

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»
(ФГБОУ ВО ПГУПС)

Калининградский филиал ПГУПС



УТВЕРЖДАЮ

Начальник Управления
по работе с филиалами

Е.В. Панюшкина

«10» января 2020 г.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
ОП.02 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА**

для специальности

08.02.10 Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство

*базовая подготовка,
на базе среднего общего образования*

Форма обучения: очная

Нормативные сроки обучения: 2 года 10 месяцев

Начало подготовки: 2020 год

г. Калининград

2020

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

При изучении дисциплины «Электротехника и электроника» немаловажное значение имеет лабораторный практикум, так как выполнение лабораторных и практических работ способствует более глубокому усвоению основных теоретических положений изучаемых электротехнических и электронных устройств.

В процессе выполнения лабораторных и практических работ создаются определённые условия для получения студентами необходимых навыков в использовании разнообразными измерительными приборами и электрооборудованием, у студентов накапливается определённый опыт экспериментирования и развивается критический подход к результатам проведённого эксперимента.

В настоящих методических указаниях даётся описание лабораторных и практических работ по дисциплине «Электротехника и электроника» - для специальности 08.02.10 Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство.

Лабораторная работа № 1. **«Проверка свойств электрической цепи с последовательным и параллельным соединением резисторов»**

Лабораторная работа № 2. **«Определение потери напряжения в проводах и КПД линии электропередачи»**

Лабораторная работа № 3. **«Исследование цепи переменного тока с последовательным соединением резистора, катушки индуктивности и конденсатора»**

Лабораторная работа № 4. **«Исследование цепи переменного тока с параллельным соединением катушки индуктивности и конденсатора»**

Лабораторная работа № 5. **«Исследование работы трёхфазной цепи при соединении потребителей «звездой»**

Лабораторная работа № 6. **«Измерение сопротивлений, токов и напряжений электрической цепи»**

Лабораторная работа № 7. **«Испытание генератора постоянного тока»**

Лабораторная работа № 8. **«Испытание трёхфазного асинхронного двигателя»**

Лабораторная работа № 9. **«Испытание однофазного трансформатора»**

Лабораторная работа № 10. **«Определение параметров и характеристик полупроводникового диода»**

Лабораторная работа № 11. **«Исследование работы тиристора»**

Лабораторная работа № 12. **«Исследование работы транзистора»**

Лабораторная работа № 13. **«Исследование работы схем выпрямления переменного тока»**

Лабораторная работа № 14. «Исследование работы сглаживающих фильтров»

Лабораторная работа № 15. «Исследование электронной схемы параметрического стабилизатора»

Лабораторная работа № 16. «Исследование работы полупроводникового усилителя»

Лабораторная работа № 17. «Исследование работы инвертирующего и неинвертирующего усилителей»

Лабораторная работа № 18. «Исследование работы транзисторного автогенератора типа LC»

Лабораторная работа № 19. «Исследование логических элементов»

Лабораторная работа № 20. «Исследование работы RS – триггера на логических элементах»

Всего – 20 работ для студентов специальности 08.02.10

Лабораторная работа № 1

Исследование цепи постоянного тока с последовательным и параллельным соединением резисторов

1. Цель:

1.1 Опытным путем установить основные соотношения между электрическими величинами в простой цепи постоянного тока с включенными последовательно резисторами.

2. Оборудование и приборы:

- 2.1. Компьютер,
- 2.2. Моделирующая программа Workbench.

Пояснения к работе.

Для последовательной цепи ток в цепи $I = I_1 = I_2 = I_3$, напряжение $U = U_1 + U_2 + U_3$, мощность $P = P_1 + P_2 + P_3 = U \cdot I$, $P_1 = I^2 R_1$; $P_2 = I^2 R_2$; $P_3 = I^2 R_3$

Для параллельной цепи ток в цепи $I = I_1 + I_2 + I_3$, напряжение $U = U_1 = U_2 = U_3$, мощность $P = P_1 + P_2 + P_3 = U \cdot I$, $P_1 = I_1^2 R_1$; $P_2 = I_2^2 R_2$; $P_3 = I_3^2 R_3$

Эксперимент 1.

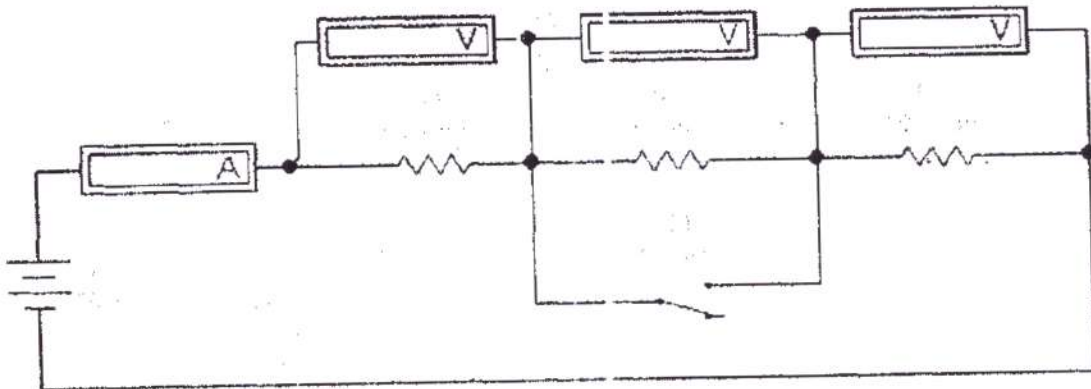



Рис.1.

- 3.2. Измерить напряжение на каждом резисторе и ток всей цепи (щелкнуть по )
- 3.3. Показания приборов записать в таблицу.
- 3.4. Рассчитать $R_{\text{экв}}$, токи и падения напряжения на всех участках
- 3.4. Рассчитать рассеиваемую мощность на каждом резисторе и во всей цепи.
- 3.6. Замкнуть накоротко резистор R_2 : (нажать клавишу «пробел»), повторить измерения и расчеты.
- 3.7. Данные измерений и расчетов занести в таблицу.

Эксперимент 2.

4. Порядок выполнения работы:

- 4.1. Собрать электрическую цепь по схеме Рис.2.
- 4.2. Рассчитать $I_{\text{экв}}$ и токи в цепи с замкнутым и разомкнутым ключом.

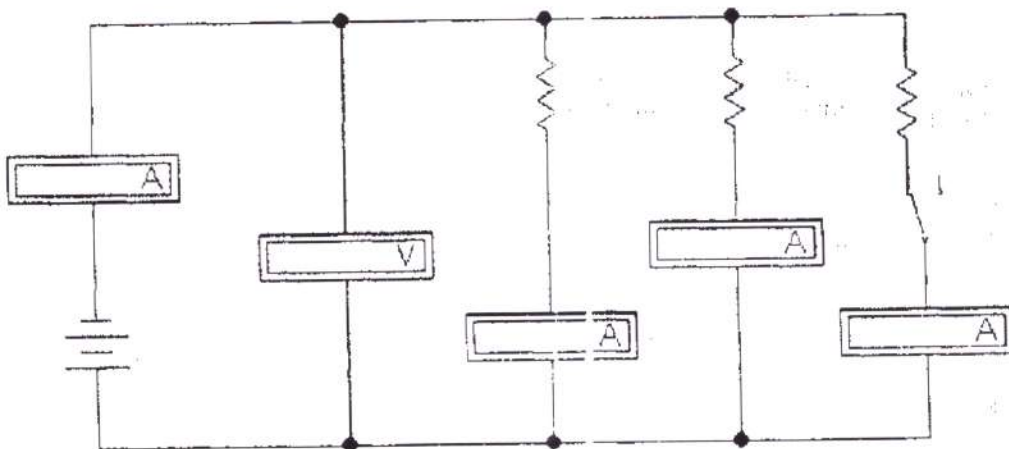


Рис.2.

- 4.3. Измерить ток на каждом резисторе и всей цепи (щелкнуть по И) > сравнить с расчетным.
 - 4.4. Показания приборов и расчеты записать в таблицу.
 - 4.5. Определить рассеиваемую мощность на каждом резисторе и во всей цепи.
 - 4.6. Замкнуть накоротко резистор R_2 (нажать клавишу «пробел») и повторить измерения и расчет.
- Данные измерений и расчетов занести в таблицу

Таблица измерений и расчетов 1

№п/п	Участок псин	Данные	Измерения			Расчет		
			U, В	I, А	P, Вт	U, В	I, А	P, Вт
R_2 замкнут	$R_1, \text{ Ом}$	50						
	$R_2, \text{ Ом}$	36						
	$R_3, \text{ Ом}$	10						
	$R_{\text{экв}} =$		$U_{\text{общ}} =$	$I_{\text{общ}} =$	$P_{\text{общ}} =$	$U_{\text{общ}} =$	$I_{\text{общ}} =$	$P_{\text{общ}} =$
R_2 разомкнут	$R_1, \text{ Ом}$	50						
	$R_2, \text{ Ом}$	36						
	$R_3, \text{ Ом}$	0						
	$R_{\text{экв}} =$		$U_{\text{общ}} =$	$I_{\text{общ}} =$	$P_{\text{общ}} =$	$U_{\text{общ}} =$	$I_{\text{общ}} =$	$P_{\text{общ}} =$

■ Таблица измерений и расчетов 2.

№ п/п	Участок цепи	Данные	Измерения			Расчет		
			U, В	I, А	P, Вт	U, В	I, А	P, Вт
R_3 замкнут	$R_1, \text{ Ом}$	50						
	$R_2, \text{ Ом}$	36						
	$R_3, \text{ Ом}$	10						
	$R_{\text{общ}} =$		$U_{\text{общ}} =$	$I_{\text{общ}} =$	$P_{\text{общ}} =$	$U_{\text{общ}} =$	$I_{\text{общ}} =$	$P_{\text{общ}} =$
R_3 разомкнут	$R_1, \text{ Ом}$	50						
	$R_2, \text{ Ом}$	36						
	$R_3, \text{ Ом}$	0						
	$R_{\text{экв}} =$		$U_{\text{общ}} =$	$I_{\text{общ}} =$	$P_{\text{общ}} =$	$U_{\text{общ}} =$	$I_{\text{общ}} =$	$P_{\text{общ}} =$

Лабораторная работа № 2

Определение потерь в электрических проводах.

1. Цель работы:

1.1. Изучить способы определения потерь в электрических проводах.

2. Оборудование:

2.1. компьютер, программа электронного моделирования Workbench.

Пояснения к работе

Сопротивление провода определяется по формуле: $R = \rho * l_{уд} / S$ (Ом)

Материал провода алюминий с удельным сопротивлением $\rho = 0,029 \text{ ом} * \text{мм}^2 / \text{м}$

Потери мощности на участках: $P_{уч} = I^2 * R_{уч}$

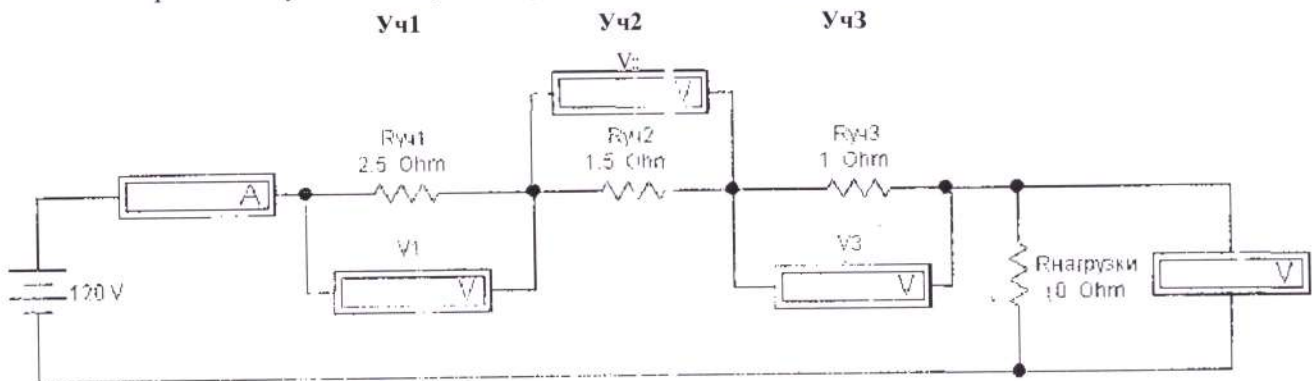
К.п.д. каждого участка определяется по формуле: $\eta = P_{уч} / P_{полн}$

Суммарная потеря мощности на всех участках: $P_{сум} = P_{уч1} + P_{уч2} + P_{уч3}$

К.п.д. линии электропередачи $\eta = P_{сум} / P_{полн}$, где $P_{полн} = U * I$.

3. Порядок работы.

3.1. Собрать схему, состоящую из трех участков (Линия).



3.2. Рассчитать сопротивления участков, занести в таблицу и присвоить их значения элементам схемы,

R участка 1	R участка 2	R участка 3

3.3. Провести измерения и занести данные в таблицу,

3.4. Рассчитать	ри напряжения на каждом участке, сравнить с		
Участки цепи	Участок 1	Участок 2	Участок 3
U измеренное			
U расчетное			

3.5. Рассчитать потери мощности и коэффициенты полезного действия для каждого из участков, а также к.п.д. всей цепи

$P_{\text{уч1}} =$	$\eta \equiv$
$P_{\text{уч2}} =$	$\eta =$
$P_{\text{уч3}} \equiv$	η

4. Ответить на контрольные вопросы, сделать выводы, оформить отчет и сдать работу преподавателю.

Контрольные вопросы.

- Чем обусловлено сопротивление проводника электрическому току?
- Что такое положительный и отрицательный температурный коэффициент сопротивления?
- Что такое удельная проводимость?

Варианты заданий.

