

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет
информационных технологий
и электроники
(наименование)

Кафедра
«Нано- и микроэлектроника»
(наименование)

Направление подготовки

11.04.04. «Электроника и
наноэлектроника»
(код и наименование)

Магистерская программа

Нано- и микроэлектроника
(наименование)

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему

Учебный стенд по вакуумной электронике

Студент 21ПДм1
номер группы

Янкин 1.06 Янкин Владислав Александрович
подпись, дата ФИО полностью

Научный руководитель
к.т.н. доцент, ПГУ
должность, наименование организации

А.А. 1.06 А.А. Вольсков
подпись, дата инициалы, фамилия

Рецензент
нач. отдела АО ПО «Электроприбор»
должность, наименование организации

А.В. 15.06.23 А.В. Комиссаров
подпись, дата инициалы, фамилия

Нормоконтролер ст. преподаватель
должность

Т.Н. 15.06.23 Т.Н. Рыжова
подпись, дата инициалы, фамилия

Работа допущена к защите в ГЭК (протокол заседания кафедры от 15.06
№ 11)

Заведующий кафедрой НиМЭ
профессор, ПГУ
должность, наименование организации

И.А. 16.06.23 И.А. Пронин
подпись, дата инициалы, фамилия

Работа защищена с оценкой отл. (протокол ГЭК от 27.06.23 № 9)

Секретарь ГЭК
доцент, ПГУ
должность, наименование организации

А.А. 27.06.23 А.А. Вольсков
подпись, дата инициалы, фамилия

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка состоит из 112 листов печатного текста, 49 рисунков, 1 таблица, списка использованных источников, 8 наименований и 6 приложений.

Ключевые слова: электронная лампа, вакуумный диод, вакуумный триод, пентод, термоэлектронная эмиссия, вакуумная электроника, катод, анод.

Цель: разработать учебный стенд по вакуумной электронике

Задачи: Разработать структурную схему и алгоритм работы учебного стенда, разработать электрические принципиальные схемы устройств, которые входят в состав учебного стенда, разработать топологии печатных плат устройств, которые входят в состав учебного стенда

Актуальность: Разработка учебного стенда на новой элементной базе, способного производить измерения и расчёты в автоматизированном режиме с использованием персонального компьютера.

Поэтому данный стенд для изучения вакуумных ламп актуален для некоторых направлений подготовки студентов

Полученные результаты: в ходе выполнения данной работы были разработаны: принципиальная схема блока питания анода, принципиальная схема блока питания сетки, принципиальная схема устройства для снятия характеристик вакуумных ламп и принципиальная схема для подключения вакуумных ламп, а также были разработаны сборочные чертежи этих устройств.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Обзор существующих технических решений	6
2 Разработка основных узлов учебного стенда по вакуумной электронике...	13
2.1 Разработка структурной схемы и алгоритма работы учебного стенда ..	13
2.2 Разработка электрических принципиальных схем устройств, которые входят в состав учебного стенда	23
3 Изготовление стенда по вакуумной электронике и проверка его работоспособности.....	32
3.1 Разработка послойных чертежей устройств, которые входят в состав учебного стенда.....	32
3.2 Проверка работоспособности учебного стенда	46
4 Расчёт условий зрительной работы для обеспечения безопасности труда..	51
Заключение	54
Список использованных источников	55
Приложение А. Задание на магистерскую диссертацию	56
Приложение Б. Схемы электрические принципиальные	60
Приложение В. Сборочные чертежи печатных плат.....	73
Приложение Г. Список опубликованных работ.....	96
Приложение Д. Протокол проверки ВКР на оригинальность	90
Приложение Е. Презентация.....	100

ВВЕДЕНИЕ

Вакуумные лампы примечательны для отраслей, где нужны высокие напряжения и токи, а также где необходимым условием для работы устройства является стойкость мощными электромагнитными полями и радиации. Они используются в радиопередатчиках и аудиоаппаратуре.

Эти приборы применяются: для спутниковых передач, для связи с воздушными и морскими транспортными средствами, для связи на дальнее расстояние между центрами связи и так далее [1].

Электронная лампа представляет собой электровакуумный прибор, который функционирует за счёт управления потоком электронов в вакууме или в газообразной среде с очень низким давлением между катодом и анодом.

Поэтому данный стенд для изучения вакуумных ламп актуален для некоторых направлений подготовки студентов.

С помощью данного учебного стенда по вакуумной электронике можно изучать характеристики вакуумных ламп.

Данный стенд включает в себя такие устройства как: блок питания анода, блок питания сетки, схему для снятия характеристик вакуумных ламп, плату *Arduino Nano* с микроконтроллером *ATmega328P*, вакуумный диод, триод и пентод.

Блок питания анода способен выдавать напряжение на выходе в диапазоне от 3 до 90В. Блок питания сетки способен выдавать напряжение от 0 до -5В.

Схема для снятия характеристик вакуумных ламп нужна так как напрямую подавать 90В на АЦП нельзя, следовательно, нужен делитель напряжения. Для того чтобы измерить токи анода и сетки их нужно пропустить через резисторы и произвести замер напряжения на них, и по закону Ома найти какие токи протекают через резисторы.

В составе стенда имеются три лампы, а именно: вакуумный диод, триод и пентод. Для вакуумного диода предполагается снимать анодную

характеристику. Для триода предполагается снимать семейство анодных и сеточных характеристик. Для пентода предполагается снимать семейство анодных и сеточных характеристик.

За выбор эксперимента и замер напряжений и токов в данном стенде отвечает плата *Arduino Nano*. Для коммутации узлов учебного стенда используется релейные модули *hls8-22f-dc5v-c*. Так как максимальный ток на цифровых выходах *Arduino nano* равен 0,04А, то напрямую запутывать реле от них нельзя, в тоже время *hls8-22f-dc5v-c* потребляет всего лишь 0,072А.

В результате был разработан учебный стенд по вакуумной электронике. Данный стенд можно собрать из доступных радиодеталей. Его главное достоинство - это простота.

1 Обзор существующих технических решений

Вакуумный диод состоит из анода и подогреваемого катода, которые расположены в вакуумном баллоне. В качестве источника электродов тут выступает катод, который для протекания процесса термоэлектронной эмиссии нужно подогреть. Для подогрева катода через него можно подать ток, тем самым разогревая его, или можно раскалить нить накала, которая находится около катода. Чаще всего для питания нити накала используют переменное напряжение 6,3 В.

Схема включения вакуумного диода показана на рисунке 1.

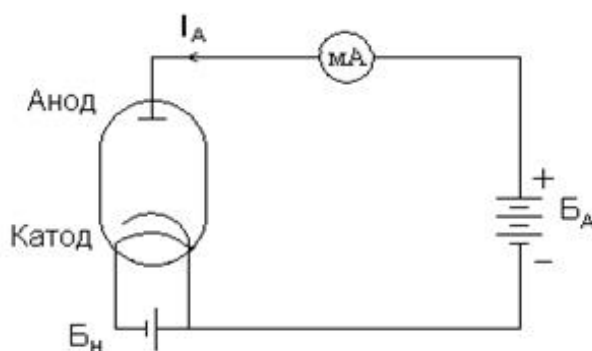


Рисунок 1 – Схема включения вакуумного диода

Ток анода определяется разностью потенциалов между катодом и анодом. Управляя напряжением на батарее питания анода, мы можем изменять анодный ток.

Лампа будет работать только в том случае если на анод подают положительный потенциал, а на катод отрицательный.

Если подавать отрицательный потенциал на анод, то большинство электронов, которые летят с поверхности катода будут оттолкнуты от анода отрицательным потенциалом.

Если подавать положительный потенциал на анод, то анод будет наоборот вытягивать электроны из отрицательно заряженного катода, следовательно, в лампе будет наблюдаться значительный анодный ток.

Подогрев катода тоже важен, если этого не делать, то не будет термоэлектронной эмиссии и количество вылетевших с поверхности электронов будет минимально [2].

В результате если изменять анодное напряжение можно построить анодную характеристику. Данная характеристика показана на рисунке 2.

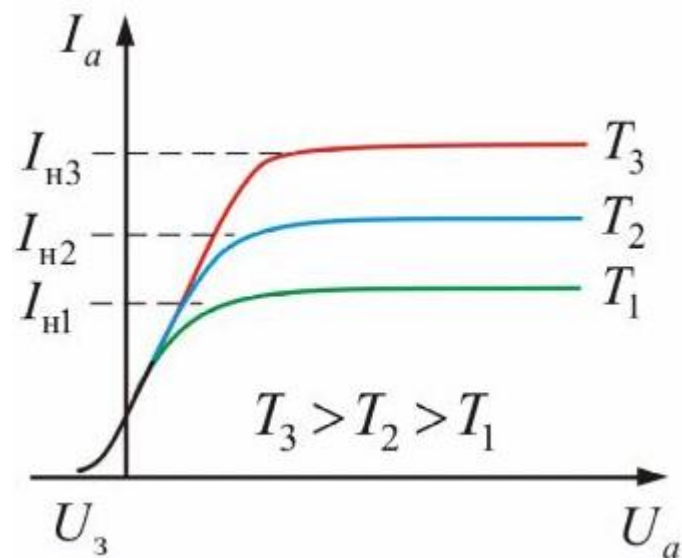


Рисунок 2 – Семейство анодных характеристик диода.

Вакуумную лампу можно улучшить если между катодом и анодом установить сетку, в результате чего получится триод.

Схема включения вакуумного триода показана на рисунке 3.

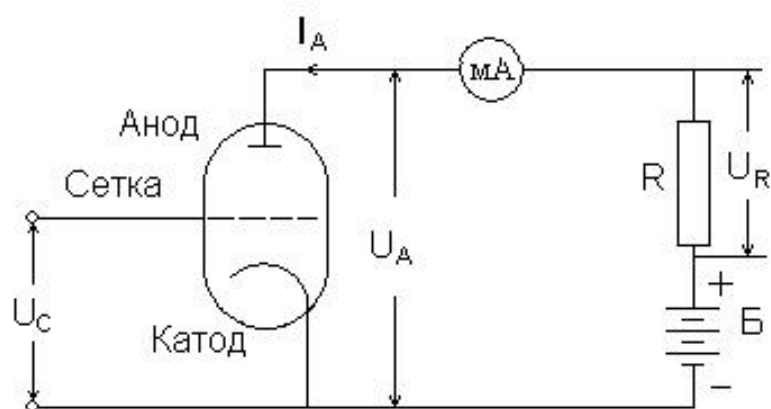


Рисунок 3 – Схема включения вакуумного триода

Сетку данного прибора делают так чтобы она не мешала движению электронов и в тоже время могла влиять на поток электронов между катодом и анодом путём изменения потенциала на ней. Поэтому её часто размещают около катода.

Путём изменения относительно малого напряжения на сетке, мы можем управлять высокими напряжениями и токами на аноде, на этом эффекте и строятся вакуумные усилители.

Анодная характеристика триода показана на рисунке 4.

