

Министерство образования Российской Федерации

Тульский государственный университет

КАФЕДРА ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ  
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ №1-8

Часть I. Линейные электрические цепи постоянного и синусоидального тока.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

для студентов очно-заочного обучения

Под редакцией В.С. Илюшина.

Тула 2001г.

Разработали: В.С. Илюшин, канд. техн. наук, доц.,  
В.И. Ловчаков, докт. техн. наук, доц.,  
В.В. Сурков, канд. техн. наук, доц.,  
А.В. Чумаков, канд. техн. наук, асс..

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящих методических указаниях приводятся описания 16 лабораторных работ, на базе которых организуются конкретные лабораторные занятия. Описания предназначены для проведения занятий в лаборатории теоретических основ электротехники по основным разделам курсов "Теоретические основы электротехники", "Теоретическая электротехника" и др.

В составлении методических указаний принимали участие преподаватели кафедры электротехники и электрооборудования В.С. Илюшин (работы 2-6), В.И. Ловчаков (работы 7,8,10,14), В.В. Сурков (работы 9,11,12,13), А.В. Чумаков (работы 1,15,16). Общая редакция методических указаний осуществлена В.С. Илюшиным. Методические указания предназначены для студентов специальностей электротехнических и электроэнергетических направлений всех форм обучения.

## ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. К выполнению цикла лабораторных работ допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности.
2. Конкретная лабораторная работа выполняется в три этапа:
  - 2.1. Самостоятельная внеаудиторная подготовка – уяснение цели работы, теоретическая подготовка по разделу “Основы теории” указаний и учебной литературы, оформление отчета по предыдущей работе.
  - 2.2. Выполнение работы в лаборатории под руководством преподавателя – допуск к работе, сборка исследуемой цепи, проверка схемы преподавателем, включение питания и проведение эксперимента.
  - 2.3. Третий этап выполняется в лаборатории самостоятельно – обработка и анализ результатов эксперимента, формулировка выводов, а также защита данной или предыдущей работы в объеме материала, обозначенного контрольными вопросами.
3. Отчет по лабораторной работе оформляется каждым студентом отдельно с соблюдением существующих стандартов и требований к оформлению отчетов. Содержание отчета определяется в методических указаниях к конкретной лабораторной работе.

## Лабораторная работа №1

### ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВЕТВЛЕННОЙ ЛИНЕЙНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА.

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.

Экспериментальное исследование характеристик цепи, построение потенциальной диаграммы, освоение основных расчетных приемов по определению токов и напряжений на участках цепи.

#### 2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ.

2.1. При выполнении работы используется панель постоянного тока, находящаяся в левой части стенда. В ее состав входят миллиамперметры и вольтметр магнитоэлектрической системы, которые указывают не только количественное значение измеряемой величины, но и направление тока или полярность напряжения (рис. 1).



Рис. 1

2.2. Каждая точка электрической цепи характеризуется потенциалом. Он определяется относительно какой-либо одной точки, потенциал которой условно принимают равным нулю. При этом для пассивной ветви  $ab$ , имеющей сопротивление  $R_{ab}$ , ток, протекающий от  $a$  к  $b$ ,

$$I_{ab} = \frac{\varphi_a - \varphi_b}{R_{ab}} = \frac{U_{ab}}{R_{ab}}$$

Для активной ветви, в которой имеется ЭДС  $E_{ab}$ , направленная от  $a$  к  $b$ ,

$$I_{ab} = \frac{\varphi_a - \varphi_b + E_{ab}}{R_{ab}} = \frac{U_{ab} + E_{ab}}{R_{ab}}$$

2.3. Потенциальной диаграммой называют график, на котором по оси абсцисс откладывают сопротивления резисторов, а по оси ординат - потенциалы соответствующих точек электрической схемы. Сопротивления резисторов откладываются поочередно друг за другом в том порядке, в котором они следуют при обходе исследуемого участка цепи.

### 3. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ .

3.1. Изучить на лабораторном стенде панель постоянного тока, записать величины сопротивлений входящих в нее резисторов и определить основные характеристики приборов (пределы измерения и класс точности).

3.2. Начертить схему проведения эксперимента. Схемы выбираются в соответствии с номером стенда (рис. 2).

3.3. Подготовить бланк отчета и миллиметровую бумагу для чертежа потенциальной диаграммы.

### 4. ПРОГРАММА РАБОТЫ.

4.1. С помощью ручки " $U_{\text{пер}}$ " установить  $E_2=10$  В.

4.2. Собрать электрическую схему эксперимента по схеме. в соответствии с номером стенда (рис. 2).

4.3. Записать в таблицу 1 измеренные токи (три тока). Остальные три тока определить на основании 1-го закона Кирхгофа.

Таблица 1.

Токи и напряжения	Номер ветви					
	1	2	3	4	5	6
Ток ветви, А						
Разность потенциалов узлов ветви, В						
Вычисленный по закону Ома ток, А						

4.4. Выбрать в электрической цепи точку с нулевым потенциалом

4.5. Измерить с помощью вольтметра потенциалы всех узлов цепи относительно выбранной точки с нулевым потенциалом. Результаты занести в таблицу 2.

4.6 Используя закон Ома, вычислить токи всех ветвей. Результаты занести в таблицу 1 и сравнить с результатами измерения токов.

4.7. Построить потенциальную диаграмму.

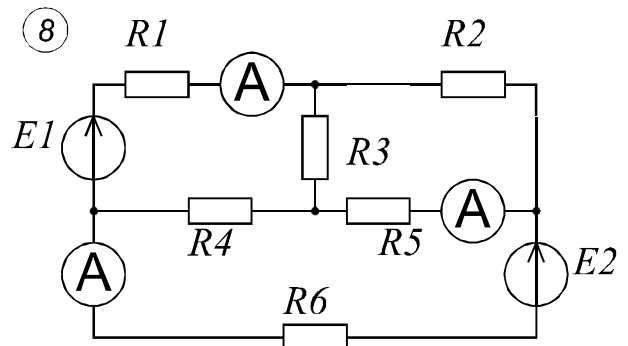
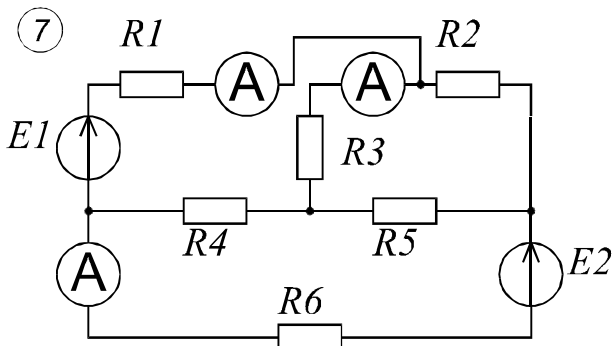
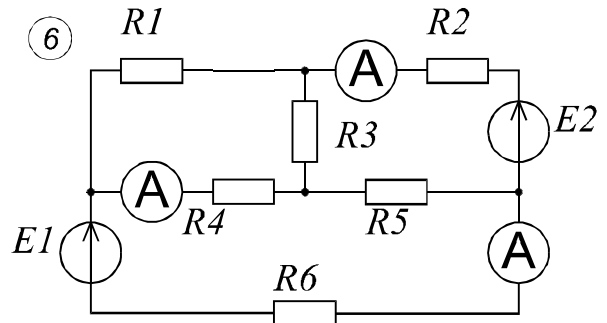
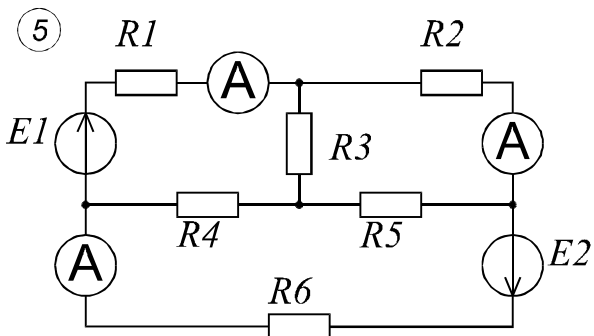
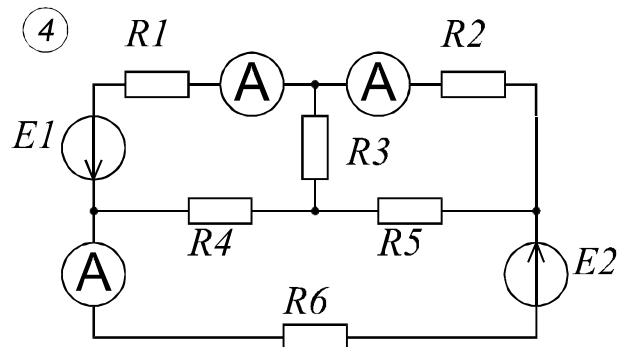
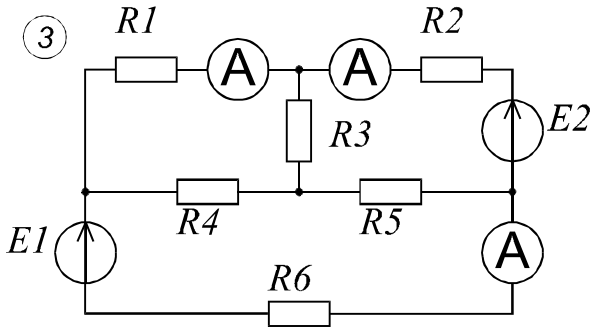
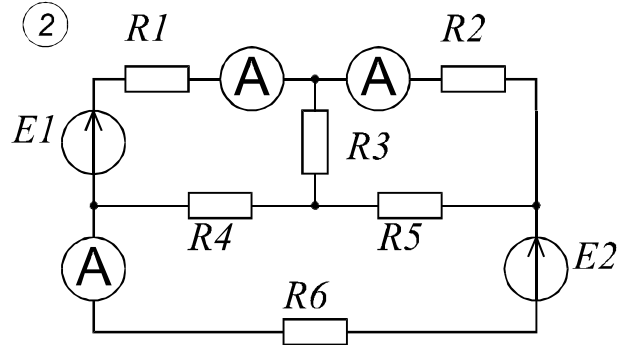
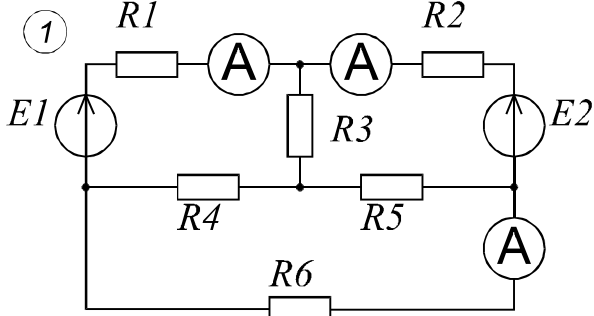
Таблица 2