№ вар.	d провода мм	Луч-ка1, м	Луч-ка2, м	Луч-ка3, м
1/15	1	1000	2000	2500
2/17	1,2	1500	2400	4000
3/18	1,8	2000	1200	3000
4/19	2	2400	2500	3200
5/20	1,5	1200	4000	1800
6/21	2	2500	3000	1500
7/22	1,4	4000	1000	2400
8/23	2,5	3000	1500	1200
9/24	1	3200	3500	2500
10/25	1,6	1800	4500	4000
11/26	1	1500	6000	3000
12/27	1,2	27.00	1800	3000
13/28	2	2400	1500	3200
14/29	2,5	3500	2200	1800
15/30	3	4500	2400	1500

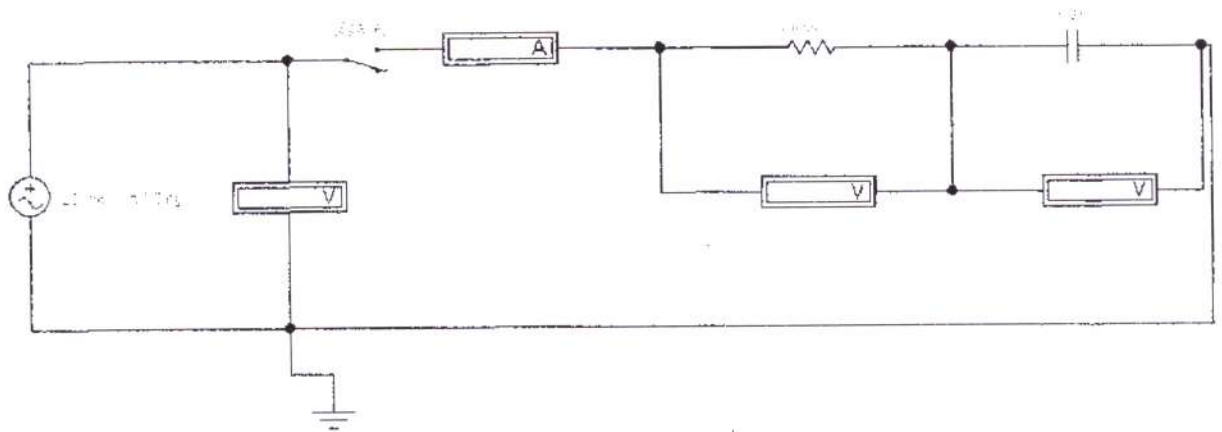
Лабораторная работа № 3

Исследование цепи переменного тока с последовательным соединением резистора и конденсатора.

1.Цель. Опытным путем проверить основные свойства цепи переменного тока с последовательным соединением резистора и конденсатора.

2.Оборудование. 1. ПЭВМ, компьютерная программа EWB

Электрическая схема.



3.ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ

3.1Монтаж схемы в рабочей области.

3.2Установление числовых значений параметров элементов схем.

3.3Активизация схемы.

3.4Анализ результата первого опыта и заполнение таблицы № 3.9.

3.5Рассчитать: - емкостное сопротивление конденсатора X_C ; полное сопротивление цепи Z ; активную мощность цепи P ; реактивную мощность цепи Q ; полную мощность цепи S ; коэффициент мощности цепи Заполнить таблицу № 3.9.

3.6.При неизменном сопротивлении резистора увеличить емкость конденсатора, выполнить анализ второго опыта, заполнить таблицу № повторить пункт 3.5.

3.7.При первоначальной емкости увеличить сопротивление резистора, выполнить анализ третьего опыта, заполнить таблицу №4.1, повторить пункт

3.5.

3.8. Построить векторную диаграмму тока и напряжений и треугольников сопротивлений и мощностей, для первого опыта.

Таблица результатов измерений и вычислений № 3.9.

№ п/п	Дано по условию				Показания приборов				Результаты расчетов					
	U	f	R	C	U	I	U _R	U _C	X _C	Z	P	Q	S	cosφ
	В	Гц	Ом	мкФ	В	А	В	В	Ом	Ом	Вт	Вар	ВА	-
1														
2														
3														

Содержание отчета. Схема включения приборов, таблица с результатами измерений и расчетов, векторная диаграмма токов и напряжений, треугольник сопротивлений, треугольник мощностей.

Вывод. Как влияет увеличение сопротивления резистора и емкости конденсатора на величину тока и мощностей.

Контрольные вопросы

1. Напишите закон Ома для последовательного соединения активного сопротивления R и емкости C.

2. Как зависит емкостное сопротивление X_C от частоты f?

3. Как зависит реактивная мощность Q для данной цепи от величины емкости C?

4. Будут ли изменяться величины тока и мощности (активной, реактивной и полной)

данной цепи при изменении частоты f?

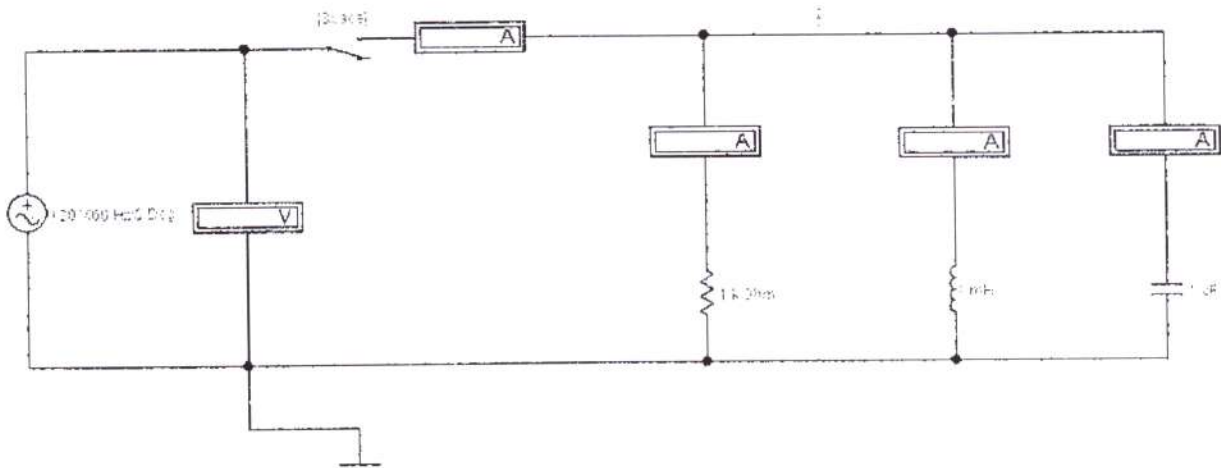
Лабораторная работа № 4

Исследование цепи переменного тока с параллельным соединением резистора, катушки индуктивности, конденсатора

1.ЦЕЛЬ. Опытным путем проверить свойства цепи переменного тока с параллельным соединением резистора, катушки индуктивности и конденсатора.

2.ОБОРУДОВАНИЕ. ПЭВМ, компьютерная программа EWB

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА.



ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ

- 1.Монтаж схемы в рабочей области
- 2.Установка числовых значений параметров элементов схем
- 3.Активизация схемы
- 4.Анализ результата и заполнение таблицы № 1
- 5.Рассчитать: - коэффициент мощности $\cos \phi$;

активную мощность цепи P ;

реактивную мощность цепи Q ;

полную мощность цепи S ;

Заполнить таблицу № 1.

- 6.Создать в схеме резонанс токов: рассчитать емкость конденсатора при условии, что $I_C = I_L$ т. е. $1/p_3 = 1/p_2$. Изменить значение емкости конденсатора в схеме.

7.Активизация схемы, повторить п.п 4, 5.

8.Построение векторных диаграмм напряжения и токов для двух режимов работы цепи.

Таблица результатов измерений и вычислений № 1.

№ п/ п	Дано по условию					Показания приборов					Результаты вычислений			
	U	f	R	L	C	U	I	I _{a1}	I _{p2}	I _{p3}	cosφ	P	Q	S
	В	Гц	Ом	мГн	мкФ	В	А	А	А	А	-	Вт	Вар	ВА
1														
2														

Содержание отчета. Схема включения приборов, таблица с результатами измерений и расчетов, векторные диаграммы напряжения и токов.

Вывод. Свойства цепи при резонансе токов.

Контрольные вопросы

- 1.При каком условии наступает резонанс токов?
- 2.Почему реактивная мощность всей цепи при резонансе токов равна нулю?
- 3.Чему равнялось бы при резонансе токов полное сопротивление цепи Z всей цепи, если бы активное сопротивление R1 первой ветви было бы равно нулю?
- 4.Когда ток I в неразветвленной части цепи отстает по фазе от напряжения и когда он опережает напряжение?
- 5.Почему стремятся повышать коэффициент мощности электрических установок?
- 6.Как определить емкость C конденсаторов для повышения коэффициента мощности до заданной величины?
- 7.Способы повышения коэффициента мощности?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Исследование трехфазной цепи при соединении потребителей «ЗВЕЗДОЙ»

1.ЦЕЛЬ. Опытным путем проверить соотношения между электрическими величинами в трехфазной цепи при соединении приемников энергии звездой

2.ОБОРУДОВАНИЕ. ПЭВМ, компьютерная программа EWB Workbench

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА.

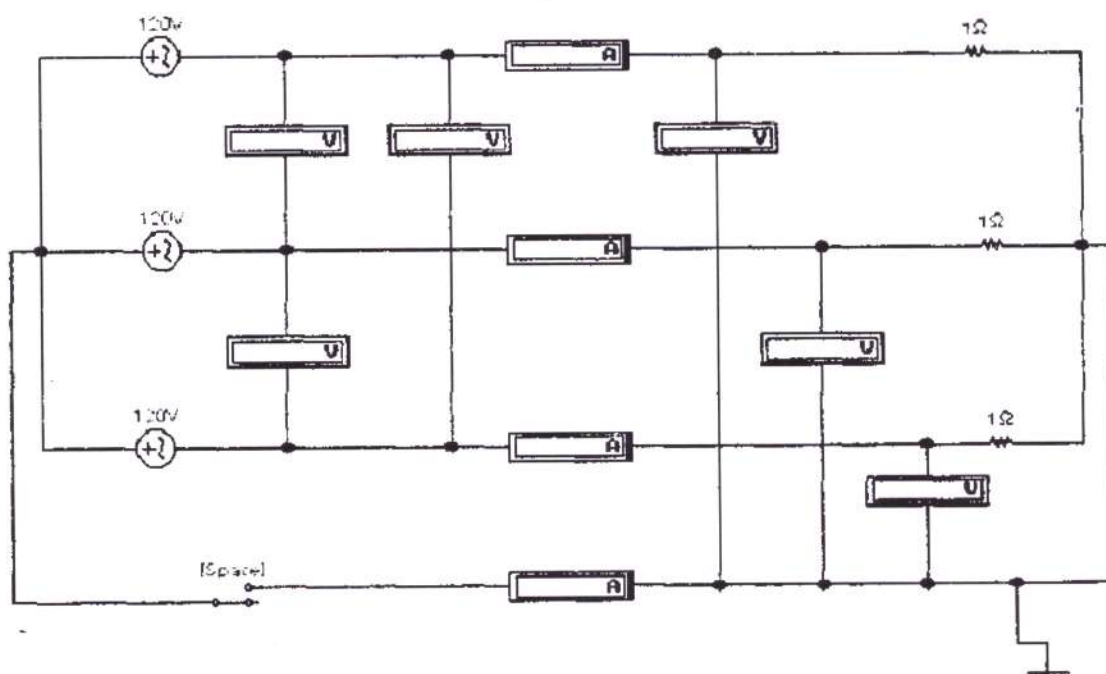


Рис. 8.1

Параметры трехфазного генератора:

- напряжение в фазах генератора: $U_A = U_B = U_C = 220\text{В}$;
- частота тока в фазах генератора: $f_A = f_B = f_C = 50\text{Гц}$;
- углы сдвига в фазах генератора: $\Psi_A = 0^\circ$; $\Psi_B = 120^\circ$; $\Psi_C = 240^\circ$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ.

1. Монтаж схемы в рабочей области
2. Установление числовых значений параметров элементов схем, при симметричной нагрузке и отключенном нулевом проводе
3. Активизация схемы
4. Анализ результата и заполнение таблицы

$$\begin{aligned} \text{Убедится в том, что } & I_A = I_B = I_C \\ & U_A = U_B = U_C \\ & U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} \\ & U_{л} = \sqrt{3} U_{\phi} \end{aligned}$$

5. Подключить нулевой провод и убедиться в том, что присоединение нулевого провода не вносит каких-либо изменений в режим работы цепи. Показания приборов записать в таблицу
6. Создать несимметричную нагрузку фаз (R_B уменьшить в 2 раза, R_C увеличить в 2 раза) при отключенном нейтральном проводе. Проанализировать изменения, показания приборов записать в таблицу.
7. Подключить нулевой провод, проанализировать изменения в цепи. Показания приборов записать в таблицу.
8. Для 2-го и 4-го опытов построить векторные диаграммы токов и напряжений. Приняв определенный масштаб, графически определить ток в нулевом проводе и сравнить с показаниями прибора (I_0)
9. Результаты измерений и выводы показать преподавателю; после его разрешения схему демонтировать и привести в порядок рабочее место

1. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Таблица результатов измерений

№ опыта Гов	Показания приборов										Примечание
	$I_A,$	$I_B,$	$I_C,$	$I_o,$	$U_A,$	$U_B,$	$U_C,$	U_{AB}	$U_{BC},$	$U_{CA},$	
	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	
1											Симметричная нагрузка без нулевого провода
2											Симметричная нагрузка с нулевым проводом
3											Несимметричная нагрузка без нулевого провода .
4											Несимметричная нагрузка с нулевым проводом

2. Построить векторную диаграмму токов и напряжений по данным второго и четвертого опытов, определить ток в нулевом проводе I_o по векторной диаграмме. Сравнить рассчитанное значение тока в нулевом проводе с измеренным.

Вывод. О распределении напряжений и токов фаз при различной нагрузке, назначении нулевого провода.

Лабораторная работа № 6

Измерение тока, напряжения, сопротивления.

Цель: Изучить схемы включения вольтметра, амперметра, омметра и методов косвенной оценки электрических величин.

Оборудование: Компьютерный класс, программа электронного моделирования Workbench.

Пояснения к работе.

Измерения токов и напряжений возможно производить прямым и косвенным методом.

При прямом методе амперметр и вольтметр непосредственно включаются в электрическую цепь.

