

П.П. Проценко, Н.С. Бодруг, О.В. Скрипко

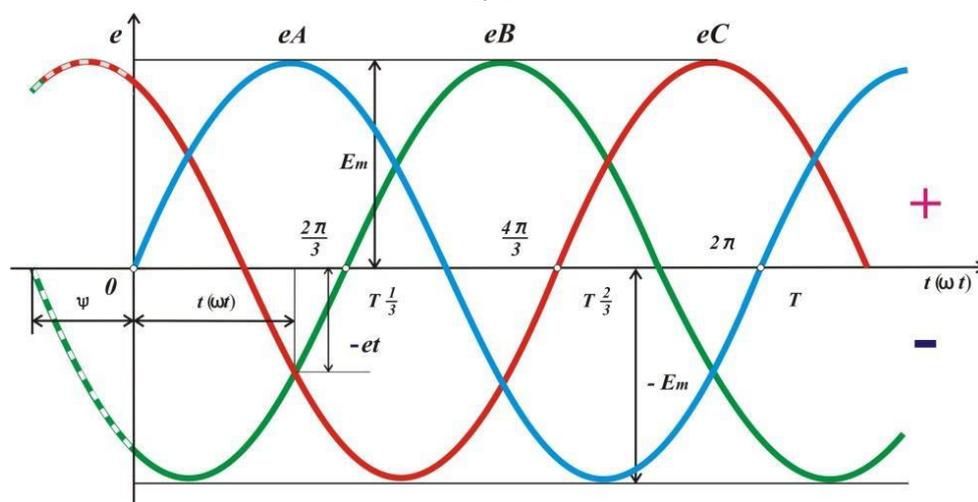
## ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

*Методические указания*

*к лабораторным работам*

по направлениям подготовки 24.03.01 «Ракетные комплексы и космонавтика»,  
24.05.01 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-  
космических комплексов»

Ч. 1



Благовещенск  
Издательство АмГУ  
2020

ББК 31.21  
УДК 621.3.01

*Печатается по решению  
редакционно-издательского совета  
Амурского государственного  
университета*

*Рецензенты:*

*Кобзев Эдуард Владимирович –*

*Заместитель генерального директора  
– Главный инженер АО «Гидроэлек-  
тромонтаж»*

*Проценко П.П., Бодруг Н.С., Скрипко О.В.*

Электротехника и электроника. Часть 1: метод. указания к лабораторным работам / П.П. Проценко, Н.С. Бодруг, О.В. Скрипко – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2020.- 81 с.

Методические указания предназначены для подготовки бакалавров и специалистов очной и заочной форм обучения обучающихся по направлениям подготовки 24.03.01 «Ракетные комплексы и космонавтика», 24.05.01 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов». Даны методические указания к выполнению лабораторных работ по электротехнике и электронике, часть 1 с описанием теоретической части и требованиями к отчетности.

В авторской редакции.

©Амурский государственный университет, 2020

© Проценко П.П. (составитель), 2020

© Бодруг Н.С. (составитель), 2020

© Скрипко О.В. (составитель), 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Лабораторная работа № 1. ИЗМЕРЕНИЯ ПРИБОРАМИ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА .....	10
Лабораторная работа № 2. ЛИНЕЙНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА.....	14
Лабораторная работа № 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПАССИВНЫХ ДВУХПОЛЮСНИКОВ .....	20
Лабораторная работа № 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА.....	26
Лабораторная работа № 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА С ИНДУКТИВНО СВЯЗАННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ .....	34
Лабораторная работа № 6. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСА В ЦЕПИ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО СОЕДИНЕННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ R, L, C.....	44
Лабораторная работа № 7. РЕЗОНАНСНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕПИ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО СОЕДИНЕННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ R, L, C.....	52
Лабораторная работа № 8. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА РЕЗОНАНСА ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ И КОНДЕНСАТОРА.....	58
Лабораторная работа № 9. ТРЕХФАЗНАЯ ЦЕПЬ, СОЕДИНЕННАЯ ЗВЕЗДОЙ.....	65
Лабораторная работа № 10. ТРЕХФАЗНАЯ ЦЕПЬ, СОЕДИНЕННАЯ ТРЕУГОЛЬНИКОМ .....	75
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	80

## **ВВЕДЕНИЕ**

### **1.1 Общие указания правила выполнения лабораторных работ**

Выполнение лабораторных работ – важная часть учебного процесса, преследующая цель более глубокого усвоения теоретических положений изучаемой дисциплины и приобретения навыков исследовательской работы.

Перед началом лабораторных работ студенты должны изучить правила и технику безопасности работы в лаборатории.

Для успешного проведения лабораторных занятий каждая лабораторная работа выполняется бригадой в составе 2-3 человека. Бригада обязана проделать все лабораторные работы, предусмотренные учебным планом кафедры.

До начала очередной лабораторной работы студент должен ознакомиться с соответствующими указаниями и рекомендованной литературой. Перед выполнением работы необходимо иметь заранее заготовленную форму протокола измерений.

Прежде чем приступить к выполнению работы, студент должен твердо знать теоретический материал темы, к которой принадлежит данная работа, ясно представлять поставленную в работе задачу, способы ее разрешения и ожидаемые результаты.

Вся экспериментальная часть работы выполняется в полном объеме и той последовательности, как это предусмотрено данными методическими рекомендациями, под наблюдением преподавателя.

Электрические схемы для проведения лабораторных работ следует собирать по рисунку, предварительно вычерченному на бумаге. Это ускоряет сборку схемы и предохраняет от возможных ошибок. При вычерчивании схемы особое внимание должно быть обращено на правильность условных обозначений элементов схемы.

Сборка схемы является ответственной частью каждой лабораторной работы, так как от правильности сборки схемы рекомендуется подключать к клеммам измерительных приборов и элементов блоков не более двух провод-

ников.

Если составляются сложные схемы, следует придерживаться определенного порядка: сначала соединяются последовательно цепи всех приборов с соответствующей аппаратурой, а затем – все параллельные цепи приборов и аппаратура, относящаяся к ним.

Соединяя схемы, следует обратить внимание на правильное включение генераторных зажимов приборов (фазометра, ваттметра).

В работах на постоянном токе, необходимо также следить за правильным включением приборов, поскольку показания их зависят от направления тока.

**Включать напряжение для производства опыта можно только после проверки схемы преподавателем или лаборантом.**

Приступая к работе, нужно наметить порядок проведения отдельных операций и измерений, придерживаться установленного порядка в продолжение всей работы. Во всех случаях, когда возникает сомнение в правильности полученных результатов измерений, необходимо их повторить.

**Обращение с приборами и оборудованием требует большой осторожности и внимательности!**

## **1.2 Составление протокола измерений**

Протокол измерений должен вестись с особой тщательностью, так как он является единственным документом, остающимся в распоряжении экспериментаторов. В протоколе должны отмечаться содержание соответствующего пункта лабораторной работы по программе, электрическая схема, по которой производились измерения.

Запись измерений необходимо вести карандашом в таблицах, указывая в заголовках граф таблиц наименование измеряемых величин и единицы измерения.

Запись результатов измерений по приборам необходимо производить в

такой форме, как они получены (например, в делениях шкалы) без каких-либо пересчетов в уме, хотя бы простейших, иначе при обработке результатов измерения нельзя будет установить, является ли неправильная запись результатом ошибки при подсчете или при наблюдении. Записывая результат измерений в делениях шкалы, необходимо указать постоянную прибора (цену деления).

Ошибочные записи, промахи и сомнительные наблюдения зачеркиваются, но так, чтобы зачеркнутое можно было разобрать.

Если проведение опыта требует выполнения предварительных расчетов, то в протоколе должны быть указаны формулы, по которым они производились и числовые значения, подставленные в формулы.

Рекомендуется после выполнения каждого пункта работы производить, хотя бы ориентировочно, требуемые программой расчеты и построения. Это дает возможность установить правильность проведения опыта.

Результаты измерений предъявляются для просмотра преподавателю до разборки схемы, затем обводятся чернилами.

Если результаты наблюдений оказываются неудовлетворительными, то опыт необходимо повторить. Удовлетворительные результаты подписываются преподавателем.

### **1.3 Составление отчета**

На основании протокола измерений составляется отчет о работе, который включает все данные, занесенные в протокол наблюдений, а также все вычисления и построения, требуемые программой.

Вся графическая часть выполняется на миллиметровой бумаге и подклеивается в соответствующем месте отчета. При построении кривых следует выбирать масштабы, которые давали бы возможность легко пользоваться графиком. Рекомендуется применять шкалы, масштаб которых выражается числами 1, 2, 5, умноженными на  $10^n$ , где  $n$ -целое число. Координатные оси должны быть обозначены с указанием единиц измерения.

На графиках экспериментальных зависимостей обязательно должны

быть отмечены точки кривой, полученные в результате эксперимента. Пример построения графика дан на рисунке 1. На расчетных кривых точки не ставятся (пунктирные линии на рис. 1).

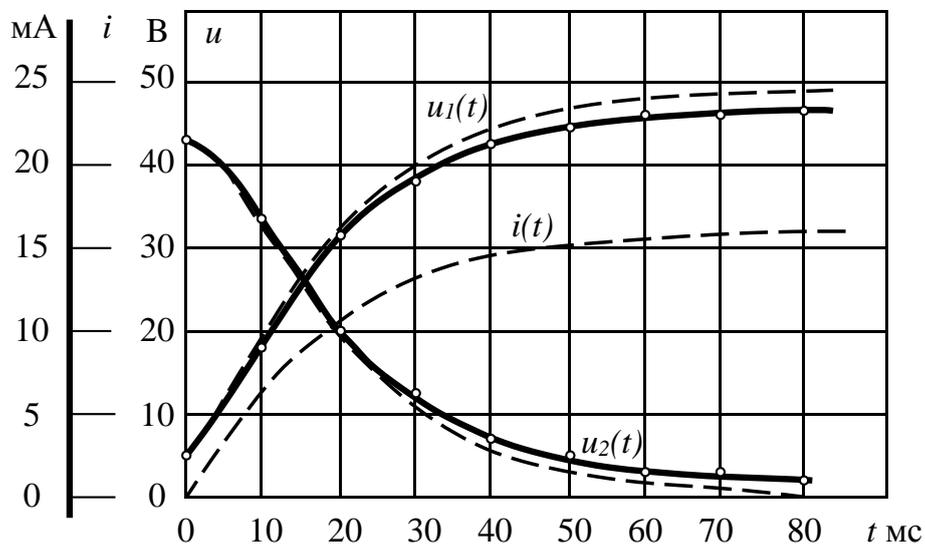


Рис. 1. Пример построения графика

Если на одном поле графика требуется нанести несколько кривых, причем размерность величин, откладываемых по оси ординат, различная, то для каждой величины должна быть дана шкала с условным обозначением величины (рис. 1).

Векторные и круговые диаграммы должны быть построены в масштабе с указанием его на диаграмме.

Масштаб на векторных и круговых диаграммах обозначается указанием масштабного коэффициента. Так, если 1 см на диаграммах соответствует 5 В, то следует писать  $m_u = 5 \text{ В/см}$ . Аналогично для тока, если 1 мм на диаграмме соответствует 0,1 А, то следует писать  $m_i = 0,1 \text{ А/мм}$ .

Отчет представляется преподавателю к следующему лабораторному занятию отдельно каждым студентом. Без сдачи отчета студент не допускается к выполнению очередной работы.

Кроме того, вместе с отчетами каждая бригада представляет протокол

измерений, подписанный ранее преподавателем.

#### 1.4 Компьютерный измерительный комплекс

Компьютерный измерительный комплекс состоит из модуля **ВВОД-ВЫВОД** лабораторного стенда и компьютера с установленным программным обеспечением *DeltaProfi*. Компьютер подключается к модулю **ВВОД-ВЫВОД** посредством стандартного кабеля USB.

Модуль ввода-вывода содержит восемь аналоговых входов («Вход 1»... «Вход 8») и два аналоговых выхода («Выход 1» и «Выход 2»).

Входы 1...4 служат для измерения и осциллографирования напряжений. Гнезда X1-X8 предназначены для измерения напряжений до 300 В, гнезда X9-X16 – для измерения напряжений до 30 В.

Входы 5...8 (гнезда X17-X32) служат для измерения и осциллографирования токов 1 А.

Аналоговые выходы в данном стенде не используются. При измерениях напряжений соответствующие входы модуля **ВВОД- ВЫВОД** подключаются к схеме электрической цепи параллельно исследуемому участку. Для измерения тока в ветвь электрической цепи необходимо включить токовый вход модуля **ВВОД-ВЫВОД**. Входы напряжения и тока при их совместном использовании измеряют активную мощность  $P$ , и величину угла сдвига фаз  $\varphi$  между мгновенными значениями синусоидальных напряжения  $u$  и тока  $i$ .

Запуск информационно-измерительного комплекса *DeltaProfi* осуществляется следующим образом:

- включить компьютер, дождаться окончания загрузки Windows;
- запустить программу *DeltaProfi*. Появится окно программы;
- Выбрать требуемую работу в меню «Работы» или нажав кнопку «Выбор работы...» . На экране появится схема лабораторной работы (на вкладке «Мнемосхемы»). Переход между вкладками осуществляется с помощью

кнопок «Стоп»  и «Пуск »  ;

- запустить программу в работу нажатием кнопки «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

Для окончания работы информационно-измерительного комплекса ***DeltaProfi*** необходимо:

- остановить программу, нажатием кнопки в «Стоп» или командой главного меню «Управление – Стоп» или горячей клавишей F6;
- закрыть программу.

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

## ИЗМЕРЕНИЯ ПРИБОРАМИ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

*Цель работы:* ознакомление с оборудованием лабораторного стенда и компьютерным измерительным комплексом.

### 1. Общие сведения

Электрический ток, напряжение и мощность являются основными физическими величинами, характеризующими электромагнитные процессы в электрической цепи.

Напряжение на участке электрической цепи измеряется вольтметром, включенным между двумя точками цепи параллельно этому участку. Ток цепи измеряется амперметром, включенным последовательно с цепью.

Мощность измеряется ваттметром. Токовая цепь ваттметра включается последовательно с цепью, а цепь напряжения ваттметра – параллельно. Схема включения вольтметра, амперметра и ваттметра показана на рисунке 1.1.

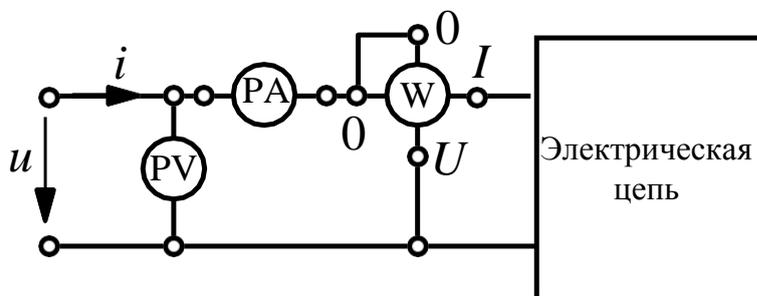


Рис. 1.1

### 2. Содержание и порядок выполнения работы

Схема замещения исследуемой электрической цели представлена на рисунке 1П протокола измерений.

В работе используются источники постоянного напряжения 0-12 В из блока **МОДУЛЬ ПИТАНИЯ UZ4** и синусоидального напряжения 0-9 В из блока **МОДУЛЬ ПИТАНИЯ UZ3**. Резистор  $R$  электрической цепи выбирается из блока **МОДУЛЬ РЕЗИСТОРОВ**; конденсатор  $C$  и катушка индуктивности

$L, R_k$  – из блока **МОДУЛЬ РЕАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**.

Ввод данных измерений в компьютер выполняет блок **ВВОД-ВЫВОД**. **Вход 1** модуля **ВВОД-ВЫВОД** предназначен для измерения напряжений на участках цепи, **Входы 5, 6, 7** – для измерения токов ветвей (смотри п. 1.4 введения). **Входы 1 и 5** при их совместном использовании измеряют активную мощность  $P$ .

- Собрать электрическую цепь по схеме рисунка 1П протокола измерений.
- Установить в блоке **МОДУЛЬ РЕЗИСТОРОВ** величину  $R = 47$  Ом.
- Установить в блоке **МОДУЛЬ РЕАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ** величины индуктивности  $L = 80$  мГн и емкости  $C = 33$  мкФ.

Проверить собранную электрическую цепь в присутствии преподавателя.

*Запустить информационно-измерительный комплекс **DeltaProfi**. Для этого:*

- включить компьютер, дождаться окончания загрузки Windows;
- запустить программу **DeltaProfi**. Появится окно программы;
- выбрать работу «Работа № 1 – Измерения приборами лабораторного стенда – Измерения в цепях постоянного тока» в меню «Работы» или нажав кнопку «Выбор работы...». На экране появится схема лабораторной работы;
- запустить программу в работу, нажатием кнопки «Пуск» или командой главного меню «Управление-Пуск» или горячей клавишей F5;
- включить выключатель **QF** блока **МОДУЛЬ ПИТАНИЯ**;
- включить тумблеры **SA3** источника **UZ4** и Сеть модуля **ВВОД-ВЫВОД**;
- подключить **Вход 1** модуля **ВВОД-ВЫВОД** к источнику **UZ4** и установить регулятором величину постоянного напряжения  $U = 10$  В;
- списать с экрана монитора в таблицу 1 протокола результаты измерений напряжения  $U$ , токов  $I_1$ ,  $I_2$  и  $I_3$  и активной мощности  $P$ ;

- поочередно подключая **Вход 1** модуля **ВВОД-ВЫВОД** к участкам с напряжением  $U_1$  и  $U_{23}$ , измерить их величины. Измеренные величины занести в таблицу 1 протокола;

- выключить тумблер **SA3** модуля питания **UZ4**;

- остановить программу, нажатием кнопки «*Стоп*» или командой главного меню «*Управление-Стоп*» или горячей клавишей F6;

- заменить модуль питания **UZ4** на источник синусоидального напряжения модуль питания **UZ3**;

- выбрать работу «*Работа № 1 – Измерения приборами лабораторного стенда – Измерения в цепях переменного тока*» в меню «*Работы*» или нажав кнопку «*Выбор работы...*». На экране появится схема лабораторной работы;

- запустить программу в работу, нажатием кнопки «*Пуск*» или командой главного меню «*Управление-Пуск*» или горячей клавишей F5;

- включить тумблер SA2 источника UZ3;

- подключить **Вход 1** модуля **ВВОД-ВЫВОД** к выходу источника UZ3 и установить регулятором величину действующего значения синусоидального напряжения  $U = 7-8$  В;

- повторить измерения, результаты записать в таблицу 2 протокола;

- остановить программу нажатием кнопки «*Стоп*» или командой главного меню «*Управление-Стоп*» или горячей клавишей F6;

- выбрать вкладку «*Осциллограммы*» и снять осциллограммы напряжения и входного тока, зарисовав их в одной координатной плоскости. Определить по осциллограммам амплитуду напряжения и тока, частоту и угол сдвига фаз между напряжением и током;

- выключить тумблеры **SA2** модуля питания **UZ3** и **Сеть** модуля **ВВОД-ВЫВОД**;

- выключить выключатель **QF** блока **МОДУЛЬ ПИТАНИЯ**;

- остановить программу, нажатием кнопки «*Стоп*» или командой главного меню «*Управление - Стоп*» или горячей клавишей F6;

- протокол измерений утвердить у преподавателя;
- закрыть программу.

