

Некоммерческое акционерное общество

АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Кафедра электроники

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОННОЙ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов специальности 5В071900 — Радиотехника, электроника и телекоммуникации СОСТАВИТЕЛИ: С.Б. Абдрешова, Г.Н. Абдрешова. Основы электронной и измерительной техники. Методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов специальности 5В071900 — Радиотехника, электроника и телекоммуникации. — Алматы: АУЭС, 2016. — 73 с.

В методических указаниях рассматривается 15 лабораторных работ по курсу «Основы электронной и измерительной техники».

Методические указания по подготовке к проведению лабораторных работ, в них приведены описания каждой лабораторной работы, экспериментальных установок, дана методика проведения и обработки опытных данных, перечень рекомендуемой литературы и контрольные вопросы.

Методические указания предназначены для студентов всех форм обучения специальности 5В071900 — Радиотехника, электроника и телекоммуникации.

Ил.5, табл. 2, библиогр. – 24 назв.

Рецензент: доцент кафедры ИКТ Ю.М. Гармашова

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи» на 2016 г.

Введение

Настоящие методические указания к лабораторному практикуму предназначены для студентов, изучающих курс «Основы электронной и измерительной техники». Лабораторные работы выполняются на стендах фирмы «DEGEM systems».

Основными целями данного цикла лабораторных работ являются:

- закрепить теоретические знания, полученные студентами при изучении материала учебников и лекционного материала;
- выработать умение определять параметры активных компонентов схем в дискретном исполнении и разрабатывать на их базе электронные схемы, проводить анализ электронных схем, в том числе с помощью машинных программ на ЭВМ; с помощью анализа и экспериментальных исследований оптимизировать схемы путем варьирования параметров компонентов и повторных расчетов.

В процессе подготовки к лабораторному практикуму каждый студент должен: изучить соответствующие разделы конспекта лекций и рекомендованной литературы, по необходимости выполнить расчеты компонентов схемы по исходным данным.

Отчет должен содержать:

- цель и задание работы;
- справочные данные исследуемых приборов;
- результаты проделанной работы (экспериментальные данные, расчеты, графики и др.);
 - выводы по работе;
 - список использованной литературы.

Отчет оформляется по фирменному стандарту НАО АУЭС (СТ НАО 56023-1910-04-2014). Работы учебные. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию должны соответствовать этому стандарту.

1 Лабораторная работа №1. Исследование характеристик выпрямительного диода

Цель работы: снятие и анализ вольтамперных характеристик (BAX) прямого и обратного включения полупроводникового диода; исследование и анализ явления накопления неравновесных носителей в области базы.

1.1 Рабочее задание

- 1.1.1 Собрать схему для снятия характеристики прямого включения полупроводникового диода согласно рисунку 1.1.
 - 1.1.2 Измерить сопротивление R1.
 - 1.1.3 Снять и построить ВАХ прямого включения диода.
- 1.1.4 Собрать схему для снятия характеристики обратного включения полупроводникового диода согласно рисунку 1.2.
 - 1.1.5 Снять и построить ВАХ обратного включения диода.
- 1.1.6 Исследовать схему однополупериодного выпрямителя и проанализировать явление накопления неравновесных носителей в области базы;

1.2 Методические указания к выполнению работы

- 1.2.1 Вставьте печатную плату EB 111 в стенд PU 2000 от DEGEM system.
 - 1.2.1 Измерьте омметром сопротивление резистора R1.
 - 1.2.3 Соберите схему, показанную на рисунке 1.1.
- 1.2.4 Повышая напряжение источника питания PS-1 от нуля до максимального значения, записывайте значения тока I_{np} с интервалом 5 мА. Измеряйте значения напряжения U_{np} на диоде. Данные занесите в таблицу 1.1

Таблица 1.1 I_{np} , MA = 0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 I_{np}

- 1.2.5 Соберите схему, показанную на рисунке 1.2.
- 1.2.6 Повышая напряжение источника питания PS-2 от нуля до максимального значения с интервалом 1 В, записывайте значения тока. Данные занесите в таблицу 1.2. По полученным данным постройте характеристику обратного включения полупроводникового диода.

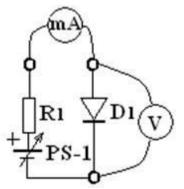


Рисунок 1.1 – Схема для снятия ВАХ прямого включения диода

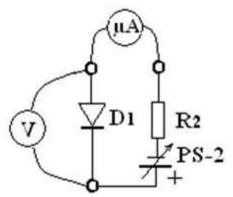


Рисунок 1.2 – Схема для снятия ВАХ обратного включения диода

Таблица 1.2

$U_{o\delta p}$, B	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$I_{o\delta p}, \mu A$												

1.2.7 Соберите схему, показанную на рисунке 1.3.

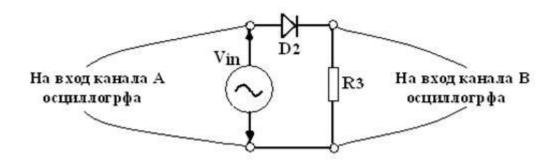


Рисунок 1.3 — Схема для исследования однополупериодного выпрямителя и явления накопления неравновесных носителей в базе диода

- 1.2.8 Измерьте сопротивление резистора R3.
- подайте синусоидальное Ha ВХОД Vin напряжение функционального генератора, размещенного на стенде PU - 2000, либо от Ток через будет протекать отдельного генератора. диод положительной полуволны входного напряжения, а на R3 при этом будет напряжение, пропорциональное току через диод и резистор. Входное напряжение и выходное напряжение (на резисторе R3) измеряйте и зарисовывайте с помощью 2-х канального осциллографа. Исследование проводите на частотах 1 кГц, 10 кГц и 100 кГц.
- 1.2.9 На вход Vin подайте прямоугольное напряжение (меандр) тех же частот: 1 кГц, 10 кГц и 100 кГц с амплитудой 6В. При частоте 100 кГц проведите измерения времени рассасывания t_{pacc} и времени спада t_{cn} (рисунок

1.4) и рассчитайте амплитуды прямого и обратного токов с помощью закона Ома.

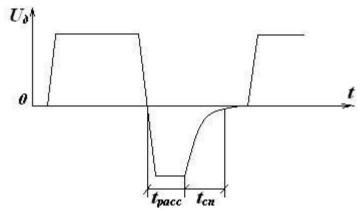


Рисунок 1.4 – Временная диаграмма прямого и обратного токов диода

1.2.10 Амплитуду входного напряжения уменьшите до 1В и проделайте измерения тех же величин.

1.3 Расчетное задание

- 1.3.1 По данным из таблицы 1.1 построить прямую ветвь ВАХ диода и вычислить графическим путем дифференциальное сопротивление на восходящем участке характеристики.
- 1.3.2 По данным из таблицы 1.2 построить обратную ветвь BAX диода и вычислить графическим путем дифференциальное сопротивление.
- 1.3.3 Построить график зависимости времени восстановления диода от величины прямого тока. Проанализируйте зависимость времён рассасывания t_{pacc} и спада t_{cn} от значения прямого тока диода.

1.4 Контрольные вопросы

- 1.4.1 Чем объясняется вентильное свойство *p-n* перехода?
- 1.4.2 Что такое прямое и обратное включение диода?
- 1.4.3 Как зависит ВАХ диода от температуры?
- 1.4.4 Как зависит ширина *p-n* перехода от приложенного напряжения?
- 1.4.5. Каковы основные параметры диода?
- 1.4.6 В каких схемах используются диоды?
- 1.4.7. Показать на характеристиках диода, что такое статическое и дифференциальное сопротивления.
- 1.4.8 Как выглядит ВАХ двух последовательно соединённых одинаковых диодов?
- 1.4.9 Как выглядит ВАХ двух параллельно соединённых одинаковых диодов?

2 Лабораторная работа №2. Исследование характеристики стабилитрона и простейшего параметрического стабилизатора напряжения постоянного тока

Цель работы: снятие и анализ вольтамперной характеристики стабилитрона; исследование схемы простейшего параметрического стабилизатора напряжения.

2.1 Рабочее задание

- 2.1.1 Снять и построить ВАХ стабилитрона (при отключенной нагрузке).
- 2.1.2 Исследовать схему параметрического стабилизатора напряжения и построить BAX при различных сопротивлениях нагрузки.
- 2.1.3 Рассчитать коэффициенты стабилизации при различных сопротивлениях нагрузки.

2.2 Методические указания к выполнению работы

2.2.1 Соберите схему, показанную на рисунке 2.1.

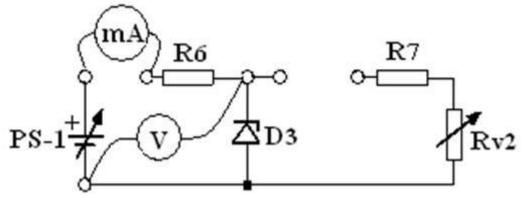


Рисунок 2.1 – Схема для снятия ВАХ стабилитрона

- 2.2.2 Измерьте сопротивление резистора R6.
- 2.2.3 Повышая напряжение источника питания PS-1 от нуля до максимального значения, записывайте значения тока стабилитрона I_{cm} и напряжения на стабилитроне U_{cm} , измеряйте и входное напряжение схемы (напряжение источника PS-1). Данные занесите в таблицу 2.1. и по полученным данным постройте BAX стабилитрона и нагрузочную линию для сопротивления R6. Укажите на графиках значения напряжений на резисторе R6 и на стабилитроне.
- 2.2.4 Измерьте и установите максимальное значение сопротивления нагрузки (R7 + Rv2).
 - 2.2.5 Соберите схему, показанную на рисунке 2.2.

Таблица 2.1

$I_{cm.}$, mA	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$U_{cm.}$, B											
$U_{ucm.}, B$											

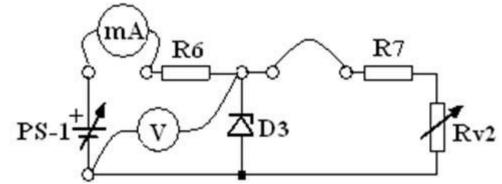


Рисунок 2.2 – Схема для исследования стабилизатора напряжения

2.2.6 Повышая напряжение источника питания PS-1 от 1В до максимального значения с интервалом 1В, измеряйте ток источника PS-1 I_{ucm} и напряжение на нагрузке U_{cm} , измеряйте также и входное напряжение схемы U_{ex} (напряжение источника PS-1). Данные занесите в таблицу 2.2.

Таблица 2.2

U_{ex} , B	1	2	3	4	 			11
U_{cm} , B при R_H max								
U_{cm} , B при R_H =600								
Ом								
U_{cm} , B при R_H =200								
Ом								
$K_{cm.}$, %					·	·	·	

- 2.2.7 Проделайте те же измерения при сопротивлениях нагрузки: $R_{\rm H} = 600~{\rm Om}~{\rm u}~200~{\rm Om}.$
- 2.2.8 По полученным данным постройте вольтамперные характеристики стабилитрона с подключенной нагрузкой.

2.3 Расчётное задание

- 2.3.1 По данным из таблицы 2.1 постройте BAX стабилитрона и нагрузочную линию для сопротивления R6. Укажите на графиках значения напряжений на резисторе R6 и на стабилитроне.
- 2.3.2 Рассчитайте значения коэффициентов стабилизации при различных сопротивлениях нагрузки. Для этого проведите нагрузочные линии так, чтобы они пересекали середины восходящих участков ВАХ, построенных

по данным из таблицы 2.2. Напряжение на стабилитроне, соответствующее точке пересечения, будет номинальным выходным напряжением стабилизатора U_{cmhom} , а напряжение источника будет номинальным входным напряжением U_{exhom} . Дать приращение входного напряжения $\Delta U_{ex} = 2 \mathrm{B}$ и провести ещё одну нагрузочную линию. С помощью BAX измерить соответствующее приращение напряжения стабилизации ΔU_{cm} . Коэффициент стабилизации вычисляется по формуле:

$$K_{cm} = (\Delta U_{ex} / U_{exhom})/(\Delta U_{cm} / U_{cmhom}).$$

Проанализировать зависимость значения коэффициента стабилизации от сопротивления нагрузки.

2.4 Контрольные вопросы

- 2.4.1 Какая ВАХ стабилитрона является рабочей: прямая или обратная?
- 2.4.2 Какой участок BAX стабилитрона является рабочим: пологий или крутой?
- 2.4.3 Как включаются стабилитрон и нагрузка в простейшем стабилизаторе напряжения: параллельно или последовательно?
- 2.4.4 Как строится ВАХ параллельного соединения стабилитрона и сопротивления нагрузки?
 - 2.4.5 В чем смысл коэффициента стабилизации?
- 2.4.6 Как связан коэффициент стабилизации с дифференциальным сопротивлением стабилитрона?
- 2.4.7 Как выглядит BAX двух последовательно соединённых стабилитронов?
- 2.4.8 Как выглядит ВАХ двух встречно-последовательно соединённых стабилитронов?
 - 2.4.9 Можно ли включать стабилитроны последовательно?
 - 2.4.10 Можно ли включать стабилитроны параллельно?
- 2.4.11 В каком соотношении должны быть токи стабилитрона и нагрузки?
- 2.4.11 В каком соотношении должны быть напряжения источника и напряжение стабилизации?

3 Лабораторная работа №3. Исследование биполярного транзистора

Цель работы: снятие входных и выходных BAX биполярного транзистора; графическое определение h- параметров транзистора.

3.1 Рабочее задание

3.1.1 Снять и построить входную характеристику транзистора $I_{\delta} = f(U_{\delta \ni})$ при коллекторном напряжении $U_{\kappa \ni} = 0$ В.

- 3.1.2 Снять и построить входную характеристику транзистора $I_{\delta} = f(U_{\delta 9})$ при коллекторном напряжении $U_{\kappa 9} = 5$ В.
- 3.1.3 Снять и построить входную характеристику транзистора $I_{\delta} = f(U_{\delta 9})$ при коллекторном напряжении $U_{\kappa 9} = 10$ В.
- 3.1.4 Снять и построить семейство выходных характеристик транзистора $I_{\kappa} = f(U_{\kappa_2})$ при изменении базового тока от 0 до 100 мкА.

3.2 Методические указания к выполнению работы

- 3.2.1 Установить печатную плату EB -111, которая содержит схему на рисунке 2.1, в стенд PU 2000 от DEGEM system.
 - 3.2.2 Измерить сопротивления резисторов Rv1, R4, R5.
- 3.2.3 Собрать схему для снятия входной характеристики $I_{\delta} = f(U_{\delta 9})$ транзистора при напряжении на коллекторе $U_{\kappa 9} = 0$ В (рисунок 3.1),
- $3.2.4~{
 m При}$ помощи переменного резистора Rv1 изменять базовый ток с интервалом 10 мкA, измеренные значения напряжения базы $U_{\it б\it 9}$ занести в таблицу 3.1.

