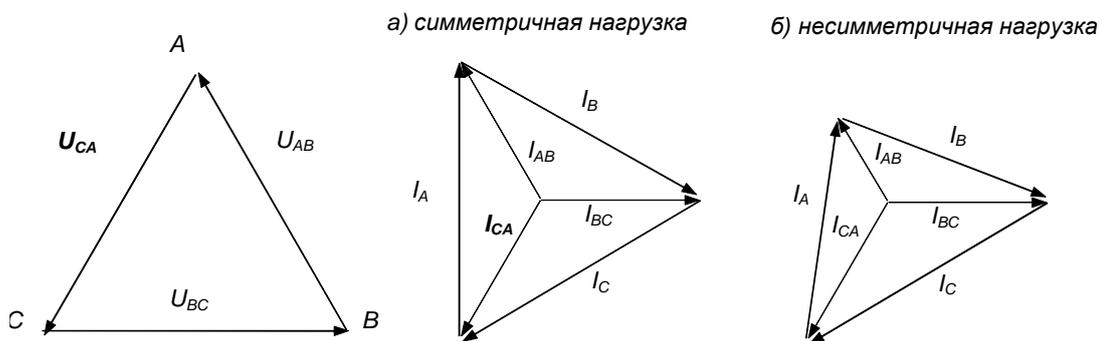


Рис. 13.2.

Суммарная мощность ΣP , потребляемая трехфазной нагрузкой при ее соединении в «треугольник», складывается из мощностей фаз $\Sigma P = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA}$.

Также как и при соединении в звезду в случае симметричной нагрузки:

Активная мощность $\Sigma P = 3 \cdot U_{\phi} \cdot I_{\phi} \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot U_{Л} \cdot I_{Л} \cdot \cos \varphi$.

Реактивная мощность $\Sigma Q = 3 \cdot U_{\phi} \cdot I_{\phi} \cdot \sin \varphi = \sqrt{3} \cdot U_{Л} \cdot I_{Л} \cdot \sin \varphi$.

Полная мощность $\Sigma S = 3 \cdot U_{\phi} \cdot I_{\phi} = \sqrt{3} \cdot U_{Л} \cdot I_{Л}$.

Активная мощность трёхфазной цепи при соединении в треугольник измеряется двумя ваттметрами так же, как и при соединении в звезду без нейтрального провода.

Экспериментальная часть

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. В трехфазной цепи при соединении нагрузки в треугольник измерить действующие значения токов и напряжений, мощность, построить векторные диаграммы и проверить баланс мощностей для следующих случаев:

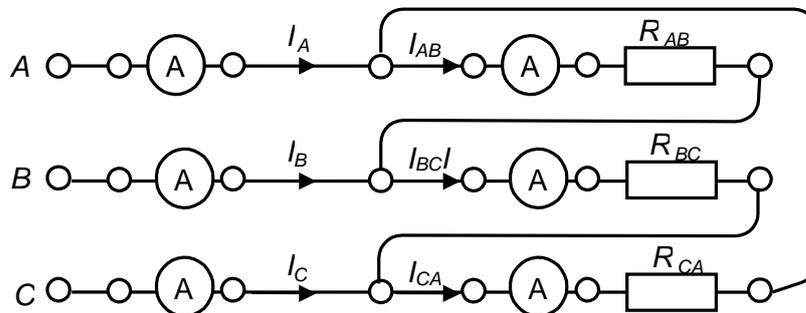
Симметричная активная нагрузка.

Несимметричная активная нагрузка.

Несимметричная смешанная нагрузка.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь с симметричной нагрузкой ($R_{AB} = R_{BC} = R_{CA} = 1 \text{ кОм}$) согласно принципиальной схеме (рис. 4.2.3) и монтажной схеме (рис. 13.4).