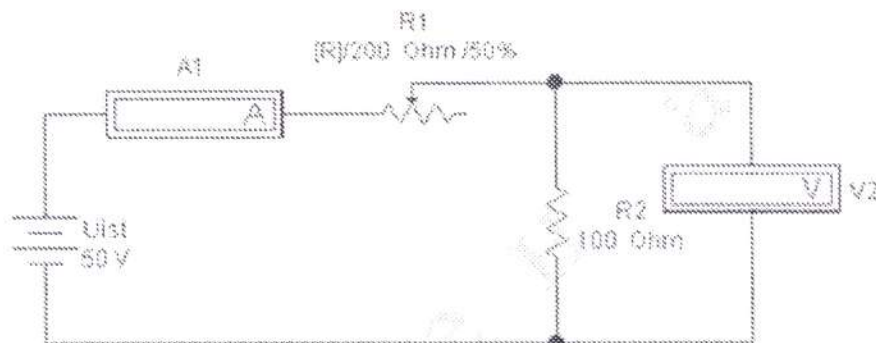
Косвенный метод позволяет оценить ток по падению напряжения на измеряемом участке, а напряжение по току, измеренному на соответствующем участке, согласно закона Ома для участка цепи.

$$I = I_1 = I_2 = U_{\text{уч}} / R_{\text{уч}} \\ U_1 = I_1 * R_1 \quad U_2 = I_2 * R_2$$

Порядок работы:

Эксперимент 1. Измерение тока и напряжения

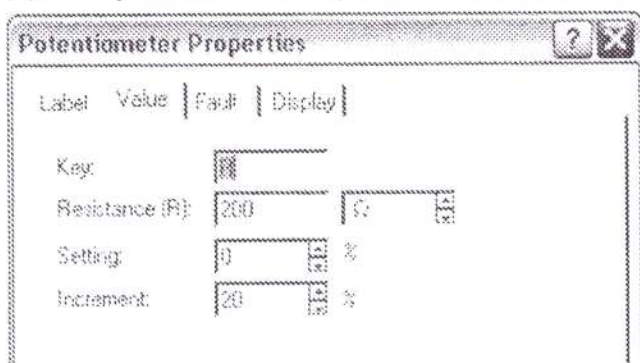
Собрать схему



Присвоить элементам схемы значения согласно своего варианта.

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
U _{пит} , В	25	50	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	100
R ₂ , Ом	30	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120

Для R1 установить следующие начальные значения:



Изменяя величину R1 (нажимая клавиши Shift+R) произвести 5 измерений, результаты занести в таблицу.

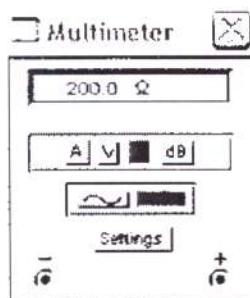
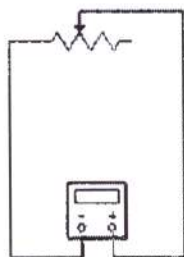
Рассчитать падение напряжения U_1 на сопротивлении R1 и ток I_2 (косвенный метод), результаты расчета занести в таблицу.

№ измерения	Результаты измерений		Результаты вычислений	
	I_1, A	U_2, B	I_1, A	U_2, B
1				
2				
3				
4				
5				

Проверить равенство токов для последовательной цепи $I_2 = I_1$, и правильность расчета U_b учитывая что $U_i = U_{ист} - V_2$ где: $U_{ист}$ - ЭДС источника, V_2 — показания вольтметра.

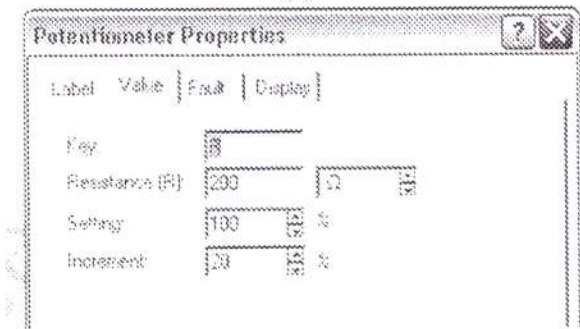
Эксперимент 2. Измерение сопротивления.

[R]/200 Ohm /100%



3.7 Собрать схему с использованием мультиметра.

3.8 Установить начальные значения переменного сопротивления



3.4. Произвести 4 измерения последовательно уменьшая сопротивление от максимума (клавиша R).

3.5. Занести результаты измерений в таблицу.

Результаты измерений

№ измерения	1	2	3	4
R, ом				

4. Ответить на контрольные вопросы, сделать выводы, оформить отчет и сдать работу преподавателю.

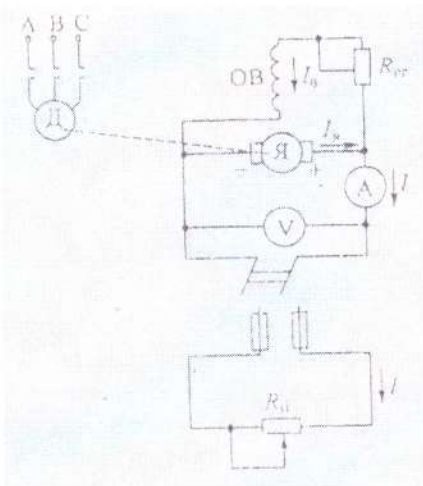
Контрольные вопросы.

1. Приборы непосредственной и косвенной оценки.
2. Что такое абсолютная и относительная погрешности.
3. Для чего служит источник ЭДС в омметре.

Лабораторная работа № 7

Исследование принципа работы и технических характеристик генератора постоянного тока

Цель: ознакомиться с основными параметрами генератора параллельного возбуждения



Я – обмотка якоря генератора;

ОВ – обмотка возбуждения генератора;

R_n – нагрузки;

$R_{пр}$ – сопротивление для измерения тока в обмотке возбуждения (в работе принять $R_{пр}=0$)

Д – трёхфазный асинхронный двигатель, вращающий якорь генератора с мощностью P_1 .

1. Сопротивление обмотки якоря генератора – $R_я$, Ом.
2. Сопротивление обмотки возбуждения – $R_в$, Ом.
3. Напряжение на зажимах генератора (напряжение, подаваемое на нагрузку) – U , В.
4. Сопротивление нагрузки – R_n , Ом.
5. Ток в обмотке возбуждения – $I_в = U/R_в$, А.
6. Ток, отдаваемый во внешнюю цепь (ток нагрузки), - $I = U/R_n$, А.
7. Ток в обмотке якоря генератора – $I_я = I_в + I$, А.
8. Электродвижущая сила генератора (ЭДС) – $E = U + I_я R_я$, В.

9. Мощность, затрачиваемая двигателем на работу генератора (мощность, потребляемая генератором) – $P_1 = P_2 + \Delta P$, Вт.

10. Электромагнитная мощность генератора – $P_3 = EI_{я}$; $P_3 = P_1 - \Delta P_m$, Вт.

11. Полезная мощность, отдаваемая генератором (мощность нагрузки), –

$$P_2 = UI = I^2 R_H; P_2 = P_3 - \Delta P_{эл} = P_1 - \Delta P_m - \Delta P_{эл} = P_1 - \Delta P, \text{ Вт.}$$

12. Мощность потерь в генераторе - $\Delta P = \Delta P_{эл} + \Delta P_m$,

где ΔP_m – механические и другие потери, в данной работе условно можно принять

$$\Delta P_m = \Delta P_{эл}, \text{ т. е. } \Delta P = 2\Delta P_{эл};$$

$\Delta P_{эл}$ – мощность потерь на нагрев обмоток генератора $\Delta P_{эл} = I_{я}^2 R_{я} + I_{в}^2 R_{в}$, Вт.

13. Коэффициент полезного действия генератора –

$$\eta = P_2/P_1 = (P_1 - \Delta P)/P_1 = 1 - (\Delta P/P_1).$$

Содержание отчета

Вычертить схему генератора, выписать данные и рассчитать отсутствующие параметры в таблице 1.

Вариант	1,11,21	2,12,22	3,13,23	4,14,24	5,15,25	6,16,26	7,17,27	8,18,28	9,19,29	10,20,30
$R_{я}$, Ом		0,1		0,1			0,15		0,3	
$R_{в}$, Ом		55			300				150	
R_H , Ом			5		10				4	
U, В		220				200			100	
E, В	165		214					210		
I, А	39			50				41		
$I_{в}$, А				2		0,8				1
$I_{я}$, А		50					25			40
P_1 , Вт			10000			7000				
P_2 , Вт				15000	9000			8200		
η					0,9			0,85		
P_3 , Вт	6600						5000			9600
ΔP , Вт	600					560				
$\Delta P_{эл} = \Delta P_m$, Вт			590				250			400

Порядок расчёта

1. Ток нагрузки:

$$I = U/R_H.$$

2. Ток в обмотке возбуждения:

$$I_{в} = U/R_{в}.$$

3. Ток в обмотке якоря:

$$I_{\text{я}} = I + I_{\text{в}}.$$

4. ЭДС генератора:

$$E = U + I_{\text{я}} R_{\text{я}}.$$

5. Мощность, отдаваемая генератором (мощность нагрузки):

$$P = UI.$$

6. Электромагнитная мощность генератора:

$$P_{\text{э}} = EI_{\text{я}}.$$

7. Мощность потерь на нагрев обмоток генератора (мощность электрических потерь):

$$\Delta P_{\text{эл}} = I_{\text{я}}^2 R_{\text{я}} + I_{\text{в}}^2 R_{\text{в}}$$

2

Проверка:

$$\Delta P_{\text{эл}} = P_{\text{э}} - P_2$$

8. Мощность, затрачиваемая двигателем на работу генератора:

$$P_1 = P_{\text{э}} + \Delta P_{\text{м}}$$

Учитывая, что по условию $\Delta P_{\text{м}} = \Delta P_{\text{эл}}$ $P_1 = ?$

9. Общая мощность потерь в генераторе:

$$\Delta P = P_1 - P_2.$$

10. Коэффициент полезного действия генератора:

$$\eta = P_2 / P_1.$$

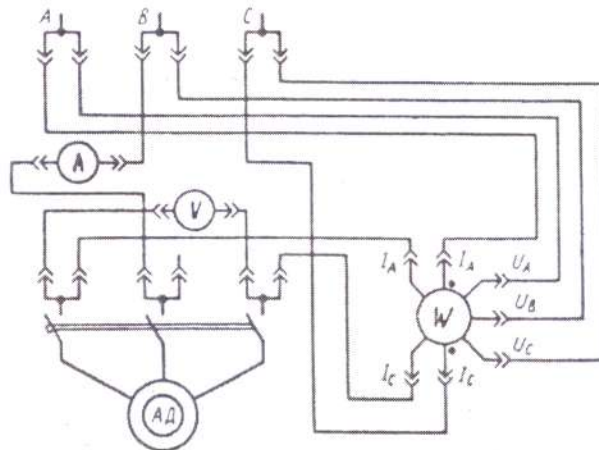
Выводы: пояснить, какой закон лежит в основе принципа действия генератора; назначение основных частей генератора, классификация генераторов по способу возбуждения.

Лабораторная работа № 8

Испытание трёхфазного двигателя с короткозамкнутым ротором

Цель: познакомиться с определением основных параметров трёхфазного асинхронного двигателя.

Схема и параметры трёхфазного асинхронного двигателя



1. Номинальное линейное напряжение сети – U , В.
2. Номинальный ток двигателя (ток в каждой из трёх обмоток статора) – I_n , А.
3. Частота тока сети – f , Гц.
4. Число полюсов двигателя – $2p$, число пар полюсов – p .
5. Частота вращения магнитного поля статора – $n_1 = 60f/p$ об/мин.
6. Частота вращения магнитного поля статора относительно ротора ($n_1 - n_2$), выраженная в процентах от частоты вращения магнитного поля, называется скольжением – $s = (n_1 - n_2)100/n_1$ %. В номинальном режиме s_n составляет около 5% у машин небольшой мощности и около 2% у мощных машин.
7. Частота вращения ротора асинхронного двигателя в номинальном режиме – $n_{2n} = (1 - s_n/100)n_1$ или $n_{2n} = (1 - s_n/100)60f/p$.
8. Номинальная активная мощность, развиваемая двигателем (т.е. величина, характеризующая скорость необратимого преобразования электрической энергии в механическую и тепловую) – P_{2n} , Вт.
9. Мощность, потребляемая двигателем из сети в номинальном режиме:

- активная – $P_{1н} = \sqrt{3}UI_{н} \cos\varphi_{н}$ или $P_{1н} = P_{2н}/\eta_{н}$, Вт;

- полная – $S = \sqrt{3}UI_{н}$, ВА.

10. Потери энергии в двигателе складываются из потерь в обмотках статора и ротора, потерь в магнитопроводе, механических и добавочных потерь - $\Delta P = P_1 - P_2$.

11. Коэффициент полезного действия двигателя – $\eta_{н} = P_{2н}/P_{1н} = (P_{1н} - \Delta P)/P_{1н}$. КПД асинхронного двигателя зависит от нагрузки. При номинальном режиме работы двигателя КПД $\eta = 0,9 \div 0,95$ (чем больше расчётная мощность двигателя, тем выше его КПД).

12. Коэффициент мощности асинхронного двигателя показывает, какая часть полной мощности, поступающей из сети, расходуется на покрытие потерь и преобразуется в механическую работу – $\cos\varphi_{н} = P_{1н}/\sqrt{3}UI_{н}$. В номинальном режиме обычно составляет $\cos\varphi_{н} = 0,7 \div 0,9$, при холостом ходе снижается до $0,2 \div 0,3$.

13. Вращающий момент асинхронного двигателя в номинальном режиме – $M_{н} = 9,55 P_{2н}/n_{2н}$, Н·м.

Содержание работы

Вычертить схему трёхфазного двигателя, выписать из таблицы 1 данные, пояснить их. Рассчитать недостающие параметры двигателя.

Таблица 1

Вариант	1,11,21	2,12,22	3,13,23	4,14,24	5,15,25	6,16,26	7,17,27	8,18,28	9,19,29	10,20,30
U, В	380	220		380		220		380		1000
I _н , А			24		20		50	75	20	
2р	4	6		8		10	4	6		4
n ₁ , об/мин			1500		1000				1000	
n _{2н} , об/мин	1460				970		1460	960		
s _н , %		2	3	2,5		3			2,5	4
P _{2н} , кВт	12	21		30		34		40		30
P _{1н} , кВт					24	38			30	
ΔP, кВт			1,5	2					3	
S, кВА					32	43,2	10,96		40	
η _н	0,9	0,9			0,91		0,93	0,95		0,92
cosφ _н	0,85	0,8	0,75	0,92						0,82
M _н , Н·м			80				60			

Порядок расчёта

1. Мощность, потребляемая двигателем из сети:

- активная: $P_{1н} = P_{2н}/\eta$

- полная: $S = P_{1н}/\cos\varphi_n$.