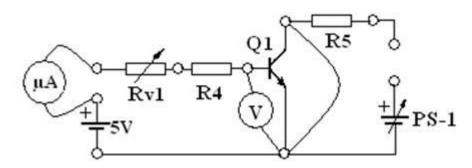


Рисунок 3.1 – Схема для снятия входной характеристики биполярного транзистора при напряжении на коллекторе, равном нулю

Таблица 3.1

Іб, μΑ	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
<i>Ибэ, В</i>										

- 3.2.5 Собрать схему для снятия входных характеристик $I_{\delta}=f(U_{\delta 9})$ биполярного транзистора при фиксированных напряжениях на коллекторе $U_{\kappa 9}$ =5 В и $U_{\kappa 9}$ =10 В (рисунок 3.2).
- $3.2.6~{
 m C}$ помощью регулятора источника питания PS-1 установить коллекторное напряжение $U_{\kappa 9} = 5~{
 m B}$.
- 3.2.7 При помощи переменного резистора Rv1 изменять базовый ток, измеренные значения напряжения базы U_{δ_3} заносить в таблицу 3.2.
- 3.2.8 С помощью регулятора источника питания PS-1 установить коллекторное напряжение U_{κ_9} =10 В.
- $3.2.9~{\rm При}$ помощи переменного резистора Rv1 изменять базовый ток, измеренные значения напряжения базы U_{63} заносить в таблицу 3.2.

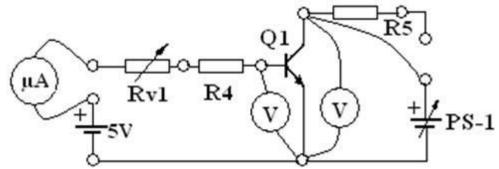


Рисунок 3.2 – Схема для снятия входных характеристик биполярного транзистора при напряжениях на коллекторе 5 В и 10 В

Таблица 3.2

$I_{\delta}, \mu A$	10	30	50	70	100	130	150
U_{69} , B при $U_{\kappa 9} = 5B$							
U_{69} , B при $U_{\kappa 9} = 10 B$							

- 3.2.10 Собрать схему для снятия выходной характеристики $I_{\kappa} = f(U_{\kappa 9})$ транзистора при токе базы, равном нулю (рисунок 3.3).
- 3.2.11 С помощью регулятора источника питания PS-1 изменять коллекторное напряжение от нуля до 9В с интервалом 1В, значения тока коллектора занести в таблицу 3.3.
- 3.2.12 Собрать схему для снятия выходных характеристик $I_{\kappa} = f(U_{\kappa_9})$ транзистора при фиксированных токах базы (рисунок 3.4).
- 3.2.13 При помощи переменного резистора Rv1 установить базовый ток 20мкA, с помощью регулятора источника питания PS-1 изменять коллекторное напряжение от нуля до 9 В с интервалом 1 В, значения тока коллектора занести в таблицу 3.3.

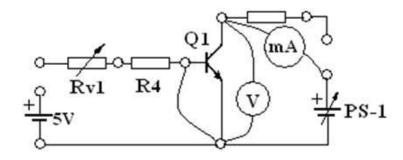


Рисунок 3.3 – Схема для снятия выходной характеристики транзистора при токе базы, равном нулю

3.2.14 Снять характеристики $I_{\kappa} = f(U_{\kappa})$ при заданных токах базы.

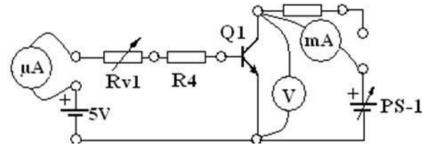


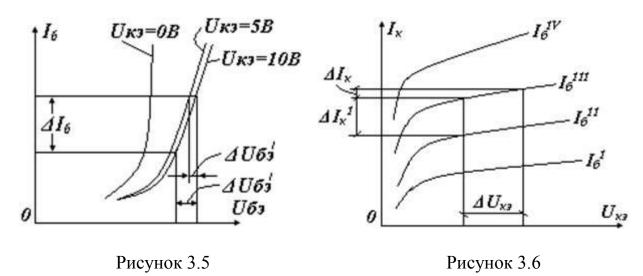
Рисунок 3.4 — Схема для снятия семейства выходных характеристик биполярного транзистора при заданных токах базы

Таблица 3.3

		I_{κ} , mA	I_{κ} , mA	I_{κ} , mA			I_{κ} , mA	I_{κ} , mA	I_{κ} , mA
$I_{6}, \mu A$	при	при	при	при	при	при	при	при	при
	$U_{\kappa 9}=1B$	$U_{\kappa 9} = 2B$	$U_{\kappa 9} = 3B$	$U_{\kappa 9} = 4B$	$U_{\kappa 9} = 5B$	$U_{\kappa 9} = 6B$	$U_{\kappa 9} = 7B$	$U_{\kappa 9} = 8B$	$U_{\kappa 9} = 9B$
0									
20									
40									
60									
80									
100									·

3.3 Расчетное задание

3.3.1 Построить на одном графике, как показано на рисунке 3.5, входные характеристики транзистора $I_{\delta} = f(U_{\delta 9})$ при фиксированных напряжениях на коллекторе: $U_{\kappa 9} = 0$ B, $U_{\kappa 9} = 5$ B и $U_{\kappa 9} = 10$ B (по данным из таблиц 3.1. и 3.2). По характеристикам определить графическим способом параметры h_{II} и h_{I2} для области, расположенной на середине восходящего участка, $h_{II} = \Delta U_{\delta 9} / \Delta I_{\delta}$ - входное дифференциальное сопротивление транзистора, $h_{I2} = \Delta U_{\delta 9} / \Delta U_{\kappa 9} = \Delta U_{\delta 9}^{-1}/(10B-5B)$ - коэффициент внутренней обратной связи.



3.3.2 Построить на одном графике семейство выходных характеристик транзистора $I_{\kappa}=f(U_{\kappa 9})$ при фиксированных токах базы по данным из таблицы 3.3. По характеристикам определить графическим способом параметры h_{21} и h_{22} для области, расположенной приблизительно в середине семейства характеристик, как показано на рисунке 3.6.

 $h_{22}= \varDelta I_{\kappa}/\varDelta U_{\kappa 9}$ - выходная дифференциальная проводимость транзистора; $h_{21}= \varDelta I_{\kappa}^{\ I}/\varDelta I_{\delta}= \varDelta I_{\kappa}^{\ I}/(\ I_{\delta}^{\ III}$ - $I_{\delta}^{\ II})$ — коэффициент передачи тока базы.

3.4 Контрольные вопросы

- 3.4.1 Принцип действия биполярного транзистора, физические процессы в p-n переходах 9-6 и 6-6.
- 3.4.2 Почему коллекторный ток слабо зависит от коллекторного напряжения?
 - 3.4.3 От чего коллекторный ток зависит сильно?
 - 3.4.4 Какая величина является входной в схеме ОБ?
 - 3.4.5 Какая величина является входной в схеме ОЭ?
 - 3.4.6 Изобразить входные характеристики транзистора по схеме ОБ.
 - 3.4.7 Изобразить выходные характеристики транзистора по схеме ОБ.
 - 3.4.8 Изобразить входные характеристики транзистора по схеме ОЭ.
 - 3.4.9 Изобразить выходные характеристики транзистора по схеме ОЭ.
- $3.4.10~{\rm B}$ чём достоинства системы h-параметров транзистора как 4-х полюсника?
- 3.4.11 Как определяют графическим способом h-параметры транзистора по характеристикам?

4 Лабораторная работа №4. Исследование полевого транзистора с управляющим *p-n* переходом

Цель работы: исследование вольтамперных характеристик и сопротивления канала полевого транзистора с управляющим p-n переходом.

4.1 Рабочее задание

- 4.1.1 Снять семейство стоковых характеристик полевого транзистора.
- 4.1.2 Снять семейство стоко-затворных характеристик полевого транзистора.
 - 4.1.3 Измерить сопротивление канала полевого транзистора.

4.2 Методические указания по исследованию полевого транзистора

- 4.2.1 Установить печатную плату EB -112, которая содержит схему для исследования полевого транзистора, в стенд PU 2000 от DEGEM system.
 - 4.2.3. Измерить сопротивления резисторов R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , RV1.

4.2.3. Собрать схему для снятия стоковых характеристик $I_c = f(U_{cu})$, показанную на рисунке 4.1.

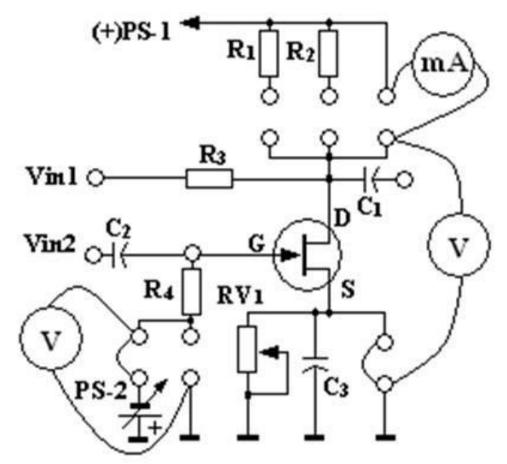


Рисунок 4.1 – Схема для снятия характеристик полевого транзистора

4.2.4 Устанавливая фиксированные напряжения на затворе U_{3u} , снимать зависимости тока стока от напряжения на стоке $I_c = f(U_{cu})$, изменяя напряжение источника PS-1. Данные заносить в таблицу 4.1.

Таблица 4.1

U_{3u}, B	I_c при U_{cu} =0,1В	I_c при U_{cu} =0,5В	I_c при U_{cu} =1В	I_c при U_{cu} =2В	I_c при U_{cu} =5В	I_{c} при U_{cu} =10В
0						
-0,5						
-1,0						
-1,5						
-2,0						

4.2.5 Устанавливая фиксированные напряжения на стоке U_{cu} , снимать зависимости тока стока от напряжения на затворе $I_c = f(U_{3u})$, изменяя напряжение источника PS-2. Данные заносить в таблицу 4.2.

Таблица 4.2

	I_c при	I_c при	I_c при	I_c при	I_c при	I_c при
U_{cu} , B	$U_{3u} =$	$U_{3u} =$	$U_{3u} =$	I_c при $U_{\scriptscriptstyle 3u}$ $=$	I_c при $U_{3u}==-2\mathrm{B}$	$U_{\scriptscriptstyle 3u}$
	=0 B	=-0.25B	=-0.5B	=-1B	=-2B	отсечки.
0,5						
1						
2						
5						
10						

- 4.2.6 Измерить напряжение U_{3u} отсечки, при котором прекращается стоковый ток.
- 4.2.7 Собрать схему для измерения сопротивления канала исток-сток, показанную на рисунке 4.2.
- 4.2.8 Установить напряжение источника PS-1, равным 10B, снимать показания вольтметров. Данные заносить в таблицу 4.3.

Таблица 4.3

	U_{3u} , B	0 B	-0,25B	-0,5B	-1B	-2B	U_{3u} отсечки
	U_{cu}						
Ī	R_{cu}						

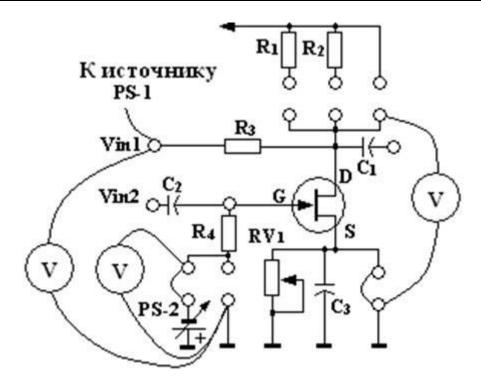


Рисунок 4.2 – Схема для измерения сопротивления канала исток-сток

4.3 Расчетное задание

- 4.3.1 Построить семейство стоковых характеристик $I_c = f(U_{cu})$ по данным из таблицы 4.1. Провести нагрузочные линии для сопротивлений R1 и R2, оценить коэффициент усиления.
- 4.3.2 Построить семейство стоко-затворных характеристик транзистора $I_c = f(U_{3u})$ по данным таблицы 4.2. Измерить крутизну характеристики транзистора при различных напряжениях стока.
- 4.3.3 Вычислить сопротивления канала сток исток при различных напряжениях на затворе по данным таблицы 4.3.

4.4 Контрольные вопросы

- 4.4.1 В чём коренное отличие полевых транзисторов от биполярных в смысле носителей электрического заряда?
- 4.4.2 Чем управляется ток канала исток сток в полевом транзисторе с управляющим p-n переходом?
- 4.4.3 Какие происходят изменения в канале при подаче обратного напряжения на p-n переход затвор-исток?
 - 4.4.5 Что такое напряжение отсечки?
 - 4.4.6 Что такое крутизна стоко-затворной характеристики?
 - 4.4.6 Что такое внутреннее сопротивление транзистора?
 - 4.4.7 Что такое коэффициент усиления транзистора?
- 4.4.8 Какие ещё существуют типы полевых транзисторов, кроме исследованного?
- 4.4.9 Чем управляется ток канала исток сток в полевом транзисторе с изолированным затвором?
- 4.4.10 От чего и чем изолирован затвор в полевом транзисторе с изолированным затвором?
 - 4.4.11 В чём преимущества полевых транзисторов перед биполярными?

5 Лабораторная работа №5. Исследование тиристора

Цель работы: снятие вольтамперных характеристик тиристора; определение параметров тиристора.

5.1 Рабочее задание

- 5.1.1 Снять и построить ВАХ тиристора $I_a = f(U_{a\kappa})$ при значениях управляющего тока от 1 до 10 мА.
 - 5.1.2 Измерить величину анодного тока удержания.

5.2 Методические указания к выполнению работы

- 5.2.1 Установить печатную плату EB -112, которая содержит схему для исследования тиристора, в стенд PU 2000 от DEGEM system.
- 5.2.1 Измерить сопротивления переменных резисторов RV $_2$ и P $_1$, а также резисторов R $_8$, R $_9$ и R $_{10}$.
- 5.2.2 Собрать схему для снятия вольтамперной характеристики тиристора $I_a = f(U_{a\kappa})$ с нагрузкой в цепи анода $(R_8 + R_9 + P_1)$, показанную на рисунке 5.1.
 - 5.2.3 Установить напряжение источника питания PS-1, равным 10 В.
 - 5.2.4 Установить максимальное значение переменного резистора RV₂.

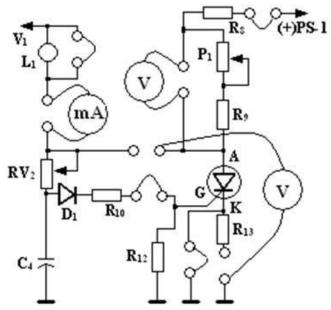


Рисунок 5.1 – Схема для снятия В-А характеристики тиристора

- 5.2.5 Установить максимальное значение переменного резистора потенциометра P_1 .
- 5.2.6 Постепенно повышать ток управляющего электрода путём уменьшения сопротивление переменного резистора RV_2 . В момент включения тиристора вольтметр начнёт показывать падение сопротивления на нагрузке. Нужно зарегистрировать показания миллиамперметра в этот момент времени, т.е. включающий ток управляющего электрода I_{v2} .