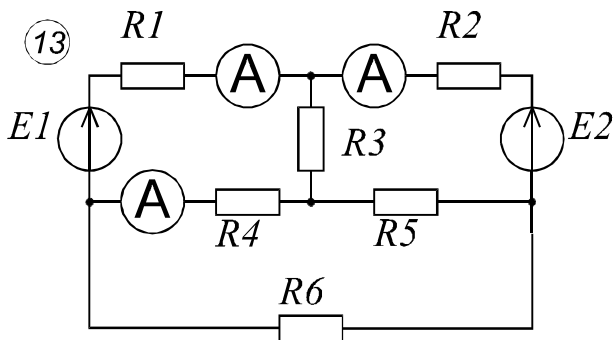
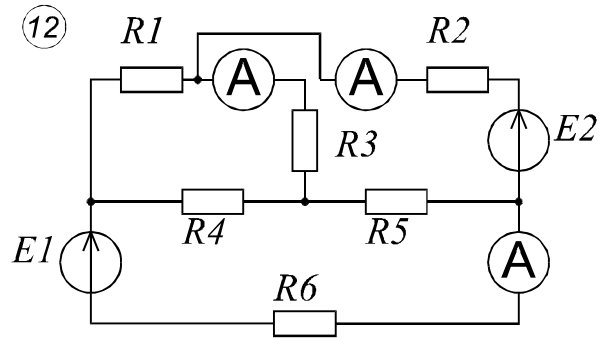
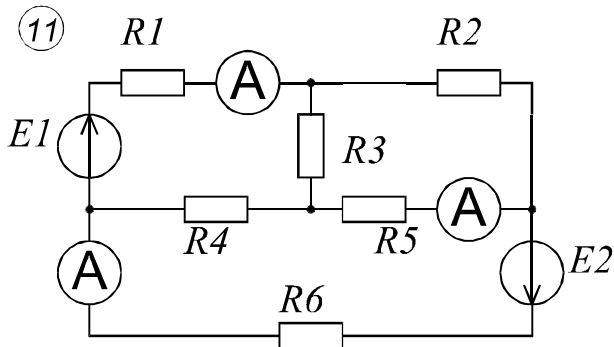
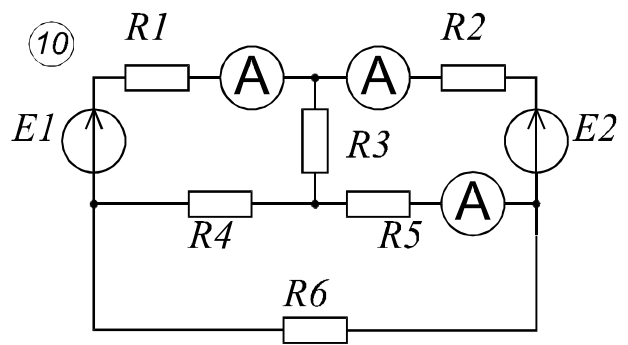
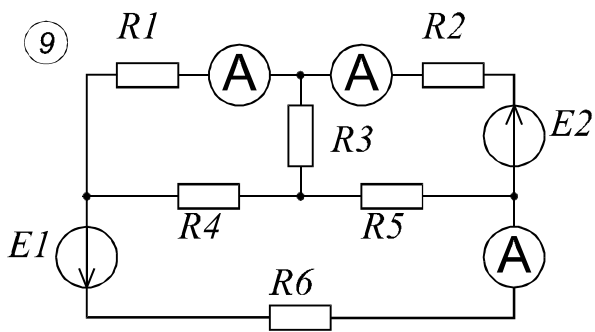
Измеряемая величина	Наименование точек					
	a	b	c	d	e	f
Потенциал $\phi_i$ , В						

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать цель работы, схему эксперимента, основные расчетные формулы, таблицы с результатами, потенциальную диаграмму, выводы.

Рис. 2. Схемы экспериментов.





## 6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 6.1 Как с помощью приборов магнитоэлектрической системы определить направление электрического поля и полярность напряжения
- 6.2. Как записываются для выбранных пассивной и активной ветвей закон Ома?
- 6.3. Что называется узлом и контуром электрической цепи?
- 6.4. Как измерить потенциал точки?
- 6.5. Могут ли токи в ветвях и потенциалы точек иметь отрицательное значение?
- 6.6. Как построить потенциальную диаграмму?
- 6.7. Как по потенциальной диаграмме определить напряжение между двумя точками?

## Лабораторная работа №2

### ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНОГО ДВУХПОЛЮСНИКА ПОСТОЯННОГО ТОКА.

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Экспериментальное и теоретическое изучение теоремы об активном двухполюснике. Овладение методами определения параметров эквивалентного генератора.

#### 2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ

2.1. По отношению к выделенной ветви вся остальная часть активной электрической цепи может быть заменена эквивалентным источником напряжения и резистором, параметры которых определяются по этой остальной части цепи.

На основании теоремы об активном двухполюснике ток в выделенной ветви

$$I_{ab} = \frac{U_{xab}}{R_{вх.ab} + R_{ab}}$$

где  $U_{xab}$  - напряжение на зажимах выделенной ветви при ее разрыве ( в режиме холостого хода );

$R_{вх.ab}$  - входное сопротивление остальной части цепи относительно зажимов выделенной ветви;

$R_{ab}$  - сопротивление резистора в выделенной ветви.

Уравнение пригодно для любого значения  $R_{ab}$ . В частности, при коротком замыкании выделенной ветви ( $R_{ab}=0$ )

$$I_{к.ab} = \frac{U_{xab}}{R_{вх.ab}}$$

где  $I_{к.ab}$  - ток, протекающий по ветви  $ab$  при равенстве нулю сопротивления  $R_{ab}$ , поэтому  $R_{вх.ab}$  можно определить из выражения

$$R_{вх.ab} = \frac{U_{xab}}{I_{к.ab}}$$

2.2. На основании теоремы об активном двухполюснике схема (рис.1) может быть заменена при расчете тока в выделенной ветви  $ab$  схемой (рис.2):



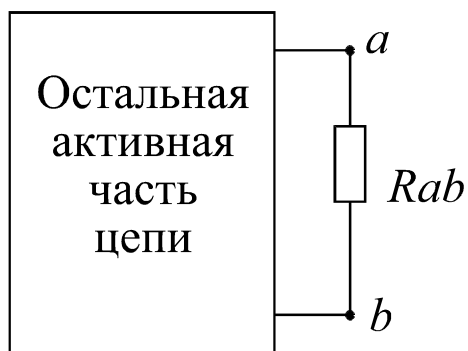


Рис1

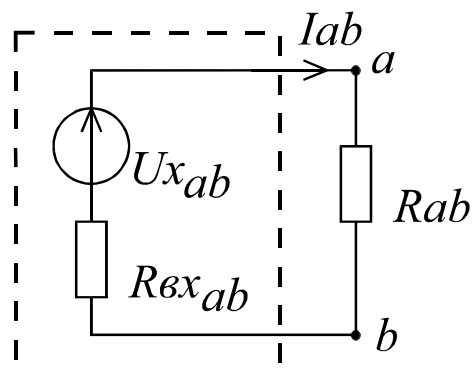


Рис2

### 3. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Самостоятельно составить схемы экспериментов для определения напряжения  $U_{x.ab}$  и тока  $I_{к.ab}$  с помощью вольтметра и амперметра (две схемы). Схему исследуемой цепи взять в соответствии с номером стенда по рис. 2 лабораторной работы №1.