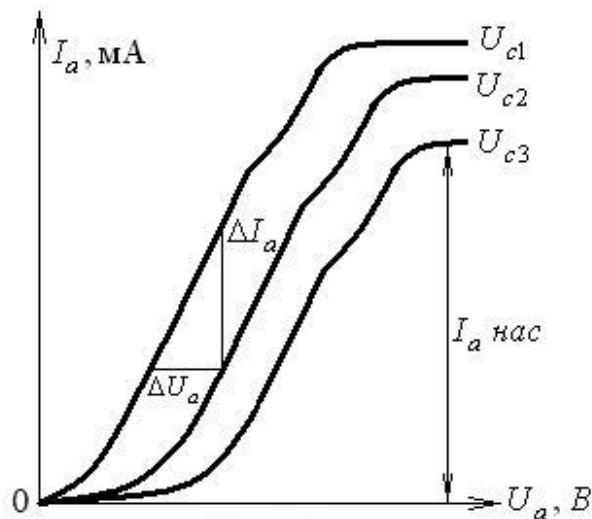


Рисунок 4 – Семейство анодных характеристик триода.

Сеточная характеристика триода показана на рисунке 5.

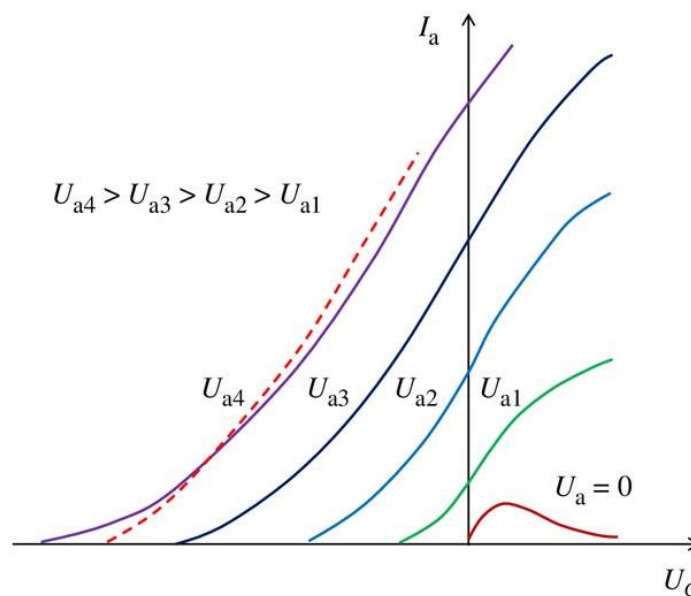
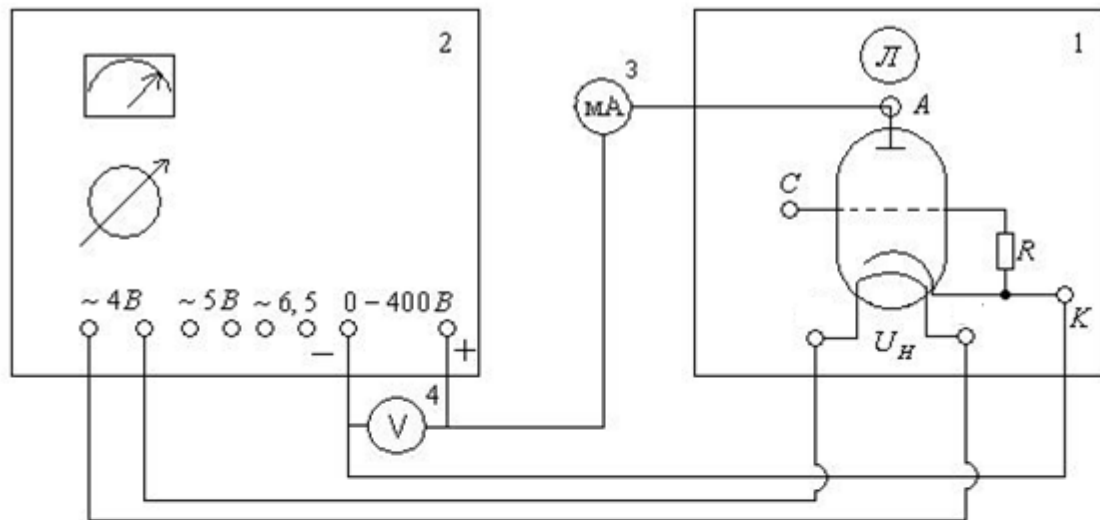


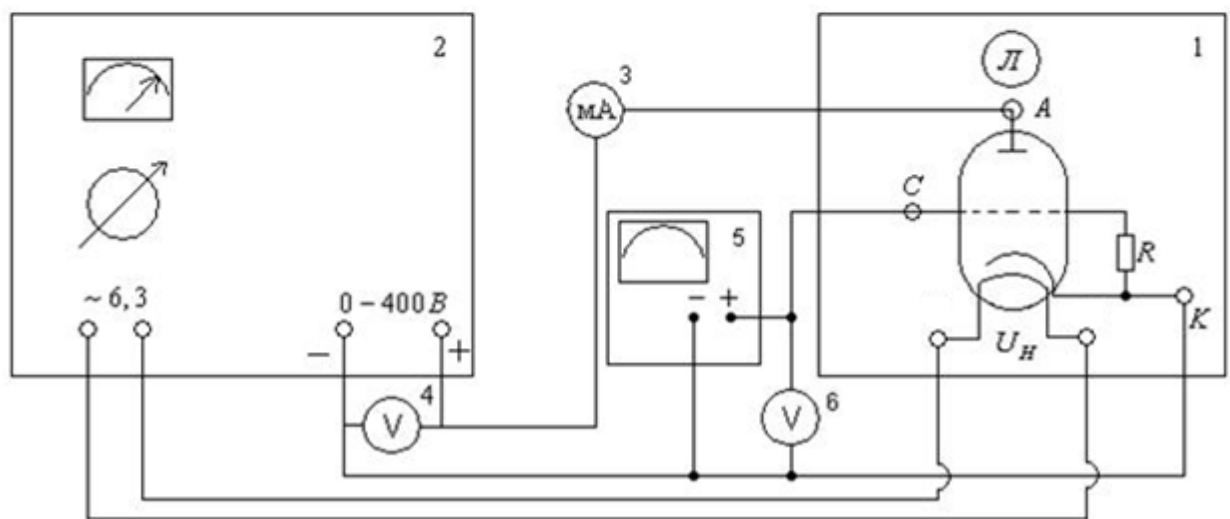
Рисунок 5 – Семейство сеточных характеристик триода

Поскольку триод отличается от диода только наличием сетки между анодом и катодом то для экспериментальной установки для снятия характеристик диодов и триодов можно использовать только триод [3].

Схема для снятия характеристик диода показана на рисунке 6а, а схема для снятия характеристик триода показана на рисунке 6б.



а) Схема снятия характеристик диода



б) Схема снятия характеристик триода

Рисунок 6 – Схемы для снятия характеристик вакуумных ламп

Другой вариант схемы для снятия характеристик показан на рисунке 7

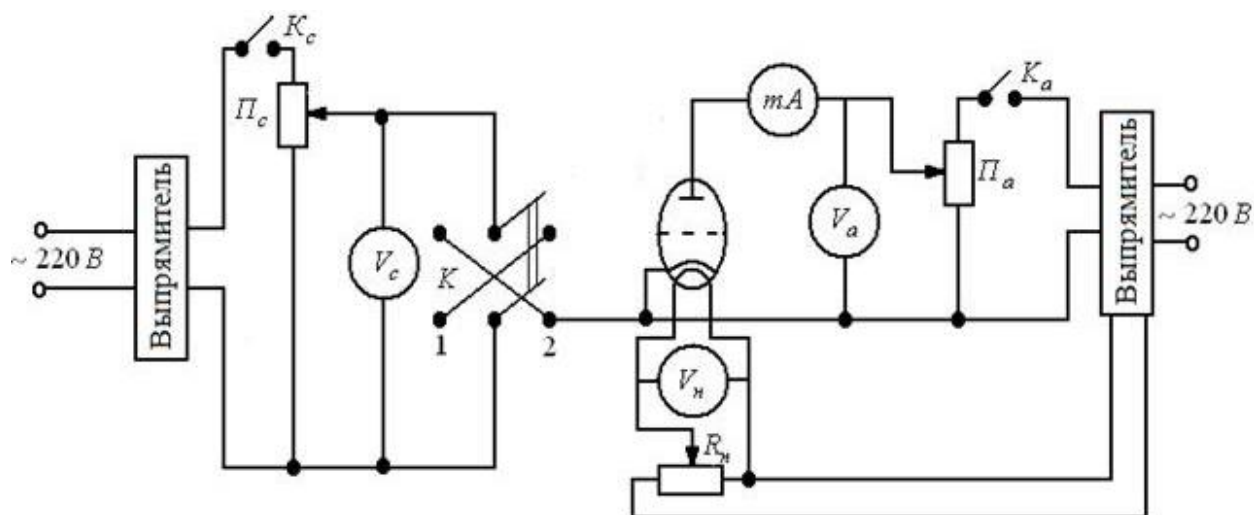


Рисунок 7 – Схема для снятия характеристик триода

Данная схема включает в себя следующие узлы: питание сетки, питание анода и питание подогрева катода.

С помощью потенциометров можно регулировать анодное и сеточное напряжение. С помощью переключателя можно подавать как положительное, так и отрицательное напряжение на сетку. Также в установке имеется миллиамперметр, вольтметр сетки и вольтметр анода. Напряжения для питания данной установки можно взять напряжение с трансформатора, так как она включает в себя два выпрямителя для анодной и сеточной цепи соответственно [4].

Ещё один вариант схемы для снятия характеристик триода показан на рисунке 8.

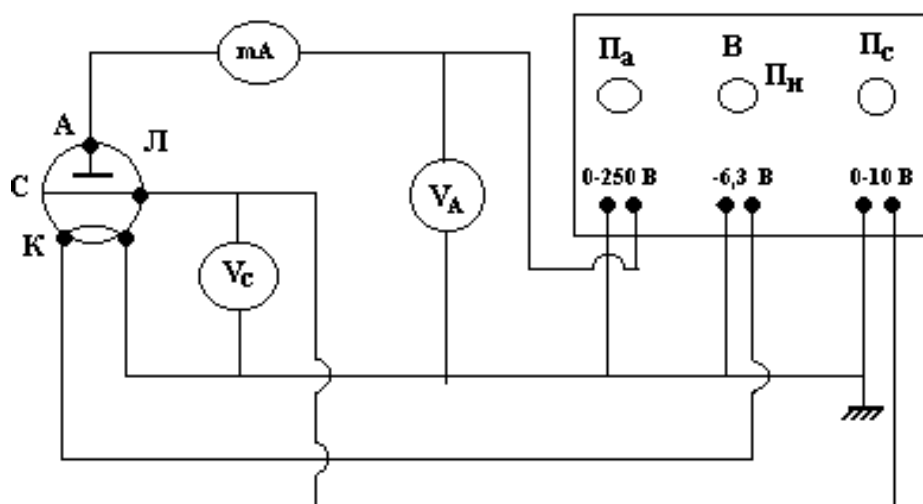


Рисунок 8 – Схема для снятия характеристик триода

Данная схема включает в себя следующие узлы: питание сетки, питание анода и питание подогрева катода.

С помощью потенциометров можно регулировать анодное и сеточное напряжение. Также в установке имеется миллиамперметр, вольтметр сетки и вольтметр анода. Для питания анода, сетки и подогрева катода здесь используется блок питания, который включает в себя регулируемый блок питания сетки, регулируемый блок питания анода, и источник напряжения 6.3 В.

Тетрод обладает увеличенным коэффициентом усиления и меньшей входной ёмкостью чем триод. Данная ёмкость ухудшает крутизну передаточной характеристики, поэтому в тетрод была установлена экранирующая сетка, что значительно сократило ёмкость между управляющей сеткой и анодом.

