

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
МОРСКОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра электротехники
и электрооборудования судов

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ
ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ И ОСНОВАМ ЭЛЕКТРОНИКИ

Методические указания

Санкт-Петербург
1995

Методические указания предназначены для студентов дневных, заочного и вечернего факультетов, изучающих курсы "Электротехника и основы электроники" и "Теоретические основы электротехники". Каждому курсу соответствует свой перечень лабораторных работ, указываемый преподавателем.

Для стимулирования самостоятельной работы студентов и, следовательно, лучшего качества усвоения изучаемого материала лабораторные работы (за исключением работ 1) строятся по схеме расчет - эксперимент; лабораторным работам предшествуют расчетные задания (индивидуальные для каждого студента), результаты которых экспериментально проверяются студентами в лаборатории. Этой же цели служат контрольные вопросы и задачи, соответствующие теме работы. Для усвоения теоретического материала рекомендуются комплект лекций и литература, приведенная в конце.

ВИЛЕСОВ

Дмитрий Васильевич

КИРЕЕВ

Юрий Никитович

ПАВЛОВА

Людмила Павловна

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ И ОСНОВАМ ЭЛЕКТРОНИКИ

Методические указания



СПбГМУ,
1995

Ответственный редактор д-р техн. наук,

проф. Ю. Н. Киреев

Редактор Т. А. Канн

Типография СПбГМУ. 13.10.1995.

Зак. 138
Тир. 500. Уч.-изд. л. 4,0.

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. При работе в лаборатории кафедр электротехники и электрооборудования судов во избежание несчастных случаев и преждевременного выхода из строя приборов и электрооборудования каждый студент должен строго выполнять следующие правила техники безопасности:

- ознакомиться с правилами внутреннего распорядка и правилами техники безопасности при работе в лаборатории;
- строго выполнять правила техники безопасности и требовать неуклонного выполнения их от своих товарищей;
- расписаться в соответствующем журнале после получения краткого инструктажа по технике безопасности, ознакомления с правилами внутреннего распорядка и краткого опроса.

2. При работе в лаборатории категорически запрещается:

- приносить с собой лишние вещи (портфели, пальто и другие предметы), которые загромождают рабочие места и затрудняют выполнение лабораторных работ;

- громко разговаривать, покидать без разрешения рабочие места и переходить без надобности от одного стенда к другому.

3. Следует помнить, что в ряде случаев внешний вид (неаккуратно направленная одежда, небрежная прическа и пр.) может вызвать злостительные предположения, могущие привести к несчастным случаям.

4. Преподаватель распределяет студентов по группам и закрепляет за каждой из них лабораторный стенд.

5. Сборка рабочей электрической схемы должна производиться при включенном напряжении питания в строгом соответствии со схемой, представленной в методических указаниях. При сборке необходимо следить за тем, чтобы соединительные провода не натягивались, не перегибались и не скручивались.

6. Собранную схему необходимо предъявлять для проверки решущему занятию преподавателю или дежурному лаборанту.

лизовать пострадавшего от частей, находящихся под напряжением.

18. При потере сознания и отсутствии дыхания необходимо немедленно освободить пострадавшего от стесняющей его одежды и сделать искусственное дыхание до прибытия врача.

Лабораторная работа 1. ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ РЕЗИСТОРА, КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ И КОНДЕНСАТОРА

Цель работы: изучение трех основных элементов электрических цепей - резистора, катушки индуктивности и конденсатора; приобретение навыков снятия вольт-амперных характеристик и определения параметров элементов электрических цепей переменного тока.

Снятие вольт-амперных характеристик

В данной лабораторной работе резистор, катушка индуктивности (без ферромагнитного сердечника) и конденсатор исследуются только при синусоидальных напряжениях и токах. В этих условиях вольт-амперная характеристика элемента электрической цепи есть зависимость между действующим значением напряжения, подаваемого на элемент, и действующим значением тока, потребляемого этим элементом:

$$U = U(I) \quad \text{или} \quad I = I(U). \quad (I.1)$$

Вольт-амперные характеристики снимаются по схеме, показанной на рис. I.1. Схема собирается на универсальном лабораторном стенде.

Исследуемый элемент (либо резистор, либо катушка индуктивности, либо конденсатор), представленный на рис. I.1

соединяется с сопротивлением Z , комплексным сопротивлением Z , подпитывается к клеммам 1 и 2.

При сборке схемы в качестве точек 1 и 2 удобно использовать группу свободных контактов, имеющихся на стенде.

Действующие значения напряжения U и тока I , по

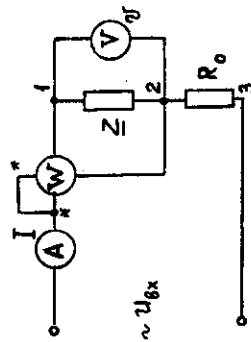


Рис. I.1. Схема измерительного стенда

7. Включение схемы под напряжение после проверки должно производиться с разрешения преподавателя или лаборанта и в его присутствии.

8. При обнаружении каких-либо неисправностей в схеме необходимо немедленно отключить ее от сети и доложить об этом преподавателю или лаборанту.

9. Производить различные переключения и исправления в схеме разрешается только при отключенных рубильниках и выключателях.

10. Запрещается производить какие бы то ни было переключения на соседних лабораторных стендах.

11. Запрещается прикасаться к оголенным токоведущим частям схемы, находящимся под напряжением.

12. При работе с вращающимися электрическими машинами необходимо проявлять особое внимание, следя за тем, чтобы одежда плотно прилегала к телу, а волосы были убраны так, чтобы они не могли касаться электроэлементов и вращающихся частей машин.

13. При работающих машинах запрещается стоять около соединительных муфт, а также касаться вращающихся частей машин.

14. Работая с конденсаторами, необходимо помнить, что на их зажимах, отключенных от сети, некоторое время сохраняется электрический заряд, могущий стать причиной поражения электрическим током. Во избежание этого при отключении конденсаторов должны быть разряжены путем замыкания их обмоток изолированным проводником.

15. При обнаружении каких бы то ни было повреждений электрического оборудования в схеме, а также при появлении запаха или искрения необходимо немедленно отключить питание и поставить об этом в известность преподавателя или лаборанта.

16. После выполнения лабораторной работы следует выключить напряжение питания, разобрать схему и привести в порядок рабочее место. Электрооборудование при этом аккуратно расставляется, а соединительные провода укладываются в предназначенное для них место.

17. При подавании человека под напряжение необходимо немедленно освободить его от действия электрического тока путем отключения соответствующего выключателя. Затем изо-

которым строится вольт-амперная характеристика, измеряется соответственно вольтметром V и амперметром A . На вход схемы от дискретно-регулируемого источника подается синусоидальное входное напряжение $U_{\text{вх}}$. Диапазон регулирования действующего значения входного напряжения указан на источнике.

По мере изменения действующего значения входного напряжения фиксируются соответствующие пары величин U и I , по которым строится вольт-амперная характеристика.

В процессе проведения этого и последующих опытов, помимо всех обычных требований по технике безопасности, следует: - перед каждым переключением в схеме переводить переключатель источника в положение "0";

- постепенно увеличивать входное напряжение, контролируя показания всех измерительных приборов (во избежание их зашкаливания).

На лабораторном стенде исследуемый резистор представлен реостатом, имеющим регулировку сопротивления в диапазоне от R_{min} до R_{max} (отмечены на стенде). Для резистора снимаются две вольт-амперные характеристики, отвечающие двум предельным положениям подвижного контакта реостата, т.е. минимальному R_{min} и максимальному R_{max} значениям сопротивления резистора. Результаты измерений заносятся в табл. I.1. В графе "Условия опыта" указывается положение подвижного контакта, при котором снимается вольт-амперная характеристика.

Таблица I.1

Номер измерения	Условия опыта	Измерено			Всчитано
		U, В	I, А		Z, Ом

Исследуемая катушка индуктивности имеет 3600 витков с промежуточным отводом, отделившим 1200 витков и 2400 витков. Снимаются три вольт-амперные характеристики: 1) $U_1 = 1200$ витков; 2) $U_2 = 2400$ витков; 3) $U_3 = 3600$ витков. Результаты измерений заносятся в табл. I.2. В графе "Условия опыта" указывается

знается число витков (w_1 , w_2 или w_3), соответствующее снимаемой характеристике.

Таблица I.2

Номер измерения	Условия опыта	Измерено				Всчитано	
		U, В	I, А	P, Вт	Z, Ом	R, Ом	X, Ом

На стенде имеются три конденсатора, обозначенные C_1 , C_2 и C_3 . Для каждого конденсатора снимается вольт-амперная характеристика. Результаты измерений заносятся в табл. I.3. В графе "Условия опыта" указывается обозначение конденсатора (C_1 , C_2 или C_3), соответствующее снимаемой характеристике.

Таблица I.3

Номер измерения	Условия опыта	Измерено			Всчитано
		U, В	I, А		Z, Ом

По результатам измерений строятся вольт-амперные характеристики: две для резистора и по три для катушки индуктивности и конденсатора. Для каждого элемента характеристики строятся в общих координатных осях. При построении характеристик следует учесть, что все исследуемые элементы с достаточной степенью точности можно считать линейными.

Определение параметров исследуемых элементов

Основными электрическими параметрами исследуемых элементов являются:

- а) для резистора - сопротивление R ;
- б) для катушки индуктивности - индуктивность L и сопротивление R_k ;
- в) для конденсатора - емкость C .

На рис. I.2 показаны схемы замещения этих элементов, включение в себя указанных электрических параметров.

Электрические параметры электротехнических устройств определяются их конструктивными и физическими параметрами.

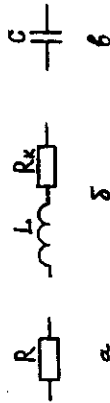


Рис. 1.2. Принятые в лабораторной работе схемы замещения: а - резистор; б - катушка индуктивности; в - конденсатор

Возможно опытное определение параметров резистора, катушки индуктивности и конденсатора, основанное на использовании закона Ома, связывающего величины действующих значений напряжения и тока на элементах с их электрическими параметрами.

Закон Ома в символической форме имеет вид

$$\underline{U} = \underline{Z} \underline{I}, \quad (1.2)$$

где $\underline{U}$ и $\underline{I}$ - комплексные синусоидальных напряжений и тока исследуемого элемента; $\underline{Z}$ - комплексное полное сопротивление этого элемента, которое в общем случае (для любого элемента) имеет вид $\underline{Z} = z \pm jx$, где z - активное; x - реактивное сопротивление.

Из (1.2) следует взаимосвязь между действующими значениями напряжения U и тока I :

$$U = Z I, \quad (1.3)$$

где Z - полное сопротивление:

$$Z = \sqrt{z^2 + x^2}. \quad (1.4)$$

Согласно принятым схемам замещения исследуемых элементов (см. рис. 1.2):

а) для резистора $\underline{Z} = z$, где $z = R$, поэтому из выражения (1.4) находим

$$Z = R; \quad (1.5)$$

б) для катушки индуктивности $\underline{Z} = z + jx_L$, где

$$z = R_k, \quad (1.6)$$

$$x_L = \omega L \quad (1.7)$$

и из выражения (1.4) получаем

$$Z = \sqrt{R_k^2 + x_L^2}; \quad (1.8)$$

в) для конденсатора $\underline{Z} = -jx_C$, где

$$x_C = \frac{1}{\omega C} \quad (1.9)$$

и согласно (1.4) имеем

$$Z = x_C. \quad (1.10)$$

Выражения (1.3)-(1.10) связывают величины действующих значений напряжения U и тока I , измеряемые на исследуемых элементах, с искомыми электрическими параметрами этих элементов. В этом и состоит сущность используемого в данной лабораторной работе метода экспериментального определения параметров резистора, катушки индуктивности и конденсатора, для которого достаточно измерений, сделанных в процессе снятия вольт-амперных характеристик.

Подстановка величин U и I из табл. 1.1. в формулу (1.3) позволяет вычислить полное сопротивление Z резистора.

Так как при каждом положении подвижного контакта, было сделано несколько замеров величин U и I , то будет определено и несколько значений величины Z (заносятся в табл. 1.1), которые из-за погрешностей эксперимента могут незначительно отличаться друг от друга. Эти значения величины Z усредняются и согласно равенству (1.5) дают искомые значения сопротивления R резистора, отвечающие соответствующим положениям подвижного контакта.

Итоговые (после усреднения) значения Z и R заносятся в табл. 1.4.

Аналогично определяется емкость конденсатора. Согласно формуле (1.3) по данным табл. 1.3 находятся величины Z ; они усредняются и в соответствии с равенством (1.10) дают емкостное сопротивление x_C конденсатора. Далее из выражения (1.9) вычисляется искомая емкость: $C = 1/\omega x_C$; (при частоте входного напряжения $f = 50$ Гц угловая частота $\omega = 2\pi f = 314$ рад/с).

Таблица 1.4

Элемент	Положение подвижного контакта	Параметры				
		Z, Ом			R, Ом	
Резистор	R _{min}					
	R _{max}					
	Число витков	Z, Ом	R _K , Ом	x _L , Ом	L, Гц	
	ω ₁ = 1200					
Катушка индуктивности	ω ₂ = 2400					
	ω ₃ = 3600					
Конденсатор	Обозначение	Z, Ом	x _C , Ом	C, мкФ		
	C ₁					
	C ₂					
	C ₃					

Расчет величин Z, x_C и C повторяется для трех рассмотренных в опыте конденсаторов. Результаты расчета заносятся в соответствующие графы табл. 1.4.

В отличие от резистора и конденсатора катушка индуктивности характеризуется двумя параметрами - индуктивностью L и сопротивлением R_K. Поэтому определение параметров катушки оказывается более сложным.

По формуле (1.3) вычисляются значения полного сопротивления Z катушки (исходные данные берутся из табл. 1.2). Полученные значения осредняются (отдельно для каждого числа витков ω).

Для определения сопротивления R_K катушки используется взаимосвязь активной мощности P с активным сопротивлением Z элемента и действующим значением тока I, протекающего по элементу: $P = Z I^2$.

Отсюда с учетом $Z = R_K$ находим $R_K = P / I^2$.

Таким образом, измерив величины P и I, можно найти искомое сопротивление R_K (именно с этой целью в схему на рис. 1.1 введен ваттметр W, а в табл. 1.2 предусмотрена графа "P").

Полученные по данным табл. 1.2 значения R_K осредняются. Далее на основании формулы (1.8) определяется индуктивное сопротивление катушки $x_L = \sqrt{Z^2 - R_K^2}$ и затем согласно выражению (1.7) находится искомая индуктивность $L = x_L / \omega$.

Результаты расчета величин Z, R_K, x_L и L, вычисленные для ω₁ = 1200 витков, ω₂ = 2400 витков, и ω₃ = 3600 витков, заносятся в соответствующие графы табл. 1.4. По результатам расчета строится график зависимости L = f(ω).

В результате проведения всех расчетов полностью заполняется табл. 1.4. Найденные числовые значения параметров исследуемых элементов будут неоднократно использоваться при выполнении следующих лабораторных работ.

Контрольные вопросы

1. Как изменяются электрические параметры исследованных элементов в зависимости от изменения действующего значения приложенного к ним напряжения?

2. Как изменяются электрические параметры исследованных элементов в зависимости от изменения частоты приложенного к ним напряжения?

3. В каком случае при величине постоянного напряжения, равной действующему значению переменного напряжения, будет наблюдаться больший ток (по действующему значению):

- при подключении резистора к постоянному напряжению;
- при подключении резистора к переменному (синусоидальному) напряжению?

4. То же для катушки индуктивности?

5. То же для конденсатора?

6. Какие показания (и почему) давал ваттметр в опыте данной лабораторной работы при исследовании конденсатора?

7. Как изменится величина сопротивления R_K катушки индуктивности в случае изменения (увеличения или уменьшения) в два раза:

- диаметра провода катушки;
- числа витков катушки;
- действующего значения приложенного напряжения;
- частоты приложенного напряжения?

8. Как изменится величина индуктивности L катушки при тех же условиях?

9. Как изменится величина индуктивного сопротивления X_L катушки при условиях, указанных в вопросе 7?

10. Как изменится величина полного сопротивления катушки при условиях, указанных в вопросе 7?

11. Как изменится емкостное сопротивление X_C конденсатора при изменении (увеличении или уменьшении) в два раза: - действующего значения приложенного напряжения;

- частоты приложенного напряжения?

12. Как изменится показание ваттметра в данной лабораторной работе при исследовании катушки индуктивности в случае увеличения в два раза:

- действующего значения приложенного напряжения;

- частоты приложенного напряжения?

13. Как по вольт-амперным характеристикам резистора, катушки индуктивности и конденсатора определить величины электрических параметров этих элементов?

Лабораторная работа 2. РЕЗИСТОР, КАТУШКА ИНДУКТИВНОСТИ И КОНДЕНСАТОР В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы: изучение закономерностей изменения мгновенных значений напряжения и тока резистора, катушки индуктивности и конденсатора; приобретение навыков исследования периодических процессов в электрических цепях.

Данная лабораторная работа является непосредственным продолжением предыдущей работы. Схема измерительного стенда (см. рис. 1.1) и состав элементов остаются без изменения. При подготовке к лабораторной работе выполняется расчетное задание, результаты которого проверяются в процессе проведения лабораторных исследований.

Расчетное задание

1. Для резистора, катушки индуктивности и конденсатора на основании известных значений их параметров (см. табл. 1.4) определить: действующее значение I тока; сдвиг по фазе φ между синусоидальными напряжением u и током i .

2. Записать выражения для мгновенных значений напряжения U и тока i .

3. Построить векторную диаграмму напряжения и тока.

Величинами действующего значения U и начальной фазы ψ_u напряжения, подаваемого на каждый рассматриваемый элемент, следует задаться. При этом должны быть учтены реальные диапазоны изменения напряжения на исследуемых элементах (см. табл. 1.1-1.3).