Учесть, что сопротивление выделенной ветви между зажимами а и б в схему двухполюсника не входит.

### 4. ПРОГРАММА РАБОТЫ

4.1. Установить величину  $E_2=10В$ , собрать схему рис.1 работы №1.

4.2. По первой схеме п.3 измерить  $U_{x.ab}$ .

4.3. По второй схеме п.3 измерить  $I_{к.ab}$ .

4.4. Определить  $R_{вх.ab}$  по данным измерений:

$$R_{вх.ab} = \frac{U_{xab}}{I_{к.ab}}$$

4.5. По величинам сопротивлений резисторов стенда и напряжений источников рассчитать  $U_{x.ab}$  и  $R_{вх.}$  в схеме рис.2 работы №1. Сравнить величины  $U_{x.ab}$  и  $R_{вх.}$ , полученные экспериментально и расчетным путем.

### 5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать цель работы, схемы экспериментов, подготовленные по п.3, результаты измерений и расчетов с поясняющими расчет схемами, а также выводы по п.4.5.

### 6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1. В каких случаях целесообразно использование теоремы об активном двухполюснике?

6.2. Назовите способы определения входного сопротивления активного двухполюсника.

6.3. Запишите уравнение, связывающие между собой параметры эквивалентного двухполюсника. Поясните смысл входящих в него величин.

6.4. Изобразите вольтамперную характеристику активного двухполюсника.

6.5. Запишите уравнение вольтамперной характеристики активного двухполюсника.

6.6. Сформулируйте теорему об активном двухполюснике.

6.7. Дайте краткую характеристику метода активного двухполюсника, применяемого для анализа электрических цепей.

## Лабораторная работа №3.

### ИНДУКТИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ В ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА.

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.

Ознакомление с основными свойствами индуктивного элемента в цепи синусоидального тока.

#### 2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ.

2.1. При протекании тока  $i$  по индуктивному элементу цепи (катушке) возникает магнитный поток  $\Phi$ .

Пусть число витков катушки равно  $w$ , тогда величина

$$\Psi = w\Phi$$

называется потокосцеплением, а отношение

$$L = \Psi/i$$

называются индуктивностью катушки.

По закону электромагнитной индукции на зажимах катушки появляется напряжение

$$u(t) = \frac{d\Psi}{dt} = L \frac{di}{dt}$$

Пусть по катушке протекает синусоидальный ток

$$i = I_m \cdot \sin(\omega t),$$

тогда на ней будет существовать напряжение

$$u = \omega L I_m \cdot \cos(\omega t) = \omega L I_m \cdot \sin(\omega t + 90^\circ). \quad (1)$$

Амплитуда этого напряжения

$$U_m = \omega L I_m,$$

оно по фазе опережает ток на  $90^\circ$ .

Величина

$$X_L = \frac{U_m}{I_m} = \omega L \quad (2)$$

называется индуктивным сопротивлением. Как видно из (2), это сопротивление пропорционально частоте.

В комплексной форме соотношение (1) можно записать следующим образом:

$$\underline{U} = j\omega L \underline{I} = jX_L \underline{I},$$

где множитель  $j$  показывает, что напряжение опережает ток по фазе на  $90^\circ$ .

2.2. В последовательной цепи R, L (рис.1) напряжение  $\underline{U}_R$  совпадает по фазе с током, а напряжение  $\underline{U}_L$  опережает его на  $90^\circ$ . Это показано на векторной диаграмме (рис.2), из которой видно,

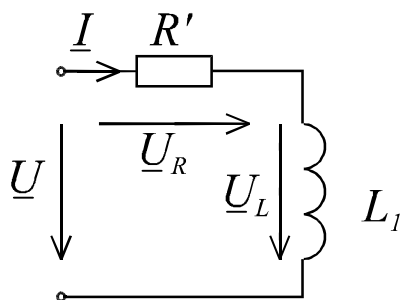


Рис.1. Схема эксперимента

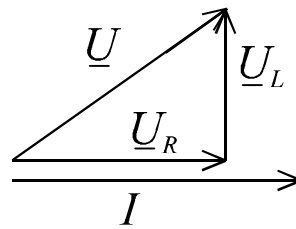


Рис.2. Векторная диаграмма

что напряжения  $\underline{U}_R$  и  $\underline{U}_L$  складываются векторно:

$$\underline{U} = \underline{U}_R + \underline{U}_L \quad ,$$

а действующее значение суммарного напряжения равно

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2} \quad .$$

2.3. В качестве источника синусоидального напряжения в лабораторных работах используется генератор сигналов типа ГЗ-33, в дальнейшем обозначаемый ГЗ. Он представляет собой электронный ламповый прибор, который преобразует переменное напряжение питания (220 В, 50 Гц) в синусоидальный сигнал с действующим значением напряжения от 0 до 60 В и частотой от 20 Гц до 200 кГц.

Для удобства работы входные клеммы генератора постоянно соединены с зажимами "Генератор" и "~" на панели стенда.

Установка действующего значения выходного напряжения осуществляется ручкой "Рег. Выхода" на передней панели генератора.

Установка частоты осуществляется переключателем "множитель" (дискретно) и ручкой "Частота Hz" (плавно) на передней панели генератора.

2.4. Измерение действующего значения напряжения производится с помощью электронного вольтметра. Для этого вначале переключателем нужно установить требуемый предел измерения, а затем два вывода кабеля вольтметра подключить к точкам, между которыми требуется измерить напряжение.

Действующее значение тока измеряется с помощью этого же вольтметра по закону Ома. Для этого в цепь последовательно включается резистор  $R'$  с заранее известным сопротивлением  $R'=100$  Ом. Если напряжение, измеренное на нем, равно  $U_{R'}$ , то ток определяется одним и тем же выражением:

$$I = \frac{U_{R'}}{100} \text{ (A)} = 10U_{R'} \text{ (mA)}.$$

2.5. Для визуального наблюдения кривой переменного напряжения применяется осциллограф. Осциллографы, используемые в лаборатории ТОЭ,

имеют два входа и дают возможность одновременно наблюдать кривые двух величин, сравнивая их по амплитуде и по фазе .

Для определения разности фаз двух кривых на экране осциллографа следует воспользоваться тем, что период колебаний соответствует  $2\pi$  рад или  $360^\circ$ . Отсчитав величины  $p$  и  $q$  в делениях шкалы на экране осциллографа (рис.3) можно определить разность фаз из пропорции:

$$\varphi = p \cdot \frac{360^\circ}{q} \quad \text{или} \quad \varphi = p \cdot \frac{2\pi}{q}$$

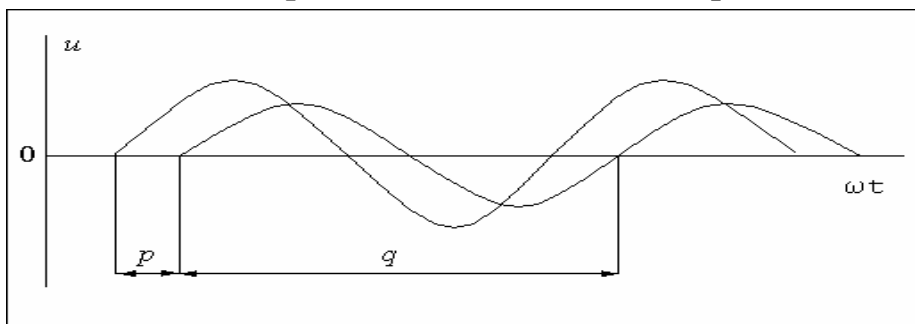


Рис. 3. Определение разности фаз двух величин.