Для снятия характеристик тетрода используется схема, показанная на рисунке 9

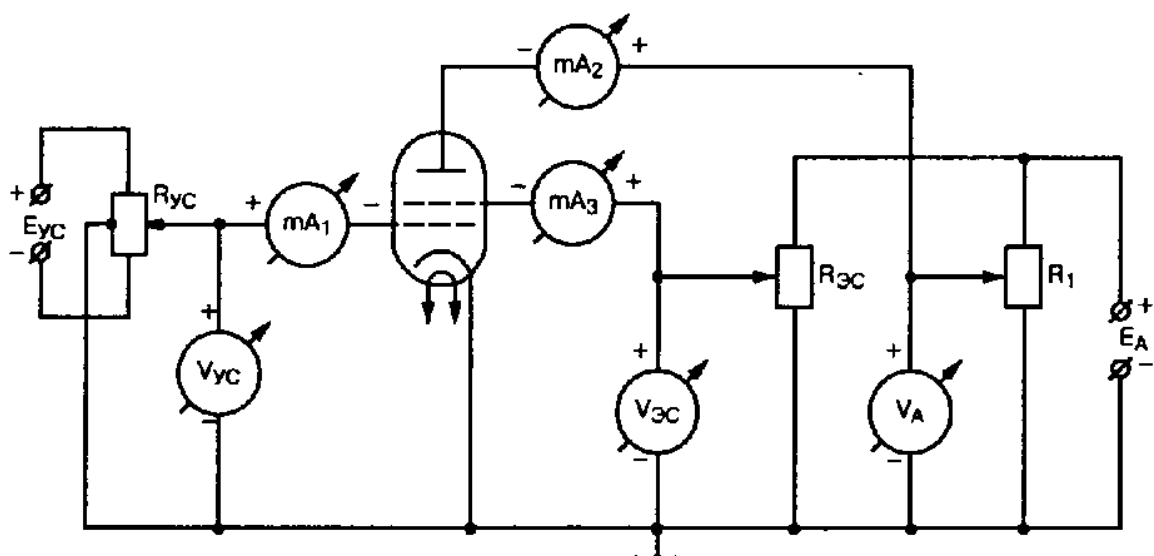


Рисунок 9 – Схема для снятия характеристик тетрода

Данная схема включает в себя следующие узлы: питание сетки, питание экранирующей сетки и питание анода.

С помощью потенциометров можно регулировать анодное и сеточное напряжение, а также напряжение на экранирующей сетке. Также в установке имеются миллиамперметры, вольтметр сетки, вольтметр экранирующей сетки

и вольтметр анода. Для питания данной установки необходимо внешнее питание управляющей сетки и внешнее питание анода. Для работы данной схемы необходимо подключить к лампе питание накала.

Чтобы ещё больше увеличить коэффициент усиления и крутизну передаточной характеристики был разработан пентод. Основной проблемой тетрода является наличие динаatronного эффекта, а именно отскакивание сильно разогнанных электронов от анода. Поэтому была установлена защитная сетка, которую обычно подключают к катоду. Данная сетка замедляет отскочившие от анода электроны, при этом она не оказывает сильного воздействия на электроны, которые летят с поверхности катода [5].

Для снятия характеристик тетрода используется схема, показанная на рисунке 10

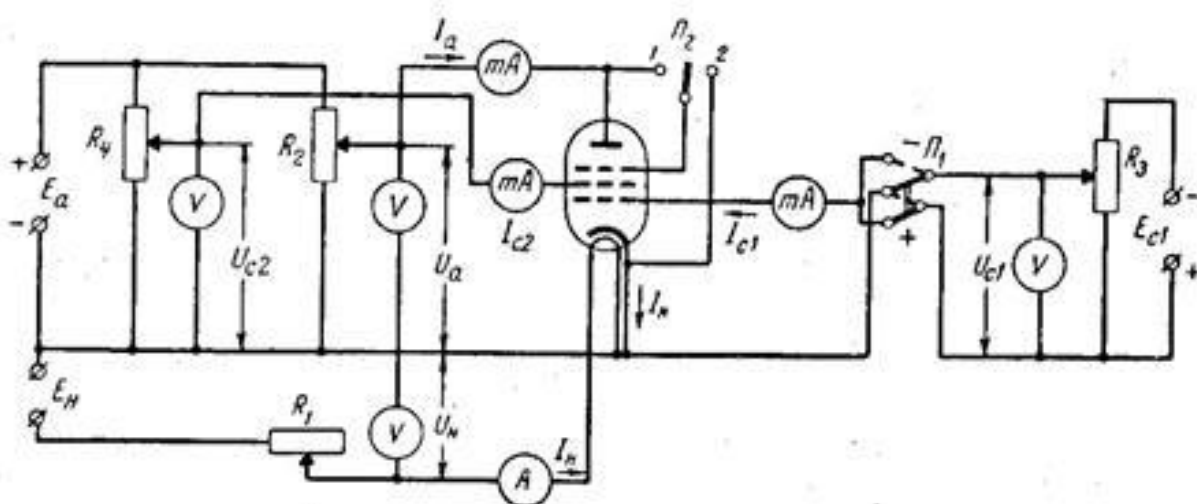


Рисунок 10 – Схема для снятия характеристик пентода

Данная схема включает в себя следующие узлы: питание сетки, питание экранирующей сетки, питание подогрева катода и питание анода.

С помощью потенциометров можно регулировать анодное и сеточное напряжение, а также напряжение на экранирующей сетке. С помощью переключателя можно подавать как положительное, так и отрицательное напряжение на сетку. Также в установке имеется миллиамперметры, вольтметр сетки, вольтметр экранирующей сетки и вольтметр анода. Для питания данной установки необходимо внешнее питание управляющей сетки, внешнее питание анода и внешнее питание подогрева катода.

2 Разработка основных узлов учебного стенда по вакуумной электронике

2.1 Разработка структурной схемы и алгоритма работы учебного стенда

Для автоматизированного построения графиков характеристик вакуумных приборов, необходимо устройство, которое может принимать информацию с АЦП и выводить результат на ПК в виде графиков.

Для этой цели хорошо подойдёт плата *Arduino Nano*. Данная плата имеет в своём составе 14 портов входов/выходов из которых 6 можно использовать в качестве источников ШИМ сигналов. Также имеется 6 аналоговых входов, которые можно использовать в качестве вольтметров.

В качестве микропроцессора в *Arduino Nano* используется *ATmega328P* с тактовой частотой 16 МГц. Плата *Arduino Nano* обладает следующими характеристиками:

- микроконтроллер: *ATmega328P*;
- ядро: 8-битный *AVR*;
- тактовая частота: 16 МГц;
- *flash*-память: 32 КБ (2 КБ занимает загрузчик);
- *SRAM*-память: 2 КБ;
- *EEPROM*-памяти: 1 КБ;
- портов ввода-вывода всего: 20;
- портов с АЦП: 8;
- разрядность АЦП: 10 бит;
- портов с ШИМ: 6;
- разрядность ШИМ: 8 бит;
- аппаратных интерфейсов *SPI*: 1;
- аппаратных интерфейсов *I²C / TWI*: 1;
- аппаратных интерфейсов *UART / Serial*: 1;
- номинальное рабочее напряжение: 5 В;
- максимальный выходной ток пина 5V: 800 мА;
- максимальный выходной ток пина 3V3: 50 мА;

- максимальный ток с пина или на пин: 40 мА;
- допустимое входное напряжение от внешнего источника: 7–12 В.

Исходя из характеристик *Arduino Nano* была разработана структурная схема учебного стенда по вакуумной электронике. Данная схема показана на рисунке 11.

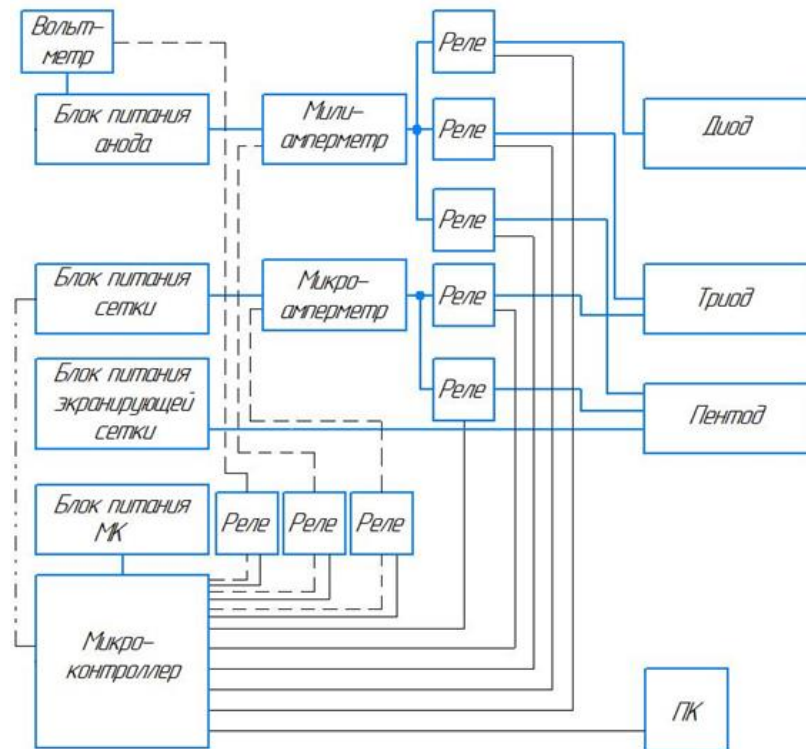


Рисунок 11 – Структурная схема учебного стенда по вакуумной электронике

Где, пунктирной линией показаны ШИМ сигналы, штриховой линией показаны аналоговые входы, тонкой линией показаны цифровые выходы и толстой линией показаны цепи питания устройств.

Для коммутации узлов учебного стенда необходимы устройства, которые будут замыкать и размыкать электрическую цепь при подаче на них напряжения равного 5 В. Так как максимальный ток на цифровых выходах *arduino nano* равен 0,04А, то напрямую запутывать реле от них нельзя, так как реле *hls8-22f-dc5v-c* потребляет 0,072А. Для этих целей можно использовать готовое устройство на базе данного реле. Для коммутации узлов учебного стенда подойдёт одноканальный релейный модуль *SR0039-1L*, показанный на рисунке 12.

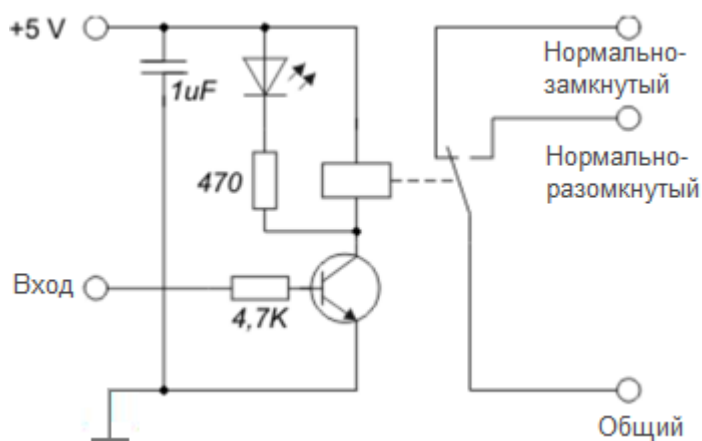


Рисунок 12 – Принципиальная схема одноканального релейного модуля SR0039-1L

При подаче напряжения равного 5В на базу транзистора, через транзистор начинает протекать ток, вследствие чего реле срабатывает и замкнёт нужный нам участок цепи.

