

12/3/9

Одобрено кафедрой
«Тяговый подвижной состав»

ЭЛЕКТРОННАЯ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Методические указания к выполнению лабораторных
работ для студентов V курса

специальности
190301 ЛОКОМОТИВЫ (Т)

РОАТ
Москва — 2010

Составитель — канд. техн. наук, доц. С.И.Баташов
Рецензент — д-р техн. наук, проф. А.С. Космодамианский

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1

Исследование полупроводникового диода

Программа лабораторной работы	5
Порядок выполнения работы.....	5
Содержание отчета.....	8
Контрольные вопросы.....	13
Литература.....	14

Лабораторная работа № 2

Исследование биполярного транзистора

Программа лабораторной работы	15
Порядок выполнения работы.....	15
1. Исследование характеристик транзистора	15
2. Исследование транзисторного усилителя с общим эмиттером	17
Содержание отчета.....	19
Контрольные вопросы.....	26
Литература.....	27

Лабораторная работа № 3

Исследование усилителей на полевых транзисторах

Порядок выполнения лабораторной работы	28
1. Усилитель на полевом транзисторе с затвором в виде обратно смещенного $p-n$ -перехода и с n -каналом.....	28
2. Усилитель на полевом транзисторе с изолированным затвором и n -каналом.....	32
Содержание отчета	32
Контрольные вопросы	40
Литература.....	40

Лабораторная работа №4

Исследование тиристора

Программа лабораторной работы	42
Порядок выполнения работы	42
Содержание отчета.....	47
Контрольные вопросы.....	54
Литература.....	55

Лабораторная работа №5

Исследование неуправляемых однофазных выпрямителей

Программа лабораторной работы	56
Порядок выполнения работы.....	56

1. Работа мостового выпрямителя на активную нагрузку.....	56
2. Работа мостового выпрямителя на активно-индуктивную нагрузку.....	58
3. Однополупериодный выпрямитель	58
4. Двуполупериодный выпрямитель со средней точкой трансформатора.....	59
Содержание отчета.....	60
Контрольные вопросы	67
Литература.....	68

Лабораторная работа №6

Исследование управляемых выпрямителей и регуляторов переменного напряжения

Программа лабораторной работы	69
Порядок выполнения работы.....	69
1. Мостовой несимметричный (полууправляемый) выпрямитель	69
2. Мостовой выпрямитель.....	71
Содержание отчета	73
Контрольные вопросы.....	78
Литература.....	78

Лабораторная работа №7

Исследование системы импульсного регулирования напряжения (тиристорного ключа)

Программа лабораторной работы и содержание отчета.....	80
Контрольные вопросы.....	86
Литература.....	87

Приложение

Паспортные данные полевых транзисторов	88
Основные параметры тиристоров	89

Лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДИОДА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучение принципа действия полупроводниковых элементов и его характеристик.

ПРОГРАММА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Изучение и опробование схемы.
2. Снятие данных.
3. Построение вольт-амперных характеристик диодов.
4. Определение основных параметров лавинных диодов:
 - тока насыщения $I_{\text{нас}}$;
 - порогового напряжения U_0 ;
 - эквивалентного сопротивления p - n - перехода.
5. Определение основных параметров стабилитрона:
 - напряжение стабилизации $U_{\text{ст}}$;
 - пределов изменения точка в режиме стабилизации $I_{\text{ст мин}}$ и $I_{\text{ст макс}}$;
 - динамического сопротивления $R_{\text{д}}$.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучение и опробование схемы.

Органы управления стенда установить в исходное положение: выключатели «220В», «E1», «E2/ГИ» — «Выключено»; переключатель «E2/ГИ» — в положение «E2», переключатель «Открытие — Закрытие» — в положение «Открытие»; переключатель $R1$, $R2$ — в положение «1», регуляторы $E1$, $E2$ — «0».

2. Снятие прямой ветви вольт-амперной характеристики диода.

Собрать схему рис. 1.1. Установить $R1 = 20$ Ом, включить выключатели «220В», «E1». Постепенно увеличивая подводимое напряжение и наблюдая за показаниями приборов необходимо убедиться в работоспособности схемы.

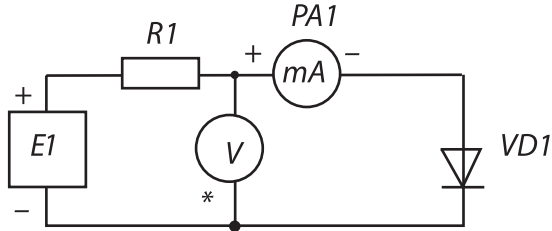


Рис. 1.1

Для снятия зависимости $I = f(U)$ необходимо изменять напряжение, подводимое к диоду и следить за изменением тока в цепи. Данные снимаются для токов диода $I_{VD1} = 10, 20, 50, 100, 150, 200, 250$ мА и записываются в таблицу.

3. Выключить $E1$, заменить в схеме рис. 1.1 диод $VD1$ на $VD2$, включить $E1$ и повторить операции п.2. Прямую ветвь вольтамперной характеристики (ВАХ) $VD2$ построить на одном рисунке с ВАХ $VD1$. Необходимо убедиться в идентичности теоретической и опытной характеристик.

4. Исследование распределения токов при параллельном соединении диодов.

Выключить $E1$, собрать схему рис.1.2 в которой диоды $VD1$ и $VD2$ соединены параллельно. Установить $R1 = 20$ Ом и включить $E1$. Изменяя напряжение $E1$, установить ток I_{VD2} диода $VD2$ равным 50 мА. Измерить напряжение на диодах (падением напряжения на миллиамперметрах можно пренебречь, оно меньше 0,01 В) и ток I_{VD1} диода $VD1$. Результат измерения I_{VD1} обосновать из графиков ВАХ диодов $VD1, VD2$.

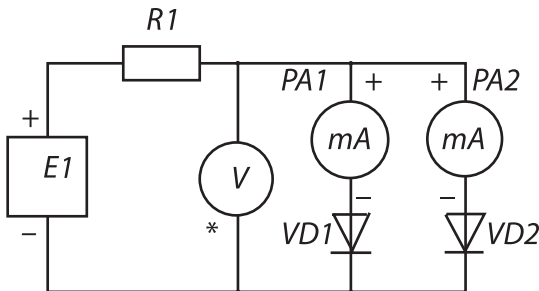


Рис. 1.2

Выключить $E1$ и установить его на 0.

В дальнейшем операции выключения источников $E1$, $E2$ и установки на 0 их регуляторов не указываются. Выполнять эти операции нужно перед каждым изменением измерительной схемы.

5. Снятие обратной ветви ВАХ диода.

Собрать схему рис.1.3, установить $R1 = 100$ Ом, включить $E2$ и получить точки начальной части обратной ветви ВАХ диода $VD1$. Измерение обратного тока $I_{обр}$ производить при напряжениях 10, 20, 30 В.

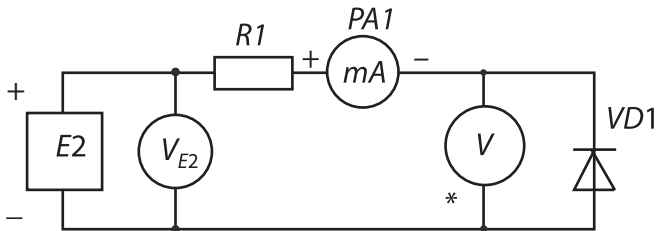


Рис. 1.3

6. Повторите операции п.5, заменив диод $VD1$ на $VD2$. Обратные ветви ВАХ диодов $VD1$, $VD2$ постройте на одном рисунке в третьем квадранте. Необходимо убедиться в идентичности теоретической и опытной характеристик.

7. Исследование распределения обратных напряжений при последовательном соединении диодов.

Собрать схему рис. 1.4, установить напряжение $E2$ равным 30 В, измерить обратный ток диодов $I_{обр}$ и обратное напряжение $U_{обрVD1}$, $U_{обрVD2}$ на диодах $VD1$, $VD2$. Обосновать результат измерений, используя графики ВАХ, полученные в п.5, 6.

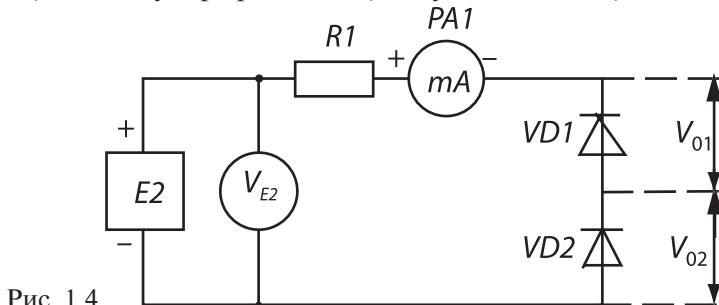


Рис. 1.4

8. Снятие ВАХ опорного диода – стабилитрона.

Собрать схему рис. 1.3, установив вместо диода $VD1$ опорный диод (стабилитрон) $VD3$. Установить $R1 = 100$ Ом. Затем приступают к опробованию схемы, когда к стабилитрону приложено обратное напряжение. Плавно увеличивая напряжение $E2$, следят за показаниями измерительных приборов. Убеждаются в том, что в определенных пределах изменения тока через стабилитрон напряжение на нем изменяется незначительно, что соответствует режиму стабилизации. Необходимо иметь в виду, что обратный ток стабилитрона в процессе исследования не должен превышать паспортного значения. Несоблюдения этого требования может привести к необратимому пробоем $p-n$ - перехода и повреждению стабилитрона.

Получить точки обратной ветви ВАХ диода $VD3$. Измерение напряжения на стабилитроне производить при токах 0,5; 1; 3; 5; 10 мА (включен РА3) и 20; 30; 50 мА (включен РА2). Прежде чем переключать РА, убедитесь, что напряжение $E2$ равно нулю. График ВАХ опорного диода привести в отчете. Необходимо убедиться в идентичности теоретической и опытной характеристик.

9. Органы управления стенда установить в исходное состояние в соответствии с п. I.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе составляется каждым студентом индивидуально и должен содержать :

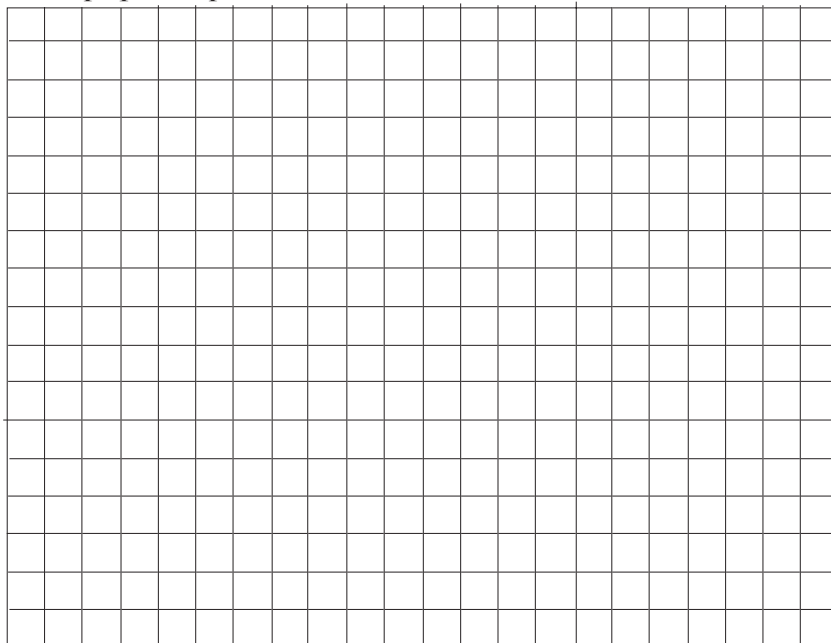
1. Наименование и цель работы.

2. Схема для получения точек зависимости прямого напряжения на диоде от его тока.

3. Таблица результатов

I_{VD} , мА	10	20	50	100	150	200	250
U_{VD1} , В							
U_{VD2} , В							

4. Графики прямой ветви ВАХ диодов $VD1$ и $VD2$.



5. Распределение токов при параллельном соединении диодов

$$U_{VD} = \quad , \quad I_{VD1} = \quad , \quad I_{VD2} = \quad .$$

6. Графическое обоснование результатов измерений при параллельном соединении диодов

$$U_{VD} = \quad , \quad I_{VD1} = \quad , \quad I_{VD2} = \quad .$$

7. По графикам ВАХ диодов определить величины порогового напряжения U_0 и показать их

$$U_{0VD1} = \quad , \quad U_{0VD2} = \quad .$$

8. Для режима, заданного преподавателем, определить величины статического и динамического сопротивлений. Необходимые для расчета данные показать на графике ВАХ.

$$R_{ст} =$$

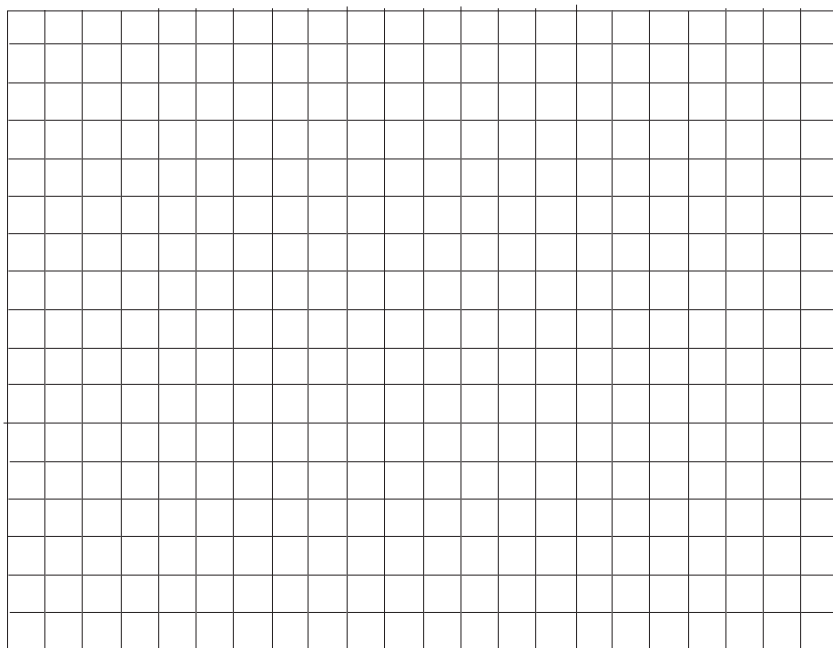
$$R_{дин} =$$

9. Схема для исследования обратной ветви ВАХ диодов.

10. Таблица результатов.

$U_{\text{обр}}, \text{В}$	10	20	30
$I_{VD1}, \text{мА}$			
$I_{VD2}, \text{мА}$			

11. Графики начальной части обратной ветви ВАХ диодов $VD1$ и $VD2$.



12. Распределение обратных напряжений при последовательном соединении диодов

$$I_{\text{обр}} = \quad , \quad U_{VD1} = \quad , \quad U_{VD2} = \quad .$$

13. Графическое обоснование результатов измерений при последовательном соединении диодов

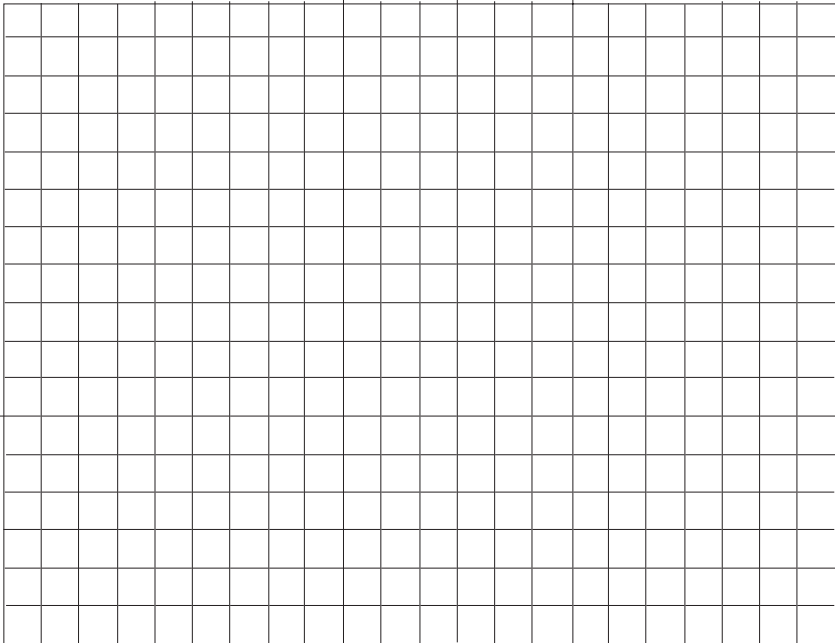
$$I_{\text{обр}} = \quad , \quad U_{VD1} = \quad , \quad U_{VD2} = \quad .$$

14. Схема для исследования ВАХ стабилитрона.