### 3. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

3.1. Изучить описание работы.

3.2. Подготовить бланк отчета и миллиметровую бумагу для снятия осциллограмм.

### 4. ПРОГРАММА РАБОТЫ

4.1. Включить электронные приборы и дать им прогреться.

4.2. Собрать схему по рис.1.

4.3. Установить частоту и действующее значение сигнала генератора соответственно 1500 Гц и 10 В.

4.4. Измерить и записать в таблицу значения напряжений  $U_R$  и  $U_L$ .

4.5. Присоединить осциллограф к цепи для одновременного наблюдения напряжений  $U_L$  и  $U_R$ . Зарисовать осциллограмму.

4.6. Присоединить осциллограф к цепи для одновременного наблюдения напряжений  $U$  и  $U_R$ . Измерить (в делениях шкалы осциллографа) отрезки  $p$  и  $q$ . Записать их в таблицу.

Наименование величин	$f=1500$ Гц	$f=15000$ Гц
Напряжение источника $U$ , В	10	10
Напряжение на катушке $U_L$ , В		
Напряжение на резисторе $U_R$ , В		

Продолжение таблицы

Угловая частота $\omega$ , $\text{с}^{-1}$		
$p$ , дел.		
$q$ , дел.		
Ток $I$ , А		
Индуктивное сопротивление $X_L$ , Ом		
Индуктивность $L_1$ , мГн		
$j^0 = \arctg(U_L / U_R)$		
$j^0 = (p/q) \cdot 360^0$		

4.7. Увеличить частоту сигнала в 10 раз и при напряжении  $U=10$  В, повторить все измерения (п.п. 4.4 – 4.6).

4.8. Вычислить значения тока  $I$ , индуктивного сопротивления  $X_L$ , индуктивности  $L_1$  и угла  $\varphi$  (двумя способами) для обоих значений частоты.

4.9. Построить векторные диаграммы (в масштабе) для обеих частот.

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.

Отчет должен содержать цель работы, схему эксперимента, таблицу результатов, выводы, графики тока и напряжения, векторные диаграммы.

## 6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

6.1. Что называется индуктивным сопротивлением?

6.2. Как индуктивное сопротивление зависит от частоты?

6.3. Зависит ли от частоты индуктивность ?

6.4. Почему в качестве кривой тока на экране осциллографа можно принять кривую напряжения на резисторе?

6.5. Что такое угол  $\varphi$  и как его определить экспериментально?

6.6. В цепи, изображенной на рис.1,  $U_R=3$  В,  $U_L=4$  В. Чему равно  $U$ ?

6.7. По катушке протекает ток  $i = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$ . Напишите выражение для мгновенного значения напряжения на катушке.

## Лабораторная работа №4

### ЕМКОСТНЫЙ ЭЛЕМЕНТ В ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.

Ознакомление с основными свойствами емкостного элемента в цепи синусоидального тока.

#### 2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ

2.1. Если к емкостному элементу (конденсатору) приложено напряжение  $u$ , то на его обкладках возникает заряд  $q$ . Отношение

$$C = \frac{q}{u}$$

называется емкостью конденсатора.

Ток в конденсаторе связан с изменением его заряда:

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt}.$$

Пусть к конденсатору приложено синусоидальное напряжение

$$u = U_m \cdot \sin(\omega t),$$

тогда ток в нем определяется как

$$i = \omega C U_m \cdot \cos(\omega t) = \omega C U_m \cdot \sin(\omega t + 90^\circ). \quad (1)$$

Амплитуда этого тока равна

$$I_m = \omega C U_m$$

а по фазе он опережает напряжение на угол  $90^\circ$ .

Величина

$$X_C = \frac{U_m}{I_m} = \frac{1}{\omega C} \quad (2)$$

называется емкостным сопротивлением. Как видно из (2), это сопротивление обратнопропорционально частоте.

В комплексной форме соотношение (1) можно записать следующим образом:

$$\underline{I} = j\omega C \underline{U}, \text{ откуда } \underline{U} = -j(1/\omega C)\underline{I}.$$

Здесь множитель  $-j$  показывает, что напряжение отстает от тока по фазе на  $90^\circ$ .

2.2. В последовательной цепи R,C (рис.1) напряжение  $\underline{U}_R$  совпадает по фазе с током, а напряжение  $\underline{U}_C$  отстает от него на  $90^\circ$ . Это показано на векторной диаграмме (рис.2), из которой видно, что напряжения  $\underline{U}_R$  и  $\underline{U}_C$  складываются

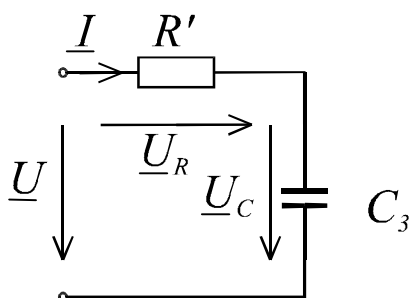


Рис.1. Схема эксперимента

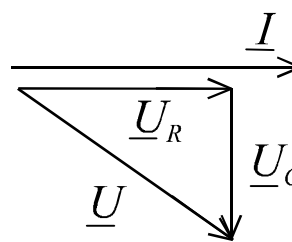


Рис.2. Векторная диаграмма

векторно:

$$\underline{U} = \underline{U}_R + \underline{U}_C ,$$

а действующее значение напряжения равно

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_C^2} .$$

Ток  $\underline{I}$  опережает напряжение  $\underline{U}$  на угол  $\varphi$ , который можно определить из векторной диаграммы.

Чтобы отличать углы  $\varphi$  при отстающем токе от углов при опережающем токе, в первом случае их считают положительными, а во втором - отрицательными. Поэтому в цепи R,C

$$\varphi = -\arctg\left(\frac{U_C}{U_R}\right).$$

Угол  $\varphi$  можно также определить и с помощью осциллографа, аналогично указанному в описании работы №3.

### 3. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

3.1. Изучить описание работы. О пользовании приборами прочитать в описании работы №3.

3.2. Подготовить бланк отчета и миллиметровую бумагу для снятия осциллограмм.

### 4. ПРОГРАММА РАБОТЫ

4.1. Включить электронные приборы и дать им прогреться.

4.2. Собрать схему рис.1.

4.3. Установить частоту и действующее значение сигнала генератора соответственно 1500 Гц и 10 В.

4.4. Измерить и записать в таблицу значения напряжений  $U_R$  и  $U_C$ .

4.5. Присоединить осциллограф к цепи для одновременного наблюдения напряжений  $U_C$  и  $U_R$ . Зарисовать осциллограмму.

4.6. Присоединить осциллограф к цепи для одновременного наблюдения напряжений  $U_C$  и  $U_R$ . Измерить (в делениях шкалы осциллографа) отрезки p и q (см. рис.3 работы №3). Записать их в таблицу:



Наименование величин	f=1500	f=15000
	Гц	Гц
Напряжение источника U, В	10	10
Напряжение на катушке U <sub>C</sub> , В		
Напряжение на резисторе U <sub>R</sub> , В		
Угловая частота ω, рад/с		
ρ, дел.		
q, дел.		
Ток I, А		
Емкостное сопротивление X <sub>C</sub> , Ом		
Емкость C <sub>3</sub> , мкФ		
$j^0 = -\arctg(U_C / U_R)$		
$j^0 = -(p/q) \cdot 360^0$		

4.7. Увеличить частоту сигнала в 10 раз и при напряжении U=10 В, повторить все измерения (п.п. 4.4 – 4.6).

4.8. Вычислить значения тока I, емкостного сопротивления X<sub>C</sub>, емкости C<sub>3</sub> и угла φ (двумя способами) для обоих значений частоты.

4.9. Построить векторные диаграммы (в масштабе) для обеих частот.

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.

Отчет должен содержать цель работы, схему эксперимента, таблицу результатов, выводы, графики тока и напряжения, векторные диаграммы.

## 6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

6.1. Что называется емкостным сопротивлением?

6.2. Как емкостное сопротивление зависит от частоты?

6.3. Зависит ли емкость от частоты ?

6.4. Каковы основные отличия реактивных сопротивлений от активных?

6.5. Выделяется ли тепло в конденсаторе при протекании тока?

6.6. По катушке протекает ток  $i = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$ . Напишите выражение для мгновенного значения напряжения на конденсаторе.

## Лабораторная работа №5.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА.

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.

Изучение амплитудных и фазовых соотношений в последовательной цепи, содержащей резистор, конденсатор и индуктивную катушку.

#### 2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ.

2.1. На рис.1 изображена схема цепи, изучаемой в данной работе.

