

Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана

Журнал лабораторных работ по курсу  
«Электротехника и электроника»  
(раздел «Линейные электрические цепи»)

Выполнил студент\_\_\_\_\_

Группа\_\_\_\_\_

Дата\_\_\_\_\_

Москва  
Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана  
2010

УДК 621.3

ББК 31.2

Ж92

Рецензент *А. В. Смирнов*

**Журнал лабораторных работ по курсу «Электротехника и электроника» (раздел «Линейные электрические цепи»)**  
Ж92 / Л. А. Сперанская, В. В. Лаврентьев, В. И. Волченсков и др.  
– М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. – 16, [4] с. : ил.

Журнал содержит задания и порядок выполнения лабораторных работ № 1 и 3 по разделу «Линейные электрические цепи», электрические схемы исследуемых устройств, таблицы для записи экспериментальных и расчетных данных, размерные сетки и свободное место для построения необходимых графиков зависимостей и векторных диаграмм соответственно.

Для студентов 2-го и 3-го курсов машиностроительных специальностей факультетов МТ, РК, СМ, Э, АК, ФН, ИБМ, РКТ.

УДК 621.3

ББК 31.2

## **Лабораторная работа № 1**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

#### **Цель работы:**

- исследовать режимы работы линейной электрической цепи постоянного тока;
- экспериментально определить внешнюю характеристику источника электрической энергии и рассчитать параметры его схемы замещения;
- оценить влияние параметров элементов цепи на энергетические соотношения при различных режимах работы электрической цепи;
- ознакомиться с электроизмерительными приборами в цепях постоянного тока.

#### **Описание лабораторного стенда**

Лабораторная работа выполняется на универсальном лабораторном стенде.

Электрическая схема содержит:

$E1$  — нерегулируемый источник напряжения с ЭДС  $E1$ ;

$E2$ ,  $E3$  — регулируемые источники напряжения с ЭДС  $E2$  и  $E3$ , значения которых изменяют лабораторным автотрансформатором (ЛАТРом)  $T1$ ;

$T1$  — лабораторный автотрансформатор (ЛАТР), расположенный на стенде слева внизу. Напряжение регулируют двумя галетными переключателями (расположены на стенде справа внизу): левый переключатель позволяет регулировать напряжение от 0 до 210 В с шагом  $\Delta U = 10$  В, правый — от 0 до 10 В с шагом  $\Delta U = 1$  В;

*S42* — выключатель ЛАТРа, обеспечивающий регулирование напряжения левым галетным переключателем в нижнем положении — от 0 до 100 В против хода часовой стрелки (синяя шкала), в верхнем положении — от 110 В до 210 В по ходу часовой стрелки (красная шкала);

*S45* — выключатель ЛАТРа (включен — вверх, выключен — вниз);

*S2* — выключатель источника *E1* (включен — влево, выключен — вправо);

*S3* — выключатель источника *E2* (включен — вправо, выключен — влево);

*S4* — выключатель источника *E3* (включен — вверх, выключен — вниз);

«+»/«-» — переключатель полярности амперметров *A1* и *A2*;

*A1*, *A2* — амперметры магнитоэлектрической системы;

*V1*, *V2* — вольтметры магнитоэлектрической системы, имеющие шкалу с номинальным напряжением 100 В (под ними имеются переключатели, позволяющие выбирать номинальное напряжение 100 или 50 В, соответственно изменяется цена деления шкалы прибора);

*R1...R7* — резисторы;

*R17* — резистор, регулируемый двумя галетными переключателями (в работе использовать левый переключатель с диапазоном от 100 Ом до нуля с шагом  $\Delta R = 10 \text{ Ом}$ );

*S1* — общий выключатель электропитания стенда (включен — вверх, выключен — вниз).