Таблица 5.1

Сопротивление нагрузки, Ом	Rн ₁	R _{H2}	Rн ₃
Включающий			
ток, мА			
Напряжение $U_{a\kappa}$			

5.2.7 Измерить напряжение между анодом и катодом тиристора $U_{a\kappa}$ показания приборов занести в таблицу 5.1.

- 5.2.8 После включения тиристора разомкните цепь управляющего электрода и убедитесь в том, что при этом тиристор остаётся в включённом состоянии. Для отключения тиристора нужно разомкнуть анодную цепь либо уменьшить напряжение источника PS-1.
- 5.2.9 Изменяя в сторону уменьшения сопротивление нагрузки, получить несколько значений включающего тока управляющего электрода I_{y_9} и напряжения $U_{a\kappa}$ при различных значениях нагрузки.
- 5.2.10 Для измерения величины анодного тока удержания собрать схему, показанную на рисунке 5.2.

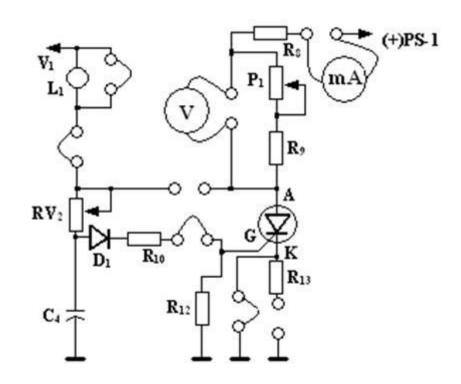


Рисунок 5.2 – Схема для измерения тока удержания тиристора

5.2.11 Постепенно уменьшая напряжение источника питания PS-1 с помощью регулятора, нужно зарегистрировать показание миллиамперметра перед моментом отключения тиристора. Оно будет равно току удержания тиристора I_{vo} .

5.3 Расчетное задание

5.3.1 Построить ВАХ тиристора: провести 3 нагрузочные линии, соединяя точку 10В на оси напряжения с точками E_{Π} / R_{H1} ; E_{Π} / R_{H2} ; E_{Π} / R_{H3} на оси тока. На нагрузочные линиях нанести точки 1, 2, 3, на расстояниях от оси тока соответственно $U_{a\kappa I}$, $U_{a\kappa 2}$, $U_{a\kappa 3}$. Нанести точку с координатами $U_{a\kappa 1}$; $I_{y\partial}$. Соединить полученные точки и получить восходящую часть характеристики, нижнюю часть характеристики снять не представляется возможным и её нужно прочертить так, как показано на рисунке 5.3.

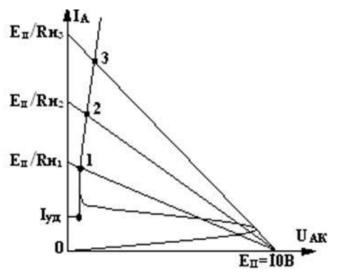


Рисунок 5.3 – Построение характеристики тиристора

5.4 Контрольные вопросы

- 5.4.1 Принцип действия тиристора, физические процессы в четырёх слойной структуре с тремя p-n переходами.
- 5.4.2. Изобразите вольтамперные характеристики тиристора при различных значениях управляющего тока.
- 5.4.2 Почему тиристор не отключается при отключении тока управляющего электрода?
 - 5.4.3 Каким образом можно прервать анодный ток тиристора?
 - 5.4.4 От чего зависит величина анодного тока тиристора?
- 5.4.5 Можно ли регулировать величину анодного тока изменением управляющего тока?
 - 5.4.6 Каким образом может включаться тиристор в цепь нагрузки?
 - 5.4.7 В каких устройствах используются тиристоры?

6 Лабораторная работа №6. Исследование фототранзисторного оптрона

Цель работы: исследование сквозных и частотных характеристик оптрона.

6.1 Рабочее задание

- 6.1.1 Снять вольтамперную характеристику фотодиода.
- 6.1.2 Снять темновую характеристику фототранзистора.
- 6.1.3 Снять сквозные характеристики оптрона.
- 6.1.4 Снять частотную характеристику оптрона.

6.2 Методические указания по исследованию оптрона

- 6.2.1 Установить печатную плату EB -113, которая содержит схему для исследования оптрона, в стенд PU 2000 от DEGEM system.
 - 6.2.3. Измерить сопротивления резисторов R_1 , R_2 и R_3 .

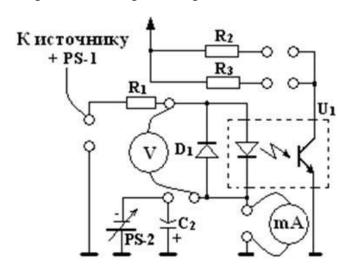


Рисунок 6.1 – Схема для снятия вольтамперной характеристики светодиода

6.2.3 Собрать схему для снятия вольтамперной характеристики светодиода $I_{c\partial}=f(U_{c\partial})$, показанную на рисунке 6.1. Повышая напряжение источника PS-1, снимать показания вольтметра и миллиамперметра, данные заносить в таблицу 6.1.

Таблица 6.1

U_{PS-1} , B	3	5	7	9	11
$U_{c\partial}$, B					
$I_{c\partial}$, MA					

6.2.4 Собрать схему для снятия темновой коллекторной характеристики фототранзистора $I_{\kappa} = f(U_{\kappa 9})$ при отсутствии тока светодиода, показанную на рисунке 6.2. Повышая напряжение источника PS-1 от 0 до 11 B, снимать показания вольтметра и миллиамперметра, данные заносить в таблицу 6.2.

Таблица 6.2

U_{PS-I}	1	3	5	7	9	11
U_{PS-I} , B						
U_{PS-I}						
$U_{\kappa 9}$, B						
I_{κ} , MA						

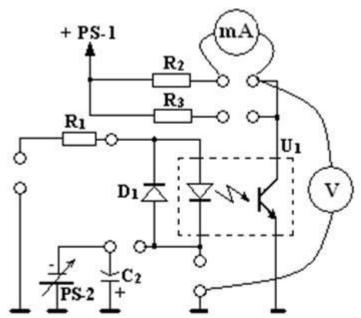


Рисунок 6.2 – Схема для снятия темновой коллекторной характеристики фототранзистора

6.2.5 Собрать схему, показанную на рисунке 6.3, и снять семейство сквозных характеристик фототранзистора $I_{\kappa} = f(U_{\kappa 9})$ при фиксированных значениях тока светодиода. Данные заносить в таблицу 6.3.

Таблица 6.3

$I_{c\partial}$,	I_{κ} , mA	I_{κ} , mA	I_{κ} , mA	I_{κ} , mA	I_{κ} , mA	I_{κ} , mA	I_{κ} , mA	I_{κ} , mA
mA	при	при	при	при	при	при	при	при
	I_{κ} , mA при $U_{\kappa 9}$ = $1B$	$U_{\kappa 9}=2B$	$U_{\kappa 9} = 3B$	$U_{\kappa_9}=4B$	$U_{\kappa 9} = 5B$	$U_{\kappa_9}=6B$	$U_{\kappa 9} = 7B$	$U_{\kappa_9}=8B$
3								
6								
10								
15								

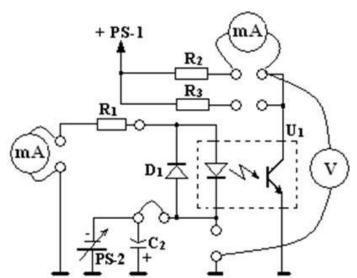


Рисунок 6.3 - Схема для снятия сквозных характеристик оптрона

6.2.6 Собрать схему (рисунок 6.4) для исследования частотных характеристик оптрона.

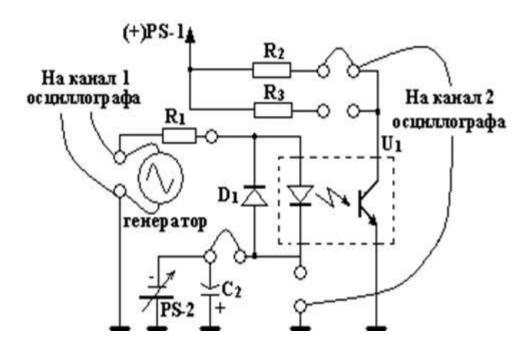


Рисунок 6.4 – Схема для снятия частотной характеристики оптрона

- 6.2.7 Подать от генератора сигнал треугольной формы на вход оптрона. Установить напряжение источника PS-1, равным 10 В. Варьируя напряжение источника PS-2, выбрать такую рабочую точку на характеристике светодиода, при которой сигнал на коллекторе фототранзистора будет не искаженным по форме.
 - 6.2.8 Форму сигнала от генератора поменять на синусоидальную.

Изменяя частоту генератора при постоянной величине входного сигнала, измерять величину сигнала на коллекторе фототранзистора, т.е. на выходе оптрона. Данные заносить в таблицу 6.4.

Таблица 6.4

f	10	100 Гц	1 кГц	10 кГц	50 кГц	100 кГц
	Гц					
$U_{e \iota \iota \iota}$, B						

6.3 Расчетное задание

- 6.3.1 Построить ВАХ светодиода $I_{co} = f(U_{co})$ по данным таблицы 6.1. Провести нагрузочные линии для сопротивления R1 и найти величины токов при различных напряжениях источника.
- 6.3.2 Построить темновую характеристику фототранзистора $I_{\kappa} = f(U_{\kappa \ni})$ по данным таблицы 6.2.

- 6.3.3 Построить семейство сквозных характеристик оптрона $I_{\kappa} = f(U_{\kappa_9})$ при различных токах светодиода по данным таблицы 6.3.
- 6.3.4 Провести нагрузочные линии для коллекторных сопротивлений R2 и R3.
- 6.3.5 Графическим способом определить коэффициент передачи оптрона $K = \Delta I_{\kappa}/\Delta I_{co}$.
- 6.3.6 С помощью семейства сквозных характеристик оптрона $I_{\kappa} = f(U_{\kappa 9})$ построить зависимости тока коллектора от тока фотодиода $I_{\kappa} = f(I_{co})$ при постоянных коллекторных напряжениях $U_{\kappa 9} = Const$.
- 6.3.7 Построить частотную характеристику оптрона по данным таблицы 6.4.

6.4 Контрольные вопросы

- 6.4.1 С какой целью для передачи электрического сигнала используется преобразование его в оптический сигнал и затем обратное преобразование оптического сигнала в электрический?
- 6.4.2 Какие существуют способы электрической развязки цепей, кроме опто-электрической развязки?
- 6.4.3 При каком включении светодиод излучает свет, прямом или обратном?
- 6.4.4 C какой целью встречно-параллельно светодиоду включается обычный диод?
 - 6.4.5 Чем отличается фототранзистор от обычного транзистора?
- 6.4.6 Чем в основном определяется величина коллекторного тока фототранзистора?
- 6.4.7 С какой целью при передаче двухполярного аналогового сигнала на светодиод подаётся ток постоянного смещения?
- 6.4.8 Чем объясняется завал частотной характеристики оптрона на высоких частотах: свойствами светодиода или фототранзистора?

7 Лабораторная работа №7. Исследование однофазных выпрямителей

Цель работы: изучение состава, основных показателей, принципа работы и исследование характеристик однофазных схем выпрямления при активной и активно емкостной нагрузках. Приобретение навыков измерения основных параметров и характеристик выпрямительных устройств.

7.1 Рабочее задание

- 7.1.1 Собрать схему однополупериодного выпрямителя.
- 7.1.2 Используя осциллограф, определить входное и выходное напряжения однополупериодного выпрямителя.

- 7.1.3 Использовать сгаживающий фильтр для наблюдения выходного напряжения выпрямителя.
 - 7.1.4 Определить величину пульсаций напряжения на нагрузке.
 - 7.1.5 Проделать пункты для двухполупериодного выпрямителя.
 - 7.1.6 Проделать пункты для мостовой схемы выпрямителя.
- 7.1.7 Определить выходное напряжение для двухполярного выпрямителя.
- 7.1.8 Определить влияние нагрузки и ее характера на величину пульсаций выходного напряжения.

Перечень используемого оборудования:

- − PU 2000 стенд;
- − EВ 141 печатная плата;
- 2-канальный осциллограф;
- генератор сигналов;
- мультиметр (DMM).

Введение

Для питания радиоэлектронных средств (РЭС) от сети переменного тока необходимо преобразовать переменный ток в постоянный. Для этого используют выпрямители. В этой работе исследуются схемы одно-, двухполупериодных и мостовых выпрямителей, производится измерения пульсации выпрямленного напряжения и определяется влияние характера нагрузки на работу схемы.

7.2 Порядок выполнения работы

Однополупериодный выпрямитель.

- 7.2.1 Вставьте плату EB-141 в стенд PU-2000.
- 7.2.2 Выберите схему, которая имеет вход "SIG IN", она расположена в левом верхнем углу печатной платы.
- 7.2.3 Подключите генератор сигналов к "SIG IN" клемме, подайте синусоидальное напряжение с частотой 100 Гц, на вход трансформатора выпрямителя.
- 7.2.4 Соединить среднюю точку обмотки трансформатора T1 через резистор R21 с землей, согласно рисунку 7.1.
- 7.2.5 На вход канала 1 осциллографа подать сигнал с обмотки N1 трансформатора, согласно схеме 7.1.
- 7.2.6 Установить уровень сигнала от генератора таким, чтобы получить напряжение с обмотки N1, равное 14B от пика до пика, то есть 4,9B действующего значения (UN1).
- 7.2.7 Соединить выход выпрямителя сигнал с клеммы резистора R1 с входом канала 2 осциллографа, как показано на схеме 7.1. При измерениях

оба канала должны иметь одинаковое усиление и находиться в положении "DC" (измерение постоянных сигналов).

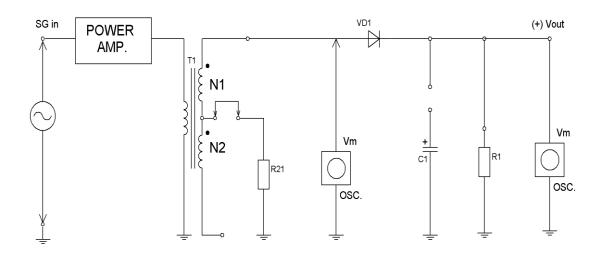


Рисунок 7.1– Схема однополупериодного выпрямителя

- 7.2.8 Снимите формы входного и выходного напряжений выпрямителя UN1=f(t) и UR1=f(t) в виде графиков. Измерьте разность амплитуд между UN1 и UR1, обусловленную наличием диода VD1.
- 7.2.9 Напряжение со средней точки обмотки T1, т.е. с резистора R21, подать на вход канала 1 осциллографа.
- 7.2.10 Снимите форму напряжения на R21, UR21=f(t) в виде графика (напряжение в средней точке обмотки). Определить ток через резистор R21 из соотношения:

$$I_{R1} = \frac{U_{R21}}{R_{21}},\tag{7.1}$$

где R₂₁=10 Ом.