## Протокол измерений к лабораторной работе № 1 «Измерения приборами лабораторного стенда»

Схема исследуемой цепи при измерениях в цепи постоянного тока представлена на рисунке 1П.

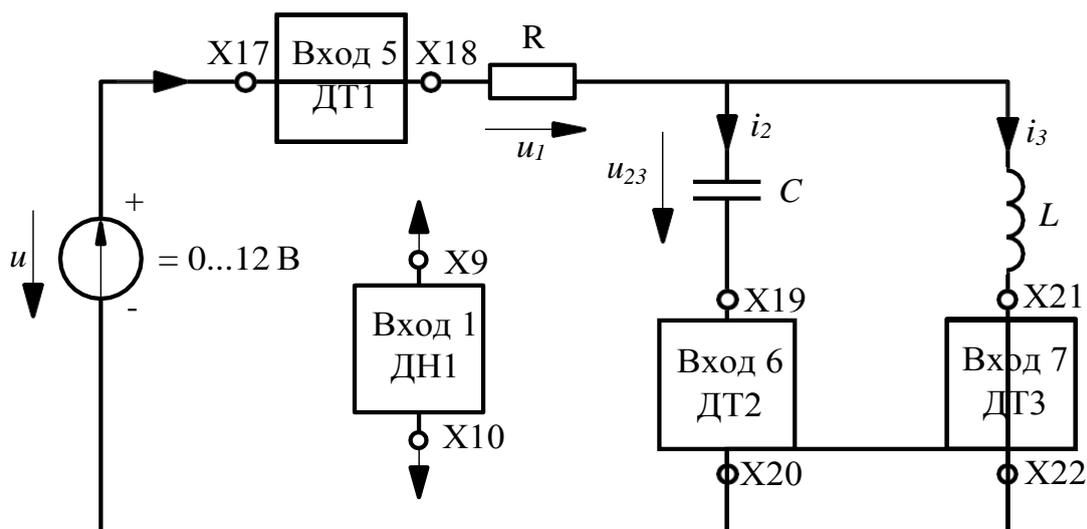


Рис. 1П

Таблица 1 - Результаты измерений в цепи постоянного тока

$U, \text{В}$	$I_1, \text{мА}$	$I_2, \text{мА}$	$I_3, \text{мА}$	$U_1, \text{В}$	$U_{23}, \text{В}$	$P, \text{мВт}$

Таблица 2 - Результаты измерений в цепи синусоидального тока

$U, \text{В}$	$I_1, \text{мА}$	$I_2, \text{мА}$	$I_3, \text{мА}$	$U_1, \text{В}$	$U_{23}, \text{В}$	$P, \text{мВт}$

Работу выполнили: \_\_\_\_\_

Работу проверил: \_\_\_\_\_

Примечания. Отчет по работе не выполняется.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### ЛИНЕЙНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА

*Цель работы:* экспериментальная проверка законов Кирхгофа, принципов наложения, взаимности и метода эквивалентного генератора.

#### 1. Общие сведения

Законы Кирхгофа являются основными законами электрических цепей.

Первый закон Кирхгофа устанавливает связь между токами, подходящими к узлу цепи: алгебраическая сумма токов ветвей, сходящихся в узле электрической цепи, равна нулю.

Второй закон Кирхгофа устанавливает связь между э. д. с. и напряжениями в контуре электрической цепи: алгебраическая сумма напряжений на пассивных элементах ветвей контура равна алгебраической сумме э. д. с. ветвей этого контура.

Принцип наложения применим к линейным электрическим цепям, и формулируется следующим образом: ток ветви разветвленной линейной электрической цепи с несколькими источниками равен алгебраической сумме частичных токов, вызываемых в этой ветви действием каждого источника в отдельности. Принцип наложения не выполняется для мощностей.

Принцип взаимности справедлив в линейной электрической цепи с одним источником и заключается в следующем: если э. д. с.  $E_1 = E$ , действуя в ветви 1 сколь угодно сложной цепи при отсутствии прочих э. д. с. вызывает в другой ветви 2 ток  $I_1' = I$ , то такая же э. д. с.  $E_2 = E$ , действуя в ветви 2, вызовет в ветви 1 ток  $I''_1 = I$ . Если же э. д. с.  $E_1$  и  $E_2$ , различны, то соблюдается равенство .

Метод Эквивалентного генератора позволяет определить ток в любой ветви  $ab$  линейной цепи, заменив часть цепи (активный двухполюсник  $A$ ) по отношению к данной ветви эквивалентным генератором, состоящим из э. д. с.  $E_g$  и внутреннего сопротивления  $R_g$  (рис. 2.1).

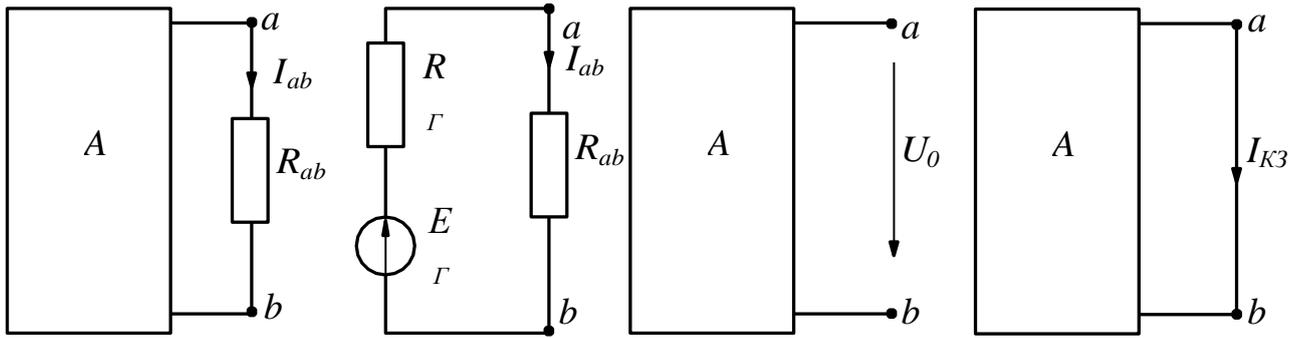


Рис. 2.1

Величина  $E_r$  равна напряжению холостого хода  $U_0$  на разомкнутой ветви  $ab$ :  $E_r = U_0$ . Сопротивление  $R_r$  можно определить экспериментально из опытов холостого хода и короткого замыкания ветви  $ab$ :  $R_r = U_0/I_{кз}$ .

## 2. Содержание и порядок выполнения работы

Для исследования электрической цепи по схеме рисунка 1П протокола измерений используют: источники постоянного напряжения из блока **МОДУЛЬ ПИТАНИЯ**: э.д.с.  $E_1 = 9$  В (**UZ1**),  $E_2 = 12$  В (**UZ4**).

Измерения выполняются компьютерным измерительным комплексом. Ввод данных в компьютер выполняет модуль **ВВОД-ВЫВОД**. Вход 1 модуля **ВВОД-ВЫВОД** предназначен для измерения напряжений на участках цепи. Входы 5, 6, 7 – для измерения токов ветвей (смотри п. 1.4 введения).

Пассивные элементы электрической схемы выбирают из блока **МОДУЛЬ РЕЗИСТОРОВ**.

- Собрать электрическую цепь по схеме, приведенной на рисунке 1П. Рекомендуемые значения  $R_1 = 100$  или  $150$  Ом;  $R_2 = 100, 150$  или  $220$  Ом.

- Проверить собранную электрическую цепь в присутствии преподавателя. Запустить информационно-измерительный комплекс *DeltaProfi*. Для этого:

- Включить компьютер, дождаться окончания загрузки *Windows*.
- Запустить программу *DeltaProfi*. Появится окно программы.

- Выбрать работу «Работа №2 – Линейная электрическая цепь постоянного тока» в меню «Работы» или нажав кнопку «Выбор работы...». На экране появится схема лабораторной работы.

- Запустить программу в работу нажатием кнопки «Пуск» или командой главного меню «Управление-Пуск» или горячей клавишей F5.

- Включить автоматический выключатель **QF** блока **МОДУЛЬ ПИТАНИЯ** и тумблеры **SA1** источника **UZ1**, **SA3** источника **UZ4** и **Сеть** модуля **ВВОД-ВЫВОД**.

- Подключить **Вход 1** модуля **ВВОД-ВЫВОД** к выходу источника **UZ4** и установить регулятором источника **UZ4** величину  $E_2 = 12$  В.

- Подключить **Вход 1** модуля **ВВОД-ВЫВОД** к резистору  $R_3$ . Установить величину резистора  $R_3$ , при которой напряжение на резисторе будет 4-7 В. Величину сопротивления  $R_3$  занести в протокол измерений.

#### Проверка выполнения законов Кирхгофа

- Списать с экрана монитора в таблицу 1 протокола результаты измерений токов  $I_1$ ,  $I_2$  и  $I_3$ . Поочередно подключая **Вход 1** модуля **ВВОД-ВЫВОД** к резисторам  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  измерить напряжения на этих резисторах.

#### Проверка выполнения принципов наложения и взаимности

- Исключить из цепи э.д.с. **UZ4** (рис. 2П).
- Списать с экрана монитора в таблицу 1П результаты измерений токов  $I_1$ ,  $I_2$  и  $I_3$ . Восстановить схему цепи.

- Исключить из цепи э.д.с. **UZ1** (рис. 2П).
- Списать с экрана монитора в таблицу 1П результаты измерений токов  $I_1$ ,  $I_2$  и  $I_3$ . Восстановить схему.

#### Определение параметров эквивалентного генератора

- В режиме короткого замыкания ( $R_3 = 0$ ) списать с экрана монитора значение тока  $I_3 = I_{кз}$ .
- В режиме холостого хода (ветвь с  $R_3$  разомкнута) измерить напряжение

$U_0$ . Данные измерений занести в таблицу 2П. Восстановить схему цепи.

### Определение экспериментальной зависимости $I_3 = f(R_3)$

• Измерить ток  $I_3$  для указанных в таблицу 3П величин сопротивления  $R_3$ . Данные занести в таблицу 2П.

• Утвердить протокол измерений у преподавателя.

• Выключить тумблеры SA1 источника UZ1, SA3 источника UZ4 и Сеть модуля ВВОД-ВЫВОД.

• Выключить автоматический выключатель QF блока МОДУЛЬ ПИТАНИЯ. Окончить работу программы *DeltaProfi*. Для этого:

• Остановить программу, нажатием кнопки «Стоп» или командой главного меню «Управление – Стоп» или горячей клавишей F6.

• Закрыть программу.

### Протокол измерений к лабораторной работе № 2 «Линейная электрическая цепь постоянного тока»

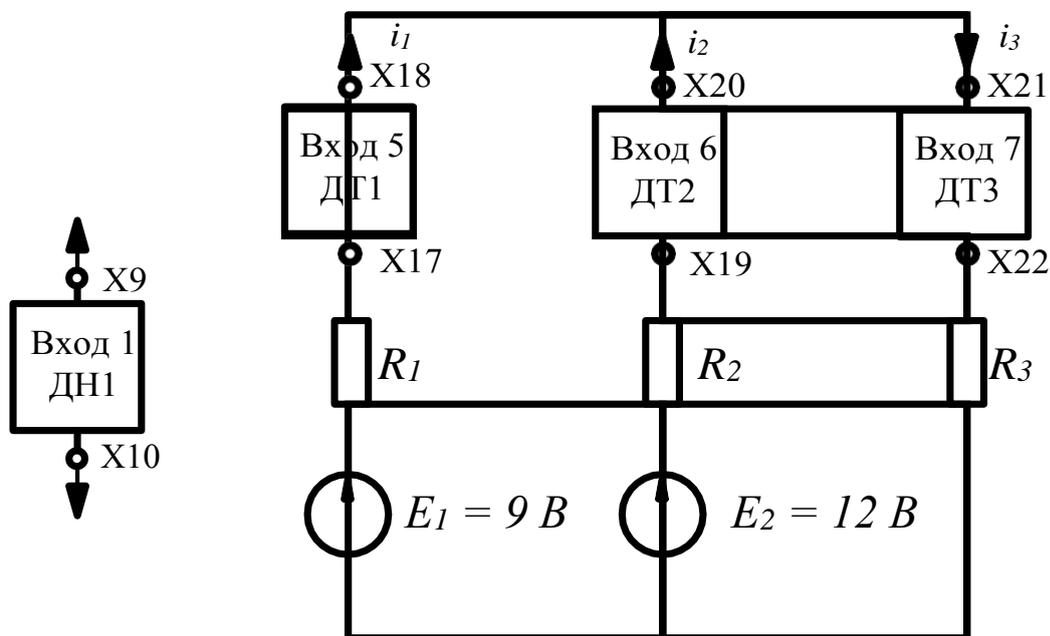


Рис. 1П

Способ отключения источников показан на рисунке 2П.

$R_1 = \underline{\hspace{2cm}}$  Ом,  $R_2 = \underline{\hspace{2cm}}$  Ом,  $R_3 = \underline{\hspace{2cm}}$  Ом.

Таблица 1П – Проверка законов Кирхгофа, принципов наложения и взаимности

Включены оба источника $E_1 = \text{--- В}, E_2 = \text{--- В}$			Включен источник э.д.с. $E_1 = \text{--- В}$			Включен источник э.д.с. $E_2 = \text{--- В}$		
$I_1, \text{ мА}$		$U_{R1}, \text{ В}$		$I'_1, \text{ мА}$		$I''_1, \text{ мА}$		
$I_2, \text{ мА}$		$U_{R2}, \text{ В}$		$I'_2, \text{ мА}$		$I''_2, \text{ мА}$		
$I_3, \text{ мА}$		$U_{R3}, \text{ В}$		$I'_3, \text{ мА}$		$I''_3, \text{ мА}$		

Таблица 2П – Опытные данные для определения параметров эквивалентного генератора

$I_{K3}, \text{ мА}$	$E_{\Gamma} = U_0, \text{ В}$	$\text{---}, \text{ Ом}$	$\text{---}, \text{ Ом}$

Таблица 3П – Экспериментальная зависимость  $I_3 = f(R_3)$

$R_3, \text{ Ом}$	10	47	68	100	150	220	330
$I_3, \text{ мА}$							

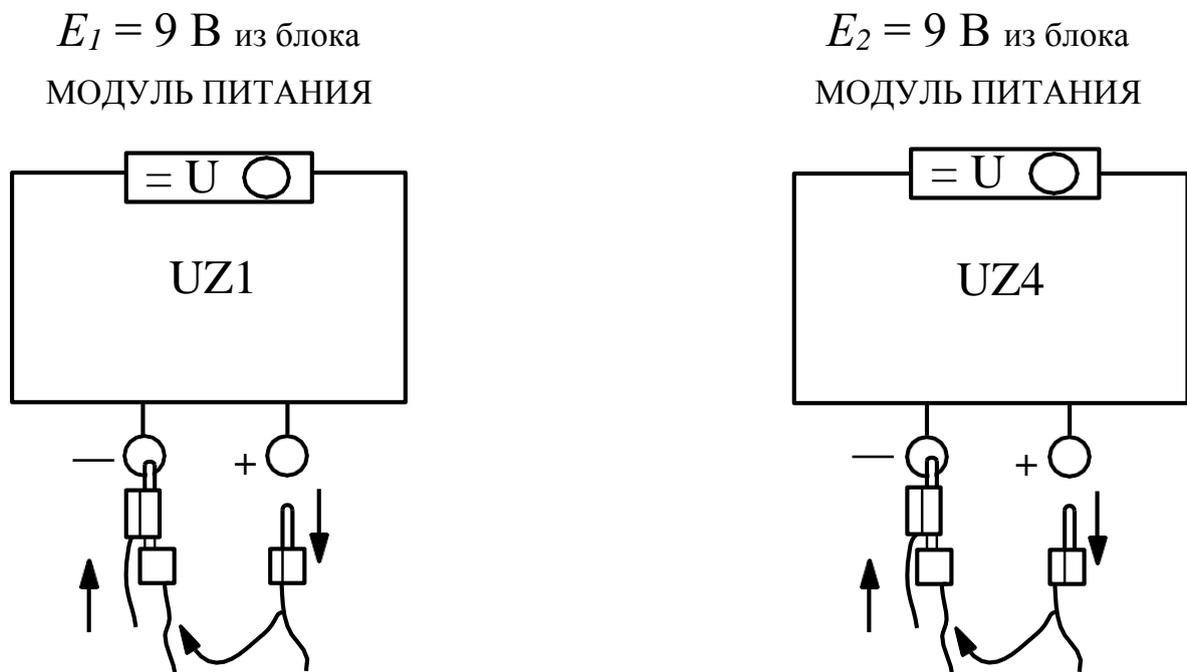


Рис. 2П

Работу выполнили: \_\_\_\_\_

Работу проверил: \_\_\_\_\_

### **3. Содержание отчета**

1. Нарисовать схему замещения исследуемой электрической цепи, указать положительные направления токов.

2. Для исследуемой цепи записать: уравнение первого закона Кирхгофа в каждом режиме; уравнения второго закона Кирхгофа в режиме действия двух источников; принцип наложения дна каждого тока; принцип взаимности. По данным таблицы 1П протокола измерений проверить численно эти уравнения.

3. По данным таблицы 2П рассчитать зависимости тока и мощности третьей ветви от величины ее сопротивления. Построить графики этих функций. На рисунке также нанести экспериментальные значения тока из таблицы 3П.

### **4. Контрольные вопросы**

1. Перечислите основные законы Кирхгофа.
2. В чем заключается принцип наложения? К каким цепям он применяется?
3. В чем заключается принцип взаимности? К каким цепям он применяется?
4. Что позволяет определить метод эквивалентного генератора?
5. В чем заключается суть метода эквивалентного генератора?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПАССИВНЫХ ДВУХПОЛЮСНИКОВ

*Цель работы:* экспериментальное определение полных и комплексных сопротивлений и проводимостей пассивных двухполюсников  $R$ - $L$ - $C$  в установившемся режиме синусоидальных напряжений и токов.

#### 1. Общие сведения

На входе пассивного двухполюсника в установившемся режиме мгновенные значения напряжения  $u = U_m \sin(\omega t + \psi_u)$  и тока  $i = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$  отличаются по фазе на угол  $\varphi = \psi_u - \psi_i$  (рис. 3.1).