Исходя из структурной схемы можно разработать алгоритм работы стенда.

Мерить напряжение на выходе будем только с блока питания анода. С выхода блока питания сетки напряжение мерить мы не будем, так как оно зависит от длительности ШИМ сигналов на выходе *Arduino*, то есть напряжение при построении характеристик будем брать из таблицы.

Для управления блоками питания будут использоваться один ШИМ сигнал с выходов *D9* так как расчёт производился для частоты ШИМ сигнала = 488 Гц.

Для того чтобы измерить ток анода и ток сетки, нужно использовать аналоговые входы *Arduino* A0, A1 и A2 в качестве точки относительно которой будут производиться замеры будет выступать *AREF*. Данная точка будет переключаться с помощью трёх реле. Для измерения тока анода используется *AREF1*, для измерения тока сетки используется *AREF2*, а для измерения напряжения на аноде используется *AREF3*.

Для выбора эксперимента будут использованы пять реле. Три из них будут подключать нужную лампу, а оставшиеся два реле будут подавать напряжение на сетки триода и пентода.

Алгоритмы проведения экспериментов:

1. Исследование характеристик диода:
 - 1.Замкнуть первое реле и подать анодное напряжения на диод;
 - 2.Установить напряжение на блоке питания анода равное 3В;
 - 3.Нажать на кнопку «Старт измерений»;
 - 4.Замкнуть реле *AREF3*;
 - 5.Измерить анодное напряжение;
 - 6.Разомкнуть реле *AREF3*;
 - 7.Замкнуть реле *AREF1*;
 - 8.Измерить напряжение на *R1*;
 - 9.Рассчитать по закону Ома ток анода, протекающий через $R1=20\text{ Ом}$;
 - 10.Разомкнуть реле *AREF1*;
 - 11.Сохранить результаты измерения анодного напряжения и расчёта тока анода;
 - 12.Повторить пункты 2-11 для напряжений на блоке питания анода в диапазоне от 4 до 12В с шагом 1В;
 - 13.Сохранить результаты в виде *excel*;
 - 14.Установить минимальное напряжение на блоке питания анода;
 - 15.Разомкнуть все реле;
2. Исследование характеристик триода:
 1. Замкнуть второе реле и подать анодное напряжение на триод;
 2. Замкнуть четвёртое реле и подать сеточное напряжение на триод;
 3. Выбрать режим замера *ВАХ* при $U_{\text{сетки}} = 0\text{В}$;
 4. Выставить длительность ШИМ сигнала блока питания сетки = 1%, чтобы получить $U_{\text{сетки}} = 0\text{В}$;
 5. Установить напряжение на блоке питания анода равное 3В;
 6. Нажать на кнопку «Старт измерений»;
 7. Замкнуть реле *AREF3*;
 8. Измерить анодное напряжение;
 9. Разомкнуть реле *AREF3*;

- 10.Замкнуть реле *AREF1*;
- 11.Измерить напряжение на *R1*;
- 12.Рассчитать по закону Ома ток анода, протекающий через $R1=20\text{ Ом}$;
- 13.Разомкнуть реле *AREF1*;
- 14.Сохранить результаты измерения анодного напряжения и расчёта тока анода;
- 15.Повторить пункты 5-14 для напряжений на блоке питания анода в диапазоне от 4 до 90В с шагом 1В;
- 16.Сохранить результаты в виде *excel*;
- 17.Установить минимальное напряжение на блоке питания анода;
- 18.Выбрать режим замера ВАХ при $U_{\text{сетки}} = 0,5\text{В}$;
- 19.Выставить длительность ШИМ сигнала так, чтобы получить $U_{\text{сетки}} = 0,5\text{В}$;
- 20.Установить напряжение на блоке питания анода равное 3В;
- 21.Нажать на кнопку «Старт измерений»;
- 22.Замкнуть реле *AREF3*;
- 23.Измерить анодное напряжение;
- 24.Разомкнуть реле *AREF3*;
- 25.Замкнуть реле *AREF1*;
- 26.Измерить напряжение на *R1*;
- 27.Рассчитать по закону Ома ток анода, протекающий через $R1=20\text{ Ом}$;
- 28.Разомкнуть реле *AREF1*;
- 29.Сохранить результаты измерения анодного напряжения и расчёта тока анода;
- 30.Повторить пункты 20-29 для напряжений на блоке питания анода в диапазоне от 4 до 90В с шагом 1В;
- 31.Сохранить результаты в виде *excel*;
- 32.Установить минимальное напряжение на блоке питания анода;
- 33.Выбрать режим замера ВАХ при $U_{\text{сетки}} = 1\text{В}$;

34. Выставить длительность ШИМ сигнала так, чтобы получить $U_{\text{сетки}} = 1\text{В}$;
35. Установить напряжение на блоке питания анода равное 3В ;
36. Нажать на кнопку «Старт измерений»;
37. Замкнуть реле $AREF3$;
38. Измерить анодное напряжение;
39. Разомкнуть реле $AREF3$;
40. Замкнуть реле $AREF1$;
41. Измерить напряжение на $R1$;
42. Рассчитать по закону Ома ток анода, протекающий через $R1=20\text{ Ом}$;
43. Разомкнуть реле $AREF1$;
44. Сохранить результаты измерения анодного напряжения и расчёта тока анода;
45. Повторить пункты 35-44 для напряжений на блоке питания анода в диапазоне от 4 до 90В с шагом 1В ;
46. Сохранить результаты в виде *excel*;
47. Установить минимальное напряжение на блоке питания анода;
48. Выставить длительность ШИМ сигнала так, чтобы получить $U_{\text{сетки}} = 0\text{В}$;
49. Выбрать режим замера анодно сеточной характеристики;
50. Установить напряжение на блоке питания анода равное 60В ;
51. Замкнуть реле $AREF3$;
52. Измерить анодное напряжение;
53. Разомкнуть реле $AREF3$;
54. Сохранить результат измерения анодного напряжения;
55. Выставить длительность ШИМ сигнала блока питания сетки $= 1\%$;
56. Замкнуть реле $AREF1$;
57. Измерить напряжение на $R1$;
58. Рассчитать по закону Ома ток анода, протекающий через $R1=20\text{ Ом}$;
59. Разомкнуть реле $AREF1$;

60. Сохранить результат расчёта тока анода;
 61. Повторить пункты 55-60 для длительности ШИМ сигнала блока питания сетки от 2% до 100% с шагом 1%;
 62. Сохранить результаты в виде *excel*;
 63. Установить минимальное напряжение на блоке питания анода;
 64. Выставить длительность ШИМ сигнала так, чтобы получить $U_{\text{сетки}} = 0\text{В}$;
 65. Выбрать режим замера сеточной характеристики;
 66. Установить напряжение на блоке питания анода равное 60В;
 67. Замкнуть реле *AREF3*;
 68. Измерить анодное напряжение;
 69. Разомкнуть реле *AREF3*;
 70. Сохранить результат измерения анодного напряжения;
 71. Выставить длительность ШИМ сигнала блока питания сетки = 1%;
 72. Замкнуть реле *AREF2*;
 73. Измерить напряжение на *R2*;
 74. Рассчитать по закону Ома ток сетки, протекающий через $R2=5\text{кОм}$;
 75. Разомкнуть реле *AREF2*;
 76. Сохранить результат расчёта тока сетки;
 77. Повторить пункты 71-76 для длительности ШИМ сигнала блока питания сетки от 2% до 100% с шагом 1%;
 78. Сохранить результаты в виде *excel*;
 79. Установить минимальное напряжение на блоке питания анода;
 80. Выставить длительность ШИМ сигнала так, чтобы получить $U_{\text{сетки}} = 0\text{В}$;
 81. Разомкнуть все реле;
3. Исследование характеристик пентода:
1. Замкнуть третье реле и подать анодное напряжение на пентод;
 2. Замкнуть пятое реле и подать сеточное напряжение на пентод;
 3. Выбрать режим замера ВАХ при $U_{\text{сетки}} = 0\text{В}$;

4. Выставить длительность ШИМ сигнала блока питания сетки = 1%, чтобы получить $U_{\text{сетки}} = 0\text{В}$;
5. Установить напряжение на блоке питания анода равное 3В;
6. Нажать на кнопку «Старт измерений»;
7. Замкнуть реле $AREF3$;
8. Измерить анодное напряжение;
9. Разомкнуть реле $AREF3$;
10. Замкнуть реле $AREF1$;
11. Измерить напряжение на $R1$;
12. Рассчитать по закону Ома ток анода, протекающий через $R1=20\text{ Ом}$;
13. Разомкнуть реле $AREF1$;
14. Сохранить результаты измерения анодного напряжения и расчёта тока анода;
15. Повторить пункты 5-14 для напряжений на блоке питания анода в диапазоне от 4 до 90В с шагом 1В;
16. Сохранить результаты в виде *excel*;
17. Установить минимальное напряжение на блоке питания анода;
18. Выбрать режим замера VAX при $U_{\text{сетки}} = 0,5\text{В}$;
19. Выставить длительность ШИМ сигнала так, чтобы получить $U_{\text{сетки}} = 0,5\text{В}$;
20. Установить напряжение на блоке питания анода равное 3В;
21. Нажать на кнопку «Старт измерений»;
22. Замкнуть реле $AREF3$;
23. Измерить анодное напряжение;
24. Разомкнуть реле $AREF3$;
25. Замкнуть реле $AREF1$;
26. Измерить напряжение на $R1$;
27. Рассчитать по закону Ома ток анода, протекающий через $R1=20\text{ Ом}$;
28. Разомкнуть реле $AREF1$;

29. Сохранить результаты измерения анодного напряжения и расчёта тока анода;
30. Повторить пункты 20-29 для напряжений на блоке питания анода в диапазоне от 4 до 90В с шагом 1В;
31. Сохранить результаты в виде *excel*;
32. Установить минимальное напряжение на блоке питания анода;
33. Выбрать режим замера ВАХ при $U_{\text{сетки}} = 1\text{В}$;
34. Выставить длительность ШИМ сигнала так, чтобы получить $U_{\text{сетки}} = 1\text{В}$;
35. Установить напряжение на блоке питания анода равное 3В;
36. Нажать на кнопку «Старт измерений»;
37. Замкнуть реле *AREF3*;
38. Измерить анодное напряжение;
39. Разомкнуть реле *AREF3*;
40. Замкнуть реле *AREF1*;
41. Измерить напряжение на *R1*;
42. Рассчитать по закону Ома ток анода, протекающий через $R1=20\text{ Ом}$;
43. Разомкнуть реле *AREF1*;
44. Сохранить результаты измерения анодного напряжения и расчёта тока анода;
45. Повторить пункты 35-44 для напряжений на блоке питания анода в диапазоне от 4 до 90В с шагом 1В;
46. Сохранить результаты в виде *excel*;
47. Установить минимальное напряжение на блоке питания анода;
48. Выставить длительность ШИМ сигнала так, чтобы получить $U_{\text{сетки}} = 0\text{В}$;
49. Выбрать режим замера анодно сеточной характеристики;
50. Установить напряжение на блоке питания анода равное 60В;
51. Замкнуть реле *AREF3*;
52. Измерить анодное напряжение;