• Рис. 13.3

- Измерьте мультиметрами напряжения и токи, указанные в табл. 13.1 и вычислите мощности.
- Подключая токовую цепь ваттметра сначала в фазу A , а цепь напряжения – на напряжение U_{AB} , затем токовую цепь в фазу C , а цепь напряжения – на напряжение U_{CB} , измерьте две мощности и вычислите суммарную мощность. Проверьте баланс мощностей. *При измерении мощности следите за сигнализацией ошибок в выборе пределов измерения I , I , U , U . Для переключения ваттметра из одной цеп в другую, также как и амперметра, используйте специальный коммутационный миниблок «амперметр» и пару проводников с коаксиальным разъёмом!*

- Повторите измерения и вычисления для несимметричной нагрузки с ($R_{AB} = 1 \text{ кОм}$, $R_{BC} = 330 \text{ Ом}$, $R_{CA} = 470 \text{ Ом}$). Повторите измерения и вычисления, заменив резистор фазы В конденсатором 4,4 мкФ, а резистор фазы С – катушкой индуктивности 900 витков с собранным ферромагнитным сердечником.
- Выберите масштабы токов и напряжений и постройте векторные диаграммы для всех случаев.

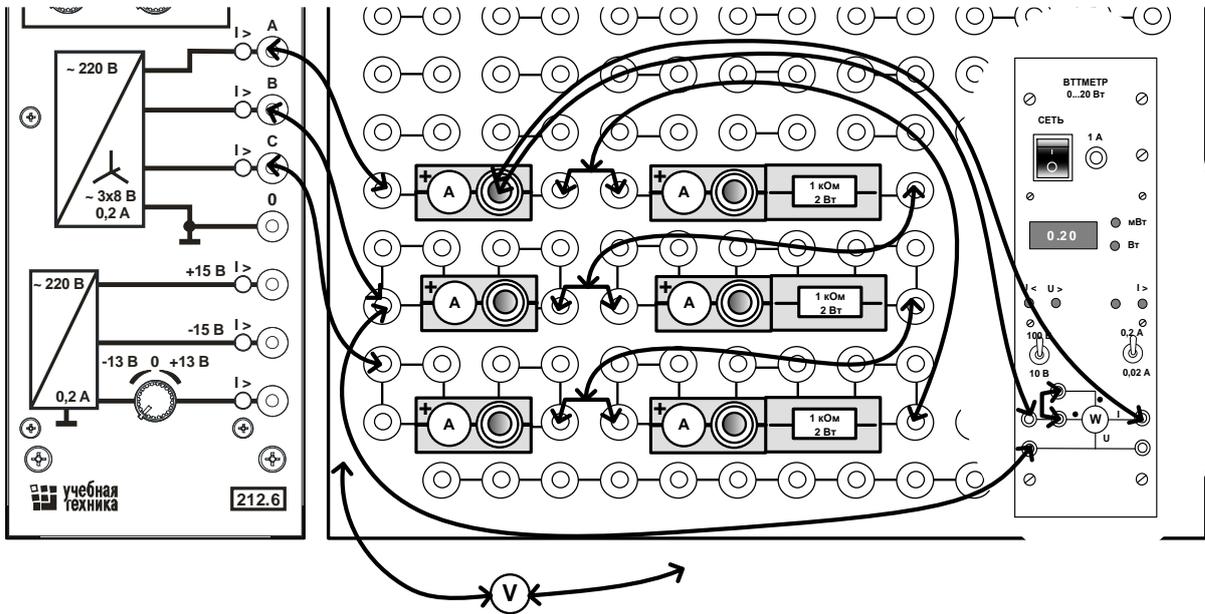


Рис. 13.4

Таблица 13.1

| Соединение «треугольник» | | Симметричная активная нагрузка | Несимметричная активная нагрузка | Несимметричная смешанная нагрузка |
|----------------------------|------------|--------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Фазные токи, мА | I_{AB} | | | |
| | I_{BC} | | | |
| | I_{CA} | | | |
| Линейные токи, мА | I_A | | | |
| | I_B | | | |
| | I_C | | | |
| Линейные напряжения, В | U_{AB} | | | |
| | U_{BC} | | | |
| | U_{CA} | | | |
| Рассчитанные мощности, мВт | P_{AB} | | | |
| | P_{BC} | | | |
| | P_{CA} | | | |
| | ΣP | | | |
| Измеренные мощности, мВт | P_1 | | | |
| | P_2 | | | |
| | ΣP | | | |