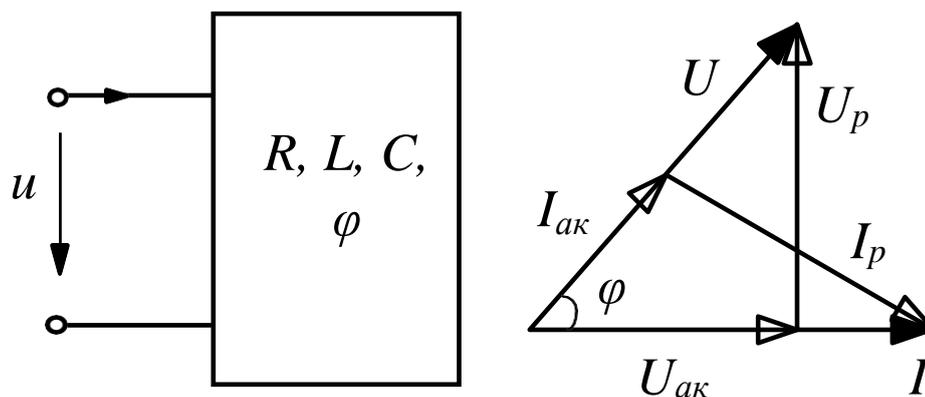


Рис. 3.1

Проекция напряжения на линию тока  $U_{ак} = U \cdot \cos\varphi$ ;  $U_{р} = U \cdot \sin\varphi$  определяют активную и реактивную составляющие напряжения.

Проекция тока на линию напряжения  $I_{ак} = I \cdot \cos\varphi$ ;  $I_{р} = I \cdot \sin\varphi$  определяют активную и реактивную составляющие тока.

В цепи синусоидального тока для пассивного двухполюсника по определению вводятся следующие расчетные величины (эквивалентные параметры):

1. Эквивалентные полное  $Z$ , активное  $R_{ЭК}$  и реактивное  $X_{ЭК}$  сопротивления:

2. Эквивалентные полная  $Y$ , активная  $G_{ЭК}$  и реактивная  $B_{ЭК}$  проводимости:

3. Комплексное сопротивление \_\_

4. Комплексная проводимость \_\_

Для указанных выше величин выполняются отношения:

— — — — —

Эквивалентные параметры определяются из физического эксперимента, в котором для заданного двухполюсника измеряют действующие значения тока и напряжения, активную мощность  $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$  или угол сдвига фаз  $\varphi$  между мгновенными значениями тока и напряжения (рис. 3.2).

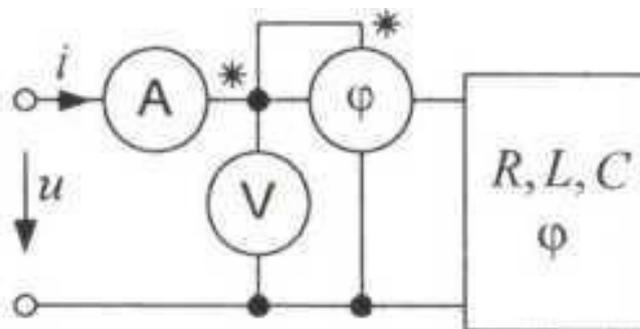


Рис. 3.2

## 2. Содержание и порядок выполнения работы

В лабораторной работе исследуют  $R-L$ ,  $R-C$  и  $R-L-C$  двухполюсники (рис. 3.3).

Источником синусоидального напряжения частотой  $f = 50$  Гц является **МОДУЛЬ ПИТАНИЯ UZ3**. В качестве источника синусоидального напряжения можно использовать модуль **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР**. В этом случае частота  $f = 50 - 400$  Гц.

Измерения выполняются компьютерным измерительным комплексом (смотри п. 1.4 введения). Ввод данных в компьютер выполняет блок **ВВОД-ВЫВОД**. Входы **1** и **5** при их совместном использовании измеряют величину угла сдвига фаз  $\phi$  между мгновенными значениями напряжения и тока  $i$ . При емкостном характере цепи в окне  $\phi$  на экране монитора появляется величина угла  $0 \dots -90^\circ$ .

Пассивные элементы электрических схем двухполюсников выбирают из блоков **МОДУЛЬ РЕЗИСТОРОВ** и **РЕАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ**. Шунт  $R_{ш}$  резистор канала А1 из блока **МОДУЛЬ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ**.

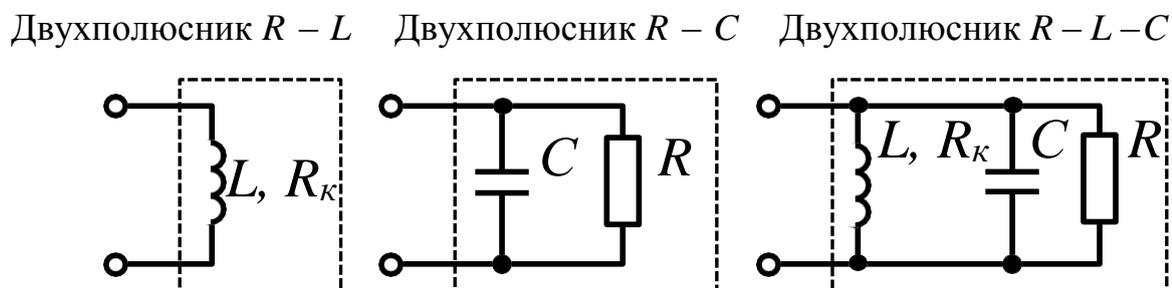


Рис. 3.3

Численные значения параметров элементов двухполюсников назначает преподаватель. Рекомендуемые значения параметров:  $L = 60, 70, 80$  или  $90$  мГн,  $C = 47, 56, 68$  или  $82$  мкФ,  $R = 47, 68$  или  $100$  Ом.

- Собрать электрическую цепь по схеме, приведенной на рисунке 1П протокола измерений. Подключить к схеме двухполюсник  $R-L$ .
- Проверить собранную электрическую цепь в присутствии преподавателя.
- Запустить информационно-измерительный комплекс *DeltaProfl*. Для этого:
  - Включить компьютер, дождаться окончания загрузки Windows.
  - Запустить программу *DeltaProfl*. Появится окно программы.
  - Выбрать работу «Работа №3 - Определение эквивалентных параметров пассивных двухполюсников» в меню «Работы» или нажав кнопку «Выбор

работы...». На экране появится схема лабораторной работы.

- Запустить программу в работу, нажатием кнопки «*Пуск*» или командой главного меню «*Управление - Пуск*» или горячей клавишей F5.
  - Включить автоматический выключатель **QF** модуля питания и тумблеры **SA2** источника **UZ3** и Сеть модуля **ВВОД-ВЫВОД**.
  - Установить регулятором **МОДУЛЯ ПИТАНИЯ UZ3** действующее значение напряжения  $u$  5...6 В.
  - Списать с экрана монитора в таблицу 1 протокола результаты измерений напряжения  $U$ , тока  $I$  и угла сдвига фаз  $\varphi$ .
  - Выполнить аналогичные измерения для  $R-C$  и  $R-L-C$  двухполюсников.
  - Выполнить предварительные расчеты, указанные в протоколе измерений.
  - Протокол измерений утвердить у преподавателя.
  - Выключить тумблеры **SA2** источника **UZ3**, Сеть модуля **ВВОД-ВЫВОД**.
  - Выключить автоматический выключатель **QF** модуля питания.
- Окончить работу программы *DeltaProfi*. Для этого:
- Остановить программу, нажатием кнопки «*Стоп*» или командой главного меню «*Управление - Стоп*» или горячей клавишей F6.
  - Закрыть программу.

### Протокол измерений к лабораторной работе № 3

#### «Определение эквивалентных параметров пассивных двухполюсников»

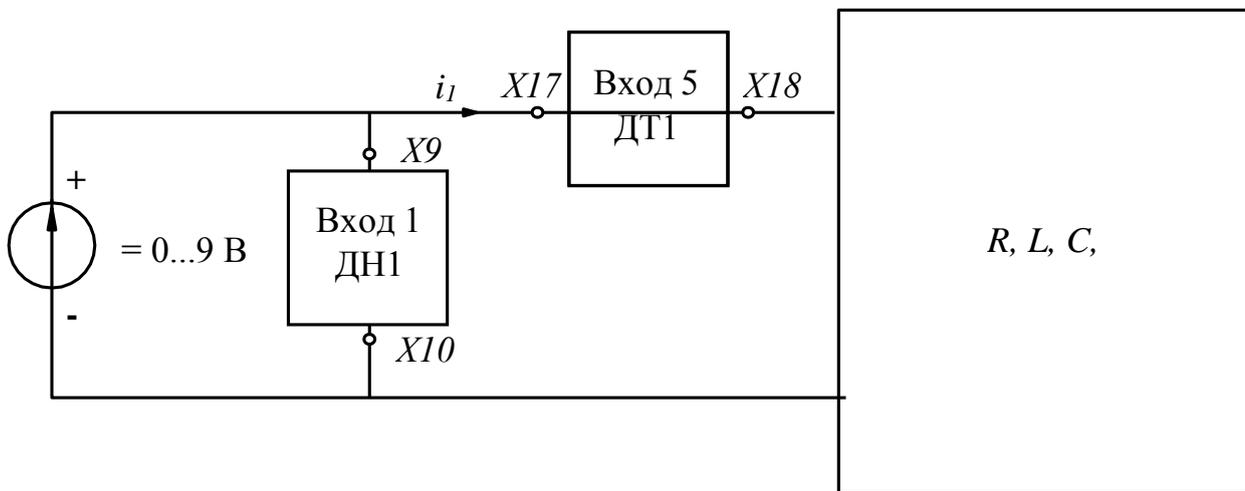


Рис. 1П

Численные значения параметров элементов:

$L =$  мГн;  $R =$  Ом;  $C =$  мкФ.

Опытные данные внесены в табл. 1П.

Таблица 1П

Двухполюсник	$U$ , В	$I$ , мА	$\varphi$ , град
$R - L$			
$R - C$			
$R - L - C$			

Предварительные расчеты представлены в таблице 2П.

Таблица 2П

Двухполюсник	$Z_{эк}$ , Ом	$R_k$ , Ом	$L$ , Ом
$R - L$			
$R - C$			
$R - L - C$			

Для двухполюсника  $R - L$  эквивалентное сопротивление  $R_{ЭК}$  равно активному сопротивлению  $R_k$  катушки индуктивности  $L$ .

Работу выполнили: \_\_\_\_\_

Работу проверил: \_\_\_\_\_

### 3. Содержание отчета

1. Нарисовать схемы исследуемых двухполюсников. Указать величины параметров  $R, L, C$ .

2. Используя экспериментальные данные таблицы 1П и результаты предварительных расчетов из протокола измерений для каждого из двухполюсников, записать комплексные сопротивления и проводимости в алгебраической и показательной форме записи. Построить в масштабе треугольники сопротивлений.

3. Выполнить проверку отношений эквивалентных преобразований:

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2, \quad \dot{I}_1 = \dot{I}_2, \quad \dot{U}_1 \dot{I}_1 = \dot{U}_2 \dot{I}_2.$$

4. По известным параметрам элементов и частоте источника рассчитать комплексное сопротивление и комплексную проводимость двухполюсника  $R - L - C$ . Сравнить расчет с данными п. 2 и п. 3.

### 4. Контрольные вопросы

1. Дайте определение полных и комплексных сопротивлений.
2. Дайте определение проводимостей пассивных двухполюсников  $R-L-C$ .
3. Чем характеризуется установившийся режим синусоидальных напряжений и токов?
4. Перечислите основные отличия  $R-L$ ,  $R-C$  и  $R-L-C$  двухполюсников.
5. Дайте определение двухполюсника и его классификацию.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

*Цель работы:* получение экспериментальных данных для расчета и построения векторных диаграмм разветвленной цепи синусоидального тока; закрепление навыков расчета комплексным методом.

#### 1. Общие сведения

При расчетах установившихся режимов линейных электрических цепей синусоидального тока мгновенным значениям синусоидальных функций времени, например, тока  $i(t) = I_m \sin(\omega t + \psi_{I,})$ , ставят в соответствие комплексное мгновенное значения —

Величины  $\underline{I} = I_m \cdot e^{j\psi_{I,}}$  называют комплексными ам-

плитудными и действующими значениями соответственно. Аналогично для синусоидальных напряжений, э. д. с., электрических зарядов, магнитных потоков и т. д.

Для любого пассивного участка электрической цепи, содержащего элементы  $R$ ,  $L$  и  $C$ , можно определить комплексное сопротивление

— — —

и комплексную проводимость

— — —

Переход к комплексным действующим значениям напряжений и токов, комплексным сопротивлениям и проводимостям позволяет при расчетах использовать:

• уравнения, по форме совпадающие с законом Ома —

- 1-й закон Кирхгофа для любого узла схемы замещения цепи:  
(алгебраическая сумма по всем  $k$  ветвям узла);
- 2-й закон Кирхгофа для любого контура схемы замещения цепи:  
(алгебраические суммы по всем  $l$  ветвям контура)/

Мощности источников и пассивных участков цепи также представляются в комплексной форме:

-

где  $\bar{P}$  - полная комплексная мощность;

-

- сопряженное комплексное действующее значение тока

$\bar{I}$ .

В цепи синусоидального тока выполняется баланс комплексных, активных и реактивных мощностей источников и потребителей:

— —

## 2. Содержание и порядок выполнения работы

В лабораторной работе используется источник синусоидального напряжения из модуля ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР.

Измерения выполняются компьютерным измерительным комплексом (смотри п. 1.4 введения). Ввод данных в компьютер выполняет модуль **ВВОД-ВЫВОД**. Входы **1** и **5** при их совместном использовании измеряют активную мощность  $P$  и угол сдвига фаз  $\varphi$  между мгновенными значениями напряжения  $u$  и тока  $i_l$ . При емкостном характере цепи в окне ср на экране монитора появляется величина угла  $0...-90^0$ .

Пассивные элементы электрической схемы выбирают из блоков **МОДУЛЬ РЕЗИСТОРОВ** и **РЕАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ**.

Частоту  $f$  и параметры пассивных элементов задает преподаватель. Рекомендуемые значения представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1

$f = 50$ Гц		$f = 100$ Гц		$f = 150$ Гц		$f = 200$ Гц		$f = 250$ Гц	
L, мГн	C, мкФ	L, мГн	C, мкФ	L, мГн	C, мкФ	L, мГн	C, мкФ	L, мГн	C, мкФ
30	47	40	68	40	47	40	33	40	10
90	82	60	56	30	33	40	10	80	10
20	68	50	22	40	22	50	22	40	22

Лабораторная работа состоит из двух частей. В первой части выполняют измерения для расчета и построения векторных диаграмм напряжения и тока разветвленной цепи синусоидального тока.

Во второй части выполняют опыты для расчета комплексных сопротивлений участков исследуемой цепи. Полученные данные используют для расчета цепи комплексным методом. Результаты расчета сравнивают с данными, полученными в первой части работы.

- Собрать электрическую цепь по схеме, приведенной на рисунке 1П протокола измерений. Резистор  $R = 10$  Ом.
- Проверить собранную электрическую цепь в присутствии преподавателя.
- Заданные преподавателем величины пассивных элементов установить в блоке **МОДУЛЬ РЕАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**. Их величины записать в протокол измерений.

Запустить информационно-измерительный комплекс *DeltaProfi*. Для этого:

- Включить компьютер, дождаться окончания загрузки *Windows*.
- Запустить программу *DeltaProfi*. Появится окно программы.
- Выбрать работу «Работа №4 — Исследование цепи синусоидального тока» в меню «Работы» или нажав кнопку «Выбор работы...». На экране появится схема лабораторной работы.
- Запустить программу в работу нажатием кнопки «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.
- Включить автоматический выключатель QF блока **МОДУЛЬ ПИТА-**

**НИЯ** и тумблеры **Сеть** модулей **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР** и **ВВОД-ВЫВОД**. Переключатель **Форма** установить в положение  $\sim$ .

#### **Первая часть работы**

- Регулятором **Частота** модуля **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР**, получить заданное преподавателем значения частоты  $f$ . Регулятором **Амплитуда** установить действующее значение напряжения  $u$  на выходе модуля 7-8 В. Записать величины напряжения и частоты в таблицу 1П протокола измерений.

- Измерить действующее значение напряжений  $u_1, u_2$ ; токов  $i_1, i_2$  и  $i_3$ ; активную мощность  $P$ , потребляемую цепью; угол  $\varphi$  между напряжением и током на входе цепи. Измеренные величины занести в таблицу 1П.

- Выполнить предварительные расчеты, указанные в протоколе измерений.

#### **Вторая часть работы**

- Регулятором **Амплитуда** уменьшить до нуля напряжение на выходе модуля **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР**.

- Закоротить перемычкой участок с напряжением  $u_2$ .

- Регулятором **Амплитуда** модуля **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР** установить действующее значение напряжения  $u$  на выходе модуля 3-4 В. Записать в таблицу 2П результаты измерения  $U, I, \varphi$ .

- Убрать перемычку.

- Регулятором **Амплитуда** уменьшить до нуля напряжение на выходе модуля **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР**.

- Закоротить перемычкой участок с напряжением  $u_1$ .

- Регулятором **Амплитуда** модуля **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР** установить действующее значение напряжения и на выходе модуля 3-4 В. Записать в таблицу 2П результаты измерения  $U, I, \varphi$ .

- Разомкнуть ветвь с током  $I_3$  ( $I_3 = 0$ ). Записать в таблицу 2П протокола результаты измерения  $U, I, \varphi$ .

- Восстановить цепь тока  $I_3$ .
  - Разомкнуть ветвь с током  $I_2$  ( $I_2 = 0$ ). Записать в таблицу 2П результаты измерения  $U, I, \varphi$ .
  - Выполнить предварительные расчеты, указанные в протоколе измерений.
  - Протокол измерений утвердить у преподавателя.
  - Выключить тумблеры **Сеть** модуля **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР** и **ВВОД - ВЫВОД**.
  - Выключить автоматический выключатель QF модуля питания.
- Окончить работу программы *DeltaProfi*. Для этого:
- Остановить программу, нажатием кнопки «*Стоп*» или командой главного меню «*Управление — Стоп*» или горячей клавишей F6.
  - *Закреть программу.*

#### Протокол измерений к лабораторной работе № 4

##### «Исследование цепи синусоидального тока»

Схема исследуемой электрической цепи представлена на рисунке 1П.