## Задания и порядок выполнения работы

**Задание 1.** Исследовать неразветвленную электрическую цепь с одним источником энергии (рис. 1).

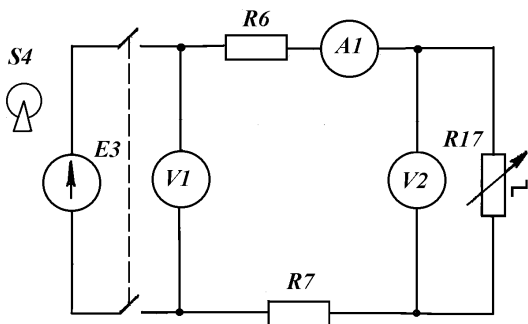
Для выполнения задания необходимо следующее.

1. Выбрать на стенде схему с одним источником постоянного напряжения *E3*.

2. Убедиться, что стенд обесточен (*S1* выключен) и все выключатели (*S2*, *S3*, *S4*, *S45*) находятся в положении «выключено».

3. Присоединить вольтметр *V1* параллельно источнику *E3*.

4. Установить выключатель *S42* в положение, при котором напряжение на выходе ЛАТРа регулируется от 0 до 100 В (вниз), и



**Рис. 1**

убедиться, что ручки галетных переключателей находятся в нулевом положении.

5. Включить  $S1$  (перевести его в верхнее положение).

6. Включить  $S45$  и  $S4$  и установить на источнике  $E3$  напряжение  $U = 20$  В.

7. Выключить  $S4$ .

8. Собрать электрическую схему (см. рис. 1) и предъявить для проверки преподавателю.

9. Для вольтметров  $V1$  и  $V2$  установить диапазон измерений 50 В, сопротивление резистора  $R17$  установить равным 100 Ом.

10. Включить  $S4$  и снять экспериментально внешнюю характеристику источника  $E3$ , дискретно изменяя сопротивление на резисторе  $R17$  в сторону уменьшения, начиная со 100 Ом, что будет сопровождаться увеличением тока. При этом показания амперметра  $A1$  не должны превышать 0,3 А! Результаты измерений занести в табл. 1.

Закончив измерения, стенд обесточить (все выключатели вернуть в исходное положение).

11. По результатам опытов (см. табл. 1) рассчитать мощность  $P$ , выделяемую на резисторе  $R17$ , для каждого значения тока. Полученное записать в табл. 1. Зафиксировать наличие экстремума мощности при определенном значении тока, что указывает на достижение согласованного режима работы источника питания с нагрузкой.

Построить внешнюю характеристику источника  $E3$   $U_1 = f(I)$  с внутренним сопротивлением  $R_{03}$  и характеристику  $U_2 = f(I)$

Таблица 1

$R_{17}, \text{Ом}$	$AI, \text{А}$	$VI, \text{В}$	$V2, \text{В}$	$P = IU2, \text{Вт}$
—	0			
100				
80				
60				
40				
20				

с искусственно увеличенным внутренним сопротивлением  $R_0 = R_{03} + R6 + R7$ , а также график зависимости  $P = f(I)$  в одних осях координат (рис. 2).

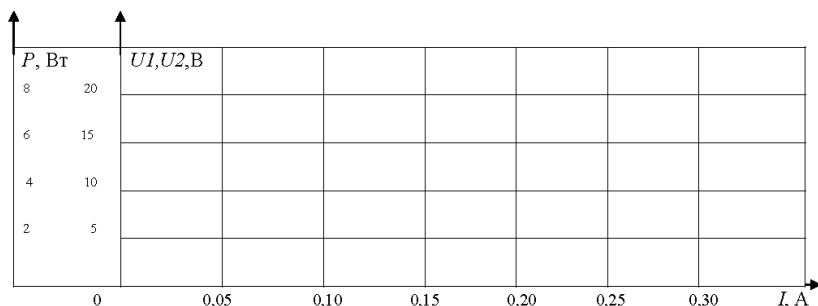


Рис. 2

12. Определить по результатам проведенных исследований:
  - а) параметры  $E3$  и  $R_{03}$ ;
  - б) суммарное значение сопротивлений резисторов  $R6 + R7$ ;
  - в) значение сопротивления резистора  $R_{17}$ , при котором на нем выделяется максимальная мощность  $P_{\max}$  (согласованный режим);
  - г) значение КПД источника  $\eta$  при согласованном режиме работы, приняв за внутреннее сопротивление источника  $R_0 = R_{03} + R6 + R7$ , а за нагрузку — резистор  $R_{17}$ .
13. Занести результаты вычислений п. 12 в табл. 2.
14. Записать уравнение баланса мощностей.