53. Разомкнуть реле *AREF3*;
54. Сохранить результат измерения анодного напряжения;
55. Выставить длительность ШИМ сигнала блока питания сетки = 1%;
56. Замкнуть реле *AREF1*;
57. Измерить напряжение на *R1*;
58. Рассчитать по закону Ома ток анода, протекающий через *R1*=20 Ом;
59. Разомкнуть реле *AREF1*;
60. Сохранить результат расчёта тока анода;
61. Повторить пункты 55-60 для длительности ШИМ сигнала блока питания сетки от 2% до 100% с шагом 1%;
62. Сохранить результаты в виде *excel*;
63. Установить минимальное напряжение на блоке питания анода;
64. Выставить длительность ШИМ сигнала так, чтобы получить $U_{\text{сетки}} = 0\text{В}$;
65. Выбрать режим замера сеточной характеристики;
66. Установить напряжение на блоке питания анода равное 60В;
67. Замкнуть реле *AREF3*;
68. Измерить анодное напряжение;
69. Разомкнуть реле *AREF3*;
70. Сохранить результат измерения анодного напряжения;
71. Выставить длительность ШИМ сигнала блока питания сетки = 1%;
72. Замкнуть реле *AREF2*;
73. Измерить напряжение на *R2*;
74. Рассчитать по закону Ома ток сетки, протекающий через *R2*=5кОм;
75. Разомкнуть реле *AREF2*;
76. Сохранить результат расчёта тока сетки;
77. Повторить пункты 71-76 для длительности ШИМ сигнала блока питания сетки от 2% до 100% с шагом 1%;
78. Сохранить результаты в виде *excel*;
79. Установить минимальное напряжение на блоке питания анода;

80. Выставить длительность ШИМ сигнала так, чтобы получить $U_{\text{сетки}} = 0\text{В}$;

81. Разомкнуть все реле.

2.2 Разработка электрических принципиальных схем устройств, которые входят в состав учебного стенда

Для регулирования анодного напряжения нужно устройство, которым можно управлять с помощью переменного резистора. Данное устройство должно будет регулировать анодное напряжение в диапазоне от 3 – 90 В и выдерживать анодный ток порядка 100мА, так как это максимальный ток самой мощной лампы 6П15П.

Для этой задачи подойдёт блок питания с регулируемым напряжением от 3 до 90В и максимальным выходным током порядка 200мА.

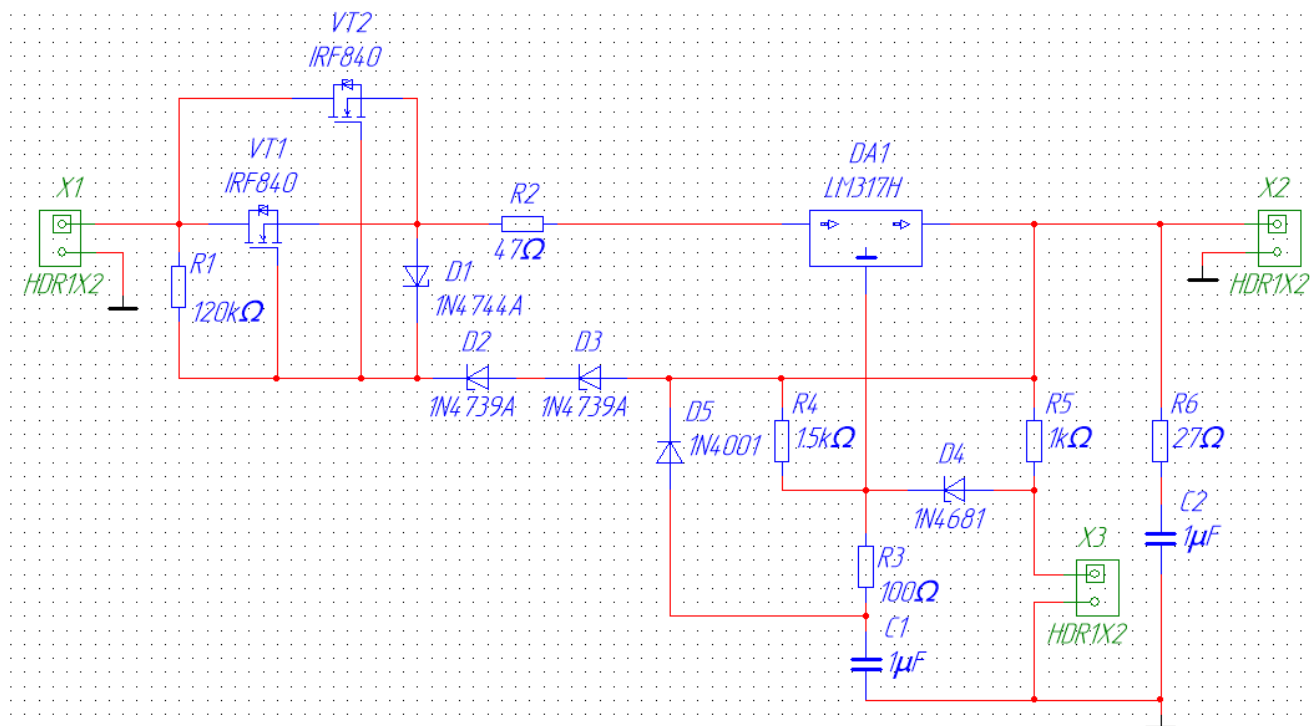
Данный блок питания способен регулировать выходное напряжение от 3 до 90В, при этом максимальный ток будет составлять 200мА. Ещё одной особенностью данного устройства это наличие защиты от короткого замыкания.

Технические характеристики источника:

- диапазон выходного напряжения, В - 3...100;
- максимальный ток на выходе, мА200.

Блок питания можно собрать из распространённых радиодеталей. Для регулирования напряжения на выходе здесь используется стабилизатор напряжения LM317. Он способен работать на высоких напряжениях, поскольку разность потенциалов между входом и выходом не превышает 40В. Для того чтобы напряжение между входом и выходом данной микросхемы не превышало 20В были установлены два транзистора IRF840. Напряжение 20В создаётся стабилитронами VD2 и VD3. В качестве меры предосторожности от короткого замыкания на выходе данного блока питания здесь установлены R6 и C2. Данная RC цепочка защищает LM317 от короткого замыкания. Выходной ток при коротком замыкании ограничивает R2. Также этим резистором можно регулировать максимальный ток нагрузки.

Схема блока питания анода показана на рисунке 13.



Для снятия анодных и сеточных характеристик нужно изменять напряжение на сетке. С этой задачей справится блок питания способный регулировать напряжение на выходе в диапазоне от 0В до -5В.

- максимальный ток на выходе источника напряжения 20мА;
- напряжение на выходе можно регулировать от 0 до -5В.

В качестве выпрямителя здесь служит $VD1$, который пропускает только положительный полупериод напряжения на входе. Для стабильного напряжения на выходе данного выпрямителя здесь установлен $C1$.

Для того чтобы через $R1$ протекал ток равный 30мА нужно взять резистор с номиналом 120Ом.

$$I_{R1} = \frac{(6,3 \cdot 1,41 - 5,1)}{120} = 0,03A \quad (1)$$

Стабилитрон VD 2 забирает 10мА оставшийся ток равный 20мА будет течь через транзистор VT1

$$I_{VT1} = \frac{10,2}{470} = 0,02A \quad (2)$$

Меняя напряжения на затворе транзистора, мы будем менять сопротивление канала. Управляя сопротивлением канала, мы можем управлять выходным напряжением от 0В до 5В.

Однако нам нужно преобразовать ШИМ сигнал в аналоговое напряжение. Для этой цель подойдет цифро-аналогового преобразователь (ЦАП), в качестве которого выступает RC фильтр низких частот (ФНЧ).

ШИМ сигнал представляет собой последовательность импульсов с определённой частотой, и определённой длительностью. Временная зависимость данного сигнала показана на рисунке 14.

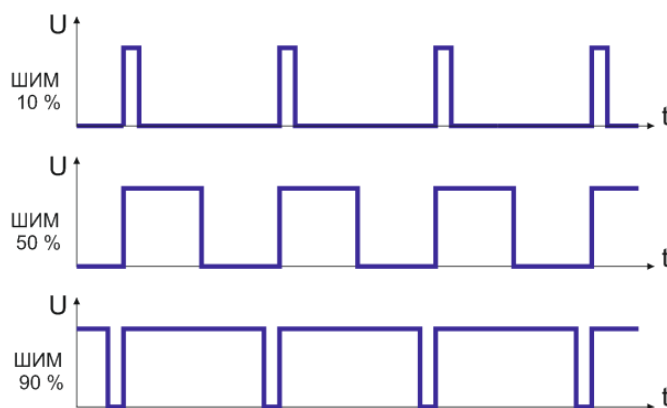


Рисунок 14 – Временные зависимости ШИМ сигналов

После прохождения ШИМ сигнала через фильтр нижних частот на выходе мы получим аналоговый сигнал. Напряжение на выходе данного фильтра будет зависеть от коэффициента заполнения ШИМ [6].

Простейший RC фильтр показан на рисунке 15.

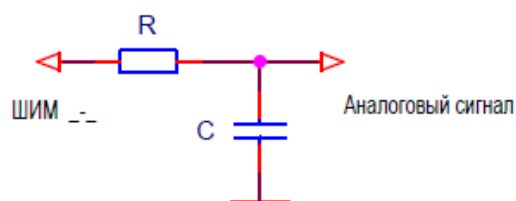


Рисунок 15 – RC фильтр нижних частот

Поскольку данный фильтр не является идеальным, то частота среза этого фильтра должна быть как минимум на порядок меньше частоты ШИМ сигнала.

Частоту среза можно рассчитать по формуле.

$$F = 1 / (2 \pi R C). \quad (3)$$

С ростом частоты среза фильтра нижних частот на его выходе будут расти пульсации.

При уменьшении частоты среза фильтра пульсации будут уменьшаться, но снизится быстродействие данного фильтра.

В качестве источников ШИМ сигналов для блока питания сетки можно взять выводы 9 и 10, следовательно, частота ШИМ сигнала будет равна 488,28 Гц.

Если взять фильтр с частотой среза 48 Гц и ШИМ сигнал с коэффициентом заполнения 50%, то время нарастания напряжения на выходе такого фильтра будет всего лишь 8,9мс, однако будут наблюдаться пульсации. Схема данного фильтра показана на рисунке 16, а осциллограмма выходного напряжения данного фильтра показана на рисунке 17 [7].

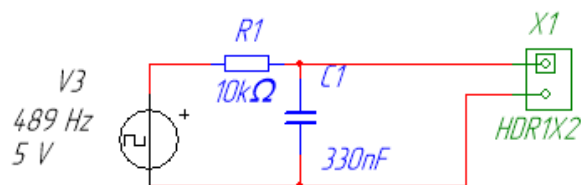


Рисунок 16 – RC фильтр нижних частот



Рисунок 17 – Осциллограмма выходного напряжения

Если взять фильтр с частотой среза 5 Гц и ШИМ сигнал с коэффициентом заполнения 50%, то время нарастания напряжения на выходе такого фильтра будет 136мс, однако пульсаций практически не будет. Схема данного фильтра показана на рисунке 18, а осциллограмма выходного напряжения данного фильтра показана на рисунке 19.