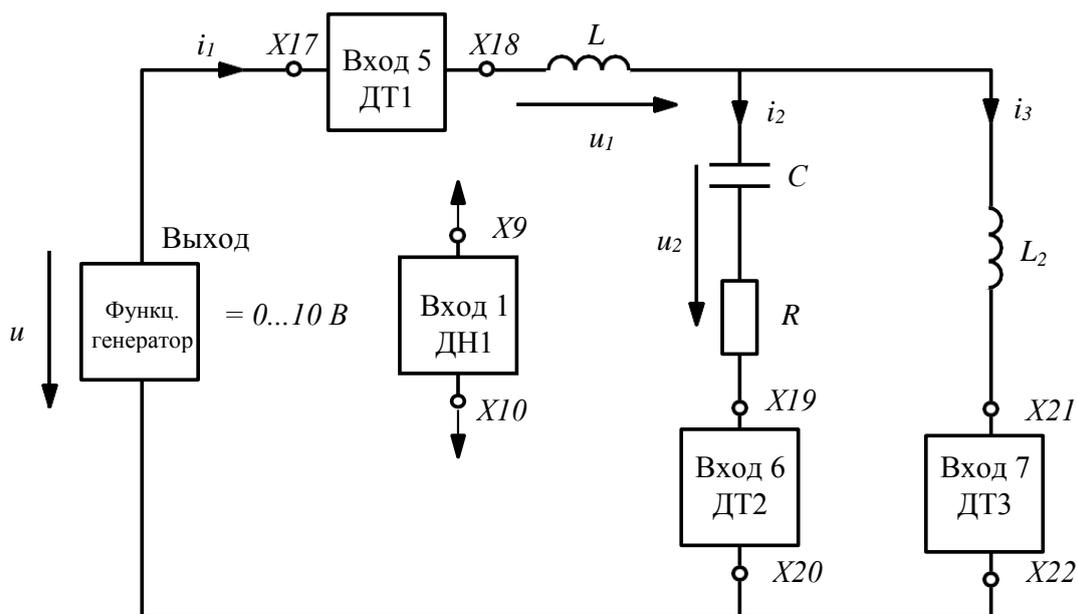


Рис. 1П

Заданные параметры:

- напряжение  $U =$  В;
- частота  $f =$  Гц;
- резистор  $R = 10$  Ом;
- индуктивность катушки  $L =$  мГн;
- емкость конденсатора  $C =$  мкФ.

### Первая часть работы

Результаты измерений представлены в таблице 1П.

Таблица 1П

$U, В$	$U_1, В$	$U_2, В$	$I_1, мА$	$I_1, мА$	$I_1, мА$	$\varphi, \text{град}$	$P, Вт$

### Предварительные расчеты

Активная мощность, потребляемая цепью:

$$P = U \cdot I_1 \cdot \cos\varphi = \quad = \quad \text{Вт.}$$

Измеренная активная мощность из таблицы 1П:  $P =$  Вт.

По данным таблицы 1П полное сопротивление:

- цепи  $= \quad - \quad =$  Ом;
- участка 1 с напряжением  $U_1$ :  $= \quad =$  Ом;
- участка 2 с напряжением  $U_2$ :  $= \quad =$  Ом;
- ветви с током  $I_2$ :  $= \quad =$  Ом;
- ветви с током  $I_3$ :  $= \quad =$  Ом.

### Вторая часть работы

Результаты измерений представлены в таблице 2П.

Таблица 2П

Участок 1 ( $U_2 = 0$ )			Участок 2 ( $U_1 = 0$ )			Ветвь $I_2$ ( $I_3 = 0$ )			Ветвь $I_3$ ( $I_2 = 0$ )		
$U, В$	$I, мА$	$\varphi, \text{град}$	$U, В$	$I, мА$	$\varphi, \text{град}$	$U, В$	$I, мА$	$\varphi, \text{град}$	$U, В$	$I, мА$	$\varphi, \text{град}$

Предварительные расчеты.

По данным табл. 2П комплексные сопротивления:

• участка 1:  $\underline{\underline{\quad}} = \underline{\quad} = \underline{\quad} \text{ Ом};$

• участка 2:  $\underline{\underline{\quad}} = \underline{\quad} = \underline{\quad} \text{ Ом};$

• ветви с током  $I_2$ :  $\underline{\underline{\quad}} = \underline{\quad} = \underline{\quad} \text{ Ом};$

• ветви с током  $I_3$ :  $\underline{\underline{\quad}} = \underline{\quad} = \underline{\quad} \text{ Ом}.$

Сравните с результатами, полученными в части 1 работы.

Работу выполнили: \_\_\_\_\_

Работу проверил: \_\_\_\_\_

### 3. Содержание отчета

1. Нарисовать схему замещения исследуемой электрической цепи, указать величины параметров цепи.

2. По результатам измерений (таблица 1П протокола) построить в масштабах векторные диаграммы напряжения и тока.

3. Рассчитать токи и напряжения методом преобразований. При расчете из протокола наблюдений взять входное напряжение и комплексные сопротивления ветвей. Все расчеты проводить в комплексной форме. Сравнить результаты расчета с экспериментальными данными (таблица 1П).

4. Для исследуемой цепи записать в комплексной форме уравнения по законам Кирхгофа. Используя результаты, полученные в п. 3, проверить численно выполнение этих уравнений.

5. Записать уравнения баланса активных и реактивных мощностей. Проверить выполнение баланса, используя результаты, полученные в п. 3

### 4. Контрольные вопросы

1. Принцип построения векторных диаграмм тока и напряжения.

2. В чем заключается метод преобразований?
3. Какой вид имеет комплексное мгновенное значения для величин: сопротивление, проводимость, ток?
4. Дайте понятие действующего, амплитудного и среднего значений синусоидальной величины.
5. Каково соотношение действующего, амплитудного и среднего значений синусоидальной величины?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА С ИНДУКТИВНО СВЯЗАННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

*Цель работы:* экспериментальное исследование цепи синусоидального тока, содержащей участки с индуктивно связанными элементами.

#### 1. Общие сведения

На рисунке 5.1 показан контур 1 с электрическим током. Магнитный поток, создаваемый этим током и сцепленный с этим контуром, называется потоком самоиндукции  $\Phi_{1L}$ .

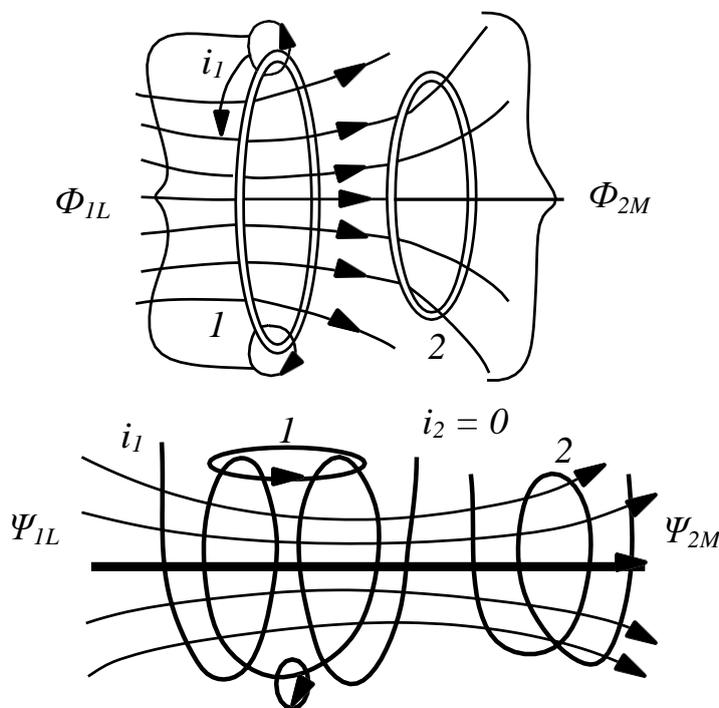


Рис. 5.1

Расчетная величина потокосцепление самоиндукции контура 1 или неразветвленной электрической цепи обозначается  $\psi_{1L}$ . В линейной электрической цепи потокосцепление  $\psi_{1L} = L_1 i_1$ , где  $L_1$  - собственная индуктивность или просто индуктивность контура 1.

При протекании переменного тока в окружающем контур или электри-

ческую цепь пространстве создается переменный магнитный поток. В контуре индуцируется э. д. с. самоиндукции, а на зажимах цепи возникает напряжение самоиндукции:



Если часть магнитного потока индуктивности  $L_1$  сцепляется с витками контура 2, в нем возникает магнитный поток взаимной индукции  $\Phi_{2M}$ . В линейной электрической цепи потокосцепление взаимной индукции определяется выражением  $\Psi_{2M} = M_{21} i_1$ , где  $M_{21}$  - взаимная индуктивность контуров 1 и 2.

При изменении магнитного потока взаимной индукции во втором контуре возникает э. д. с. взаимоиндукции. Напряжение взаимоиндукции:



Напряжение на индуктивно связанных элементах электрической цепи определяются составляющими напряжений само- и взаимоиндукции. Если собственная индуктивность контура 2  $L_2$ , а напряжения на их зажимах  $u_1$  и  $u_2$ , то в установившемся режиме в комплексной форме записи получаем:

Для последовательного согласного включения индуктивно связанных катушек (рис. 5.2) при  $i_1 = i_2 = i$  можно записать

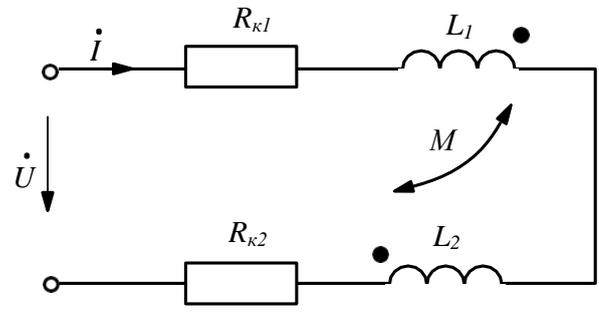


Рис. 5.2

Комплексное эквивалентное сопротивление цепи

— —

Эквивалентное активное и реактивное сопротивления цепи:

Для последовательного встречного включения катушек

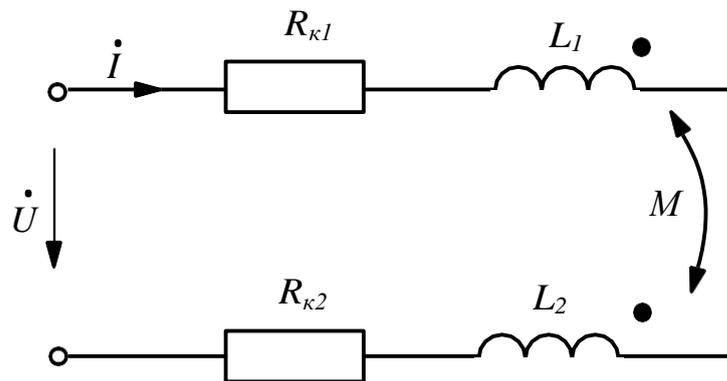


Рис. 5.3

Комплексное эквивалентное сопротивление цепи

—

Эквивалентное активное и реактивное сопротивления цепи:

Поскольку

больше , то полное сопротивление

\_\_\_\_\_

больше

\_\_\_\_\_

.

Это позволяет экспериментально определить одноименные зажимы индуктивно связанных катушек.

## 2. Содержание и порядок выполнения работы

В лабораторной работе используется источник синусоидального напря-

жения из модуля **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР**.

Измерения выполняются компьютерным измерительным комплексом (смотри п. 1.4 введения). Ввод данных в компьютер выполняет модуль **ВВОД-ВЫВОД**. Входы **1** и **5** при их совместном использовании измеряют угол сдвига фаз  $\varphi$  между мгновенными значениями синусоидальных напряжения  $u_1$ , и тока  $i_1$ . При емкостном характере цепи в окне  $\varphi$  на экране монитора появляется величина угла  $0...-90^0$ .

Пассивные элементы электрической схемы выбирают из блоков **МОДУЛЬ РЕЗИСТОРОВ** и **РЕАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ**.

#### **Определение параметров индуктивно связанных катушек**

- Собрать электрическую цепь по схеме, приведенной на рисунке 1П протокола измерений.
- Проверить собранную электрическую цепь в присутствии преподавателя.

Запустить информационно-измерительный комплекс *DeltaProfi*. Для этого:

- Включить компьютер, дождаться окончания загрузки *Windows*.
- Запустить программу *DeltaProfi*. Появится окно программы.
- Выбрать работу «Работа №5 - Исследование цепи синусоидального тока с индуктивно связанными элементами - Определение параметров индуктивно связанных катушек» в меню «Работы» или нажав кнопку «Выбор работы...». На экране появится схема лабораторной работы.

• Запустить программу в работу, нажатием кнопки «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.

• Включить автоматический выключатель QF блока **МОДУЛЬ ПИТАНИЯ** и тумблеры **Сеть** модулей **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР** и **ВВОД-ВЫВОД**. Переключатель **Форма** установить в положение  $\sim$ . Установить регулятором **Частота** значение частоты  $f = 100 \dots 200$  Гц. Частоту  $f$  записать в протокол.

- Регулятором **Амплитуда** модуля **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР** установить действующее значение напряжения  $u_1$  6-7 В.

- Выполнить компьютерным измерительным комплексом измерения действующих значений напряжений  $u_1$  и  $u_2$ , тока  $i_1$ , и угла сдвига фаз  $\varphi$ . Все измеренные величины занести в таблицу 1П.

- Повторить измерения, поменяв местами индуктивности  $L_1$  и  $L_2$ . Измеренные величины занести в таблицу 1П.

- Выключить тумблер **Сеть** модуля **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР**.

- Выполнить указанные в протоколе измерений расчеты.

**Последовательное соединение индуктивно связанных катушек**

- Собрать электрическую цепь по схеме, приведенной на рисунке 2П.

- Выбрать работу *«Работа №5 - Исследование цепи синусоидального тока с индуктивно связанными элементами - Последовательное соединение индуктивно связанных катушек»* в меню *«Работы»* или нажав кнопку *«Выбор работы...»*. На экране появится схема лабораторной работы.

- Включить тумблер **Сеть** модуля **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР**.

- Экспериментально определить одноименные зажимы катушек.

- Соединить катушки последовательно согласно. Регулятором **Амплитуда** модуля **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР**, установить напряжение  $U = 7$  В.

- Выполнить компьютерным измерительным комплексом измерения действующих значений напряжений  $u$ ,  $u_1$  и  $u_2$ , тока  $i$  и угла сдвига фаз  $\varphi$ . Измеренные величины занести в таблицу 2П.

- Соединить катушки последовательно встречно. Выполнить измерения предыдущего пункта. Измеренные величины занести в таблицу 2П.

- Выключить тумблер **Сеть** модуля **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР**.

### Параллельное соединение индуктивно связанных катушек

- Собрать электрическую цепь по схеме, приведенной на рисунке 3П.
  - Соединить катушки согласно (одноименные зажимы подключены к узлу).
  - Выбрать работу *«Работа №5 - Исследование цепи синусоидального тока с индуктивно связанными элементами - Параллельное соединение индуктивно связанных катушек»* в меню *«Работы»* или нажав кнопку *«Выбор работы»*. На экране появится схема лабораторной работы.
    - Включить тумблер **Сеть** модуля **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР**. Регулятором **Амплитуда** установить на выходе модуля напряжение  $U = 6 - 7$  В.
    - Выполнить измерения компьютерным измерительным комплексом. Измеренные величины занести в таблицу 3П.
    - Соединить катушки встречно. Выполнить измерения предыдущего пункта. Измеренные величины занести в таблицу 3П.
    - Выключить тумблеры **Сеть** модулей **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР** и **ВВОД- ВЫВОД**.
    - Выключить автоматический выключатель QF модуля питания.
    - Протокол измерений утвердить у преподавателя.
- Окончить работу программы *DeltaProfi*. Для этого:
- Остановить программу нажатием кнопки *«Стоп»* или командой главного меню *«Управление - Стоп»* или горячей клавишей F6.
  - Закрыть программу.

### Протокол измерений к лабораторной работе № 5

#### «Исследование цепи синусоидального тока с индуктивно связанными элементами»

#### Определение параметров индуктивно связанных катушек

Схема исследуемой электрической цепи представлена на рисунке 1П.

Частота  $f =$  Гц.

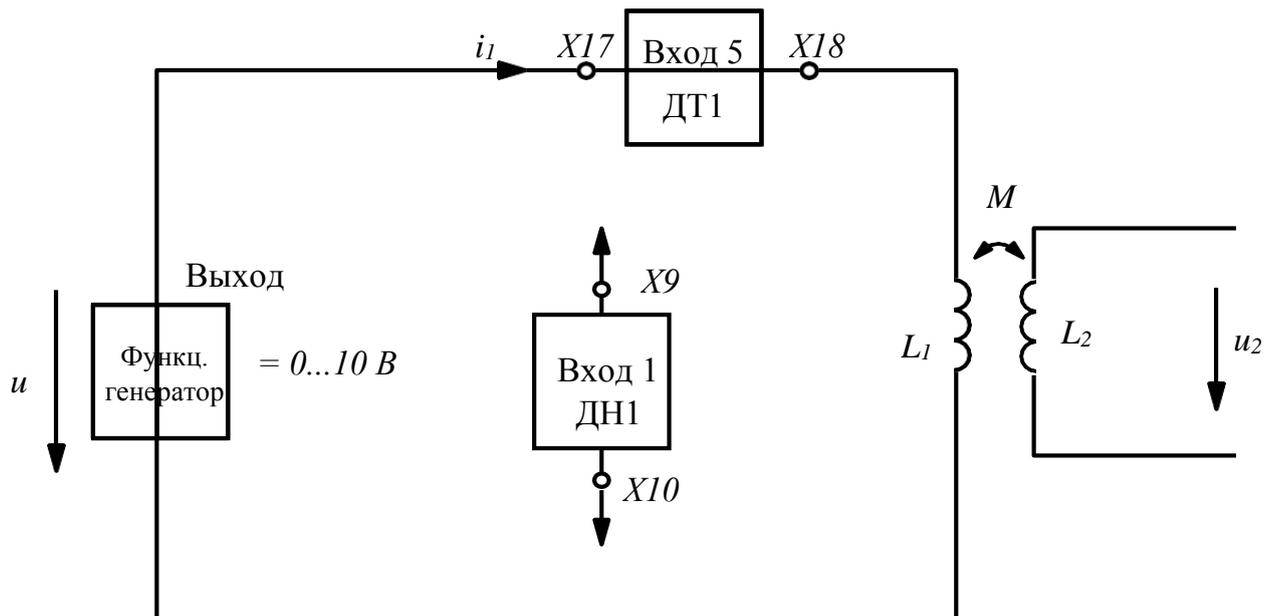


Рис. 1П

Экспериментальные данные представлены в таблице 1П.