15. Рассчитать мощность источника  $P_{\text{и}}$  и сумму мощностей потребителей  $P_{\text{п}}$ . Результаты вычислений занести в табл. 2.

Таблица 2

$E3, \text{В}$	$R_{03}, \text{Ом}$	$(R6 + R7), \text{Ом}$	$R17, \text{Ом}$	$\eta$	$P_{\text{и}}, \text{Вт}$	$P_{\text{п}}, \text{Вт}$

*Примечание.* Для выполнения расчетов использовать закон Ома, Первый и Второй законы Кирхгофа, а также уравнение баланса мощности в общем виде

$$\sum_{\rightarrow} E \cdot I + \sum_{\rightarrow \leftarrow} U \cdot I = \sum I_i^2 \cdot R_i + \sum_{\rightarrow \leftarrow} E \cdot I + \sum_{\rightarrow \rightarrow} U \cdot I.$$

**Задание 2.** Исследовать разветвленную электрическую цепь с двумя источниками энергии  $E1$  и  $E2$ .

Порядок выполнения задания.

1. Выбрать на стенде электрическую схему с двумя источниками  $E1$  и  $E2$ .

2. Измерить величину ЭДС источника  $E1$ . Для этого: подключить вольтметр  $V1$  параллельно источнику  $E1$ , включить питание стенда переключателем  $S1$ , переключатель  $S2$  поставить в положение 1. Результаты измерения занести в табл. 3. Установить ручки галетных переключателей ЛАТРа в нулевое положение. Выключить  $S1$ .

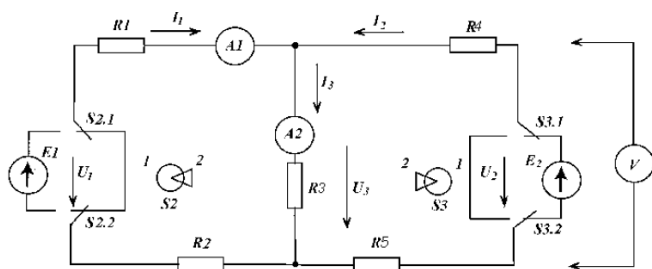
Таблица 3

Измерено					Вычислено
$E1, \text{В}$	$E2, \text{В}$	$U3, \text{В}$	$I1, \text{А}$	$I3, \text{А}$	$I2, \text{А}$

3. Установить на источнике  $E2$  напряжение, равное  $E1$ . Для этого: а) подключить вольтметр  $V1$  параллельно  $E2$ ; б) установить  $S3$  в положение 1; в) включить  $S1$  и  $S45$  и галетными переключателями установить на источнике  $E2$  напряжение, равное  $E1$ ; г) выключить  $S1$ ; д) отсоединить вольтметр  $V1$  от источника  $E2$ .

4. Собрать электрическую схему рис.3 и обязательно предъявить ее для проверки преподавателю.

5. Подключить вольтметр  $V1$  параллельно ветви с резистором  $R3$  и поставить  $S2$  и  $S3$  в положение 1.



**Рис. 3**

6. Включить  $S1$  и записать показания приборов, измеряющих токи  $I1$  и  $I3$ , а также напряжение  $U3$  в табл. 3.

7. Выключить  $S1$ .

8. Рассчитать значение тока  $I2$  и занести его в табл. 3.

9. Рассчитать по данным табл. 3 значения сопротивлений, указанных в табл. 4.

*Таблица 4*

$R_{01} + R1 + R2$ , Ом	$R3$ , Ом	$R_{02} + R4 + R5$ , Ом	$P_{и}$ , Вт	$P_{п}$ , Вт

10. Составить уравнение баланса мощности для исследованной цепи, используя данные измерений и вычислений из табл. 3 и 4. Рассчитать мощность источников  $P_{и}$  и потребителей  $P_{п}$ . Результаты занести в табл. 4.