15. Таблица результатов

I_{VD3} , мА	0,5	1	3	5	10	30	20	50
U_{VD3} , В								

16. График ВАХ стабилитрона.



17. Определение основных параметров стабилитрона: напряжение стабилизации $U_{ст}$ и динамического сопротивления R_d .

$$U_{ст} = \quad , \quad R_d = \quad .$$

18. Выводы по работе:

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое собственная и примесная проводимости?
2. Что такое электронная и примесная проводимости?
3. Что такое диффузионный ток?
4. Что такое дрейфовый ток?
5. Какие примеси называются донорными и акцепторными?
6. Что такое электронно-дырочный переход?
7. Как определить величину эквивалентного сопротивления $p - n$ - перехода в режиме прямого тока?
8. Как определить величину эквивалентного сопротивления в режиме обратного тока?
9. Как определяется и от чего зависит пороговое напряжение?
10. Назовите рабочий режим стабилитрона.
11. Покажите рабочий участок на вольт — амперной характеристике стабилитрона.
12. Что такое напряжение стабилизации?
13. Что такое ток стабилизации?

14. Назовите основные параметры кремниевого стабилитрона.
15. От чего зависит номинальное напряжение стабилизации?
16. Что такое динамическое сопротивление и как оно определяется?
17. Покажите возможные схемы включения стабилитрона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попков О.З. Основы преобразовательной техники: Уч. пос. для вузов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2007. — 200 с.
2. Грищенко А.В. Электрические машины и преобразователи подвижного состава. — М.: Издательский центр «Академия», 2005. — 320 с.
3. Бурков А.Т. Электронная техника и преобразователи. — М., Транспорт, 1999. С. 46–60.
4. Зорохович А.Е., Крылов С.С. Основы электроники для локомотивных бригад. — М.: Транспорт, 1992. С. 7–40.
5. Акимова Г.Н. Электронная техника. — М.: Маршрут, 2003. С. 21–38.

Лабораторная работа № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучения принципа действия, устройства, основных параметров и способов их определения, схем включения биполярного транзистора. Снятие входных и выходных характеристик транзистора по схеме с общим эмиттером.

ПРОГРАММА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Изучение и опробование схемы.
2. Снятие входных статических характеристик транзистора.
3. Снятие выходных статических характеристик транзистора.
4. Построение графиков статических характеристик:
 - входных;
 - выходных;
 - передачи;
 - обратной связи.
5. Расчет коэффициентов усиления:
 - по току;
 - по мощности;
 - по напряжению.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Исследование характеристик транзистора

1. Органы управления стенда установить в исходное положение: выключатели «220В», «E1», «E2/ГИ» — выключено; переключатель «E2-ГИ» — в положение «E2», переключатели R1, R2 — в положение «1», регуляторы E1, E2 — «0».

2. Собрать схему рис. 2.1, установить R1 = 600 Ом, включить питание 220 В, источники E1, E2. Сначала проверяется возможность снятия входных характеристик. Для этого постепенно увеличивая подводимое напряжение и наблюдая за показаниями приборов необходимо убедиться в работоспособности схемы.

При увеличении напряжения $U_{эб}$ величина тока базы $I_б$ должна изменяться в пределах, достаточных для снятия входных характеристик транзистора.

Затем проверяют возможность снятия выходных характеристик. Для этого изменяя напряжение $U_{кэ}$, следят за величиной тока коллектора $I_к$, который должен плавно изменяться в пределах, позволяющих снять выходные статические характеристики транзистора.

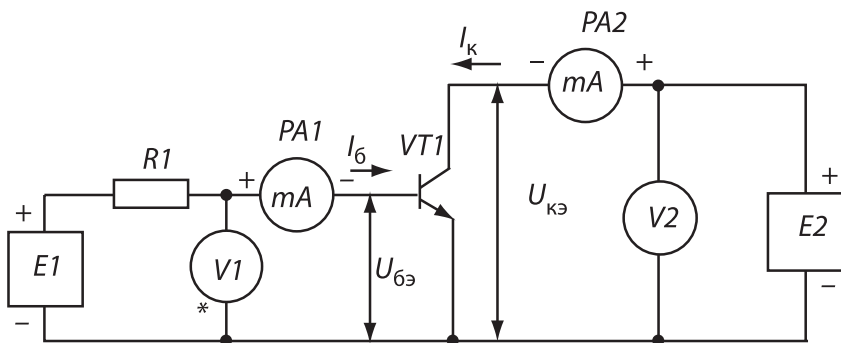


Рис. 2.1

3. Снятие входных статических характеристик транзистора.

Для снятия зависимости $I_б = f(U_{эб})$ необходимо изменять напряжение, подводимое к эмиттерному $p-n$ -переходу. При снятии этой зависимости необходимо следить за тем, чтобы напряжение между эмиттером и коллектором оставалось постоянным. Следует обратить внимание на то, что входные статические характеристики, снятые при различных $U_{кэ} \neq 0$ практически не отличаются друг от друга, дать объяснение этому явлению.

Установить $U_{кэ} = 10$ В, измерить значения $U_{эб}$, $I_к$ при $I_б = 0,5; 1; 2; 3$ мА. Данные наблюдений записываются в заранее заготовленную таблицу.

4. Установить $U_{кэ} = 20$ В и повторить операции п. 3.

5. Построение статических характеристик транзистора.

На основании результатов наблюдений в прямоугольной системе координат строят семейства входных $I_б = f(U_{эб})$ характеристик и характеристик прямой передачи $I_к = f(I_б)$ транзистора.

Характеристики, полученные при $U_{кэ} = 10$ В и 20 В, строятся на одном рисунке.

6. По результатам измерений п.3. рассчитать и построить зависимость коэффициента усиления β от $I_{к}$.

$$\beta = I_{к} / I_{б}.$$

7. Снятие выходных статических характеристик транзистора.

Для снятия зависимости $I_{к} = f(U_{кэ})$ необходимо следить за тем чтобы ток базы оставался постоянным.

Установить $I_{б} = 3$ мА и получить точки выходной характеристики $I_{к}(U_{кэ})$ измеряя значения $I_{к}$ при $U_{кэ} = 1; 3; 5; 10; 15; 20; 25$ В.

8. Установить $I_{б} = 2$ мА и повторить операции п. 7.

9. Установить $I_{б} = 1$ мА и повторить операции п. 7.

10. Построение выходных статических характеристик транзистора.

На основании результатов наблюдений в прямоугольной системе координат строят семейство выходных $I_{к} = f(U_{кэ})$ характеристик транзистора. Путем переноса соответствующих точек со входных и выходных характеристик строят характеристики обратной связи. Выходные характеристики, полученные в п.п. 7–9, построить на одном рисунке.

11. Органы управления стенда установить в исходное положение в соответствии с п. 1.

2. Исследование транзисторного усилителя с общим эмиттером

12. Собрать схему рис. 2.2. Установить $R1 = 600$ Ом, $R2 = 120$ Ом.

13. Сначала проверяется работоспособность собранной схемы. Для этого постепенно увеличивают подводимое напряжение и наблюдают за показаниями приборов. При увеличении напряжения $U_{эб}$ ток базы $I_{б}$ должен изменяться. При увеличении напряжения $U_{эк}$ ток коллектора $I_{к}$ также должен изменяться, сначала резко, а затем — незначительно.

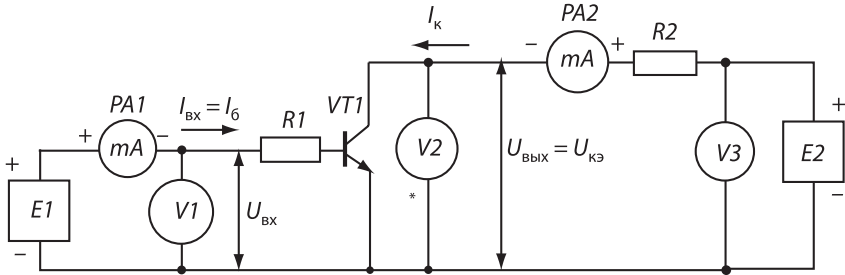


Рис. 2.2

14. Снятие статических характеристик транзисторного усилителя с ОЭ.

Включить $E1$, $E2$, установить напряжение $E2 = 10$ В и получить точки статических характеристик усилителя $U_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{ВХ}})$, $U_{\text{ВЫХ}} = f(I_{\text{ВЫХ}})$, $I_{\text{ВЫХ}} = f(I_{\text{ВХ}})$. При снятии точек характеристик сначала определить значение $U_{\text{ВХ}}$, при достижении которого начинается уменьшение $U_{\text{ВЫХ}}$. Затем определить значение $U_{\text{ВХ}}$, при достижении которого $U_{\text{ВЫХ}}$ становится близким к 0 и в дальнейшем практически не меняется. Полученный диапазон $\Delta U_{\text{ВХ}}$ разделить на четыре равных интервала. На границе каждого интервала измерять $U_{\text{ВЫХ}}$, $I_{\text{ВЫХ}}$, $I_{\text{ВХ}}$. Данные наблюдений записываются в заранее заготовленную таблицу.

Для середины диапазона определить:

- коэффициент усиления по напряжению

$$K_u = \Delta U_{\text{ВЫХ}} / \Delta U_{\text{ВХ}},$$

- коэффициент усиления по току

$$K_I = \Delta I_{\text{ВЫХ}} / \Delta I_{\text{ВХ}},$$

- коэффициент усиления усилителя по мощности

$$K_P = \frac{|\Delta U_{\text{ВЫХ}}| \cdot \Delta I_{\text{ВЫХ}}}{\Delta U_{\text{ВХ}} \cdot \Delta I_{\text{ВХ}}}.$$

15. Установить $E2 = 20$ В, $R1 = 600$ Ом, $R2 = 120$ Ом и повторить операции п. 14.

16. Установить $R2 = 600 \text{ Ом}$, $R1 = 600 \text{ Ом}$, $E2 = 20 \text{ В}$ и повторить операции п. 14.

17. Построение статических характеристик усилителя.

Одноименные характеристики, точки которых получены в п. 14–16, построить на одном рисунке с указанием для каждого параметра $E2$, R , при которых они получены.

18. Для одного из результатов измерений проверить выполнение соотношения

$$U_{\text{вых}} = E2 - I_{\text{к}} \cdot R2.$$

19. Органы управления стенда установить в исходное состояние в соответствии с п.1.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе составляется каждым студентом индивидуально и должен содержать :

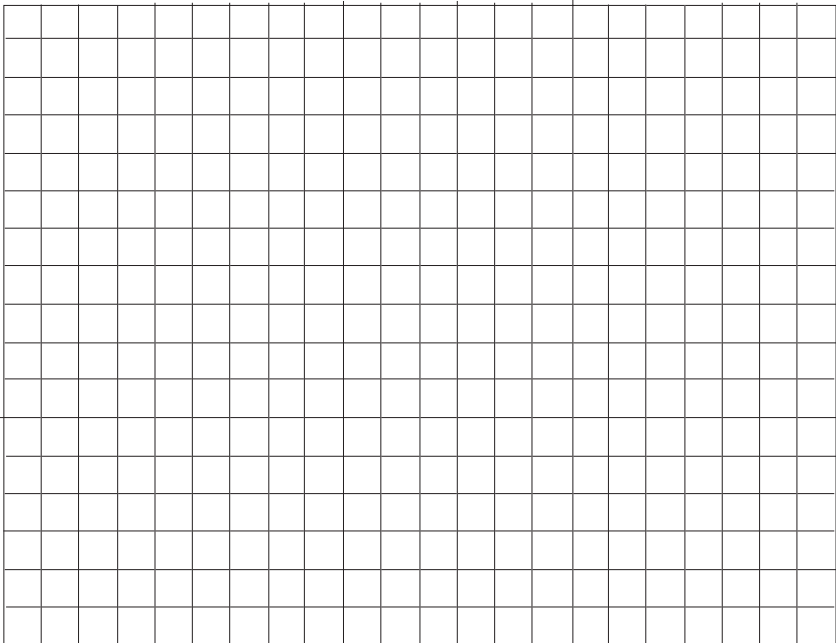
1. Наименование и цель работы.

2. Схема для исследования характеристик биполярного транзистора.

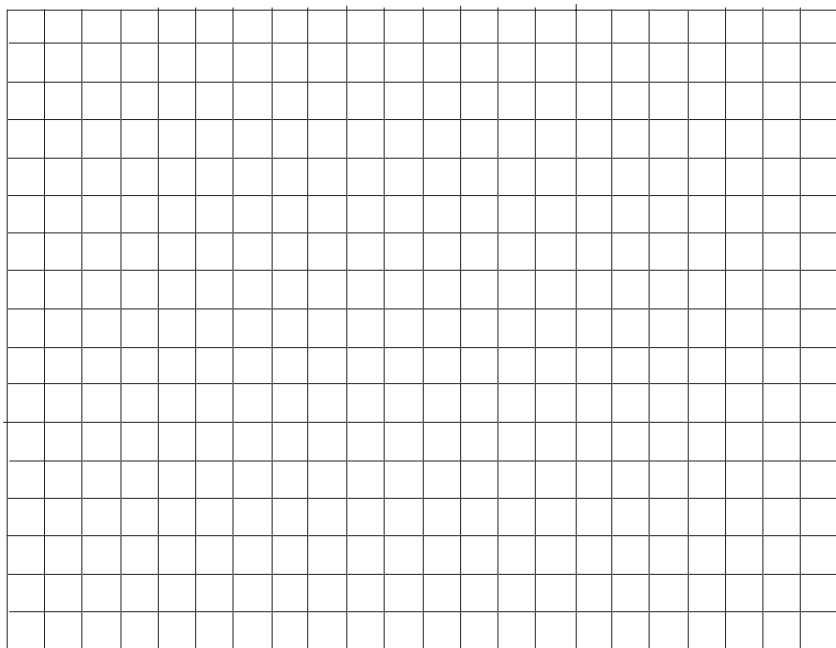
3. Таблица результатов

$U_{кэ}=10\text{ В}$			β	$U_{кэ}=20\text{ В}$		
$U_{бэ},\text{ В}$	$I_{к},\text{ мА}$	$I_{б},\text{ мА}$		$U_{бэ},\text{ В}$	$I_{к},\text{ мА}$	$I_{б},\text{ мА}$

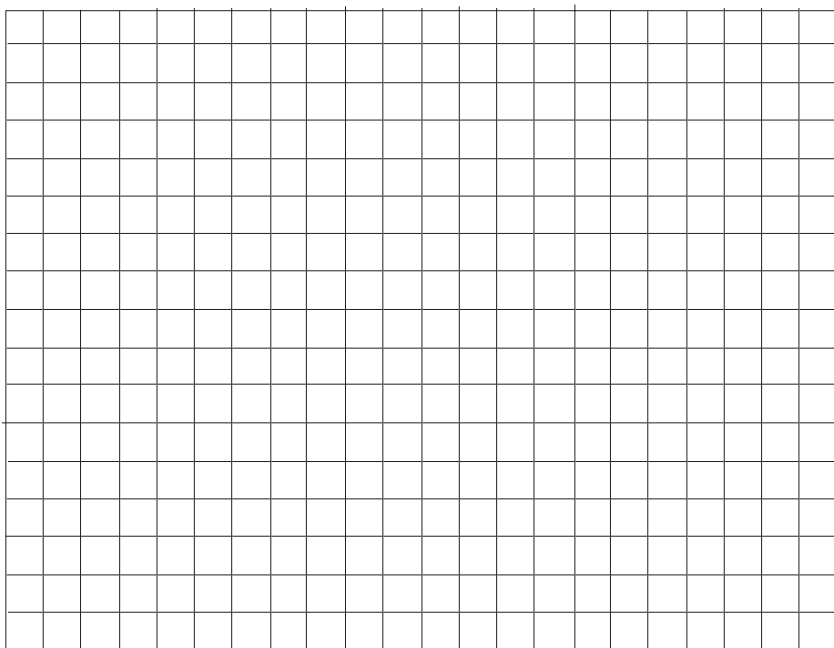
4. График входных характеристик $I_{б} = f(U_{бэ})$.



5. График характеристик прямой передачи.



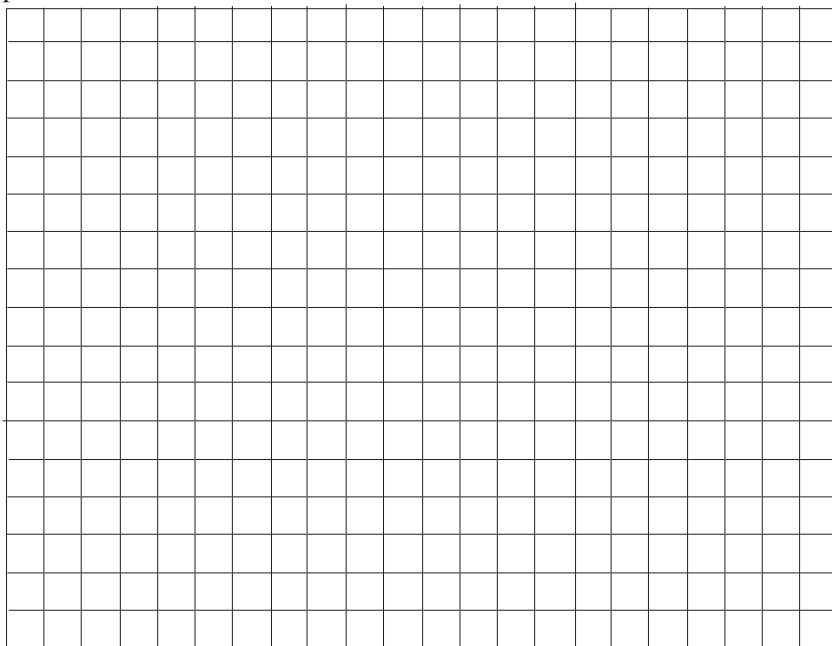
6. График зависимости коэффициента усиления β от I_K



7. Таблица результатов выходных характеристик транзистора.