Расчет проводится только для одного (любого) значения сопротивления резистора, одного (любого) значения индуктивности (и сопротивления R_K) катушки индуктивности и для одного (любого) значения емкости конденсатора.

Полученные для каждого элемента значения величины U , I и φ заносятся в табл. 2.1 в строку "Расчет".

Таблица 2.1

	Резистор		Катушка индуктивности		Конденсатор	
	$R =$		$L =$; $R_K =$		$C =$	
Расчет	U, В	I, А	φ , град	U, В	I, А	φ , град
Эксперимент						
Погрешность						

Эксперимент. Определение закономерностей изменения напряжения и тока исследуемых элементов

Исследование быстро изменяющихся электрических сигналов осуществляется с помощью осциллографа. Для того чтобы на экране осциллографа наблюдать изменяющийся во времени величину, необходимо на вход вертикального отклонения его луча (вход Y) подать сигнал (напряжение), равный или пропорциональный исследуемой величине. Нас будут интересовать две электрические величины, изменяющиеся во времени с частотой $f = 50$ Гц ($\omega = 314$ рад/с):

- напряжение $u = U_m \sin(\omega t + \psi_u)$, где U_m и ψ_u - амплитуда и начальная фаза напряжения;

- ток $i = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$, где I_m и ψ_i - амплитуда и начальная фаза тока.

Сигнал, соответствующий напряжению на исследуемом элементе (сигнал по напряжению), можно снять непосредственно с этого элемента, т.е. с клемм 1 и 2 (см. рис. 1.1).

Для формирования сигнала (напряжения), соответствующего току в элементе (сигнал по току), последовательно с этим элементом включен резистор с относительно небольшим сопротивлением R_0 (см. рис. 1.1). По закону Ома ток i_0 через сопротивление R_0 и напряжение u_0 на нем связаны соотношением

$$u_0 = R_0 i_0.$$

С другой стороны, ток через резистор R_0 равен току через исследуемый элемент (они включены последовательно):

$$i_0 = i = I_m \sin(\omega t + \psi_u).$$

Таким образом, напряжение u_0 в любой момент времени пропорционально исследуемому току i , поэтому может служить сигналом по току. Напряжение u_0 снимается с клемм 2 и 3.

В лабораторной работе используется двухлучевой осциллограф, имеющий два входа вертикального отклонения (Y_1 и Y_2). Подавая на один вход осциллографа сигнал по напряжению, а на второй вход - сигнал по току (напряжение u_0), будем на его экране в едином масштабе времени наблюдать две кривые - кривую мгновенного значения напряжения u и кривую мгновенного значения тока i .

Можно показать, что напряжение u_{12} (сигнал по напряжению, снимаемый с клемм 1 и 2) и напряжение $u_{23} = u_0$ (сигнал по току, снимаемый с клемм 2 и 3) на экране осциллографа приобретают дополнительный сдвиг по фазе, равный π . Для исследования указанного дополнительного сдвига по фазе сигнал по напряжению следует снимать не с клемм 1 и 2, а с клемм 1 и 3. Вносимая при этом погрешность в измерение напряжения на исследуемом элементе несущественна ввиду малости сопротивления R_0 .

Подключение двухлучевого осциллографа к измерительному стенду (см. рис. 1.1) показано на рис. 2.1; характер кривых, наблюдаемых на экране осциллографа - на рис. 2.2. По осцил-

лограммам определяется сдвиг по фазе φ (град) между напряжением u и током i :

$$\varphi = \psi_u - \psi_i = \frac{360 \Delta \xi}{\xi}$$

величины ξ и $\Delta \xi$, измеряемые в миллиметрах по экрану осциллографа, пояснены на рис. 2.2.

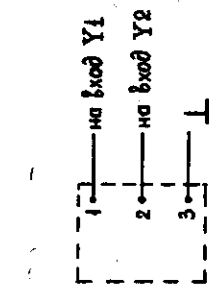


Рис. 2.1. Схема подключения двухлучевого осциллографа к измерительному стенду

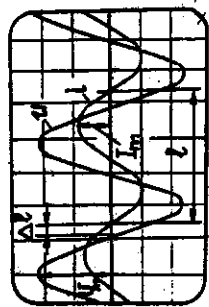


Рис. 2.2. Кривые напряжения и тока на экране двухлучевого осциллографа

В процессе выполнения лабораторной работы к клеммам 1 и 2 схемы поочередно подключаются резистор, катушка индуктивности и конденсатор, имеющие именно те параметры, которые были использованы в расчетном задании.

Для каждого элемента измеряются величины U , I и φ и заносятся в табл. 2.1 в строку "Эксперимент". Кроме того, с экрана осциллографа снимается на кальку осциллограмма напряжения u и тока i .

Расхождение экспериментальных X_3 и расчетных X_p данных оценивается величиной погрешности

$$\delta = \left| \frac{X_3 - X_p}{X_3} \right| 100\% \quad (2.1)$$

и заносится в табл. 2.1 в строку "Погрешность".

Контрольные вопросы

1. Каковы основные причины имеющихся в данной лабораторной работе расхождений расчетных и экспериментальных данных?

2. Можно ли по полученным осциллограммам напряжения и тока исследованных элементов определить величины их электрических параметров?

3. Цепить величину погрешности в определении величины фазового сдвига между напряжением и током резистора, исследованного в данной лабораторной работе, полагая $R_0 = 5 \text{ Ом}$.

4. То же для катушки индуктивности.

5. То же для конденсатора.

6. Как изменяется величина фазового сдвига между напряжением и током исследованного резистора в случае изменения (увеличения или уменьшения) в два раза:

- действующего значения приложенного напряжения;

- частоту приложенного напряжения?

7. То же для катушки индуктивности.

8. То же для конденсатора.

9. Как изменится величина фазового сдвига между напряжением и током исследуемой катушки индуктивности в случае изменения (увеличения или уменьшения) в два раза:

- диаметра провода катушки;

- числа витков катушки.

10. Определить соотношение между активным и индуктивным сопротивлением этой катушки, если фазовый сдвиг между напряжением и током катушки индуктивности равен $\pi/3$.

11. Вычислить величину фазового сдвига между входными напряжением и током в следующих электрических цепях, составленных из элементов, исследованных в данной лабораторной работе:

- резистор и конденсатор включены последовательно;
- катушка индуктивности и конденсатор включены последовательно;

- резистор и конденсатор включены параллельно;

- катушка индуктивности и резистор включены параллельно;

- катушка индуктивности и конденсатор включены параллельно;

- резистор, катушка индуктивности и конденсатор включены последовательно.

12. Построить векторную диаграмму напряжения и тока для резистора, исследованного в данной лабораторной работе при подключении его к источнику напряжения $u = 20 \sin(314t + \frac{\pi}{4})$.

13. То же для катушки индуктивности.

14. То же для конденсатора.

15. Записать выражение для мгновенного значения напряжения на резисторе, полагая, что ток через резистор $i = 0,2 \sin(314t - \pi/6)$.

16. То же для катушки индуктивности.

17. То же для конденсатора.

Лабораторная работа 3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ С РЕЗИСТОРОМ, КАТУШКОЙ ИНДУКТИВНОСТИ И КОНДЕНСАТОРОМ

Цель работы: приобретение навыков расчетов и экспериментального исследования простейших электрических цепей переменного тока.

Расчетное задание

Заданы последовательная и параллельная электрические цепи, составленные из элементов, исследованных в предыдущих лабораторных работах. Варианты состава элементов в этих цепях и значение сопротивлений резистора, числа витков катушки индуктивности и конденсатор указаны в табл. 3.1*. Численные значения параметров элементов следует взять из табл. 1.4 лабораторной работы 1.

Для каждой из заданных цепей выполнить следующие пункты задания.

1. Нарисовать схему электрических цепей и указать параметры их элементов.

2. Определить действующее значение входного тока.

3. Определить фазовый сдвиг между входными напряжением и током.

4. Определить действующие значения напряжений и токов всех элементов цепи.

*Номера вариантов и пункты расчета указываются преподавателем.

Таблица 3.1

Номер вари- анта	Последовательное соединение		Параллельное соединение	
	Резистор, Ом	Число витков катуш- ки ин- дуктив- ности	Конден- сатор	Резистор, Ом
I	-	w_1	C_1	R_{max}
2	50	-	C_1	R_{max}
3	50	w_1	-	R_{max}
4	50	-	C_2	-
5	-	w_1	C_2	R_{max}
6	50	-	C_2	R_{max}
7	50	w_3	-	R_{max}
8	50	-	C_3	-
9	-	w_1	C_3	R_{max}
10	80	-	C_3	80
11	80	w_1	-	80
12	80	-	C_1	-
13	-	w_2	C_2	80
14	80	-	C_2	80
15	80	w_2	-	80
16	80	-	C_3	-
17	-	w_2	C_3	80
18	80	-	C_3	80
19	R_{max}	w_1	-	50
20	R_{max}	-	C_1	-
21	-	w_3	C_1	50
22	R_{max}	-	C_2	50
23	R_{max}	w_2	-	50
24	R_{max}	-	C_2	-

5. Построить векторную диаграмму напряжений и токов всех элементов цепи.

6. Построить временные диаграммы входных напряжений и тока цепи.

7. Определить активную, реактивную и полную мощности, потребляемые электрической цепью.

Величиной действующего значения входного напряжения $U_{вх}$ (положение переключателя источника) и начальной фазой входного напряжения ψ_u следует задаться. При этом необходимо учесть, что действующее значение всех токов и напряжений в рассматриваемой цепи должны удовлетворять условиям

$$i < U < 36 \text{ В}; \quad (3.1)$$

$$0,01 < I < 1 \text{ А}.$$

По результатам расчетов заполняются строки "Расчет" табл.3.2 и 3.3.

Таблица 3.2

	$U_{вх},$ В	$I_{вх},$ А	$U_1,$ В	$U_2,$ В	$P,$ Вт	$Q,$ Вар	$S,$ ВА	$\varphi,$ град
Расчет								
Эксперимент								
Погрешность								

Таблица 3.3

	$U_{вх},$ В	$I_{вх},$ А	$I_1,$ А	$I_2,$ А	$P,$ Вт	$Q,$ Вар	$S,$ ВА	$\varphi,$ град
Расчет								
Эксперимент								
Погрешность								

Эксперимент

На лабораторном стенде собираются электрические цепи, которые были рассчитаны в соответствии с вариантом расчетного задания. Включаются электроизмерительные приборы для из-

мерения тех величин, которые вошли в табл.3.1 и 3.2. Величины реактивной Q и полной S мощностей, а также угол φ вычисляются по результатам измерений:

$$S = U_{\text{вх}} I_{\text{вх}}; \quad Q = \sqrt{S^2 - P^2}; \quad \varphi = \arccos \frac{P}{S_{\text{вх}}} \quad (3.2)$$

По результатам измерений напряжений, токов и активных мощностей, а также вычислений по формулам (3.2) реактивных и полных мощностей и фазовых сдвигов заполняются строки "Эксперимент" в табл.3.2 и 3.3.

Расхождение экспериментальных и расчетных данных определяется по формуле (2.1) и заносится в строки "Погрешность" табл.3.2 и 3.3.

Контрольные вопросы

Перечень контрольных вопросов приведен в конце лабораторной работы 4.

Лабораторная работа 4.

ОДНОБАЗНЫЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы: приобретение навыков экспериментальных исследований электрических цепей переменного тока.

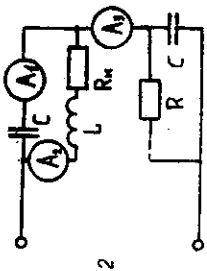
Расчетное задание

Для одной из схем, представленных на рис.4.1 и включающих в себя элементы (один резистор, одну катушку индуктивности и два различных по емкости конденсатора), которые были исследованы в лабораторных работах 1 и 2:

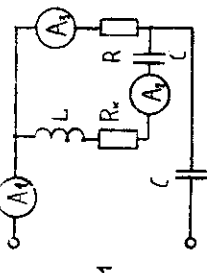
1) определить следующие величины:*

- действующие значения напряжений на всех четырех элементах схемы (U_1, U_2, U_3 и U_4);

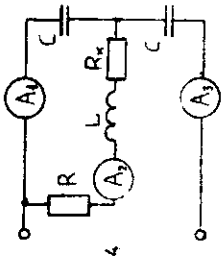
* Номер схемы и пункты расчета указываются преподавателем.



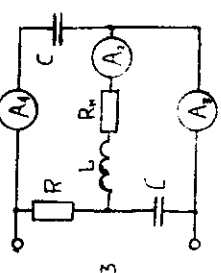
2



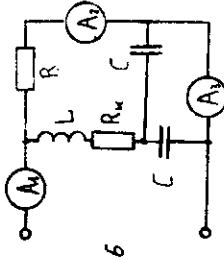
1



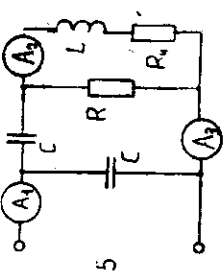
4



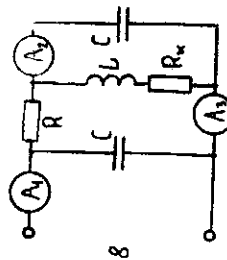
3



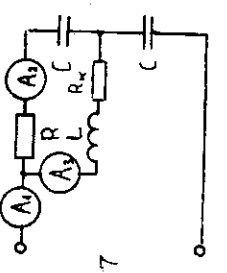
6



5



8



7

Рис.4.1. Варианты схем к расчетному заданию лабораторной работы 4 (начало)

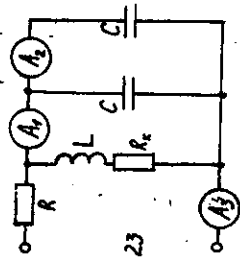
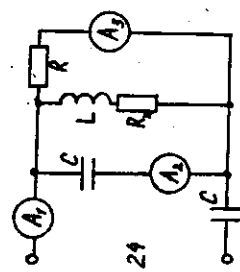
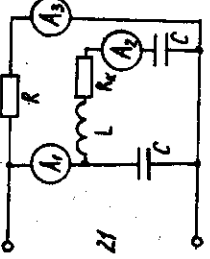
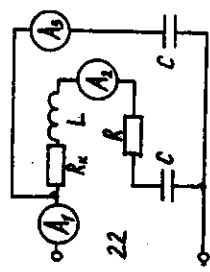
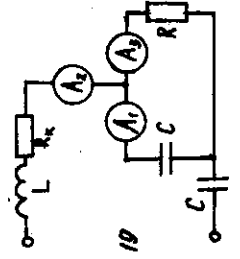
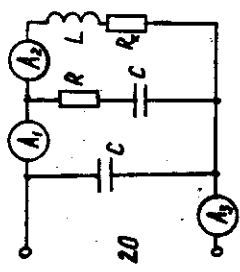
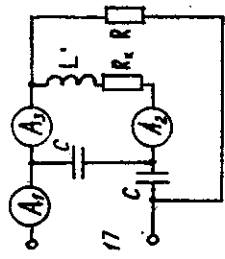
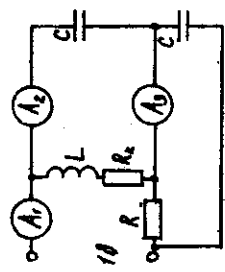


Рис. 4.1. (окончание)

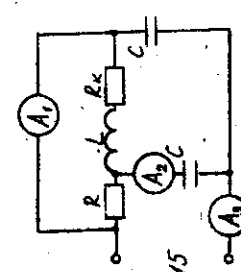
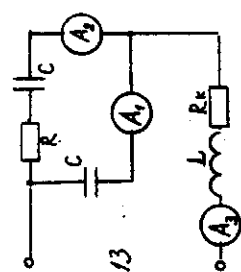
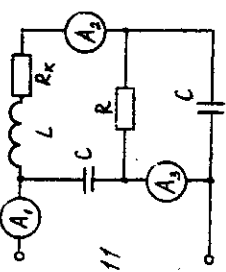
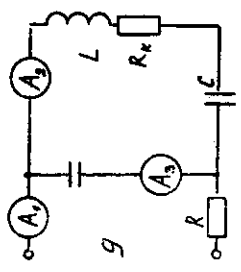
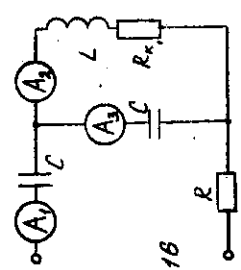
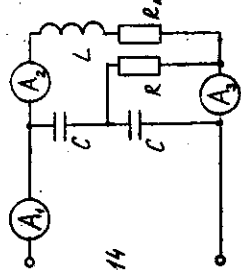
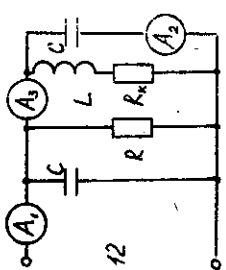
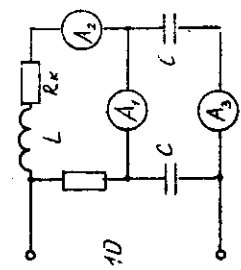


Рис. 4.1. (продолжение)

Эксперимент

На лабораторном стенде собирается схема, которая была рассчитана в соответствии с расчетным заданием. Резистор, катушка индуктивности и конденсаторы, включенные в схему, должны иметь параметры, которые были приняты при расчете схемы.

На вход подается напряжение $U_{\text{вх}}$, действующее значение которого устанавливается равным расчетному.

По результатам измерений заполняется строка "Эксперимент" табл. 4.1.

Расхождения экспериментальных и расчетных данных оцениваются по формуле (2.1) и заносятся в строку "Погрешность" табл. 4.1.

Контрольные вопросы

1. Каковы основные причины расхождений расчетных и экспериментальных данных, имеющих место в данной лабораторной работе?

2. Может ли оказаться, что амперметры, включенные в параллельные ветви электрической цепи переменного тока, зафиксируют большие действующие значения тока, чем амперметр, измеряющий входной (общий) ток этой параллельной электрической цепи?