После выполнения всех расчетов результаты показать преподавателю и, получив его разрешение, разобрать схему.

**Задание 3.** Записать в табл. 5 данные электроизмерительных приборов  $A1$ ,  $V1$  и рассчитать их абсолютные погрешности измерений  $\Delta A$ .

*Таблица 5*

Прибор	Обозначение прибора в схеме	Номинальное значение	Цена деления шкалы	Система прибора	Класс точности	Абсолютная погрешность



## **Лабораторная работа № 3**

# **ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА**

### **Цель работы:**

- изучение основных свойств, законов и режимов работы линейных электрических цепей синусоидального тока;
- экспериментальное определение значений параметров элементов электрической цепи, изучение их влияния на режим ее работы;
- экспериментальное исследование режимов резонанса напряжений и токов;
- изучение методов построения векторных диаграмм напряжений и токов;
- изучение электроизмерительных приборов электромагнитной и электродинамической систем.

### **Описание лабораторной установки**

Стенд содержит нижеперечисленные элементы:

ЛАТР,  $T1$  — регулируемый источник синусоидального напряжения от 0 до 210 В частотой 50 Гц;

$S42$  — выключатель источника  $T1$ :

а) при положении вниз позволяет регулировать напряжение от 0 до 100 В поворотом левого галетного переключателя против хода часовой стрелки;

б) при положении вверх — от 110 до 210 В поворотом левого галетного переключателя по ходу часовой стрелки.

Правый переключатель позволяет плавно регулировать напряжение от 0 до 10 В;

$S45$  — выключатель источника  $T1$ , обеспечивающий его включение (вверх) и выключение (вниз).

**ВНИМАНИЕ!** Включение источника производить, убедившись, что переключатели напряжения находятся в положении «0»;

$C1$  — батарея конденсаторов, соединенных параллельно. Емкость конденсаторов указана в мкФ;

$S17...S27$  — выключатели в батарее конденсаторов (ВКЛ — вверх);

$A3, A4, A5, A6$  — амперметры электромагнитной системы, номинальные величины которых зависят от положения переключателей под приборами (0,1 А; 0,5 А; 1 А);

$V3, V4, V5$  — вольтметры электромагнитной системы, номинальные величины которых зависят от положения переключателей под приборами (75 В, 250 В);

$W1/W2$  — ваттметр электродинамической системы, номинальная величина прибора при нажатой кнопке 75 Вт, при отжатой кнопке — 150 Вт;

$L2$  — катушка индуктивности (переключатель под катушкой индуктивности должен находиться в положении 2 — катушка с сердечником с зазором);

$S12$  — выключатель, обеспечивающий подачу напряжения от источника  $T1$ .

## **Задания и порядок выполнения работы**

**Задание 1.** Исследовать свойства линейной электрической цепи синусоидального тока при последовательном соединении катушки индуктивности  $L2$  и батареи конденсаторов  $C1$ . Исследовать резонанс напряжений.

Для выполнения задания необходимо следующее.

1. Собрать с помощью проводов электрическую схему (рис. 1). Предъявить схему для проверки преподавателю.

2. Поставить выключатель  $S42$  в положение, при котором напряжение регулируется от 0 до 100 В (вниз). Регуляторы напряжения установить в нулевое положение. Выключатели батареи конденсаторов  $C1$  поставить в положение «выключено» (вниз).

3. Переключатели под амперметрами включить на 0,5 А, переключатели под вольтметрами — на 250 В. Определить цену деления приборов. Если измеряемые величины меньше значения первого оцифрованного деления, воспользоваться более точной шкалой измерения, цену деления пересчитать.

4. Включить выключатели  $S1, S45$  и  $S12$ , плавно увеличивать напряжение галетными переключателями ЛАТРа от 0 до 24 В.