Внимание: сигналы имеют отрицательную полярность, так как ток через R_{21} течет на землю.

- 7.2.11 Соединить конденсатор С1 параллельно R1.
- 7.2.12 Снять формы напряжений на входе и выходе выпрямителя UN1=f(t) и UR1=f(t) в виде графика (формы выходного напряжений однополупериодного выпрямителя с емкостным фильтром).
- 7.2.13 Установить второй канал осциллографа положение "AC" и увеличить чувствительность, чтобы можно было бы измерить пульсации напряжения.
- 7.2.14 Снимите форму пульсации выходного напряжения $U_{\text{пульс.}}=f(t)$ в виде графика (форму пульсаций напряжения однополупериодного выпрямителя). Измерьте и запишите.

$$U_{\text{пульс}} = \dots B$$
 (от пика до пика).

- 7.2.15 Установить обратно канал 2 осциллографа в положение "DC". Соединить канал 1 осциллографа с измеряемым напряжением на R21, т.е. к средней точке N1 обмотки трансформатора.
- 7.2.16 Снимите форму напряжения на R21 в виде графика (форма напряжения (тока) на средней точке обмотки).
 - 7.2.17 Отсоединить конденсатор.

Двухполупериодный выпрямитель со средней точкой.

7.2.18 Собрать схему, приведенную на рисунке 7.2.

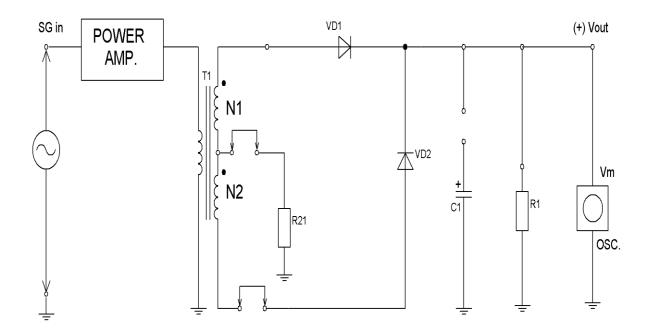


Рисунок 7.2 – Схема двухполупериодного выпрямителя со средней точкой

- 7.2.19 Снимите форму выходного напряжения выпрямителя $U_{\text{вых}}$.=f(t) в виде графика.
- 7.2.20 Проделать пункты для схемы рисунка 7.2. Снимите форму пульсации выпрямленного напряжения, а также форму напряжения на резисторе R21. Измерить постоянное составляющие напряжения на выходе выпрямителя:

$$U_{\text{вых.пост.}} = \dots B;$$

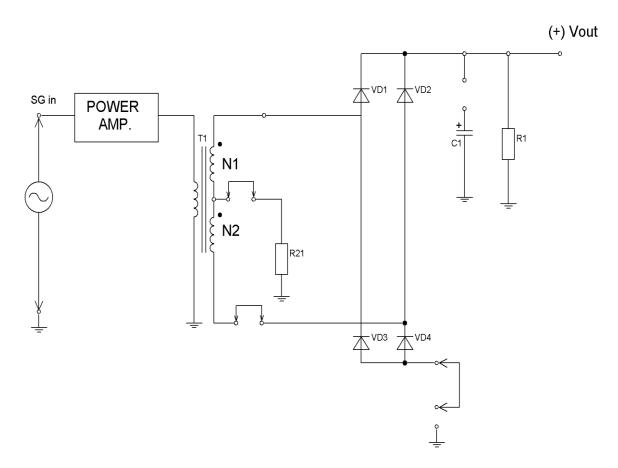
 $U_{\text{пульс.}} = \dots B.$

Мостовой выпрямитель.

7.2.21 Снимите форму выходного напряжения на резисторе R1 (выходное напряжение мостового выпрямителя).

Внимание: пиковое напряжение равно 14 В, оно меньше на 1,2 В из-за падения его на двух диодах.

- 7.2.22 Подключить конденсатор C1. Каким будет выходное напряжение $U_{\text{вых}}.?$
 - 7.2.23 Собрать схему, приведенную на рисунке 7.3.

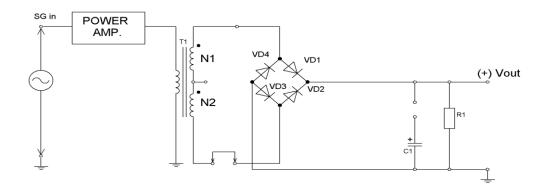


а) реальная схема на плате; б) обычное начертание схемы. Рисунок 7.3 – Схема мостового выпрямителя

Двухполярный выпрямитель.

Данная схема позволяет получить на выходах два одинаковых по величине, но разных по знаку напряжения относительно земли.

7.2.23 Собрать схему, приведенную на рисунке 7.4.



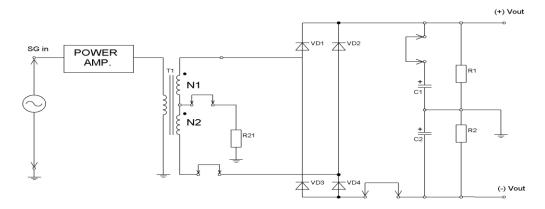


Рисунок 7.4 – Схема двухполярного выпрямителя

7.2.24 Снимите напряжения на конденсаторах C1 и C2 (выходные напряжения двухполярного выпрямителя).

Влияние нагрузки на выпрямитель.

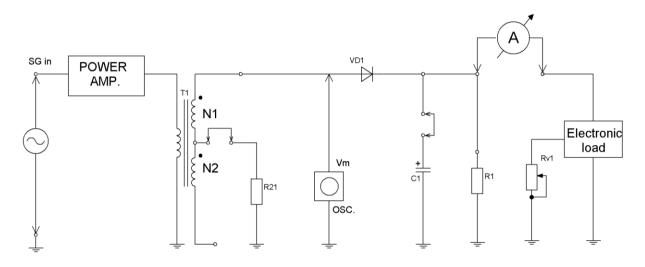


Рисунок 7.5 — Схема однополупериодного выпрямителя с переменной нагрузкой

- 7.2.25 Собрать схему, приведенную на рисунке 7.5.
- 7.2.26 С помощью потенциометра (переменный резистор RV1) установить минимальное значение тока, вращая его ручку до конца против часовой стрелки.
- 7.2.27 Измерить осциллографом пульсации напряжения на нагрузке (от пика до пика) и записать в таблицу 7.1 (влияние нагрузки на выпрямитель).

Таблица 7.1

I, MA	0	2.5	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20	25
U _{пульс.} , В										

- 7.2.28 Вращать потенциометр по часовой стрелке, получая токи, указанные в таблице.
- 7.2.29 Для каждого значения тока измерить пульсации и заносить в таблицу.
- 7.2.30 Начертить график изменения напряжения пульсации в зависимости от тока нагрузки.
- 7.2.31 Вставить слова в следующие фразы: а) в однополупериодном выпрямителе пульсации (больше, меньше), чем у двухполупериодного выпрямителя. Почему? б) С увеличением тока нагрузки пульсации (растут, уменьшаются).
- 7.2.32 Составить и оформить отчет по работе в соответствии с требованиями фирменного стандарта.

7.3 Контрольные вопросы

- 7.3.1 Что такое выпрямление электрических колебаний? На каком принципе осуществляется выпрямление?
 - 7.3.2 Что называется выпрямителем?
 - 7.3.3 Что называется однополупериодным выпрямителем?
 - 7.3.4 Что называется двухполупериодным выпрямителем?
 - 7.3.5 Что такое выпрямитель на мостовой схеме?
 - 7.3.6 Что такое нагрузочная (внешняя) характеристика выпрямителя?
- 7.3.7 Что следует из сравнения нагрузочных (внешних) характеристик выпрямителей?
- 7.3.8 Из каких элементов состоит выпрямитель и каково назначение этих элементов?
- 7.3.9 Какими основными параметрами характеризуется выпрямительные диоды?
 - 7.3.10Что называется коэффициентом пульсаций выпрямителя?
- 7.3.11Что называется коэффициентом использования трансформатора в выпрямительной схеме?
 - 7.3.12Что называется коэффициентом полезного действия выпрямителя?
 - 7.3.13 Что называется частотой пульсаций выпрямителя?
- 7.3.14 Какими составляющими можно представить пульсирующее напряжение на выходе выпрямителя?
- 7.3.15 Какие факторы определяют величину напряжения пульсации на выходе выпрямителя?
- 7.3.16 Какие гармоники переменной составляющей выпрямленного напряжения оказывают большее мешающее действие?
- 7.3.17 Что такое коэффициент сглаживания фильтра и как его рассчитывают?
 - 7.3.18 Что такое коэффициент фильтрации и как его рассчитывают?
- 7.3.19 Привести основные соотношения для однофазных выпрямителей при их работе на различные типы нагрузок.

- 7.3.20 Объяснить работу схем выпрямлений на различные виды нагрузок.
- 7.3.21 Объяснить зависимости коэффициента пульсации от характера нагрузки (R, L, C).
- 7.3.22 Объяснить осциллограммы кривых токов и напряжений в характерных точках схем выпрямления.

8 Лабораторная работа №8. Транзисторный стабилизатор

Цель работы: изучение принципа действия и экспериментальное исследование характеристик транзисторного стабилизатора напряжения постоянного тока.

После выполнения лабораторной работы вы сможете:

- собирать основную схему транзисторного стабилизатора;
- измерить выходное постоянное напряжение;
- подсоединять электрическую нагрузку к стабилизатору;
- использовать осциллограф для определения выходного напряжения стабилизатора;
- определять изменение выходного напряжения в зависимости от нагрузки;
- определять характеристики стабилизатора с обратной связью и токовым ограничителем.

Перечень используемого оборудования:

- PU − 2000 стенд;
- ЕВ − 141 печатная плата;
- 2-канальный осциллограф;
- генератор сигналов;
- мультиметр.

Введение

Большие пульсации напряжения и непостоянство напряжения однодвухполупериодных и мостовых выпрямителей ограничивает их применение. В этой работе Вы определяете характеристики основной схемы транзисторного стабилизатора, который используется для улучшения выходных характеристик.

8.1 Порядок выполнения работы

Основная схема транзисторного стабилизатора.

8.1.1 Вставить плату EB-141 в стенд PU-2000.

- 8.1.2 Найти схему, у которой есть вход "SIG IN", эта схема в верхнем левом углу платы.
- 8.1.3 Подключить генератор к входу "SIG IN", установить синусоидальное колебание с частотой 100 Гц.
- 8.1.4 Подключить Мультиметр к вторичной обмотке трансформатора, как показано на рисунке 8.1.

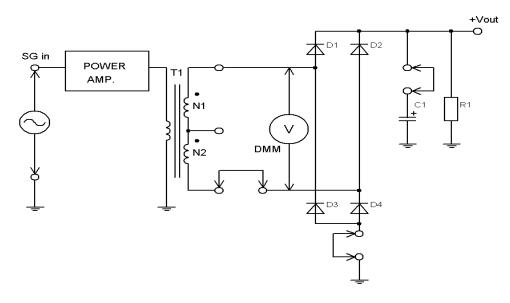


Рисунок 8.1 – Схема нестабилизированного мостового выпрямителя

- 8.1.5 Установить амплитуду входного напряжения $U_{\text{вх}}$ =9.8 В.
- 8.1.6 Собрать схему по рисунку 8.1: эта схема расположена за трансформатором.
 - 8.1.7 Найти схему, которая содержит трансформатор Q₁.
 - 8.1.8 Собрать схему, приведенную на рисунке 8.2.

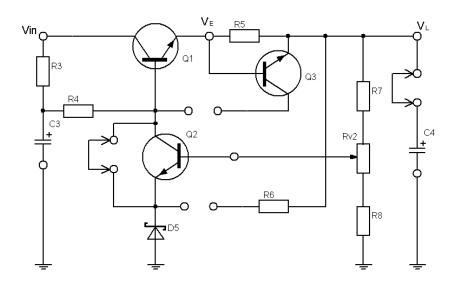


Рисунок 8.2 – Схема транзисторного стабилизатора

- 8.1.9 Соединить выход выпрямителя с входом транзисторного стабилизатора.
- 8.1.10 Измерить выходное постоянное напряжение стабилизатора, записать $U_{\text{вых}}$, напряжение на стабилитроне.
- 8.1.11 Измерить пульсации переменного напряжения на выходе стабилизатора осциллографом, записать $U_{\text{вых}}$ (от пика до пика).
- 8.1.12 Определить место нахождения электронной нагрузки по рисунку 8.3.
 - 8.1.13 Повернуть потенциометр R_{V1} против часовой стрелки.
 - 8.1.14 Соединить электронную нагрузку к выходам стабилизатора.
- 8.1.15 Подключить амперметр для измерения тока через нагрузку, как показано на рисунке 8.3, установить ток -2.5 мА.

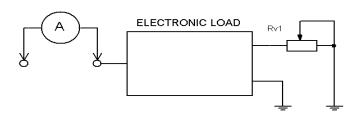


Рисунок 8.3 – Схема электронной нагрузки

8.1.16~ Подключить осциллограф; измерить U_L , U_E (на эмиттере) и записать в таблицу 1.

П	Π.	ے				O	1
	\mathbf{a}	()	ΤИ	П	v	Χ	- 1

	70011112	-						
I_L , MA	0	2.5	5	10	15	20	25	30
U _L , B								
U_E, B								

8.1.17 Устанавливать нагрузочный ток при помощи R_{V1} и записывать напряжение U_L , U_E для разных значений тока I_L в таблицу 8.1.

Внимание: нулевой ток соответствует выключенной электронной нагрузке.

- 8.1.18 Построить график, U_L , U_E как I_L , (нагрузочные характеристики стабилизатора).
- 8.1.19 Измерить и записать уровень переменного напряжения при нагрузке I_L =30 мA для U_E и U_L ;
 - 8.1.20 Какое напряжение более стабилизировано U_E или U_L , почему?

Транзисторный стабилизатор с ограничителем тока.

8.1.21 Соединить коллектор Q_3 с R_4 перемычкой для получения схемы ограничителя тока, смотрите рисунок 8.2.

- 8.1.22 Отключить нагрузку и повторить пункты 8.1.10-8.1.11, записать выходное напряжение стабилизатора, напряжение на стабилитроне и напряжение пульсации (от пика до пика).
 - 8.1.23 Повторить пункты 8.1.12-8.1.15;
- 8.1.24 Измерить напряжение U_E , U_L осциллографом и записать в таблицу 8.2 (напряжение и ток стабилизатора с ограничителем).