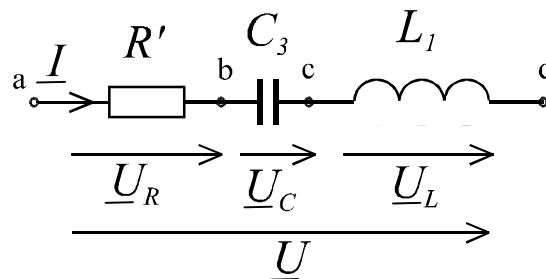


Рис.1. Последовательная цепь R, L и C

Напряжение  $\underline{U}$  равно векторной сумме напряжений на элементах цепи:

$$\underline{U} = \underline{U}_R + \underline{U}_C + \underline{U}_L.$$

Здесь  $\underline{U}_R = R\underline{I}$ ;  $\underline{U}_C = -j\underline{I}/\omega C$ ;  $\underline{U}_L = j\omega L\underline{I}$ ,

поэтому  $\underline{U} = (R + j\omega L - j\frac{1}{\omega C})\underline{I} = (R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C}))\underline{I}$ .

Отсюда следует соотношение между действующими значениями тока и напряжения:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}$$

Комплексное сопротивление цепи

$$\underline{Z} = \frac{\underline{U}}{\underline{I}} = R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C}),$$

а ее полное сопротивление

$$Z = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}.$$

При частоте  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

наступает режим резонанса, т.е. режим, при котором ток и напряжение на входе цепи совпадают по фазе, а реактивная часть входного сопротивления равна нулю. В последовательной цепи этот режим называется резонансом напряжений. Векторные диаграммы цепи при различных частотах приведены на рис.2.

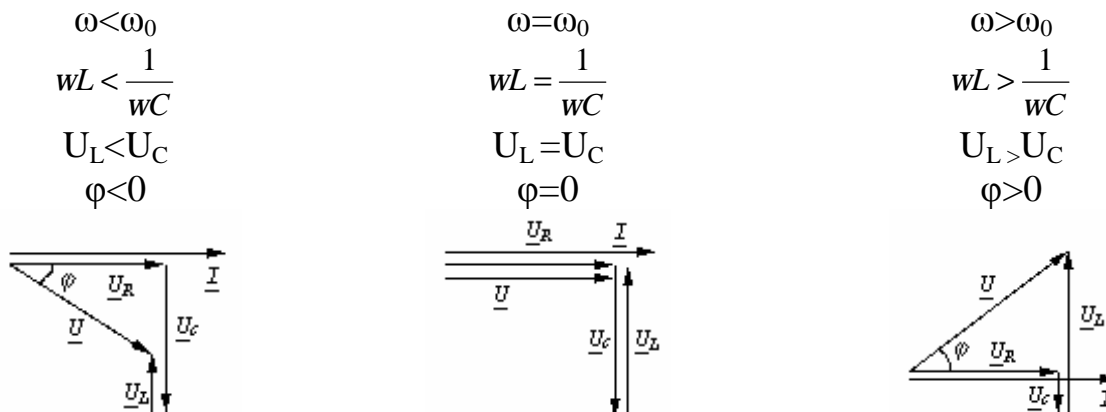


Рис.2. Векторные диаграммы цепи при различных частотах.

Из векторных диаграмм видно, что при частотах, отличных от резонансной, угол можно найти по формуле.

$$|\varphi| = \arctg \frac{U_{LC}}{U_R},$$

где  $U_{LC}$  - напряжение на элементах L и C (т.е. между точками b и d на рис.1).

2.2 Для экспериментального определения резонансной частоты следует присоединить вольтметр к точкам b и d (рис.1) и, изменяя частоту напряжения, подаваемого на цепь, добиться минимального показания вольтметра. В этих условиях

$$\underline{U}_{LC} = \underline{U}_L + \underline{U}_C = 0.$$

Добиться равенства этого напряжения нулю в реальной цепи невозможно, т.к. катушка индуктивности обладает некоторым активным сопротивлением, и поэтому напряжение на ней опережает ток на угол, меньший  $90^\circ$ . Векторная диаграмма цепи с реальной катушкой при резонансной частоте показана на рис.3.

2.3. Если, поддерживая измененное значение напряжения  $U$  на входе цепи, изменять частоту, то при резонансе ток достигает своего наибольшего значения  $I_0 = U/R$ .

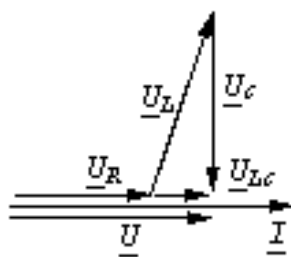


Рис.3. Векторная диаграмма цепи с реальной катушкой.

### 3. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

3.1. Изучить описание работы.

3.2. Вычислить теоретическое значение резонансной частоты

$$f_{от} = 1 / 2\pi\sqrt{LC}$$

для данного стенда.

3.3. Подготовить бланк отчета и миллиметровую бумагу для снятия осциллограмм.

### 4. ПРОГРАММА РАБОТЫ.

4.1. Включить электронные приборы и дать им прогреться.

4.2. Собрать схему рис.1.

4.3. Установить напряжение  $U=10$  В, после чего присоединить вольтметр к точкам b и d цепи и определить экспериментально резонансную частоту  $f_{оэ}$ .

4.4. Произвести измерения величин, указанных в таблице, при частоте  $f_{оэ}$  и  $U=10$ В.

4.5. Присоединить осциллограф к цепи для одновременного наблюдения напряжений  $U$  и  $U_R$  и зарисовать осциллограмму.

4.6. Присоединить осциллограф к цепи для одновременного наблюдения напряжений  $U_L$  и  $U_R$  и зарисовать осциллограмму.

Теоретическое значение		$f_{от} =$	Гц
Наименование величин	$(f_{оэ} - 1000)$ Гц	$f_{оэ}$ Гц	$(f_{оэ} + 1000)$ Гц
$f$ , Гц			
$U$ , В	10	10	10
$U_R$ , В			
$U_C$ , В			

### Продолжение таблицы

$U_L$ , Ом			
$U_{LC}$ , Ом			
$I$ , А			
$Z$ , Ом			
$\varphi$ , град			

4.7. Произвести измерение величин, указанных в таблице, при частоте  $(f_{09} - 1000)$  Гц и  $U=10$  В .

4.8. Присоединить осциллограф к цепи для одновременного наблюдения напряжений  $U$  и  $U_R$ . Зарисовать осциллограмму.

4.9. Произвести измерения величин, указанных в таблице, при частоте  $(f_{09}+1000)$  Гц и  $U=10$  В.

4.10. Зарисовать осциллограммы напряжений  $U$  и  $U_R$  при частоте  $(f_{09}+1000)$  Гц .

4.11. Вычислить и внести в таблицу значения тока  $I$ , полного сопротивления  $Z$  и угла  $\varphi$  для всех трех частот .

### 5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА .

Отчет должен содержать цель работы, схему эксперимента, таблицу результатов, векторные диаграммы для всех частот, построенные в масштабе, осциллограммы с указанием соответствующих величин и углов сдвига фаз между ними, выводы.

### 6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1. Что называется резонансным режимом цепи синусоидального тока?

6.2. Как экспериментально определить резонансную частоту в последовательной цепи  $R, L, C$ ?

6.3. В цепи, изображенной на рис.1,  $U_R= 4$  В,  $U_L= 10$  В,  $U_C=7$  В. Чему равны напряжение  $U$  и угол  $\varphi$ ? Каков знак угла  $\varphi$ ?

6.4. Почему в реальной цепи в режиме резонанса напряжений  $U_{LC} \neq 0$ ?

6.5. Могут ли в цепи, изображенной на рис.1, напряжения  $U_R, U_L$  и  $U_C$  превосходить приложенное к цепи напряжение  $U$ ?

6.6. Укажите аналитический путь определения резонансной частоты.

## Лабораторная работа №6.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.

Изучение амплитудных и фазовых соотношений в цепи с параллельным соединением конденсатора и индуктивной катушки.

#### 2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ.

2.1. В данной работе изучается цепь, схема которой приведена на рис.1.

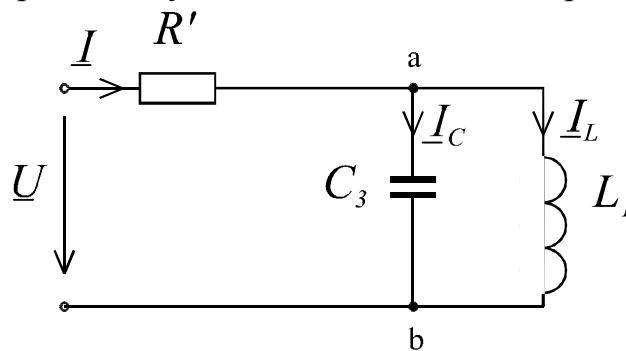


Рис.1. Цепь с параллельным соединением R, L и C.