5. Изменяя емкость батареи конденсаторов  $C1$ , установить в цепи резонанс напряжений, которому соответствует максимальное значение общего тока  $I$ , измеряемое амперметром  $A6$ , но не более

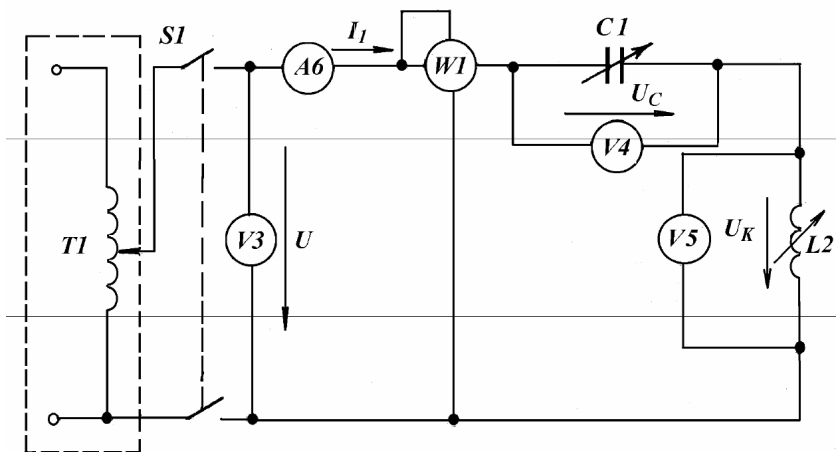


Рис. 1

0,5 А. Если при резонансе значение тока меньше 0,4 А, то можно увеличить напряжение до 30 В (не более).

6. Точность настройки на резонанс проверить по коэффициенту мощности  $\cos \varphi = \frac{P}{UI}$ , определив цену деления ваттметра. Результаты всех измерений по п. 5 ( $U$ ,  $I$ ,  $U_K$ ,  $U_C$ ,  $P$ ) занести в табл. 1 в строку  $C = C_{\text{рез}}$ .

Таблица 1

Значения $C$ , мкФ		Измерено					Вычислено			
		$U$ , В	$I$ , А	$U_K$ , В	$U_C$ , В	$P$ , Вт	$S$ , ВА	$Z$ , Ом	$X_C$ , Ом	$\cos \varphi$
$C < C_{\text{рез}}$										
$C = C_{\text{рез}}$										
$C > C_{\text{рез}}$										

7. Провести аналогичные измерения для трех значений  $C < C_{\text{рез}}$  и трех значений  $C > C_{\text{рез}}$ , напряжение поддерживать постоянным. Результаты измерений занести в табл. 1.

8. Вычислить  $S$ ,  $Z$ ,  $X_C$ ,  $\cos \varphi$  по результатам измерений пп. 5 и 7 и занести их в табл. 1.

9. Для цепи, находящейся в состоянии резонанса ( $C = C_{\text{рез}}$ ), произвести необходимые вычисления параметров, указанных в табл. 2. Результаты вычислений занести в табл. 2.

Таблица 2

Вычислено при $C = C_{\text{рез}} =$												
$R = R_K$	$Z_K$	$X_L$	$L$	$\cos \varphi_K$	$\varphi_K$	$S_K$	$Q_L$	$X$	$X_C$	$C$	$Q_C$	$\cos \varphi_C$
Ом	Ом	Гн	Гн	–	град	ВА	ВАр	Ом	Ом	мкФ	ВАр	–

10. Построить по результатам проведенных измерений и вычислений (табл. 1) графики зависимостей:

1)  $Z(X_C)$ ,  $I(X_C)$ ,  $\cos \varphi(X_C)$  в общих осях координат (рис. 2);

2)  $P(X_C)$ ,  $S(X_C)$  в общих осях координат (рис. 3).

11. Сделать вывод о том, как зависит характер изменения величин  $Z$ ,  $I$ ,  $\cos \varphi$ ,  $P$  и  $S$  от емкостного сопротивления конденсатора  $X_C$ .