$I_6 = 3 \text{ мА}$		$I_6 = 2 \text{ мА}$		$I_6 = 1 \text{ мА}$	
$U_{кэ}, \text{ В}$	$I_K, \text{ мА}$	$U_{кэ}, \text{ В}$	$I_K, \text{ мА}$	$U_{кэ}, \text{ В}$	$I_K, \text{ мА}$

8. График выходных характеристик биполярного транзистора.



9. Схема для исследования транзисторного усилителя с ОЭ.

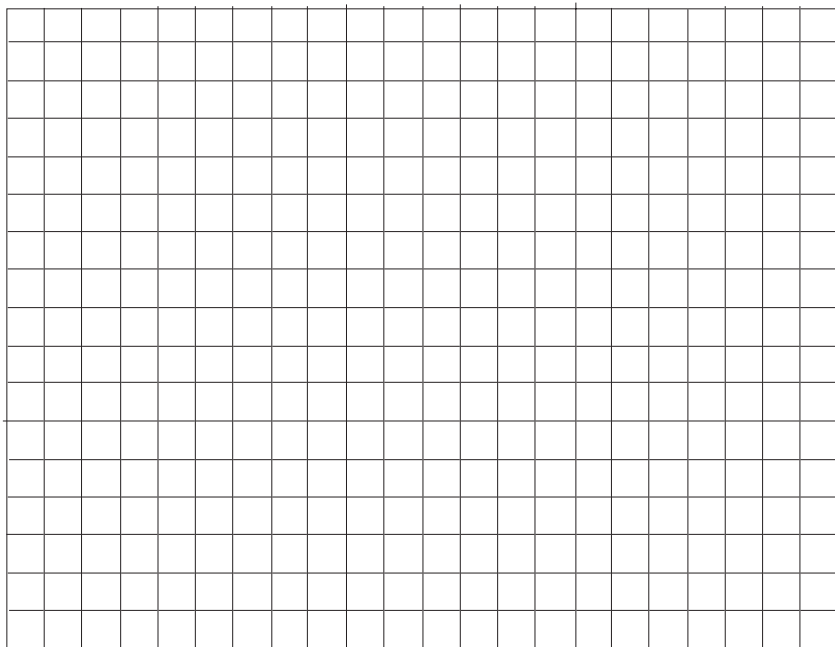
10. Таблица результатов исследования

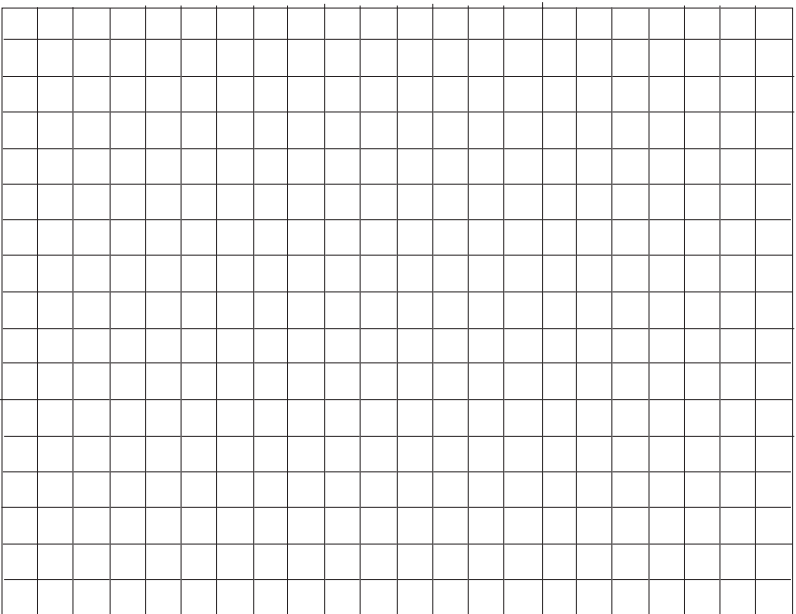
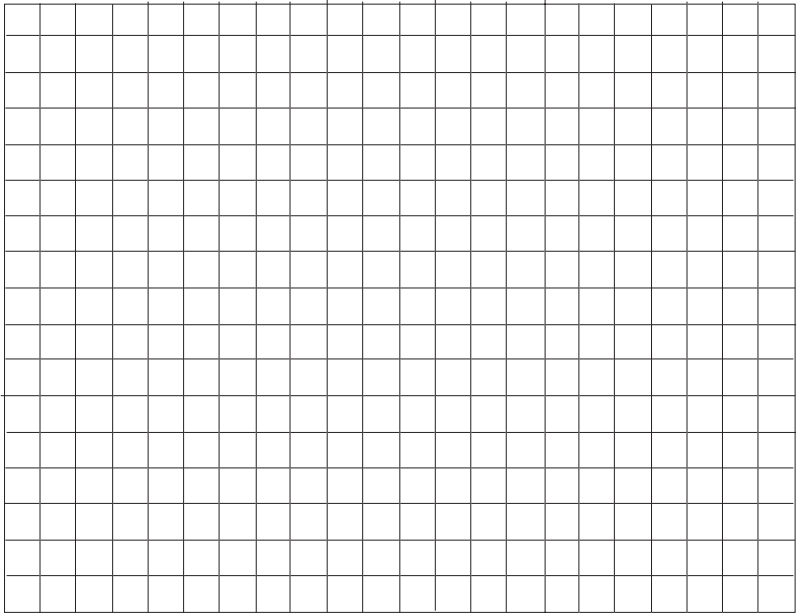
$R1 = 600 \text{ Ом},$ $R2 = 120 \text{ Ом},$ $E2 = 10 \text{ В}$			$R1 = 600 \text{ Ом},$ $R2 = 120 \text{ Ом},$ $E2 = 20 \text{ В}$			$R1 = 600 \text{ Ом},$ $R2 = 600 \text{ Ом},$ $E2 = 20 \text{ В}$		
$U_{\text{ВЫХ}},$ В	$I_{\text{ВЫХ}},$ мА	$I_{\text{ВХ}},$ мА	$U_{\text{ВЫХ}},$ В	$I_{\text{ВЫХ}},$ мА	$I_{\text{ВХ}},$ мА	$U_{\text{ВЫХ}},$ В	$I_{\text{ВЫХ}},$ мА	$I_{\text{ВХ}},$ мА

11. Расчет коэффициентов усиления:

$$K_u = \quad , \quad K_I = \quad , \quad K_P = \quad .$$

12. Графики статических характеристик усилителя с ОЭ.





13. Проверка выполнения соотношения

$$U_{\text{вых}} = E2 - I_{\text{к}} \cdot R2 =$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое транзистор?
2. Назовите области (внутренние) транзистора, из которых он состоит.
3. На какие виды подразделяются транзисторы по технологии их изготовления?
4. Как классифицируются транзисторы?
5. Как маркируются транзисторы?
6. Назовите режимы работы транзисторов и области их применения.
7. Назовите материалы, используемые при изготовлении транзисторов.
8. Объясните принцип работы биполярного транзистора.
9. Для чего ширину базы транзистора делают как можно уже?
10. Назовите основные параметры, характеризующие качество и усилительные свойства транзистора.
11. Перечислите возможные схемы включения транзисторов и области их применения?
12. Почему при изучении схем включения транзисторов используют характеристики статического режима?
13. Какие характеристики используются при сравнении различных схем включения транзисторов?
14. Назовите особенности схемы с общим эмиттером.
15. Область применения схем с общим эмиттером.
16. Что такое модуляция ширины базы и как она влияет на характеристики транзистора?
17. Почему выходные характеристики усилителя с ОЭ в начальной части имеют большую крутизну, чем при больших значениях $U_{\text{ЭК}}$?
18. Дайте определение входной статической характеристики усилителя, собранного по схеме с ОЭ.

19. Дайте определения выходной статической характеристики усилителя, собранного по схеме с ОЭ.

20. Что такое характеристики передачи усилителя, собранного по схеме с ОЭ? Объяснить характер этих зависимостей.

21. Что такое характеристика обратной связи усилителя, собранного по схеме с ОЭ? Что она характеризует?

22. Как влияет температура на статические характеристики транзистора?

23. Покажите полярность подключения питания в схеме с общим эмиттером при использовании транзисторов с различными типами проводимости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попков О.З. Основы преобразовательной техники: Уч. пос. для вузов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2007. — 200 с.

2. Грищенко А.В. Электрические машины и преобразователи подвижного состава. — М.: Издательский центр «Академия», 2005. — 320 с.

3. Бурков А.Т. Электронная техника и преобразователи. — М., Транспорт, 1999. С. 61–85.

4. Зорохович А.Е., Крылов С.С. Основы электроники для локомотивных бригад. — М.: Транспорт, 1992. С. 48–57.

5. Акимова Г.Н. Электронная техника. — М.: Маршрут, 2003. С. 43–54.

Лабораторная работа № 3 ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЕЙ НА ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРАХ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучение принципа действия, устройства полевых транзисторов, основных параметров и способов их определения.

Снятие и исследование статистических характеристик и определение параметров полевого транзистора.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Усилитель на полевом транзисторе с затвором в виде обратно смещенного p-n-перехода и с n-каналом

1. Органы управления стендом установить в исходное положение: выключатели «220 В», «E1», «E2/ГИ» — выключено; переключатель «E2-ГИ» — в положение «E2», переключатели R1, R2 — в положение «1», регуляторы E1, E2 — 0.

2. Изучение и опробование схемы.

Собрать схему рис. 3.1, установить $R1 = 100 \text{ Ом}$, включить выключатели «220 В», «E1», «E2». Плавно увеличивая выходное напряжение от 0 до $6 \div 10 \text{ В}$ и наблюдая за показаниями приборов необходимо убедиться в работоспособности схемы и возможности снятия стоковой характеристики.

При незначительном повышении напряжения ток должен сначала возрастать достаточно резко, а затем стабилизироваться на определенном уровне.

Возможность снятия стоко-затворной характеристики проверяют, подавая на сток напряжение $5 \div 10 \text{ В}$. Поддерживая это напряжение постоянным, изменяют напряжение между затвором и истоком от 0 В до значения напряжения, соответствующего напряжению отсечки и следят, как изменяется ток стока.

3. Снятие стоковых характеристик полевого транзистора $I_c = f(U_{ис})$ при $U_{из} = \text{const}$.

Стоковые характеристики полевого транзистора снимают для 3-х значений напряжения затвора $U_{из}$, отличающихся между собой на 20–30 %. Величины напряжений затвора зави-

сят от типа исследуемого транзистора и лежат в пределах 0–10 В. При подготовке к работе необходимо определить величины напряжений $U'_{из}$, $U''_{из}$, и внести их в таблицу наблюдений.

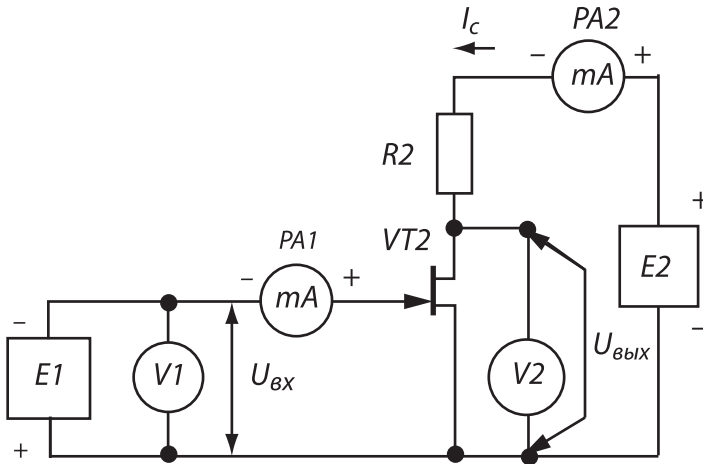


Рис. 3.1

Напряжение стока изменяют в процессе снятия характеристики через 1–2 В. Данные наблюдений заносят в заранее подготовленную таблицу.

4. Снятие стоко-затворных характеристик транзистора $I_c = f(U_{из})$ при $U_{ис} = \text{const}$.

Перед снятием статистических характеристик прямой передачи заготавливают таблицу наблюдений. Стоко-затворную характеристику снимают для 3-х значений напряжений стока (устанавливают напряжение $E2 = 10 \text{ В}$, 15 В и 20 В). При снятии характеристики прямой передачи необходимо предварительно закрыть полевой транзистор путем подачи относительно большего напряжения на затвор (превышающего напряжение отсечки). Затем подать на сток необходимое напряжение $U_{ис}$ и вести измерения тока стока I_c , постепенно снижая величину $U_{из}$. Данные наблюдений заносят в заранее подготовленную таблицу.

При снятии характеристик не допускать превышения $U_{из}$, I_c , $U_{ис}$, допустимых значений, при этом следует руководствоваться паспортными данными транзистора.

5. Построение стоковых и стоко-затворных характеристик.

В прямоугольной системе координат строят семейство стоковых и стоко-затворных характеристик.

6. Определение параметров полевого транзистора по стоковым характеристикам.

На выходной характеристике для напряжения затвора $U_{из} = 0$ (рис. 3.2) определяют значения напряжения насыщения и тока насыщения.

Статистические параметры определяют методом трех отсчетов (методом характеристического треугольника). Для определения выходного дифференциального сопротивления на одной из стоковых характеристик строят характеристический треугольник, из которого находят

$$r_{\text{вых}} = \frac{\Delta U_{\text{ис}}}{\Delta I_c}, \text{ Ом} \quad \text{при} \quad U_{\text{из}} = \text{const.}$$

Порядок определения статистического коэффициента усиления по напряжению показан на рис. 3.2.

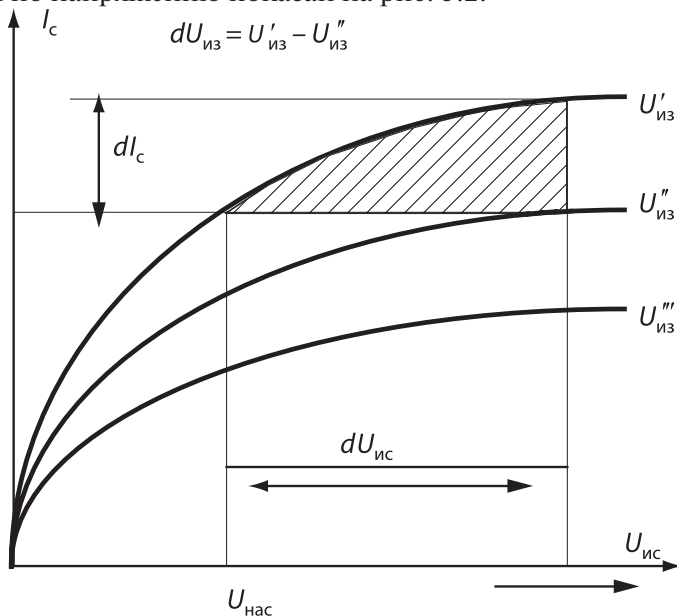


Рис. 3.2. Выходные характеристики полевого транзистора

$$\mu = \frac{|\Delta U_{ис}|}{|\Delta U_{из}|}, \text{ при } I_c = \text{const.}$$

В работе необходимо найти значения μ для различных значений тока I_c . Данные расчетов заносятся в заранее подготовленную таблицу и строят график $\mu = f(I_c)$.

7. Определение параметров полевого транзистора по сток-затворным характеристикам.

По характеристикам прямой передачи (рис. 3.3) определяют значения напряжений отсечки U_c . Данные расчетов заносят в заранее подготовленную таблицу, по результатам которой строится график $U_o = f(U_{ис})$.