Ток  $\underline{I}$  равен векторной сумме токов в ветвях цепи:  $\underline{I} = \underline{I}_C + \underline{I}_{L\omega\omega}$ ; здесь

$$\underline{I}_C = \frac{\underline{U}_{ab}}{-jX_C} = j\omega C \underline{U}_{ab},$$

$$\underline{I}_L = \frac{\underline{U}_{ab}}{jX_L} = -j \frac{1}{\omega L} \underline{U}_{ab},$$

что дает возможность записать:

$$\underline{I} = j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right) \cdot \underline{U}_{ab}.$$

Ток  $\underline{I}$  опережает напряжение  $\underline{U}_{ab}$  на  $90^\circ$ , а ток  $\underline{I}_L$  отстает от  $\underline{U}_{ab}$  на такой же угол.

Поэтому действующее значение тока  $I = |I_C - I_L|$ .

2.2. Режим, при котором  $I_C = I_L$  (по действующим значениям) соответствует резонансу токов. В этом режиме  $I = 0$ , а реактивные проводимости параллельных ветвей равны:

$$\omega C = \frac{1}{\omega L},$$

частота

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

является резонансной частотой.

В реальных цепях из-за того, что катушка обладает некоторым активным сопротивлением, а в конденсаторе существуют токи утечки (и другие виды потерь активной мощности), токи  $\underline{I}_C$  и  $\underline{I}_L$  образуют с напряжением  $\underline{U}_{ab}$  углы меньше  $\pi/2$ . Поэтому ток  $\underline{I}$  не достигает нулевого значения, и резонанс токов наступает при его минимальной величине.

2.3. При частотах, меньших резонансной  $I_C < I_L$ , следовательно общий ток  $\underline{I}$  отстает от напряжения  $\underline{U}_{ab}$  и имеет индуктивный характер.

При частотах выше резонансной  $I_C > I_L$ , и цепь имеет емкостный характер.

2.4. Построение векторных диаграмм рекомендуется начать с вектора  $\underline{U}_{ab}$ , а затем изобразить векторы токов  $\underline{I}_C$  и  $\underline{I}_L$ . Векторная сумма этих токов равна току  $\underline{I}$ , а напряжение  $\underline{U}_R$  совпадает по фазе с током  $\underline{I}$  и складывается векторно с напряжением  $\underline{U}_{ab}$ . Их сумма равна  $\underline{U}$ . Пример векторной диаграммы для случая  $I_C < I_L$  приведен на рис.2.

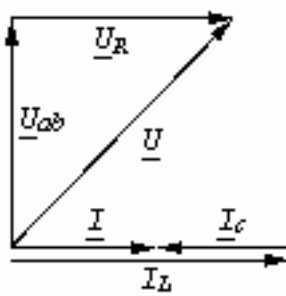


Рис.2. Векторная диаграмма.

При резонансной частоте ток  $\underline{I}$  совпадает по фазе с напряжением  $\underline{U}_{ab}$ .

### 3. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

3.1. Изучить описание работы.

3.2. Вычислить теоретическое значение резонансной частоты

$$f_{от} = 1/2\pi\sqrt{LC}.$$

3.3. Подготовить бланк отчета.

### 4. ПРОГРАММА РАБОТЫ.

4.1. Включить электронные приборы и дать им прогреться.

4.2. Собрать схему (рис.1).

4.3. Установить напряжение  $U=10$  В, после чего присоединить вольтметр к полюсам резистора  $R'$  и определить экспериментально резонансную частоту  $f_{оэ}$  (по минимуму показаний вольтметра).

4.4. Не изменяя частоты, установить с помощью вольтметра  $U_{ab}=5$  В и измерить напряжения  $U$  и  $U_R$ . Внести все измеренные величины в таблицу.

4.5. Присоединить осциллограф к цепи для одновременного наблюдения напряжений  $U_R$  и  $U_{ab}$  и зарисовать осциллограмму.

4.6. Установить частоту  $(f_{03}-1000)$  Гц , напряжение  $U_{ab} = 5$  В и измерить напряжения  $U$  и  $U_R$ . Внести результаты в таблицу.

4.7. Зарисовать совместную осциллограмму напряжений  $U_R$  и  $U_{ab}$  при частоте  $(f_{03}-1000)$  Гц .

Теоретическое значение	$f_{от} = \quad \text{Гц}$		
Наименование величин	$(f_{03} - 1000)\text{Гц}$	$f_{03}$ Гц	$(f_{03} + 1000)\text{Гц}$
$f$ , Гц			
$U_{ab}$ , В	5	5	5
$U$ , В			
$U_R$ , В			
$X_L$ , Ом			
$X_C$ , Ом			
$I$ , А			
$I_L$ , А			
$I_C$ , А			

4.8. Установить частоту  $(f_{03}+1000)$  Гц , напряжение  $U_{ab} = 5$  В и измерить напряжения  $U$  и  $U_R$ . Внести результаты в таблицу.

4.9. Зарисовать совместную осциллограмму напряжений  $U_R$  и  $U_{ab}$  при частоте  $(f_{03}+1000)$  Гц .

4.10. Вычислить и внести в таблицу значения реактивных сопротивлений  $X_L = \omega L$  и  $X_C = 1/\omega C$  при всех частотах , используемых в работе.

4.11. Вычислить и внести в таблицу значения токов

$$I = \frac{U_R}{R'}; \quad I_L = \frac{U_{ab}}{X_L}; \quad I_C = \frac{U_{ab}}{X_C}$$

при всех частотах , используемых в работе.

4.12. Построить в масштабе векторные диаграммы токов и напряжений при всех трёх частотах.

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать цель работы, схему эксперимента, таблицу результатов, осциллограммы напряжений, векторные диаграммы, выводы.



## 6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

- 6.1. Как определяется теоретическое значение резонансной частоты?
- 6.2. Как экспериментально определить резонансную частоту?
- 6.3. Почему на практике при резонансной частоте ток  $I$  не равен нулю?
- 6.4. Каков знак угла сдвига фаз между током  $I$  и напряжением  $\underline{U}_{ab}$  при частоте, превышающей резонансную?
- 6.5. Дайте определение явления резонанса токов.
- 6.6. Какие меры позволят уменьшить резонансный ток в реальной цепи?

## Лабораторная работа №7.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ РЕЗОНАНСА В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА.

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.

Изучение явления резонанса в последовательной цепи. Построение кривых частотных характеристик. Определение полосы пропускания.

## 2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ

Если к последовательной цепи  $R, L, C$  приложить синусоидальное напряжение, то в цепи возникает электрический ток, действующее значение которого в соответствие с векторной диаграммой рис.1 определяется выражением

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}} \quad (1)$$

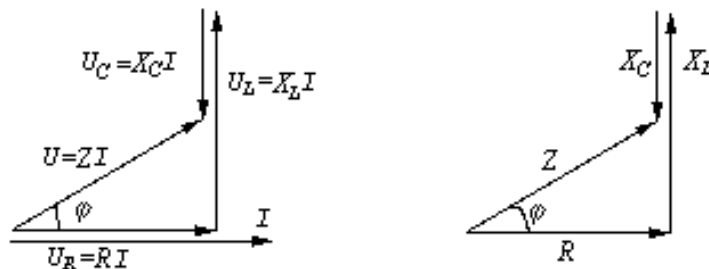
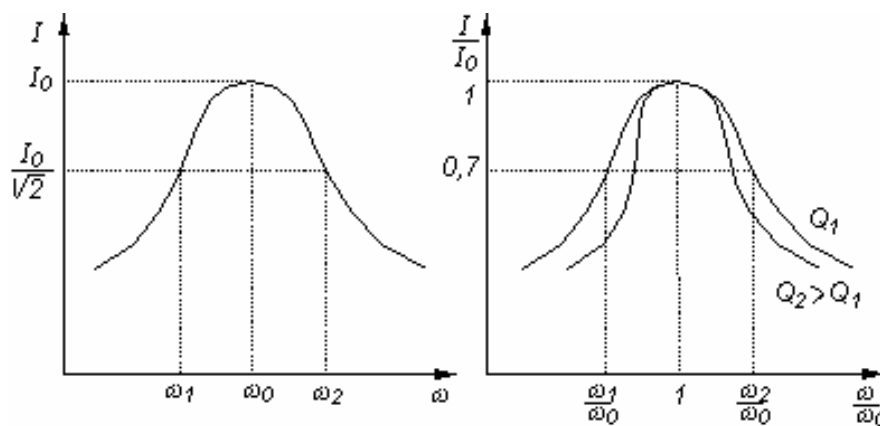


Рис.1. Векторная диаграмма и треугольник сопротивлений при последовательном соединении  $R, L, C$ .