Таблица 8.2

I _L , MA	0	2.5	5	10	15	20	25	30
U_{R5} , B								
U_L, B								
U _E , B								

- 8.1.25 Измерить вольтметром падение напряжения на R_5
- 8.1.26 Установить ток, используя R_{V1} , и записать результаты измерений в таблицу 8.2.
 - 8.1.27 Построить график $U_L = f(I_L)$.
- 8.1.28 Оказывает ли ограничитель тока воздействие на стабилизацию в точках $U_{\rm E}$ и $U_{\rm L}$.

Всегда ли верно это выражение $I_L = \frac{U_{R5}}{R_5}$ для тока нагрузки?

Транзисторный стабилизатор с обратной связью.

8.1.29 Собрать схему транзисторного стабилизатора с обратной связью и с ограничителем тока по рисунку 8.4.

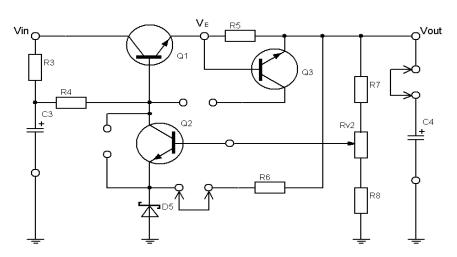


Рисунок 8.4 – Схема транзисторного стабилизатора с обратной связью

- 8.1.30 Подключить мультиметр для измерения $U_{\mbox{\tiny BЫX}}.$
- $8.1.31~\mathrm{B}$ этой схеме Вы можете менять выходное напряжение $U_{\mathrm{вых}}$, поворачивая потенциометр R_{V2} . При полном повороте по часовой стрелке будет максимальное входное напряжение.

Записать выходное напряжение $U_{\text{макс.вых.}}$ (B).

- 8.1.32 Подключить осциллограф к выходу стабилизатора, измерить пульсации от пика до пика $U_{\text{пульс}...}(B)$.
 - 8.1.33 Повернуть потенциометр R_{V2} против часовой стрелки до конца.

Записать $U_{\text{мин.вых.}}$ (B).

- 8.1.34 Измерить пульсации и записать.
- 8.1.35 Подключить электронную нагрузку к выходу. При этом потенциометр должен быть $R_{\rm V2}$ полностью против часовой стрелки (мин.нагрузки).
- 8.1.36 Установить R_{V1} для получения 5 мА тока нагрузки и измерить напряжение на нагрузке, записать в таблицу 8.3 (напряжение и ток стабилизатора с обратной связью).

Таблица 8.3

I _L , MA	0	5	10	20	30
U_L , B					

- 8.1.37 Медленно поворачивая потенциометр нагрузки по часовой стрелке, записывать U_L для каждого значения I_L ; I_L =0 соответствует отключенной нагрузке.
- 8.1.38 Построить график $U_L = f(I_L)$, (нагрузочная характеристика улучшенного транзисторного стабилизатора, для минимизации напряжения).
- 8.1.39 Установить потенциометр R_{V2} на максимальное напряжение и установить ток I_L =5 мА. Измерить напряжение на нагрузке и записывать значения в таблицу 8.4 (ток и напряжение стабилизатора с обратной связью при максимальном выходном напряжении).

Таблица 8.4

I _L , MA	0	5	10	20	30
U_L, B					

8.1.40 Повторить пункт 8.1.39 и построить график (нагрузочная характеристика улучшенного стабилизатора для максимального выходного напряжения).

Сравнить нагрузочные характеристики между собой.

Сравните стабилизатор с обратной связью с основной схемой. Какая из них лучше и почему?

8.2 Контрольные вопросы

- 8.2.1 Что такое стабилизатор напряжения и стабилизатор тока?
- 8.2.2 Какое применение в стабилизаторе напряжения находит стабилитрон?
 - 8.2.3 Какими зависимостями характеризуется свойства стабилизаторов?

- 8.2.4 Что такое коэффициент стабилизации?
- 8.2.5 На каком принципе работает стабилизатор напряжения?
- 8.2.6 Что такое параметрический стабилизатор напряжения?
- 8.2.7 Какими параметрами характеризуется стабилизаторы напряжения и тока?
 - 8.2.8 Как определяется экспериментально коэффициент стабилизации?
 - 8.2.9 Какие стабилизаторы напряжения на ИМС вы знаете?

9 Лабораторная работа №9. Интегральный стабилизатор напряжения

Цель работы:

- подсоединить схему стабилизатора фиксированного напряжения к электронной нагрузке;
- использовать осциллограф для определения напряжения пульсации на выходе схемы интегрального стабилизатора;
 - измерять выходное постоянное напряжение для различных нагрузок;
 - определять стабилизацию напряжения для различных нагрузок;
- построить график, который показывает, как изменяется стабилизация напряжения при изменении напряжения нагрузки;
- определять, как изменяется выходной постоянный ток при изменении тока нагрузки;
- построить характеристическую кривую $U_L I_L$ выходного напряжения стабилизатора;
- разбираться в работе стабилизатора, когда он подключен в качестве электронной нагрузки.

Перечень используемого оборудования:

- PU-2000-компьютеризированная система для изучения электроники;
- печатная плата EB-141;
- двухканальный осциллограф;
- генератор сигналов;
- цифровой универсальный измерительный прибор (ЦУИП).

Введение

Стабилизаторы напряжения на интегральных схемах были разработаны стабилизации напряжения электронных улучшения В схемах. Интегральный стабилизатор напряжения LM 317, который вы будете этой лабораторной работе, будет применяться использовать фиксированного и регулируемого выходного напряжения. В предыдущей лабораторной работе вы использовали этот стабилизатор в качестве регулируемой электронной нагрузки.

9.1 Порядок выполнения работы

Стабилизатор фиксированного напряжения.

- 9.1.1 Вставить плату EB-141 в стенд PU-2000.
- 9.1.2 Найти схему, которая содержит вход «SIG IN». Эта схема расположена на верхнем левом углу платы.
- 9.1.3 Подключить генератор сигналов к входу «SIG IN». Установить на генераторе синусоидальный сигнал с частотой 100 Гц.
- 9.1.4 Подключить цифровой мультиметр на вход схемы интегрального стабилизатора, расположенной около трансформатора Т1. Мультиметр должен быть соединен с обеими вторичными обмотками Т1.
- 9.1.5 Установить амплитуду входного сигнала $U_{\text{вx}}$ =28 В (9.8 В действующего напряжения).
 - 9.1.6 Разъем С1 соединить и собрать схему 9.1.

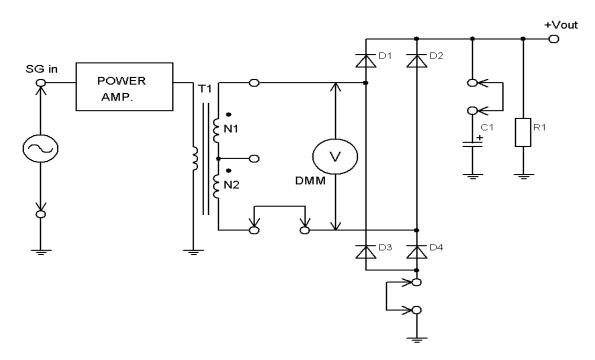


Рисунок 9.1 – Схема нестабилизированного мостового выпрямителя

- 9.1.7 Найти схему, которая содержит ЧИП, называемый «Интегральный стабилизатор». Эта схема расположена в центре печатной платы.
 - 9.1.8 Собрать схему на рисунке 9.2.

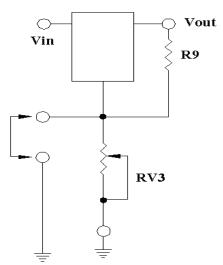


Рисунок 9.2 – Интегральный стабилизатор напряжения LM317

- 9.1.9 Подключить выход нестабилизированного мостового выпрямителя к входу LM317.
- 9.1.10 Подключить вольтметр в режиме DC к выходу стабилизатора, заполнить таблицу.

Таблица 9.1

	U _{вых} , В (на пост.)	U _{пульс} , мВ (на перем.) (от пика до пика)
R _L не подсоединен		
$R_{L} = R_{16}$		
$R_L = R_{21}$		

- 9.1.11 Измерить постоянное напряжение на выходе и заполнить таблицу 9.1.
- 9.1.12 Подключить R_{16} из схемы «step-up Switching Reg» (Импульсный регулятор) на выход интегрального стабилизатора и записать постоянное напряжение в таблицу (в строку $R_L = R_{16}$).
 - 9.1.13 Повторить то же самое для $R_L = R_{21}$.
- 9.1.14 Подключить к выходу стабилизатора осциллограф и измерить напряжение пульсации переменного тока, записать в таблицу 9.1.
 - 9.1.15 Повторить для различных $R_{\rm L}$.

Стабилизатор переменного напряжения.

- 9.1.16 Убрать переходник, который замыкает R_{v3} .
- 9.1.17 Настроить потенциометр R_{v3} так, чтобы на нагрузке было 9 В.
- 9.1.18 Подключить электронную нагрузку и крутить R_{v1} до конца по часовой стрелке (максимальная нагрузка).
- 9.1.19 Измерить постоянное напряжение на нагрузке и записать в таблицу 9.2.

Таблица 9.2

U_{Lmax} , (B)	9	8	7	6	5	4	2
U_{Lmin} , (B)							
ΔU , (B)							
$(\Delta U/U)100\%, (B)$							

- 9.1.20 Повторить пункты для всех значений U_{Lmax} , указанных в таблице 9.2.
 - 9.1.21 Вычислить $\Delta U = U_{Lmax} U_{Lmin}$ и записать значения в таблицу 9.2.
- 9.1.22 Вычислить коэффициент стабилизации $K_{CT} = (\Delta U/U)100\%$, (%) и записать значения в таблицу 9.2.
- 9.1.23 Построить график зависимости коэффициента стабилизации напряжения от $U_{L max}$.
 - 9.1.24 Завершить предложение:

увеличение U_{Lmax} ...(улучшает (ухудшает)) стабилизацию напряжения.

- 9.1.25 Крутить потенциометр R_{v1} до конца против часовой стрелки.
- 9.1.26 Изменяя R_{v3} , установить 5B постоянного тока на клеммах нагрузки. Записать значения в таблицу 9.3.

Примечание: 0 мА достигается размыканием электронной нагрузки.

Таблица 9.3

I _L , MA	0	5	10	20	30
U_L, B	5				

- 9.1.27 Подключить амперметр для измерения тока нагрузки и записать значение в таблицу 9.3.
- 9.1.28 Регулируя R_{v1} по часовой стрелке, установить ток нагрузки I_L =5 мA.
 - 9.1.29 Измерить U_L и записать в таблицу 9.3.
 - 9.1.30 Повторить пункты 9.1.26-9.1.29, пока ток не достигнет 30 мА.
- 9.1.31 Измерить U_L и I_L при полностью повернутом по часовой стрелке потенциометра $R_{\nu 1}$ и записать U в таблицу 9.3.
 - 9.1.32 Построить график $U_L = f(I_L)$.

Для токов до 30 мА стабилизация(хорошая, плохая).

- 9.1.33 Разомкнуть электронную нагрузку и наблюдать за результатом. Подключить вольтметр к R_9 и измерить падение напряжения: U_{R9} (5 В или 1.25 В).
- 9.1.34 Закоротить R_{v3} (две закоротки слева). $U_{\text{вых.}}$ (5 В или 1.25 В).

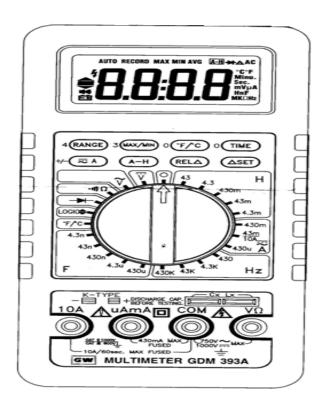
Результаты, полученные в пунктах, показывают то, как работает электронная нагрузка: она использует постоянное падение напряжение 1.25 В и изменение сопротивления, при постоянном напряжении приводит к изменению тока.

10 Лабораторная работа. Измерение физических величин на постоянном токе

Цель работы: изучить и освоить принципы, способы, методы и средства измерения электрического напряжения, тока, мощности и сопротивления на постоянном токе, освоить метрологические методы обработки и представления результатов измерения.

В качестве средства измерения использовать мультиметр.

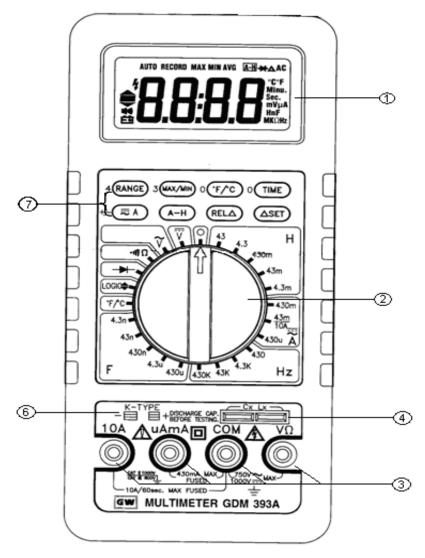
Назначение - мультиметр цифровой GDM-393A является многофункциональным.



Функциональные возможности:

- 1) Измерение постоянного и переменного напряжения и тока.
- 2) Измерение ср.кв. значения синусоидального сигнала (RMS).
- 3) Измерение сопротивления, индуктивности, емкости, частоты, температуры.
 - 4) Испытание p-n переходов.
 - 5) Звуковая прозвонка цепей.
 - 6) Тестирование логических элементов.
 - 7) Цифровая шкала.
 - 8) Автоудержание показаний.
 - 9) Регистрация min/max значений.
 - 10) Вычисление среднего значения.
 - 11) Δ -измерения, задание опорного уровня для Δ -измерений.
 - 12) Таймер длительности измерения.

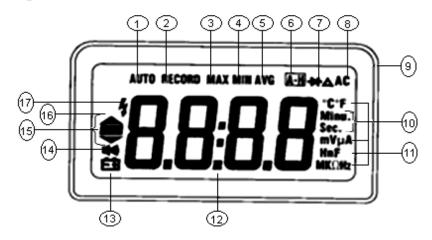
- 13) Автоматическая установка нуля.
- 14) Автоматический выбор предела измерения.
- 15) Ручной выбор предела измерения.
- 16) Индикация полярности, индикация превышения предела измерения, индикация опасного напряжения.
- 17) Звуковое предупреждение (для защиты токового измерительного входа).
 - 18) Индикация разряда источника питания.
 - 19) Автоматическое выключение питания.
 - 20) Защита измерительного входа.
 - 21) Ударопрочное исполнение, защитный чехол с подставкой.