3. Может ли оказаться, что вольтметры, подключенные к участкам, составляющим последовательную электрическую цепь переменного тока, зафиксируют действующие значения напряжения больше, чем действующее значение входного напряжения этой цепи?

4. Как изменятся все результаты расчета исследуемой электрической цепи при изменении (увеличении или уменьшении) в два раза действующего значения входного напряжения?

5. Оценить изменения при увеличении в два раза частоты напряжения, приложенного к рассмотренной электрической цепи:

- полного сопротивления цепи;
- действующего значения входного тока;
- коэффициента мощности цепи;
- активной мощности цепи;
- реактивной мощности цепи;
- показания амперметра A_2 .

- действующие значения токов в ветвях, в которых включены амперметры (I_1, I_2 и I_3);

- эквивалентное полное сопротивление всей цепи Z_{Σ} ;

- коэффициент мощности $\cos \varphi$ электрической цепи;

- активную P , реактивную Q и полную S мощности цепи;

2) построить векторную диаграмму, включившую векторы (комплекс) напряжений и токов всех элементов схемы;

3) для ветви, включившей амперметр A_2 , записать выражения и построить графики мгновенных значений напряжений, тока и мощности.

Числовые значения параметров элементов схемы следует задаваться по результатам лабораторной работы I (см. табл. I.4). Также следует задаваться величиной действующего значения $U_{\text{вх}}$ входного напряжения $U_{\text{вх}}$, подаваемого на схему. Расчет может дать величины действующих значений напряжений и токов, которые либо превышают допустимые для рассматриваемых элементов (и схем в целом), либо не могут быть измерены вольтметрами и амперметрами, имеющимися на лабораторном стенде, т.е. нарушаются условия (3.1). В этом случае следует задаться другими величинами параметров элементов (см. табл. I.4), при необходимости изменить величину действующего значения $U_{\text{вх}}$ и затем повторить расчет.

Окончательные (поданные) проверки на лабораторном стенде) результаты расчета заносятся в строку "Расчет" табл. 4.1.

Таблица 4.1

	$U_{\text{вх}}$ В	U_1 В	U_2 В	U_3 В	U_4 В	I_1 А	I_2 А	I_3 А
Расчет								
Опыт								
Погрешность								

6. При каком значении частоты входного напряжения в рассмотренной электрической цепи будут зафиксированы:

- максимум действующего значения входного тока;
- минимум действующего значения входного тока;
- максимум коэффициента мощности;
- минимум коэффициента мощности?

Лабораторная работа 5. РЕЗОНАНС НАПРЯЖЕНИЙ И ТОКОВ

Цель работы: исследование резонансных явлений в электрических цепях переменного тока при последовательном и параллельном соединении катушки индуктивности и конденсатора. Из элементов соединенных катушки индуктивности и конденсаторов), исследованных в лабораторных работах I и 2, можно составить: - последовательную электрическую цепь (рис.5.1,а), в которой наблюдается резонанс напряжений;

- параллельную электрическую цепь (рис.5.1,б), в которой наблюдается резонанс токов.

Условие

$$X_{L3} = X_{C3}, \quad (5.1)$$

при котором в последовательной схеме (см. рис.5.1,а) достигается резонанс напряжений, и условие

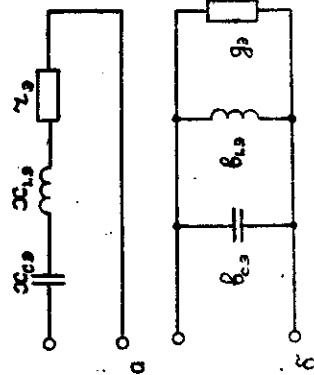


Рис.5.1. Схемы электрических цепей:
а - последовательная; б - параллельная

$$b_{L3} = b_{C3}, \quad (5.2)$$

при котором в параллельной схеме (см. рис.5.1,б) достигается резонанс токов, могут быть обеспечены за счет использования группы из нескольких конденсаторов с общей (эквивалентной) емкостью C_3 и (или) за счет использования группы из нескольких катушек индуктивности с общей (эквивалентной) индуктивностью L_3 .

На лабораторном стенде, помимо конденсаторов с емкостями, указанными в табл.1.4, имеются еще два точно таких же конденсатора. Для достижения требуемой величины C_3 допускается любое (последовательное, параллельное, смешанное) соединение конденсаторов в группе.

При последовательном соединении m конденсаторов

$$C_3 = \left(\sum_{j=1}^m \frac{1}{C_j} \right)^{-1};$$

при параллельном соединении m конденсаторов

$$C_3 = \sum_{j=1}^m C_j.$$

По величине C_3 определяется эквивалентное емкостное сопротивление $X_{C3} = 1/\omega C_3$ и эквивалентная емкостная проводимость b_{C3} :

$$b_{C3} = \omega C_3.$$

Для обеспечения требуемой величины L_3 в стенде предусмотрены три одинаковых катушки индуктивности. Параметры одной из катушек индуктивности (индуктивность L и сопротивление R_k) указаны в табл.1.4. Катушка имеет сравнительно малую величину индуктивности L , поэтому требуемая для наблюдения резонансных явлений величина L_3 может быть получена при последовательном соединении двух или даже трех катушек.

При последовательном включении m катушек

$$L_3 = \sum_{j=1}^m L_j; \quad R_{k3} = \sum_{j=1}^m R_{kj}.$$

По величинам L_3 и R_{k3} определяются эквивалентные индуктивное X_{L3} и активное Z_{k3} сопротивления $X_{L3} = \omega L_3$;

$\omega_{k3} = R_{k3}$ и эквивалентные индуктивная b_{L3} и активная q_3 проводимости

$$b_{L3} = \frac{x_{L3}}{\omega_{k3}^2 + x_{L3}^2}; \quad q_3 = \frac{\omega_{k3}}{\omega_{k3}^2 + x_{L3}^2}.$$

Полученные эквивалентные реактивные (емкостные и индуктивные) сопротивления x_{L3} и проводимости b_{C3} , b_{L3} указаны на рис. 5.1 и входят в условия резонансов (5.1) и (5.2).

Таким образом, для реализации в схеме (см. рис. 5.1, а) резонанса напряжений (5.1) подбирается группа конденсаторов и соответствующая ей (по величине реактивного сопротивления) группа катушек индуктивности. Аналогично, для реализации в схеме (см. рис. 5.1, б) резонанса токов (5.2) подбираются соответствующие друг другу (по величине реактивной проводимости) группы конденсаторов и катушек индуктивности.

Реализация условий (5.1) и (5.2) допускается с погрешностью до 10%.

При подборе группы катушек индуктивности для последовательной схемы (см. рис. 5.1, а) должно выполняться условие

$$\frac{x_{L3}}{\omega_{k3}} \geq 2, \quad (5.3)$$

а для параллельной схемы (см. рис. 5.1, б):

$$\frac{b_{L3}}{q_3} \geq 2. \quad (5.4)$$

На рис. 5.2 даны примеры (отличающиеся от реально получившихся в данной лабораторной работе) электрических цепей, в которых за счет подбора групп конденсаторов и катушек индуктивности реализованы условия резонансов (5.1) и (5.2). Здесь же показано включение измерительных приборов, с помощью которых контролируется достижение резонансов в рассматриваемых цепях.

Расчетное задание

I. Резонанс напряжений. Для последовательной электрической цепи, составленной из групп конденсаторов и катушек

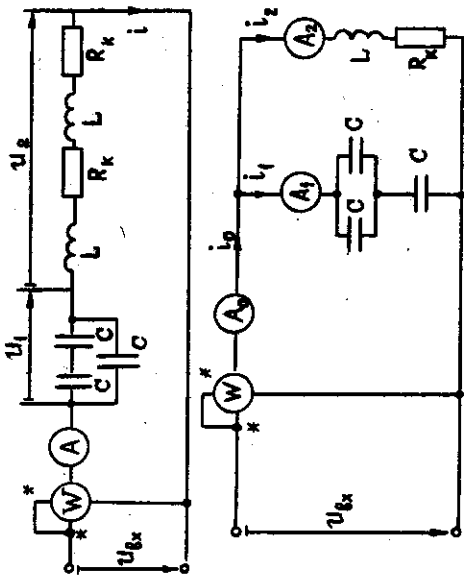


Рис. 5.2. Примеры электрических цепей, в которых могут наблюдаться резонанс напряжений (а) и резонанс токов (б)

индуктивности, удовлетворяющих условиям (5.1) и (5.3), определить:

- действующее значение I тока i в последовательной цепи;
- активную мощность P , потребляемую цепью;
- коэффициент мощности цепи $\cos \varphi$;
- действующие значения U_1 и U_2 напряжений U_1 и U_2 на группе конденсаторов и группе катушек индуктивности соответственно;
- построить векторную диаграмму, включающую в себя векторы (комплекс) напряжений на входе цепи $\bar{U}_{\text{вх}}$, на группе конденсаторов $\bar{U}_1$ и на группе катушек $\bar{U}_2$ и тока в рассматриваемой последовательной цепи $\bar{I}$.

По результатам расчета заполняется строка "Расчет" в табл. 5.1.

Таблица 5.1

	$U_{\text{вх}}, B$	I, A	P, Bt	$\cos \varphi$	U_1, B	U_2, B
Расчет						
Эксперимент						
Погрешность						

2. Резонанс токов. Для параллельной электрической цепи, составленной из групп конденсаторов и катушек индуктивности, удовлетворяющих условиям (5.2) и (5.4), определить:
- действующее значение I_0 тока i_0 в неразветвленной части цепи;
 - активную мощность P , потребляемую цепью;
 - коэффициент мощности цепи $\cos \varphi$;
 - действующие значения I_1 и I_2 токов i_1 и i_2 группы конденсаторов и группы катушек соответственно;
 - построить векторную диаграмму, включающую в себя векторы (комплекс) входного тока цепи (I_0), группы конденсаторов (I_1), группы катушек (I_2) и входного напряжения ($U_{вх}$).
- По результатам расчета заполняется строка "Расчет" в табл.5.2.

Таблица 5.2

	$U_{вх}, В$	$I_0, А$	$P, Вт$	$\cos \varphi$	$I_1, А$	$I_2, А$
Расчет						
Эксперимент						
Погрешность						

При выборе параметров конденсаторов и катушек (из табл.1.4) и величина действующего значения $U_{вх}$ входного напряжения следует принимать во внимание ограничения (3.1).

Эксперимент. Резонанс напряжений

На лабораторном стенде собирается последовательная электрическая цепь, схема которой была составлена согласно расчетному заданию. Катушка индуктивности и конденсаторы, входящие в схему, должны иметь параметры, принятые при расчете схемы. В цепь включаются амперметр A и ваттметр W (см. рис.5.2,а). На вход цепи подается напряжение $U_{вх}$, действующее значение которого устанавливается равным его расчетной величине.

Результаты измерений заносятся в строку "Эксперимент" табл.5.1.

Величина коэффициента мощности $\cos \varphi$ определяется по результатам измерений активной мощности P , действующего значения $U_{вх}$ входного напряжения и действующего значения I тока в цепи

$$\cos \varphi = \frac{P}{U_{вх} I}$$

Расхождения экспериментальных и расчетных данных оцениваются по формуле (2.1) и заносятся в строку "Погрешность" табл.5.1.

Резонанс токов

На лабораторном стенде собирается параллельная электрическая цепь, схема которой была составлена согласно расчетному заданию. Параметры всех элементов схемы и величина действующего значения $U_{вх}$ входного напряжения должны быть равны соответствующим значениям, принятым при расчете схемы. В цепь включаются амперметры A_0, A_1, A_2 и ваттметр W (см. рис.5.2,б).

Результаты измерений заносятся в строку "Эксперимент" табл.5.2.

Величина коэффициента мощности $\cos \varphi$ определяется по результатам измерений величин $P, U_{вх}$ и I_0 (так же, как и при резонансе напряжений).

Расхождения экспериментальных и расчетных данных оцениваются по формуле (2.1) и заносятся в строку "Погрешность" табл.5.2.

Контрольные вопросы

1. Каковы основные причины имевших место в данной лабораторной работе расхождений расчетных и экспериментальных данных?
2. Каковы основные проявления резонанса напряжений?
3. Каковы основные проявления резонанса токов?
4. Изменением каких параметров электрической цепи можно обеспечить в ней режим резонанса напряжений (или резонанса токов)?

5. В чем аналогия между резонансами в электрических цепях и в механических системах?

6. Для рассмотренной последовательной электрической цепи построить графики:

- действующего значения входного тока от частоты входного напряжения;
- действующего значения напряжения на группе конденсаторов от частоты входного напряжения;
- действующего значения напряжения на группе катушек индуктивности от частоты входного напряжения.

На графиках отметить точки, отвечающие резонансу напряжений.

7. Для исследованной параллельной электрической цепи построить графики:

- действующего значения входного тока от частоты входного напряжения;
- действующего значения тока группы конденсаторов от частоты входного напряжения;
- действующего значения тока группы катушек индуктивности от частоты входного напряжения.

На графиках отметить точки, отвечающие резонансу токов.

8. Дать примеры практического использования резонансных явлений в электрических цепях.

9. Каково влияние на исследованные резонансные явления величины сопротивления R_K катушки индуктивности?

Лабораторная работа 6. ТРЕХФАЗНЫЕ ЦЕПИ

Цель работы: приобретение навыков экспериментальных исследований нормальных и аварийных режимов трехфазных цепей при различных способах соединения фаз приемников (звезда, треугольник) и различных нагрузках (симметричной, несимметричной).

Расчетное задание

Рассчитываются нормальные и аварийные режимы трехфазных цепей, трехфазная нагрузка которых составлена из элементов, изученных в лабораторных работах 1 и 2. Каждый фазу трех-

фазной нагрузки состоит в общем случае из набора следующих элементов: резистора, катушки индуктивности и конденсатора.

В табл. 6.1 для каждого из вариантов расчетного задания указаны следующие данные:

1. Схема соединения фаз приемника: Y - звезда без нулевого провода; Y_0 - звезда с нулевым проводом; Δ - треугольник.

2. Нагрузка, включаемая в фазу. В случае нормального режима работы при симметричной нагрузке в каждую из трех фаз включаются катушки индуктивности с одинаковым количеством витков, одинаковые конденсаторы и одинаковые значения сопротивления резистора. Число витков катушки, конденсатор и сопротивление резистора указаны для каждой из фаз варианта.

Прочерк в таблице свидетельствует об отсутствии данного элемента в фазе нагрузки, т.е. нагрузка состоит только из тех элементов, параметры которых указаны. В случае аварийного режима для аварийной фазы указано наименование режима: обрыв или короткое замыкание. В двух других фазах нагрузка остается одинаковой.

3. Величина линейного напряжения $U_L = U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = 36$ В (одинаковая для всех вариантов).

Для каждой из заданных трех схем необходимо:

- начертить схему соединения фаз приемника с указанием мест включения приборов для определения линейных и фазных токов и напряжений;
- вычислить действующие значения фазных и линейных токов и напряжений в каждой из фаз и построить векторную диаграмму токов и напряжений;
- рассчитать полную, активную и реактивную мощности трехфазной цепи.

Результаты расчетов заносятся в строки "Расчет" табл. 6.2 и 6.3.

* Номер варианта и пункты расчета указываются преподавателем.

Таблица 6.1.1

Номер вари- анта	Номер схемы	Схема соедине- ния	Фазы прием- ки	Резис- тор, Ом	Число витков катуш- ки	Фаза А			Фаза В			Фаза С		
						Конден- сатор	Резис- тор, Ом	Число витков катуш- ки	Конден- сатор	Резис- тор, Ом	Число витков катуш- ки	Конден- сатор	Резис- тор, Ом	Число витков катуш- ки
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
	1	Y	-	3600	C ₁	-	3600	C ₁	-	3600	C ₁	-	3600	C ₁
	2	Y ₀	-	-	Одн. фаз	-	3600	C ₁	-	3600	C ₁	-	3600	C ₁
2	1	Y	-	3600	C ₂	-	3600	C ₂	-	3600	C ₂	-	3600	C ₂
	1	Y ₀	Одн. фаз	-	Одн. фаз	-	3600	C ₂	-	3600	C ₂	-	3600	C ₂
	3	Δ	-	3600	C ₂	-	-	C ₂	-	-	C ₂	-	-	C ₂
3	1	Y	-	3600	C ₃	-	3600	C ₃	-	3600	C ₃	-	3600	C ₃
	2	Y	Короткое замыкание	-	Короткое замыкание	-	3600	C ₃	-	3600	C ₃	-	3600	C ₃
	3	Δ	-	3600	C ₃	-	3600	C ₃	-	3600	C ₃	-	3600	C ₃
4	1	Y	50	1200	-	-	50	1200	-	50	1200	-	50	1200
	2	Y	50	1200	-	-	50	1200	-	50	1200	-	50	1200
	3	Δ	50	1200	-	-	50	1200	-	50	1200	-	50	1200

5	1	Y	50	2400	-	-	50	2400	-	50	2400	-	50	2400
	2	Y ₀	50	2400	-	-	50	2400	Одн. фаз	50	2400	-	50	2400
	3	Δ	50	-	-	-	50	2400	-	50	-	-	50	-
6	1	Y	50	3600	-	-	50	3600	-	50	3600	-	50	3600
	2	Y	50	3600	-	-	50	3600	Короткое замыкание	50	3600	-	50	3600
	3	Δ	50	3600	-	-	50	3600	-	50	3600	-	50	3600
7	1	Y	50	2400	C ₁	50	2400	C ₁	50	2400	C ₁	50	2400	C ₁
	2	Y	50	2400	C ₁	50	2400	C ₁	Одн. фаз	50	2400	C ₁	50	2400
	3	Δ	50	-	-	-	50	-	-	50	-	-	50	-
8	1	Y	50	2400	C ₂	50	2400	C ₂	Одн. фаз	50	2400	C ₂	50	2400
	2	Y ₀	50	2400	C ₂	50	2400	C ₂	Одн. фаз	50	2400	C ₂	50	2400
	3	Δ	50	-	-	-	50	-	-	50	-	-	50	-
9	1	Y	50	2400	C ₃	50	2400	C ₃	Короткое замыкание	50	2400	C ₃	50	2400
	2	Y	50	2400	C ₃	50	2400	C ₃	Короткое замыкание	50	2400	C ₃	50	2400
	3	Δ	50	2400	C ₃	50	2400	C ₃	Короткое замыкание	50	2400	C ₃	50	2400
10	1	Y	50	-	-	-	50	-	-	50	-	-	50	-
	2	Y	50	-	-	-	50	-	-	50	-	-	50	-
	3	Δ	50	-	-	-	50	-	-	50	-	-	50	-