Из выражения (1) следует, что величина тока зависит от угловой частоты  $\omega$ . При резонансной частоте  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  полное сопротивление цепи  $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$  оказывается минимальным и равным  $R$ , так как  $X_L^0 = \omega_0 L = X_C^0 = 1/\omega_0 C$ , т. е.  $X_L^0 - X_C^0 = 0$  - условие резонанса в последовательной цепи (резонанса напряжений). Соответственно при этом ток достигает максимального значения

$$I_0 = U/R = I_{\max}.$$

Зависимость  $I(\omega)$  называется резонансной кривой и имеет форму, приведенную на рис.2а.



а) б)  
Рис. 2. Резонансные кривые тока

Ширина резонансной кривой оценивается полосой пропускания. Полосой пропускания называется диапазон частот  $\omega_2 - \omega_1$ , для которого

$$I \geq \frac{I_0}{\sqrt{2}} = 0.707I_0.$$

Можно показать, что  $\omega_2 - \omega_1 = \omega_0/Q$ ,

$$Q = \frac{U_L^o}{U} = \frac{U_C^o}{U} = \frac{U_L^o}{U_R} = \frac{U_C^o}{U_R}$$

где  $Q$  - добротность цепи.

В приведенных выражениях индекс "О" указывает, что эти величины соответствуют режиму резонанса.

Резонансная кривая  $I(\omega)$  строится при изменении частоты, но при постоянном значении напряжения генератора (рис.3).

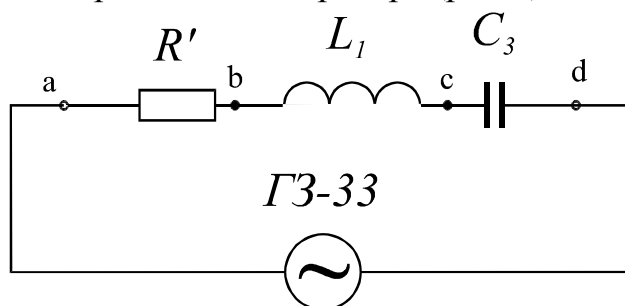


Рис. 3. Схема эксперимента

### 3. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

3.1. Изучить теоретические вопросы, связанные с резонансом в последовательной цепи синусоидального тока.

3.2. Подготовить бланк отчета.

#### 4. ПРОГРАММА РАБОТЫ

4.1. Собрать электрическую цепь для проведения эксперимента согласно рис.3.

4.2. Установить действующее значение напряжения источника питания  $U=10$  В.

4.3. Присоединить вольтметр к участку L, C цепи (точки b и d) и, изменяя частоту напряжения, добиться минимального показания вольтметра. Записать полученные резонансные частоты  $f_0$  и  $\omega_0=2\pi f_0$ .

4.4. При частоте  $f_0$  измерить  $U_{R'}^0$ ,  $U_{L1}^0$  и  $U_{C3}^0$  и записать в таблицу. Сделать вывод о соотношении напряжений при резонансе.

4.5. Повторить измерения  $U_{R'}$ ,  $U_{L1}$  и  $U_{C3}$  при частотах, отличных от резонансной (по 5 значений ниже и выше резонансной частоты). Результаты записать в таблицу.

4.6. По результатам п.4.4 вычислить величину резонансного тока  $I_0$ , добротность Q и полосу пропускания  $\omega_2 - \omega_1$ .

4.7. По результатам п.4.5 вычислить токи в цепи при частотах, отличных от резонансной. Результаты занести в таблицу.

4.8. Построить график резонансной кривой тока и определить по нему ширину полосы пропускания. Сравнить результат с полученным в п.4.6.

4.9. Заменить  $R'$  в схеме рис.3 на любое другое из сопротивлений, отличающихся от  $R'$  в 2-3 раза, и провести измерения  $U_R$ ,  $U_L$ ,  $U_C$  и  $U_{LC}$  при напряжении источника питания  $U = 10$  В. Данные для различных частот занести в таблицу.

4.10. Вычислить токи для всех частот по данным п.4.9.

4.11. Построить резонансные кривые тока (на одном графике) в относительных единицах  $I/I_0$  и  $\omega/\omega_0$  по данным таблицы для цепи с  $R'$  и для цепи с другим значением R (рис.3.б).

Наименование величин	Частота напряжения генератора, f , кГц										
	0,1 $f_0$	0,2 $f_0$	0,4 $f_0$	0,6 $f_0$	0,8 $f_0$	$f_0$	1,4 $f_0$	1,8 $f_0$	2,2 $f_0$	2,6 $f_0$	$3f_0$
При $R'$ в цепи											
$U_R, В$											
$U_L, В$											
$U_C, В$											
$U_{LC}, В$											

Продолжение таблицы

Вычисл. Ток $I=U_{R'}/R'$											
При другом сопротивлении $R=$											
$U_R, В$											
$U_L, В$											
$U_C, В$											
$U_{LC}, В$											
Вычисл. ток $I=U_R/R$											

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать цель работы, схемы эксперимента, таблицу с результатами измерений и вычислений, графики резонансных кривых и выводы по работе.

## 6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 6.1. Что понимают под добротностью последовательной цепи  $R,L,C$ ?
- 6.2. При каком условии возникает резонанс в последовательной цепи  $R,L,C$ ?
- 6.3. Что такое полоса пропускания последовательной цепи?
- 6.4. Как определить полосу пропускания по графику резонансной кривой?
- 6.5. В чем проявляются избирательные свойства цепи  $R,L,C$ ?
- 6.6. Опишите энергетическую сторону явления резонанса.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИНДУКТИВНО-СВЯЗАННЫХ КАТУШЕК

### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

2.1. Две катушки называются индуктивно-связанными, если магнитное поле, возникающее при протекании тока по одной из них, одновременно пронизывает витки второй катушки.

На лабораторном стенде имеются индуктивно-связанные катушки  $L_3$  и  $L_4$ . Пропустим ток  $i_3$  по катушке  $L_3$ . Тогда часть возникшего магнитного потока, равная  $\Phi_{34}$ , будет пронизывать витки катушки  $L_4$ . Взаимной индуктивностью называется величина

$$M_{34} = \frac{w_4 \Phi_{34}}{i_3}$$

где  $w_4$  - число витков катушки  $L_4$ .

Аналогичный опыт можно провести, пропустив ток  $i_4$  по катушке  $L_4$ . При этом витки катушки  $L_3$  будут пронизывать магнитный поток  $\Phi_{43}$ , а взаимную индуктивность можно будет определить по формуле:

$$M_{43} = \frac{w_3 \Phi_{43}}{i_4} .$$

Можно показать, что в обоих случаях будут получены одинаковые результаты, т.е.  $M_{34} = M_{43} = M$ . Величина

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_3 \cdot L_4}}$$

называется коэффициентом индуктивной связи катушек  $L_3$  и  $L_4$ . Этот коэффициент всегда меньше единицы.

2.2. Если по катушке  $L_3$  протекает переменный ток  $i$ , то на ней возникает напряжение самоиндукции

$$u_{L3} = L_3 \frac{di}{dt} ,$$

а на катушке  $L_4$  - напряжение взаимоиндукции

$$u_M = M \frac{di}{dt} .$$

Для синусоидальных величин эти соотношения можно выразить в комплексной форме:

$$\underline{U}_{L3} = j\omega L_3 \underline{I} ; \quad \underline{U}_M = j\omega M \underline{I} ,$$

что позволяет экспериментально определить величины индуктивности и взаимной индуктивности:

$$\omega = 2\pi f; \quad I = \frac{U_R}{R}; \quad X_{L3} = \frac{U_{L3}}{I}; \quad L_3 = \frac{X_{L3}}{\omega}; \quad X_M = \frac{U_M}{I}; \quad M = \frac{X_M}{\omega}.$$

Эксперимент проводится по схеме рис.1,а. Аналогично определяются соответствующие величины по схеме рис.1,б.

2.3. Направление напряжения взаимоиндукции  $U_M$  связано с направлением тока, который вызывает это напряжение. Назовем зажим, через который ток входит в катушку  $L_3$  (рис.1,а), "началом" этой катушки и отметим точкой ("•"). Тогда напряжение в катушке  $L_4$  также будет направлено от ее "начала" к ее "концу". Чтобы найти начало катушки  $L_3$ , нужно сравнить направление напряжения в ней с направлением напряжения в катушке  $L_4$ .