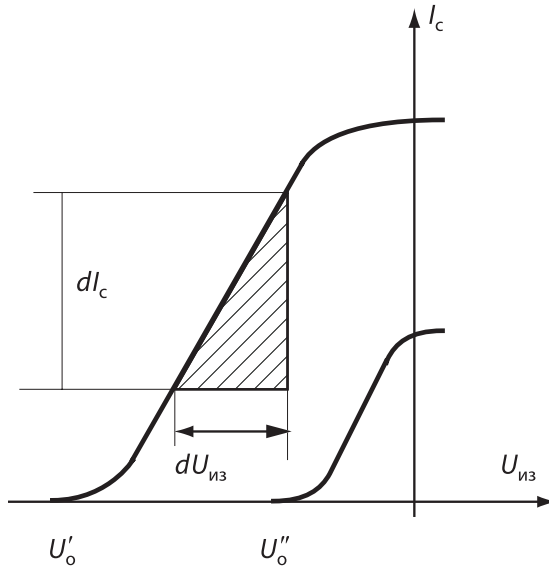


Рис. 3.3. Характеристики прямой передачи полевого транзистора

Для определения крутизны характеристики строят характеристический треугольник (рис. 3.8), из которого находят

$$S = \frac{|\Delta I_c|}{|\Delta U_{из}|}, \frac{\text{мА}}{\text{В}}, \text{ при } U_{ис} = \text{const.}$$

8. Сопоставление полученных результатов.

Сопоставить полученные экспериментальным путем значения с паспортными. Сделать выводы о функциональных возможностях полевых транзисторов и их применении в электронных схемах.

2. Усилитель на полевом транзисторе с изолированным затвором и n-каналом

9. Собрать схему рис. 3.9, установить $R1 = 100$ Ом и повторить операции п.п. 3–5, устанавливая $E2 = 20$ В и 25 В.

10. Органы управления установить в исходное положение в соответствии с п. 1.

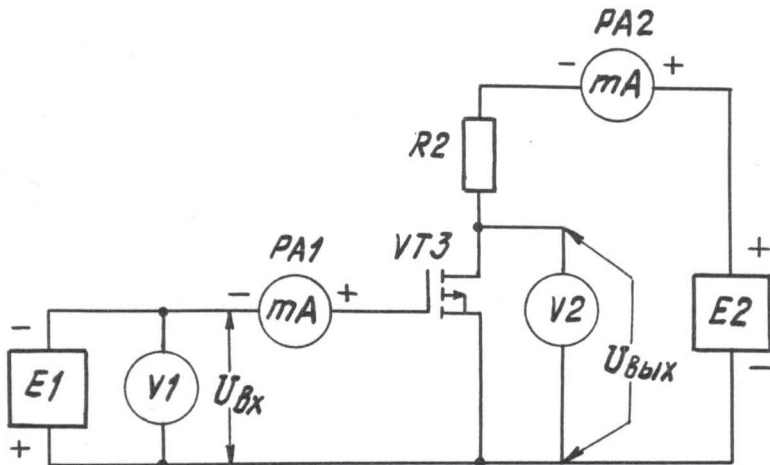


Рис. 3.4

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе составляется каждым студентом индивидуально и должен содержать:

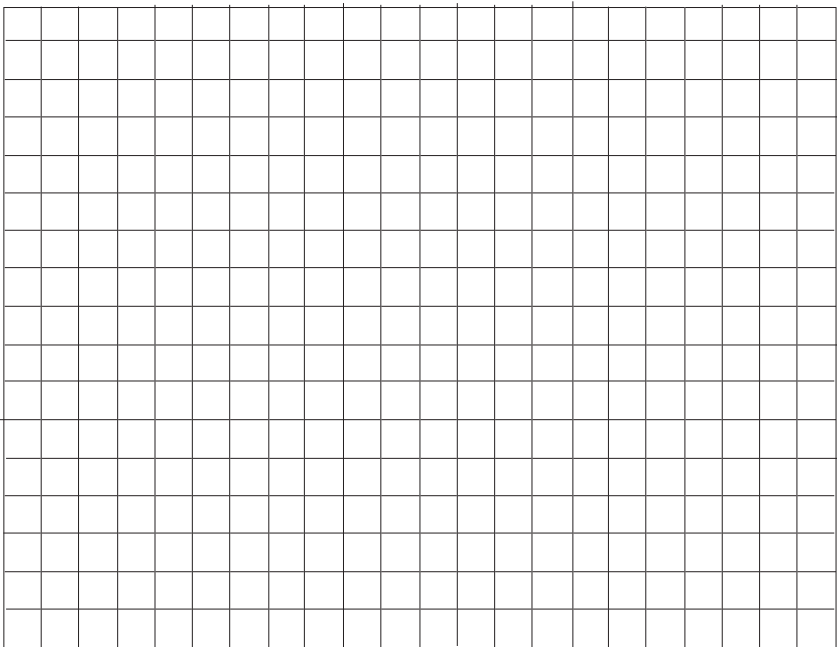
1. Точное наименование и цель работы.

2. Схему усилителя на полевом транзисторе с затвором в виде обратного смещенного $p-n$ -перехода и с n -каналом.

3. Таблицы наблюдений для построения стоковых характеристик.

$U_{из} = 0 \text{ В}$		$U_{из} = \text{ В}$		$U_{из} = \text{ В}$	
$U_{ис}, \text{ В}$	$I_c, \text{ мА}$	$U_{ис}, \text{ В}$	$I_c, \text{ мА}$	$U_{ис}, \text{ В}$	$I_c, \text{ мА}$

4. Выходные статические характеристики полевого транзистора.



5. Таблицы наблюдений для построения стоко-затворных характеристик.

$U_{ис} =$ В		$U_{ис} =$ В		$U_{ис} =$ В	
$U_{из},$ В	$I_c,$ мА	$U_{из},$ В	$I_c,$ мА	$U_{из},$ В	$I_c,$ мА

6. Статические характеристики прямой передачи полевого транзистора.

7. Примеры расчетов основных параметров полевого транзистора. Необходимые для расчетов данные показать на графиках.

$$I_{\text{нас}} = \quad , \quad U_{\text{нас}} = \quad .$$

$$r_{\text{вых}} = \quad , \quad \mu = \quad .$$

$$U_0 = \quad , \quad S = \quad .$$

8. Таблица данных расчета статистического коэффициента усиления по напряжению.

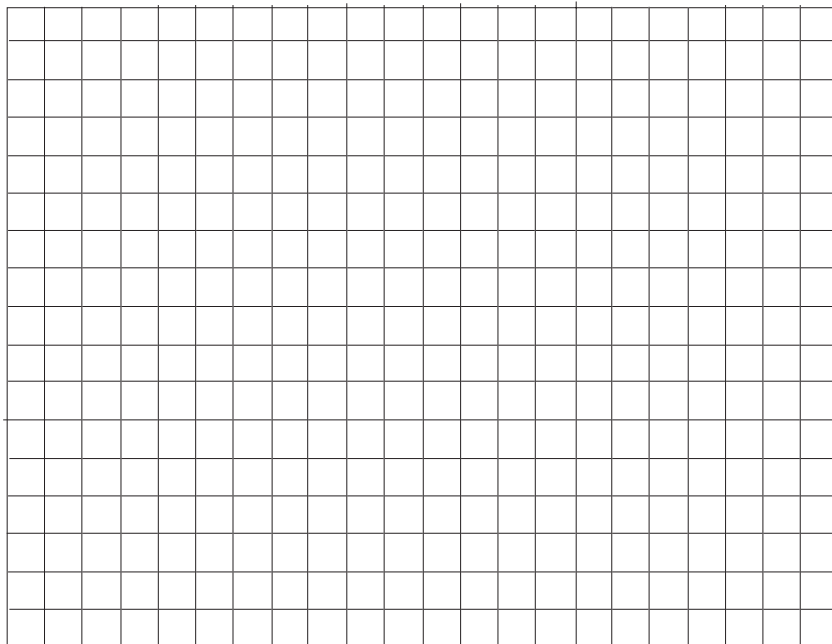
I_c	мА					
μ	—					

9. Таблица напряжений отсечки полевого транзистора.

U_o	В			
$U_{\text{ис}}$	В			

10. Зависимости коэффициента усиления μ от регулируемого параметра.

11. Зависимости напряжения отсечки U_0 от регулируемого параметра.



12. Схему усилителя на полевом транзисторе с изолированным затвором и n -каналом.

13. Таблицы наблюдений для построения стоковых характеристик.

$U_{из} = 0 \text{ В}$		$U_{из} = \text{ В}$		$U_{из} = \text{ В}$	
$U_{ис}, \text{ В}$	$I_{с}, \text{ мА}$	$U_{ис}, \text{ В}$	$I_{с}, \text{ мА}$	$U_{ис}, \text{ В}$	$I_{с}, \text{ мА}$

14. Выходные статические характеристики полевого транзистора.

The grid is composed of 16 columns and 16 rows, providing a space for drawing the static characteristics of the transistor.

15. Таблицы наблюдений для построения стоко-затворных характеристик.

$U_{ис} = \text{В}$		$U_{ис} = \text{В}$		$U_{ис} = \text{В}$	
$U_{из}, \text{В}$	$I_c, \text{мА}$	$U_{из}, \text{В}$	$I_c, \text{мА}$	$U_{из}, \text{В}$	$I_c, \text{мА}$

16. Статические характеристики прямой передачи полевого транзистора.

17. Выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем отличие между биполярными и полевыми транзисторами?
2. Как осуществляется управление током в полевых транзисторах?
3. Как называется рабочая область полевого транзистора?
4. Назовите типы полевых транзисторов.
5. Какой принцип используется в полевых транзисторах с управляющим $p-n$ -переходом?
6. Назовите электроды полевого транзистора.
7. Приведите примеры условных обозначений полевых транзисторов.
8. Покажите полярность подключения питания к полевым транзисторам различных типов с различными типами проводимости канала.
9. Что такое выходная характеристика полевого транзистора?
10. Дайте определение проходной характеристики полевого транзистора?
11. Назовите основные параметры полевого транзистора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попков О.З. Основы преобразовательной техники: Уч. пос. для вузов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2007. — 200 с.

2. Грищенко А. В. Электрические машины и преобразователи подвижного состава. — М.: Издательский центр «Академия», 2005. — 320 с.
3. Бурков А. Т. Электронная техника и преобразователи. — М., Транспорт, 1999. С. 75–81.
4. Зорохович А. Е., Крылов С. С. Основы электроники для локомотивных бригад. — М.: Транспорт, 1992. С. 58–60.
5. Акимова Г. Н. Электронная техника. — М.: Маршрут, 2003. С. 55–65.

Лабораторная работа №4

ИССЛЕДОВАНИЕ ТИРИСТОРА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучение принципа действия и свойств тиристора, особенностей его работы и характеристик. Определение основных параметров тиристоров и их применения для разработки устройств преобразовательской техники.

ПРОГРАММА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Изучение и опробование схемы.
2. Снятие вольт-амперной характеристики неуправляемого переключающего тиристора (динистора) $I = f(U)$ при $I_{упр} = 0$.
3. Снятие вольт-амперной характеристики управляемого переключающего тиристора (тристора) $I = f(U)$ для разных значений тока управляющего электрода $I_{упр}$.
4. Построение вольт-амперных характеристик тиристора.
5. Используя семейство полученных характеристик $I = f(U)$, построить характеристику управления $U_{вкл} = f(I_{упр})$.
6. Определение основных параметров тиристоров по вольт-амперным характеристикам.
7. Используя семейство вольт-амперных характеристик рассчитать входное сопротивление $R_{вх}$ тиристора для различных значений регулируемых параметров.
8. Построить зависимости входного сопротивления тиристора от регулируемых параметров.
9. Определения влияния скорости нарастания прямого напряжения на величину напряжения включения.
10. Определение коэффициента запираения тиристора.
11. Сопоставление полученных результатов.

Порядок выполнения работы

1. По предлагаемым источникам изучить принцип действия полупроводникового тиристора (диодного и триодного). На структурной модели тиристора пояснить принцип проводимости и усиления электрических сигналов.

2. Органы управления стенда установить в исходное положение:

- выключатели «220 В», «E1», «E2/ГИ» — «Выключено»;
- переключатель «E2-ГИ» — в положение «E2»;
- переключатель «Открытие — Закрытие» — в положение «Открытие»;
- переключатели $R1$, $R2$ — в положение «1», регуляторы $E1$, $E2$ — «0»;

3. Изучение и опробывание схемы.

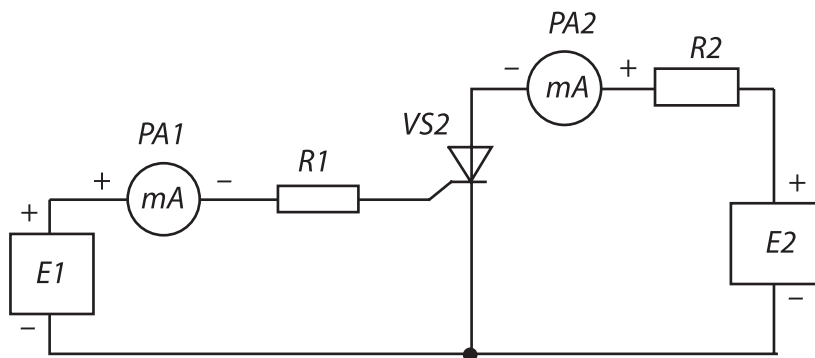


Рис. 4.1

Собрать схему рис. 4.1. Установить $R1 = 600$ Ом, $R2 = 120$ Ом. Плавно изменяя напряжение $E2$ на тиристоре убеждаются в зависимости прямого тока тиристора от прямого напряжения. Повышать напряжение следует до тех пор, пока ток миллиамперметра $PA1$ не изменится скачком.

4. Снятие вольт-амперных характеристик тиристора при $I_{упр} = 0$.

4.1. Процесс снятия характеристики состоит из двух этапов; вначале снимают ветвь характеристики $I_{обр} = f(U_{обр})$ при обратном включении диода, а затем $I_{пр} = f(U_{пр})$ при прямом включении. В обоих случаях источник $E1$ должен быть отключен, поддерживая тем самым $I_{упр} = 0$.

4.2. При снятии ветви характеристики, соответствующей обратному включению диода, полярность источника $E2$

меняют на обратную, показанную на рис. 4.1, а его напряжение изменяют через интервал 5–10 В (в зависимости от типа исследуемого диода). Величину обратного тока фиксируют микроамперметром PAI , а напряжение на диоде вольтметром V^* . Результаты измерений записываются в заранее подготовленную таблицу.

- 4.3. Для снятия ветви характеристики, соответствующей прямому включению диода, полярность источника $E2$ устанавливают как показано на рис. 4.1 и далее изменяя напряжение источника $E2$ с интервалом 3–5 В, фиксируют значения тока микроамперметром PAI , а напряжение на диоде – вольтметром V^* .
- 4.4. Приблизившись к точке включения (о чем свидетельствуют увеличение скорости возрастания тока), изменяя напряжение источника $E2$ через 1–2 В, снимают прямую ветвь характеристики в области перегиба падающего участка. Повышать напряжение до тех пор, пока ток миллиамперметра PAI не изменится скачком, что свидетельствует об открытии тиристора. Показания приборов записывают в заранее подготовленную таблицу.
- 4.5. Определить напряжение V_{π} переключения тиристора.
- 4.6. Для определения тока выключения тиристора плавно снижают напряжение источника $E2$ до тех пор, пока ток миллиамперметра PAI не изменится скачком, что свидетельствует о закрытии тиристора.
- 4.7. На основании результатов измерений в прямоугольной системе координат строят ВАХ динистора $I = f(U)$ при $I_{упр} = 0$. Масштабы прямого и обратного токов по осям ординат должны быть различны.
5. Снятие вольт-амперных характеристик управляемого переключающего тиристора (тринистора).
- 5.1. Устанавливают ток управления электрода в соответствии с допустимыми значениями для исследуемого типа диода и плавным изменением напряжения $E1$ убеждаются в зависимости тока управляющего электрода $I_{упр}$ от напряжения включения $U_{вкл}$ (по сравнению с предыдущим экс-

периментом, когда $I_{\text{упр}} = 0$, при $I_{\text{упр}} > 0$ напряжение включения должно уменьшаться).

5.2. Далее устанавливают одно из трех значений токов управляющего электрода $I_{\text{упр}}$ и изменяя напряжение $E2$, фиксируют момент включения тиристора.

5.3. Снизить напряжение $E2$ до нуля. Включить источник $E1$ и установить ток $I_{\text{упр}} = 2$ мА. Повышая напряжение $E2$, определить напряжение переключения тиристора при $I_{\text{упр}} = 2$ мА. Результаты измерений записывают в заранее подготовленную таблицу.

5.4. Повторить операции при $I_y = 3$ мА и при $I_y = 4$ мА. После окончания измерений установить регуляторы источников $E1$ и $E2$ на ноль и выключить источники. Используя данные опытов в прямоугольной системе координат строят зависимость $U_{\text{вкл}} = f(I_{\text{упр}})$ — пусковую характеристику или характеристику управления.

6. Расчет входного сопротивления тиристора.

6.1. Пользуясь вольт-амперными характеристиками тиристора можно определить входное сопротивление. Для этого можно воспользоваться методом характеристического треугольника. Суть этого метода рассматривалась в предыдущих работах, поэтому в данных методических указаниях этот метод не описывается. Данные расчета записывают в заранее подготовленную таблицу. Параметр, характеризующий режим работы тиристора, определяется студентом самостоятельно и записывается в табл.