Таблица 1П

К выходу генератора подключена катушка $L_1$				К выходу генератора подключена катушка $L_2$			
$U_1, В$	$I_1, мА$	$\varphi_1, град$	$U_2, В$	$U_1, В$	$I_1, мА$	$\varphi_1, град$	$U_2, В$

Предварительные расчеты параметров катушек

К выходу генератора подключена катушка $L_1$	
— Ом	Ом
Ом	— Ом
К выходу генератора подключена катушка $L_2$	
— Ом	Ом
Ом	— Ом

## Последовательное соединение катушек

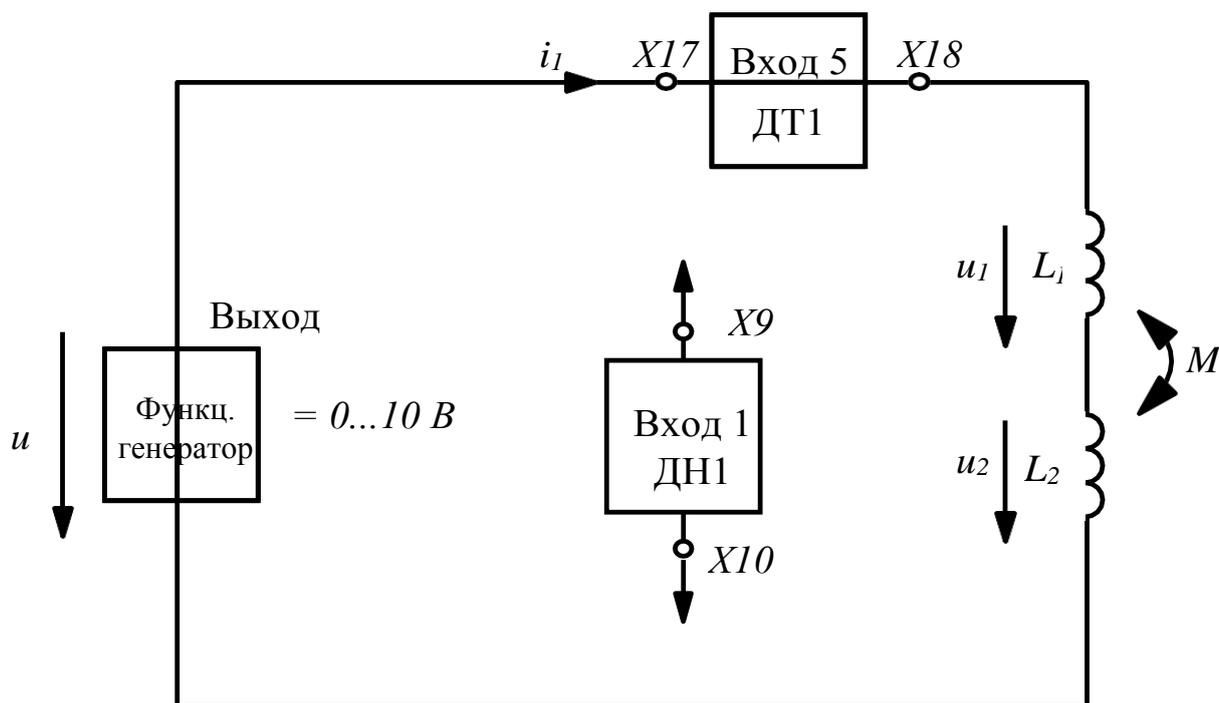


Рис. 2П

Таблица 2П

Согласное соединение катушек					Встречное соединение катушек				
$U, В$	$I, мА$	$U_1, В$	$U_2, В$	$\varphi, град$	$U, В$	$I, мА$	$U_1, В$	$U_2, В$	$\varphi, град$
— Ом					— Ом				

Параллельное соединение индуктивно связанных катушек.

Таблица 3П

Согласное соединение катушек					Встречное соединение катушек				
$U, В$	$I_1, мА$	$I_2, мА$	$I_3, мА$	$\varphi, град$	$U, В$	$I_1, мА$	$I_2, мА$	$I_3, мА$	$\varphi, град$

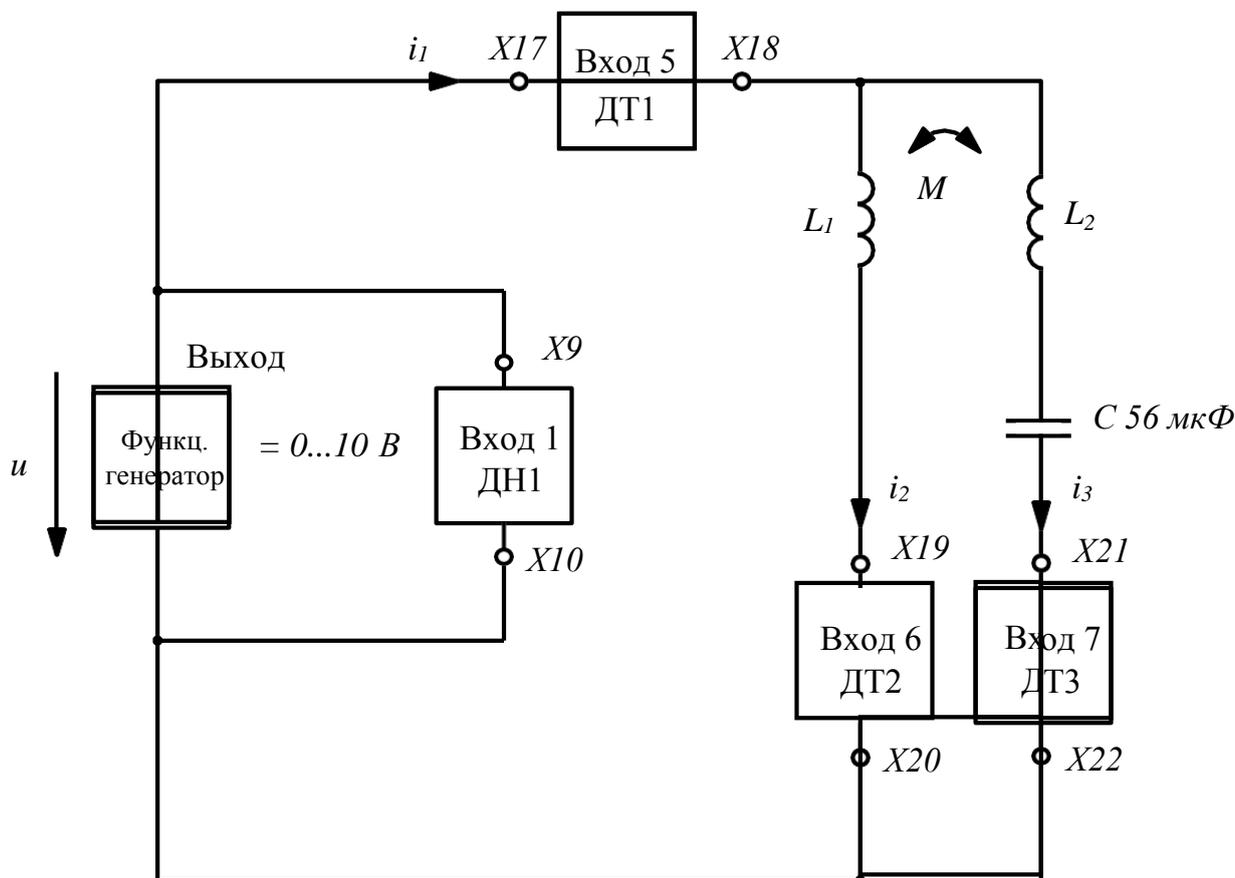


Рис. 3П

Работу выполнили: \_\_\_\_\_

Работу проверил: \_\_\_\_\_

### 3. Содержание отчета

1. Нарисовать схему электрической цепи для определения параметров  $R_k$ ,  $X_L$ ,  $X_M$  индуктивно связанных катушек. По экспериментальным данным (таблица 1П протокола измерений) рассчитать параметры катушек.

2. Нарисовать схему последовательного соединения катушек. По данным п. 1 и действующему значению тока из таблицы 2П рассчитать действующие значения напряжений  $U_{Rk}$ ,  $U_x$ ,  $U_M$ ,  $U_1$  и  $U_2$ . Расчет выполнить отдельно для согласного и встречного включения катушек. Построить в масштабах векторные диаграммы тока и напряжения для каждого из исследуемых режимов

3. Нарисовать схему параллельного соединения катушек. По данным п. 1 и действующим значениям токов из таблицы 3П рассчитать напряжения на

всех участках цепи. Расчет выполнить отдельно для согласного и для встречного включения катушек.

4. Построить в масштабах векторные диаграммы тока и напряжения для каждого из исследуемых режимов.

#### **4. Контрольные вопросы**

1. Дайте определение величине потока самоиндукции.
2. Как создается переменный магнитный поток?
3. За счет чего в контуре с электрическим током возникает напряжение самоиндукции?
4. За счет чего в контуре с электрическим током возникает напряжение взаимной индукции?
5. В чем состоит особенность расчета цепей с согласным и встречным включением магнитно связанных катушек?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

### ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСА В ЦЕПИ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО СОЕДИНЕННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ $R, L, C$

*Цель работы:* исследование резонансных явлений и частотных характеристик электрической цепи, содержащей элементы  $R, L, C$ .

#### 1. Общие сведения

Резонансом называется явление совпадения начальных фаз мгновенных значений синусоидального напряжения и тока на участке электрической цепи, содержащем элементы  $R, L, C$ .

В состоянии резонанса угол сдвига фаз  $\varphi = \psi_u - \psi_i = 0$ . Имеют место следующие выражения:

— — —  
— — —

В линейной электрической цепи режим резонанса можно получить путем изменения частоты  $f$  питающего напряжения  $u(t)$  или величин параметров элементов  $R, L, C$ . В работе исследуют контур с последовательным соединением участков  $R, L$  и  $C$  (рис. 6.1).

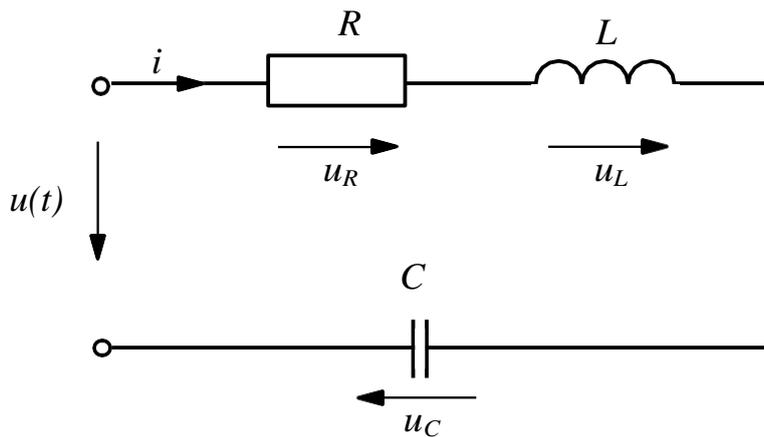


Рис. 6.1

На частоте резонанса  $\omega_0$  эквивалентное реактивное сопротивление

откуда

Величина  $\omega_0 L = 1/\omega_0 C$  имеет размерность сопротивления и название *волнового (характеристического) сопротивления* контура. Резонансные свойства контура характеризует добротность

При резонансе напряжение на входе контура  $U = U_{R0}$ . Добротность  $Q$  показывает, во сколько раз напряжения на реактивных элементах  $U_{L0} = U_{C0}$  отличается от напряжения  $U$ . Такой резонанс называют *резонансом напряжений*.

Ток при резонансе достигает наибольшего значения

Зависимости  $X_L(f)$ ;  $X_C(f)$ ;  $X(f) = X_L(f) - X_C(f)$ ;

называются частотными характеристиками цепи (контура).

Зависимость  $\varphi(f) = \arctg(X(f)/R)$  называется *фазочастотной характеристикой* цепи (контура).

Зависимости от частоты действующих значений тока  $I(f)$  и напряжений  $U_R(f)$ ,  $U_L(f)$ ,  $U_C(f)$  называются *амплитудно-частными характеристиками* (АЧХ).

Диапазон частот, при которых выполняется отношение

называется *полосой пропускания*. Записанное выше отношение выполняется точно на частотах  $f_1$  и  $f_2$ , где  $|X(f)| = R$ . На частоте  $f_1$  меньше  $f_0$  угол сдвига фаз  $\varphi(f_1) = -45^\circ$ , на частоте  $f_2$  больше  $f_0$   $\varphi(f_2) = +45^\circ$ . Частоты  $f_1$  и  $f_2$  называются нижней и верхней граничной частотой полосы пропускания. Выполнение условий  $\varphi(f_1) = -45^\circ$  и  $\varphi(f_2) = +45^\circ$  позволяют экспериментально определить граничные

частоты, поэтому полосу пропускания можно определить по фазочастотной характеристике.

Значения граничных частот определяются выражением

$$\text{---} \quad \text{---}$$

Избирательные частотные свойства контура характеризуются полосой пропускания

## 2. Содержание и порядок выполнения работы

Схема исследуемой цепи представлена на рисунке 1П. Источником синусоидального напряжения является модуль **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР**. Измерения выполняются компьютерным измерительным комплексом (смотри п 1.4 введения). Ввод данных в компьютер выполняет модуль **ВВОД-ВЫВОД**. Входы **1** и **5** при их совместном использовании измеряют активную мощность  $P$  и угол сдвига фаз  $\varphi$  между мгновенными значениями напряжения  $u$  и тока  $i_1$ . При емкостном характере цепи в окне  $\varphi$  на экране монитора появляется величина угла  $0.. -90^\circ$ .

Пассивные элементы электрической схемы выбирают из блоков **МОДУЛЬ РЕЗИСТОРОВ** и **РЕАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ**. Рекомендуемые величины индуктивности катушки и емкости конденсатора представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1

$L$ , мГн	20	30	40	50	60	70	80
$C$ , мкФ	10	6,8; 10	4,7; 6,8	4,7; 6,8	3,3; 4,7	3,3	3,3

Собрать электрическую цепь по схеме рис. 1П протокола измерений.

- Проверить собранную электрическую цепь в присутствии преподавателя.
- Установить заданные преподавателем величины индуктивности  $L$  катушки и емкости  $C$  конденсатора. Измерить мультиметром активное сопротивление

ление  $R_K$  катушки. Записать эти значения в протокол измерений.

- Выполнить предварительные расчеты, указанные в протоколе измерений.

- Включить автоматический выключатель QF блока **МОДУЛЬ ПИТАНИЯ** и тумблеры **Сеть** модулей **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР** и **ВВОД-ВЫВОД**. Переключатель **Форма** установить в положение  $\sim$ .

Запустить информационно-измерительный комплекс *DeltaProfi*. Для этого:

- Включить компьютер, дождаться окончания загрузки *Windows*.

- Запустить программу *DeltaProfi*. Появится окно программы.

- Выбрать работу «Работа №6 - Исследование резонанса в цепи с последовательно соединенными элементами  $R, L, C$ » в меню «Работы» или нажав кнопку «Выбор работы...» На экране появится схема лабораторной работы.

- Запустить программу в работу, нажатием кнопки «Пуск» или командой главного меню «Управление — Пуск» или горячей клавишей F5.

- Регулятором **Амплитуда** установить величину действующего значения напряжения  $U = 5...7$  В. Напряжение  $U$  поддерживать в работе неизменным.

- Регулятором **Частота** установить на выходе модуля **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР** частоту  $f_0$ . Убедиться, что угол  $\varphi \cong 0$ .

- Измерить на частоте  $f_0$  действующие значения тока  $i$ ; напряжений  $u$ ,  $u_K$ ,  $u_C$ ; активную мощность  $P$  и угол  $\varphi$ . Измеренные значения занести в таблицу 1П.

- Уменьшая частоту, определить частоту  $f_1$  - нижнюю граничную частоту полосы пропускания.

- Измерить на частоте  $f_1$  действующее значение тока  $i$ ; напряжений  $u$ ,  $u_K$ ,  $u_C$ ; активную мощность  $P$  и угол  $\varphi$ . Измеренные значения занести в таблицу 1П.

- Увеличивая частоту, определить частоту  $f_2$  - верхнюю граничную частоту полосы пропускания.

- Измерить на частоте  $f_2$  действующее значение тока  $i$ ; напряжений  $u$ ,  $u_R$ ,  $u_C$ ; активную мощность  $P$  и угол  $\varphi$ . Измеренные значения занести в таблицу 1П.

- Изменяя частоту, выполнить измерения для  $f > f_0$  и  $f < f_0$ . Измеренные значения занести в таблицу 1П.

- Выполнить предварительные расчеты, указанные в протоколе измерений.

- Протокол измерений утвердить у преподавателя.

- Выключить тумблеры **Сеть** модулей **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР** и **ВВОД- ВЫВОД**.

- Выключить автоматический выключатель QF модуля питания.

- Протокол измерений утвердить у преподавателя.

Окончить работу программы *DeltaProfi*. Для этого:

- Остановить программу, нажатием кнопки «*Stop*» или командой главного меню «*Управление - Stop*» или горячей клавишей F6.

- *Закреть программу.*

### Протокол измерений к лабораторной работе № 6

#### «Исследование резонанса в цепи с последовательно соединенными элементами R, L, C»

Схема исследуемой электрической цепи представлена на рис. 1П.

Параметры цепи:  $L =$  мГн;  $C =$  мкФ;  $R_k =$  Ом.

Предварительные расчеты:





Сравнение значений добротности:

Входное сопротивление цепи: в резонансе  $Z_0 = \quad = \quad \text{Ом};$   
на частоте  $f_1$   $Z_1 = \quad = \quad \text{Ом};$  на частоте  $f_2$   $Z_2 = \quad = \quad \text{Ом}.$

Работу выполнил: \_\_\_\_\_

Работу проверил: \_\_\_\_\_

### 3. Содержание отчета

1. Нарисовать схему замещения исследуемой электрической цепи, указать величины параметров  $R_K$ ,  $L$ ,  $C$ . Записать рассчитанные в протоколе измерений значения частоты  $f_0$ , волнового сопротивления  $\rho$ , добротности  $Q$  и полосы пропускания  $\Delta f$ .

2. По данным таблицы 1П в относительных единицах частоты — рассчитать и построить графики амплитудно-частотных характеристик (АЧХ):  $U_R(\nu)/U = R_K I(\nu)/U$ ;  $U_L(\nu)/U$ ;  $U_C(\nu)/U$ . Результаты расчета представить в таблице. Из графиков АЧХ определить добротность  $Q$ , граничные частоты  $f_1$ ,  $f_2$  и полосу пропускания.

3. Рассчитать в относительных единицах частоты  $\nu$  зависимости:  $P(\nu)/P_0$ ,  $Q(\nu)/P_0$ ,  $S(\nu)/P_0$ . Результаты расчета представить в таблице. Построить графики. По данным таблицы 1П построить фазочастотную характеристику  $\varphi(\nu)$ . Из графиков определить добротность  $Q$ , граничные частоты и полосу пропускания.

4. По данным таблицы 1П протокола рассчитать частотные характеристики:  $Z(f) = U/I(f)$ ;  $X_L(f) = U_L(f)/I(f)$ ;  $X_C(f) = U_C(f)/I(f)$ ;  $R(f) = R_K$ ;  $X(f) = X_L(f) - X_C(f)$ ;  $\varphi(f) = \arctg(X(f)/R)$ . Результаты расчета характеристик  $Z(f)/R_K$ ;  $R(f)/R_K$ ,  $X(f)/R_K$  в относительных единицах частоты  $\nu$  представить в таблице. Построить их графики от относительной частоты  $\nu$ . Из графиков определить на граничных частотах  $f_1$  и  $f_2$  отношения:  $Z(f_1)/R$ ;  $|X(f_1)|/R$  и  $Z(f_2)/R$ ;  $|X(f_2)|/R$ .