Выводы: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

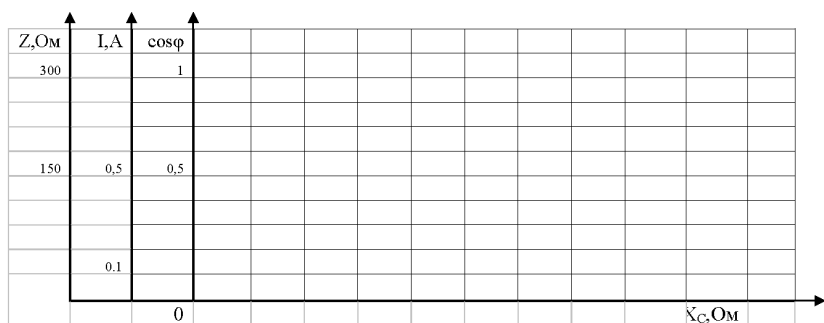
12. Построить векторные диаграммы цепи в масштабе для трех случаев  $C < C_{\text{рез}}$ ,  $C = C_{\text{рез}}$ ,  $C > C_{\text{рез}}$ , пояснив их уравнением, составленным по второму закону Кирхгофа.

13. Определить характер эквивалентной нагрузки цепи в каждом случае и указать его под каждой векторной диаграммой (рис. 4).

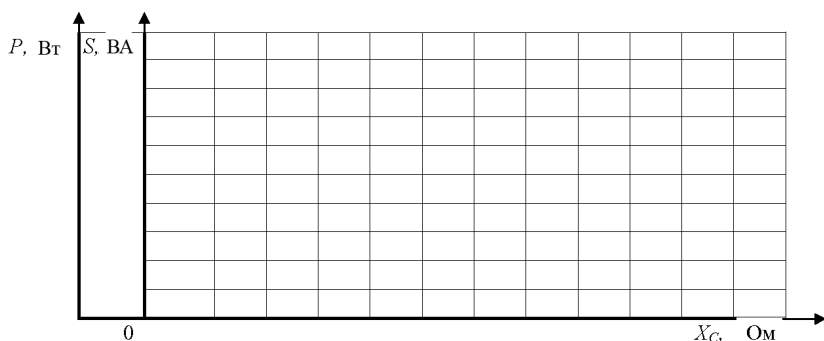
**Задание 2.** Исследовать свойства линейной электрической цепи синусоидального тока при параллельном соединении катушки индуктивности и батареи конденсаторов  $C1$ . Исследовать резонанс токов.

Порядок выполнения задания.

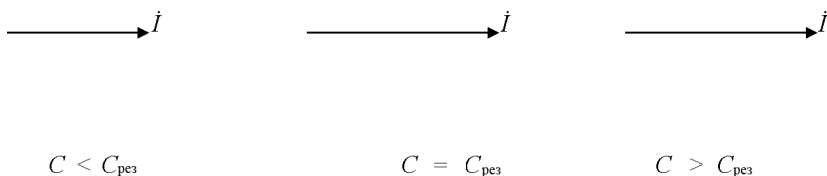
1. Собрать электрическую схему (рис. 5) и предъявить ее для проверки преподавателю.



**Рис. 2**



**Рис. 3**



**Рис. 4**

2. Включить выключатели  $S1$ ,  $S45$  и  $S12$ , галетным переключателем ЛАТРа установить напряжение  $U = 60$  В. Перед включением убедиться, что переключатели ЛАТРа находятся на нуле, а выключатели батареи конденсаторов — в положении «выключено» (вниз).