Обрыв нейтрального провода при несимметричной нагрузке

В симметричном режиме $I_N = 0$, поэтому обрыв нейтрального провода не приводит к изменению токов и напряжений в цепи и такой режим не является аварийным. Однако, при несимметричной нагрузке $I_N \neq 0$, поэтому обрыв нейтрали приводит к изменению всех фазных токов и напряжений. На векторной диаграмме напряжений точка «0» нагрузки, совпадающая до этого с точкой «N» генератора, смещается таким образом, чтобы сумма фазных токов оказалась равной нулю (рис. 14.1). Напряжения на отдельных фазах могут существенно превысить номинальное напряжение.

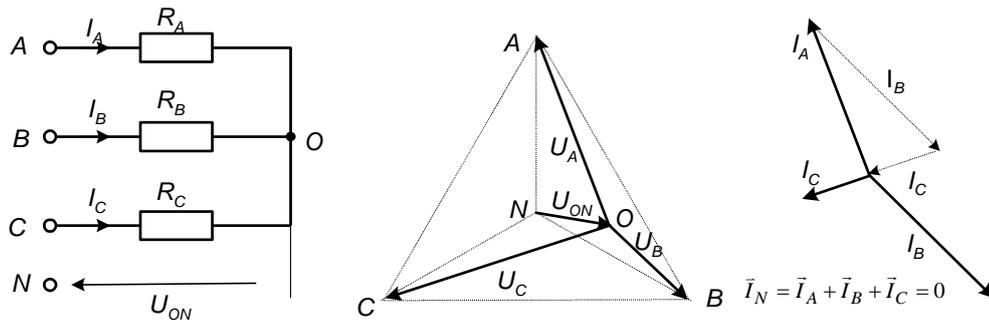


Рис. 14.1

Обрыв фазы при симметричной нагрузке в схеме с нулевым проводом

При обрыве провода, например, в фазе A ток этой фазы становится равным нулю, напряжения и токи в фазах B и C не изменяются, а в нулевом проводе появляется ток $I_N = I_B + I_C$. Он равен току, который до обрыва протекал в фазе A (рис. 14.2).

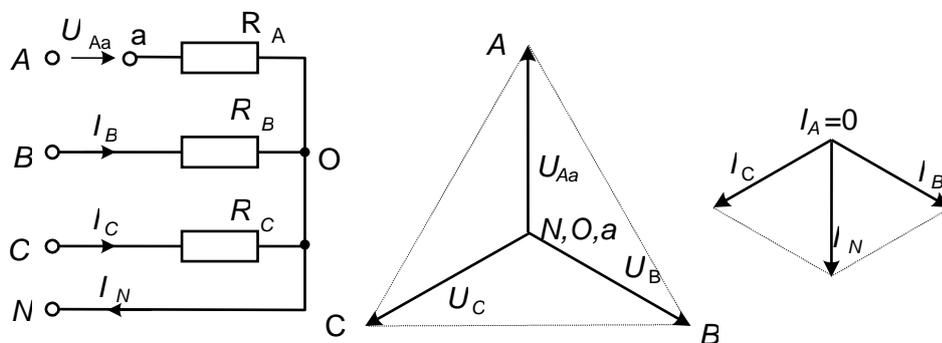


Рис. 14.2

Обрыв фазы при симметричной нагрузке в схеме без нулевого провода

При обрыве, например, фазы A (рис. 14.3) сопротивления R_A и R_B оказываются соединёнными последовательно и к ним приложено линейное напряжение U_{BC} . Напряжение на каждом из сопротивлений составляет $\sqrt{3}/2$ от фазного напряжения в нормальном режиме. Нулевая точка нагрузки на векторной диаграмме напряжений смещается на линию BC , и при $R_B = R_C$ она находится точно в середине отрезка BC .