5. Построить векторные диаграммы тока и напряжения цепи для значений частоты  $f_1, f_0, f_2$ .

#### 4. Контрольные вопросы

1. Дайте определение явлению резонанса синусоидального напряжения и тока на участке электрической цепи. Как можно получить режим резонанса ?
2. Фазочастотная характеристика цепи (контура) – это .....?.
3. Чем характеризуется величина волнового (характеристического) сопротивления контура?
4. Дайте определение: амплитудно-частная характеристика (АЧХ); полоса пропускания.
5. Дайте оценку воздействия резонансных явлений на работу электрооборудования и электрических сетей.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

### РЕЗОНАНСНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕПИ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО СОЕДИНЕННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ R, L, C

*Цель работы:* исследование резонансных явлений и резонансных характеристик электрической цепи, содержащей элементы R, L, C.

#### 1. Общие сведения

В работе исследуются резонансные характеристики в цепи по схеме рисунка 7.1. Резонансными характеристиками называют зависимости от величины емкости C действующих значений тока

и напряжений:  $U_R(C) = R I(C)$ ;  $U_L(C) = \omega L I(C)$ ;

Также к резонансным характеристикам относятся зависимости активной

$P(C) = R I^2(C)$ , реактивной  $Q(C) = \omega L I(C)^2 - \frac{1}{\omega C} I(C)^2$ , полной  $S(C) = UI(C)$

мощностей и угла сдвига фаз

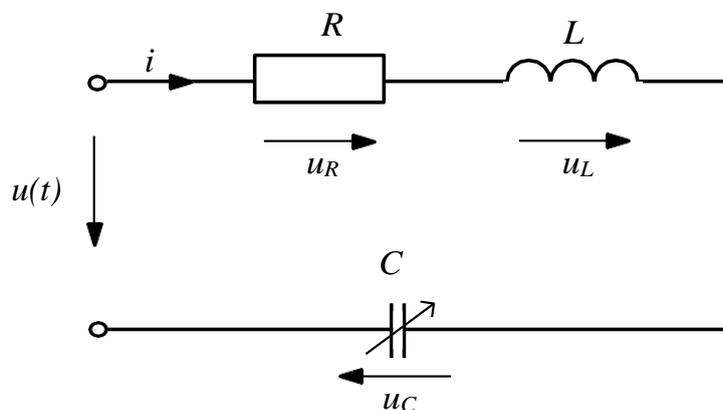


Рис. 7.1

При резонансе эквивалентное реактивное сопротивление:

Тогда резонансная емкость

Напряжение на входе цепи  $U = I(C_0)R = U_{R0}$ , ток  $I(C_0) = I_0 = U/R$ . В цепи имеет место резонанс напряжений  $U_L(C_0) = U_C(C_0)$ . Отношение

определяет добротность контура.

## 2. Содержание и порядок выполнения работы

Схема исследуемой цепи представлена на рисунке 1П. Источником синусоидального напряжения является модуль **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР**. Измерения выполняются компьютерным измерительным комплексом (смотри п. 1.4 введения). Ввод данных в компьютер выполняет модуль **ВВОД-ВЫВОД**. Входы **1** и **5** при их совместном использовании измеряют активную мощность  $P$  и угол сдвига фаз  $\varphi$  между мгновенными значениями напряжения и тока  $i$ . При емкостном характере цепи в окне  $\varphi$  на экране монитора появляется величина угла  $0...-90^\circ$ .

Пассивные элементы электрической схемы выбирают из блоков **МОДУЛЬ РЕЗИСТОРОВ** и **РЕАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ**. Активное сопротивление  $R_K$  катушки измеряют мультиметром.

Опыты на частоте  $f = 150$  Гц выполняют с катушкой индуктивности  $L = 50$  мГн; на частоте  $f = 200$  Гц –  $L = 20$  или  $30$  мГн; на частоте  $f = 250$  Гц  $L = 20$  мГн.

- Собрать электрическую цепь по схеме, приведенной на рисунке 1П протокола измерений. Тумблер SA2 модуля **ИЗМЕРИТЕЛЬ ФАЗЫ** устано-

вить в положение I2.

- Проверить собранную электрическую цепь в присутствии преподавателя.

- Установить в блоке **МОДУЛЬ РЕАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ** назначенную преподавателем величину индуктивности катушки  $L$ . Включить мультиметр в режим измерения сопротивления. Измерить активное сопротивление  $R_K$  катушки. Записать значение  $R_K$  в протокол измерений. Включить мультиметр в режим измерения переменного напряжения.

- Для указанной преподавателем частоты  $f$  рассчитать величину резонансной емкости  $C_0$ . Установить в блоке **МОДУЛЬ РЕАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ** величину емкости  $C$ , ближайшую к  $C_0$ .

Запустить информационно-измерительный комплекс **DeltaProfi**. Для этого:

- Включить компьютер, дождаться окончания загрузки *Windows*.
- Запустить программу **DeltaProfi**. Появится окно программы.
- Выбрать работу «Работа №7 - Резонансные характеристики цепи с последовательно соединенными элементами  $R$ ,  $L$ ,  $C$ » в меню «Работы» или нажав кнопку «Выбор работы...» На экране появится схема лабораторной работы.

- Запустить программу в работу, нажатием кнопки «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.

- Включить автоматический выключатель QF блока **МОДУЛЬ ПИТАНИЯ** и тумблеры **Сеть** модулей **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР** и **ВВОД-ВЫВОД**. Переключатель **Форма** установить в положение  $\sim$ . Регулятором **Частота** установить на выходе модуля частоту  $f$ .

- Регулятором **Амплитуда** установить величину действующего значения напряжения  $U = 5-7$  В. Напряжение  $U$  поддерживать неизменным при выполнении всех опытов.

- Убедиться, что угол  $\varphi$  примерно равен нулю. Записать значения  $L$ ,  $C$  и

$f$  протокол измерений.

- Для указанных в таблице 1П протокола измерений величин емкости  $C$  измерить действующие значения тока  $i$ , напряжений  $u_k$ ,  $u_c$ ; активную мощность  $P$  и угол  $\varphi = \psi_u - \psi_i$ . Измеренные значения занести в таблицу 1П.

- Протокол измерений утвердить у преподавателя.

- Выключить тумблеры **Сеть** модулей **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР** и **ВВОД- ВЫВОД**.

- Выключить автоматический выключатель QF модуля питания.

Окончить работу программы *DeltaProfi*. Для этого:

- Остановить программу, нажатием кнопки «*Стоп*» или командой главного меню «*Управление - Стоп*» или горячей клавишей F6.

- Закрыть программу.

### Протокол измерений к лабораторной работе № 7

#### «Резонансные характеристики цепи с последовательно соединенными элементами R, L, C»

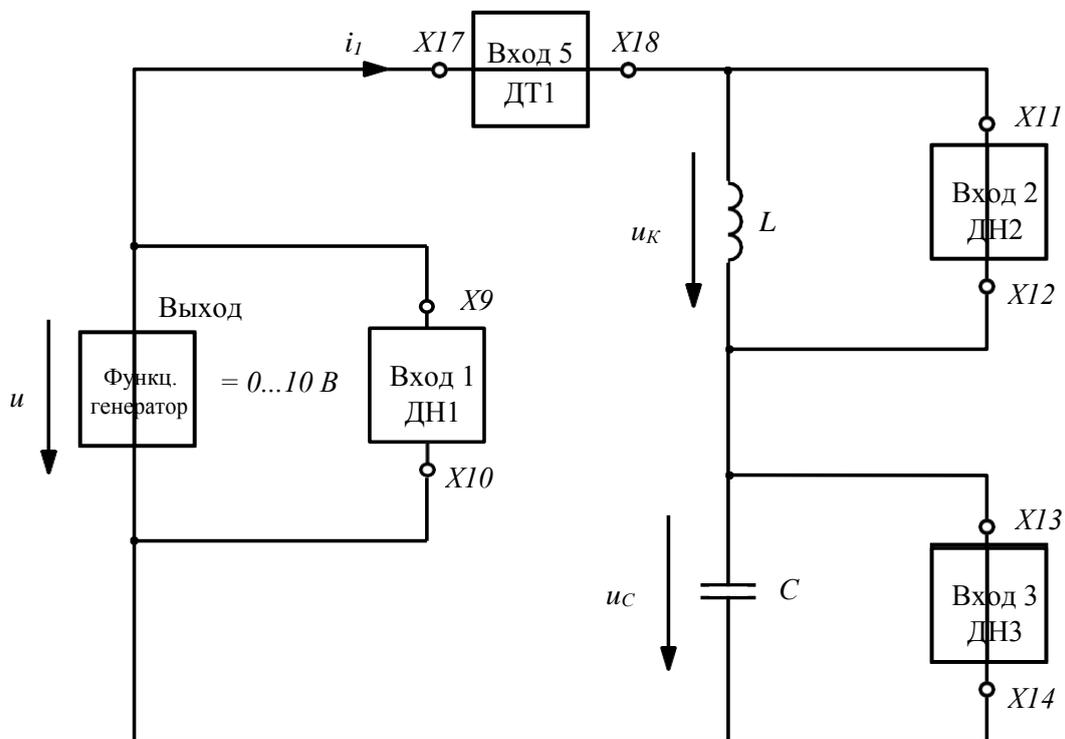


Рис. 1П

Напряжение  $U =$  В, частота  $f =$  Гц.

Параметры элементов:  $R_K =$  Ом;  $L =$  мГн;  $C =$  мФ.

Таблица 1П

$C$ , мкФ	$I$ , мА	$U_K$ , В	$U_C$ , В	$\varphi$ , град	$P$ , Вт	Примечания
3,3						Величина резонансной емкости  $C_0 =$ мкФ
4,7						
6,8						
10						
22						
33						
47						
56						
68						
82						

Предварительные расчеты выполнены при  $C = C_0$ .

$I_0 =$   $U_{K0} =$   $U_{C0} =$   $P =$

Работу выполнил: \_\_\_\_\_

Работу проверил: \_\_\_\_\_

### 3. Содержание отчета

1. Нарисовать схему замещения исследуемой электрической цепи, указать величины параметров  $R_K$ ,  $L$ ,  $C$  и частоты  $f$ .

2. По данным таблицы 1П протокола рассчитать резонансные характеристики:

\_\_\_\_\_

и

Результаты расчета записать в таблице.

3. По данным п. 2 построить зависимости  $U_R(C)$ ,  $U_L(C)$ ,  $U_C(C)$ . Зависимости рекомендуется строить на одном рисунке. По графикам определить добротность  $Q$  контура. Сравнить ее со значением, рассчитанным по параметрам цепи.

4. По данным п. 2 построить зависимости  $P(C)$ ,  $Q(C)$  и  $S(C)$ . Зависимости рекомендуется строить на одном рисунке. На этом же рисунке показать график зависимости от емкости сдвига по фазе  $\varphi(C)$  между напряжением и током.

5. Построить в масштабах векторные диаграммы тока и напряжений при резонансной емкости и емкостях 10 мкФ и 47 мкФ.

#### **4. Контрольные вопросы**

1. Что называют резонансными характеристиками?
2. Какие зависимости относятся к резонансным характеристикам?
3. Как достигается резонанс в схеме при наличии конденсатора?
4. Как определяется добротность контура?
5. Как влияет резонанс тока на работу электрооборудования?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

### ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА РЕЗОНАНСА ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ И КОНДЕНСАТОРА

*Цель работы:* исследование резонансных явлений и частотных характеристик электрической цепи, содержащей элементы  $R$ ,  $L$ ,  $C$ .

#### 1. Общие сведения

В лабораторной работе исследуются резонансные явления в цепи со схемой замещения рисунка 8.1. Резонанс достигается изменением частоты  $f$  синусоидального напряжения  $u = U_m \cdot \sin \omega t$ .

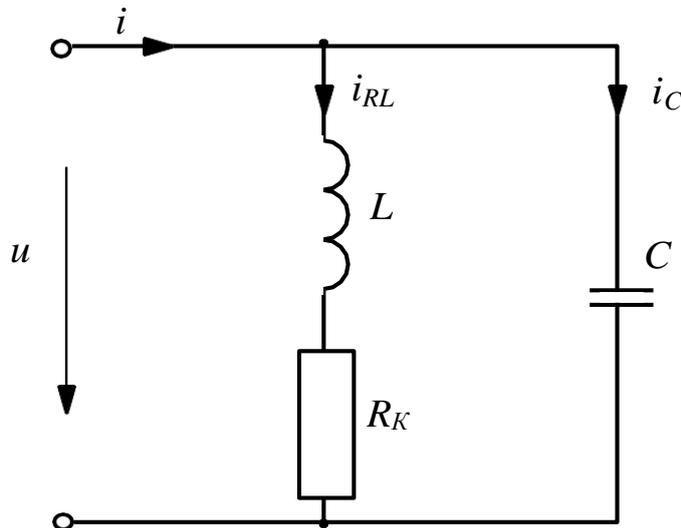


Рис. 8.1

Комплексная проводимость цепи

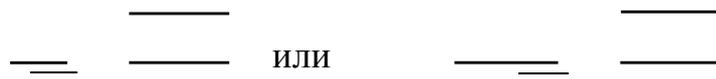
\_\_\_\_\_

На частоте резонанса  $\omega_0$  эквивалентная реактивная проводимость цепи  $B_0 = 0$ . Получаем:

или

\_\_\_\_\_ где ----- волновое сопротивление контура.

Тогда резонансная частота



При резонансе комплексная проводимость



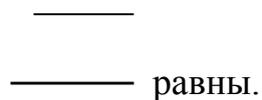
Реактивное сопротивление

Тогда

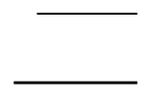
В цепи возникает резонанс токов. Ток при резонансе



Реактивные проводимости катушки и конденсатора



Реактивные составляющие токов в ветвях катушки и конденсатора:



При выполнении условия  $\rho > R_K$  реактивные токи могут существенно превышать ток  $I_0 = UG_0$ .

Добротность контура



Зависимости проводимостей  $G(f)$ ,  $B(f)$ ,  $G_{RL}(f)$ ,  $B_{RL}(f)$ ,



; угла сдвига фаз называются частотными характеристиками

цепи.

Зависимости от частоты действующих значений токов  $I(f)$ ,  $I(f)$ ,  $I_c(f)$  их

активных и реактивных составляющих называют *резонансными характеристиками*.

## 2. Содержание и порядок выполнения работы

Схема исследуемой цепи представлена на рисунке 1 П. Источником синусоидального напряжения является модуль **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР**. Измерения выполняются компьютерным измерительным комплексом (смотри п. 1.4 введения). Ввод данных в компьютер выполняет модуль **ВВОД-ВЫВОД**. Входы **1** и **5** при их совместном использовании измеряют активную мощность  $P$  и угол сдвига фаз  $\varphi$  между мгновенными значениями напряжения и  $i$  тока  $i$ . При емкостном характере цепи в окне  $\varphi$  на экране монитора появляется величина угла  $0...-90^{\circ}$ .

Пассивные элементы электрической схемы выбирают из блоков **МОДУЛЬ РЕЗИСТОРОВ** и **РЕАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ**. Активное сопротивление  $R_K$  катушки измеряют мультиметром.

Параметры пассивных элементов задает преподаватель. Рекомендуемые значения представлены в таблице 8.1.

Таблица 8.1

$L$ , мГн	$C$ , мкФ						
90	3,3	70	4,7	50	6,8	30	10
80		60		40		20	

- Собрать электрическую цепь по схеме, приведенной на рисунке 1П.
- Проверить собранную электрическую цепь в присутствии преподавателя.
- Заданные преподавателем величины пассивных элементов установить в блоке **МОДУЛЬ РЕАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ** и записать в протокол измерений.
- Выполнить предварительные расчеты, указанные в протоколе измерений.

Запустить информационно-измерительный комплекс *DeltaProfi*. Для

этого:

- Выключить компьютер, дождаться окончания загрузки *Windows*.
- Запустить программу *DeltaProfi*. Появится окно программы.
- Выбрать работу «Работа №8 - Исследование режима резонанса при параллельном соединении катушки индуктивности и конденсатора» в меню «Работы» или нажав кнопку «Выбор работы...». На экране появится схема лабораторной работы.

- Запустить программу в работу, нажатием кнопки «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.

- Включить автоматический выключатель QF блока **МОДУЛЬ ПИТАНИЯ** и тумблеры **Сеть** модулей **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР** и **ВВОД-ВЫВОД**. Переключатель **Форма** установить в положение ~.

- Регулятором **Амплитуда** установить величину действующего значения напряжения  $U = 5-7$  В. Убедиться, что на частотах  $0,2f_0$  и  $2f_0$  токовая защита модуля не срабатывает. Действующее значение напряжения  $U$  поддерживать неизменным во всех опытах.

- Экспериментально определить частоту  $f_0$  ( $\varphi_0 \approx 0$ ).

- Выполнить измерения для указанных в таблице 1П протокола относительных частот  $\nu = f/f_0$  ( $f_0$  - частота резонанса в эксперименте).

- Протокол измерений утвердить у преподавателя.

- Выключить тумблеры **Сеть** модулей **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР** и **ВВОД-ВЫВОД**.

- Выключить автоматический выключатель QF блока **МОДУЛЬ ПИТАНИЯ**.

Окончить работу программы *DeltaProfi*. Для этого:

- Остановить программу, нажатием кнопки «Стоп» или командой главного меню «Управление - Стоп» или горячей клавишей F6.

- Закрыть программу.

## Протокол измерений к лабораторной работе № 8

### «Исследование режима резонанса при параллельном соединении катушки индуктивности и конденсатора»

Схема исследуемой электрической цепи представлена на рисунке 1 П.