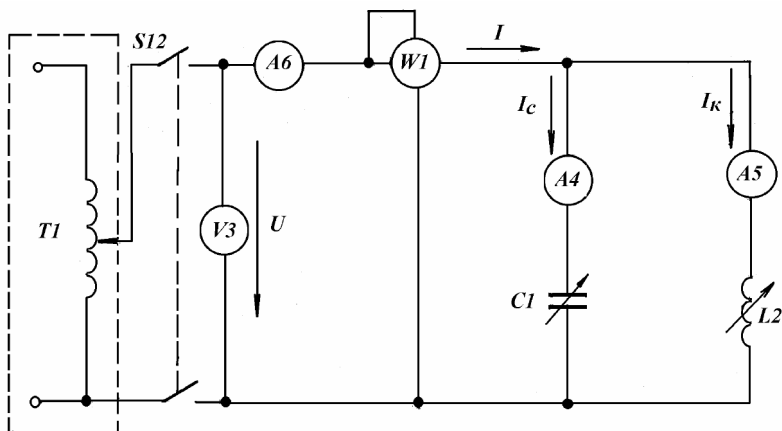


Рис. 5

3. Измерить и записать в табл. 3 при отключенной батарее конденсаторов значения напряжения  $U$ , тока  $I$  и активной мощности  $P$  для катушки индуктивности  $L2$ . Ток через катушку индуктивности не должен превышать 0,5 А. Вычислить параметры катушки и записать их в табл. 3.

Таблица 3

Измерено			Вычислено							
$U$ , В	$I$ , А	$P$ , Вт	$Z$ , Ом	$R$ , Ом	$X_L$ , Ом	$L$ , Гн	$S$ , ВА	$Q$ , ВАр	$\cos \varphi_K$	$\varphi_K$ , град

4. Отключить источник  $T1$  (ЛАТР) выключателями  $S12$  и  $S45$ . Переключатели ЛАТРа поставить в нулевое положение.

5. Рассчитать, какую емкость необходимо включить параллельно катушке индуктивности  $L2$ , чтобы в цепи установить резонанс токов.

6. Выставить расчетное значение  $CI_{рез}$ , включить выключатели  $S12$  и  $S45$  и плавно увеличивать напряжение от 0 В до напряжения, при котором значение общего тока цепи (отслеживать по амперметру  $A6$ ) станет равным 0,15 А. Результаты измерений занести в табл. 4.

Таблица 4

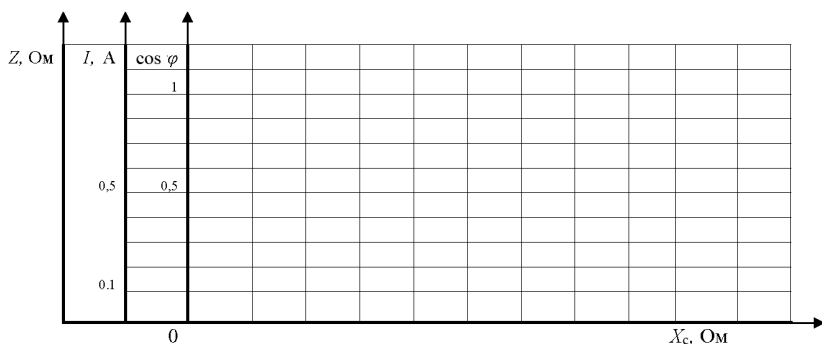
Значения $C$ , мкФ		Измерено					Вычислено			
		$U$ , В	$I$ , А	$I_K$ , А	$I_C$ , А	$P$ , Вт	$S$ , ВА	$Z$ , Ом	$X_C$ , Ом	$\cos \varphi$
$C < C_{рез}$										
$C = C_{рез}$										
$C > C_{рез}$										

7. Убедиться, что при резонансе токов общий ток цепи будет минимальным. Точность настройки на резонанс проверить расчетом  $\cos \varphi$  (значение  $\cos \varphi$  должно быть близко к 1).

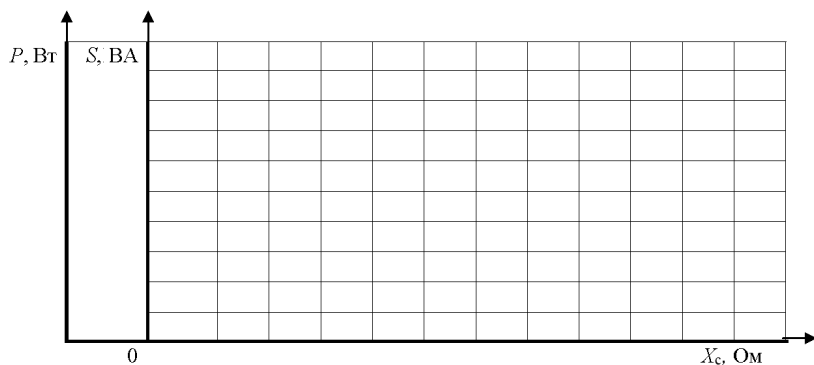
8. Произвести аналогичные измерения для трех случаев  $C < C_{рез}$  и трех случаев  $C > C_{рез}$  при постоянном напряжении, значения общего тока цепи не должны превышать 0,5 А. Результаты измерений и расчетов занести в табл. 4.