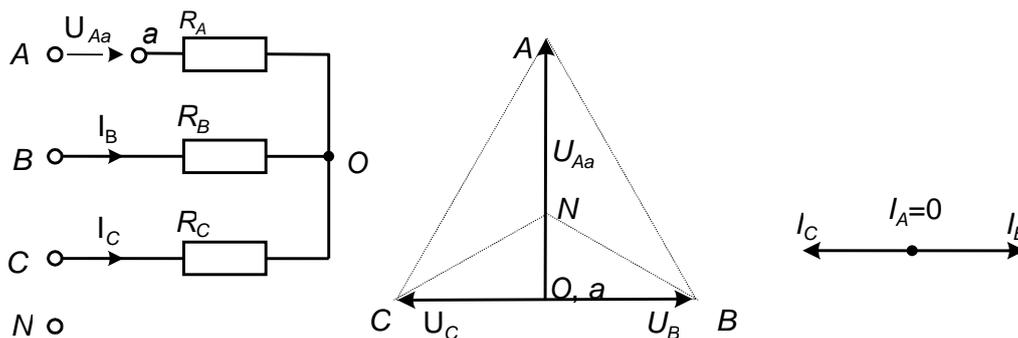


Рис. 14.3

Короткие замыкания

При коротком замыкании фазы нагрузки в схеме с нулевым проводом ток в этой фазе становится очень большим (теоретически бесконечно большим) и это приводит к аварийному отключению нагрузки защитой. В схеме без нулевого провода при замыкании, например, фазы *A*, нулевая точка нагрузки смещается в точку «*A*» генератора. Тогда к сопротивлениям фаз *B* и *C* прикладываются линейные напряжения. Токи в этих фазах возрастают в $\sqrt{3}$ раз, а ток в фазе *A* – в 3 раза (рис. 14.4).

Короткие замыкания между линейными проводами и в той и в другой схеме приводят к аварийному отключению нагрузки защитой.

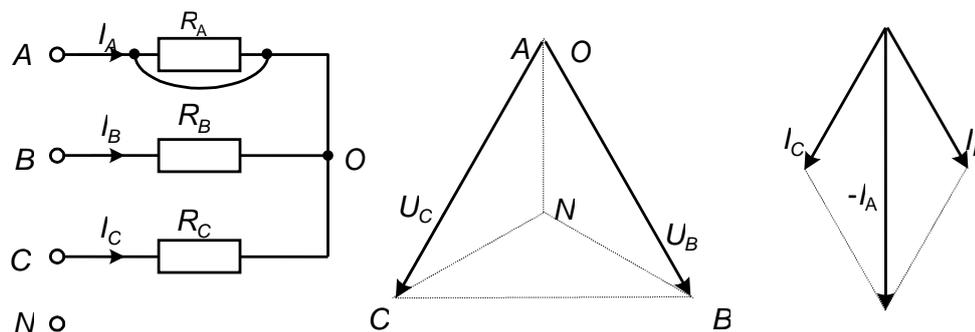


Рис. 14.4

Экспериментальная часть

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Экспериментально исследовать аварийные режимы трёхфазной цепи при соединении нагрузки в звезду.

Порядок выполнения работы

- Соберите цепь согласно принципиальной схеме (рис. 14.5) с сопротивлениями фаз $R_A=R_B=R_C=1\text{кОм}$. Монтажная схема изображена на рис. 14.4, но ваттметр в этой работе не понадобится.