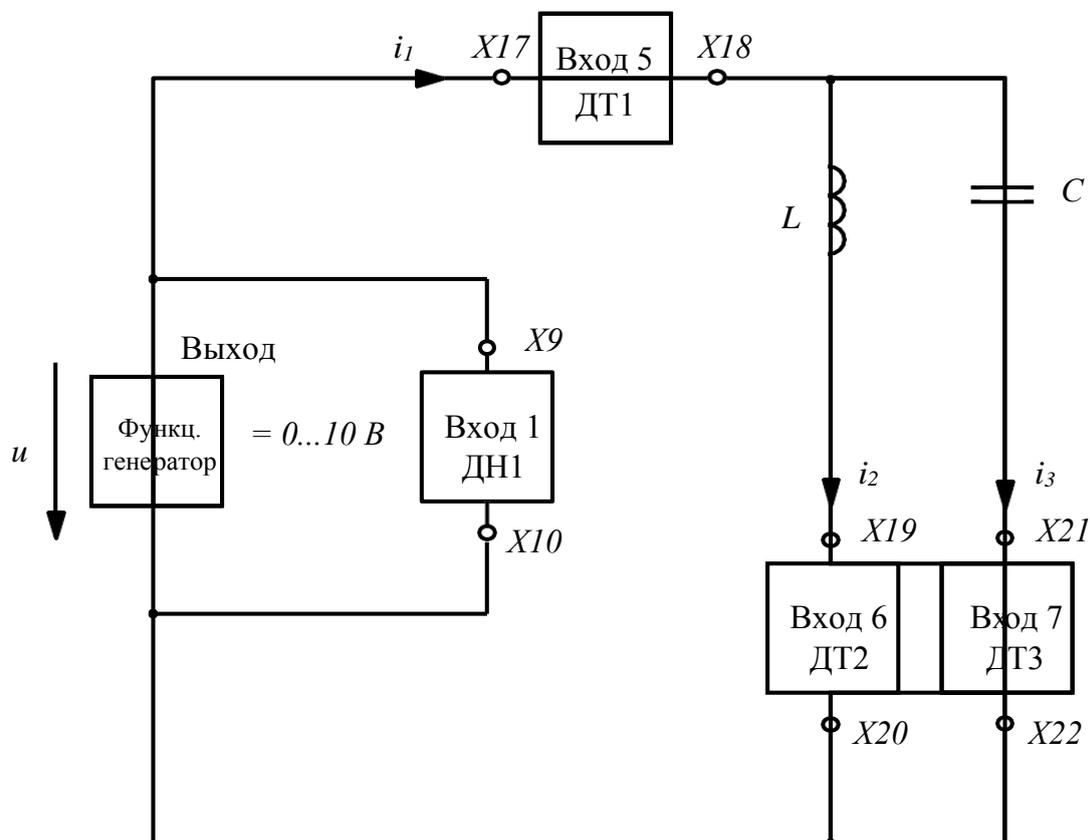


Рис. 1П

Параметры цепи:

$L =$  мГн;  $R_K =$  Ом;  $C =$  мкФ.

#### Предварительные расчеты

Волновое сопротивление контура  $\underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} =$  Ом.

Резонансная частота  $\underline{\hspace{2cm}} = \frac{1}{\underline{\hspace{2cm}}} = \underline{\hspace{2cm}}$  Гц.

Резонансный ток  $\underline{\hspace{2cm}} =$  А.

Экспериментальные данные представлены в таблице 1П.

Напряжение  $U =$  В,  $f_0 =$  Гц.

Таблица 1П

$f$ , Гц	—	$I$ , мА	$I_{RL}$ , мА	$I_C$ , мА	$\varphi$ , град
	0,2				
	0,4				
	0,6				
	0,8				
	1,0				
	1,1				
	1,2				
	1,4				
	1,6				
	1,8				
	2,0				

Работу выполнили: \_\_\_\_\_

Работу проверил: \_\_\_\_\_

### 3. Содержание отчета

1. Нарисовать схему замещения исследуемой электрической цепи, указать величины параметров  $R_K$ ,  $L$ ,  $C$ . Записать рассчитанные в протоколе измерений значения резонансной частоты  $f_0$ , волнового сопротивления  $\rho$ , добротности  $Q$  и величину резонансного тока  $I_0$ .

2. По данным таблицы 1П протокола измерений рассчитать в относительных единицах частоты частотные характеристики

Результаты расчета записать в таблицу.

3. По данным п. 2 построить зависимости от относительной частоты  $\nu$  экспериментальных значений токов в ветвях и расчетных значений активной и реактивной составляющих тока. Зависимости строить на одном рисунке.

4. По графикам п. 3 определить добротность  $Q$  контура. Сравнить ее со значением, рассчитанным по параметрам цепи.

5. По данным п. 1 построить в масштабах векторные диаграммы тока и напряжений при резонансной частоте.

#### **4. Контрольные вопросы**

1. Как определяется относительное значение частоты?
2. При каком условии реактивные токи превышают резонансный ток?
3. Каковы условия достижения режима резонанса токов в цепи с параллельным соединением реальной катушки индуктивности и конденсатора?
4. Пояснить порядок построения векторной диаграммы при резонансной частоте.
5. Изобразить и дать пояснения треугольника проводимостей.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

### ТРЕХФАЗНАЯ ЦЕПЬ, СОЕДИНЕННАЯ ЗВЕЗДОЙ

*Цель работы:* экспериментальное исследование режимов работы трехфазной цепи при соединении нагрузки звездой.

#### 1. Общие сведения

Трехфазной цепью называется совокупность трех электрических цепей (фаз), в которых действует система трех синусоидальные э. д. с. одной и той же частоты, сдвинутых по фазе на определенный угол и создаваемых общим источником электрической энергии.

Фазы трехфазной цепи обозначаются буквами  $A, B, C$ . Если три э. д. с.  $e_A, e_B$  и  $e_C$  равны по амплитуде и сдвинуты по фазе одна относительно другой на угол  $2\pi/3$ , то такую систему называют симметричной трехфазной системой. Э. д. с.  $e_A = E_m \sin(\omega t)$ ,  $e_B = E_m \sin(\omega t - 2\pi/3)$  и  $e_C = E_m \sin(\omega t + 2\pi/3)$  образуют симметричную трехфазную систему прямой последовательности.

Фазы трехфазной цепи всегда соединены (связаны). Основными видами связи являются соединения звездой и треугольником.

На рисунке 9.1 показан способ соединения фаз трехфазного источника звездой. Напряжения  $U_{AN}, U_{BN}, U_{CN}$  называются фазными, напряжения  $U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$  - линейными. В симметричном источнике  $U_{AN} = U_{BN} = U_{CN} = U_{CN} = U_\phi$   
 $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_L$ , причем

На рисунке 9.1 нагрузка также соединена звездой. Напряжения  $U_{an}, U_{bn}, U_{cn}$  называются фазными, напряжения  $U_{ab}, U_{bc}, U_{ca}$  - линейными. При соединении в звезду токи  $I_A, I_B, I_C$  являются и фазными и линейными одновременно.

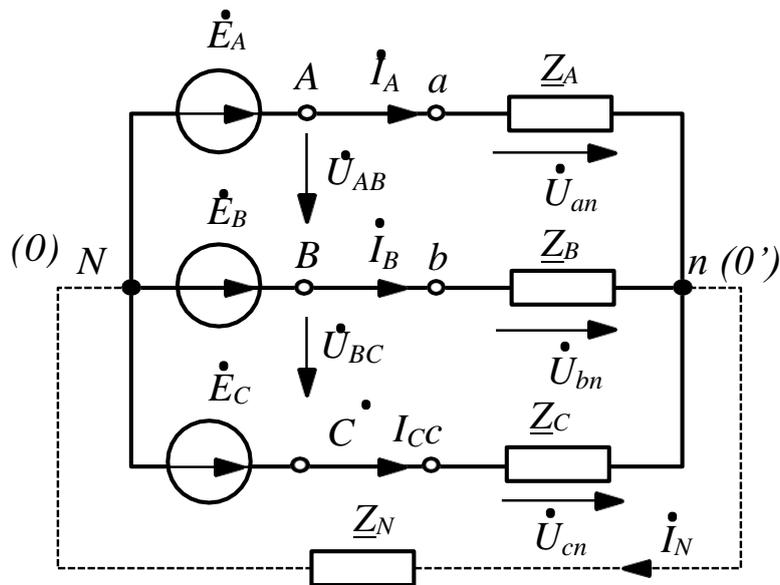


Рис. 9.1

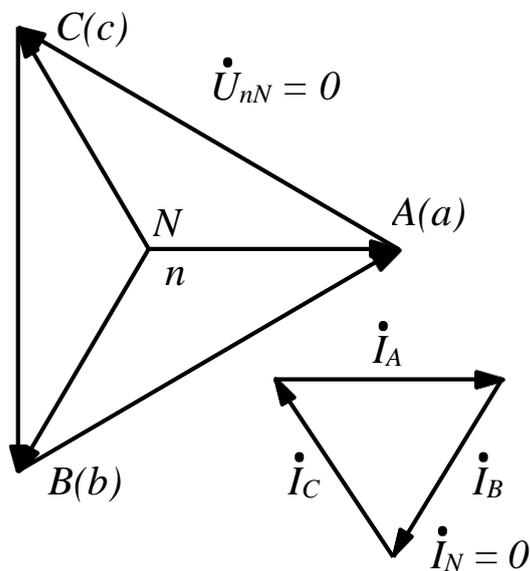


Рис. 9.2

На рисунке 9.2 показана топографическая диаграмма напряжений и векторная диаграмма токов для случая симметричной трехфазной цепи — — — В симметричном режиме токи  $I_A = I_B = I_C = I_\phi$ , напряжения  $U_{An} = U_{Bn} = U_{Cn} = U_\phi$ . Ток в нейтральном проводе  $I_N = 0$ , напряжение  $U_{nN} = 0$ .

При несимметричной нагрузке — — — напряжение  $U_{nN}$  зависит от характера нагрузки и наличия нулевого провода. На рисунке 9.3 в качестве

примера представлены диаграммы трехфазной цепи с 4-х проводной схемой соединения ( $Z_N = 0$ ), а рисунок 9.4 - с 3-х проводной схемой соединения ( $Z_N = \infty$ ).  
 Нагрузка фаз резистивная.

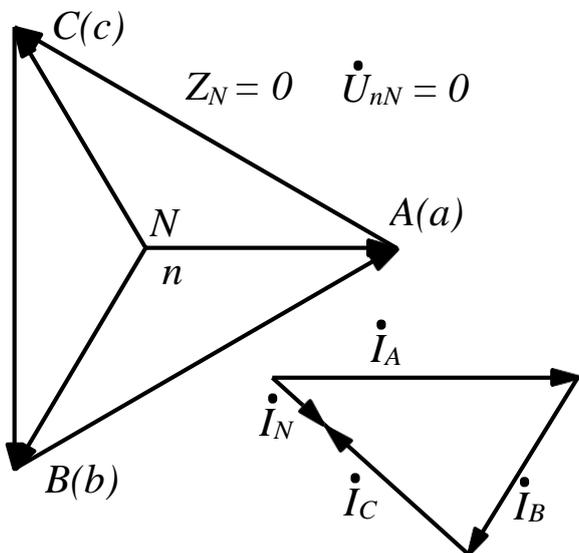


Рис. 9.3

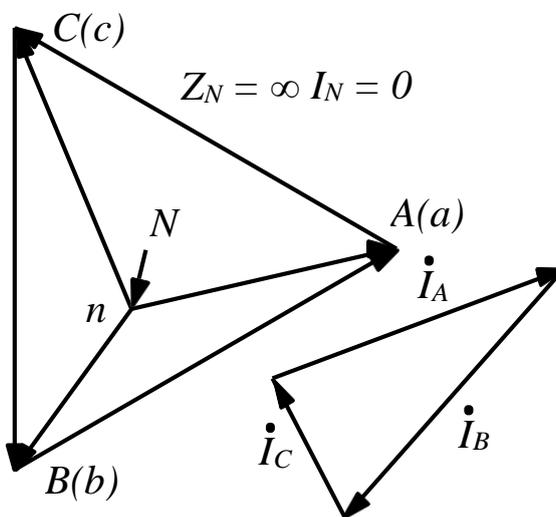


Рис. 9.4

Для измерения активной мощности в трехпроводной схеме трехфазной цепи применяется метод двух ваттметров. Один из вариантов включения ваттметров представлен на рисунке 9.5. Активная мощность трехфазной цепи равна алгебраической сумме показаний ваттметров  $P_{3\phi} = P_{W1} + P_{W2}$ .

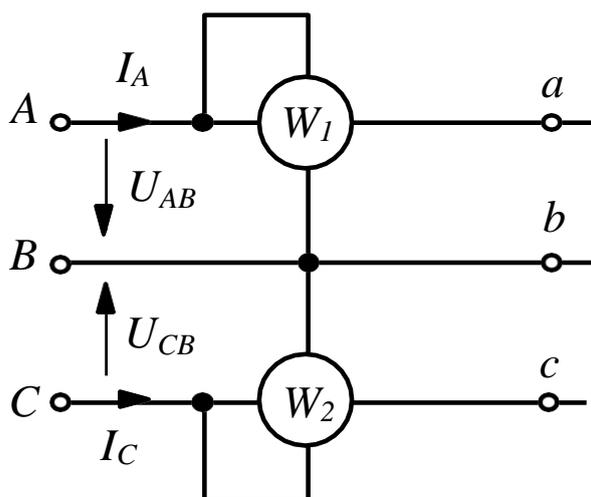


Рис. 9.5

## 2. Содержание и порядок выполнения работы

В лабораторной работе исследуют режимы работы трехфазной цепи с 4-х проводной (звезда с нейтральным проводом) и 3-х проводной (звезда без нейтрального провода) схемой соединения.

Источником симметричного трехфазного напряжения является модуль **ТРЕХФАЗНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ (UZ1)**. Фазное напряжение  $U_{\phi} = 7...9$  В.

Измерения выполняются компьютерным измерительным комплексом (смотри п. 1.4 введения). Ввод данных в компьютер выполняет модуль **ВВОД-ВЫВОД**.

Трехфазную нагрузку собирают из элементов блоков **МОДУЛЬ РЕЗИСТОРОВ, МОДУЛЬ РЕАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**.

### 4-х проводная трехфазная цепь

- Собрать схему 4-х проводной трехфазной цепи (рисунок 1П протокола измерений). Прямое следование фаз. Установить в блоке **МОДУЛЬ РЕЗИСТОРОВ** сопротивления  $R_1 = R_2 = R_3 = 100$  Ом.

- Проверить собранную электрическую цепь в присутствии преподавателя.

Запустить информационно-измерительный комплекс *DeltaProfi*. Для этого:

- Включить компьютер, дождаться окончания загрузки *Windows*.
- Запустить программу *DeltaProfi*. Появится окно программы.
- Выбрать работу «Работа №9 - Трехфазная цепь, соединенная звездой - 4-х проводная» в меню «Работы» или нажав кнопку «Выбор работы...» На экране появится схема лабораторной работы.

- Запустить программу в работу, нажатием кнопки «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.

- Включить выключатель QF блока **МОДУЛЬ ПИТАНИЯ**, тумблер SA1 модуля **ТРЕХФАЗНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ (UZ1)** и тумблер **Сеть**

модуля **ВВОД-ВЫВОД**.

- Используя **Вход 1** модуля **ВВОД-ВЫВОД** измерить фазные напряжения  $U_{AN}$ ,  $U_{BN}$ ,  $U_{CN}$  и линейные напряжения  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$ ,  $U_{CA}$  модуля **ТРЕХФАЗНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ**. Измеренные значения занести в протокол измерений. Проверить выполнения отношений линейных и фазных напряжений.

- Симметричный режим. Измерить токи фаз:  $I_A$  (**Вход 5**),  $I_B$  (**Вход 6**),  $I_C$  (**Вход 7**),  $I_N$  (**Вход 8**). Используя **Вход 1** модуля **ВВОД-ВЫВОД**, измерить фазные напряжения  $U_{An}$ ,  $U_{Bn}$ ,  $U_{Cn}$ . Измеренные значения напряжений, токов занести в таблицу 1П протокола измерений. Указанный порядок действий применить в остальных опытах.

- Несимметричный режим. Установить в блоке **МОДУЛЬ РЕЗИСТОРОВ** сопротивление  $R_1 = 150$  Ом,  $R_2 = 68$  Ом. Выполнить измерения, данные занести в таблицу 1П. Восстановить симметричный режим.

- Обрыв фазы *A*. Разорвать фазу *A* на участке **X18 - a** ( $I_A = 0$ ). Выполнить измерения, занести данные в таблицу 1П. Восстановить цепь фазы *A*.

- Включение нагрузки  $C \rightarrow n$ ;  $N \rightarrow c$ . Отключить фазу *c* от *C* и подключить к точке *N* источника, а нулевой провод *n* отключить от *N* и подключить к фазе *C* источника. Выполнить измерения, данные занести в таблицу 1П. Восстановить симметричный режим.

- Выключить тумблер SA1 модуля **ТРЕХФАЗНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ**.

Окончить работу программы *DeltaProfi*. Для этого:

- Остановить программу, нажатием кнопки «*Stop*» или командой главного меню «*Управление - Stop*» или горячей клавишей F6.

- Закрыть программу.

### **3-х проводная трехфазная цепь**

Собрать схему 3-х проводной трехфазной цепи (рисунок 2П протокола измерений). Прямое следование фаз. Установить в блоке **МОДУЛЬ РЕЗИСТОРОВ** сопротивления  $R_1 = R_2 = R_3 = 100$  Ом.

Запустить информационно-измерительный комплекс *DeltaProfl*. Для этого:

- Включить компьютер, дождаться окончания загрузки *Windows*.
- Запустить программу *DeltaProfl*. Появится окно программы.
- Выбрать работу «Работа №9 - Трехфазная цепь, соединенная звездой - 3-х проводная трехфазная цепь» в меню «Работы» или нажав кнопку «Выбор работы...». На экране появится схема лабораторной работы.
  - Запустить программу в работу нажатием кнопки «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.
  - Проверить собранную электрическую цепь в присутствии преподавателя.
  - Включить тумблер SA1 модуля **ТРЕХФАЗНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ**.
  - Симметричный режим. Измерить токи фаз. Поочередно подключая **Вход 1** модуля **ВВОД-ВЫВОД** к фазам *A*, *B*, *C* и нейтрали, измерить фазные напряжения  $U_{An}$ ,  $U_{Bn}$ ,  $U_{Cn}$  и напряжение  $U_{nN}$ . Измеренные значения занести в таблицу 2П. Указанный порядок действий применять в остальных режимах 3-х проводной цепи.
    - Остановить программу нажатием кнопки «Стоп» или командой главного меню «Управление Стоп» или горячей клавишей F6.
    - Выбрать вкладку «Осциллограммы» и снять осциллограммы фазных токов, зарисовав их в одной координатной плоскости. Определить по осциллограммам угол сдвига фаз между токами.
    - Остановить программу нажатием кнопки «Стоп» или командой главного меню «Управление — Стоп» или горячей клавишей F6.
    - Несимметричный режим. Установить в блоке **МОДУЛЬ РЕЗИСТОРОВ** сопротивление  $R_1= 150$  Ом,  $R_2= 68$  Ом. Выполнить измерения токов, напряжений и мощностей. Измеренные значения занести в таблицу 2П. Восстановить симметричный режим цепи.

- Обрыв фазы *A*. Разорвать фазу *A* на участке **X18-а**. Выполнить измерения токов и напряжений. Измеренные значения занести в таблицу 2П.
- Короткое замыкание фазы *A*. Закоротить фазу на участке *a-n*. Выполнить измерения токов и напряжений. Измеренные значения занести в таблицу 2П.
- Выключить тумблер SA1 модуля питания. Восстановить симметричный режим работы цепи.