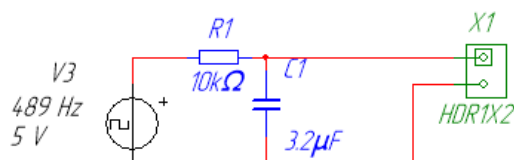


Рисунок 18 – RC фильтр низких частот

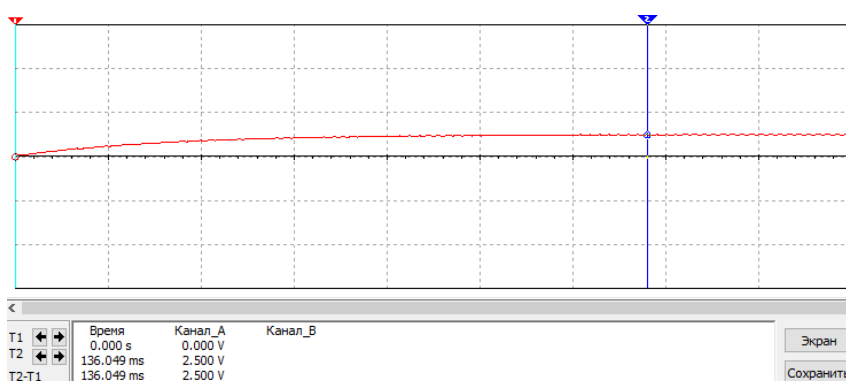


Рисунок 19 – Осциллограмма выходного напряжения

Исходя из осциллограмм, нужно взять фильтр с частотой среза равной 5Гц, так как данный ФНЧ обладает минимальными пульсациями.

В результате после прохождения через ФНЧ ШИМ сигнала, на его выходе образуется аналоговый сигнал, Зависимость напряжения на выходе ФНЧ от коэффициента заполнения ШИМ сигнала показана на рисунке 20 [8].

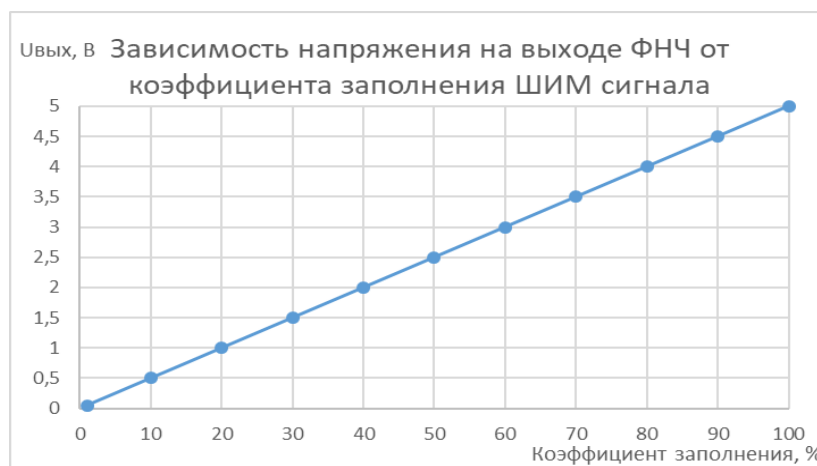


Рисунок 20 – Зависимость напряжения на выходе ФНЧ от коэффициента заполнения ШИМ сигнала

В результате получается регулируемый блок питания сетки с низким выходным сопротивлением и с стабильным напряжением на выходе, которым можно управлять с помощью ШИМ сигнала.

Схема данного устройства показана на рисунке 21

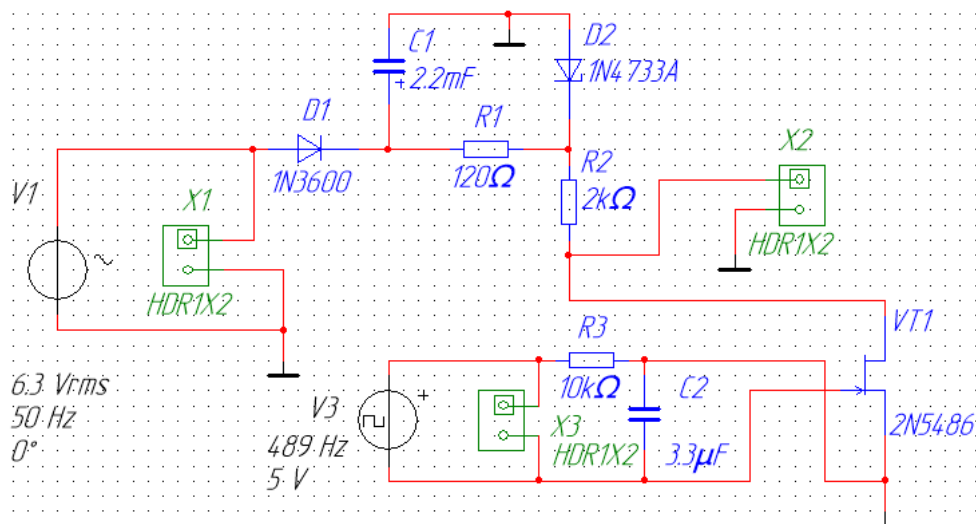


Рисунок 21 – Схема электрическая принципиальная блока питания сетки

Для снятия характеристик вакуумных ламп нужно устройство способное мерить напряжение и ток на аноде, а также ток сетки триода и пентода.

В качестве такого устройства подойдёт плата *Arduino Nano*, на ней имеется 8 портов АЦП.

Однако напрямую подавать 90В на АЦП нельзя поэтому, нужна схема с делителем напряжения.

Токи анода и сетки можно измерить если пропустить их через резисторы и произвести замер напряжения на них и по закону Ома найти ток, зная номиналы резисторов.

Поскольку через сетку протекает ток порядка нескольких мкА, то нужно взять резистор с большим сопротивлением чем при замерах анодного тока.

Для замеров тока сетки был взят резистор номиналом 5 кОм, а для замеров анодного тока был взят резистор номиналом 20 Ом.

Делитель напряжения был сделан таким образом, чтобы при 100В, на схеме измерения анодного напряжения было 4,55В, таким образом получился делитель напряжения на 22. Зная коэффициент деления, мы можем точно измерить напряжение на выходе блока питания анода.

Напряжение на выходе блока питания сетки мы мерить не будем, так как оно зависит от коэффициента заполнения ШИМ сигнала, следовательно, напряжение будем брать из таблицы.

Схема для снятия характеристик вакуумных ламп показана на рисунке 22.

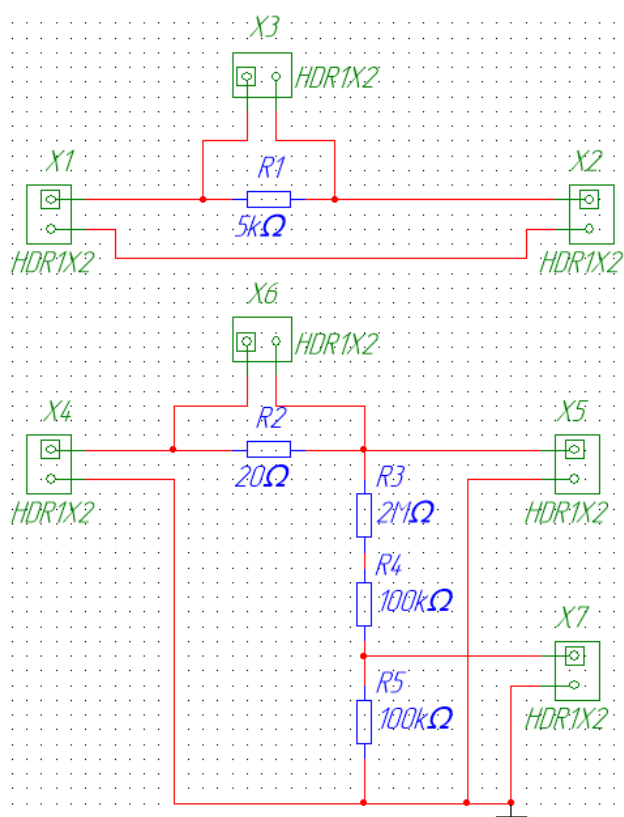


Рисунок 22 – Схема электрическая принципиальная для снятия характеристик вакуумных ламп

Для снятия вольт амперной характеристики вакуумного диода необходимо устройство, на котором будет размещаться данная лампа

Схема данного устройства показана на рисунке 23.

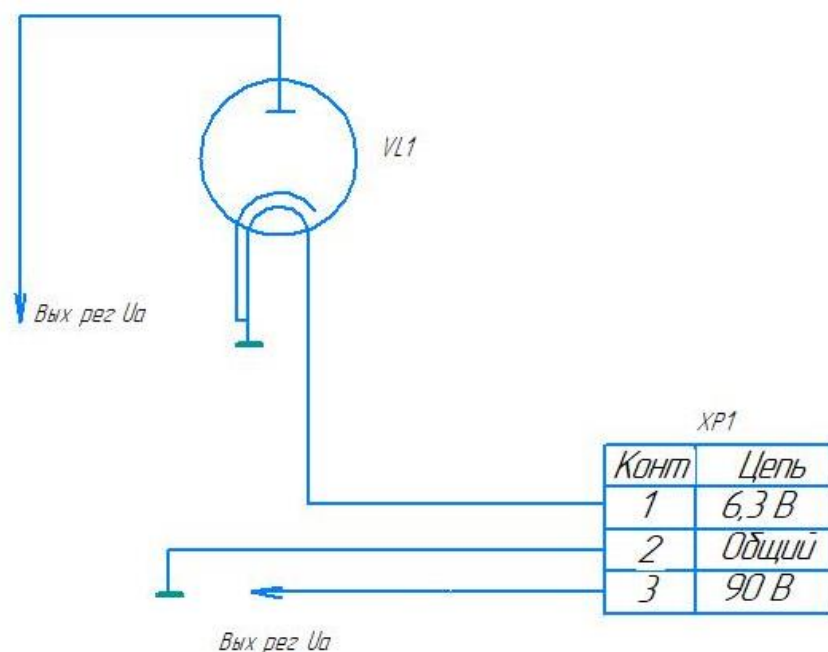


Рисунок 23 – Схема электрическая принципиальная включения вакуумного диода

Для снятия вольт амперных и сеточных характеристик вакуумного триода необходимо устройство, на котором будет размещаться данная лампа. Схема данной установки показана на рисунке 24.

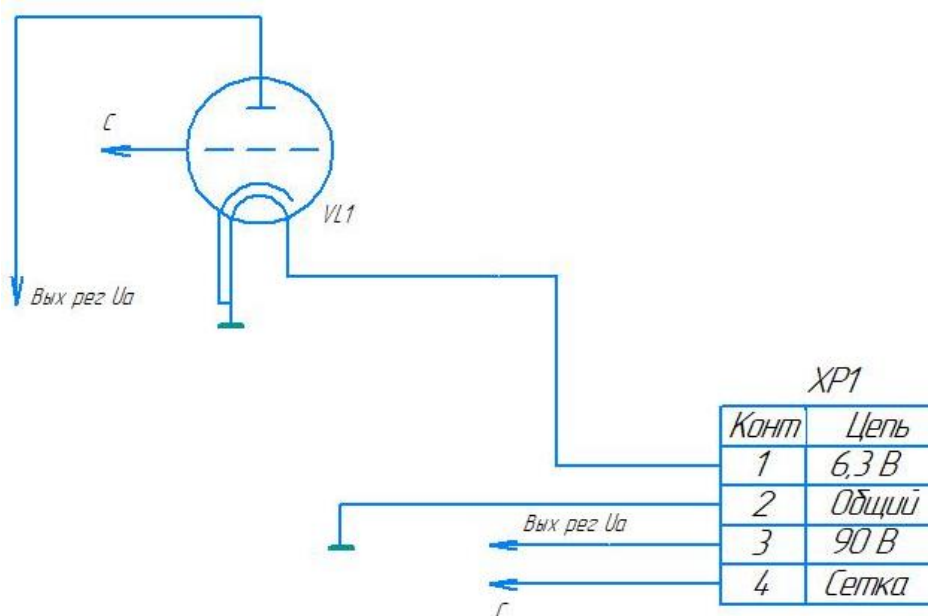


Рисунок 24 – Схема электрическая принципиальная включения вакуумного триода

Для снятия вольт амперных и сеточных характеристик вакуумного пентода необходимо устройство, на котором будет размещаться данная лампа. Схема данной установки показана на рисунке 25.