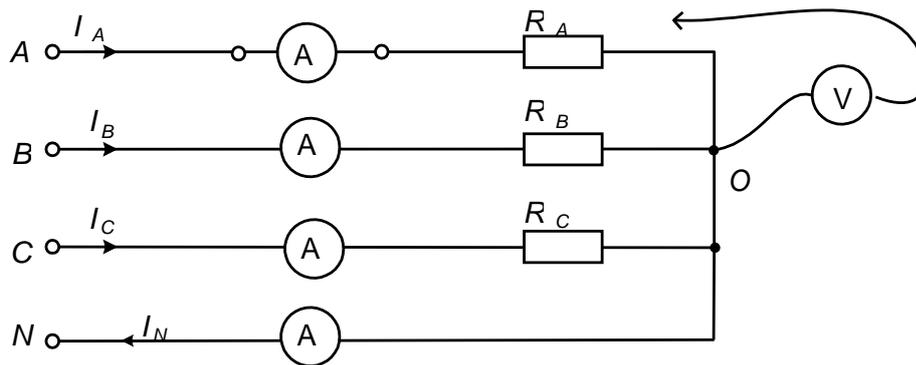


Рис.14.4

- Убедитесь, что обрыв (отключение) нейтрали не приводит к изменению фазных токов.
- Убедитесь, что в схеме с нулевым проводом происходит отключение источника защитой при коротких замыканиях, как в фазах нагрузки, так и между линейными проводами.
- Убедитесь, что в схеме без нулевого провода короткое замыкание в фазе нагрузки не приводит к отключению, а при коротком замыкании между линейными проводами установка отключается.
- Прodelайте измерения токов и напряжений всех величин, указанных в табл. 14.1 в различных режимах и по экспериментальным данным постройте векторные диаграммы для каждого случая в выбранном масштабе.
- Ответьте на контрольные вопросы.

Таблица 14.1

| № | Режим | $U_{AO},$ В | $U_{BO},$ В | $U_{CO},$ В | $U_{ON},$ В | $I_A,$ мА | $I_B,$ мА | $I_C,$ мА | $I_N,$ мА |
|---|---|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | $R_A=1$ кОм $R_B=330$ Ом $R_C=470$ Ом Обрыв нейтрали | | | | | | | | |
| 2 | $R_A=R_B=R_C=1$ кОм Схема с нейтралью Обрыв фазы А | | | | | | | | |
| 3 | $R_A=R_B=R_C=1$ кОм Сх. без нейтрали Обрыв фазы А | | | | | | | | |
| 4 | $R_A=R_B=R_C=1$ кОм Сх. без нейтрали К. 3. фазы А | | | | | | | | |

Лабораторная работа № 15

Исследование процессов заряда и разряда конденсатора

Общие сведения

В цепи, изображённой на рис. 15.1а переключатель переводится из нижнего положения в верхнее при $t = 0$, и конденсатор начинает заряжаться. В процессе заряда ток и напряжение на конденсаторе изменяются во времени (рис. 15.1б) в соответствии с уравнениями:

$$i_C = (U/R) \cdot e^{-t/\tau};$$
$$u_C = U (1 - e^{-t/\tau}).$$

Время τ , за которое зарядный ток снижается в e раз (2,718), называется **постоянной времени**. Таким образом, через отрезок времени τ ток разряда составляет примерно 0,37 от первоначального значения U/R , через $2\tau - 0,135U/R$, через $3\tau - 0,05 U/R$ и т.д. Соответственно, напряжение на конденсаторе возрастает за время τ до $0,63 U$, за $2\tau -$ до $0,865U$, за $3\tau -$ до $0,95 U/R$ и т.д. За время $(3...4)\tau$ процесс почти полностью затухает. Постоянная времени цепи, содержащей последовательно соединённые R и C , равна $\tau = R C$.