На рисунке показаны органы управления и индикации передней панели:

- 1 ЖК дисплей.
- 2 Переключатель режимов измерения.
- 3 Измерительные гнезда (U, I, R, f).
- 4Γ нездо для измерения индуктивности и емкости (L, C).
- 6 Гнездо для подключения датчика температуры.
- 7 Набор функциональных клавиш.

Переключатель режимов GDM-393A (используется для задания режима и предела измерения.



- 1 Индикатор автоматического выбора предела измерения.
- 2 Индикатор режима записи в память.
- 3 Индикатор режима измерения максимального значения.
- 4 Индикатор режима измерения минимального значения.
- 5 Индикатор режима усреднения результатов измерения.
- 6 Индикатор режима автоматического удержания показания.
- 7 Индикатор режима проверки р-п переходов.
- 8 Индикатор режима относительных измерений (Д-измерений).
- 9 Индикатор режима измерения переменной составляющей.
- 10 Индикаторы режимов индикации встроенного таймера (часы:минуты/минуты:секунды).
 - 11 Индикаторы единиц измерения.
 - 12 Цифровая шкала.
 - 13 Индикатор разряда батареи.
 - 14 Индикатор режима звуковой прозвонки цепей.
 - 15 Индикатор полярности.
 - 16 Индикаторы режима логического тестирования.
 - 17 Индикатор опасного напряжения на измерительном входе.

Назначение органов управления и индикации

Название органа управления/индикации	Перевод		
Органы управления			
RANGE	Предел измерения		
MAX/MIN	Максимальное/минимальное значение		
TIME	Текущее время		
A-H (auto hold)	Автоматическое удержание результата измерения		
REL Δ	Относительные измерения		
Δ SET	Задание уровня относительных измерений		

H (Henry)	Генри (единица измерения индуктивности)		
LOGIC	Тестирование логической схемы		
	•		
>	Проверка р-п перехода		
	Звуковая прозвонка цепи		
DUTY (duty factor)	Коэффициент заполнения периода		
	следования импульсов (величина обратная		
	скважности)		
h_{FE}	Коэффициент передачи тока транзистора		
	(h_{21})		
EBCE	Эмиттер-База-Коллектор-Эмиттер		
K-TYPE	Датчик температуры К-типа		
O (off)	Выключено		
COM (common)	Общий вывод		
Органы индикации			
AUTO	Режим автоматического выбора предела		
RECORD	Режим записи результатов измерения в		
	память		
MAX MIN	Режим измерения		
	максимальных/минимальных значений		
AVG (average)	Режим усреднения результатов измерения		
A-H (auto hold)	Режим автоматического удержания		
	показаний		
AC (alternating current)	Переменный ток		
DC (direct current)	Постоянный ток		

Орган индикации	Значение	Орган индикации	Значение
n	Нано (10 ⁻⁹)	Ω	Ом
μ	Микро (10 ⁻⁶)	V	Вольт
m	Мили (10 ⁻³)	A	Ампер
k	Кило (10^3)	F	Фарад
M	Мега (10 ⁶)	Hz	Герц
°F	Градус по Фаренгейту	Н	Генри
°C	Градус по Цельсию	Minu./Sec.	Минуты/Секунды

- Оборудование:

 центральный процессор PU-2000;

 печатная плата EB-101;
- мультиметр.

10.1 Порядок выполнения работы

- 10.1.1 Вставьте печатную плату EB-101 в центральный процессор PU-2000.
- 10.1.2 Установите источник питания PS-1, PS-2 в нулевое значение, то есть поверните ручку регулятора в крайнее положение в направлении против часовой стрелки. Источник питания PS-1, PS-2 будет использоваться для обеспечения напряжения в этой лабораторной работе.
- 10.1.3 Присоедините источник питания PS-1 к лампочке L1, как показано на рисунке 10.1а.

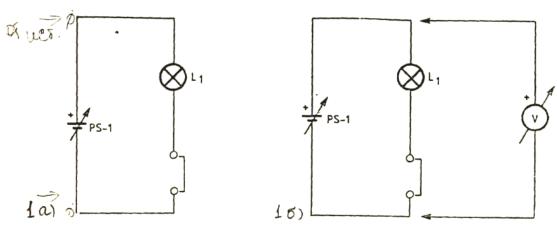


Рисунок 10.1

10.1.4 Поверните регулятор напряжения источника питания PS-1 по часовой стрелке до крайнего положения. Наблюдайте за яркостью свечения лампочки.

Измерение напряжения.

10.1.5 Мультиметр переключите в режим вольтметра и в положение постоянного тока (DC). Подключите вольтметр параллельно к лампочке L1, как показано на рисунке 10.1б. Измерьте и запишите напряжение на лампе.

Таблица 10.1

Ручка регулятора напряжения (PS-1)				
Крайнее положение по	Сраниза положания	Крайнее положение		
часовой стрелке	Среднее положение	против часовой стрелки		
$U_{L{ t Make}}$	$ m U_{ m Lcpeg.}$	U _{Lмин.}		
Яркость свечения лампочки				

10.1.6 Отсоедините мультиметр от цепи.

Измерение тока.

10.1.7 Мультиметр переключите в режим амперметра, в положение постоянного тока (DC) и диапазон измерения до 200 мА. Подключите амперметр последовательно по цепи на разрыв к лампочке L1, как показано на рисунке 10.2. Измерьте и запишите ток, текущий через лампу.

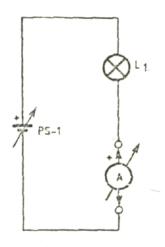


Рисунок 10.2

Таблица 10.2

1				
Ручка регулятора напряжения (PS-1)				
Крайнее положение по	Сполимо положения	Крайнее положение		
часовой стрелке	Среднее положение	против часовой стрелки		
I _{Lmakc} .	${ m I}_{ m Lcpeg.}$	${ m I}_{ m L_{MUH.}}$		
Яркость свечения лампочки				

10.1.8 Отсоедините мультиметр от цепи.

Измерение сопротивления.

10.1.9 Мультиметр переключите в режим омметра, и диапазон измерения до 200 Ом. Подключите омметр параллельно к лампочке L1, как показано на рисунке 10.3. Измерьте и запишите значения сопротивления.

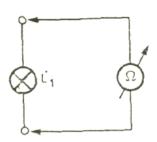


Рисунок 10.3

Измерение мощности, выделяемой на сопротивлении.

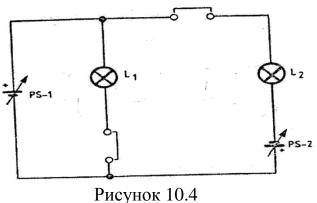
Мощность, выделяемая на сопротивлении, представляет собой произведение величин тока и напряжения. Мощность обычно измеряется в ваттах (Вт). Существуют три основных уравнении для определения мощности: $P=U\cdot I$.

С помощью алгебраических преобразований мы можем комбинировать уравнения закона Ома, образуя уравнения, которые связывают мощность с величиной сопротивления:

$$P=I^2R$$
;
 $P=U^2/R$.

Яркость свечения лампочки определяется, главным образом, мощностью, которая преобразуется в лампочке, в световую мощность из электрической. В данном эксперименте Вы будете показывать, что мощность определяется умножением величин тока на напряжение. Вы будете использовать две лампочки с различным сопротивлением и сравнивать их яркость. Когда выделяемая на них мощность одинакова, они будут иметь одинаковую яркость.

10.1.10 Переведите оба источника питания в положение, соответствующее напряжению, равному 0 вольт. Соберите цепь, показанную на рисунке 10.4.



10.1.11 Увеличивайте напряжение источника питания PS-1 до тех пор, пока лампочка L1 не начнет светиться. Измерьте напряжение на лампочке L1, а затем ток, протекающий через лампочку L1. Запишите эти значения в таблицу.

Таблица 10.4

1000111140 1011				
Лампа, L1				
U, B	І, мА	Р, Вт		

10.1.12 Теперь увеличьте напряжение источника питания PS-2 только до тех пор, пока лампочка не начнет накаливаться до той же самой яркости, что и

яркость лампочки L1. Измерьте напряжение на лампочке L2 и значения тока, проходящего через нее. Значения запишите в таблицу.

Таблица 10.5

Лампа, L2				
U, B	I, MA	Р, Вт		

10.1.13 Увеличивайте напряжение на лампочке L1 шаговым методом, как показано в таблице, регулируя (подстраивая) напряжение на лампочке L2 для того, чтобы обеспечить такую же яркость, что и яркость лампочки L1. Для каждого шага запишите значение тока через лампочки L1 и 2 и напряжение на них. Запишите все измеренные величины в таблицу 10.6.

Таблица 10.6

	Лампа, L1			Лампа, L2	
U, B	I, MA	Р, Вт	U, B	I, MA	P, BT
5					
6					
7					
8					
9					
10					

- 10.1.14 Возвратите оба источника питания в положение, соответствующее напряжению 0 вольт и разомкните цепь.
- 10.1.15 Используя формулы, рассчитайте мощность для каждого значения напряжения, для обеих лампочек.

10.2 Контрольные вопросы

- 10.2.1 Классы точности средств измерения. Определение, назначение способы выражения.
- 10.2.2 Определите понятия основной и дополнительной погрешности средств измерений. Как эти погрешности связаны со значениями влияющих величин?
- 10.2.3 Как задается класс точности омметра. Почему? Как найти абсолютную погрешность измеряемого сопротивления?
- 10.2.4 Какие измерения называются косвенными? Как определяется абсолютная и относительная погрешности косвенных измерений?
- 10.2.5 Принцип работы омметра с магнитоэлектрическим измерительным прибором. Последовательная и параллельная схема. Уравнение шкалы.

- 10.2.6 Что такое приведенная погрешность, как она находится? Какое значение она имеет для средств измерения?
- 10.2.7 Расскажите о преимуществах и недостатках прибора магнитоэлектрической системы. Приведите уравнение шкалы.
- 10.2.8 Класс точности прибора определен цифровой в кружочке. Что он характеризует и какой погрешностью определяется?

11 Лабораторная работа №11. Делители напряжения и тока

Цель работы: ознакомиться с принципом работы делителя напряжения и тока. Рассчитать значения напряжения, используя правило деления напряжения и тока, и подтвердить правило (принцип) деления напряжения посредством измерений. Отыскивать и устранять повреждение делителей напряжения и тока.

Оборудование:

- центральный процессор PU-2000;
- печатная плата EB-101;
- мультиметр.

Введение

Делитель напряжения представляет собой сеть сопротивлений, которую используют для уменьшения входного напряжения до более низких значений. Формула для расчета выходного напряжения представляет собой

 $U_{\text{вых}}$ =(Сопротивление на котором измеряется выход/Общее сопротивление цепи)* $U_{\text{вход.}}$

11.1 Порядок выполнения работы

Делители напряжения.

- 11.1.1 Вставьте печатную плату ЕВ-101 в центральный процессор РU-2000.
- 11.1.2 Установите оба источника питания на напряжение 0 вольт. Соедините резисторы R_7 и R_8 как делитель напряжения, как показано на рисунке 11.1.

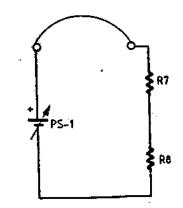


Рисунок 11.1

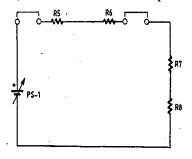
- 11.1.3 Замерьте значения сопротивления R_7 и R_8 .
- 11.1.4 Установите источник питания PS-1 на напряжение 7.5 В. Используйте мультиметр для измерения напряжения от источника питания и напряжения на резисторе R_8 . Запишите оба показания.

$$U_{\text{входа}} = U_{\text{R8}} =$$

11.1.5 Используя формулу для делителя напряжения, рассчитайте теоретически выходное напряжение, применяя R_8 для выходного сопротивления и R_7+R_8 для общего сопротивления.

Расчетное выходное напряжение =
$$\frac{R_8}{R_7 + R_8} U_{exo\partial a}$$
.

- 1. Вновь установите источник питания на напряжение 0В и разорвите цепь.
- 2. Соберите цепь, как показано на рисунке 2, образуя делитель напряжения, включающего 4 резистора.



- 3. Замерьте значения сопротивления R_5 и R_6 .
- 4. Отрегулируйте источник питания PS-1 на значение 8B, замерьте и запишите выходное напряжение делителя напряжения на R_8 .

$$U_{\text{входа}} = U_{\text{R8}} =$$

5. Рассчитайте выходное значение делителя напряжения, используя формулу делителя напряжения.

Расчетное выходное напряжение =
$$\frac{R_8}{R_7 + R_8 + R_6 + R_5} U_{exo \partial a}$$
.

6. Установите источник питания на напряжение 0В и разомкните цепь.

Делители тока

Делитель тока представляет собой сеть сопротивлений, которая уменьшает входной ток до более низкого значения. Формула для расчета выходного значения представляет собой:

$$I_{_{6bX}} = rac{npoводимость, в$$
 которой измеряется выходное значение $I_{_{6X}}$. общая проводимость параллельной иепи

- 7. Установите источник питания на напряжение 0 В и подключите сеть делителя тока, включающего 3 резистора, представленного на рисунке. Установите источник питания PS-1 на напряжение 10 В.
 - 8. Замерьте значения сопротивления R_1 , R_2 и R_3 .
- 9. Рассчитайте проводимости R_1 , R_2 и R_3 . Затем суммируйте их для получения общей проводимости сети:

$$\begin{array}{lll} G_1 = & ; \\ G_2 = & ; \\ G_3 = & ; \\ G_{o \text{Giii}} = G_1 + G_2 + G_3 \ \ldots . \end{array}$$

- 10. Измерьте входной ток и запишите $I_{\text{вх}}$ =.
- 11. Используя формулу, рассчитайте выходной ток в R_1 , R_2 и R_3 :

$$I_{\text{\tiny BblX}} = \frac{G_1}{G_{oou}} I_{\text{\tiny BX}} \, .$$

12. Подтвердите расчеты посредством измерения токов во всех трех сопротивлениях, вновь установите источник питания PS-1 на напряжение 0В и разомкните цепь.

Наблюдения и анализы:

- 1) Совпадают ли рассчитанные и измеренные значения выходного напряжения, определенные в пунктах 5, 10 и 16. Прокомментируйте полученную точность.
 - 2) Рассчитайте наиболее известные погрешности измерения.

12 Лабораторная работа № 12. Потенциометр. Источник напряжения

Цель работы: использовать потенциометр в качестве делителя напряжения.

Оборудование:

- центральный процессор PU-2000;
- печатная плата ЕВ-102;
- мультиметр.

Введение

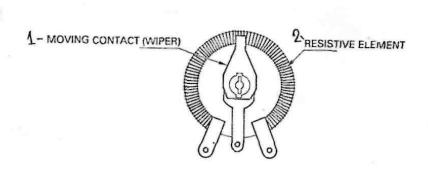
Потенциометр сконструирован таким образом, как это показано на рисунке 12.1. Подвижный контакт изменяет связь по отношению к центру резистора и обусловливает изменение значений двух сопротивлений, несмотря на то что всегда поддерживается неизменным общее сопротивление.