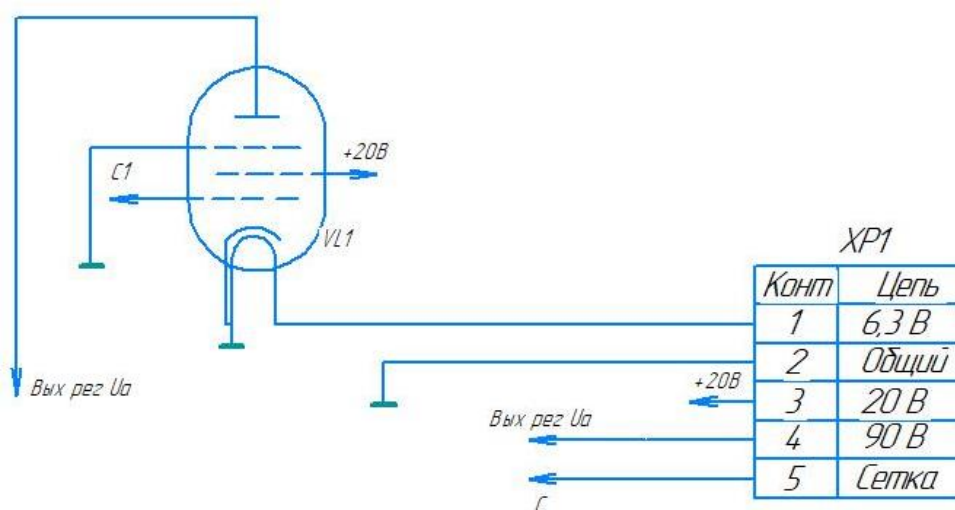


Рисунок 25 – Схема электрическая принципиальная включения вакуумного пентода

В результате на основе схем, показанных на рисунках 23-25 можно сделать для подключения вакуумного диода, триода и пентода.

3 Изготовление стенда по вакуумной электронике и проверка его работоспособности

3.1 Разработка послойных чертежей устройств, которые входят в состав учебного стенда

Исходя из схемы, показанной на рисунке 13, можно выполнить трассировку печатной платы блока питания анода.

Сборочные чертежи печатной платы показаны на рисунках 26 – 29.