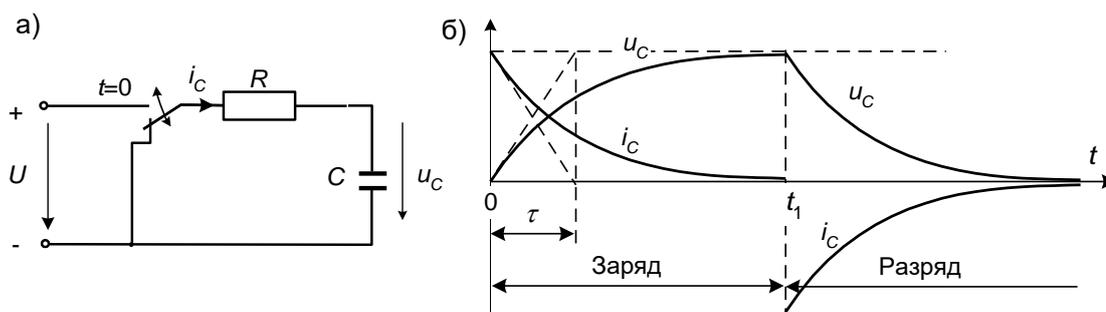


Рис. 15.1

При $t = t_1$ переключатель переводится в нижнее положение и конденсатор начинает разряжаться на сопротивление. Ток и напряжение на конденсаторе изменяются в соответствии с уравнениями:

$$i_C = - (U/R) \cdot e^{-t/\tau};$$
$$u_C = U e^{-t/\tau},$$

где также $\tau = R \cdot C$.

В данной работе вместо переключателя используется источник периодического прямоугольного напряжения. Таким образом, процесс заряда/разряда периодически повторяется, и его можно наблюдать на экране осциллографа как стационарный процесс.

Экспериментальная часть

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Получить на экране электронного осциллографа кривые изменения напряжения и тока заряда/разряда конденсатора и определите по кривым следующие параметры:

- постоянную времени цепи τ ,
- емкость C ,

- мгновенное значение напряжения u_C на обкладках конденсатора спустя 0,5 мс после начала разряда.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 15.2) и подсоедините к ее входным зажимам регулируемый источник напряжений специальной формы, настроенный на прямоугольные импульсы положительной полярности с параметрами: $U_m = 10$ В, $f = 200 \dots 250$ Гц. Напряжение с конденсатора подаётся на первый канал осциллографа, а сигнал, пропорциональный току снимается с сопротивления шунта $R_{ш}$ и подаётся на второй канал осциллографа. Сигнал второго канала нужно инвертировать, тогда ток заряда будет положительным (отклонение луча вверх), а ток разряда – отрицательным (отклонение луча вниз).

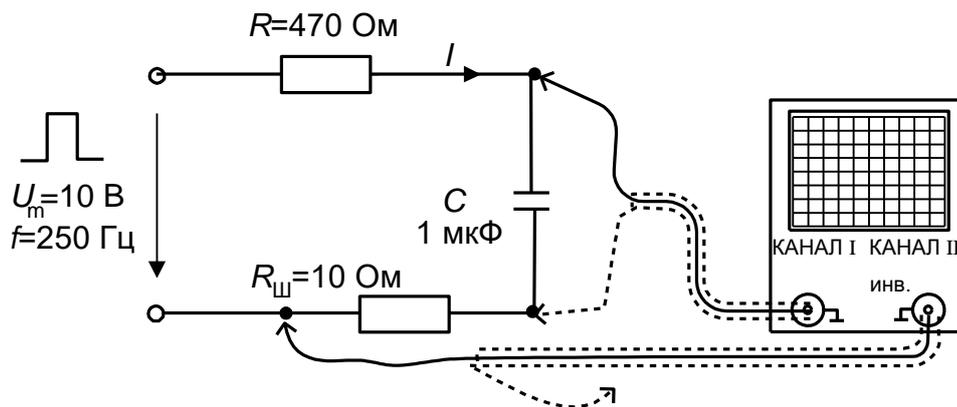


Рис. 5.1.2

- Настройте осциллограф, установите стандартные масштабы по первому и второму каналам и перерисуйте кривые на рис.15.3. Не забудьте указать масштабы. Масштаб тока определяется как масштаб напряжения, делённый на сопротивление шунта.
- Определите указанные в задании величины, используя экспериментальные кривые.
- Результаты сведите в табл. 15.1.
- Рассчитайте значения τ и $u_C(t)$ при $t=0,5$, приняв R и C равными номинальным значениям, указанным на этикетках миниблоков. Сравните результаты расчёта с экспериментальными значениями.