2. Номинальный ток двигателя: $I_n = P_{1н}/(\sqrt{3}U \cos\varphi_n)$.

3. Мощность потерь в двигателе: $\Delta P = P_{1н} - P_{2н}$

4. Частота вращения магнитного поля статора: $n_1 = 60f/p$.

5. Номинальное скольжение: $s_n = (n_1 - n_2)100/n_1$.

6. Вращающий момент двигателя: $M_n = 9,55P_{2н}/n_{2н}$.

Выводы: пояснить принцип действия асинхронного двигателя, возможность его реверсирования.

По результатам измерения построить график зависимости тока во второй обмотке I_2 от сопротивления нагрузки.

В выводах отметить и объяснить факт увеличения тока первичной обмотки при уменьшении сопротивления нагрузки.

Режим холостого хода

Ключ К разомкнут, изменяя напряжение источника ЭДС от 100 до 240 В, измерит ток холостого хода первичной обмотки.

Результаты измерений занести в таблицу 2.

Таблица 2.

U, В	100	120	140	160	180	200	220	240
I_1 , mA								

По результатам построить график зависимости тока холостого хода первичной обмотки от ЭДС источника.

Режим короткого замыкания

Ключ К замкнут, установить значение сопротивления $R = 0$, зафиксировать токи первичной I_1 и вторичной I_2 обмоток.

В выводах отметить резко возросшие токи первичной и вторичной обмоток, объяснить чем эти токи ограничиваются

Контрольные вопросы

- 1.Пояснить принцип работы трансформатора.
- 2.Почему при указанном коэффициенте трансформации 5 напряжение во вторичной обмотке ниже расчётного?
- 3.Виды трансформаторов.

Лабораторная работа № 10.

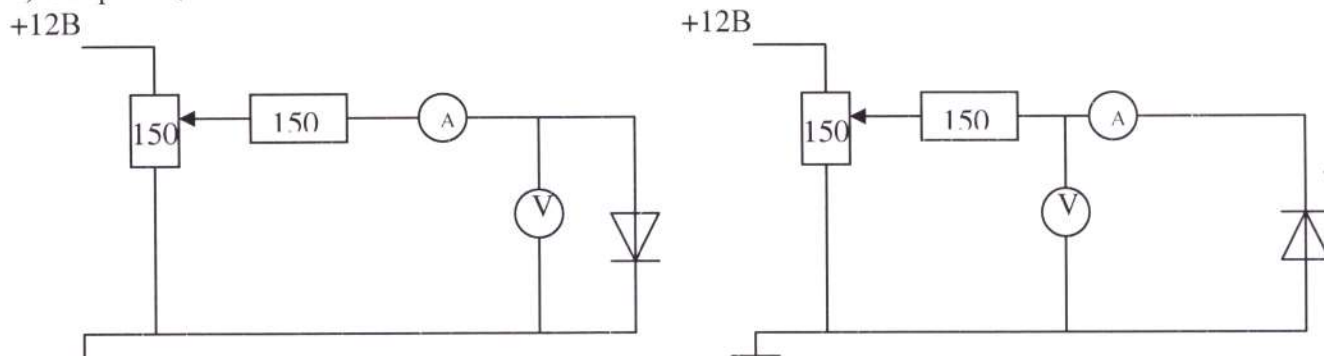
Исследование параметров и характеристик полупроводникового диода.

Цель: Изучить характеристики и параметры диодов – выпрямительного, стабилитрона и светодиода.

Оборудование: Компьютерная программа Workbench

Ход работы.

1) Собрать цепь.



2) Изменяя напряжение с помощью потенциометра, снять показания с амперметра и вольтметра. Результаты занести в **таблицу 1:**

I, mA	0							
U, V	0							

3) Выпрямительный диод заменить на стабилитрон, снять показания с амперметра и вольтметра в прямом и обратном включении. Результаты занести в **таблицу 2:**

Прямое включение:

I, mA	0							
U, V	0							

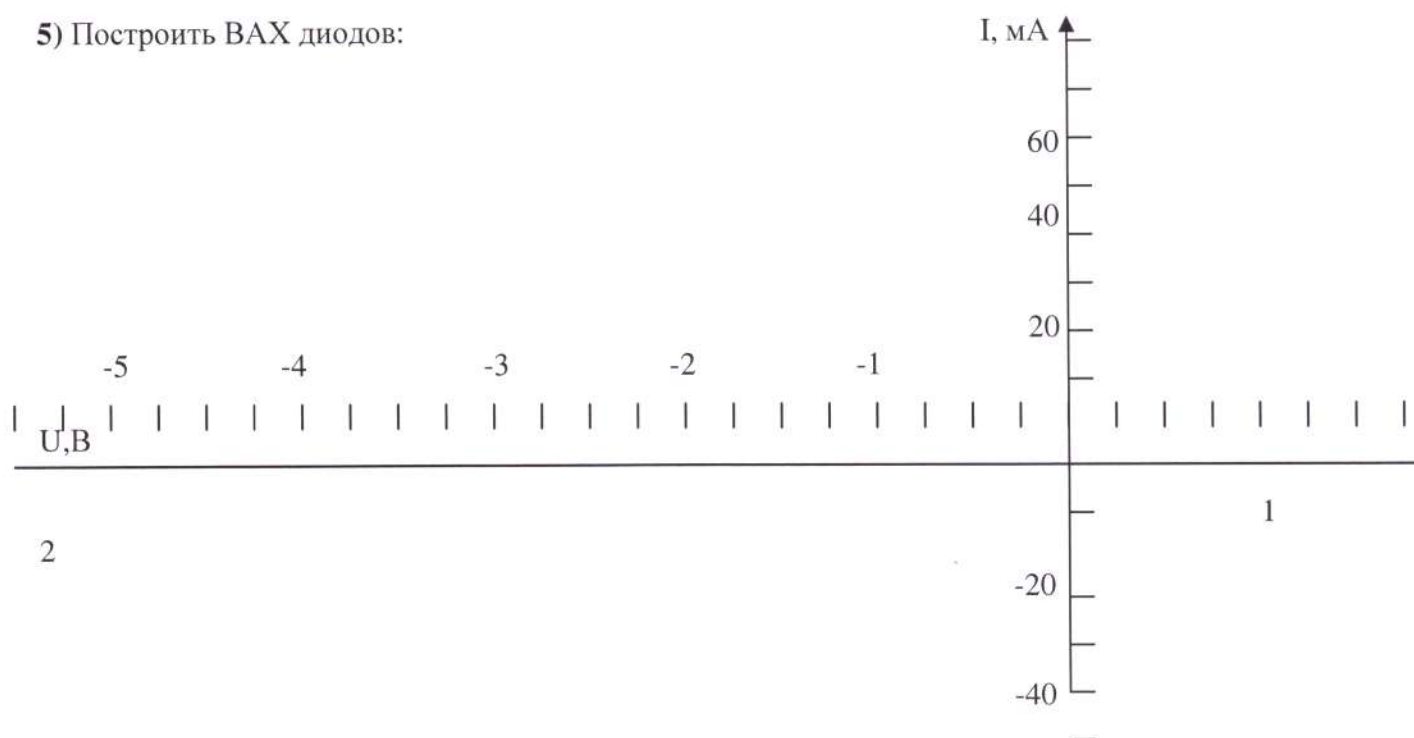
Обратное включение:

I, mA	0							
U, V	0							

4) Стабилитрон заменить на светодиод, резистор 150 Ом – на резистор 1 кОм, снять показания с амперметра и вольтметра в прямом включении. Результаты занести в **таблицу 3:**

I, mA	0	2	4	5	6	8	9
U, V	0						

5) Построить ВАХ диодов:



6) Сделать вывод о различии ВАХ для выпрямительных диодов, стабилитронов и светодиодов

Лабораторная работа №11

Исследование работы тиристора

Цель: изучить тиристоры и исследовать характеристики и параметры триодного тиристора-тринистора.

Теоретические сведения

Тиристорами называют полупроводниковые приборы на основе многослойных (четыре или более слоев) $p-n$ структур, способные переходить из закрытого (непроводящего) состояния в открытое (проводящее) состояние. Тиристоры делятся на неуправляемые, или переключающие, — динисторы, и управляемые — тринисторы. Отдельную разновидность управляемых тиристоров составляют симисторы — многослойные переключающие приборы с вольтамперной характеристикой (ВАХ) для прямого и обратного напряжений.

Структура динистора представлена на рисунке 1.

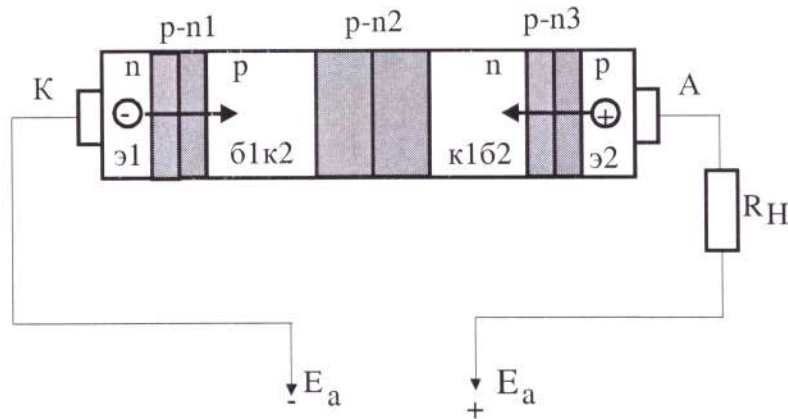
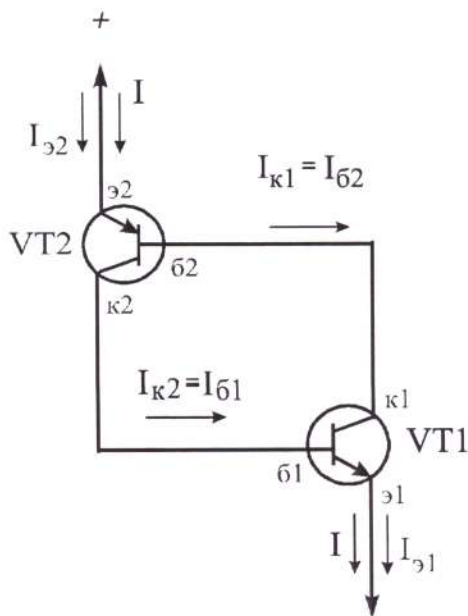


Рис.1. Структура динистора

Подобный прибор можно представить в виде модели, состоящей из двух транзисторов структур $p-n-p$ и $n-p-n$ (рис. 2), что довольно часто применяется на практике для получения аналога динистора.



Согласно рисунку 2 ток прибора равен:

$$I = I_{э1} = I_{э2}$$

и складывается из двух коллекторных токов $I_{к1}$ и $I_{к2}$

$$I = I_{к1} + I_{к2}$$

$$I_{к1} = \alpha_1 \cdot I_{э1}$$

$$I_{к2} = \alpha_2 \cdot I_{э2}$$

где α_1 и α_2 — коэффициенты передачи эмиттерных токов транзисторов VT1 и VT2.

Рис. 2. Модель аналога динистора

В состав тока I входит и начальный ток коллектора $I_{k0'}$ — тепловая генерация носителей зарядов. Следовательно,

$$I = \alpha_1 \cdot I + \alpha_2 \cdot I + I_{k0'}$$

$$I = \frac{I_{k0'}}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)}$$

Через переходы $p-n1$ и $p-n3$, работающие в прямом направлении из эмиттеров э1 и э2 в базы б1 и б2, инжектируют неосновные для баз носители, которые уменьшают сопротивление перехода $p-n2$, увеличивая ток в нем и уменьшая напряжение на нем. Процесс переключения удобно показать на вольтамперной характеристике (рис. 3).

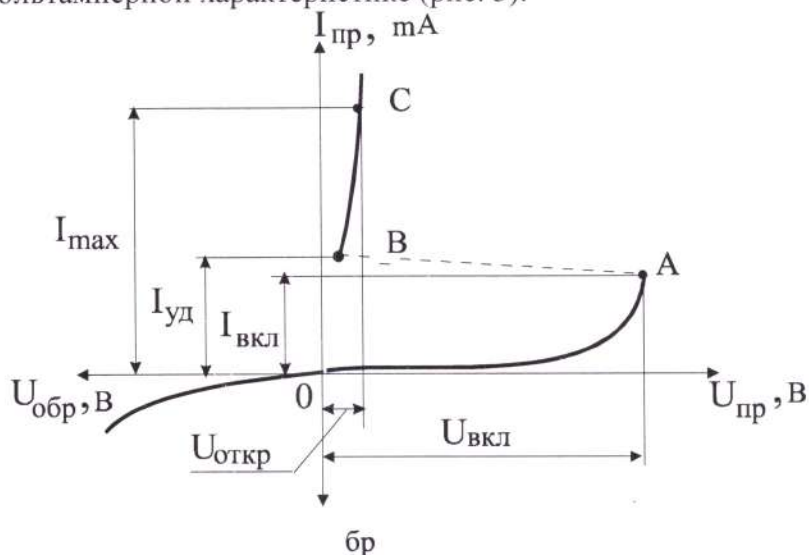


Рис. 3. Вольтамперная характеристика динистора

При повышении анодного напряжения сначала ток растет медленно (участок ОА), прибор заперт, сопротивление перехода $p-n2$ еще велико и все напряжение источника выделяется на нем. По мере увеличения инжекции сопротивление $p-n2$ падает, что увеличивает ток. Этот процесс развивается лавинообразно: ток скачком увеличивается, напряжение на переходах $p-n1$ и $p-n2$ несколько возрастает (участок ВС). Величина тока ограничивается сопротивлением нагрузки R_H (точка С).

Если уменьшить ток через прибор, то при некотором его значении, называемым удержи-

вающим током $I_{уд}$ (точка В), прибор переходит скачком в закрытое состояние.

При обратном напряжении на динисторе ВАХ имеет вид, аналогичный для обратного тока обычных диодов, поскольку переходы $p-n1$ и $p-n3$ теперь будут находиться под обратным напряжением.

Если на одной из баз сделать вывод (чаще на базе вблизи катода), то мы получаем управляемый переключающий прибор — **триностор**.