21	3	Δ	80	3600	C_3	80	3600	C_3	80	3600	C_3
	2	Y	Короткое замыкание			80	3600	C_3	80	3600	C_3
	1	Y	80	3600	C_3	80	3600	C_3	80	3600	C_3
20	3	Δ	80	3600	C_2	80	3600	C_2	80	3600	C_2
	2	Y ₀	Обрыв			80	3600	C_2	80	3600	C_2
	1	Y	80	3600	C_2	80	3600	C_2	80	3600	C_2
19	3	Δ	Обрыв			80	3600	C_1	80	3600	C_1
	2	Y	Обрыв			80	3600	C_1	80	3600	C_1
	1	Y	80	3600	C_1	80	3600	C_1	80	3600	C_1
18	3	Δ	80	3600	-	80	3600	-	80	3600	-
	2	Y	80	3600	-	80	3600	-	80	3600	-
	1	Y	80	3600	-	80	3600	-	80	3600	-
17	3	Δ	80	-	-	80	-	-	80	2400	-
	2	Y ₀	80	2400	-	80	2400	-	80	2400	-
	1	Y	80	2400	-	80	2400	-	80	2400	-
16	3	Δ	80	-	-	80	-	-	80	1200	-
	2	Y	80	1200	-	80	1200	-	80	1200	-
	1	Y	80	1200	-	80	1200	-	80	1200	-

15	3	Δ	-	2400	C_3	-	2400	C_3	-	2400	C_3
	2	Y	-	2400	C_3	Короткое замыкание			-	2400	C_3
	1	Y	-	2400	C_3	-	2400	C_3	-	2400	C_3
14	3	Δ	-	-	C_2	-	2400	C_2	-	-	C_2
	2	Y ₀	-	2400	C_2	Обрыв			-	2400	C_2
	1	Y	-	2400	C_2	-	2400	C_2	-	2400	C_2
13	3	Δ	-	-	C_1	Обрыв			-	-	C_1
	2	Y	-	2400	C_1	Обрыв			-	2400	C_1
	1	Y	-	2400	C_1	-	2400	C_1	-	2400	C_1
12	3	Δ	50	-	C_3	50	-	C_3	50	-	C_3
	2	Y	Короткое замыкание			50	-	C_3	50	-	C_3
	1	Y	50	-	C_3	50	-	C_3	50	-	C_3
11	3	Δ	50	-	C_2	50	-	C_2	50	-	C_2
	2	Y ₀	Обрыв			50	-	C_2	50	-	C_2
	1	Y	50	-	C_2	50	-	C_2	50	-	C_2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Эксперимент

На лабораторном стенде собираются схемы в соответствии с расчетным заданием. Резисторы, катушки индуктивности и конденсаторы, включенные в схемы, должны иметь параметры, которые были приняты при расчете, на вход схемы подается линейное напряжение $U_A = 36\text{ В}$.

По результатам измерений заполняются строки "Эксперимент" табл. 6.2 и 6.3.

Расхождения экспериментальных и расчетных данных оцениваются по формуле (2.1) и заносятся в строку "Погрешность" табл. 6.2 и 6.3.

Таблица 6.2

Режим работы	Напряжения, В						Токи, А			Мощность		
	линейные			фазные			линейные			Р	Q	S
	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	U_A	U_B	U_C	I_A	I_B	I_C	Вт	вар	В·А
Расчет												
Опыт												
Погрешность												
Симметричный												
Расчет												
Опыт												
Погрешность												
Несимметричный												

Таблица 6.3

	Напряжения, В			Токи, А						Мощность		
	линейные			линейные			фазные			Р	Q	S
	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	I_A	I_B	I_C	I_{aB}	I_{bC}	I_{cA}	Вт	вар	В·А
Расчет												
Эксперимент												
Погрешность												

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
22	1	Y	80	-	C_1	80	-	C_1	80	-	C_1
	2	Y	80	-	C_1	Обрыв			80	-	-
	3	Δ	80	-	-	Обрыв			80	-	-
23	1	Y	80	-	C_2	80	-	C_2	80	-	C_2
	2	Y_0	80	-	C_2	Обрыв			80	-	-
	3	Δ	80	-	-	80	-	C_2	80	-	-
24	1	Y	80	-	C_3	80	-	C_3	80	-	C_3
	2	Y	80	-	C_3	Короткое замыкание			80	-	-
	3	Δ	80	-	-	80	-	C_3	80	-	-

Лабораторная работа 7.
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ ДИОДАМИ

Цель работы: приобретение навыков расчетов и экспериментального исследования электрических цепей с полупроводниковыми диодами.

Расчетное задание

В соответствии с вариантом задания (табл. 7.1):

- составить электрическую цепь, включающую в себя диоды и резисторы и отвечающую заданной вольт-амперной характеристике;
- определить сопротивления резисторов;
- дать способы реализации этих резисторов с использованием конкретных резисторов, которые входят в состав лабораторного стенда (см. лабораторную работу 1);
- из общего перечня пунктов расчета выполнить те, которые указаны в варианте задания (табл. 7.1).

Таблица 7.1

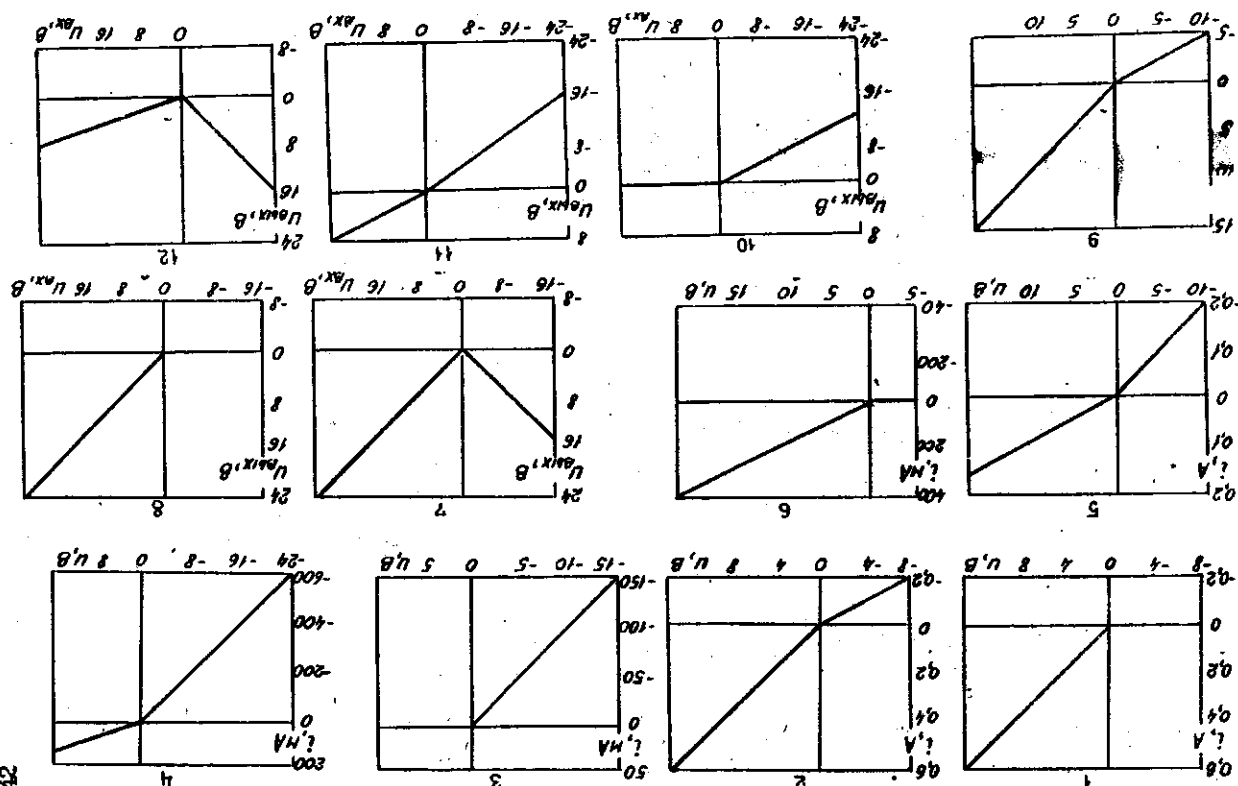
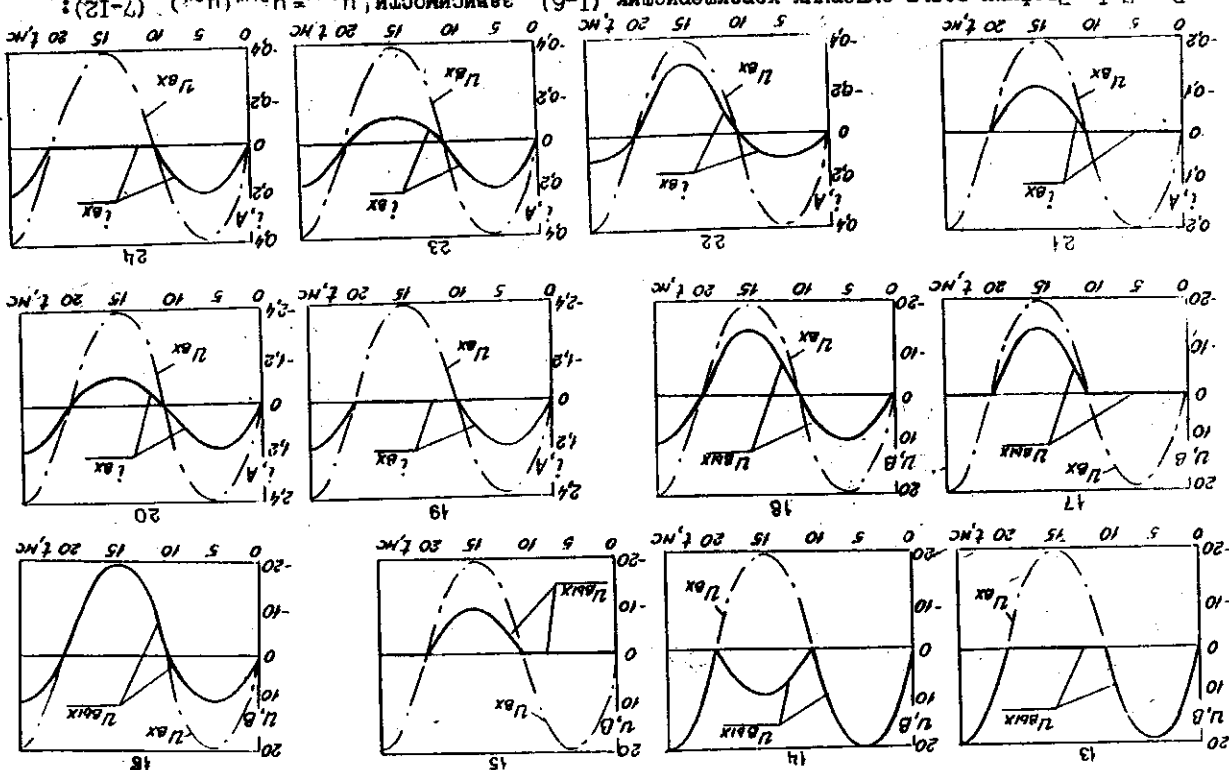
Номер варианта	Номер графика на рис. 7.1	Пункт расчета				Номер варианта	Номер графика на рис. 7.1	Пункт расчета				Пункт расчета
		1	2	3	4			5	6	7	8	
1	1					13	4					7 12
2	7					14	10					8 12
3	13					15	16					2 10 11
4	19					16	22					5 6 9 10
5	2					17	5					3 4 8 11
6	8					18	11					4 1 10 12
7	14					19	17					2 4 9 10
8	20					20	23					1 5 7 11
9	3					21	6					4 6 9 10
10	9					22	12					3 4 9 8
11	15					23	18					4 6 7 11
12	21					24	24					3 5 9 10

Контрольные вопросы

1. Каковы основные причины расхождений, расчетных и экспериментальных данных, имеющих место в данной лабораторной работе?
2. Какое соединение фаз трехфазной цепи называется звездой? треугольником?
3. В каком случае применит соединение фаз звездой без нулевого провода?
4. При какой нагрузке фаз применят четырехпроводную систему и почему?
5. Будут ли отличаться величины линейных токов при включенном и отключенном нулевом проводе, если сопротивления фаз: равны по модулю? равны по фазе? равны по модулю и фазе?
6. Почему в нулевом проводе не устанавливают предохранитель?
7. Как будут отличаться полная, активная и реактивная мощности, потребляемые одним и тем же симметричным трехфазным приемником при соединении его фаз: 1) звездой; 2) треугольником?
8. Как будут отличаться линейные токи симметричного трехфазного приемника при соединении его фаз: 1) звездой; 2) треугольником?
9. При какой нагрузке и почему для определения токов и напряжений во всех фазах достаточно определить токи и напряжения в одной фазе?
10. Каковы преимущества трехфазного тока перед однофазным?
11. Перечислите методы измерения мощности в трехфазной цепи.
12. Какая нагрузка трехфазной цепи называется симметричной?
13. Как изменятся токи в фазах симметричного приемника, соединенного звездой, при обрыве линейного провода A?
14. Когда справедливо соотношение $U_\Lambda / U_\Phi = \sqrt{3}$?
15. Когда справедливо соотношение $I_\Lambda / I_\Phi = \sqrt{3}$?
16. Когда для расчета мощности трехфазной цепи можно использовать формулу $P = \sqrt{3} U I \cos \varphi$?

Рис. 7.1. Графики вольт-амперных характеристик (1-6), зависимости $U_{BIX} = U_{BIX}(U_{BX})$ (7-12); $U_{BIX} = U_{BIX}(I_{BX})$ (13-18); $I_{BX} = I_{BX}(U_{BX})$ (19-24) амплитуды входного напряжения $U_m = 20$ В.

43



42

Общий перечень расчетов

1. Построить вольт-амперную характеристику электрической цепи.
2. Построить зависимость $U_{\text{вых}} = U_{\text{вых}}(U_{\text{вх}})$.
3. Построить зависимость $U_{\text{вых}} = U_{\text{вых}}(t)$.
4. Построить зависимость $i_{\text{вх}} = i_{\text{вх}}(t)$.
5. Построить зависимость от времени мгновенного значения напряжения на одном из диодов электрической цепи.
6. Построить зависимость от времени мгновенного значения тока одного из диодов электрической цепи.
7. Определить действующее значение входного тока электрической цепи.
8. Определить действующее значение напряжения на одном из диодов электрической цепи.
9. Определить активную мощность, потребляемую электрической цепью.
10. Определить полную мощность, потребляемую электрической цепью.
11. Определить коэффициент мощности электрической цепи.
12. Определить активную мощность, потребляемую одним из резисторов электрической цепи.

Примечания: 1. При выполнении пп. 3-12: входное напряжение брать синусоидальной формы; действующим значением входного напряжения необходимо задаваться, исходя из реальных возможностей лабораторного стенда.

2. В качестве выходного напряжения ($U_{\text{вых}}$) можно брать напряжение на любом элементе электрической цепи.

По результатам расчетов: строятся (в масштабе) требуемые характеристики или временные диаграммы; заполняется строка "Расчет" в табл. 7.2.

Таблица 7.2

	$U_{\text{вх}}, \text{В}$	
Расчет		
Эксперимент		
Погрешность, %		

Обозначения двух последних графов в табл. 7.2 (определяемые величины и единицы их измерения) даются в соответствии с вариантом задания. Например, для I-го варианта: $I_{\text{вх}}$, А и S, В·А.

Эксперимент

На лабораторном стенде собирается электрическая цепь, которая была составлена в соответствии с вариантом задания. В цепь включаются измерительные приборы, позволяющие измерять те величины (напряжения, токи, мощности), которые рассчитывались в варианте задания. Резисторы, включенные в цепь, должны иметь сопротивление, которые были приняты при расчете. На вход цепи подается напряжение $U_{\text{вх}}$, действующее значение которого $U_{\text{вх}}$ устанавливается равным его расчетному значению.

Если вариантом задания требуется построение вольт-амперной характеристики или зависимости $U_{\text{вых}} = U_{\text{вых}}(U_{\text{вх}})$, то в электрическую цепь включаются необходимые измерительные приборы. В этом случае цепь подключается к регулирующему источнику постоянного напряжения. Результаты измерений в процессе снятия характеристик сводятся в соответствующие таблицы.

Для снятия временных диаграмм (осциллограмм), т.е. зависимостей $U_{\text{вых}} = U_{\text{вых}}(t)$, $i_{\text{вх}} = i_{\text{вх}}(t)$ и другие, используется осциллограф. Цепь подключается к источнику переменного напряжения. Действующее значение напряжения на входе цепи $U_{\text{вх}}$ устанавливается равным расчетному значению. При подключении к исследуемой цепи осциллографа следует учесть рекомендации, которые были даны в лабораторной работе 2 (в разделе "Эксперимент").

По результатам экспериментов снимаются требуемые характеристики или временные диаграммы; заполняется строка "Эксперимент" в табл. 7.2.

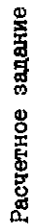
Графики расчетных и экспериментальных характеристик и временных диаграмм оформляются в одинаковых масштабах и в общих осях, что дает возможность оценить степень их совпадения.

Экспериментально определенное значение U_{cm} используется в последующем расчетном задании.