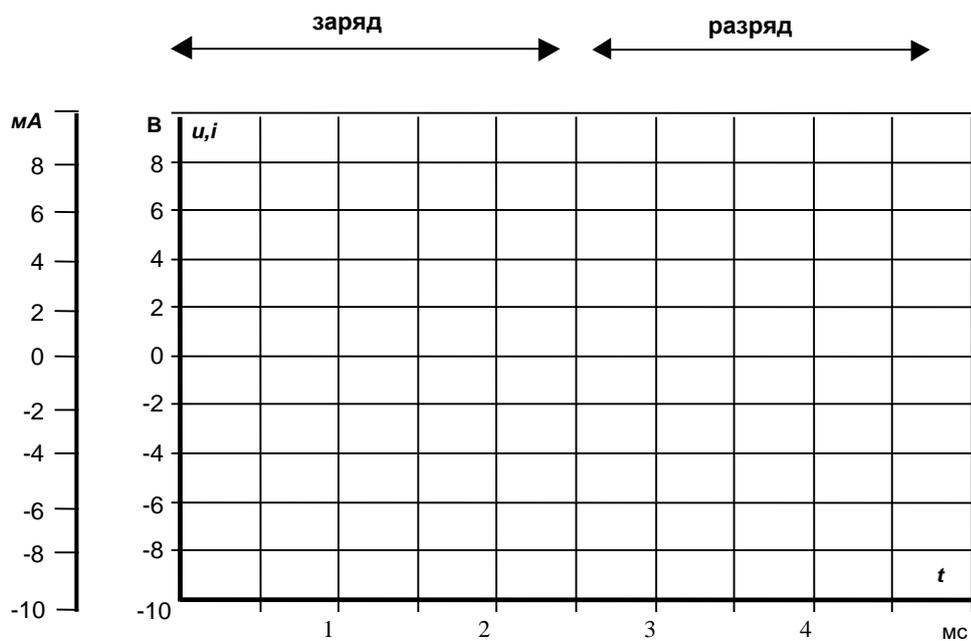


Рис. 15.3

Таблица 15.1

| | $R, \text{ Ом}$ | $\tau, \text{ мс}$ | $C, \text{ мкФ}$ | $u_C(t), \text{ В}$ (при $t=0,5 \text{ мс}$), |
|-------------|-----------------|--------------------|------------------|---|
| Эксперимент | | | | |
| Расчёт | | | | |

Составьте и запишите вывод по проделанной работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беглецов Н.Н., Галишников Ю.П., Сенигов П.Н. Электрические цепи и основы электроники. Руководство по выполнению базовых экспериментов. ЭЦОЭ.002 РБЭ (ПТУ.1) - Челябинск: ООО «Учебная техника», 2006. - 115 с.
2. Беглецов Н.Н., Галишников Ю.П., Сенигов П.Н. Электрические цепи и основы электроники. Руководство по выполнению базовых экспериментов. ЭЦОЭ.002 РБЭ (ПТУ.1) - Челябинск: ООО «Учебная техника», 2006. - 115 с.
3. Основы теории цепей. Учебник для вузов / Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхов. –М.: Энергоатом издат, 1989.
4. Атабеков Г.И. Основы теории цепей, Учебник для вузов. М.: Энергия, 1969.
5. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. Учебник для электротехн., энерг., приборостроит. спец. вузов. – М.: Гардарики, 2000.
6. Электротехника и электроника: Учебник для среднего профессионального образования / Б. И. Петленко, Ю. М. Иньков, А. В. Крашенинников и др.; Под ред. Б.И. Петленко. – М.: Изд. Центр «Академия», 2003.
7. Китаев В. Е. Электротехника с основами промышленной электроники: Учебник для проф.-техн. училищ. – М.: Высшая школа, 1985.
8. Прошин В. М. Лабораторно-практические работы по электротехники: Учебное пособие для образовательных учреждений начального профессионального образования. – М.: Изд. Центр «Академия», 2004.