В таких приборах база $b2$ значительно шире базы $b1$ и имеет более низкую концентрацию примесных атомов.

Подавая через управляющий вывод прямое напряжение на переход $p-n1$, можно включить прибор при значительно меньшем напряжении в анодной цепи, чем у динистора.

Оборудование: компьютерная программа Workbench

Описание схемы исследования

Схема представлена на рисунке 4. В качестве нагрузки тиристора используется сигнальная лампа HL1, одновременно облегчающая визуальный контроль над изменением состояния тиристора.

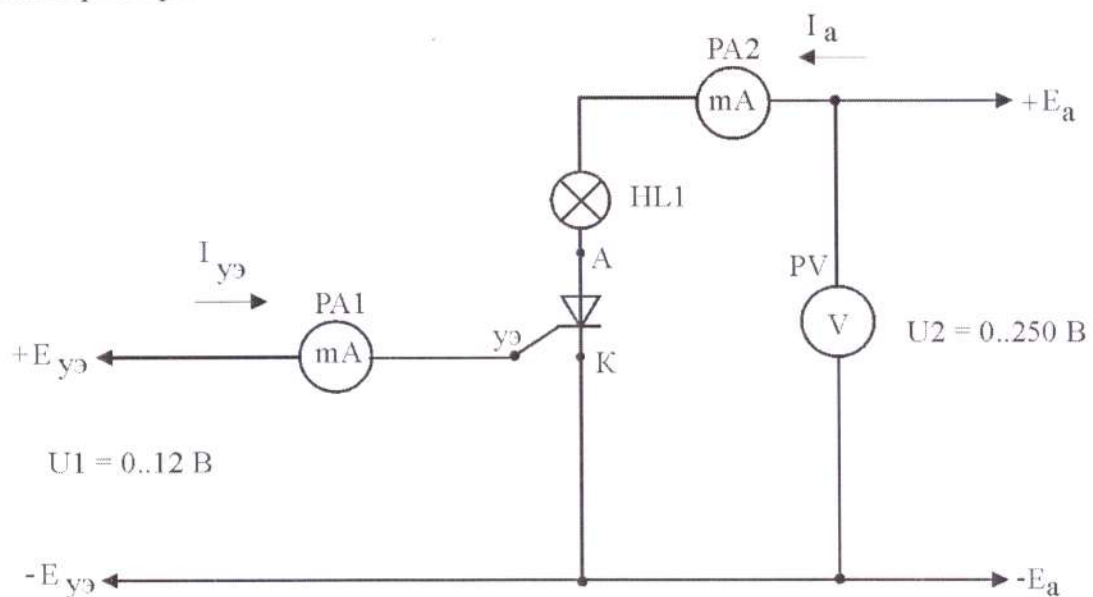


Рис. 4. Схема лабораторной установки для исследования тиристора

5. Задание по выполнению работы

1. Снять ВАХ тиристора, для чего выполнить необходимые действия в соответствии с данными таблицы 1 и включить прибор. Записать показания измерительных приборов в таблицу 1.

Таблица 1. Экспериментальные данные для построения семейства ВАХ тиристора

Напряжение включения тиристора, $U_{\text{вкл}}$, В	Ток управляющего электрода, $I_{\text{уз}}$, мА	Ток анода, I_a , мА	Ток удержания, $I_{\text{уд}}$, мА
75			
150			
250			

2. Разомкнуть цепь управления ($I_{\text{уз}} = 0$).
3. Постепенно уменьшая ток в анодной цепи, записать величину тока удержания $I_{\text{уд}}$ (контроль по погасанию лампы).
4. Повторить опыт для разных значений тока напряжения включения $U_{\text{вкл}}$ согласно таблицы 1.

Содержание отчета

1. Схема для исследования тиристора (рис. 4).
2. Семейство ВАХ тиристора для заданных значений (табл. 1).

Лабораторная работа № 12.

Исследование работы биполярного транзистора.

Цель: Изучение характеристик и параметров биполярного транзистора, включённого по схеме с общим эмиттером.

Оборудование: компьютерная программа Workbench

Ход работы.

1) Собрать цепь для снятия статической характеристики прямой передачи по току $I_K = f(I_B)$ биполярного транзистора при $R_K = 0$ и $U_K = 1В = \text{const}$. Постоянное напряжение на коллекторе поддерживать с помощью потенциометра 150 Ом. Для измерения тока базы включить миллиамперметр на 1 мА, коллектора – на 100 мА. Ток базы регулировать с помощью потенциометра 10 кОм. Результаты измерений занести в таблицу 1.

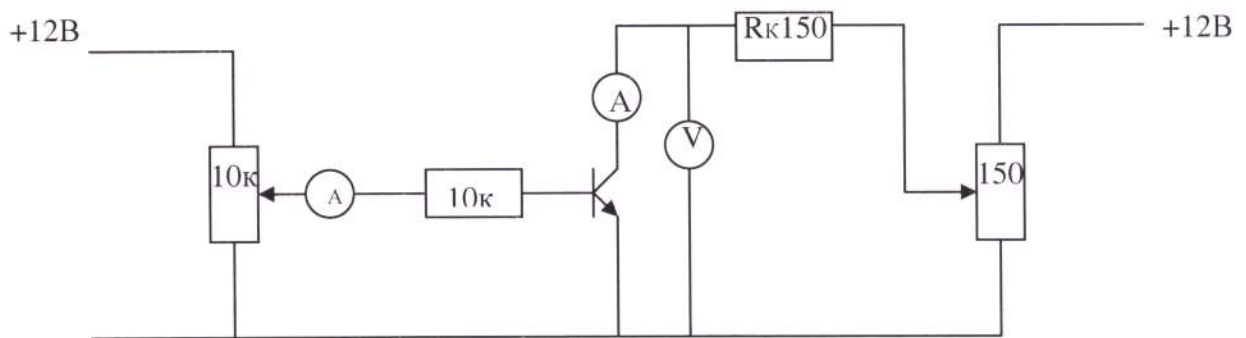


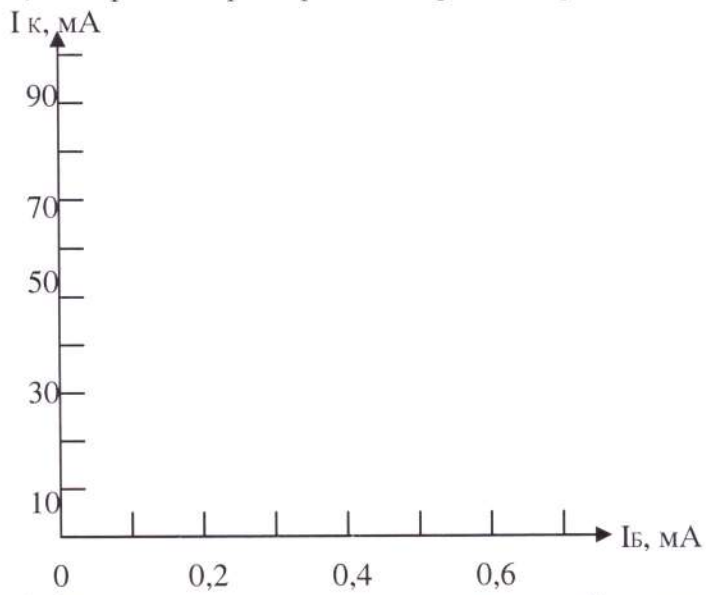
Таблица 1.

$I_B, \text{мА}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
$I_K, \text{мА}$								

2) Снять характеристику прямой передачи по току $I_K = f(I_B)$ при сопротивлении нагрузки $R_K = 150 \text{ Ом}$. С помощью потенциометра 10 кОм установить $I_B = 0$. С помощью потенциометра 150 Ом установить $U_K = 9В$. В дальнейшем ручку регулировки потенциометра 150 Ом не трогать. Результаты измерений занести в таблицу 2:

$I_B, \text{мА}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
$I_K, \text{мА}$								

3) Построить характеристики прямой передачи по току:



4) Определить по характеристикам прямой передачи статический коэффициент передачи тока $\beta = \Delta I_k / \Delta I_b$ и коэффициент усиления каскада $K_i = \Delta I_k / \Delta I_b$ при заданной нагрузке вблизи точки насыщения.

5) Сделать вывод.

Лабораторная работа № 13

Исследование электронной схемы однофазного неуправляемого выпрямителя, измерение основных параметров.

Цель: построение схем и изучение принципа работы однофазных выпрямителей.

Вопросы для самоподготовки

1. Что такое выпрямители? Каково их назначение?
2. Какие виды выпрямителей вам известны?
3. Нарисуйте схему и поясните принцип работы однополупериодного выпрямителя. По каким формулам можно определить параметры выходного напряжения такого выпрямителя?
4. Что такое коэффициент пульсаций? По какой формуле он определяется? Какие требования предъявляются к качеству выпрямленного напряжения при питании различных устройств?
5. Какими способами можно уменьшить пульсации выпрямленного напряжения?
6. Нарисуйте схемы и поясните принцип действия сглаживающих фильтров. Запишите формулы для определения коэффициента сглаживания фильтров.
7. Нарисуйте схему и поясните принцип работы однофазного нулевого выпрямителя (двухполупериодного). По каким формулам можно определить параметры выходного напряжения такого выпрямителя?
8. Нарисуйте схему и поясните принцип работы однофазного мостового выпрямителя (двухполупериодного). По каким формулам можно определить параметры выходного напряжения такого выпрямителя?
9. Рассчитать однофазный мостовой выпрямитель с С-фильтром, если $E_1=220\text{В}$, $U_n=70$, $I_n=0,1\text{А}$, $q_2=0,05$, $r=0,1\text{Рн}$. Параметры диодов I_a , $I_{ам}$, $U_{обр}$; трансформатора I_2 , I_1 , E_2 , k_t , S_t и емкость фильтра C .

Порядок выполнения работы

Собрать схему однополупериодного выпрямителя, изображенную на рисунке 1.

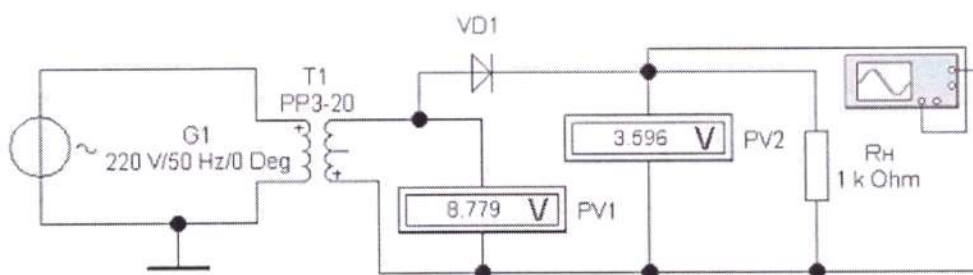


Рис. 1 - Однополупериодный выпрямитель

2. Установить вольтметр PV1 в режим измерения переменного напряжения (AC).
3. Включить схему.
4. По показаниям приборов определить напряжение на выходе трансформатора и выпрямленное напряжение на нагрузке (Вольтметр PV2 должен находиться в режиме измерения постоянного напряжения – DC).
5. По показаниям прибора PV1 рассчитать выпрямленное напряжение на активной нагрузке. Сравнить с экспериментально полученными данными.
6. Переключить вольтметр PV2 в режим измерения переменного напряжения. Измерить пульсации выпрямленного напряжения. Сравнить с теоретическими данными.
7. Развернуть лицевую панель осциллографа. Наблюдать форму входного и выходного напряжения выпрямителя.
8. Собрать схему однофазного двухполупериодного выпрямителя, изображенную на рисунке 2.

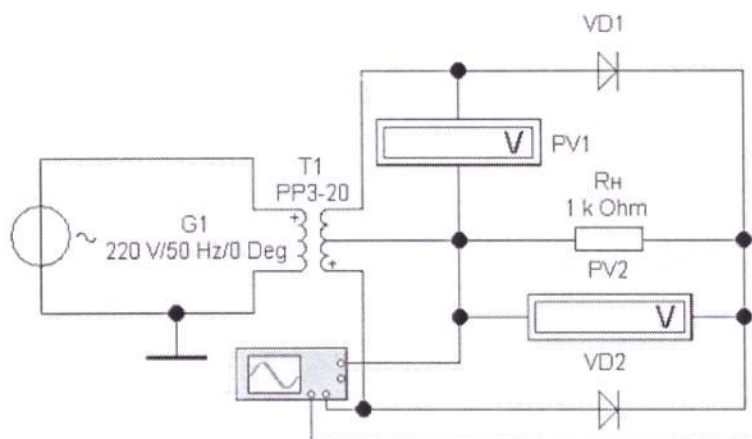


Рисунок 2 – Однофазный нулевой выпрямитель

9. Установить вольтметр PV1 в режим измерения переменного напряжения (AC).
10. Включить схему.
10. По показаниям приборов определить напряжение на выходе первой половины вторичной обмотки трансформатора и выпрямленное напряжение на нагрузке (Вольтметр PV2 должен находиться в режиме измерения постоянного напряжения DC).
12. По показаниям прибора PV1 рассчитать выпрямленное напряжение на активной нагрузке. Сравнить с экспериментально полученными данными.
13. Переключить вольтметр PV2 в режим измерения переменного напряжения. Измерить пульсации выпрямленного напряжения. Сравнить с теоретическими данными.
14. Развернуть лицевую панель осциллографа. Наблюдать форму входного и выходного напряжения выпрямителя.
15. Собрать схему однофазного мостового выпрямителя, изображенную на рисунке 3.