6.2. По результатам расчетов в прямоугольной системе координат строят характеристику входного сопротивления.

7. Изучение влияния скорости нарастания напряжения на тиристоре на величину напряжения переключения (включения).

7.1. Перевести переключатель « $E2$ -ГИ» в положение «ГИ» (генератор прямоугольных импульсов), включить $E2$ и, постепенно повышая его напряжение, определить величину $V_{\text{вкл}}$ при скачкообразном приложении напряжения к тиристору. Определите относительное умень-

шение напряжения переключения по сравнению с результатом измерения по п.5.

7.2. Снизить напряжение $E2$ до 0, подключить параллельно тиристоры RC цепь, определить $V_{\text{вкл}}$ и сравнить его с результатом измерения по п. 5 и объяснить результат сравнения. Снизить напряжение $E2$ до 0, выключить $E2$, переключатель « $E2$ -ГИ» установить в положение « $E2$ ».

8. Определение коэффициента запираания тиристора.

8.1. Собрать схему рис. 4.2, установить $R1 = 100 \text{ Ом}$, $R2 = 120 \text{ Ом}$, включить $E1, E2$.

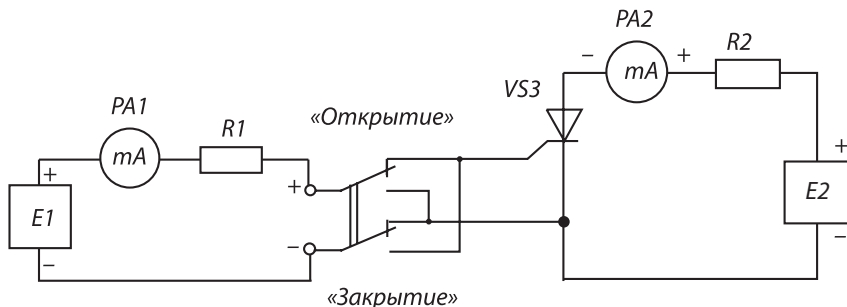


Рис. 4.2

8.2. Установить напряжение $E2 = 25 \text{ В}$ и, повышая напряжение $E1$, определить ток управляющего электрода $I_{\text{у вкл}}$, при котором запираемый тиристор $VS3$ включается. Измерить по миллиамперметру $PA1$ анодный ток тиристора IA . Снизить напряжение $E1$ до нуля, установить переключатель в положение «Закрытие» и, повышая напряжение $E1$, определить ток управляющего электрода $I_{\text{у выкл}}$, при котором тиристор отключается. Значение $I_{\text{у выкл}}$ фиксировать в момент скачкообразного уменьшения показаний $PA2$.

8.3. Рассчитать коэффициент запираания $k_3 = IA/I_{\text{у выкл}}$.

9. Повторить операции п. 8, устанавливая напряжение $E2 = 20$ и 15 В .

10. Исследование работы симистора.

10.1. Собрать схему рис. 4.3. Установить $R1 = 100 \text{ Ом}$, $R2 = 120 \text{ Ом}$, напряжение $E2 = 25 \text{ В}$. Поднимая напряжение $E1$, определить ток I_{y1} управляющего электрода, при котором включается симистор.

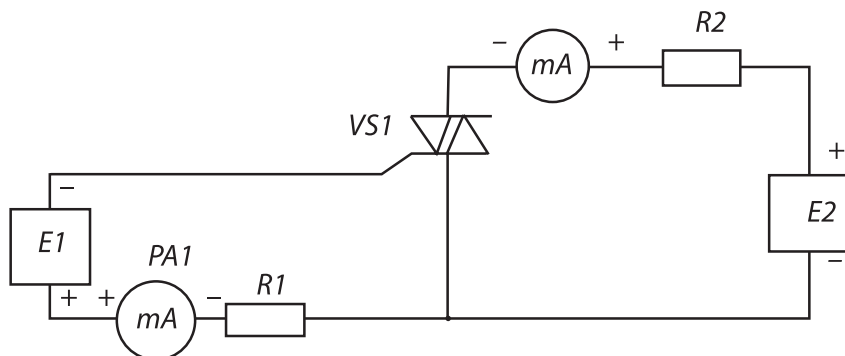


Рис. 4.3

10.2. Уменьшить напряжение $E2$, $E1$ до 0. Поменяв места провода, подходящие к аноду и катоду симистора от источника $E2$. Обратить внимание на то, что питание цепей управления должно остаться без изменения. Определить ток управления I_{y2} в момент включения симистора при обратной полярности анодного напряжения.

11. Органы управления стенда установить в исходное положение в соответствии с п.1.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе составляется каждым студентом индивидуально и должен содержать :

1. Наименование и цель работы.

2. Схема для получения точек вольт-амперной характеристики тиристора.

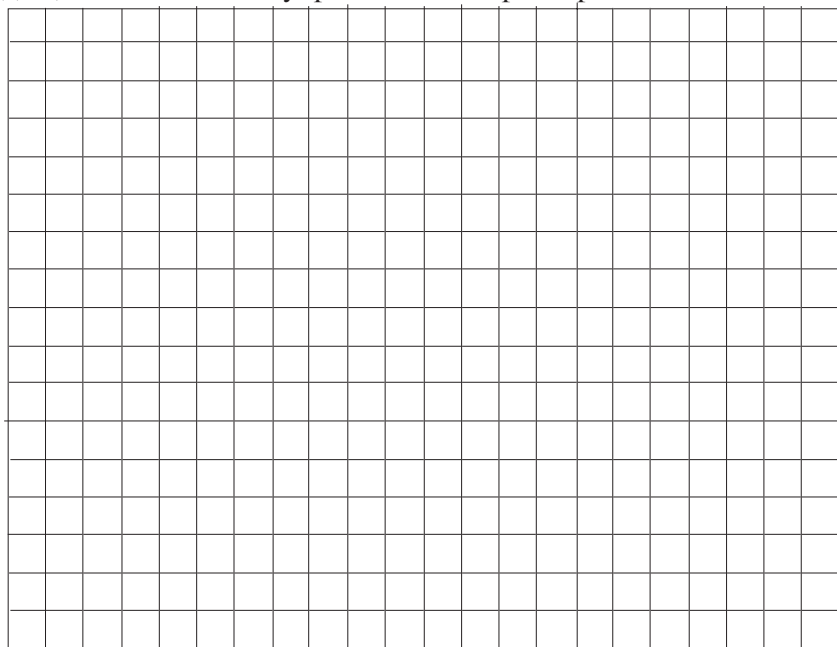
3. Таблица результатов (для обратной ветви ВАХ неуправляемого тиристора).

U_{VD} , В	5	10						
I_{VD} , мА								

4. Таблица результатов (для прямой ветви ВАХ неуправляемого тиристора).

U_{VD} , В	3	6						
I_{VD} , мА								

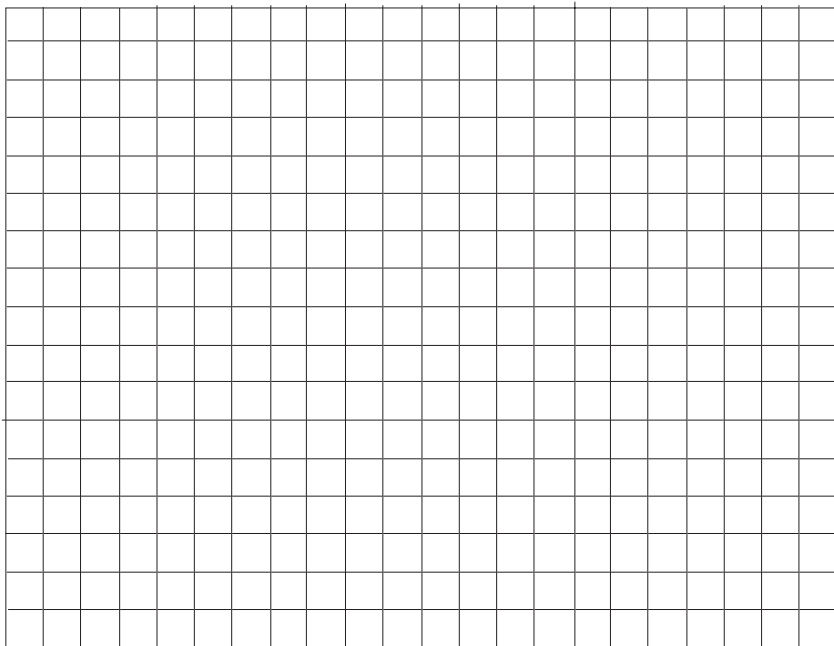
5. Графики ВАХ закрытого, открытого и обратного непроводящего состояний неуправляемого тиристора.



6. Таблица результатов характеристики управления тиристора

$I_{упр}$, мА	0	2	3	4
$U_{вкл}$, В				

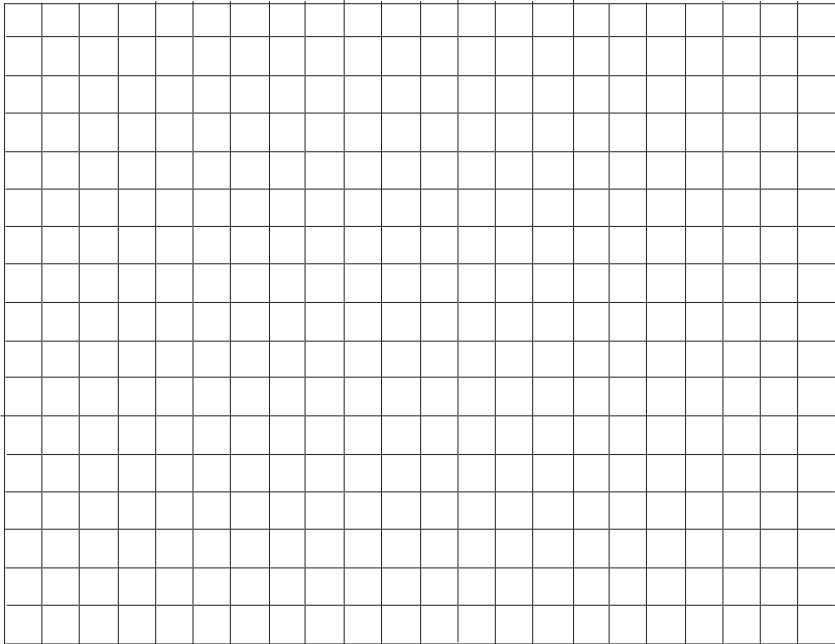
7. График характеристики управления тиристора.



8. Таблица результатов расчета входного сопротивления тиристора

$R_{вх}$	Ом	

9. График характеристики входного сопротивления тиристора.



10. По графикам ВАХ определить основные параметры тиристора:

$$U_{\text{вкл}} = \quad , \quad I_{\text{вкл}} = \quad , \quad I_{\text{выкл}} = \quad .$$

11. Изучение влияния скорости нарастания напряжения на тиристоре на величину напряжения переключения (включения). Результаты наблюдений:

$$U_{\text{вкл(ГПН)}} = \quad , \quad U_{\text{вкл(ГПН-RC)}} = \quad .$$

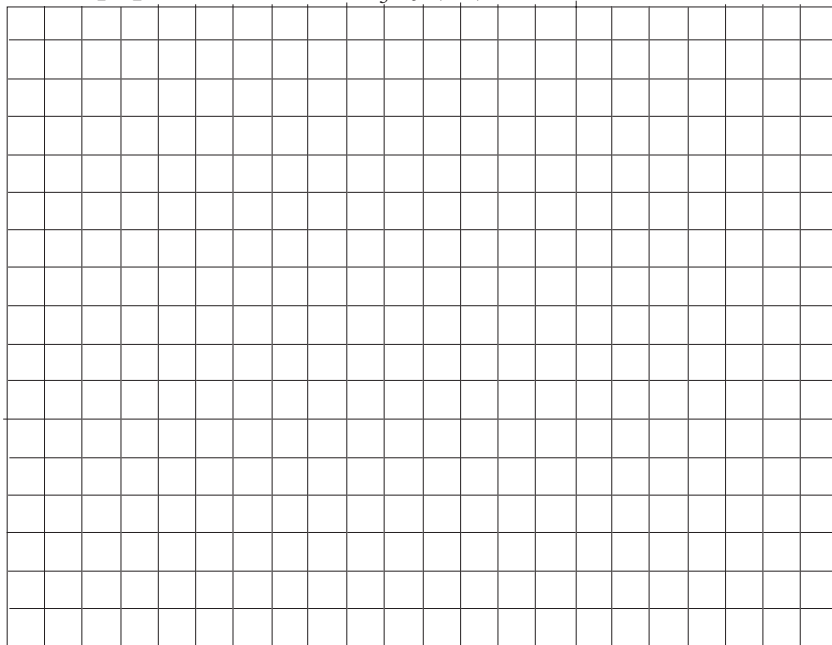
12. Объяснение полученных результатов:

13. Схема для определение коэффициента запирания тиристора.

14. Таблица результатов

$E2$	B	25	20	15
IA	мА			
$I_{у\text{ выкл}}$	мА			
$\kappa_3 = IA/I_{у\text{ выкл}}$				

15. График зависимости $\kappa_3 = f(E2)$.



16. Схема для исследования работы симистора.

17. Результаты наблюдений:

$$I_{y1} = \quad , \quad I_{y1} = \quad .$$

18. Выводы по работе:

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие переходы в четырехслойной структуре тиристора являются эмиттерными, а какие коллекторными?
2. Объясните принцип работы тиристора (диодного и триодного).
3. Чем отличается вольт-амперная характеристика диода от вольт-амперной характеристики тиристора и почему?
4. Объясните форму вольт-амперной характеристики тиристора и влияние на нее тока управляющего электрода.
5. В чем состоит принципиальное отличие характеристик тиристора и транзистора? Почему тиристор нельзя использовать для усиления электрических сигналов?
6. Почему для изготовления тириستоров используется кремний, а не германий?
7. Назовите основные параметры тириستоров.
8. Поясните физический смысл параметров тиристора: напряжение включения, ток выключения, ток спрямления. Чем определяется разброс, случайный характер этих параметров?
9. Чем ограничены значения тока и напряжения на управляющем электроде тиристора?
10. Какие параметры в большей мере влияют на отпирающий ток и отпирающее напряжение управляющего электрода тиристора?

11. Почему тиристор может оставаться во включенном состоянии при отключении управляющей цепи?
12. В чем причина нестабильности и разброса параметров тиристора?
13. Укажите способы перевода тиристора из открытого состояния в закрытое.
14. Укажите области применения тиристорov. В каких электронных устройствах применяется тиристор?
15. Что такое время включения и выключения тиристора и от чего оно зависит?
16. Объясните влияние скорости нарастания на напряжение переключения тиристора?

ЛИТЕРАТУРА

1. Попков О.З. Основы преобразовательной техники: Уч. пос. для вузов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2007. — 200 с.
2. Грищенко А.В. Электрические машины и преобразователи подвижного состава. — М.: Издательский центр «Академия», 2005. — 320 с.
3. Бурков А.Т. Электронная техника и преобразователи. — М.: Транспорт, 1999. С. 86–110.
4. Зорохович А.Е., Крылов С.С. Основы электроники для локомотивных бригад. — М.: Транспорт, 1992. С. 61–77.
5. Акимова Г.Н. Электронная техника. — М.: Маршрут, 2003. С. 69–75.

Лабораторная работа №5 ИССЛЕДОВАНИЕ НЕУПРАВЛЯЕМЫХ ОДНОФАЗНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучение схем выпрямления переменного тока.

ПРОГРАММА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Изучение и опробование схем выпрямления.
2. Снятие данных и осциллограмм.
3. Построение характеристик выпрямителей:
 - внешних,
 - зависимости коэффициента пульсаций,
 - угла коммутации от различных параметров.
4. Определение основных параметров выпрямителей по осциллограммам.
5. Проверка основных расчетных соотношений для исследуемых выпрямителей.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Работа мостового выпрямителя на активную нагрузку **[1, с. 24–29]**

1. Органы управления стенда установить в исходное положение: $L_{тр}$, L , $R1$, $R2$, C — «1», E — «0», переключатель миллиамперметра — «=», $L_{тр}$ — 0.

2. Собрать схему рис. 5.1

Измерительные шунты *ШИ2* и *ШИ3* служат для снятия осциллограмм тока диода $VD1$ и $VD2$ и тока вторичной обмотки трансформатора i_2 . Перемычка $n1$, закорачивающая дросель $L1$, обеспечивает активный характер нагрузки выпрямителя. Включить питание стенда.

3. Снять осциллограмму напряжения U_2 на вторичной обмотке трансформатора, измерить и поставить на осциллограмме амплитудное значение напряжения U_{2m} и длительность периода.