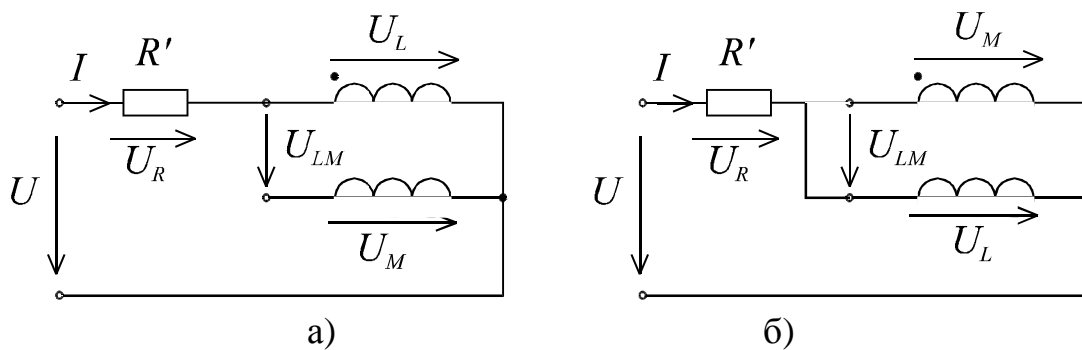


Рис.1. Схемы для определения собственных и взаимных индуктивностей, а также одноименных зажимов.

Для этого соединим между собой два зажима катушек  $L_3$  и  $L_4$  и измерим напряжения  $U_L$ ,  $U_M$ ,  $U_{LM}$ . Если окажется, что  $U_{LM} = U_L + U_M$ , то это означает, что конец катушки  $L_3$  присоединен к началу катушки  $L_4$ . Если же  $U_{LM} = U_L - U_M$ , то катушки соединены своими концами.

Начала катушек (или их концы) часто называют одноименными зажимами.

2.4. Катушки  $L_3$  и  $L_4$  можно последовательно соединить двумя способами, показанными на рис.2. При согласном соединении (рис.2,а) напряжения самоиндукции  $\underline{U}_{L3} = j\omega L_3 \underline{I}$ ;  $\underline{U}_{L4} = j\omega L_4 \underline{I}$ , а также напряжения взаимоиндукции  $\underline{U}_M = j\omega M \underline{I}$  в обеих катушках направлены в одну сторону, поэтому  $\underline{U}_L = j\omega(L_3 + L_4 + 2M) = j\omega L_C \underline{I}$ , где

$$L_C = L_3 + L_4 + 2M \quad (1)$$

- индуктивность при согласном соединении катушек.

При встречном соединении напряжения взаимоиндукции в обеих катушках направлены встречно напряжениям  $U_{L3}$  и  $U_{L4}$ . Следовательно, индуктивность при встречном соединении

$$L_B = L_3 + L_4 - 2M \quad (2)$$

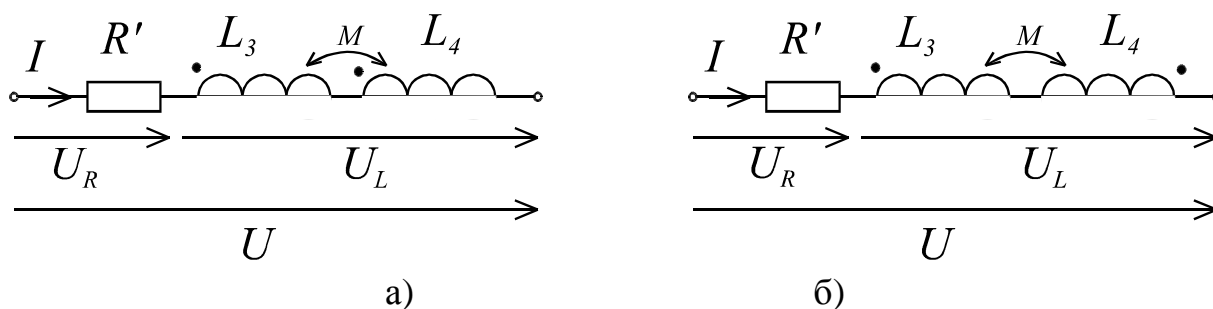


Рис.2 Согласно и встречное соединения катушек.

### 3. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

3.1. Внимательно ознакомиться с основами теории.



3.2. Подготовить схемы и таблицы для записи результатов эксперимента.

### 4. ПРОГРАММА РАБОТЫ.

4.1. Собрать цепь по схеме рис.1.а, приняв за начало катушки зажим, которым она присоединена к резистору R'. Обозначить этот зажим точкой в таблице 1.

4.2. При частоте  $f = 5$  кГц и напряжении  $U = 10$  В измерить и внести в таблицу 1 напряжения  $U_R$ ,  $U_M$ ,  $U_L$ ,  $U_{LM}$ .

Таблица 1

$f = 5$ кГц	$U$ В	$U_R$ В	$U_L$ В	$U_M$ В	$U_{LM}$ В	$I$ А	$X_L$ Ом	$X_M$ Ом	$L$ Гн	$M$ Гн	$K$ —	Одноименные зажимы
Схема I.а	10											• —  — $L_3$
Схема I.б	10											—  — $L_4$

4.3. По результатам измерений вычислить остальные величины, указанные в таблице, а также обозначить точкой начало катушки  $L_4$ .

4.4. Собрать цепь по схеме рис.1,б.

4.5. Повторить измерения и вычисления, указанные в п.п.4.3 и 4.4. Проверить правильность определения начал катушек  $L_3$  и  $L_4$ .

4.6. Собрать цепь по схеме рис 2,а, измерить и вычислить значения величин, указанных в таблице 2.

4.7. Собрать цепь по схеме рис. 2,б, повторить измерения и вычисления величин, указанных в таблице 2.

4.8. Вычислить и внести в таблицу 2 значения  $L_C$  и  $L_B$  по формулам (1) и (2). Сравнить эти значения с величинами индуктивностей, полученными в п.п. 4.5 и 4.6.



Таблица 2

$f = 5$ кГц	$U,$ В	$U_R,$ В	$U_L,$ В	$I,$ А	$X_L,$ Ом	$L,$ Гн	$L_C,$ Гн	$L_B,$ Гн
Схема 2, а								—
Схема 2, б							—	

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.

Отчет должен содержать цель работы, схемы экспериментов, таблицы результатов, выводы.

## 6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

6.1. Какие катушки называются индуктивно-связанными?

6.2. Что такое взаимная индуктивность?

6.3. Как определяются начала и концы индуктивно-связанных катушек?

6.4. Что такое коэффициент индуктивной связи и почему он не может быть больше единицы?

6.5. Что такое согласное и встречное соединения индуктивно-связанных катушек?

6.6. В какой из цепей, показанных на рис.2, будет протекать больший ток, если к обеим цепям приложить одинаковые напряжения?

6.7. Какова связь между направлениями токов и напряжений взаимной индукции в индуктивно-связанных катушках?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Основы теории цепей / Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхов.- М.: Энергоатомиздат, 1989.-528 с.
- 2.Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи.- М.: Высшая школа, 1978.-528 с.
- 3.Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. Ч.1. Линейные электрические цепи .- М.: Энергия, 1978.-592 с.
- 4.Теоретические основы электротехники. Ч.2 и 3. Нелинейные электрические цепи. Электромагнитное поле. /Г.И. Атабеков, С.Д. Купалян, А.Б. Тимофеев, С.С. Хухриков. - М.:Энергия, 1979.-432с.
- 5.Нейман Л.Р., Демирчан К.С. Теоретические основы электротехники. - Л.: Энергоиздат,1961. Т.1-536 с.; Т.2 - 416 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
Общие требования к выполнению лабораторных работ .....	3
Лабораторная работа №1. Исследование разветвленной линейной электрической цепи постоянного тока .....	4
Лабораторная работа №2. Исследование активного двухполюсника постоянного тока .....	8
Лабораторная работа №3. Индуктивный элемент в цепи синусоидального тока .....	11
Лабораторная работа №4. Емкостный элемент в цепи синусоидального тока .....	15
Лабораторная работа №5. Исследование последовательной цепи синусоидального тока .....	18
Лабораторная работа №6. Исследование параллельной цепи синусоидального тока .....	22
Лабораторная работа №7. Исследование явления резонанса в последовательной цепи синусоидального тока .....	26
Лабораторная работа №8 . Исследование индуктивно – связанных катушек .....	30
Библиографический список .....	34

Рассмотрено на заседании  
кафедры ЭиЭО

Нормоконтролёр, ответственный  
за стандартизацию на кафедре

Протокол № \_\_\_\_ от “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2000г.

\_\_\_\_\_ В.М. Глазов

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Б.В. Сухинин