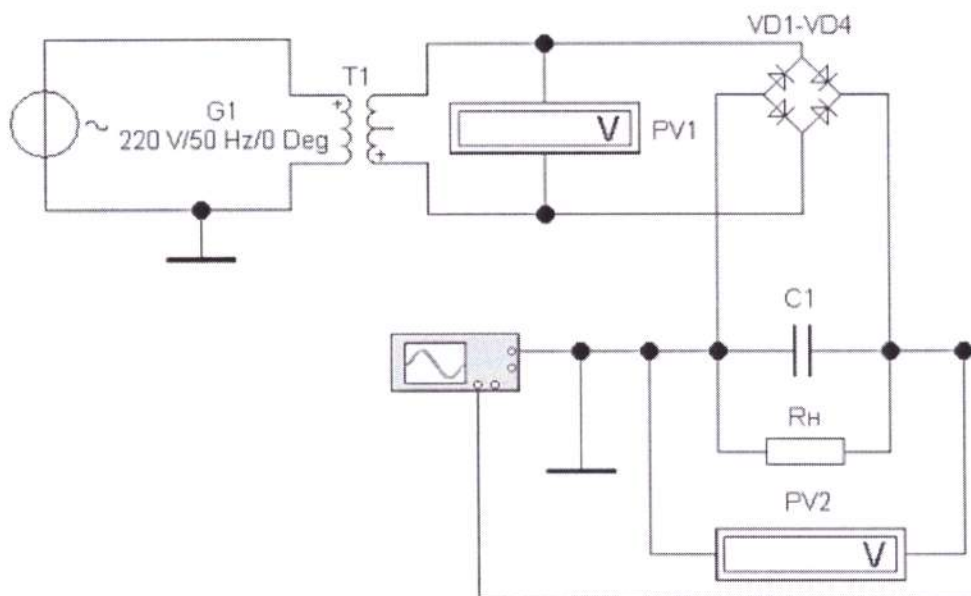


Рисунок 3 – Однофазный мостовой выпрямитель

16. Установить параметры элементов схемы в соответствии с полученными при подготовке к лабораторной работе.

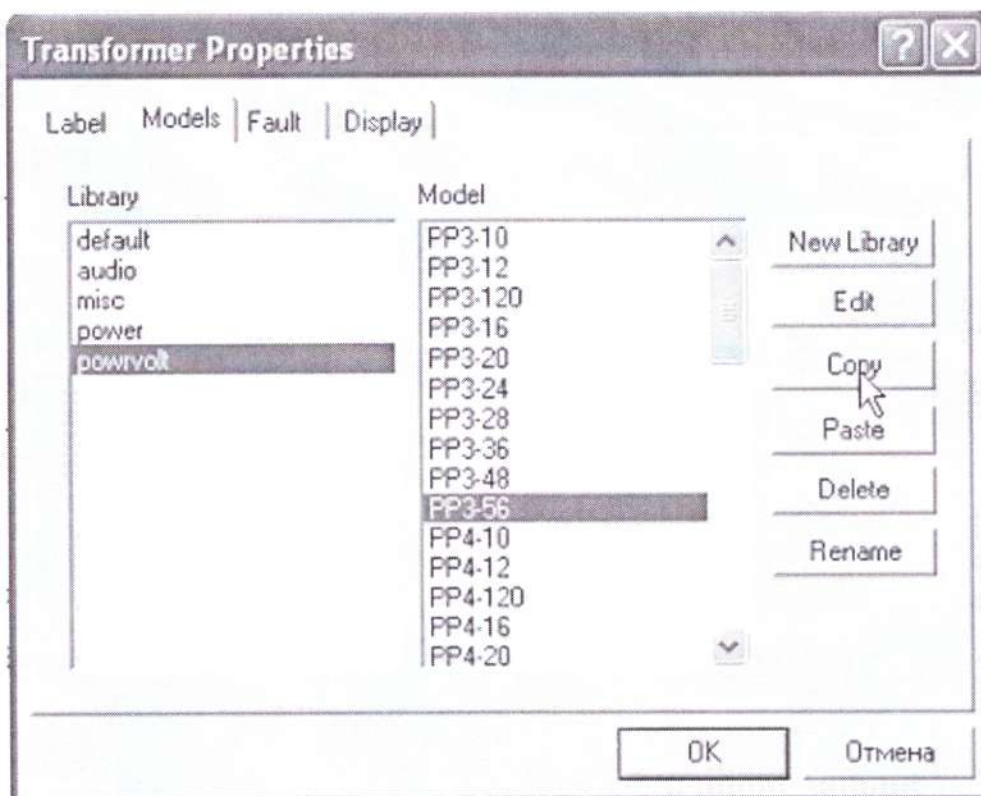


Рисунок 4 – Свойства трансформатора

17. При установке параметров трансформатора двойным щелчком левой кнопки мыши открыть диалоговое окно Transformer Properties (Свойства трансформатора). На вкладке Models (Модели) из списка powrvolt выбрать произвольный трансформатор (например, PP3-56). Нажать кнопку Copy (Копировать) (Рисунок 66). Нажать кнопку Past (Вставить). В появившемся диалоговом окне вписать произвольное название трансформатора. Нажать кнопку OK. Нажать кнопку Edit (Редактировать). В открывшемся диалоговом окне Transformer Model (Модель трансформатора) в строке Primary-to-secondary turns ratio (Коэффициент трансформации) вписать необходимый коэффициент трансформации. В данном диалоговом окне доступны также параметры:

- Leakage inductance – Индуктивность рассеяния
- Magnetizing inductance – Намагничивание катушки индуктивности
- Primary winding resistance – Сопротивление первичной обмотки
- Secondary winding resistance – Сопротивление вторичной обмотки (Рисунок 5).

Закрывать окна нажимая кнопку OK.

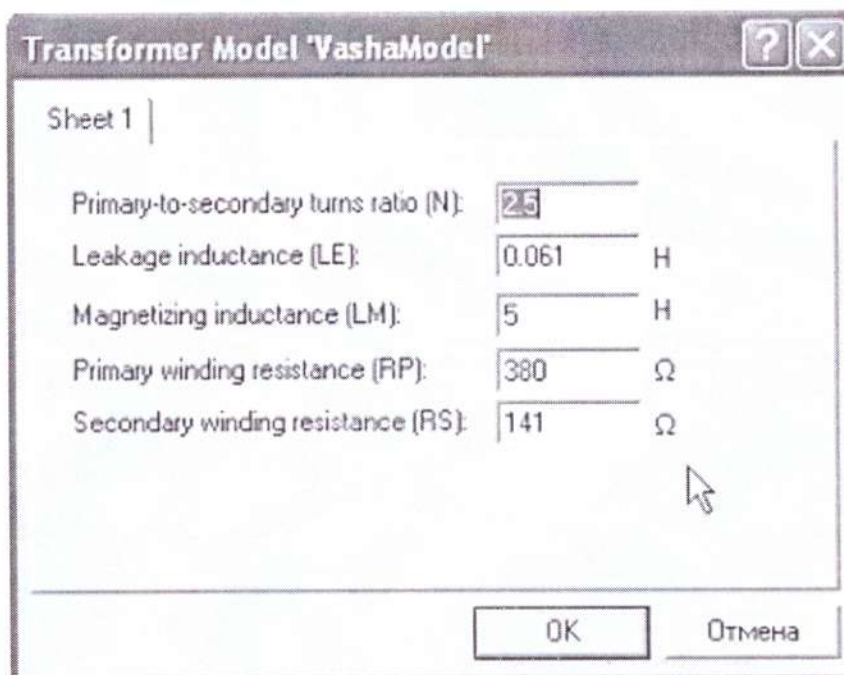


Рисунок 5 – Модель трансформатора

18. Включить схему и проверить ее работу. Сравнить значения, полученные экспериментально, с расчетными.
19. Развернуть лицевую панель осциллографа. Наблюдать форму входного и выходного напряжения выпрямителя.
20. Провести необходимые измерения и рассчитать коэффициент пульсаций выходного напряжения и коэффициент сглаживания С-фильтра.
21. Сделать вывод.

Методические указания

Основные электрические параметры однополупериодной схемы выпрямления:

$$U_0 = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2$$

- среднее значение выпрямленного напряжения;

$$I_0 = \frac{2}{\pi} I_2 = \frac{I_2}{1,57}$$

- среднее Основные электрические параметры однополупериодной схемы выпрямления:

значение выпрямленного тока;

$I_{\text{ампх}} = \pi I_0$ - максимальный прямой ток вентиля;

$U_{\text{обрмак}} = \sqrt{2}U_2 = \pi U_0$ - максимальное обратное напряжение на вентиле;

$K_{\text{н}} = \frac{\pi}{2} = 1,57$ - коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения;

$P_{\text{T}} \approx 3,1P_0$ - типовая мощность трансформатора.

Основные электрические параметры схемы двухполупериодного выпрямителя

$$U_0 = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} = 0,9U_2$$

$$I_0 = \frac{4}{\pi} I_2$$

$$I_{\text{ампх}} = \frac{\pi}{2} I_0$$

$$U_{\text{обрмак}} = 2\sqrt{2}U_2 = \pi U_0$$

$$K_{\text{н}} = 0,67$$

$$P_{\text{T}} = 1,48P_0$$

Временные диаграммы работы мостового выпрямителя имеют тот же вид, что и диаграммы работы двухполупериодного выпрямителя с нулевым выводом.

Исключение составляет зависимость $u_a(\omega t)$, поскольку между анодом и катодом вентиля в непроводящем направлении приложено напряжение вторичной обмотки трансформатора, т. е. $U_{\text{обрмак}}$ уменьшается в два раза:

$$U_{\text{обрмак}} = \sqrt{2}U_2 = \frac{\pi}{2} U_0$$

Типовая мощность трансформатора в мостовой схеме меньше, чем в других схемах:

$$P_{\text{T}} = P_1 = P_2 = 1,23P_0$$

Величины выпрямленных напряжений и тока, а также коэффициента пульсаций имеют то же значение, что и в двухполупериодной схеме с нулевым выводом.

Снять внешнюю характеристику выпрямителя при работе на чисто активную нагрузку при неизменном напряжении питающей сети. Для всех величин нагрузок определить значения коэффициента пульсаций q' на нагрузке. Данные занести в табл.1

Таблица1. Внешняя характеристика выпрямителя

№ П/П	Активная				Активно-емкостная,			
	Rd	Id	Ud	q'	Rd	Id	Ud	q'
	Ом	мА	В		Ом	мА	В	
1								
2								
3								

Контрольные вопросы

1. Что такое выпрямители? Каково их назначение?
2. Какие виды выпрямителей вам известны?
3. Поясните принцип работы однополупериодного выпрямителя. По каким формулам можно определить параметры выходного напряжения такого выпрямителя?
4. Что такое коэффициент пульсаций? По какой формуле он определяется? Какие требования предъявляются к качеству выпрямленного напряжения при питании различных устройств?
5. Какими способами можно уменьшить пульсации выпрямленного напряжения?
7. Поясните принцип работы однофазного нулевого выпрямителя (двухполупериодного). По каким формулам можно определить параметры выходного напряжения такого выпрямителя?
8. Поясните принцип работы однофазного мостового выпрямителя.

Лабораторная работа № 14

Исследование работы сглаживающих фильтров

Цель: Рассчитать и определить экспериментально основные параметры пассивных и активных фильтров. Исследовать зависимость этих параметров от тока нагрузки.

Объекты исследования:

- Емкостный фильтр.
- Индуктивный фильтр.
- RC-фильтр.

Оборудование: Компьютерная моделирующая программа Workbench.

Пояснения к работе

При выполнении данной работы воспользоваться схемами выпрямителей из лабораторной работы № 5 и провести исследование сглаживающих фильтров согласно своего варианта.

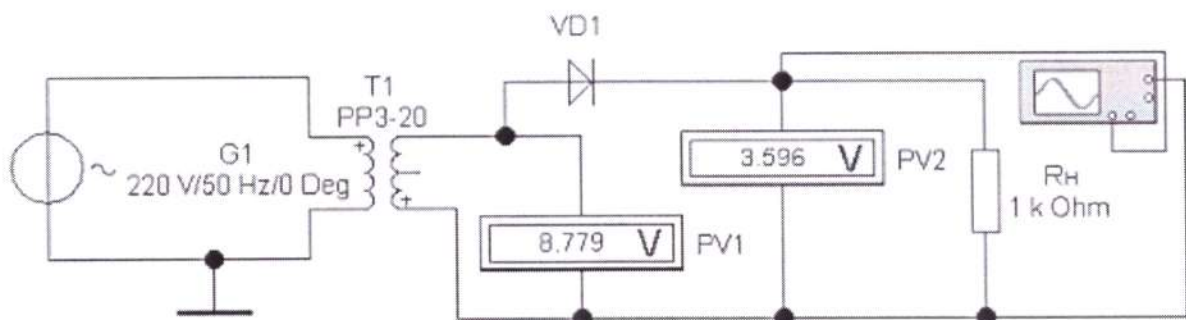


Таблица 1. Внешняя характеристика выпрямителя

№ П/П	Активная				Активно-емкостная,			
	Rd	Id	Ud	q`	Rd	Id	Ud	q`
	Ом	мА	В		Ом	мА	В	
1								
2								
3								

1.1. При максимальном токе нагрузки ($I_d = \max$), т.е. при минимальном сопротивлении активной нагрузки ($R_d = \min$) определить значения $I_1, I_2, U_1, U_2, I_d, U_d$ и занести их в табл.2.

Таблица 2. Параметры при максимальной нагрузке

Тип нагрузки	I_1	I_2	U_1	U_2	U_d	I_d
	мА	мА	В	В	В	мА
Активная						
Емкостная						

Собрать схему однофазного мостового выпрямителя. Определить внешние характеристики выпрямителя при работе на различные виды нагрузки. Начинать все эксперименты при значении тока $I_d=0$ (все нагрузочные сопротивления R_d отключены). Результаты занести в табл.3.

Таблица 3. Внешняя характеристика выпрямителя

№ П/П	Вид нагрузки			
	$R_d, \text{Ом}$	$I_d, \text{мА}$	$U_d, \text{В}$	q`

Лабораторная работа № 15

Исследование электронной схемы параметрического стабилизатора напряжения

Цель: Исследование параметров и характеристик параметрических стабилизаторов постоянного напряжения.

Оборудование: электронная моделирующая программа Workbench

Задание и методические указания.

1. Предварительное домашнее задание

А) изучить темы курса «Диоды», «Стабилизаторы» и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы.

Б) пользуясь принципиальными схемами, приведенными в руководстве, начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе.

В) для идеализированной ВАХ стабилизатора построить линию нагрузки для заданного напряжения стабилизации стабилизатора $U_{ст}$, его дифференциальное сопротивление r_d , на участке стабилизации равно нулю, напряжение питания $U_{п}$ задается преподавателем. Определить ток I_0 через балластный резистор

Экспериментальное исследование параметрического стабилизатора при изменении питающего напряжения при отсутствии нагрузки.