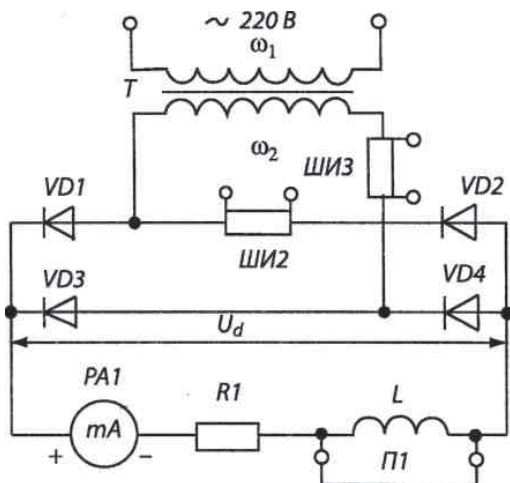


Рис. 5.1. Мостовой неуправляемый выпрямитель

4. Снять осциллограмму выпрямленного напряжения U_d , измерить и проставить на осциллограмме амплитудное значение U_{dm} .

5. Снять осциллограмму тока вторичной обмотки трансформатора i_2 .

6. Снять осциллограмму тока диода $VD2$.

7. Снять осциллограмму напряжения U_{VD} на диоде $VD2$. Измерить и построить на осциллограмме максимальное обратное напряжение на диоде U_{Vdm} . Все перечисленные в п.п.3–7 осциллограммы показать на одном рисунке, согласовав их между собой. *Прямые токи и напряжения на осциллограммах показываются положительными, обратные — отрицательными.*

8. Измерить действующее значение напряжения на вторичной обмотке U_2 и среднее значение выпрямленного напряжения U_d . Проверить выполнение соотношений

$$U_2 = \frac{U_{2m}}{\sqrt{2}}, \quad U_H = 0,9U.$$

Объяснить, за счет каких потерь напряжения имеются отклонения от последнего соотношения и вычислить эти потери.

9. Изменяя сопротивление нагрузки $R2$, снять точки внешней характеристики выпрямителя, представляющий из себя $U_d(I_d)$.

2. Работа мостового выпрямителя на активно-индуктивную нагрузку

10. Снять переключку n_1 и установить $R2 = 100$ Ом. Изменяя индуктивность L получить точки зависимости коэффициента пульсаций K_n от индуктивности дроселя

11. Установить $R2 = 30$ Ом, $L = 250$ мГн. Изменяя индуктивность трансформатора $L_{тр}$ снять точки зависимости угла для коммутации $\gamma(L_{тр})$.

12. Изменяя $R2$ снять точки зависимости $\gamma(I_d)$ и $U_d(I_d)$ при $L_{тр} = 16$ мГн и $L = 250$ мГн.

13. Установить $R2 = 30$ Ом и снимать осциллограммы $i_2(t)$, $i_{VD2}(t)$.

14. Снять осциллограмму $U_2(t)$, согласовав U с осциллограммой $i_2(t)$.

3. Однополупериодный выпрямитель

15. Собрать схему рис. 5.2.

16. Снять осциллограмму выпрямленного напряжения U_d .

17. Измерить действующее напряжение на вторичной обмотке U_2 .

18. Измерить среднее значение выпрямленного напряжения U_d .

19. Проверить выполнение соотношения и рассчитать падение напряжения на диоде $VD1$.

$$U_a = \frac{\pi}{\sqrt{2}} U .$$

20. Установить $R1 = 30$ Ом и снять осциллограммы токов через диоды $VD1$, $VD2$, соответственно $-i_{VD1}$, i_{VD2} .

21. Снять переключку и повторить опыты п.20.

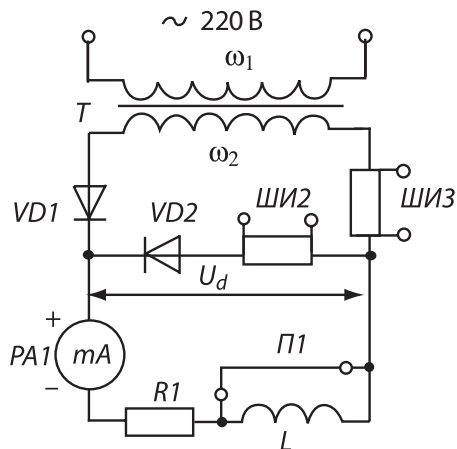


Рис. 5.2

4. Двуполупериодный выпрямитель со средней точкой трансформатора

22. Собрать схему рис. 5.3.

23. Снять осциллограммы выпрямленного напряжения U_d и токов диодов $VD1$ и $VD2$, соответственно — i_{VD1} , i_{VD2} .

24. Измерить максимальные значения обратного напряжения на диоде $VD1$ — $U_{VD1\max}$, амплитудное значение напряжения на обмотке U_2 — $U_{2\max}$ и сравнить эти величины.

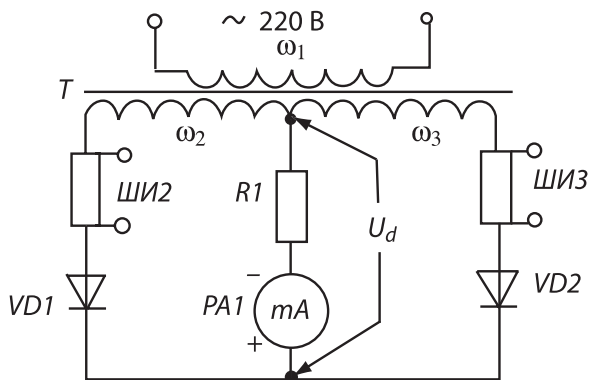


Рис. 5.3

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе составляется каждым студентом индивидуально и должен содержать :

1. Наименование и цель работы.

2. Схема неуправляемого мостового выпрямителя, работающего на активную нагрузку.

3. Осциллограммы токов и напряжений, согласованные между собой по фазе (изображаются на миллиметровой бумаге и вклеиваются в отчет): $U_2, U_H, i_2, i_{VD2}, u_{VD2}$.

4. Результаты измерений действующего значения напряжения на вторичной обмотке U_2 и среднее значение выпрямленного напряжения U_d .

$$U_2 = \quad , \quad U_d = \quad .$$

5. Проверка выполнения соотношений

$$U_2 = \frac{U_{2m}}{\sqrt{2}} = \quad , \quad U_H = 0,9U_2 = \quad .$$

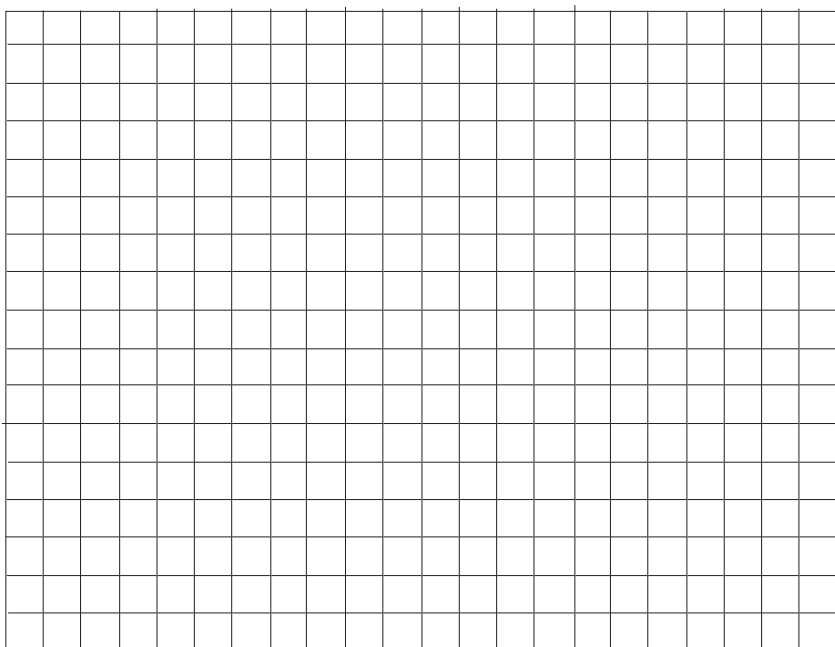
6. Объяснить, за счет каких потерь напряжения имеются отклонения от последнего соотношения.

7. Вычислить эти потери.

8. Таблица результатов внешней характеристики

$R, \text{ Ом}$				
$U, \text{ В}$				
$I, \text{ мА}$				

9. График внешней характеристики мостового выпрямителя.



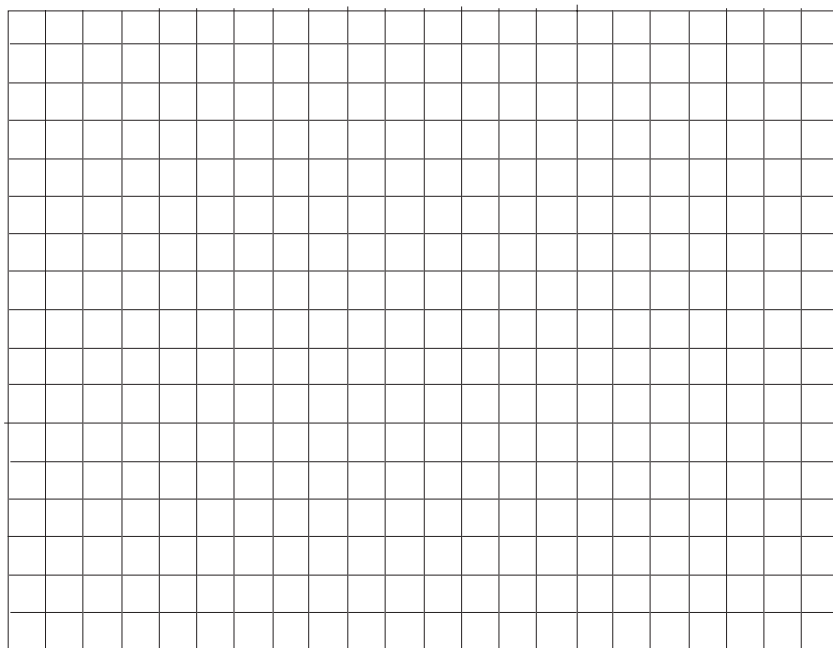
10. Таблица результатов для расчета коэффициента пульсаций. В отчет клеивается одна из осциллограмм с указанием всех измеряемых величин.

L , Гн				
U_{\max} , В				
U_{\min} , В				
K_n				

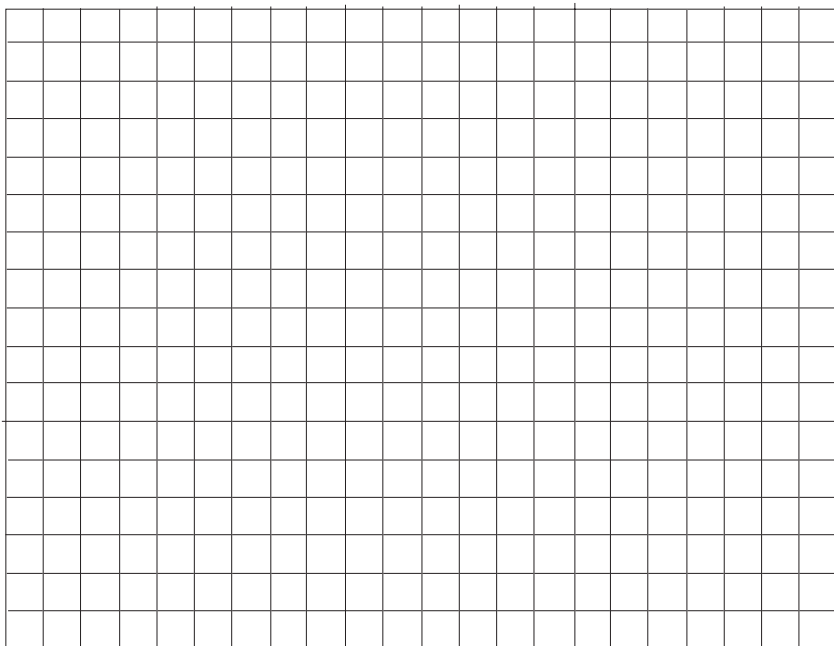
11. Таблица результатов зависимости угла коммутации от индуктивности трансформатора. В отчет вклеивается одна из осциллограмм с указанием всех измеряемых величин.

$L_{тр}, Гн$				
$\gamma, см$				
$\gamma, град$				

12. График зависимости $K_n = f(L)$.



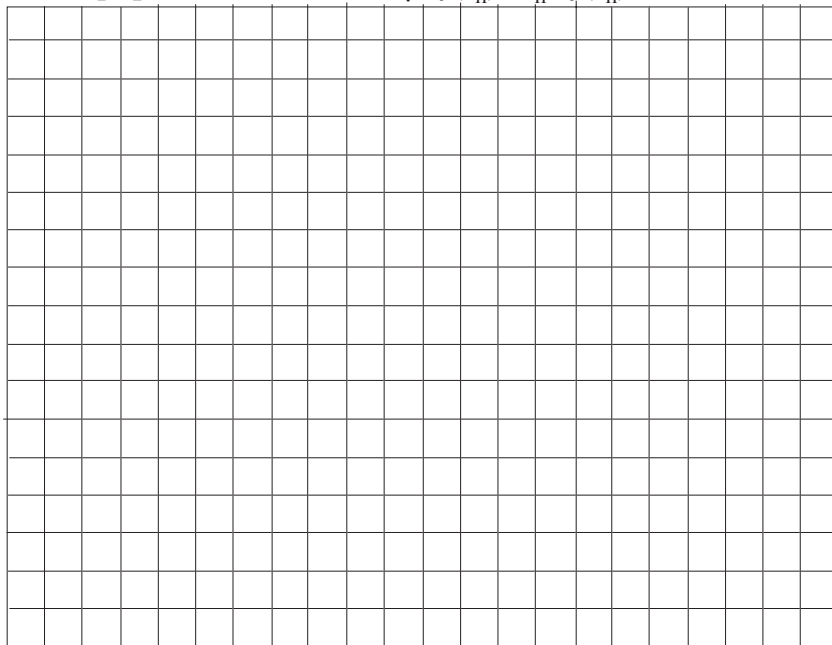
13. График зависимости $\gamma = f(L_{\text{тр}})$.



14. Таблица результатов зависимости угла коммутации от тока нагрузки. В отчет вклеивается одна из осциллограмм с указанием всех измеряемых величин.

$I_{\text{н}}, \text{Гн}$				
$U_{\text{н}}, \text{В}$				
$\gamma, \text{см}$				
$\gamma, \text{град}$				

15. Графики зависимостей $\gamma = f(I_H)$, $U_H = f(I_H)$.



16. Осциллограммы токов и напряжений, согласованные между собой по фазе (изображаются на миллиметровой бумаге и вклеиваются в отчет): U_2 , i_2 , i_{VD2} .

17. Схема неуправляемого однополупериодного выпрямителя.

18. Осциллограмма выпрямленного напряжения (изображается на миллиметровой бумаге и клеивается в отчет): U_n .

19. Результаты измерений действующего напряжения на вторичной обмотке U_2 и среднего значения выпрямленного напряжения U_d .

$$U_2 = \quad , \quad U_d = \quad .$$

20. Проверка выполнения соотношения

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

21. Осциллограммы осциллограммы токов через диоды $VD1$, $VD2$ (изображаются на миллиметровой бумаге и клеиваются в отчет) для активной и активно-индуктивной нагрузок.

22. Схема двухполупериодного выпрямителя с нулевой точкой.

23. Осциллограммы токов и напряжений, согласованные между собой по фазе (изображаются на миллиметровой бумаге и клеиваются в отчет): U_2 , U_n , u_{VD1} , i_{VD1} , i_{VD2} .

24. Выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое выпрямление?
2. Пояснить принцип работы однофазного двухполупериодного выпрямителя.
3. Назовите элементы схемы выпрямителя.
4. Почему в период коммутации выпрямленное напряжение равно нулю?
5. Чем объясняется наклон внешней характеристики выпрямителя?
6. Что понимают под внешней характеристикой выпрямителя?
7. Какими величинами оцениваются условия работы вентиля?
8. Как влияет индуктивность в цепи нагрузки на форму выпрямленного тока?
9. Что понимают под коэффициентом мощности?
10. Какие параметры влияют на коэффициент мощности?
11. Как выбрать вентили для рассматриваемой схемы, исходя из заданной мощности нагрузки и выпрямленного напряжения?
12. Каковы достоинства и недостатки рассматриваемой схемы выпрямления?

ЛИТЕРАТУРА

1. Попков О.З. Основы преобразовательной техники: Уч. пос. для вузов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2007. — 200 с.
2. Грищенко А.В. Электрические машины и преобразователи подвижного состава. — М.: Издательский центр «Академия», 2005. — 320 с.
3. Руденко В.С. и др. Основы преобразовательной техники. — М.: Высшая школа, 1980.
4. Бурков А.Т. Электронная техника и преобразователи: Учеб. для вузов ж.-д. тр-та. — М.: Транспорт, 1999. — 464 с.

Лабораторная работа №6 ИССЛЕДОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ И РЕГУЛЯТОРОВ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучение схем управляемых выпрямителей переменного тока.