The diagram shows a vertical axis labeled u at the top. A horizontal axis intersects it at the origin, which is labeled 0 . A curve starts from the left, passes through the origin, and continues to the right. The part of the curve to the left of the origin is labeled "Прямая ветвь" (Direct branch). The part of the curve to the right of the origin is labeled "Обратная ветвь" (Inverse branch). A vertical dashed line segment on the right side of the horizontal axis is labeled $u_{\text{ст}}$. A horizontal dashed line segment from the origin to the vertical dashed line is labeled $u_{\text{кр}}$.

Рис. 8.2. Вольт-амперная характеристика стабилизатора

Для снятия прямой ветви вольт-амперной характеристики стабилитрона собирается схема, показанная на рис.8.1. Обратная ветвь характеристики снимается по этой же схеме, но включение стабилитрона изменяется на противоположное. В качестве резистора, показанного на рис.8.1, используется один из резисторов, исследованных в лабораторной работе 1.



В соответствии с вариантом задания (табл. 8.1):

- составить электрическую цепь, включающую в себя стабилитроны, диоды, резисторы;
- определить сопротивление резисторов;
- найти способы реализации этих резисторов, которые входят в состав лабораторного стенда (см. лабораторную работу I);
- из общего перечня пунктов расчета выполнить те, которые указаны в варианте задания (см. табл.8.1).

Таблица 8.1

Номер вари- анта	Номер графи- ка на рис.3.3	Пункт расчета			Номер вари- анта	Номер графи- ка на рис.3.3	Пункт расчета			
I	2	3			4	5	6			
I	24	I	6	8	4	2	3	6	8	10
2	I	2	5	8	5	22	I	5	7	II
3	23	3	4	9	6	3	4	5	9	I2

Окончание табл. 8.1

1	2	3			4	5	6		
		3	5	7			4	5	7
7	21	3	5	7	12	16	4	5	7
8	4	3	5	9	11	16	1	6	9
9	20	4	6	9	10	18	2	5	9
10	5	2	6	8	10	19	1	3	8
11	19	1	3	7	11	20	4	6	7
12	6	2	3	8	12	21	4	5	9
13	18	1	4	7	12	22	3	4	8
14	7	2	3	9	11	23	5	6	9
15	17	3	5	8	10	24	2	4	7

Общий перечень расчетов

1. Построить вольт-амперную характеристику электрической цепи.
2. Построить зависимость $U_{\text{вых}} = U_{\text{вых}}(U_{\text{вх}})$.
3. Построить зависимость $U_{\text{вых}} = U_{\text{вых}}(t)$.
4. Построить зависимость $i_{\text{вх}} = i_{\text{вх}}(t)$.
5. Построить зависимость от времени мгновенного напряжения на одном из стабилизаторов.
6. Построить зависимость от времени мгновенного значения тока одного из стабилизаторов.
7. Определить действующее значение входного тока электрической цепи.
8. Определить действующее значение напряжения на одном из стабилизаторов.
9. Определить действующее значение тока одного из стабилизаторов.
10. Определить активную мощность, потребляемую электрической цепью.
11. Определить активную мощность, выделяемую на одном из резисторов электрической цепи.

12. Определить коэффициент мощности электрической цепи.

Примечания: 1. На графиках (рис. 8.3) не указаны масштабы, их следует выбрать самостоятельно с учетом реальных возможностей лабораторного стенда; значения напряжения стабилизации стабилизаторов $U_{\text{ст}}$, которое было определено в "Эксперименте 1", и того, что в режиме стабилизации ток через стабилизатор должен быть не менее I_{min} (см. рис. 8.2).

2. При выполнении пп. 3-12 следует: входное напряжение брать синусоидальной формы; записывать действующим значением входного напряжения исходя из реальных возможностей лабораторного стенда, а также с учетом того, что включенные в электрическую цепь стабилизаторы должны выходить на режим стабилизации.

3. В качестве выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ можно брать напряжение на любом элементе (группе элементов) электрической цепи.

По результатам расчетов: строятся (в масштабе) требуемые характеристики или временные диаграммы; заполняется строка "Расчет" табл. 8.2.

Таблица 8.2.

	$U_{\text{вх}}, \text{В}$	
Расчет		
Эксперимент		
Погрешность, %		

Последние две графы табл. 8.2 (определяемые величины и единицы их измерений) обозначаются в соответствии с вариантом задания. Например, для 5-го варианта будет: $I_{\text{вх}}$, A и P , $Вт$.

Эксперимент 2.

На лабораторном стенде собирается электрическая цепь, которая была составлена в соответствии с вариантом задания. В цепь включаются измерительные приборы, позволяющие измерять те величины (напряжения, токи, мощности), которые рассматривались в варианте задания. Резисторы, включенные в цепь, должны иметь сопротивление, которое было принято при расчете.

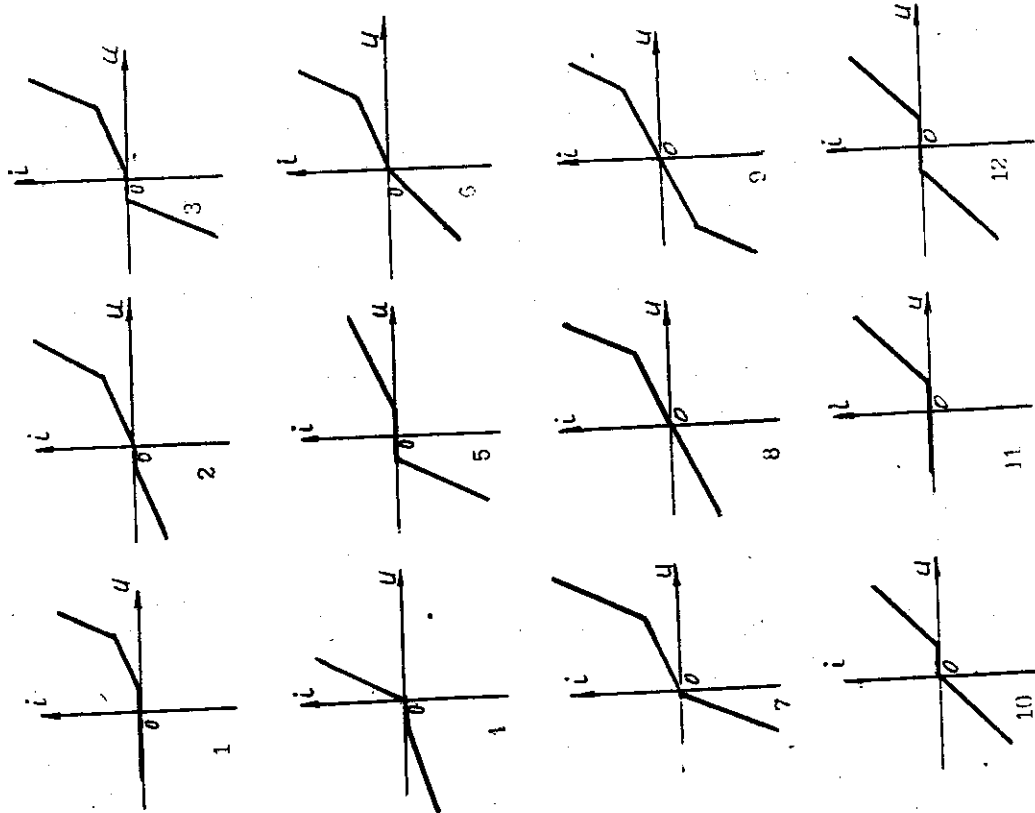


Рис.8.3. Графики вольт-амперных характеристик (1-12) и зависимостей $u_{\text{вых}} = f(u_{\text{вх}})$ (12-24) (начало)

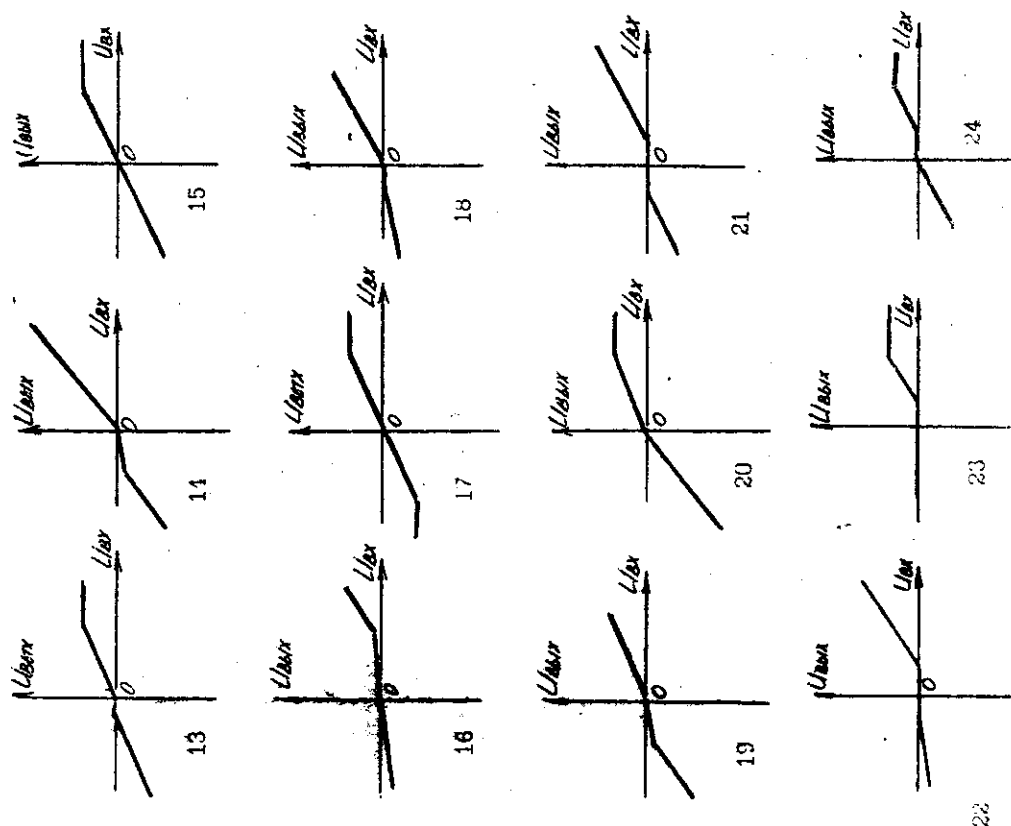


Рис.8.3. (окончание)

Если вариантом задания требуется построение вольт-амперной характеристики или зависимости $U_{\text{вых}} = U_{\text{вых}}(t)$, то в электрическую цепь включаются необходимые измерительные приборы. В этом случае цепь подключается к регулируемому источнику постоянного напряжения. Результаты измерений в процессе снятия характеристик сводятся в соответствующие таблицы.

Для снятия временных диаграмм (осциллограмм), т.е. зависимостей $U_{\text{вых}} = U_{\text{вых}}(t)$, $i_{\text{вх}} = i_{\text{вх}}(t)$ и других, используется осциллограф. Цепь подключается к источнику переменного напряжения. Действующее значение напряжения на входе цепи $U_{\text{вх}}$ устанавливается равным расчетному значению. При подключении к исследуемой цепи осциллографа следует учесть рекомендации, данные к лабораторной работе 2 ("Эксперимент").

По результатам экспериментов снимаются требуемые характеристики или временные диаграммы; заполняется строка "Эксперимент" табл. 8.2.

Расчетные и экспериментальные характеристики, а также временные диаграммы определяются в одинаковых масштабах в обоих осях, что дает возможность оценить степень их совпадения.

Лабораторная работа 9.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ С ДИОДАМИ И ТИРИСТОРАМИ

Цель работы: приобретение навыков расчетов и экспериментального исследования электрических цепей с полупроводниковыми диодами и тиристорами.

Расчетное задание

В соответствии с вариантом задания (табл. 9.1):

- составить электрическую цепь, состоящую из тиристора, диодов и резисторов;
- определить угол включения тиристоров α ;
- определить сопротивление резисторов;

- найти способы реализации этих резисторов с использованием конкретных резисторов, которые входят в состав лабораторного стенда (см. лабораторную работу 1);

- из общего перечня пунктов расчета выполнить те, которые указаны в варианте задания (см. табл. 9.1).

Таблица 9.1

Номер варианта	Номер графика на рис. 9.1	Пункт расчета					Номер варианта	Номер графика на рис. 9.1	Пункт расчета				
I	I	I	2	4	6	17	I3	7	I	2	4	16	20
2	I3	I	3	5	7	18	I4	19	I	3	5	15	19
3	2	I	4	2	8	19	I5	8	I	4	2	14	18
4	I4	I	5	3	9	20	I6	20	I	5	3	13	17
5	3	I	2	4	10	9	I7	9	I	2	4	12	10
6	I5	I	3	5	11	8	I8	21	I	3	5	11	11
7	4	I	4	2	12	6	I9	10	I	4	2	10	17
8	I6	I	5	3	13	7	20	22	I	5	3	9	18
9	5	I	2	4	14	17	21	11	I	2	4	8	19
10	I7	I	3	5	15	18	22	23	I	3	5	7	20
11	6	I	4	2	16	19	23	12	I	4	2	6	12
12	I8	I	5	3	13	20	24	24	I	5	3	12	13

Общий перечень расчетов

1. Построить временную диаграмму управляющих импульсов напряжения, подаваемых на управляющие электроды тиристоров.
2. Построить зависимость $i_{\text{вх}} = i_{\text{вх}}(t)$.
3. Построить зависимость $U_{\text{вых}} = U_{\text{вых}}(t)$.
4. Построить зависимость от времени напряжения на одном из тиристоров.
5. Построить зависимость от времени мгновенного значения тока одного из тиристоров.

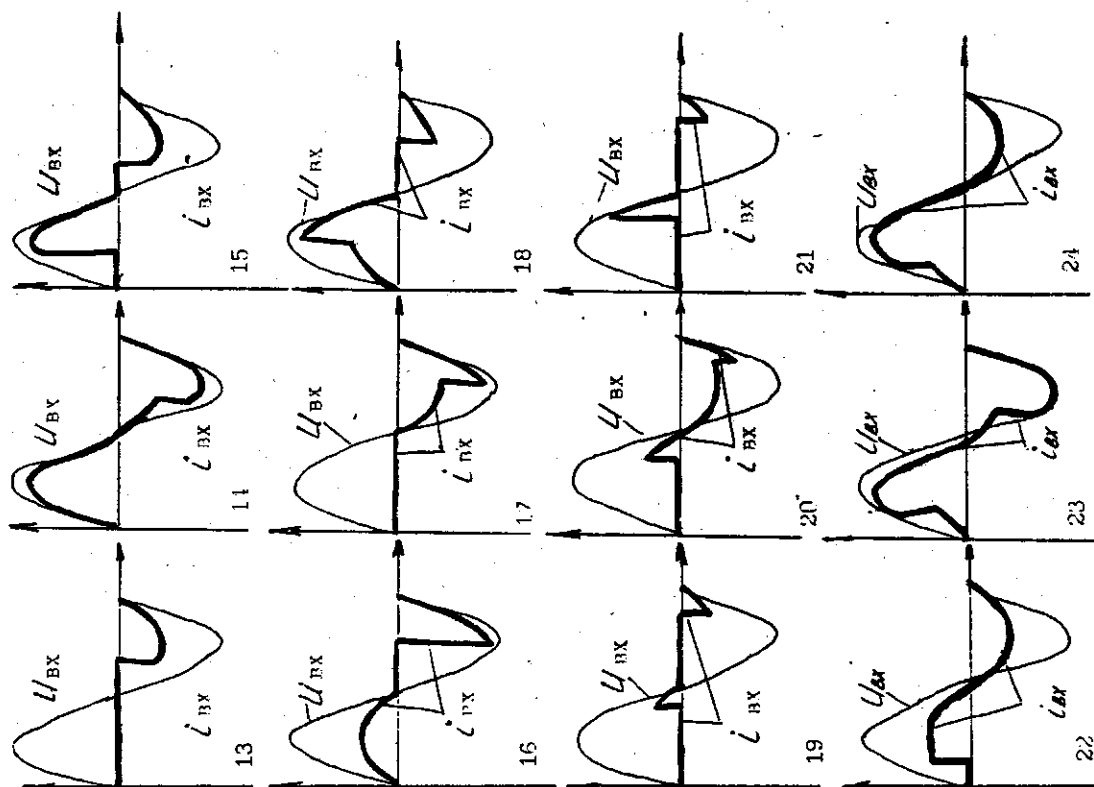
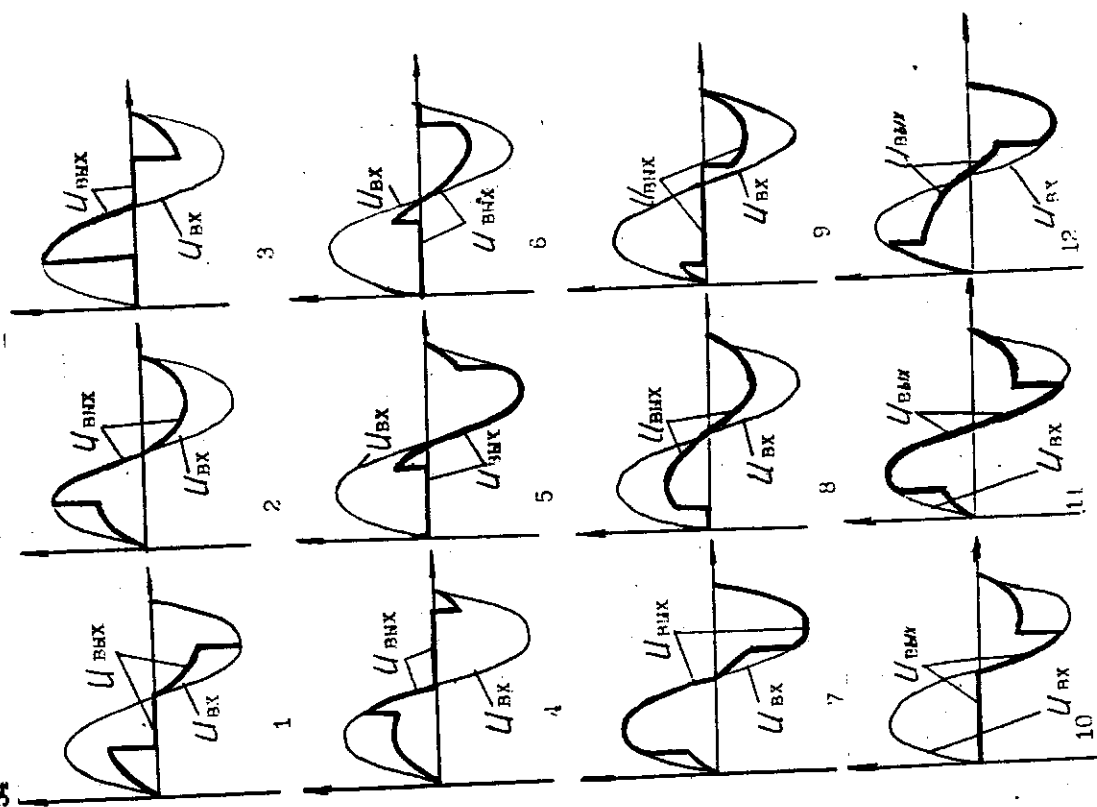