А) собрать схему параметрического стабилизатора напряжения (рис.1). Для измерения анодного тока включить миллиамперметр постоянного тока РА на пределе 100 мА. Для измерения напряжений на входе и выходе стабилизатора включить мультиметры PV1, PV2.

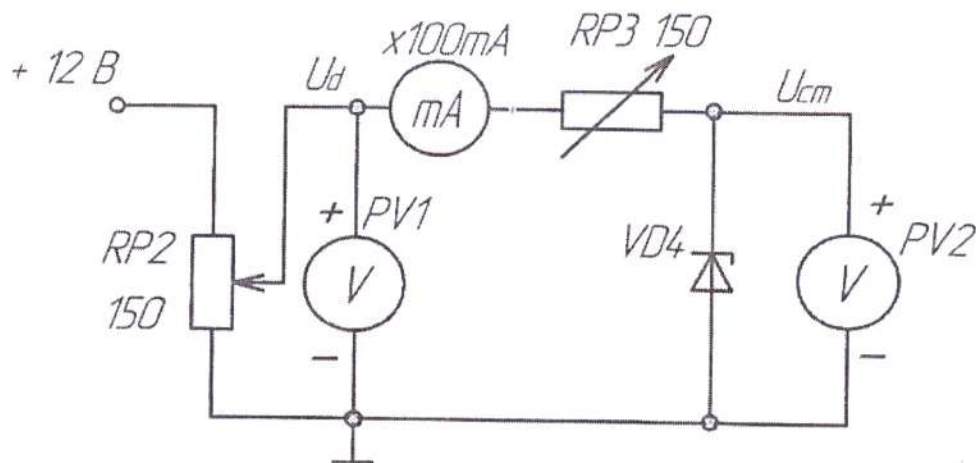


Рис. 1

Б) снять зависимость выходного напряжения от напряжения источника питания $U_{cm} = f(U_d)$. Для этого, изменяя потенциометром RP2 напряжения питания U_d на входе стабилизатора, измерять соответствующее ему выходное напряжение U_{cm} . Особенно тщательно отметить напряжение питания, при котором начинается стабилизация. Одновременно измерять ток I_d , потребляемый стабилизатором.

Результаты измерений занести в таблицу, по которой построить зависимость выходного напряжения от напряжения источника питания $U_{cm} = f(U_d)$; Определить напряжение стабилизации стабилитрона U_{cm} .

В) Определить коэффициент стабилизации стабилитрона K_{cm} на участке стабилизации:

$$K_{cm} = \frac{\Delta U_d}{\Delta U_{cm}}.$$

Экспериментальное исследование параметрического стабилизатора при изменении нагрузки

А) подключить на выход параметрического стабилизатора напряжения изменяющуюся нагрузку R_n (рис.2). Для измерения тока нагрузки I_n включить миллиамперметр с пределом 100 мА.

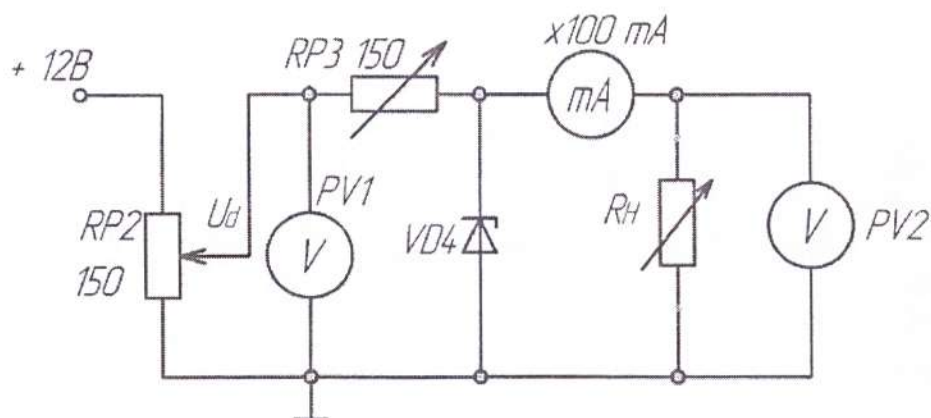


Рис. 2

Б) снять зависимость выходного напряжения от тока нагрузки. При регулировании сопротивления нагрузки, потенциометром RP2 поддерживать постоянным напряжение питания U_d на входе стабилизатора, равным 10 В. Особенно тщательно отметить ток нагрузки $I_{нmax}$, при котором прекращается стабилизация U_{cm} . Результаты измерений занести в таблицу, по которой построить зависимость выходного напряжения от тока нагрузки: $U_{cm} = f(I_n)$.

В) определить выходное сопротивление $R_{вых}$ на участке стабилизации и сравнить его с определенным в п.2.

$$R_{вых} = \frac{\Delta U_{cm}}{\Delta I_{cm}} = \left| \frac{\Delta U_{cm}}{\Delta I_n} \right|.$$

Экспериментальное исследование параметрического стабилизатора при изменении питающего напряжения при наличии нагрузки

а) В схеме рис.2 установить ток нагрузки равным половине максимально допустимого $I_{нmax}$, определенного в п.4.

б) снять зависимость выходного напряжения от напряжения источника питания $U_{cm} = f(U_d)$. Для этого, изменяя потенциометром RP2 напряжение питания U_d на входе стабилизатора, измерять соответствующее ему выходное напряжение U_{cm} . Особенно тщательно отметить напряжение питания U_d , при котором начинается стабилизация. Одновременно измерять ток, потребляемый стабилизатором. Результаты измерений занести в таблицу, по которой построить зависимость выходного напряжения от напряжения источника питания $U_{cm} = f(U_d)$, зависимость

Лабораторная работа №16

Исследование работы генератора синусоидальных колебаний

1. **Цель:** Изучить схему и условия возбуждения автогенератора синусоидальных колебаний.

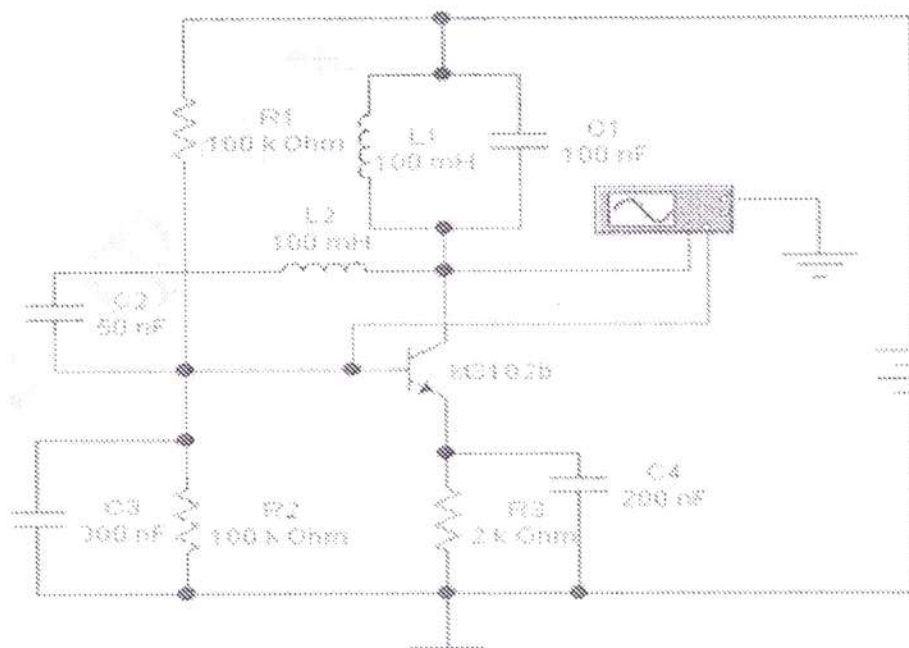
2. **Оборудование:** компьютер, программа электронного моделирования WolkbenchII.

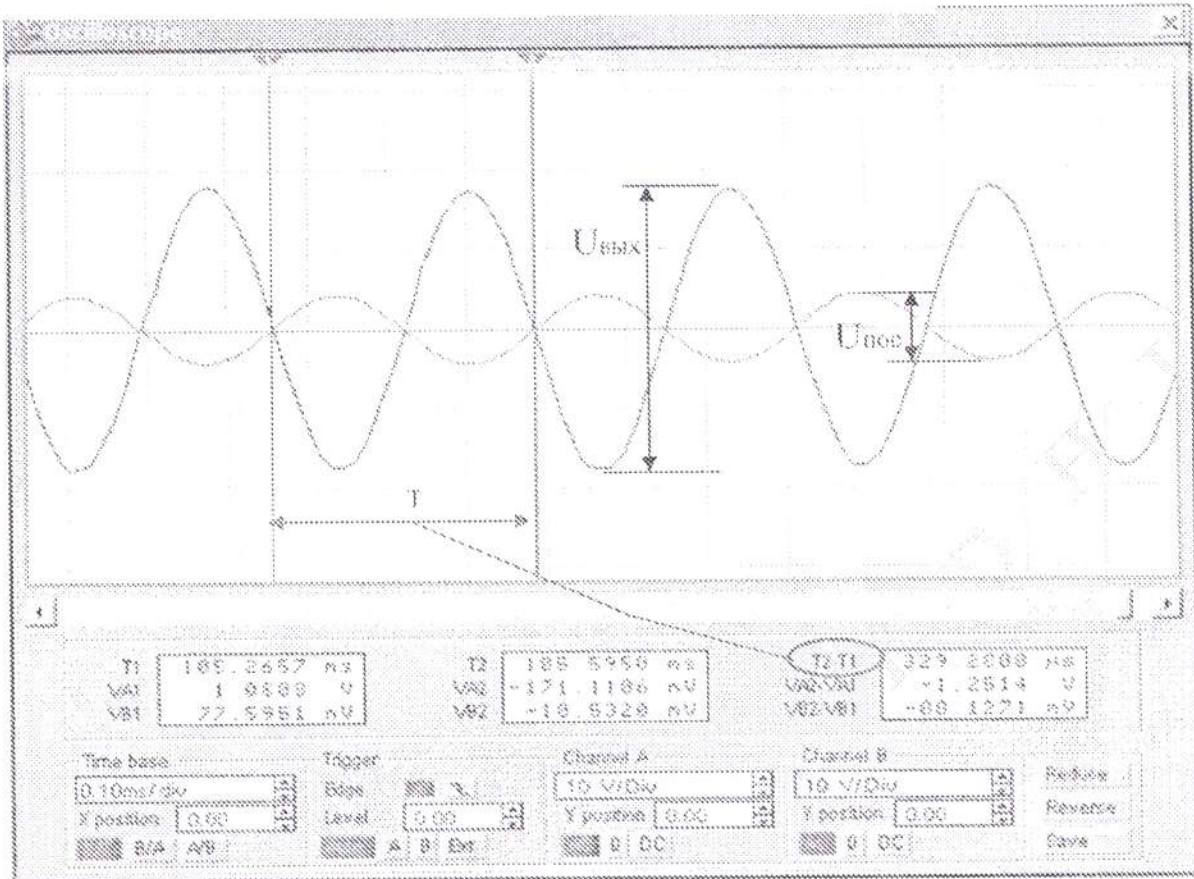
Эксперимент.

3. Порядок работы.

3.1. собрать (открыть) схему генератора.

3.2. определить частоту, амплитудное значение выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ и положительной обратной связи $U_{\text{пос}}$. Схему, результаты измерений и осциллограмму занести в отчет. $T=T2-T1$.





Лабораторная работа № 17

Исследование электронной схемы инвертирующего и неинвертирующего усилителей, измерение основных параметров.

Цель: экспериментальное определение характеристик инвертирующего и неинвертирующего усилителей.

Оборудование: Компьютерная программа EWB

Исходные данные:

Резисторы с номинальными значениями сопротивлений:

$$R1 = 100 \text{ Ом}, R4 = 5 \text{ кОм},$$

$$R2 = 1 \text{ кОм}, R5 = 10 \text{ кОм},$$

$$R3 = 2 \text{ кОм}, R6 = 100 \text{ кОм},$$

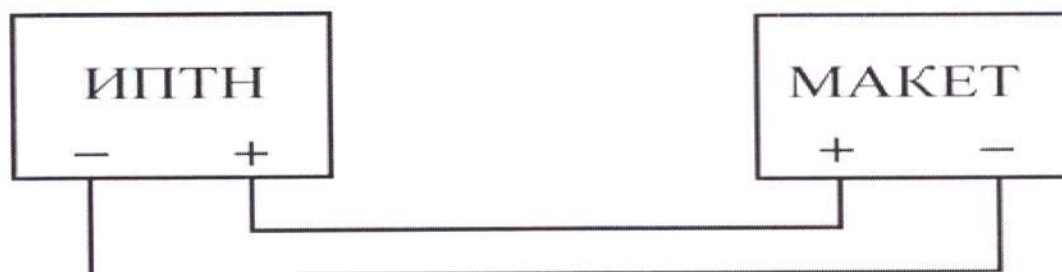
а также конденсаторы с номинальными значениями емкости:

$$C1 = 0,01 \text{ мкФ}, C2 = 0,033 \text{ мкФ}, C3 = 0,1 \text{ мкФ}.$$

Рабочее задание:

1. Ознакомиться со схемой усилителя.
2. Подключить источник постоянного тока с нерегулируемым напряжением (ИПТН) $U = 20 \text{ В}$ согласно рисунку 3.1. При этом напряжения питания ОУ окажутся равными $U_{п} = \pm 9 \text{ В}$.

Рис. 3.1



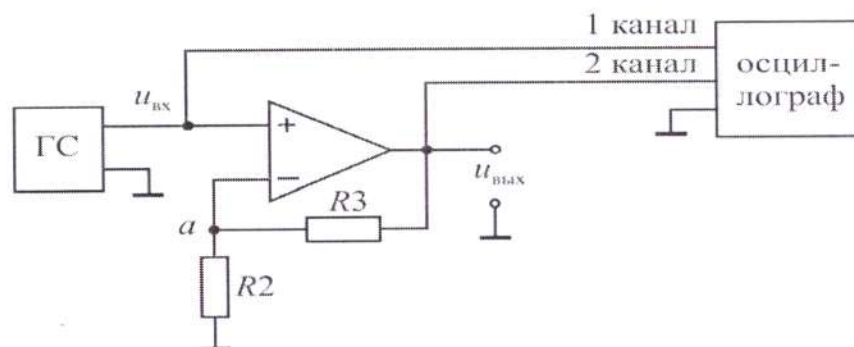
1. Собрать схему неинвертирующего усилителя

2. Установить питание источника постоянного тока с нерегулируемым напряжением (ИПТН) $U = 20$ В согласно рисунку 3.1. При этом напряжения питания ОУ окажутся равными $U_{п} = \pm 9$ В. Рис. 3.1

3. Исследовать неинвертирующий усилитель на основе ОУ. Для этого:

3.1 Собрать электрическую цепь согласно схеме на рисунке 3.2

Рис 3.2



3.2 Подключить 1 канал осциллографа к неинвертирующему входу ОУ, а 2 канал – к его выходу.