ПРОГРАММА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Изучение и опробование схем выпрямления.
2. Снятие данных и осциллограмм.
3. Построение характеристик выпрямителей:
 - внешних,
 - регулировочных,
 - угла коммутации от различных параметров.
4. Определение основных параметров выпрямителей по осциллограммам.
5. Проверка основных расчетных соотношений для исследуемых выпрямителей.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Мостовой несимметричный (полууправляемый) выпрямитель

1.1. Органы управления стенда установить в исходное состояние: переключатели $L_{тр}$, L , $R1$, $R2$, C — в положение 1, выключатель фазорегулятора — выключено, переключатель фазорегулятора — «1», регулятор угла управления тиристорами — 0.

1.2. Собрать схему рис. 6.1.

Шунты измерительные $ШИ2$, $ШИ3$, $ШИ4$ служат для снятия осциллограмм токов диода $VD1$, тиристора $VS2$ и вторичной обмотки трансформатора ω_2 . Выходы 1, 2 фазорегулятора обозначены на схеме соответственно $\Phi P1$ и $\Phi P2$. Перемычка $П1$ обеспечивает активный характер нагрузки выпрямителя. При положении «1» переключателя фазорегулятора импульсы на выходах $\Phi P1$ и $\Phi P2$ появляются в смежные полупериоды питающего

напряжения со сдвигом на угол управления α относительно начала полупериода (см. рис. 6.1). Регулирование одноименным регулятором изменяет величину среднего значения выпрямленного напряжения U_d . Установить $R2 = 50$ Ом. Включить питание стенда и фазорегулятора.

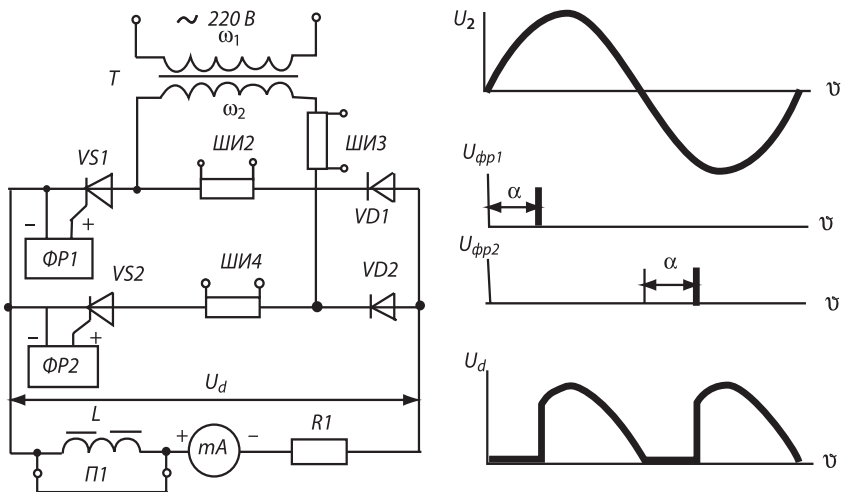


Рис. 6.1. Принципиальная схема и временные диаграммы работы полупроводникового выпрямителя

1.3. Подключить осциллограф и вольтметр на выход выпрямителя и получить точки зависимости среднего значения выпрямленного напряжения U_d от угла управления α . Расчет α по осциллограмме производится с учетом того, что период выпрямленного напряжения равен половине периода питающего напряжения, т.е. составляет 180° . При горизонтальной развертке 2мс/см период U_d будет равен на экране осциллографа 50 мм , так как при частоте 50 Гц длительность полупериода равна 10 мс . Измерения производить при пяти значениях $\alpha \dots \alpha_{\text{max}}$ (максимальное значение α , которое можно задать одноименным регулятором), 120° , 90° , 60° , α_{min} (минимальное значение α , которое можно задать одноименным регулятором).

1.4. При $\alpha = 90^\circ$. Измерить действующее значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора U_2 и проверить выполнение соотношения

$$U_d = 0,9 U_2(1 + \cos \alpha)/2.$$

Объяснить, за счет каких потерь имеется отклонение от этого соотношения и вычислить эти потери.

1.5. При $\alpha = 90^\circ$ снять осциллограммы выпрямленного напряжения U_d , напряжения U_{vd1} на диоде $VD1$, напряжения U_{vs2} на тиристоре $VS2$, тока i_{VD1} диода $VD1$, тока i_{vs2} тиристора $VS2$, тока i_2 вторичной обмотки трансформатора. Осциллограммы показать на одном рисунке.

1.6. Изменяя сопротивление $R2$, получить точки внешней характеристики выпрямителя, представляющей из себя зависимость выпрямленного напряжения U_d от тока нагрузки I_d . Измерение производить при $\alpha = \alpha_{\min}$.

1.7. Выключить питание стенда.

2. Мостовой выпрямитель

2.1. Собрать схему рис. 6.2, установить $R2 = 30$ Ом, включить питание стенда.

2.2. Снять осциллограмму выпрямляемого напряжения U_d при $\alpha = 90^\circ$.

2.3. Получить точки зависимости выпрямленного напряжения U_d от угла управления α . Измерения производить при значениях α , указанных в п. 1.4.

2.4. Установить $L_1 = 250$ мГн и удалить перемычку с L .

2.5. Снять осциллограмму выпрямленного напряжения при $\alpha = 90^\circ$. Измерить и показать на осциллограмме угол α_0 . Измерить и показать на осциллограмме обратное напряжение u_{VSO} , которое прикладывается к тиристору в момент его запираения при угле α_0 .

2.6. Получить точки зависимости выпрямленного напряжения U_d от угла управления α . Измерения производить при углах управления $120^\circ, 90^\circ, 60^\circ, \alpha_{\min}$.

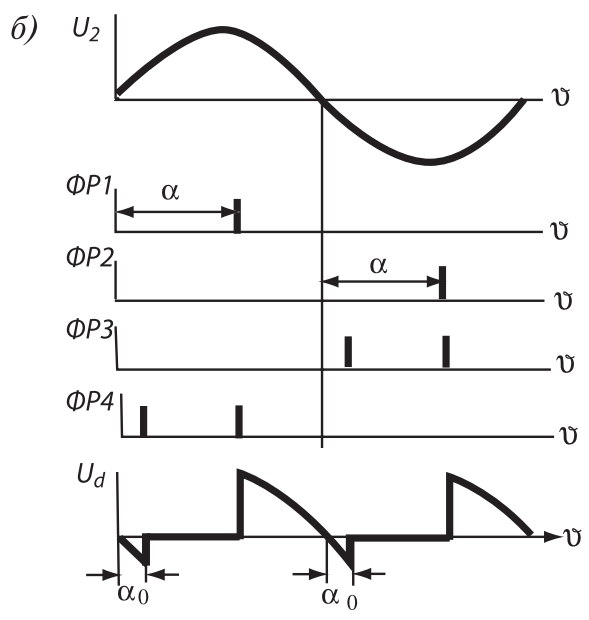
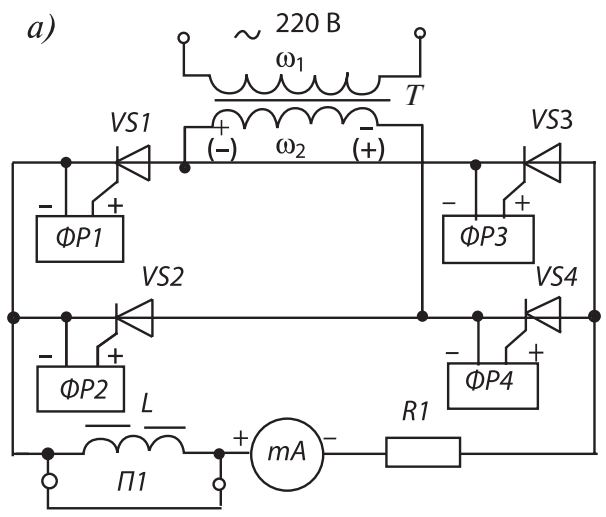


Рис. 6.2. Управляемый мостовой выпрямитель

2.7. Снять осциллограмму напряжения u_{VS} на одном из тиристоров. При изображении осциллограммы прямое напряжение показывать положительным, обратное — отрицательным.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе составляется каждым студентом индивидуально и должен содержать :

1. Наименование и цель работы.

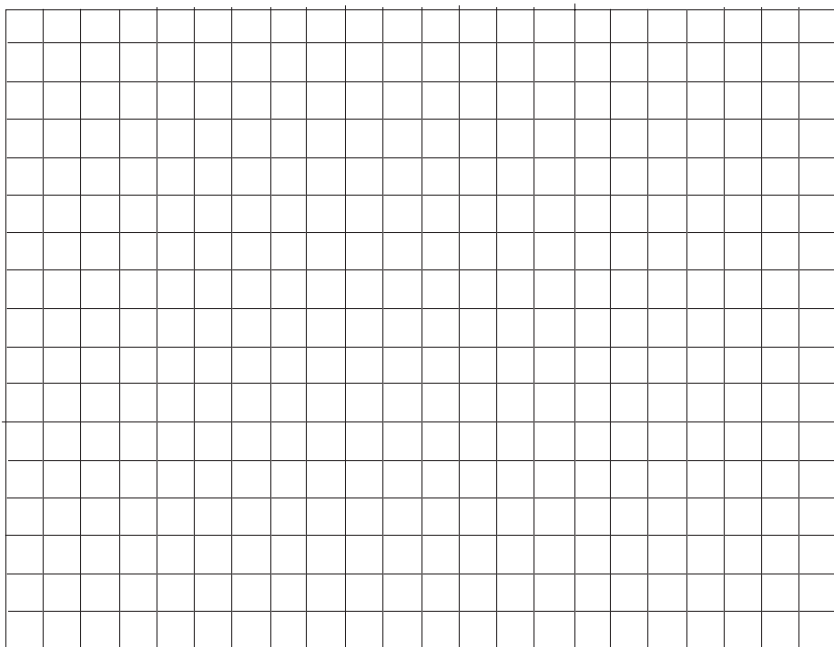
1. Мостовой несимметричный (полууправляемый) выпрямитель.

2. Схема несимметричного мостового выпрямителя, работающего на активную нагрузку.

3. Таблица результатов регулировочной характеристики. В отчет вклеивается одна из осциллограмм с указанием всех измеряемых величин.

U_H , В					
α , см					
α , град					

4. График регулировочной характеристики $U_H = f(\alpha)$.



5. Результаты измерений действующего значения напряжения на вторичной обмотке U_2

$$U_2 = \quad .$$

6. Проверка выполнения соотношений

$$U_d = 0,9 U_2(1 + \cos\alpha)/2 =$$

7. Объяснить, за счет каких потерь напряжения имеются отклонения от последнего соотношения.

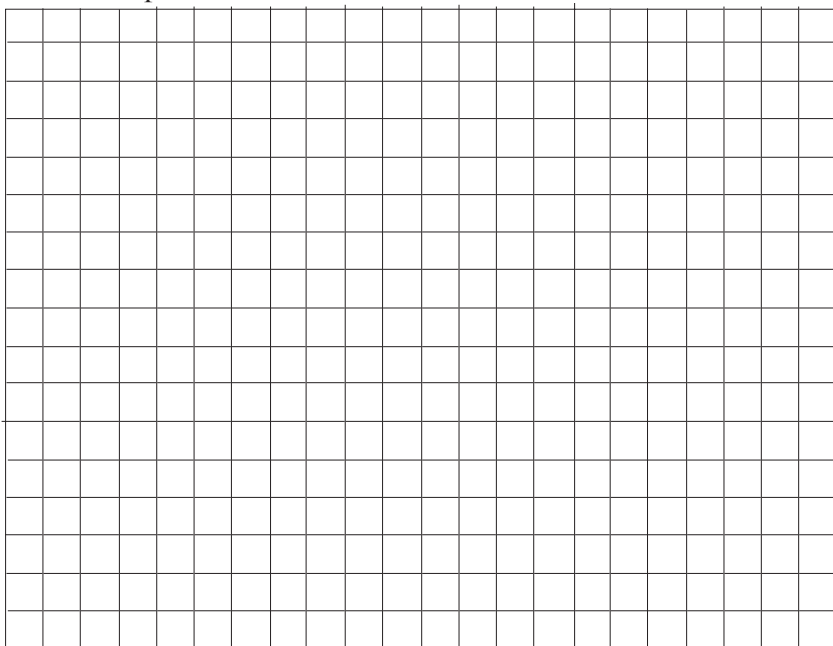
8. Вычислить эти потери.

9. Осциллограммы токов и напряжений (при $\alpha = 90^\circ$), согласованные между собой по фазе (изображаются на миллиметровой бумаге и вклеиваются в отчет): $u_H, u_{VD1}, u_{VS2}, u_{VS2}, i_{VD1}, i_{VS2}, i_2$.

10. Таблица результатов внешней характеристики (при $\alpha = \alpha_{\min}$).

R, Ом				
U, В				
I, мА				

11. График внешней характеристики несимметричного мостового выпрямителя.

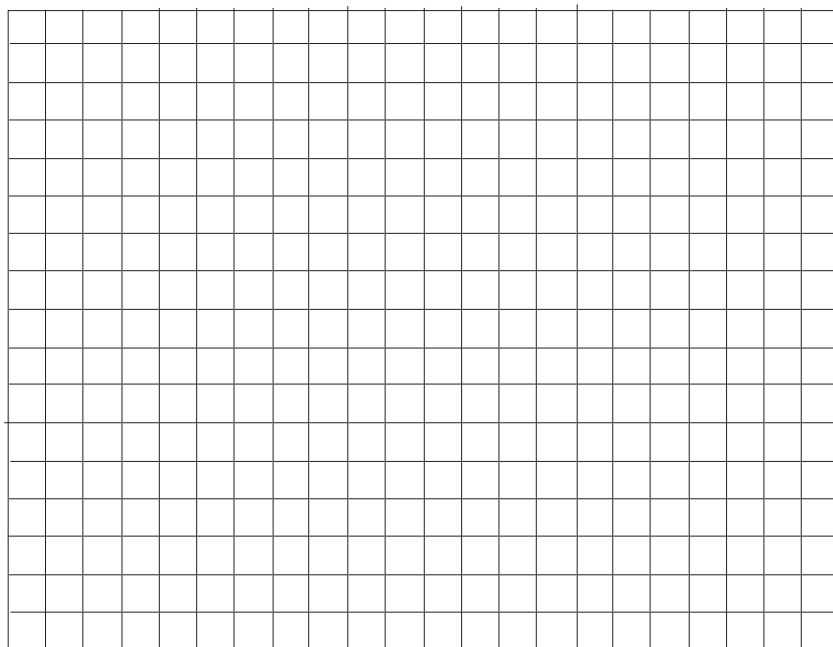


12. Схема управляемого мостового выпрямителя.

13. Таблица результатов регулировочных характеристик. В отчет вклеивается одна из осциллограмм с указанием всех измеряемых величин.

активная нагрузка			активно – индуктивная нагрузка.		
α , см	α , град	U_H , В	α , см	α , град	U_H , В

14. Графики регулировочных характеристик $U_H = f(\alpha)$.



15. Осциллограммы токов и напряжений (при $\alpha = 90^\circ$), согласованные между собой по фазе (изображаются на миллиметровой бумаге и клеиваются в отчет): u_n, u_{VS} .

16. Выводы по работе:

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы отличия управляемого выпрямителя от неуправляемого?
2. Как осуществляется регулирование выпрямленного напряжения?
3. Назовите элементы схемы выпрямителя.
4. Как влияет индуктивность в цепи нагрузки на форму выпрямленного тока?
5. Что понимают под коэффициентом мощности?
6. Какие параметры влияют на коэффициент мощности?
7. Как выбрать вентили для рассматриваемой схемы, исходя из заданной мощности нагрузки и выпрямленного напряжения?
8. Каковы достоинства и недостатки рассматриваемой схемы выпрямления?

ЛИТЕРАТУРА

5. Попков О.З. Основы преобразовательной техники: Уч. пос. для вузов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2007. — 200 с.

6. Грищенко А. В. Электрические машины и преобразователи подвижного состава. — М.: Издательский центр «Академия», 2005. — 320 с.

7. Руденко В. С. и др. Основы преобразовательной техники. — М.: Высшая школа, 1980.

8. Бурков А. Т. Электронная техника и преобразователи: Учеб. для вузов ж.-д. тр-та. — М.: Транспорт, 1999. — 464 с.

Лабораторная работа №7

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ИМПУЛЬСНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ (ТИРИСТОРНОГО КЛЮЧА)

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучение принципа действия системы регулирования напряжения ЭПС постоянного тока.

ПРОГРАММА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ И СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Органы управления стенда установить в исходное положение: выключатель питания схемы управления $S1$ — «Выкл.», выключатели Вкл $VS1$ и Вкл $VS2$ — «Выкл.», переключатель $L2$ — «Выкл.», регулятор λ — «0»

2. Подключить универсальный цифровой вольтметр на выход преобразователя, установив его переключатель в положение « V ». В этом положении вольтметр показывает величину среднего значения напряжения.