Эта цепь образует делитель напряжения, в котором общее сопротивление является постоянным, а выходное сопротивление изменяется в зависимости от положения ползунка скользящего контакта потенциометра.

Если общее сопротивление равняется R и сопротивление, через которое измеряется выход, равно $n \cdot R$, тогда выходное напряжение U выход определяется следующей формулой:

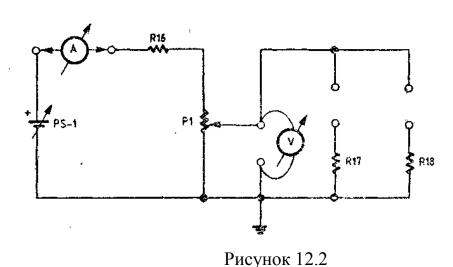
$$U_{\scriptscriptstyle BMX} = n\!\cdot\! U_{\scriptscriptstyle BX.}$$

Источник напряжения, такой как блок питания или аккумулятор, может быть представлен равным идеальному источнику напряжения, соединенному последовательно с малым сопротивлением. В этой работе Вы будете измерять характеристику нагрузки и рассчитывать внутреннее сопротивление и напряжение источника питания.



1– движущийся контакт (скользящий контакт); 2 – элемент сопротивления. Рисунок 12.1 Порядок выполнения работы:

- 1) Вставьте печатную плату ЕВ-102 в центральный процессор РU-2000.
- 2) Измерьте и запишите общее сопротивление потенциометра R(общее)
- 3) Установите потенциометр на 20%, 40%, 60%, 80% и 100% от общего поворота против часовой стрелке и измерьте величину сопротивления между скользящим контактом и землей (источник питания должен каждый раз отключатся). Результаты занесите в таблицу.
- 4) Подключите источник питания PS-1 к потенциометру, как это показано на рисунке 12.2, а затем установите на входе напряжение, равное 6 В.



Измерьте выходное напряжение между скользящим контактом и землей. Результаты занесите в таблицу 12.1.

Таблица 12.1

Поворот	Соп-е % от общего R	$U_{\text{вых}},$ без нагрузки	U _{вых} , с R ₁₇	U _{вых} , с R ₁₈
20%				
40%				
60%				
80%				
100%				

Подключите R_{17} к скользящему контакту P_1 и повторите измерения значений выходного напряжения. Полученные результаты занесите в таблицу 12.1.

Замените R_{17} в цепи на R_{18} и повторите измерения напряжения, занося полученные Вами результаты в таблицу.

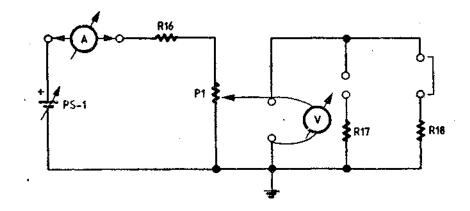


Рисунок 12.3

Начертите график зависимости измеренных значений $U_{\text{вых}} = f$ (поворота (%)).

Источник напряжения.

1. Соберите схему показанного на рисунке 12.4а.

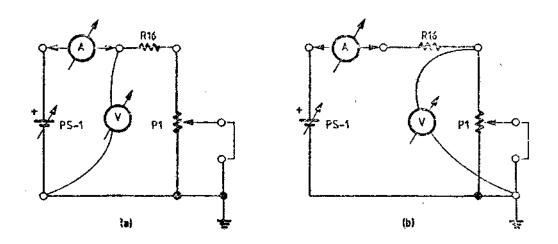


Рисунок 12.4

- 2. Подключите скользящий контакт потенциометра к его нижнему концу, как это показано на рисунке 12.4, образуя резистор переменного сопротивления. Потенциометр подключается как реостат, и его последовательно соединенная комбинация с резистором R_{16} служит в качестве нагрузки для источника питания.
 - 3. Установите источник питания PS-1 на напряжение равное 5 В.
- 4. Измерьте и запишите в таблицу (для нагрузки, равной сумме R_{16} и P_1) значения тока и напряжения в цепи для различных регулировок нагрузки потенциометра. Для каждой регулировки рассчитайте сопротивление нагрузки с помощью закона Ома. Замените короткозамыкающую перемычку,

установленную последовательно с резистором R_{16} на миллиамперметр при измерении выходного тока.

Таблица 12.2

Породот	$I_{\text{вых}}, \text{ MA}$	$U_{\scriptscriptstyle m Bbl}$	_x , B	R _H , OM		
Поворот	$P_1 + R_{16}$	$P_1 + R_{16}$		$P_1 + R_{16}$	P_1	
0%						
20%						
40%						
60%						
80%						
100%						

- 5. Соберите цепь, показанную на рисунке 12.4б. Потенциометр служит в качестве переменной нагрузки для источника питания. Резистор R_{16} , соединенный последовательно с PS-1, представляет собой эквивалент Тевенина для сопротивления источника.
- 6. Повторите пункт $\frac{12}{12}$ для нагрузки P_1 . Запишите полученные Вами результаты в таблицу 12.2.
- 7. Начертите графики $U_{\text{вых}}=f(I_{\text{вых}})$ для нагрузки, равной сумме P_1+ R_{16} , и для нагрузки равной P_1 .

Наблюдения и анализы.

- 1. Проанализируйте построенные Вами графики, объясните различие кривых, полученных для различных нагрузок потенциометра.
- 2. Потенциометр очень часто используется для регулирования мощности радиоаппаратуры. Объясните принцип работы потенциометра.
- 3. Используя графики $U_{\text{вых}} = f(I_{\text{вых}})$, определите, насколько выходное напряжение понижается, когда ток возрастает от своего минимального значения до максимальной величины.
- 4. Рассчитайте $R_{\mbox{\tiny H}}$, используя формулу для обоих случаев конфигурации цепи:

$$R_{\scriptscriptstyle H}$$
 = уменьшение $U_{\scriptscriptstyle Bыx}$ /увеличение $I_{\scriptscriptstyle Bыx}$.

5. Рассчитайте стабилизацию выходного напряжения для обоих случаев конфигурации цепи:

$$U_{\text{вых,ct}} = ((U_{\text{вых,мин,ток}} - U_{\text{вых,макс,ток}})/U_{\text{вых,мин,ток}}) \cdot 100\%$$
.

6. Хорошей или плохой является стабилизация, обнаруженная в пункте 5 для типичных источников питания? Сравните конфигурацию обеих цепей и объясните.

13 Лабораторная работа № 13. Исследование фоторезистора

Цель работы: изучить принцип работы фоторезистора (ΦP), знать его структурную схему включения, уметь снимать основные характеристики, знать основные сферы применения ΦP .

Зависимость сопротивления ΦP от интенсивности света.

Порядок выполнения работы.

Вставьте печатную плату EB-114 в стенд PU-2000 от Degem System. Соберите схему показанную на рисунке 13.1.

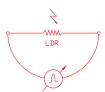


Рисунок 13.1 – Измерение характеристики ФР

Ручку регулировки PS-1 (на стенде PU-2000) установите полностью против часовой стрелки.

На печатной плате EB-114 соедините PS-1 к $V_{\rm in}$.

Подведите разъем источника света в основную часть разъема на печатной плате.

Установите источник света над ячейкой с фотоприемниками. В этом положении погашенный источник света полностью блокирует внешнее освещение и измеряемое сопротивление фоторезистора является его «темновым» сопротивлением. Запишите измеренное значение сопротивления в таблицу 13.1.

Таблица 13.1

U_L, B	0	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25
I _{LS} , MA										
R, кОм										

С помощью регулятора PS-1 установите значение U_L , в соответствии с таблицей 13.1. Запишите для каждого значения напряжения соответствующее ему значение сопротивления фоторезистора.

Пользуясь формулой (13.1), вычислите ток, I_L и запишите соответствующие значения в таблицу 13.1.

$$I_{LS} = U_L / R_{14}, (13.1)$$

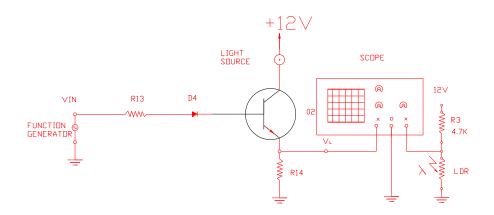
где I_{LS} – ток, протекающий через источник света; U_L – падение напряжения на резисторе R_{14} .

По данным таблицы 13.1, нужно построить график $R = f(I_{LS})$, зависимость сопротивления ΦP от тока протекающего через источник света.

Переключение ΦP из «темнового» в «освещенное» состояние.

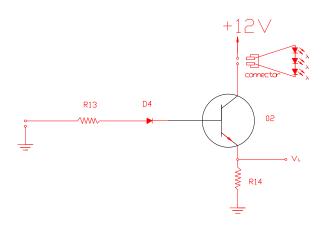
Соберите схему, показанную на рисунке 13.2, а также подключите ИС так, как это показано на рисунке 13.3.

- 1 функциональный генератор (ФГ);
- 2 источник света (ИС);
- 3 осциллограф;
- $4 фоторезистор (\Phi P).$



- 1 функциональный генератор (ФГ);
- 2 источник света (ИС);
- 3 осциллограф;
- 4ϕ оторезистор (Φ P).

Рисунок 13.2 – Схема включения ФР для снятия временных характеристик



- 1 разъем;
- 2 источник света.

Рисунок 13.3 – Схема подключения ИС

Настройте $\Phi\Gamma$ таким образом, чтобы на его выходе действовал треугольный сигнал частотой 1 Γ ц. Подсоедините выход $\Phi\Gamma$ к входу V_{in} .

Установите с помощью органов управления осциллографом чувствительность его по вертикали (ось Y), равной 0,5 В/деление и чувствительность по горизонтали (ось X) – 2 В/деление.

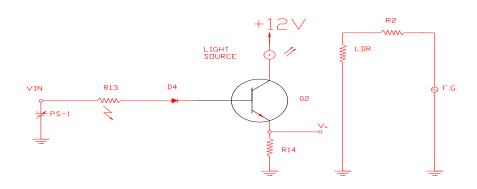
Установите переключатель развертки SWEEP TIME (Time Base) в положение X-Y.

Примечания - Вертикальная (Y) ось описывает ток, протекающий через источник света, который пропорционален напряжению, приложенному к резистору R_{14} .

Горизонтальная (X) ось описывает сопротивление ΦP , зависящее от интенсивности источника света.

Φ отоаттенюатор (Φ A).

Соберите схему, показанную на рисунке 13.4.



1 - ΦΓ;

 $2 - \Phi P$.

Рисунок 13.4 – Схема включения фотоаттенюатора

Установите на выходе ФГ синусоидальное напряжение с амплитудой 4 В (от пика до пика, двойная амплитуда) и частотой 1 кГц.

Подключите $\Phi\Gamma$ к входу ΦA , а осциллограф к его выходу.

Подсоедините источник света так, как это показано на рисунке 13.3. Вход $V_{\rm in}$ соедините с регулируемым источником напряжения PS-1.

С помощью ручки регулировки PS-1 установите значения напряжения U_L в соответствии с таблицей 13.2.

Таблица 13.2

U_L, B	0	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25
I _{LS} , MA										
U_{OUT} , $(\Pi-\Pi)$										

Вычислите значение I_{LS} , и запишите соответствующие выходные напряжения.

По данным таблицы 13.2, нужно построить характеристику ΦA $U_{OUT} = f(I_{LS})$.

Фоторезистор в режиме электронного ключа. Соберите схему, показанную на рисунке 13.5.

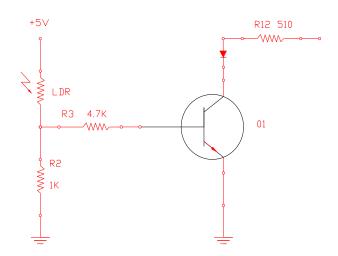


Рисунок 13.5 – Схема ФР работающего в режиме электронного ключа

Подсоедините источник света так, как это показано на рисунке 13.3. Установите с помощью ручки регулировки PS-1 напряжение 0 В и 2,25В на входе U_L . В каком состоянии находится лампа L_1 ? Запишите ответ в таблицу 13.3.

Таблица 13.3

1 000111140 10 10	
U_L , B	Яркость свечения лампы, L ₁
0	
2,25	

14 Лабораторная работа № 14. Исследование фотодиода

Цель работы: изучить принцип работы фотодиода (Φ Д), знать его структурную схему включения, и уметь снимать основные характеристики, знать основные сферы применения Φ Д.

Соберите схему, показанную на рисунке 14.1.

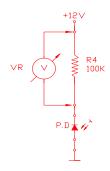


Рисунок 14.1 – Измерение характеристики ФД

Подсоедините источник света так, как это показано на рисунке 14.2.

Расположите источник света над входным отверстием $\Phi Д$. Убедитесь в том, что корпус фотоприемников полностью закрыт и проникновение внешнего освещения внутрь отсутствует.

Изменяя положение PS-1, установите напряжение U_L в соответствии с таблицей 14.1. Измерьте падение напряжения U_R (на резисторе R_4) и запишите его в таблицу.

Вычислите величину тока I_{LS} (ток через источник света) и величину тока I_D (ток через фотодиод), запишите найденные значения в таблицу.

Таблица 14.1 – Зависимость тока ФД от интенсивности освещения

U_L , B	0	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25
U_R , B										
I _{LS} , мА										
I _D , мкА										

Постройте график зависимости тока $\Phi Д$ от интенсивности освещения $I_D = f(I_{LS}).$

Измерение параметров вентильного фотоэффекта. Соберите схему, показанную на рисунке 14.2.

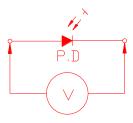


Рисунок 14.2 – Схема для измерения вентильного фотоэффекта

Подсоедините источник света так, как это показано на рисунке 14.3. Убедитесь в том, что корпус фотоприемников полностью закрыт и проникновение внешнего освещения внутрь отсутствует.

С помощью PS-1 установите напряжение, равным 0, и измерьте напряжение на фотодиоде U_D .

Изменяя положение PS-1. установите напряжение U_L в соответствии с таблицей 14.2. Запишите туда же зависимость напряжения U_{D0} (напряжение на фотодиоде, работающего без нагрузки) от интенсивности света (обратите внимание на полярность).

Подсоедините параллельно Φ Д нагрузочное сопротивление R_4 , равное 100 кОм. Повторите предыдущие два пункта и запишите значения, U_{DL} (напряжение на Φ Д, работающего на нагрузку), от интенсивности света (обратите внимание на полярность).

Таблица 14.2 – Зависимость напряжения на ФД от интенсивности света

U_L , B	0	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25
I _{LS} , мА										
U _{D0} , мВ										
U_{DL}, B										

Постройте график зависимости напряжения вентильного фотоэффекта $\Phi Д$ от интенсивности освещения $U_D = f(I_{LS})$.