9. Построить по результатам проведенных измерений и вычислений (см. табл. 4) графики зависимостей:

- 1)  $Z(X_C), I(X_C), \cos \varphi(X_C)$  в общих осях координат (рис. 6);
- 2)  $P(X_C), S(X_C)$  в общих осях координат (рис. 7).



**Рис. 6**



**Рис. 7**

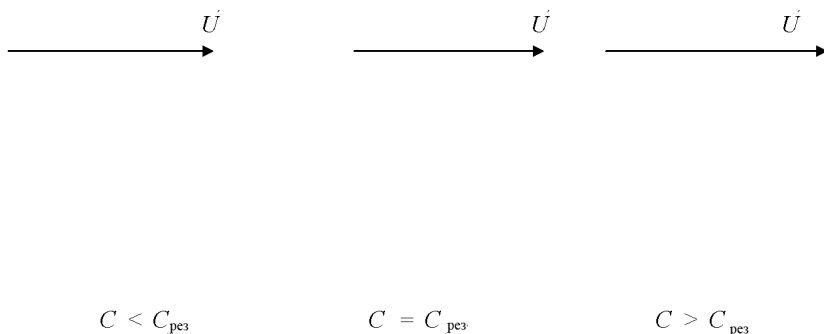
10. Сделать вывод о том, как зависит характер изменения величин  $Z$ ,  $I$ ,  $\cos \varphi$ ,  $P$  и  $S$  от емкостного сопротивления конденсатора  $X_C$ .

Выводы: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

11. Построить в масштабе векторные диаграммы для каждого случая, указав на них векторы токов и напряжений, а также угол сдвига фаз  $\varphi$  и характер нагрузки. Использовать данные произведенных измерений и расчетов.



12. Рядом с векторной диаграммой указать характер эквивалентной нагрузки (рис. 8).



**Рис. 8**

**Задание 3.** Ознакомиться с приборами, используемыми в работе. Определить систему прибора, номинальную величину, класс точности и рассчитать абсолютную погрешность измерений. Заполнить табл. 5.

*Таблица 5*

Наименование прибора	Условное обозначение	Система прибора	Номинальное значение	Класс точности	Относительная погрешность

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Борисов Ю.М., Липатов Д.Н., Зорин Ю.Н.* Электротехника. М.: Энергоатомиздат, 1985.
2. Электротехника и электроника: В 3 кн. Кн. 1 / В.Г. Герасимов, Э.В. Кузнецов, О.В. Николаева и др.; Под ред. В.Г. Герасимова. М.: Энергоатомиздат, 1996.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Лабораторная работа № 1 Исследование линейных электрических цепей постоянного тока .....	3
Лабораторная работа № 3 Исследование линейных электрических цепей синусоидального тока .....	9
Литература .....	18

*Учебное издание*

**Сперанская** Людмила Александровна

**Лаврентьев** Вадим Владимирович

**Волченсков** Валерий Иванович

**Корниенко** Анатолий Николаевич

**Маханьков** Виктор Васильевич

**Зорин** Юрий Николаевич

**Журнал лабораторных работ по курсу  
«Электротехника и электроника»  
(раздел «Линейные электрические цепи»)**

Редактор *Е.К. Кошелева*

Корректор *М.А. Василевская*

Компьютерная верстка *В.И. Товстоногов*

Подписано в печать 01.12.2009. Формат 60×84/16.

Усл. печ. л. 1,25. Тираж 1500 экз. Изд. № 55.

Заказ

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Типография МГТУ им. Н.Э. Баумана.

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5.