3. Включить выключатели $S1$ и $S2$.

4. Включить выключатели «Вкл $VS1$ » и затем «Вкл $VS2$ ». Объяснить, почему сначала нужно включить коммутирующий тиристор и только потом можно подавать управляющие импульсы на главный тиристор.

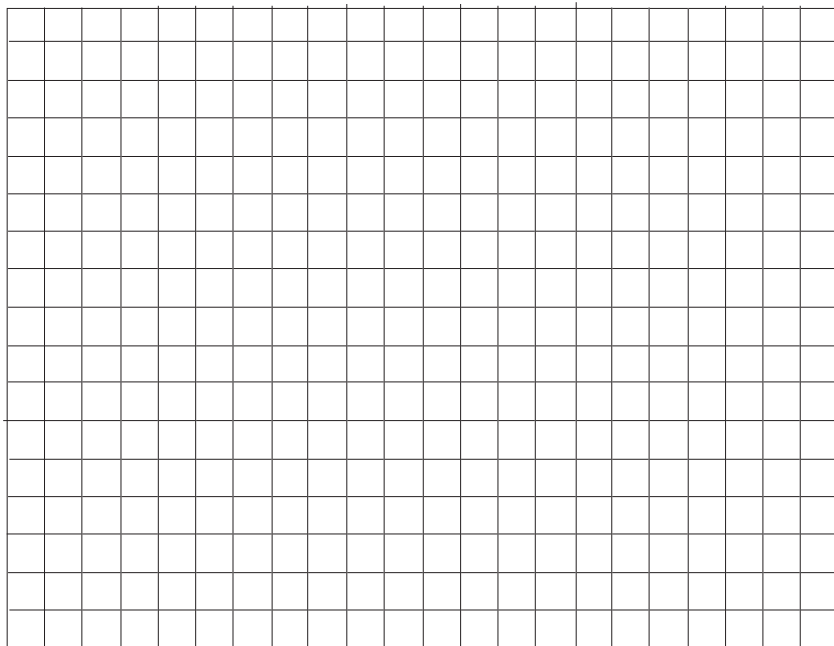
5. Регулятором λ установить напряжение на нагрузке $U_n = 35$ В.

6. Снять осциллограммы напряжения на конденсаторе $u_c(t)$. Осциллограммы показать на одном рисунке, согласовав их между собой. На этом же рисунке показать моменты подачи коротких управляющих сигналов на главный и коммутирующий тиристор.

7. Измерить и проставить на осциллограммах:

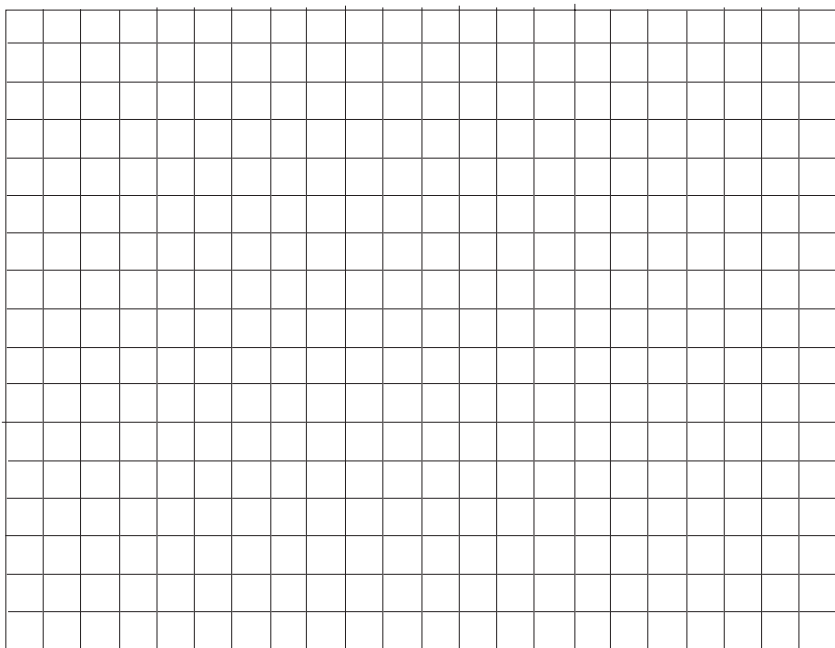
- длительность периода T ;
- сдвиг между моментами подачи управляющих импульсов на главный и коммутирующий тиристор t_{cy} ;
- длительность колебательного процесса перезаряда конденсатора t_n ;

- длительность коммутационного интервала t_K ;
- время приложения к главному тиристорю обратного напряжения t_C ;
- напряжение питания ключа U (падение напряжения на открытом тиристоре принять равным нулю);
- скачок напряжения на нагрузке $\kappa_3 U$ в момент включения коммутирующего тиристора.



8. По результатам измерений в п.7 рассчитать частоту f следования управляющих импульсов и величину коэффициента затухания κ_3 . Рассчитать среднее значение напряжения на нагрузке и сравнить рассчитанное значение с показаниями вольтметра, включенного на выходе преобразователя.

9. Изменяя регулятором λ величину коэффициента заполнения импульсов от λ_{\min} , до λ_{\max} , получить четыре точки зависимости напряжения на нагрузке U_H от λ . Необходимую для расчета λ длительность импульса t_H измерять по осциллограмме $u_H(t)$ от момента включения главного тиристора до момента окончания коммутационного интервала t_k . Результаты измерений U_H , t_H и расчета λ свести в таблицу, график зависимости $U_H(X)$ привести в отчете.

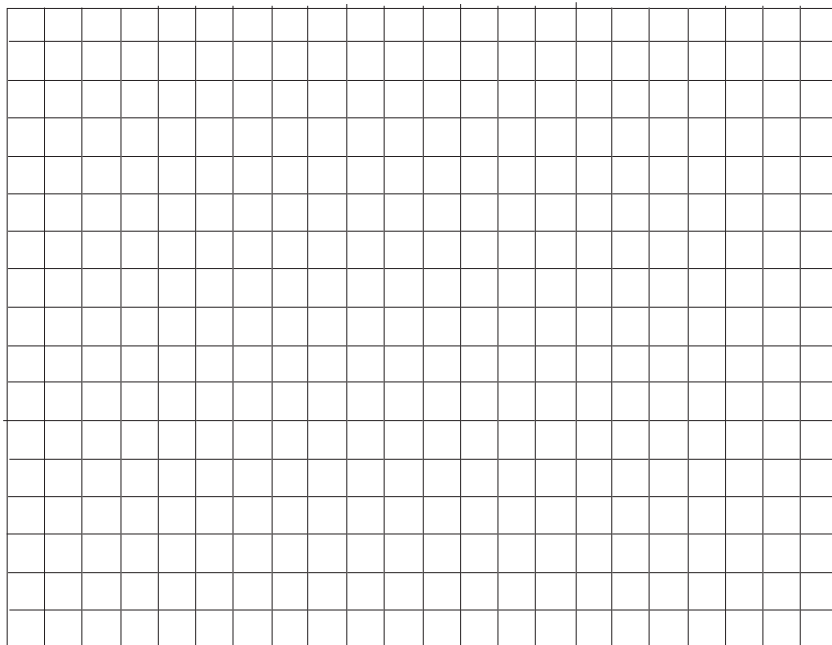


10. Повторяя операции п.9, проследить по осциллограмме $u_H(t)$ как изменяется время t_c приложения к главному тиристорному обратного напряжения U_H . Характер изменения t_c (увеличение

или уменьшение) объяснить с учетом того, что увеличение U_H сопровождается пропорциональным увеличением I_H .

11. Регулятором λ установить $U_H = 35$ В и снять осциллограмму $u_H(t)$ напряжения на резисторе R , которое пропорционально току нагрузки I_H . Из-за пульсаций тока нагрузки это напряжение изменяется каждый период от минимального значения U_{Rmin} до максимального U_{Rmax} на величину ΔU

$$\Delta U = U_{Rmax} - U_{Rmin}.$$

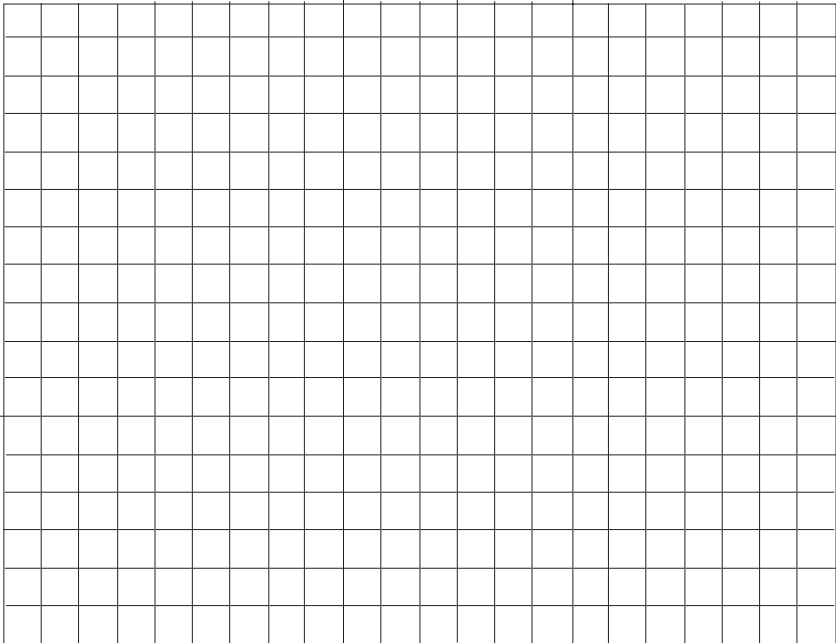


Среднее значение U_R , пропорциональное среднему значению тока нагрузки I_H , равно

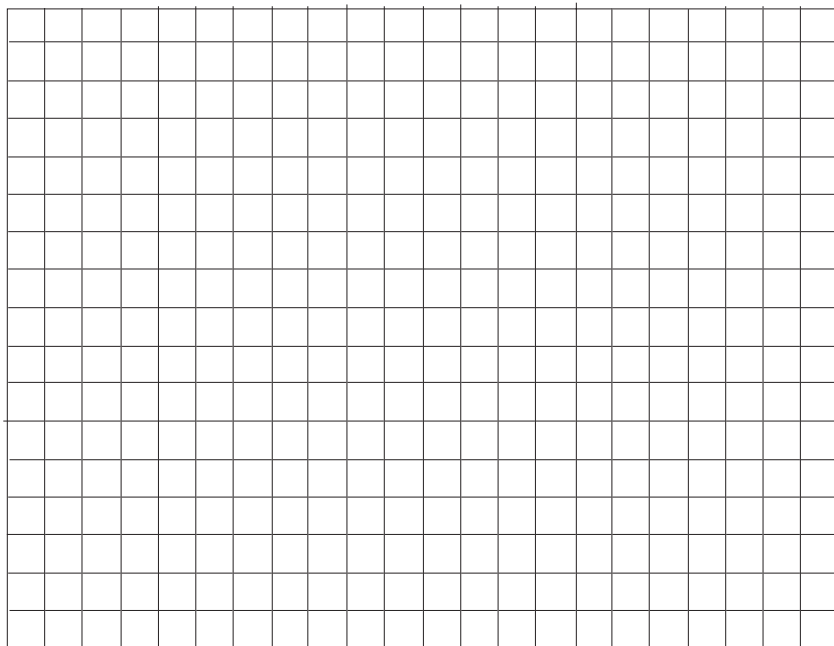
$$U_R = \frac{U_{R\max} + U_{R\min}}{2}.$$

Значения $U_{R\max}$ и $U_{R\min}$ измерить по осциллограмме и рассчитать коэффициент пульсаций K_H .

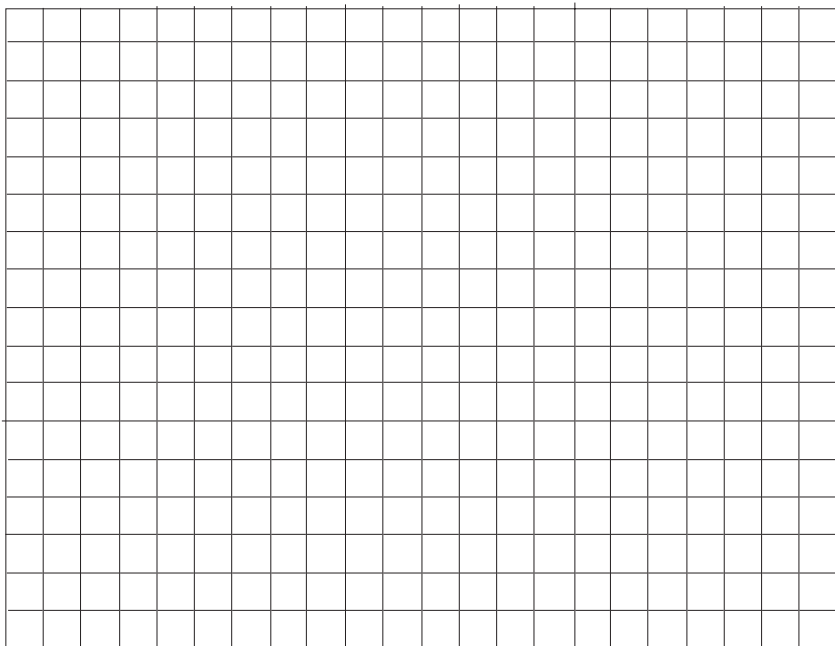
12. Выключить выключатели «S1» и «S2» и Вкл.«VS1», Вкл.«VS2», переключатель L2 установить в положение 1, включить выключатели и повторить операции п.11.



13. Повторить операции п. 12, переключатель $L2$ устанавливать в положение 3.



14. По результатам расчета K_n в пп. 11—13 построить график зависимости K_n от индуктивности нагрузки L_n . Величины L_n при положениях переключателя 1, 2, 3 соответственно равны 10, 15, 20 мГн.



15. Органы управления стенда установить в исходное положение в соответствии с п. 1

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каким образом осуществляется плавное регулирования подводимого к нагрузке напряжения?
2. Какие способы управления применяются в тиристорных ключах?
3. Как будет работать схема в случае неотпирания коммутирующего тиристора?

4. Как влияет индуктивность нагрузки и индуктивность коммутации на пульсацию напряжения?

5. Каким способом осуществляется запираание главного тиристора?

ЛИТЕРАТУРА

9. Попков О.З. Основы преобразовательной техники: Уч. пос. для вузов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2007. — 200 с.

10. Грищенко А.В. Электрические машины и преобразователи подвижного состава. — М.: Издательский центр «Академия», 2005. — 320 с.

11. Тихменев Б.Н., Трахман Л.М. Подвижной состав электрифицированных железных дорог. Теория работы электрооборудования. Электрические схемы и аппараты. — М.: Транспорт, 1980.

2. Бурков А.Т. Электронная техника и преобразователи: Учеб. для вузов ж.-д. тр-та. — М.: Транспорт, 1999. — 464 с.

ПАСПОРТНЫЕ ДАННЫЕ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Тип транзистора	Максимальный ток стока, мА	Крутизна прямой характеристики, мА/В	Напряжение отсечки, В	Ток затвора, мА	Дифференциальное выходное сопротивление, кОм	Коэффициент усиления по напряжению	Максимальное напряжение U_{cs} , В	Максимальное отпиговое напряжение на затворе, В
КП101-КП101Е	2,5	0,15—0,3	5—10	10—50	—	—	10	не доп.
КП102Е-КП102Л	0,55—0,6	0,25—1,3	2,8—10	15	10—100	25—100	20	не доп.
КП103Е-КП103МЕ	0,3—12	0,4—4,4	1,5—7	20	—	—	15—17	0,5

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТИРИСТОРОВ

Типы прибора	2У101А- 2У101И	2У201А- 2У201Л	КУ202А- КУ202Н	2У203А- 2У203И
Напряжение включения, В	0,25–8	6	5	10
Ток включения, мА	0,1–5	0,1–100	100	1000
Ток выключения, мА	0,5–25	100	300	–
Ток управления, мА	15	200	300	350
Ток утечки, мА	0,15	5	10	20
Остаточное напряжение, В	2,25	2	2	2,5
Максимальное допустимое на- пряжение, В	50–100	25–300	25–400	50–200
Максимальное допустимое об- ратное напряжение, В	10–150	25–300	25–400	50–200

ЭЛЕКТРОННАЯ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Методические указания
к выполнению лабораторных работ

Редактор *Д.Н. Тихонычев*
Компьютерная верстка *Г.Д. Волкова*

Тип.зак.	Изд.зак. 273	Тираж 600 экз.
Подписано в печать 15.01.10	Гарнитура Newton	Формат 60 × 90 ¹ / ₁₆
Усл.печ.л. 5,75		

Редакционный отдел
Информационно-методического управления РОАТ,
125993, Москва, Часовая ул., 22/2

Участок оперативной печати
Информационно-методического управления РОАТ,
125993, Москва, Часовая ул., 22/2