Переключение $\Phi \square$ из затемненного в освещенное состояние.

Настройте $\Phi\Gamma$ на генерацию сигнала треугольной формы с частотой 1 Γ ц, который показан на рисунке 14.3.

Установите максимально возможную амплитуду треугольного сигнала, при которой еще не наблюдается его искажение.

1 - ΦΓ:

2 – разъем источника света.

Рисунок 14.3 – Подключение ФГ к источнику света

Подключите $\Phi\Gamma$ к источнику света так, как это показано на рисунке 14.3.

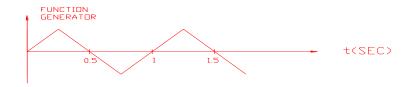
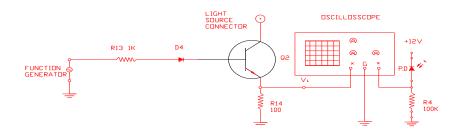


Рисунок 14.4 – Сигнал на выходе ФГ

Соберите схему, показанную на рисунке 14.5.



- 1 ΦΓ,
- 2 разъем источника света;
- 3 осциллограф;
- 4Φ Д.

Рисунок 14.5 – Подключение осциллографа для наблюдения характеристик ФД

Настройте осциллограф на вертикальное усиление (по оси Y), равным 1 В/дел. и на горизонтальное усиление (по оси X), равным 0,1 В/дел.

Сместите изображение в нижний левый край экрана осциллографа, поскольку в противном случае кривая может выйти за его границы.

Установите переключатель развертки SWEEP TIME (Time Base) в положение X-Y.

Примечание - Вертикальная (Y) ось описывает ток, протекающий через источник света, который пропорционален напряжению, приложенному к резистору R_{14} .

Горизонтальная (X) ось описывает ток через $\Phi Д$, зависящий от интенсивности источника света.

Установите частоту сигнала на выходе $\Phi\Gamma$ такой, чтобы на экране осциллографа наблюдалась оптимальная кривая.

15 Лабораторная работа № 15. Исследование фототранзистора

Цель работы: изучить принцип работы фототранзистора (ΦT), знать его структурную схему включения, уметь снимать основные характеристики, знать основные сферы применения ΦT .

Измерение параметров ФТ.

1. Соберите схему, показанную на рисунке 15.1. Обратите внимание, что эмиттер ФТ закорочен на «землю».

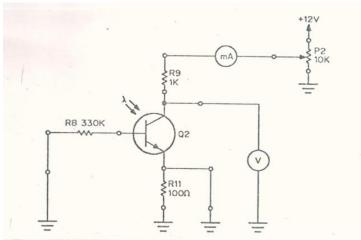


Рисунок 15.1 – Схема для измерения параметров ФТ

- 2. Установите ток базы $I_{\text{Б}_{\text{\tiny S}}}$ равным 0, путем закорачивания резистора R_{8} на землю.
- 3. Разместите источник света над ΦT и установите напряжение $U_{1,}$ равным 0 (темнота). Смотрите рисунок 15.3.
 - 4. Установите с помощью потенциометра P2 напряжение $U_{K9} = 2 B$.
- 5. Измерьте ток коллектора I_K (измеряется в темноте: $I_{LS}=0$) и зафиксируйте определенное таким образом значение в таблице 15.1.
- 6. Устанавливая значения напряжения коллектора U_{K9} в соответствии с таблицей 15.1, произведите замеры и запишите полученные результаты в таблицу.

Таблица 15.1 – Параметры ФТ

I _к (при сопротивлении нагрузки 1 кОм)									
II (D)	` •	_	$U_{K9} = 4 B$		$U_{K9} = 8 B$				
U_L , (B)	I_{LS} , (MA)	$I_{\rm B} = 0 \text{MKA}$							
0	0								
0,8	8								
1,6	16								
2,4	24								

- 7. По данным таблицы 15.1, постройте зависимость $U_{K9} = f(I_K)$, при $R_9 = 1$ кОм.
- 8. Соберите схему, показанную на рисунке 15.1. Замените резистор $R_9 = 1$ кОм резистором $R_{10} = 10$ кОм.
 - 9. Повторите шаги 3, 4, 5, 6 и запишите результаты в таблицу 15.2.

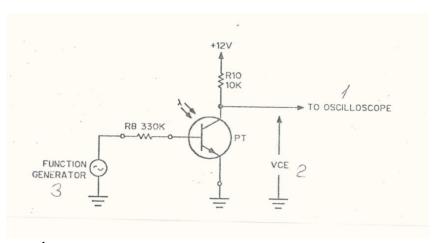
Таблица 15.2 – Параметры ФТ

	I _к (при сопротивлении нагрузки 10 кОм)								
II (D)	I (MA)	$U_{K9} = 2 B$	$U_{K9} = 4 B$	$U_{K9} = 6 B$	$U_{K9} = 8 B$				
U_L , (B)	I_{LS} , (MA)	$I_{\rm B} = 0 \text{MKA}$	$I_{\rm B} = 0 \text{MKA}$	$I_{\rm B} = 0 {\rm MKA}$	$I_{\rm B} = 0 \text{MKA}$				
0	0								
0,8	8								
1,6	16								
2,4	24								

- 10. Повторите выполнение шагов п.6 и запишите результаты в таблицу 15.2.
- 11. По данным таблицы 15.2, постройте зависимость $U_{K3}=f(I_K)$, при $R_9=10\ \kappa Om$.

 $Использование \Phi T$ в качестве усилителя.

1. Соберите схему, показанную на рисунке 15.2.



- 1κ осциллографу;
- 2 напряжение коллектор-эмиттер U_{K3} ;
- $3 \Phi \Gamma$.

Рисунок 15.2 – Схема включения ФТ в качестве усилителя

- 2. Подсоедините источник света так, как это показано на рисунке 15.3.
- 3. Отрегулируйте интенсивность источника света (путем изменения силы тока, протекающего через источник света I_{LS}) таким образом, чтобы напряжение коллектор-эмиттер $U_{K9} = U_{KK}/2 = 12/2 = 6~B$.

Помните, что в данном случае сопротивление резистора в цепи коллектора $R_{10}=10\ \mathrm{кОm}.$

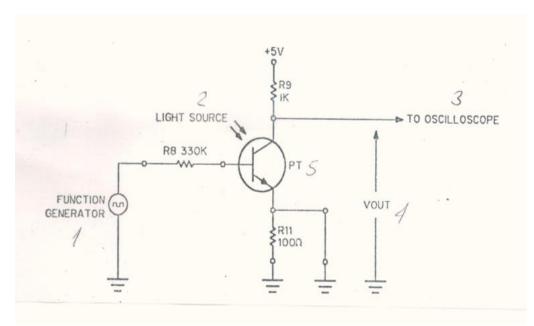
- 4. Настройте $\Phi\Gamma$ на синусоидальный сигнал с удвоенной амплитудой 1 В и частотой 1 к Γ ц.
- 5. Проверьте, чтобы сигнал с выходным напряжением $U_{\text{вых}}$, не имел искаженной формы. Если же форма сигнала искажена, уменьшите напряжение на выходе $\Phi\Gamma$ или отрегулируйте интенсивность источника света.
- 6. Вычислите коэффициент усиления для усилительного каскада на базе ФТ с помощью формулы:

$$K_U = \frac{U_{BbIX}(n-n)}{U_{BX}(n-n)},$$

(n-n) – амплитудное значение напряжения от пика до пика (двойная амплитуда).

Использование ΦT в переключательном режиме.

1. Соберите схему, показанную на рисунке 15.3.



 $1-\Phi\Gamma;\ 2-$ источник света; 3-к осциллографу; 4- выходное напряжение $U_{\text{вых}};\ 5 \Phi T.$

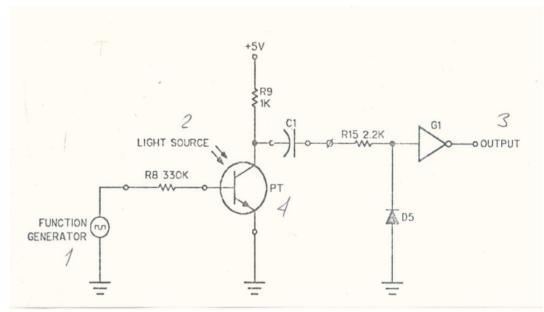
Рисунок 15.3 – Использование ФТ в режиме электронного ключа

- 2. Настройте $\Phi\Gamma$ на прямоугольный сигнал с амплитудой +5 В и частотой 1 к Γ ц.
- 3. Отрегулируйте интенсивность источника света таким образом, чтобы на экране осциллографа отображался прямоугольной сигнал как можно лучшей (неискаженной) формы.
 - 4. Начертите форму выходного сигнала.
- 5. Измерьте длительность переднего (t_{nep}) и заднего (t_3) фронтов импульсов и запишите найденные значения в таблицу 15.3.

Таблица 15.3 – Длительность переднего и заднего фронтов сигнала на выходе ФТ

Длительность переднего фронта –	Длительность заднего фронта –
t_{nep} , MKC	t ₃ , мкс

6. Для уменьшения длительности переднего $(t_{\text{пер}})$ и заднего (t_{3}) фронтов для схемы, представленной на рисунке 15.4, модифицируйте последнюю так, как это показано на рисунке 15.3. Инвертор G_1 используется для улучшения формы импульсов.



 $1 - \Phi \Gamma$; 2 – ИС; 3 – выходной сигнал; 4 – $\Phi \Gamma$.

Рисунок 15.4 — Сокращение длительности переднего и заднего фронтов выходного сигнала ФТ

- 7. Срисуйте форму выходного сигнала, отображаемую на экране осциллографа.
- 8. Измерьте длительность переднего (t_{nep}) и заднего (t_3) фронтов импульсов и запишите найденные значения в таблицу 15.4.

Таблица 15.4 — Длительность переднего и заднего фронтов сигнала на выходе инвертора G_1

Длительность переднего фронта –	Длительность заднего фронта –
t_{nep} , MKC	t ₃ , мкс

9. Сравните результаты, полученные в процессе выполнения шагов 4 и 5, с результами, полученными в процессе выполнения шагов 7 и 8.

Список литературы

Основная

- 1 Лачин В.И., Савелов Н.С. Электроника: Учеб. Пособие. Ростов н/Д: Феникс, 2005. 704 с.
- 2 Павлов В.Н., Ногин В.Н. Схемотехника аналоговых электронных устройств: Учебник для вузов. 3-е издание. М.: Горячая линия-Телеком, $2005.-320~\rm c.$
- 3 Нефедов А.В. Транзисторы для бытовой, промышленной и специальной аппаратуры: Справочное пособие. М.: Солон-Пресс, 2006. 600 с.
- 4 Прянишников В.А. Электроника: Полный курс лекций. СПб.: КОРОНА принт, Бином Пресс, 2006. – 416 с.
- 5 Жолшараева Т.М., Шагиахметов Д.Р. Основы электронной и измерительной техники. Конспект лекций для студентов специальности 5В071900 Радиотехника, электроника и телекоммуникации. Алматы: АУЭС, 2014. 51 с.
- 6 Жолшараева Т.М., Абдрешова С.Б. Элементы и схемотехника аналоговых устройств. Методические указания к выполнению курсовой работы для студентов очной формы обучения специальности 5В071600 Приборостроение. Алматы: АУЭС, 2014. 41 с.
- 7 Абдрешова С.Б. Элементы и схемотехника аналоговых устройств. Методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов специальности 5В071600 Приборостроение. Алматы: АУЭС, 2014. 41 с.
- 8 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника и микропроцессорная техника: Учеб.для вузов. М.: Высш.шк., 2006. 799 с.
- 9 Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах: Учебник для вузов / Нефёдов В.И., Хакин В.И., Федорова Е.В. и др.: Под ред. Нефёдова В.И. М.: Высш.шк., 2005. 383 с.
- 10 Павлов В.Н., Ногин В.Н. Схемотехника аналоговых электронных устройств: Учебник для вузов. 3-е издание. М.: Горячая линия-Телеком, $2005.-320~\rm c.$
- 11 Щука А.А. Электроника. Учебное пособие. Изд-во: ВНV-СПб, 2005. 800 с.
- 12 Опадчий Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.И. Аналоговая и цифровая электроника: Учебник для вузов. Под ред. О.П. Глудкина. М.: Горячая линия-Телеком. 2005. 768 с.
- 13 Борисов Ю.И. и др. Метрология, стандартизация и сертификация. ФОРУМ: ИНФРА, 2005. 152 с.

Дополнительная

- 14 Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы. Учебник для вузов. 5-е издание. СПб.: «Лань», 2001. 480 с.
- 15 Бойко В.И. Схемотехника электронных систем. Аналоговые и импульсные устройства. Учебник. Изд-во: ВНV-СПб, 2004. 488 с.

- 16 Булычев А.Л., Лямин П.М., Тулинов В.Т. Электронные приборы. Учебник для вузов. М.: Лайт ЛТД, 2000. 416 с.
- 17 Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство М.: Мир, 1982. 512 с.
- 18 Нефедова В.И. и др. Метрология и радиоизмерения. М.: Высшая школа, 2003.
- 19 Тартаковский Д.Ф., Ястребов А.С. Метрология, стандартизация и технические средства измерений. М.: Высшая школа. 2002. 107 с.

Содержание

Введение	3
1 Лабораторная работа. Исследование характеристик выпрямительн	ого
диода	4
2 Лабораторная работа. Исследование характеристики стабилитрон	аи
простейшего параметрического стабилизатора	
напряжения постоянного тока	7
3 Лабораторная работа. Исследование биполярного транзистора	9
4 Лабораторная работа. Исследование полевого транзистора	c
управляющим p - n переходом	13
5 Лабораторная работа. Исследование тиристора	16
6 Лабораторная работа. Исследование фототранзисторного оптрона	19
7 Лабораторная работа. Исследование однофазных выпрямителей	23
8 Лабораторная работа. Транзисторный стабилизатор	30
9 Лабораторная работа. Интегральный стабилизатор напряжения	35
10 Лабораторная работа. Измерение физических величин на постоянн	HOM
токе	39
11 Лабораторная работа. Делители напряжения и тока	47
12 Лабораторная работа. Потенциометр. Источник напряжения.	50
13 Лабораторная работа. Исследование фоторезистора	54
14 Лабораторная работа. Исследование фотодиода	57
15 Лабораторная работа. Исследование светодиода	61
Список литературы	65

Абдрешова Самал Бексултановна Абдрешова Гульмира Нурланкызы

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОННОЙ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов специальности 5В071900 — Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Редактор Л.Т. Сластихина Специалист по стандартизации Н.К. Молдабекова

Подписано в печать	Формат 60х	x84 1/16
Тираж 75 экз.	Бумага типо	ографская №1
Объем 4,19 уч изд. л.	Заказ	Цена 2095 тг

Копировально-множительное бюро некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи» 050013 Алматы, Байтурсынова, 126