### Режим определения следования фаз

- Заменить сопротивление  $R_l$  в фазе *A* конденсатором емкостью  $C = 22$  мкФ из блока **МОДУЛЬ РЕАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**. Включить тумблер SA1 модуля питания.
  - *Прямое следование фаз*. Выполнить измерения фазных напряжений нагрузки. Измеренные значения занести в таблицу 2П. Выключить тумблер SA1 модуля питания.
  - *Обратное следование фаз*. Поменять местами провода фаз *B* и *C* модуля **ТРЕХФАЗНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ (UZ1)**. Включить тумблер SA1 модуля питания. Выполнить измерения фазных напряжений. Измеренные значения занести в таблицу 2П.
  - Протокол измерений утвердить у преподавателя.
  - Выключить тумблеры SA1 и **Сеть** модулей **ТРЕХФАЗНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ** и **ВВОД-ВЫВОД**.
  - Выключатель QF блока **МОДУЛЬ ПИТАНИЯ**.
- Окончить работу программы *DeltaProfi*. Для этого:
- Остановить программу, нажатием кнопки «*Стоп*» или командой главного меню «*Управление Стоп*» или горячей клавишей F6.
  - Закрыть программу.

## Протокол измерений к лабораторной работе № 9

### «Трёхфазная цепь, соединенная звездой» 4-х проводная трёхфазная цепь

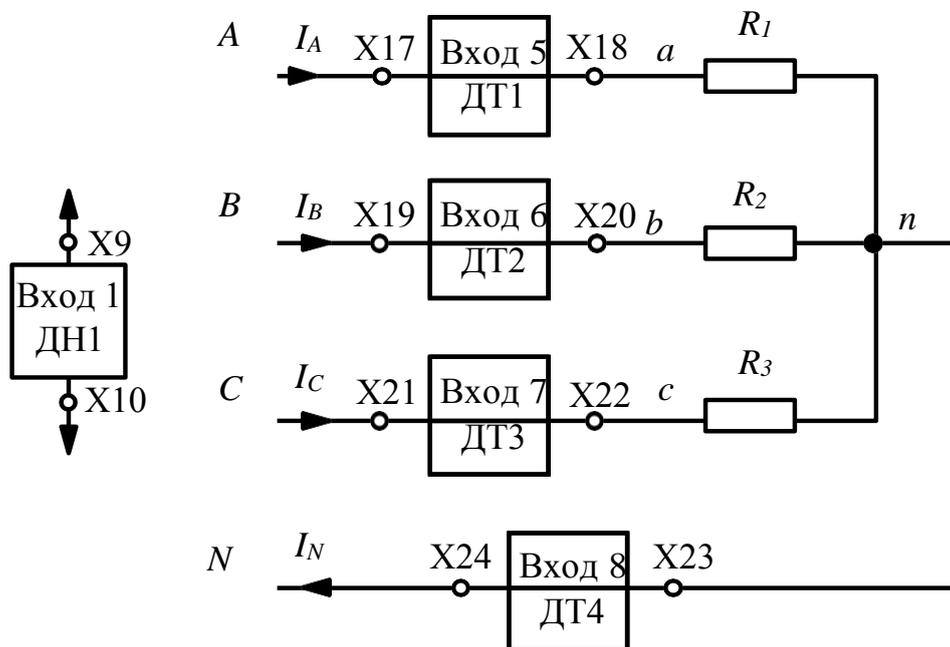


Рис. 1П

Напряжения источника:  $U_{AN} = \underline{\hspace{1cm}}$  В;  $U_{BN} = \underline{\hspace{1cm}}$  В;  $U_{CN} = \underline{\hspace{1cm}}$  В;  
 $U_{AB} = \underline{\hspace{1cm}}$  В;  $U_{BC} = \underline{\hspace{1cm}}$  В;  $U_{CA} = \underline{\hspace{1cm}}$  В.

Проверка соотношения  $\underline{\hspace{1cm}}$   $\underline{\hspace{1cm}}$ .

Таблица 1П

Режим работы трёхфазной цепи	$U_{An}, \text{ В}$	$U_{Bn}, \text{ В}$	$U_{Cn}, \text{ В}$	$I_A, \text{ мА}$	$I_B, \text{ мА}$	$I_C, \text{ мА}$	$I_N, \text{ мА}$
Симметричный $R_A = R_B = R_C = \text{ Ом}$							
Несимметричный $R_A = \text{ Ом}, R_B = \text{ Ом}, R_C = \text{ Ом}$							
Обрыв фазы $A$ $R_B = \text{ Ом} R_C = \text{ Ом}$							
Включение $C \rightarrow n; N \rightarrow c$							

### 3-х проводная трехфазная цепь

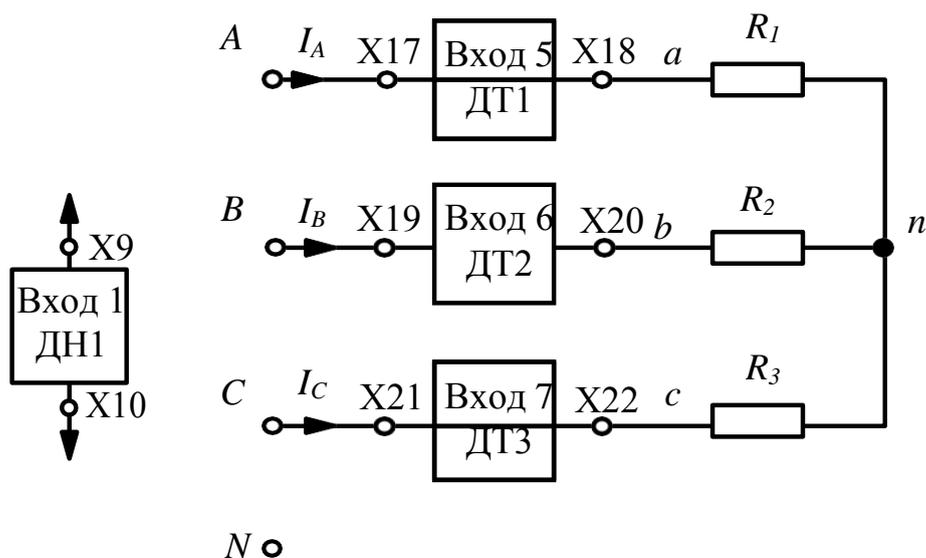


Рис. 2П

Таблица 2П

Режим работы трехфазной цепи	$U_{An}, \text{В}$	$U_{Bn}, \text{В}$	$U_{Cn}, \text{В}$	$I_A, \text{мА}$	$I_B, \text{мА}$	$I_C, \text{мА}$
Симметричный $R_A = R_B = R_C = \text{Ом}$						
Несимметричный $R_A = \text{Ом}, R_B = \text{Ом}, R_C = \text{Ом}$						
Обрыв фазы $A$ $R_B = \text{Ом} R_C = \text{Ом}$						
Короткое замыкание фазы $A$						
Прямое следование фаз. Фаза $A - C = 22 \text{ мкФ}$						
Обратное следование фаз						

Работу выполнили: \_\_\_\_\_

Работу проверил: \_\_\_\_\_

### 3. Содержание отчета

1. Нарисовать схему трехфазной цепи, указать положительные направления токов.
2. По результатам измерений (табл. 1П и 2П) построить топографические диаграммы напряжений и векторные диаграммы токов для каждого режи-

ма четырех и трехпроводной трехфазной цепи.

3. Рассчитать активную мощность трехпроводной цепи в симметричном и несимметричном режимах. Сравнить с измеренными методом двух ваттметров величинами. В симметричном режиме проверить выполнение выражения

—

#### **4. Контрольные вопросы**

1. Дайте определение трехфазной цепи. Какие основные виды связи для нее характерны?
2. Как рассчитывается активная мощность трехпроводной цепи в симметричном режиме?
3. Как рассчитывается активная мощность трехпроводной цепи в несимметричном режиме?
4. Какой метод применяется для измерения активной мощности в трехпроводной схеме?
5. Дайте определение фазного и линейного напряжений и приведите их соотношения при соединении звездой.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

### ТРЕХФАЗНАЯ ЦЕПЬ, СОЕДИНЕННАЯ ТРЕУГОЛЬНИКОМ

*Цель работы:* экспериментальное исследование режимов работы трехфазной цепи при соединении нагрузки треугольником.

#### 1. Общие сведения

Общие сведения о трехфазной цепи и симметричном источнике изложены в предыдущей лабораторной работе.

На рисунке 10.1 показан способ соединения фаз нагрузки треугольником. Токи  $I_A$ ;  $I_B$ ;  $I_C$  называются линейными, токи  $I_{ab}$ ;  $I_{bc}$ ;  $I_{ca}$  – фазными. Напряжения  $U_{ab}$ ,  $U_{bc}$ ,  $U_{ca}$  являются фазными и линейными.

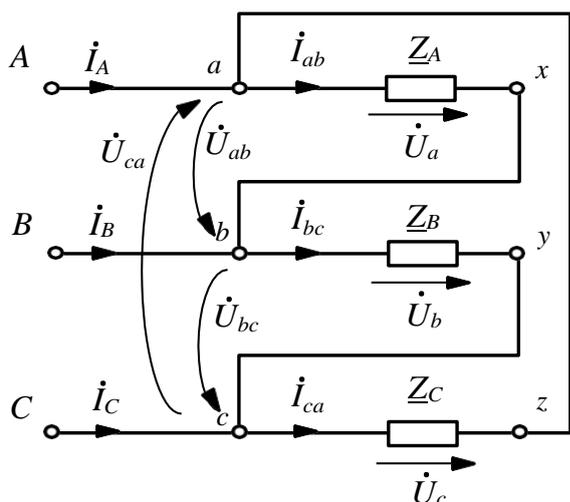


Рис. 10.1

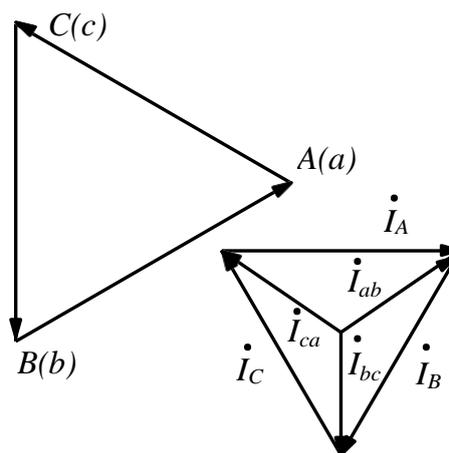


Рис. 10.2

На рисунке 10.2 показана топографическая диаграмма напряжений и векторная диаграмма токов для случая симметричной трехфазной цепи

— — — — — В симметричном режиме ток —  
напряжение  $U_{\Delta} = U_{\Phi}$ .

В случае несимметричной нагрузки фазные токи вычисляются по закону

Ома:



## НИЯ и тумблер SA1 модуля **ТРЕХФАЗНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ**.

- Используя **Вход 1** модуля **ВВОД-ВЫВОД**, измерить линейные напряжения  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$ ,  $U_{CA}$  источника. Измеренные значения занести в протокол измерений.

- Симметричный режим.

- Остановить программу, нажатием кнопки «*Стоп*».

- Выбрать вкладку «*Мнемосхемы*».

- Измерить фазные токи  $I_{ab}$ ,  $I_{bc}$ ,  $I_{ca}$ . Используя **Вход 1** модуля **ВВОД-ВЫВОД** измерить напряжения  $U_{Aa}$ ,  $U_{Bb}$ ,  $U_{Cc}$ ,  $U_{ab}$ ,  $U_{bc}$ ,  $U_{ca}$ . Измеренные значения занести в таблицу 1П протокола измерений. *Указанный порядок измерений применять в остальных режимах.*

- Остановить программу, нажатием кнопки «*Стоп*».

- Выбрать вкладку «*Осциллограммы*» и снять осциллограммы фазных токов  $I_{ab}$ ,  $I_{bc}$ ,  $I_{ca}$ . Определить по осциллограммам угол сдвига фаз между токами и сравнить амплитуды фазных и линейных токов

- Остановить программу, нажатием кнопки «*Стоп*».

- Несимметричный режим. Установить в блоке **МОДУЛЬ РЕЗИСТОРОВ** сопротивление  $R_A \neq R_B \neq R_C$ . Выбрать вкладку «*Мнемосхемы*». Выполнить измерения и занести данные в таблицу 1П. Восстановить симметричный режим.

- Обрыв линии  $Aa$ . Разорвать линию  $Aa$ . Выполнить измерения и занести данные в таблицу 1П. Восстановить целостность цепи.

- Обрыв фазы  $ab$ . Разорвать фазу  $ab$ . Выполнить измерения и занести данные в таблицу 1П. Восстановить целостность цепи.

- Включить (переключить) фазу  $C$  на нейтраль  $N$  модуля **ТРЕХФАЗНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ (UZ1)**. Выполнить измерения и занести данные в таблицу 1П.

- Выключить тумблер SA1 модуля **ТРЕХФАЗНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ (UZ1)** и автоматический выключатель QF блока **МОДУЛЬ ПИТАНИЯ**.

- Протокол измерений утвердить у преподавателя.
- Остановить программу, нажатием кнопки «Стоп» или командой главного меню «Управление-Стоп» или горячей клавишей F6.
- Закрыть программу.

### Протокол измерений к лабораторной работе № 10

#### «Трехфазная цепь, соединенная треугольником»

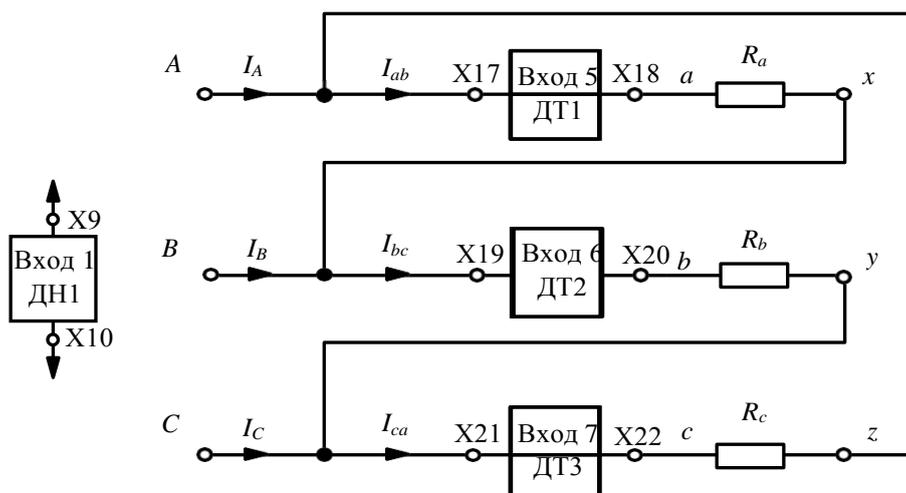


Рис. 1П

Линейные напряжения источника  $U_{AB} = \quad \text{В}$ ;  $U_{BC} = \quad \text{В}$ ;  $U_{CA} = \quad \text{В}$ .

Таблица 1П

Измеряемая величина	Режим работы трехфазной цепи				
	Симметричный $R_A = \quad \text{Ом}$ $R_B = \quad \text{Ом}$ $R_C = \quad \text{Ом}$	Несимметричный $R_A = \quad \text{Ом}$ $R_B = \quad \text{Ом}$ $R_C = \quad \text{Ом}$	Обрыв линии $Aa$ $R_A = \quad \text{Ом}$ $R_B = \quad \text{Ом}$ $R_C = \quad \text{Ом}$	Обрыв фазы $ab$	Включение фазы $C$ на нейтраль $N$
$U_{ab}, \text{ В}$					
$U_{bc}, \text{ В}$					
$U_{ca}, \text{ В}$					
$I_{ab}, \text{ мА}$					
$I_{bc}, \text{ мА}$					
$I_{ca}, \text{ мА}$					

Работу выполнили: \_\_\_\_\_

Работу проверил: \_\_\_\_\_

### 3. Содержание отчета

1. Нарисовать схему трехфазной цепи.

2. По результатам измерений построить в масштабе  $m_i$   $m_u$  топографические диаграммы напряжений и векторные диаграммы токов фаз нагрузки ( $I_{ab}$ ,  $I_{bc}$ ,  $I_{ca}$ ). Линейные токи  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  построить по закону Кирхгофа для узлов  $a$ ,  $b$ ,  $c$ . И рассчитать их величины. Данные расчета записать в таблицу для каждого режима трехфазной цепи. При построении диаграмм принять —

3. Проверить выполнение выражения — в симметричном режиме работ цепи.

4. Выполнить расчет при включении фазы нагрузки на нейтраль источника.

### 4. Контрольные вопросы

1. Принцип построения топографических диаграмм напряжений для случая симметричной трехфазной цепи.

2. Принцип построения векторных диаграмм токов для случая симметричной трехфазной цепи.

3. Как создается несимметричный режим?

4. Дайте определение фазных, линейных токов и напряжений.

5. Каково соотношение фазных и линейных токов и напряжений при соединении фаз треугольником?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бычков, Ю.А. Основы теоретической электротехники [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Ю.А. Бычков, В.М. Золотницкий, Э.П. Чернышев. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2009. — 592 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/36>. — Загл. с экрана.

2. Атабеков, Г.И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2009. — 592 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/90>. — Загл. с экрана.

3. Теоретические основы электротехники. Нелинейные электрические цепи. Электромагнитное поле [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г.И. Атабеков [и др.]. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2010. — 432 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/644>. — Загл. с экрана.

4. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи в 2 ч. Часть 1. : учебник для академического бакалавриата / Л. А. Бессонов. — 12-е изд., испр. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2018. — 364 с. — (Серия : Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-02622-1. — Режим доступа: [www.biblio-online.ru/book/AFCC1C9F-B134-4FCA-9696-92B9E8618C67](http://www.biblio-online.ru/book/AFCC1C9F-B134-4FCA-9696-92B9E8618C67).

5. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи в 2 ч. Часть 2. : учебник для академического бакалавриата / Л. А. Бессонов. — 12-е изд., испр. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2018. — 346 с. — (Серия : Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-02624-5. — Режим доступа: [www.biblio-online.ru/book/02071354-3E5E-46FD-B5DF-CF442E2A09EA](http://www.biblio-online.ru/book/02071354-3E5E-46FD-B5DF-CF442E2A09EA)

6. Теоретические основы электротехники [Текст] : учеб.-метод. пособие : рек. УМС / В. И. Усенко [и др.] ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2017 - Ч. 1 : Анализ линейных электрических цепей в установившихся режимах. - 2017. - 144 с.

**Палина Павловна Проценко,**  
*доцент кафедры энергетики ФГБОУ ВО «АмГУ»*

**Наталья Сергеевна Бодруг,**  
*старший преподаватель кафедры автоматизации производственных процессов и электротехники ФГБОУ ВО «АмГУ»*

**Скрипко Ольга Валерьевна**  
*доктор техн. наук, профессор кафедры автоматизации производственных процессов и электротехники ФГБОУ ВО «АмГУ»*

**Теоретические основы электротехники. Часть 1**

Методические указания к лабораторным работам.

---