3.3 Подать напряжение питания на ОУ, включив тумблер СЕТЬ.

3.4 С помощью генератора синусоидальных сигналов ГС и цифрового вольтметра установить на входе усилителя напряжение $U_{вх} = 0,5$ В с частотой $f = 200$ Гц.

3.5 Зарисовать осциллограммы входного $u_{вх}(t)$ и выходного $u_{вых}(t)$ напряжений неинвертирующего усилителя и измерить угол сдвига фаз ϕ между ними.

3.6 Подключить второй канал осциллографа к точке «а» и сравнить сигналы на неинвертирующем и инвертирующем входах ОУ.

3.7 Измерить выходное напряжение $U_{вых}$ усилителя. Результат занести в таблицу 3.1.

Таблица 3.1

		R3	R4	R5	R6
Неинвертирующий усилитель	$U_{вых}$				
	$K_{у\bar{c}}$				
	$K_{ур}$				
Инвертирующий усилитель	$U_{вых}$				
	$K_{у\bar{c}}$				
	$K_{ур}$				

3.8 Последовательно заменяя резистор $R3$ в цепи обратной связи резисторами $R4$, $R5$, $R6$ до тех пор, пока ОУ находится в линейном режиме (контролируя это с помощью

осциллографа), снова измерить выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ усилителя и занести результаты в таблицу 3.1.

3.9 Снять логарифмическую амплитудно-частотную характеристику (ЛАЧХ) неинвертирующего усилителя. Для этого снова включить в цепь обратной связи резистор $R3$ и, устанавливая частоту генератора согласно ряду.

$$f = (20, 50, 100) \cdot 10^n, \quad (3.1)$$

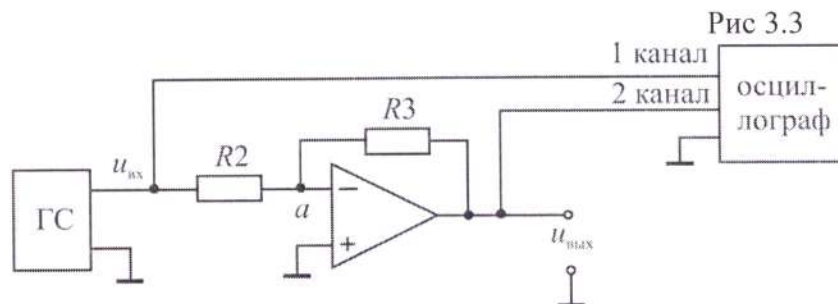
где $n = 0, 1, 2, 3, \dots$, измерять выходное напряжение $U_{\text{вых}}$, пока оно не окажется равным или меньше входного ($U_{\text{вых}} \leq U_{\text{вх}}$). Результаты измерений занести в таблицу 3.2.

Таблица 3.2

Неинвертирующий усилитель	$f, \text{Гц}$	20	50	100	200	...
	$U_{\text{вых}}, \text{В}$					
Инвертирующий усилитель	$L(f)$					
	$U_{\text{вых}}, \text{В}$					
	$L(f)$					

4. Исследовать инвертирующий усилитель на основе ОУ. Для этого:

4.1 Собрать электрическую цепь в соответствии со схемой на рисунке 3.3.



4.2 Провести экспериментальные исследования согласно пп 3.3–3.9.

Лабораторная работа №18

Исследование работы генератора синусоидальных колебаний

1. Цель: Изучить схему и условия возбуждения автогенератора синусоидальных колебаний.

2. Оборудование: компьютер, программа электронного моделирования Workbench.

Эксперимент.

Порядок работы.

2.1. Собрать (открыть) схему генератора.

2.2. Определить частоту, амплитудное значение выходного напряжения $U_{вых}$ и положительной обратной связи $U_{пос}$. Схему, результаты измерений и осциллограмму занести в отчет.

Пояснение к работе.

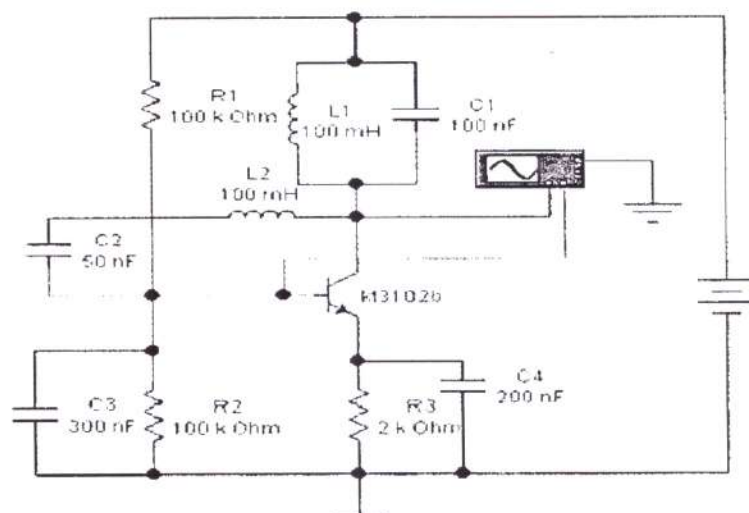
Настройка осциллографа и генератора как на рисунке, для определения частоты и амплитуды включить на осциллографе Expand. Частота генерируемых колебаний определяется по формуле:

$$f = 1/T.$$

Для определения периода синий и красный маркеры устанавливаются в начале и конце периода

одного колебания.

$$T = T_2 - T_1.$$



Лабораторная работа №19

Исследование работы логических элементов

Цель: целью работы является изучение базовых логических схем, а также овладение навыками конструирования этих схем и их анализа.

Краткие теоретические сведения

Для реализации основных логических функций имеется ряд различных схем, которые отличаются по потребляемой мощности, напряжению питания, значениям высокого и низкого уровней выходного напряжения, времени задержки распространения сигнала и нагрузочной способности. Чтобы правильно выбрать тип схемы, необходимо, по крайней мере, в общих чертах знать их структуру. С этой целью в лабораторной работе будут рассмотрены важнейшие типы логических элементов.

При соединении интегральных схем иногда к одному выходу подключается большое число входов логических элементов. Максимальное количество входов схем данного типа, подключаемых к выходу без уменьшения гарантируемого запаса помехоустойчивости, характеризуется нагрузочной способностью элемента (коэффициентом разветвления по выходу). Коэффициент разветвления по выходу, равный 10, означает, что можно подключить 10 входов логических элементов. Если нагрузочная способность стандартного элемента оказывается недостаточной, вместо него применяют элемент с повышенной мощностью (буфер).

Порядок выполнения работы

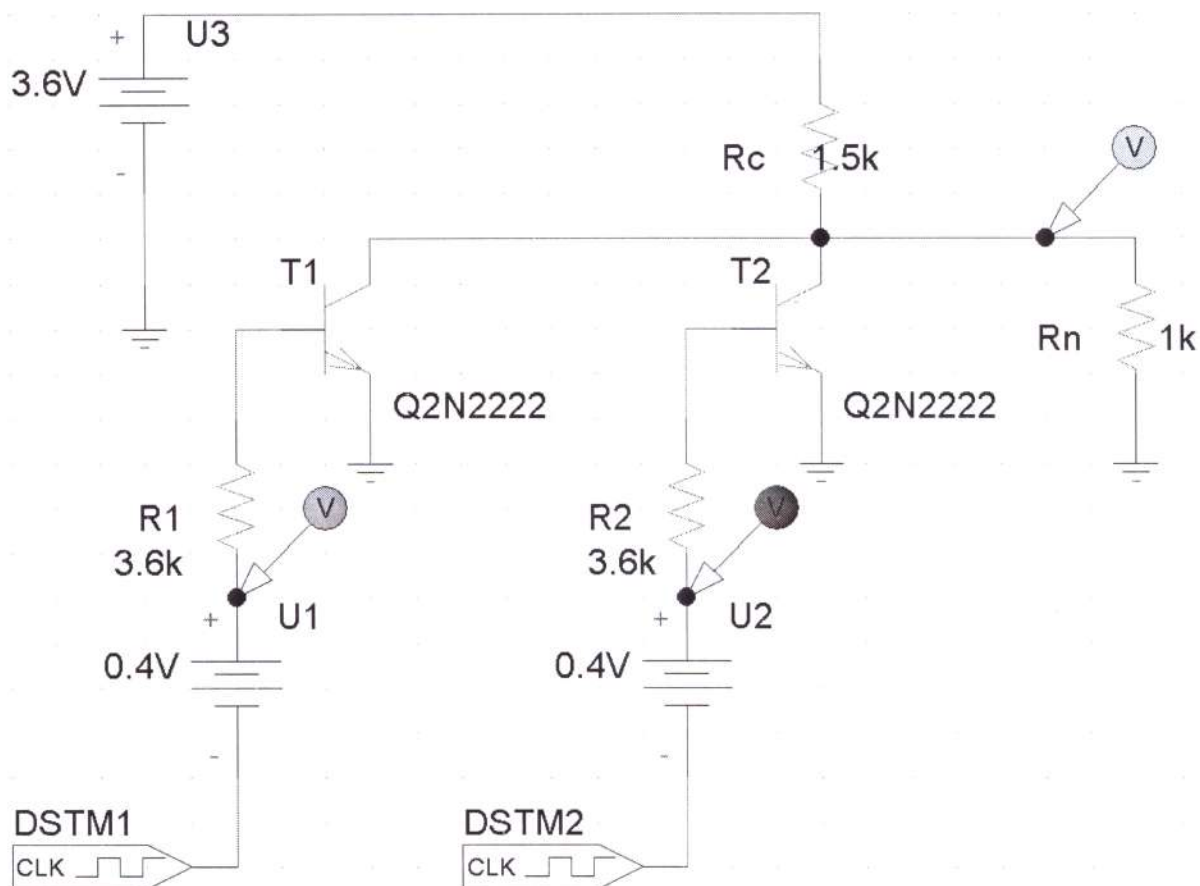
1. Резистивно – транзисторная логика (РТЛ)

Соберите схему, представленную на рис. 1. Проведите анализ переходных процессов с параметром Final Time = 20ms.

Параметры элемента DSTM1: ONTIME = 4ms, OFFTIME = 4ms, STARTVAL = 0, OPPVAL = 1.

Параметры элемента DSTM2: $ONTIME = 2ms$, $OFFTIME = 2ms$, $STARTVAL = 0$, $OPPVAL = 1$.

Зарисуйте полученные осциллограммы. По осциллограммам определите, какую логическую функцию реализует данный элемент.



Лабораторная работа №20

Исследование работы RS - триггеров на логических элементах.

1. **Цель:** целью работы является экспериментальное исследование работы различных типов триггеров.

2 Краткие теоретические сведения

Триггеры предназначены для запоминания двоичной информации. Использование триггеров позволяет реализовывать устройства оперативной памяти (то есть памяти, информация в которой хранится только на время вычислений). Однако триггеры могут использоваться и для построения некоторых цифровых устройств с памятью, таких как счётчики, преобразователи последовательного кода в параллельный или цифровые линии задержки.

2.1 RS-триггер

Основным триггером, на котором базируются все остальные триггеры является RS-триггер.

RS-триггер имеет два выхода:

Q - прямой;

\bar{Q} - обратный (инверсный).

Состояние триггера определяется состоянием прямого выхода. Простейший RS-триггер состоит из двух логических элементов, охваченных перекрёстной положительной обратной связью (рисунок 2.1).

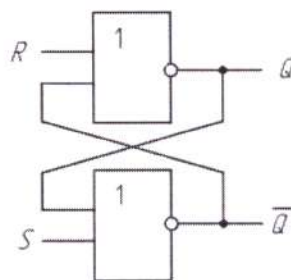


Рисунок 2.1 - Схема простейшего RS- триггера

3 Задание к работе

3.1 Исследовать асинхронный RS- триггер.

Сконфигурировать ПЛИС в соответствии с рисунком 3.1.

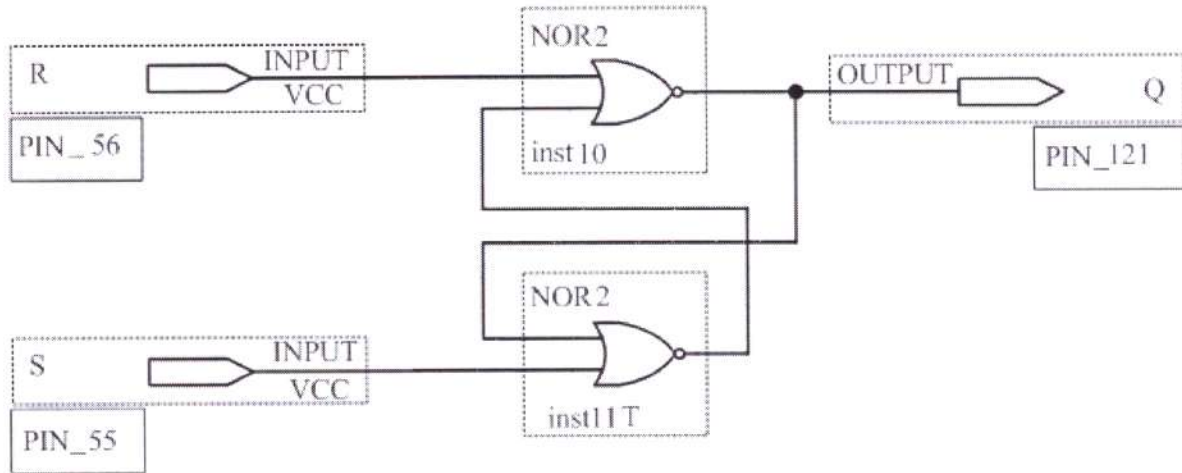


Рисунок 3.1 - RS-триггер на основе логических элементов "ИЛИ-НЕ"