Рис.9.1. (окончание)

Рис.9.1. Графики зависимостей $U_{\text{вх}} = U_{\text{вх}}(t)$ (1-12) и $i_{\text{вх}} = i_{\text{вх}}(t)$ (13-24) (начало)

6. Определить действующее значение входного тока электрической цепи.
7. Определить среднее значение выходного тока электрической цепи.
8. Определить действующее значение выходного напряжения электрической цепи.
9. Определить среднее значение выходного напряжения электрической цепи.
10. Определить действующее значение напряжения одного из тиристоров.
11. Определить среднее значение напряжения одного из тиристоров.
12. Определить действующее значение тока одного из тиристоров.
13. Определить среднее значение тока одного из тиристоров.
14. Определить активную мощность, потребляемую электрической цепью.
15. Определить активную мощность, выделяемую на одном из резисторов электрической цепи.
16. Определить коэффициент мощности электрической цепи.
17. Указать, как изменится (увеличится или уменьшится) действующее значение выходного напряжения в случае уменьшения (по сравнению с заданным) угла включения тиристора.
18. Указать, как изменится (увеличится или уменьшится) среднее значение входного напряжения в случае уменьшения (по сравнению с заданным) угла включения тиристора α .
19. Указать, как изменится (увеличится или уменьшится) действующее значение входного тока в случае уменьшения (по сравнению с заданным) угла включения тиристора α .
20. Указать, как изменится (увеличится или уменьшится) среднее значение выходного тока в случае уменьшения (по сравнению с заданным) угла включения тиристора α .

Примечания: 1. На временных диаграммах, представленных на рис. 9.1 не указаны масштабы. Их следует самостоятельно, исходя из реальных возможностей лабораторного стенда.

2. При выполнении пунктов расчета: входное напряжение брать синусоидальной формы; действующим значением входного напряжения необходимо запастись, исходя из реальных возможностей лабораторного стенда (но не менее 12 В).

3. В качестве выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ можно брать напряжение на любом элементе (группе элементов) электрической цепи.

По результатам расчетов: строятся (в масштабе) требуемые временные диаграммы; заполняется строка "Расчет" в табл. 9.2.

Таблица 9.2

	$U_{\text{вых}}$, В	α , град	
Расчет			
Эксперимент			
Погрешность, %			

Две последние графы табл. 9.2 (определяемые величины и единицы их измерения) обозначаются в соответствии с вариантом задания.

Эксперимент

На лабораторном стенде собирается электрическая цепь, которая была составлена в соответствии с вариантом задания. В цепь включаются измерительные приборы, позволяющие измерить те величины (напряжения, токи, мощности), которые рассматривались в варианте задания. Резисторы, включенные в цепь, должны иметь сопротивление, которые были приняты при расчете. На тиристоры подать управляющие сигналы от генератора управляющих импульсов (ГУИ). Схема подключения тиристоров к ГУИ показана на рис. 9.2.

На вход цепи подается синусоидальное напряжение, действующее значение которого $U_{\text{н}}$ устанавливается равным расчетному. Для наблюдения требуемых заданием временных диаграмм подключается осциллограф. Регулировкой ГУИ устанавливается требуемый угол включения тиристора α . При подключении к исследуемой цепи осциллографа следует учесть рекомендации, которые были даны в лабораторной работе 2 (в части "Эксперимент").

По результатам экспериментов: снимаются временные диаграммы; заполняется строка "Эксперимент" табл. 9.2.

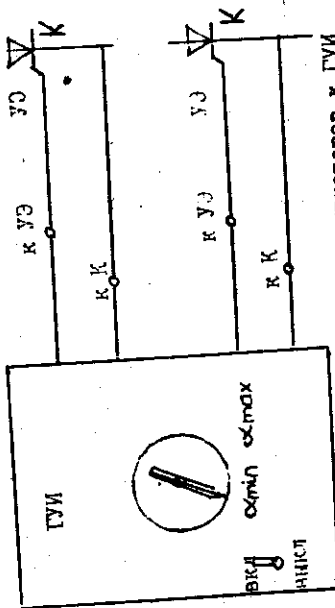


Рис.9.2. Схема подключения тиристора к ГУИ (УЭ - управляющий электрод, К - катод)

Временные диаграммы, полученные в результате расчета и эксперимента строятся в одинаковых масштабах и в общих осях, что дает возможность оценить степень их совпадения.

Лабораторная работа 10. НЕУПРАВЛЯЕМЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ

Цель работы: приобретение навыков экспериментального исследования и расчета неуправляемого выпрямителя однофазного тока.

Эксперимент 1. Определение коэффициента трансформации

В состав выпрямителя входит трансформатор. Для выполнения расчетов выпрямителя необходимо знать величину коэффициента трансформации этого трансформатора.

Коэффициент трансформации k экспериментально определяется на основании формул:

$$k = \frac{U_2}{U_1} \quad (10.1)$$

где U_1 и U_2 действующие значения первичного и вторичного напряжений трансформатора.

Величины U_1 и U_2 , входящие в (10.1), должны измеряться в режиме холостого хода трансформатора.

В зависимости от схемы выпрямителя (со средней точкой или мостовая схема) подключение вольтметров V_1 и V_2 для измерения напряжений U_1 и U_2 осуществляется одним из способов, показанных на рис.10.1.

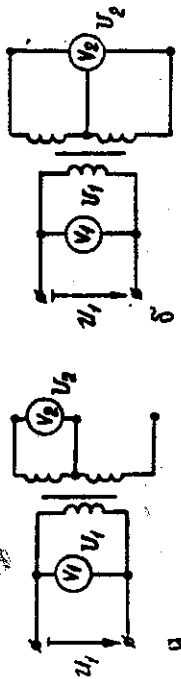


Рис.10.1. Схемы подключения вольтметров для определения коэффициентов трансформации для выпрямителя со средней точкой (а) и для мостового выпрямителя (б)

Расчетное задание

В соответствии с вариантом задания (табл.10.1):
- маршировать схему неуправляемого выпрямителя;
- указать характер нагрузки выпрямителя;
- из общего перечня пунктов расчета выполнить те, которые указаны в варианте задания (табл.10.1).

Таблица 10.1

Номер варианта	Номер графика на рис.10.1	U ₁ , В	R _н , Ом	Пункт расчета	Номер варианта	U ₁ , В	R _н , Ом	Пункт расчета	Номер графика на рис.10.1	U ₁ , В	R _н , Ом	Пункт расчета
1	1	12	30	1	13	12	70	1	1	12	70	1
2	2	18	40	2	14	18	80	2	2	18	80	2
3	3	24	50	3	15	24	100	3	3	24	100	3
4	4	12	60	4	16	12	40	4	4	12	40	4
5	5	18	70	5	17	18	50	5	5	18	50	5
6	6	24	80	6	18	24	60	6	6	24	60	6
7	1	12	20	7	19	12	60	7	1	12	60	7
8	2	18	100	8	20	18	80	8	2	18	80	8
9	3	24	30	9	21	24	100	9	3	24	100	9
10	4	12	40	10	22	12	60	10	4	12	60	10
11	5	18	50	11	23	18	80	11	5	18	80	11
12	6	24	60	12	24	24	100	12	6	24	100	12

1. Построить (при заданных в табл. 10.1 значениях U_1 и R_n) временные диаграммы напряжения и тока: а) нагрузки выпрямителя (u_n, i_n); б) одного из вентиля (u_v, i_v); в) вторичной обмотки трансформатора (u_2, i_2); г) первичной обмотки трансформатора (u_1, i_1).
2. Определить среднее значение напряжения на нагрузке (U_{cp}).
3. Определить действующее значение напряжения на нагрузке (U).
4. Определить среднее значение тока нагрузки (I_{cp}).
5. Определить действующее значение тока нагрузки (I).
6. Определить действующее значение тока вентиля (I_v).
7. Определить среднее значение тока вентиля ($I_{cp.v}$).
8. Определить максимальное значение обратного напряжения вентиля ($U_{max.обр}$).
9. Определить действующее значение вторичного напряжения трансформатора (U_2).
10. Определить действующее значение вторичного тока трансформатора (I_2).
11. Определить действующее значение первичного тока трансформатора (I_1).
12. Определить расчетную типовую мощность трансформатора (S).
13. Определить коэффициент использования трансформатора по мощности (K_p).
14. Определить коэффициент пульсации напряжения на нагрузке (K_n).
15. Определить коэффициент мощности выпрямителя.
16. Определить активную мощность, выделяемую в нагрузке выпрямителя (P_n).
17. Определить активную мощность, потребляемую выпрямителем из сети.

Примечания: 1. Расчеты выполняются для режима работы выпрямителя на активную нагрузку. Величина сопротивления нагрузки R_n указана в табл. 10.1.

2. На вход выпрямителя подается синусоидальное напряжение U_1 , действующее значение которого указано в табл. 10.1.

По результатам расчета: строится (в масштабе) требуемые временные диаграммы; заполняется строка "Расчет" табл. 10.2.

Результаты исследования неуправляемого выпрямителя

	$U_1, В$	
Расчет		
Эксперимент		
Погрешность, %		

Две последние графы табл. 10.2 (определяемые величины и единицы их измерения) обозначаются в соответствии с вариантом задания.

Эксперимент 2

На лабораторном стенде собирается неуправляемый выпрямитель, схема которого была составлена в соответствии с вариантом задания. Исследуются два режима его работы:

- работа на активную нагрузку;
- работа на активно-индуктивную нагрузку.

1. Работа выпрямителя на активную нагрузку.
В этом опыте осуществляется проверка результатов расчетного задания. В качестве нагрузки выпрямителя берется резистор, сопротивление которого R_n задано в варианте расчетного задания. Действующее значение входного напряжения устанавливается равным заданному.

Выполняются измерительные приборн, позволяющие измерять те величины (напряжения, ток, мощности), которые рассчитывались в варианте задания.

Для наблюдения временных диаграмм (осциллограмм) используется осциллограф. При подключении к выпрямителю осциллографа следует учесть рекомендации, которые были даны в лабораторной работе 2.

По результатам эксперимента: снимаются требуемые временные диаграммы; заполняется строка "Эксперимент" табл. 10.2.

Расчетные и экспериментальные временные диаграммы строятся в одинаковых масштабах и в общих осях, что дает возможность оценить степень их совпадения.

2. Работа выпрямителя на активно-индуктивную нагрузку.

Целью данного опыта является выявление особенностей работы выпрямителя на активно-индуктивную нагрузку.

В этом опыте в качестве нагрузки выпрямителя берется катушка индуктивности с максимальной индуктивностью, которая исследовалась в лабораторной работе 1. Действующее значение входного напряжения устанавливается такое же, как и в предыдущем опыте.

По результатам опыта: снимаются те же временные диаграммы, что и в предыдущем опыте; осуществляется сравнительная оценка режима работы выпрямителя на активную нагрузку и на активно-индуктивную нагрузку.

При анализе наблюдаемых в этом опыте временных диаграмм необходимо учитывать, что нагрузка обладает сравнительно не-большой индуктивностью.

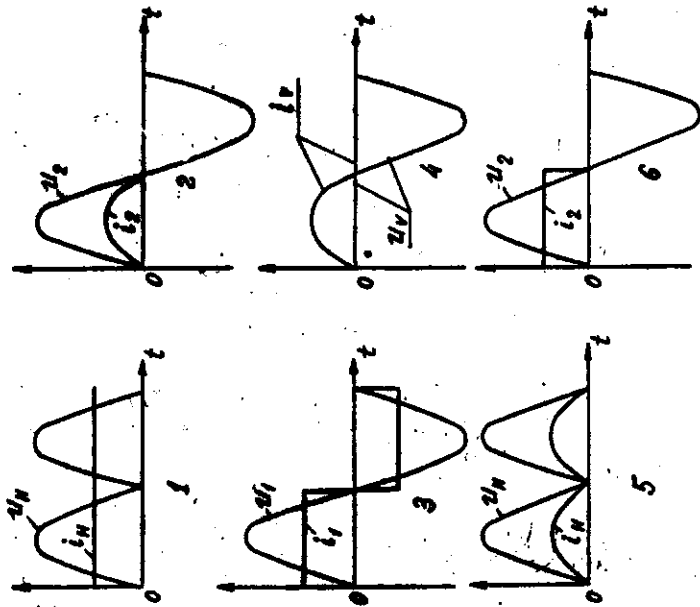


Рис.10.2. Варианты временных диаграмм напряжений и токов выпрямителей

Лабораторная работа 11. УПРАВЛЯЕМЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ

Цель работы: приобретение навыков экспериментального исследования и расчета управляемого выпрямителя однофазного тока.

В этой лабораторной работе продолжается исследование выпрямителя, начатое в работе 10. Схема выпрямителя остается прежней, но управляемые вентили (диоды) заменяются управляемыми вентилями (тиристорами). В случае мостового выпрямителя заменяются на тиристоры только два диода.

Расчетное задание

Номер варианта задания сохраняется (см. лабораторную работу 10). Остается без изменения значения R_H и U_1 . Единственным добавлением к варианту задания из лабораторной работы 10 является введение угла управления тиристорами α . Значения углов управления даны в табл. II.1. Указанные в варианте задания (см. табл. 10.1) пункты расчета выполняются при заданном в табл. II.1 значении угла управления α .

Таблица II.1

Вариант	α , град	Вариант	α , град	Вариант	α , град
1	30	7	30	13	30
2	45	8	45	14	45
3	60	9	60	15	60
4	90	10	90	16	90
5	120	11	120	17	120
6	135	12	135	18	135

По результатам расчета: строятся (в масштабе) требуемые временные диаграммы (при заданном угле управления α). Заполняется строка "Расчет" табл. II.2.

2. Работа выпрямителя на активно-индуктивную нагрузку.
Цель данного опыта - выявление особенностей работы управляемого выпрямителя на активно-индуктивную нагрузку.

В этом опыте в качестве нагрузки выпрямителя берется катушка индуктивности с максимальной индуктивностью, которая исследовалась в лабораторной работе I. Действующее значение входного напряжения выпрямителя берется максимальным (~24 В). Угол управления α устанавливается равным 30 град.

По результатам опыта: снимаются те же временные диаграммы, что и в предыдущем опыте; осуществляется сравнительная оценка режимов работы выпрямителя на активную и активно-индуктивную нагрузки.

При анализе наблюдаемых в этом опыте временных диаграмм необходимо учитывать, что нагрузка обладает сравнительно не-большой индуктивностью.

ЗАДАЧИ

ТЕМА I. Линейные электрические цепи постоянного тока

I.1. Во сколько раз сопротивление цепи (см. рисунок), измеренное между точками I и 2, будет отличаться от сопротивления между точками I и 3?

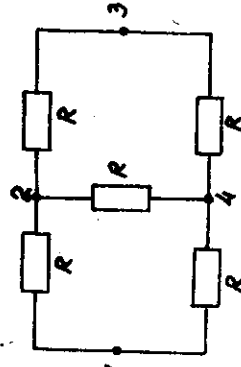


Рис. к задаче I.1

Таблица II.2

	U_1 , В	α , град	
Расчет			
Эксперимент			
Погрешность, %			

Эксперимент

На лабораторном стенде собирается управляемый выпрямитель, схема которого была составлена в соответствии с вариантом задания. Исследуются два режима работы выпрямителя: 1) работа на активную нагрузку; 2) работа на активно-индуктивную нагрузку.

I. Работа выпрямителя на активную нагрузку.

В этом опыте осуществляется проверка результатов расчетного задания. В качестве нагрузки выпрямителя берется резистор, сопротивление которого R_n задано в варианте расчетного задания. Действующее значение входного напряжения устанавливается равным заданному значению.

На управляющие электроды тиристоры подается управляющие импульсы от генератора управляющих импульсов (ГУИ). Схема подключения ГУИ к тиристорам показана на рис.9.2 (см. лабораторную работу 9). Установка требуемого значения угла управления осуществляется с помощью осциллографа. Включаются измерительные приборы, позволяющие измерить те величины (напряжения, токи, мощности), которые рассчитывались в варианте задания.

Для наблюдения временных диаграмм (осциллограмм) используется осциллограф. При подключении к выпрямителя осциллографа следует учесть рекомендации, приведенные в лабораторной работе 2.

По результатам эксперимента: снимаются требуемые временные диаграммы; заполняется строка "Эксперимент" табл. II.2.

Расчетные и экспериментальные временные диаграммы строятся в одинаковых масштабах и в общих осях, что дает возможность оценить степень их совпадения.

1.2. Даны три резистора с сопротивлениями по 100 Ом. Определить значения мощности нагрузки, которая может быть создана у источника напряжения 100 В при всех возможных вариантах включения этих резисторов на зажимы источника.

1.3. Два встречно включенных идеальных источника напряжения $U_1 = 1$ В и $U_2 = 2$ В образуют с резистором $R = 1$ Ом замкнутый контур. Определить напряжение на резисторе и протекающий по нему ток.

1.4. Для установившегося режима определить запасенную и рассеиваемую энергию в пассивных элементах электрической цепи, изображенной на рисунке, если $U = 10$ В, $L = 2$ Гн и $R = 2$ Ом. Теплоемкостью резистора пренебречь.

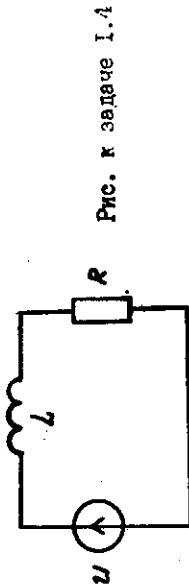


Рис. к задаче 1.4

1.5. Определить токи во всех ветвях схем, изображенной на рисунке, при разомкнутом и замкнутом ключе К, если источник напряжения $U = 10$ В и тока $I = 4$ А идеальные, а сопротивление резистора $R = 5$ Ом.

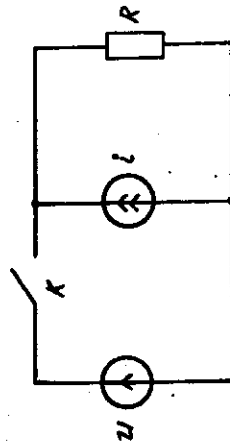


Рис. к задаче 1.5

1.6. Определить установившиеся значения напряжения на всех элементах электрической цепи, изображенной на рисунке, если: ток источника $I = 10$ А, емкость $C = 2$ мкФ, сопротивления $R_1 = 2$ Ом и $R_2 = 3$ Ом.

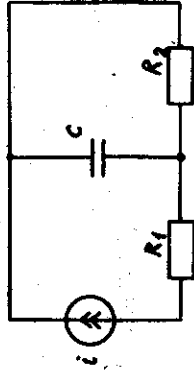


Рис. к задаче 1.6

1.7. Идеальные источник тока 2 А и источник напряжения 10 В включены последовательно и согласно на нагрузку с сопротивлением 5 Ом. Чему равно напряжение на источнике тока?

1.8. Идеальный источник напряжения 6 В и идеальный источник тока 4 А включены параллельно и согласно на общую нагрузку с сопротивлением 3 Ом. Чему равен ток источника напряжения?

1.9. Параллельно и согласно включенные идеальные источники тока $I_1 = 1$ А и $I_2 = 2$ А подсоединены к резистору сопротивлением 100 Ом. Определить напряжение на резисторе и протекающий по нему ток.

1.10. Реальный источник постоянного тока имеет напряжение холостого хода 10 В и ток короткого замыкания 100 А. Определить параметры эквивалентных ему: а) источника напряжения; б) источника тока.

1.11. При какой величине сопротивления резистора R_3 (см. рисунок) в сопротивлении R_1 будет выделяться наибольшая мощность, если $R_1 = 2$ Ом и $R_2 = 4$ Ом? Напряжение источника 10 В.

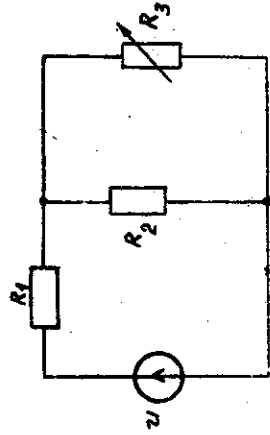


Рис. к задаче 1.11

1.12. Цепь, изображенная на рисунке, имеет параметры: $U_1 = 10$ В, $U_2 = 20$ В, $I = 5$ А, $R = 3$ Ом. Рассчитать мощность нагрузки каждого источника питания.

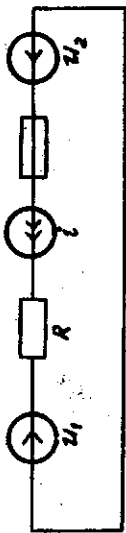


Рис. к задаче 1.12

1.13. Чему равен КПД источника напряжения 10 В с внутренним сопротивлением 2 Ом при максимально возможной мощности нагрузки источника?

1.14. Два источника имеют напряжения холостого хода соответственно 10 и 12 В и внутренние сопротивления по 1 Ом. Чему будут равны напряжение холостого хода и внутреннее сопротивление источника напряжения, эквивалентного данным двум источникам, при их параллельном согласном включении?

1.15. При каких условиях амперметр в схеме, изображенной на рисунке, будет показывать нуль, если $U_1 \neq 0$?

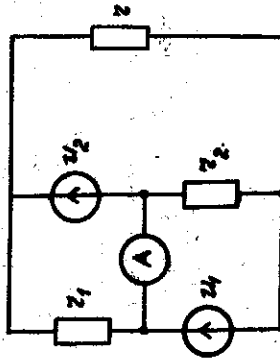


Рис. к задаче 1.15

ТЕМА 2. Цепи однофазного синусоидального тока

2.1. Определить величину тока в идеальной катушке с индуктивностью $L = 50$ мГн в моменты времени $t_1 = 50$ мс и $t_2 = 220$ мс, если к ней приложено напряжение $u = 157 \sin 314t$ В.

2.2. Определить активное и индуктивное сопротивление катушки, если прибор в цепи катушки (см. рисунок) показы-

вает: $I = 2$ А, $U = 10$ В, $P = 12$ Вт. Частота сети $f = 50$ Гц.

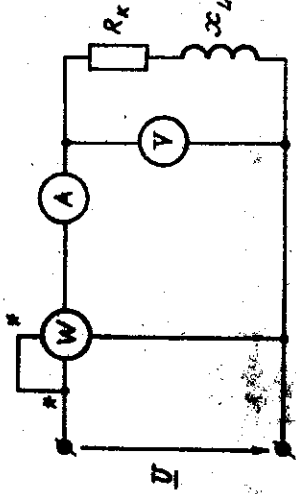


Рис. к задаче 2.2

2.3. При прохождении по резистору переменного тока с амплитудой $I_m = 10$ А за один период выделяется энергия 10 Дж. Сколько выделится энергии на этом же резисторе за то же время при прохождении по нему постоянного тока $I = 7,1$ А?

2.4. Чему равна начальная фаза синусоидального тока, если в момент начала отсчета времени мгновенное значение составляет 4 А, а максимальное его значение 8 А.

2.5. Найти выражение для мгновенного значения тока i , который представляет собой сумму двух синусоидальных токов: $i_1 = 6 \sin 314t$ А и $i_2 = 8 (\sin 314t + \pi/2)$ А.

2.6. Определить комплекс действующего значения тока и полной мощности электрической цепи, состоящей из последовательно соединенных активного сопротивления $R = 3$ Ом и индуктивного $X_L = 4$ Ом, если к цепи подведено синусоидальное напряжение, комплекс которого равен $\underline{U} = 100$ В.

2.7. К источнику напряжения $U = 100$ В подключены параллельно две ветви, настроенные в резонанс (см. рисунок).

Ток первой ветви $I_1 = 14,1$ А; ток источника I и второй ветви I_2 равны. Определить сопротивление резистора.

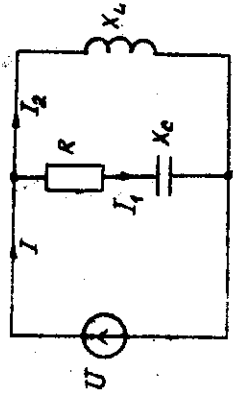


Рис. к задаче 2.7

2.8. Определить коэффициент мощности цепи при параллельном соединении конденсатора и резистора, если коэффициент мощности цепи $\cos \phi$ при последовательном соединении этих же элементов равен 0,6.

2.9. Определить напряжение U , приложенное к неразветвленной цепи, если сопротивление элементов цепи: $R = 30 \text{ Ом}$, $X_C = 10 \text{ Ом}$, $X_L = 80 \text{ Ом}$, $U_C = 40 \text{ В}$.

2.10. В сеть переменного напряжения $U = 220 \text{ В}$ и $f = 50 \text{ Гц}$ необходимо включить чисто активную нагрузку с номинальным напряжением $U_N = 110 \text{ В}$ и потребляемой мощностью $P = 100 \text{ Вт}$. Для компенсации избыточного напряжения были использованы в одном случае - резистор, а в другом - катушка индуктивности с активным сопротивлением 10 Ом . Найти КПД схемы в обоих случаях.

2.11. Написать выражение для мгновенного значения тока в цепи с последовательным соединением элементов $R = 20 \text{ Ом}$, $X_C = 50 \text{ Ом}$, $X_L = 30 \text{ Ом}$, если приложенное напряжение $u = 100 \sin \omega t \text{ В}$.

2.12. Найти комплекс тока и реактивную мощность цепи, состоящей из последовательно соединенных элементов с сопротивлением $R = 3 \text{ Ом}$, $X_L = 5 \text{ Ом}$, $X_C = 10 \text{ Ом}$, если приложенное напряжение $U = 63 \text{ В}$.

2.13. Определить действующее значение напряжения на входе цепи, состоящей из двух последовательно включенных элементов, если напряжения на ее элементах составляют: $U_1 = 282 \sin(\omega t + 45^\circ)$ и $U_2 = 282 \sin(\omega t - 45^\circ) \text{ В}$.

2.14. Определить реактивную мощность всех элементов цепи, состоящей из последовательно включенных резистора $R = 3 \text{ Ом}$, индуктивности $X_L = 10 \text{ Ом}$ и емкости $X_C = 6 \text{ Ом}$, если общее напряжение $u = 100 \sin 314 t \text{ В}$.

ТЕМА 3. Трехфазные цепи

3.1. Определить линейный ток при симметричном режиме работы трехфазной цепи (см. рисунок), если $U_A = 380 \text{ В}$, $R_1 = 10 \text{ Ом}$, $R_2 = 30 \text{ Ом}$.

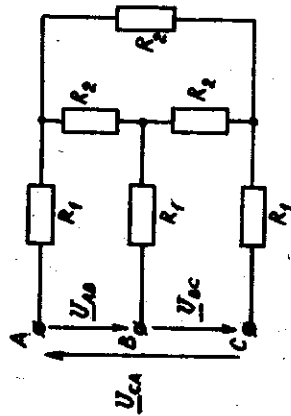


Рис. к задаче 3.1

3.2. Определить линейные токи трехфазной цепи в комплексном виде (см. рисунок), если $|Z_{ab}| = |Z_{bc}| = |Z_{ca}| = 10 \text{ Ом}$; $U_{AB} = 220 \text{ В}$.

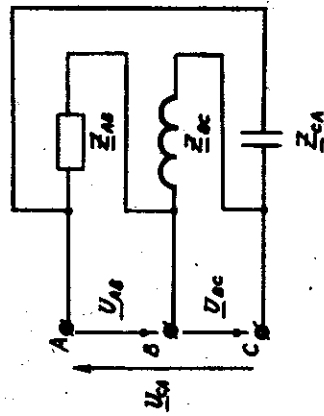


Рис. к задаче 3.2

3.3. Определить действующее значение тока в линии трехфазной цепи (см. рисунок к задаче 3.2), если линейные напряжения $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_A = 220 \text{ В}$ и линейные напряжения $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_A = 220 \text{ В}$ и проводимости фаз, нагрузки $Y_a = 10 \text{ Ом}^{-1}$, $Y_b = j 10 \text{ Ом}^{-1}$, $Y_c = -j 10 \text{ Ом}^{-1}$.

3.4. К трехфазной линии, линейные напряжения которой симметричны, присоединены приемники электрической энергии по схеме "звезда" (см. рисунок). Определить соотношение токов в фазе до и после замыкания ключа K .

3.5. Чему равно напряжение на нагрузке фазы A при замыкании и разомкнутом ключе K (см. рисунок к задаче 3.4), если приемники электрической энергии подключены к симметричной трехфазной линии, линейное напряжение которой $U_A = 220 \text{ В}$?

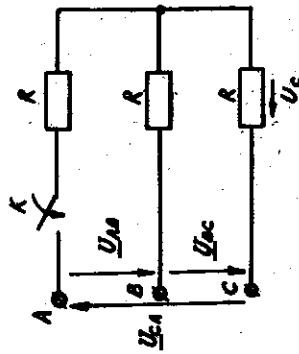


Рис. к задаче 3.4

3.6. К трехфазной линии, линейные напряжения которой симметричны $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_A$, подключены приемники электрической энергии (см. рисунок). Во сколько раз изменится мощность P , потребляемая схемой, если разомкнуть ключ K ?

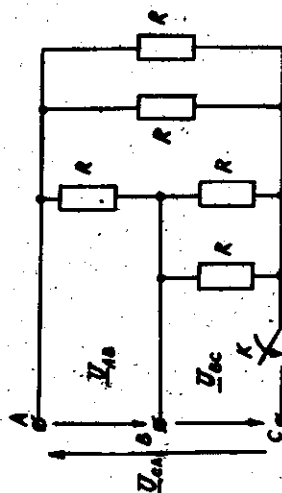


Рис. к задаче 3.6

3.7. В симметричной трехфазной цепи нагрузка соединена треугольником, $|Z_{AB}| = |Z_{BC}| = |Z_{CA}| = 10 \text{ Ом}$, $\arg Z_{AB} = \arg Z_{BC} = \arg Z_{CA} = 30^\circ$, линейные напряжения на нагрузке равны 100 В. Определить активную и реактивную мощности нагрузки.

3.8. Определить ток в нулевом проводе трехфазной цепи (см. рисунок), если фазные напряжения сети $U_A = 127 \text{ В}$, $U_B = 127e^{-j(2\pi/3)} \text{ В}$, $U_C = 127e^{+j(2\pi/3)} \text{ В}$, а модуль сопротивления нагрузки каждой фазы $|Z| = 5 \text{ Ом}$.

3.9. К трехфазной линии, линейные напряжения которой симметричны $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_A \approx 220 \text{ В}$, подключены приемники электрической энергии (см. рисунок). Значения пара-

метров приемников: $R_1 = 8 \text{ Ом}$, $R_2 = 22 \text{ Ом}$, $X = 6 \text{ Ом}$. Определить активную мощность, потребляемую схемой.

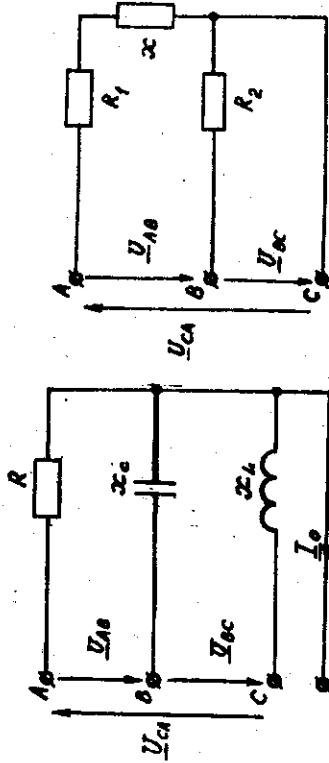


Рис. к задаче 3.8

Рис. к задаче 3.9

3.10. Согласно условию задачи 3.6 рассчитать напряжение на ключе K .

3.11. Определить активную, реактивную и полную мощности, а также коэффициент мощности нагрузки, если сопротивления фаз, включенных по схеме "звезда", $Z = 16 + j12 \text{ Ом}$, а величина линейных токов $I_A = 17,3 \text{ А}$.

3.12. Несимметричная трехфазная нагрузка соединена по схеме "треугольник": $Z_{AB} = 10 \text{ Ом}$, $Z_{BC} = -j10 \text{ Ом}$, $Z_{CA} = j10 \text{ Ом}$. Линейные напряжения симметричны, $U_A = 220 \text{ В}$. Определить линейные токи в комплексном виде и построить в масштабе векторную диаграмму токов и напряжений на комплексной плоскости.

3.13. Сопротивления фаз трехфазной нагрузки равны: $Z_{AB} = 60 + j80 \text{ Ом}$, $Z_{BC} = 60 - j80 \text{ Ом}$ и $Z_{CA} = 200 \text{ Ом}$. Составить выражения для комплексных токов фаз и мощности нагрузки, если фазы источника включены по схеме "звезда" и имеют напряжение 230 В.

ТЕМА 4. Переходные процессы в линейных электрических цепях

4.1. катушка, активное сопротивление которой $R = 10 \text{ Ом}$, и индуктивность $L = 1 \text{ Гн}$, включается в сеть постоянного тока напряжением $U = 100 \text{ В}$. Определить закон изменения тока в катушке.

4.2. Резистор $R = 20 \text{ кОм}$ и емкость $C = 10 \text{ мкФ}$, соединенные последовательно, подключаются к источнику постоянного напряжения $U = 20 \text{ В}$. Определить изменение тока в цепи, если начальное напряжение на емкости $U_C(t < 0) = 10 \text{ В}$.

4.3. В схеме, изображенной на рисунке, ключ K замыкается и через $t = 0,1 \text{ с}$ размыкается. Определить напряжение на ключе в момент его размыкания, если $U = 10 \text{ В}$, $R_1 = 10 \text{ Ом}$, $R_2 = 1000 \text{ Ом}$, $L = 1 \text{ Гн}$. Напряжение на сопротивлении R_2 перед замыканием ключа было равно нулю.

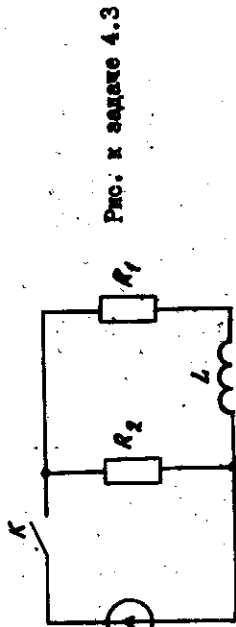


Рис. к задаче 4.3

4.4. катушка, активное сопротивление которой $R = 10 \text{ Ом}$ и индуктивность $L = 10 \text{ Гн}$, включается в сеть постоянного тока напряжением $U = 10 \text{ В}$. Определить с точностью $\pm 5\%$ величину мгновенного значения тока i для момента времени $t = 5 \text{ с}$.

4.5. Резистор $R = 10^3 \text{ кОм}$ и емкость $C = 1 \text{ мкФ}$, соединенные последовательно, включаются в сеть постоянного тока напряжением $U = 100 \text{ В}$. Оценить величину напряжения U_R в момент времени $t = 5 \text{ с}$, если начальное напряжение на емкости $U_C(t < 0) = 50 \text{ В}$.

4.6. При включении последовательно соединенных резистора R и индуктивности L на источник постоянного напряжения $U = 100 \text{ В}$ в цепи возникает ток $i = 10(1 - e^{-10t}) \text{ А}$. Определить величину индуктивности.

4.7. катушка индуктивности включается на источник постоянного напряжения 20 В . Определить параметры R и L экви-

валентной схемы катушки, если начальная скорость нарастания тока 2 кА/с , а значение тока после окончания переходного процесса 2 мА .

4.8. Резистор сопротивлением $R = 10 \text{ Ом}$ и незаряженный конденсатор емкостью $C = 1/\pi \cdot 10^3 \text{ мкФ}$, соединенные последовательно, включаются на источник синусоидального напряжения $u = 100\sqrt{2} \sin 314t \text{ В}$. В какой момент времени на интервале $0 < t < 20 \text{ мс}$ нужно замкнуть цепь, чтобы сразу наступил установившийся режим?

ТЕМА 5. Основы электроники

5.1. Определить действующее значение тока в цепи, состоящей из последовательно соединенных источника синусоидального напряжения $u = 100 \sin 314t \text{ В}$, идеального вентильного резистора сопротивлением 10 Ом .

5.2. Построить вольт-амперную характеристику участка цепи, состоящего из последовательно включенного резистора сопротивлением 500 Ом и идеального стабилизатора с напряжением 10 В .

5.3. По входным и выходным характеристикам транзистора (см. рисунок), соответствующим схеме с общим эмиттером, определить его h -параметры при напряжении коллектора $U_K = 5 \text{ В}$ и токе базы $i_B = 200 \text{ мкА}$. Точность расчета $\pm 10\%$.

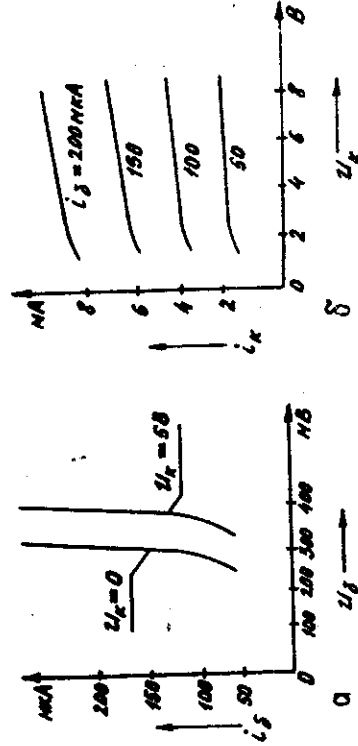


Рис. к задаче 5.3

5.4. Определить, во сколько раз изменится мощность, потребляемая резистивной нагрузкой сопротивлением R , включенной на трехфазный симметричный источник синусоидального напряжения U_N через выпрямительный мост V по схеме, изображенной на рисунке, при обрыве фазы A .

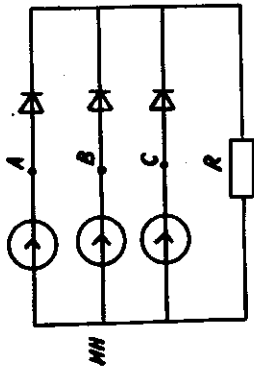


Рис. к задаче 5.4

5.5. Для схемы усилительного каскада на транзисторе с общим эмиттером (см. рисунок), имеющим характеристики, изображенные на рисунке в задаче 5.3, рассчитать коэффициенты усиления по току, напряжению и мощности, если напряжение U источника в цепи эмиттера — коллектора 12 В, а сопротивление R резистора в этой цепи 1 кОм. Расчет произвести с точностью $\pm 10\%$ для режима в области $U_K = 6$ В и $i_K = 5$ мА.

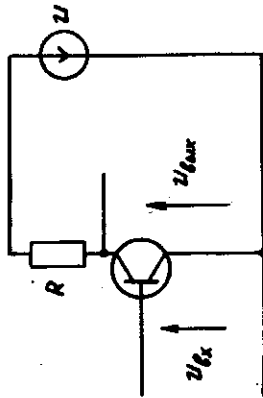


Рис. к задаче 5.5

5.6. Определить среднее значение напряжения на резистивной нагрузке, питаемой от однофазного источника синусоидального напряжения $u = 100 \sin \omega t$ через тиристор, если угол открытия тиристора 30 эл.град.

ТЕМА 6. Электрические измерения

6.1. Образцовый и лабораторный амперметры при последовательном соединении показывают соответственно 5 и 5,07 А. Определить абсолютную и относительную погрешности измерения лабораторным амперметром, пренебрегая погрешностью образцового амперметра.

6.2. Для определения мощности потребителя были использованы амперметр и вольтметр с номинальными шкалами соответственно 50 и 100 В. Какова погрешность вычисления мощности при показаниях приборов соответственно 40 А и 80 В, если их класс точности 1,5?

6.3. Миллиамперметр магнитоэлектрической системы с пределом измерений 30 мА и внутренним сопротивлением 1 Ом имеет шкалу, разбитую на 100 делений. Определить величину дополнительного сопротивления, необходимого для измерения с помощью этого миллиамперметра напряжения 600 В и цену деления этого прибора в режиме вольтметра.

6.4. Амперметр с пределом измерений 5 А, числом делений шкалы 100, внутренним сопротивлением 0,1 Ом включен с шунтом 0,02 Ом. Определить цену делений прибора.

6.5. Ваттметр с равномерной шкалой имеет 100 делений. Показание 100-го деления соответствует номинальному току 5 А и напряжению 300 В. Найти цену делений прибора при его включении через измерительный трансформатор тока 5/600 А и дополнительное сопротивление цепи напряжения прибора 5 кОм, а также абсолютную и относительную погрешность измерения мощности при отклонении стрелки прибора на 20 делений шкалы.

6.6. Образцовый ваттметр, включенный для проверки счетчика электроэнергии, стабильно в течение 10 мин показывает 600 Вт. Чему равна погрешность включенного в эту цепь счетчика, диск которого за 10 мин сделал 129 оборотов? Показания счетчика увеличиваются на 1 кВт·ч через каждые 1280 оборотов диска.

6.7. На экране осциллографа получена осциллограмма в виде эллипса с горизонтальной осью 80 мм и вертикальной осью 60 мм. Масштаб отклонений луча по обеим осям 10 см/В. Определить сопротивление последовательно включенных резистора и индуктивности, напряжения которых поданы соответственно на

затяжки горизонтальной и вертикальной развертки осциллографа. Ток в цепи $0,7 \text{ A}$.

6.8. Сигусоциальное напряжение источника $U_m = 5\sqrt{2} \text{ B}$ и напряжение на резисторе R (см. рисунок) поданы соответственно на зажимы горизонтальной U_x и вертикальной U_y развертки осциллографа. Определить координаты четырех характеристичных точек кривой, получаемой при этом на экране осциллографа, если масштабы отклонений куча по обеим осям $0,5 \text{ см/B}$. Номинальное напряжение стабилизатора 5 B . При отключенном источнике изображаемая точка на экране имеет координаты $0,0$.

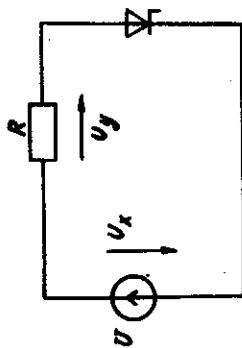


Рис. к задаче 6.8

6.9. Мостовая схема для измерения температуры перегрева (см. рисунок) имеет параметры: $U = 20 \text{ B}$, $R_0 = 100 \text{ Ом}$. Определить показания вольтметра U при температуре перегрева 125°C , если его сопротивление $R = 100 (1 + 4 \cdot 10^{-3} U) \text{ Ом}$.

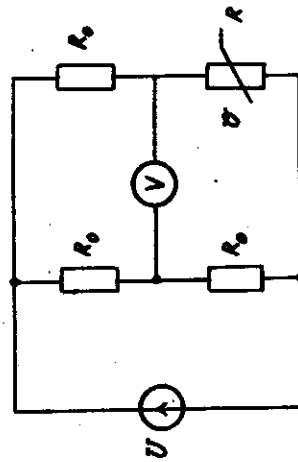


Рис. к задаче 6.9

6.10. Линейная деформация образца измеряется с помощью двух тензодатчиков, включенных по схеме, приведенной на рисунке, и имеющих сопротивления $R = R_0 (1 + \kappa \lambda) \text{ Ом}$ (где $R_0 = 100 \text{ Ом}$, λ - относительная деформация тензодатчика,

κ - коэффициент тензочувствительности, равный здесь 2). Определить показания вольтметра при относительной деформации образца $\lambda = 0,01$, если напряжение источника питания схемы $U = 100 \text{ B}$.

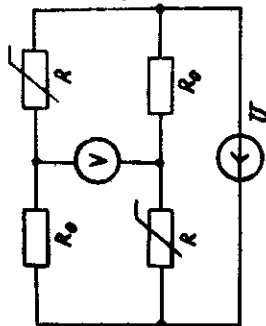


Рис. к задаче 6.10

6.11. Угловая скорость измеряется с помощью тахогенератора и вольтметра постоянного тока. Определить изменение угловой скорости вала тахогенератора по отношению к исходной, если показания вольтметра изменятся от 100 до 105 B , и оценить относительную погрешность этого измерения, выполненого вольтметром на напряжение 150 B со шкалой 150 делений и имеющего класс точности $1,0$.

ТЕМА 7. Электромагнитные цепи и трансформаторы

7.1. Торoidalный ферромагнитный сердечник имеет равномерно намотанную обмотку с числом витков 200 . Размеры сердечника: поперечное сечение 2 см^2 , средний радиус 3 см . При каком токе в обмотке среднее значение индукции будет равно 1 Тл , если у данного ферромагнетика ему соответствует напряженность магнитного поля 3 A/см ? Рассеянием магнитного потока пренебречь.

7.2. Согласно условиям задачи 7.1 и в предположении, что торoidalный сердечник имеет поперечный воздушный зазор 2 мм , определить ток в обмотке.

7.3. Магнитопривод, данные которого приведены в задаче 7.1, имеет две встречно намотанные обмотки с числом витков 200 и 400 . Ток в первой обмотке 2 A . Какой ток должен

быть во второй обмотке, чтобы создать в сердечнике поле с индукцией I Тл?

7.4. Определить индуктивность в ненасыщенном состоянии обмотки тороида по условиям задачи 7.1 (индукция I Тл, напряженность поля 100 А/м).

7.5. Определить взаимную индуктивность обмоток по условиям задачи 7.3 для ненасыщенного магнитопровода (см. задачу 7.4).

7.6. Определить среднее значение удельной энергии магнитного поля в сердечнике магнитопровода по условию задачи 7.1.

7.7. Определить амплитуду гармонически изменяющейся индукции в магнитопроводе с помощью измерительной обмотки, напряжение на которой равно $7,5 \text{ В}$. Площадь сечения магнитопровода 4 см^2 . Частота изменения поля 50 Гц .

7.8. Определить активное и индуктивное сопротивления в последовательной схеме замещения катушки с ферромагнитным сердечником по следующим данным: напряжение на катушке 120 В , ток $0,5 \text{ А}$ и мощность потерь 2 Вт ; сопротивление обмотки на постоянном токе 4 Ом . Поля рассеяния не учитывать.

7.9. Определить действующее значение ЭДС, индуцируемой в каждом витке первичной и вторичной обмоток однофазного трансформатора, имеющего следующие номинальные данные: полная мощность 2 кВА , ток вторичной обмотки 5 А . Число витков первичной и вторичной обмоток 200 и 400 .

7.10. Однофазный трансформатор имеет четыре одинаковые обмотки, которые могут быть любым образом соединены. Какие напряжения могут быть получены с помощью этого трансформатора при подключении его к источнику напряжения 100 В . Какую обмотка допускает включение на напряжение 100 В .

7.11. Оценить целесообразное соотношение диаметров обмоточных проводов первичной и вторичной обмоток трансформатора, коэффициент трансформации которого равен $1,5$.

7.12. В опыте холостого хода однофазного двухобмоточного трансформатора определено: потребляемая мощность 160 Вт , ток первичной обмотки $1,6 \text{ А}$, напряжения первичной и вторичной обмоток соответственно 200 и 100 В . Определить: коэффициент трансформации, потери мощности в магнитопроводе в режиме номинальной нагрузки, ток намагничивания и параметры ветки намагничивания в Т-образной схеме замещения.

7.13. Определить число амперметров, которые могут быть включены через измерительный трансформатор тока в цепь с измерением тока не более 600 А , если номинальная мощность трансформатора 40 ВА , а ток 5 А . Мощность, потребляемая амперметром в номинальном режиме.

7.14. Оценить точность измерения мощности ваттметром, последовательная и параллельная обмотки которого включены соответственно через измерительные трансформаторы тока и напряжения. Классы точности: ваттметра — $2,5$ и измерительных трансформаторов — $1,0$.

ТЕМА 8. Электрические машины

8.1. Определить изменение напряжения генератора постоянного тока независимого возбуждения при изменении нагрузки от холостого хода до номинальной, если известно, что сопротивление якорной цепи $0,1 \text{ Ом}$, номинальное напряжение генератора 220 В и номинальная мощность $6,6 \text{ кВт}$.

8.2. Определить величину ЭДС генератора постоянного тока независимого возбуждения, необходимую для обеспечения напряжения 220 В при токе нагрузки 30 А , если сопротивление якорной цепи $0,1 \text{ Ом}$.

8.3. Определить напряжение генератора постоянного тока параллельного возбуждения, если ЭДС генератора 118 В , сопротивление нагрузки 2 Ом , якоря $0,05 \text{ Ом}$, а цепи обмотки возбуждения 25 Ом .

8.4. Определить изменение величины ЭДС якоря двигателя постоянного тока параллельного возбуждения при изменении нагрузки от холостого хода до половины от номинальной, если частота вращения холостого хода $1,1$ о.б.

8.5. Для двигателя постоянного тока параллельного возбуждения известны частота вращения холостого хода 1100 об/мин и следующие номинальные данные: напряжение питания 220 В , частота вращения 1000 об/мин . Определить величину напряжения питания, при которой частота вращения двигателя при номинальном моменте нагрузки уменьшится в два раза.

8.6. Двигатель постоянного тока номинальной мощностью $5,0 \text{ кВт}$ подключен к сети 220 В . Определить момент, разви-

вращающий двигатель и его КД, если частота вращения 1000 об/мин и потребляемый из сети ток 29 А.

8.7. Во сколько раз изменится начальное значение пускового тока асинхронного двигателя, если нагрузочный момент на его валу уменьшить в два раза по сравнению с номинальным?

8.8. Определить частоту вращения магнитного поля ротора, если номинальная частота вращения двигателя 1390 об/мин.

8.9. Определить частоту вращения четырехполюсного асинхронного двигателя, если момент его нагрузки равен половине номинального, а номинальное скольжение 0,04. Механическую характеристику двигателя при нагрузках до номинальной считать линейной.

8.10. Определить КД трехфазного асинхронного двигателя в номинальном режиме работы по следующим номинальным данным: мощность 42 кВт, напряжение 380 В, ток 94 А, коэффициент мощности 0,78.

8.11. Как изменится характеристика холостого хода синхронного генератора при увеличении в два раза частоты вращения приводного двигателя?

8.12. Как изменится напряжение холостого хода синхронного генератора при уменьшении в 1,25 раза величины его тока возбуждения? Магнитная система генератора ненасыщена.

8.13. Синхронный генератор с независимым возбуждением включен на нагрузку с сопротивлением $Z_H = 10 \text{ о.е.}$. Определить в процентах изменение напряжения генератора при увеличении его частоты вращения на 10%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Судовая электротехника и электроника/ Под ред. Д.В.Виле-сова. Л.: Судостроение, 1985.
2. БЕЖОУНОВ Л.А. Теоретические основы электротехники. М.: Высш. школа, 1978.
4. ЗАБРОДИН В.С. Промышленная электроника. М.: Высш. школа, 1982.
4. Справочник судового электротехника/ Под ред. Г.И. Китаенко. Л.: Судостроение, 1980.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Правила техники безопасности при выполнении лабора- торных работ	3
Лабораторная работа I. Вольт-амперные характеристики и параметры резистора, катушки индуктивности и конденсатора	5
Лабораторная работа 2. Резистор, катушка индуктив- ности и конденсатор в цепи переменного тока	12
Лабораторная работа 3. Электрические цепи с резис- тором, катушкой индуктивности и конденсатором	17
Лабораторная работа 4. Однофазные цепи переменного тока	20
Лабораторная работа 5. Резонансы напряжений и токов	26
Лабораторная работа 6. Трехфазные цепи	32
Лабораторная работа 7. Электрические цепи с полу- проводниковыми диодами	41
Лабораторная работа 8. Электрические цепи с полу- проводниковыми диодами и стабилизаторами	46
Лабораторная работа 9. Электрические цепи с диодами и тиристорами	52
Лабораторная работа 10. Неуправляемый выпрямитель	58
Лабораторная работа II. Управляемый выпрямитель ... Задачи	63
Тема I. Линейные электрические цепи постоянно- го тока	65
Тема 2. Цепи однофазного синусоидального тока	68
Тема 3. Трехфазные цепи	70
Тема 4. Переходные процессы в линейных элект- рических цепях	74
Тема 5. Основы электроники	75
Тема 6. Электрические измерения	77
Тема 7. Электромагнитные цепи и трансформаторы	79
Тема 8. Электрические машины	81
Литература	82