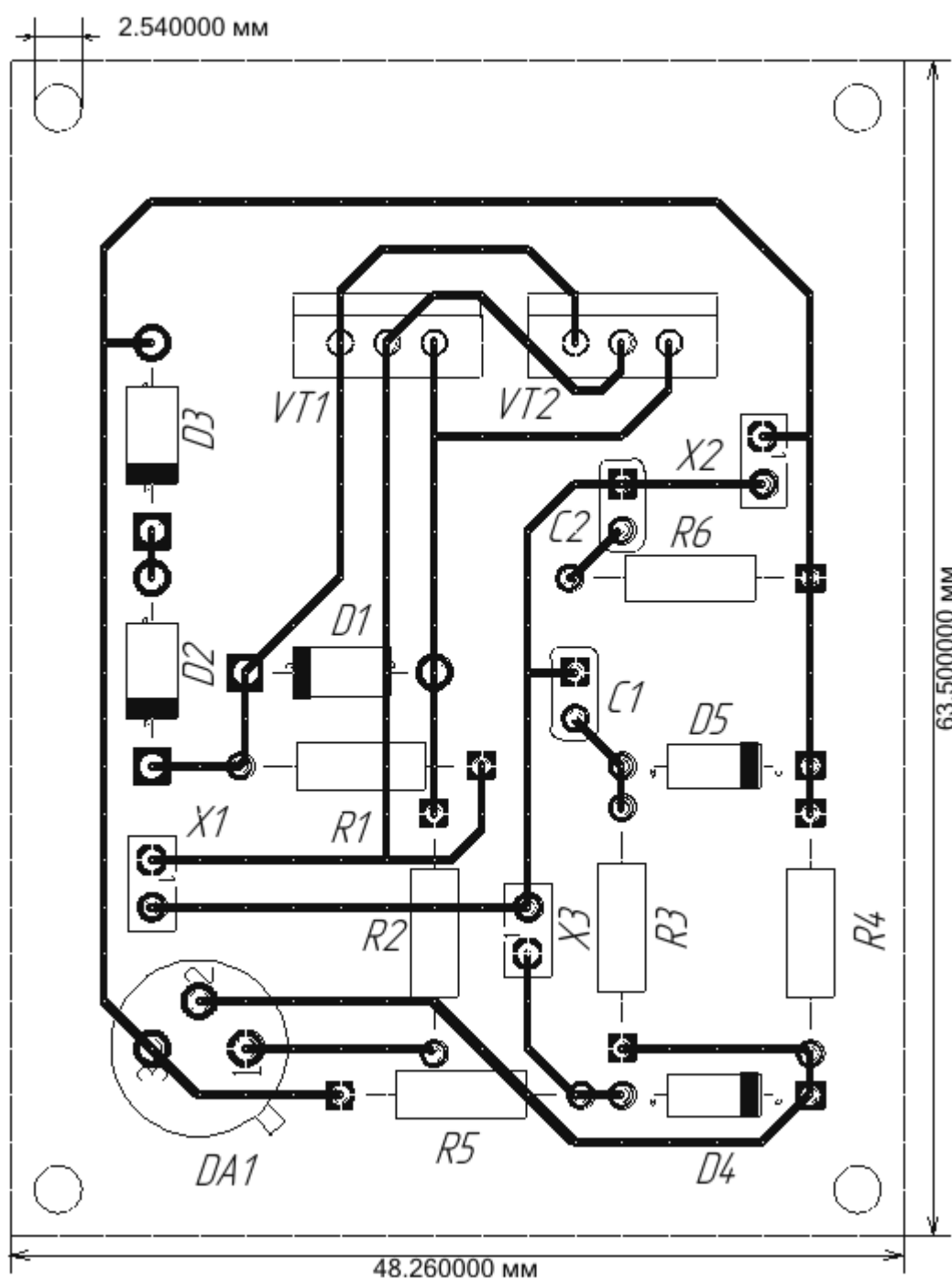


Рисунок 26 – Топология печатной платы блока питания анода

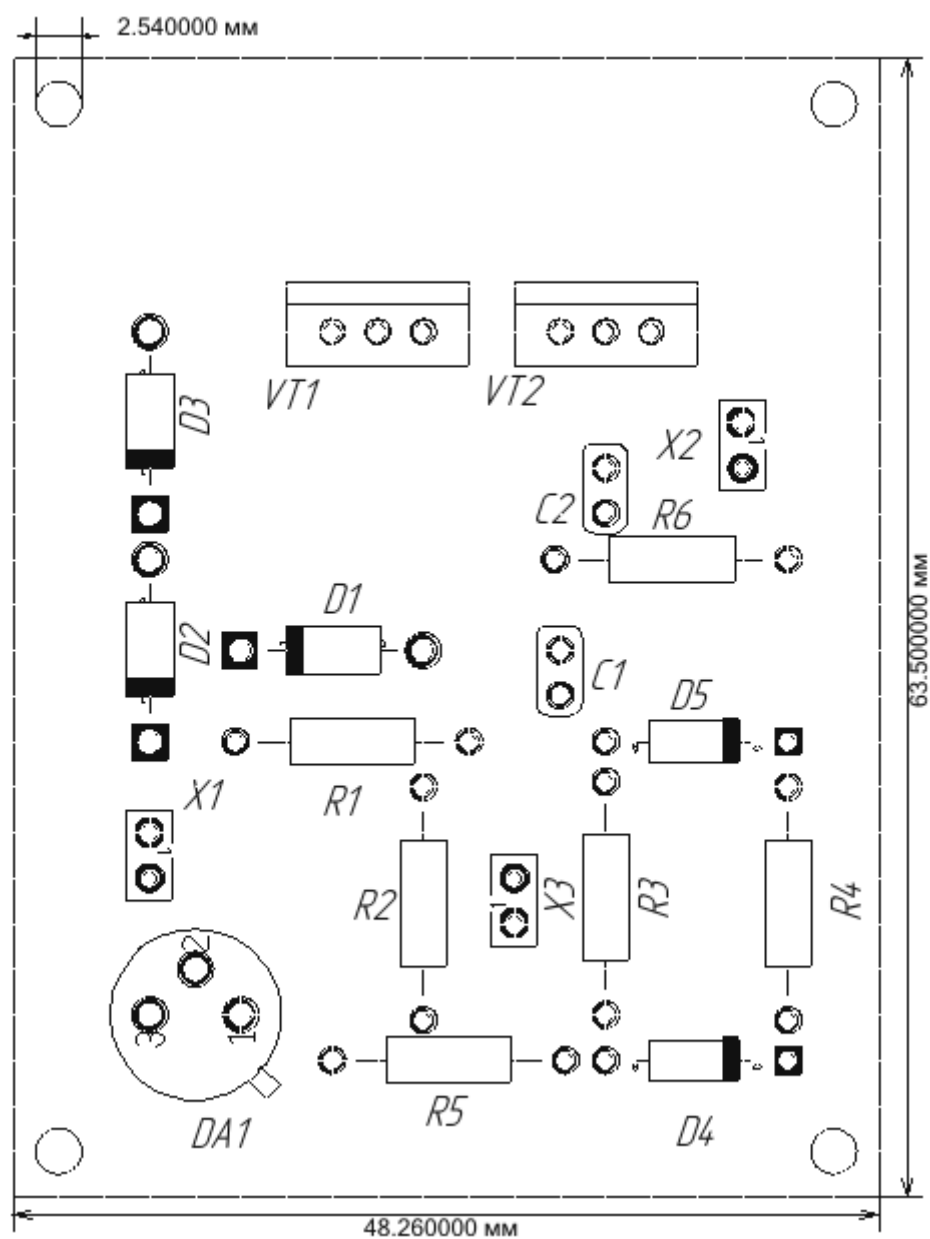


Рисунок 27 – Сборочный чертеж печатной платы блока питания анода

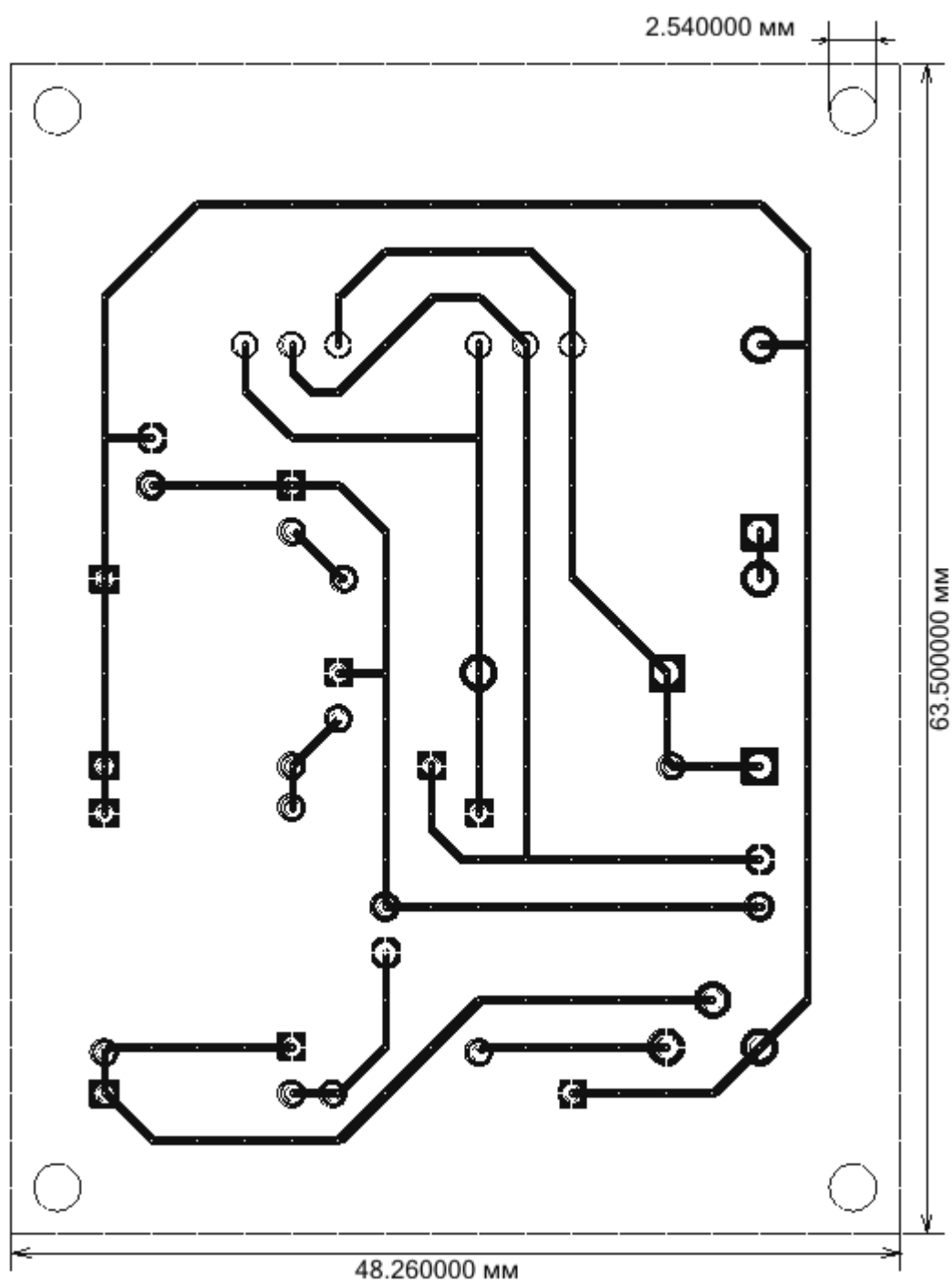


Рисунок 28 – Разводка нижней стороны печатной платы блока питания анода

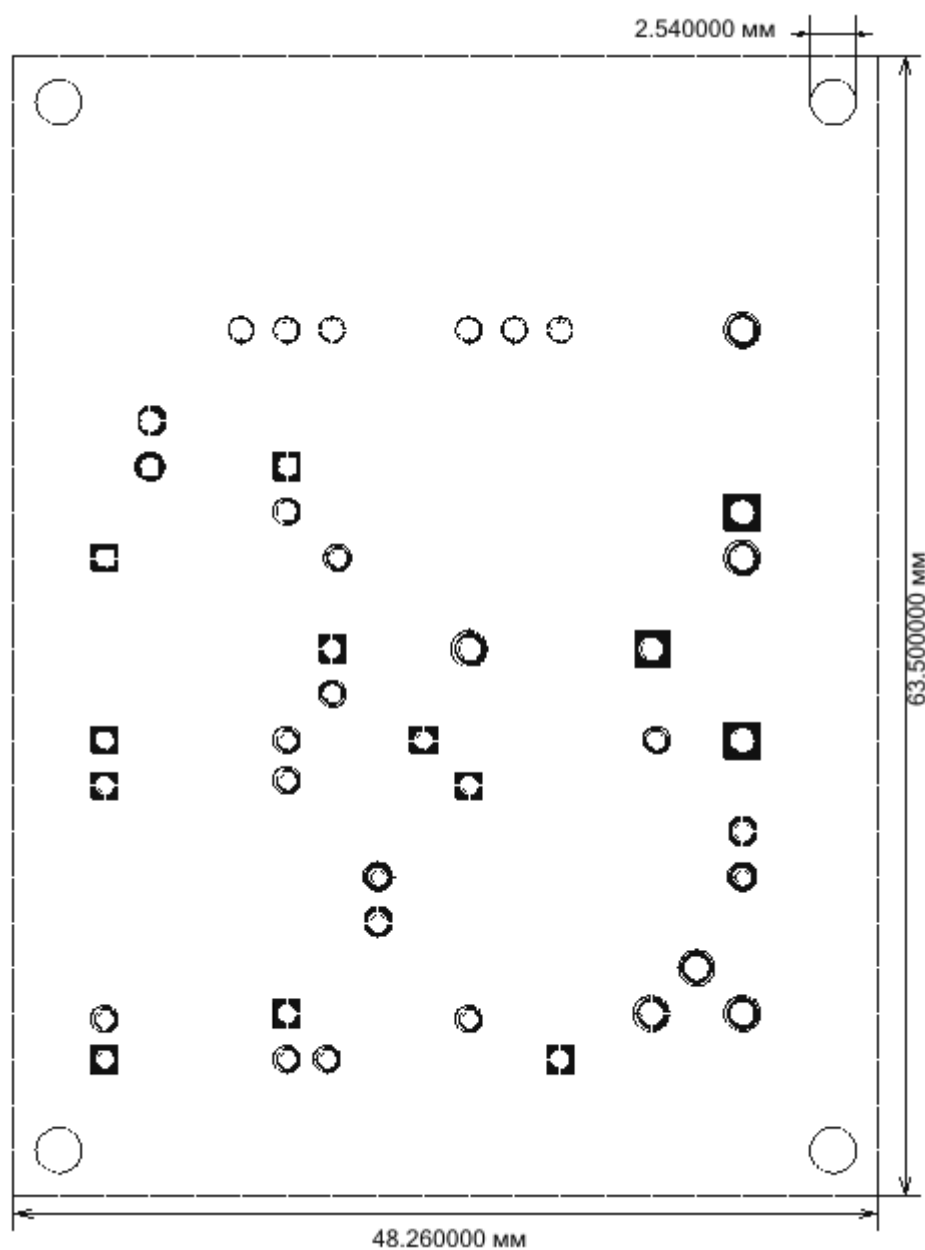


Рисунок 29 –Чертёж отверстий блока питания анода

Исходя из схемы, показанной на рисунке 21, можно выполнить трассировку печатной платы блока питания сетки.

Сборочные чертежи печатной платы показаны на рисунках 30 – 33.

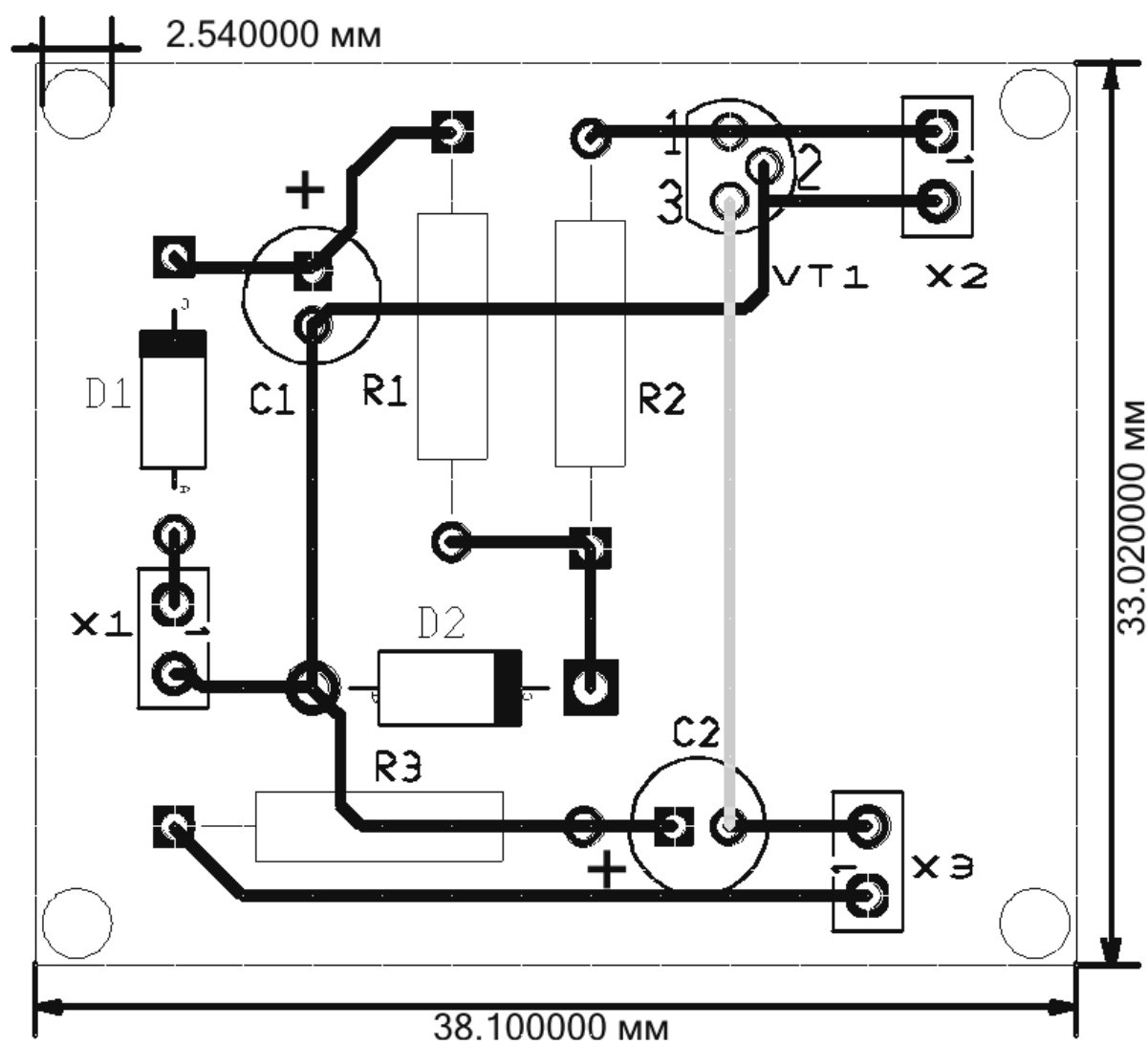


Рисунок 30 – Топология печатной платы блока питания сетки

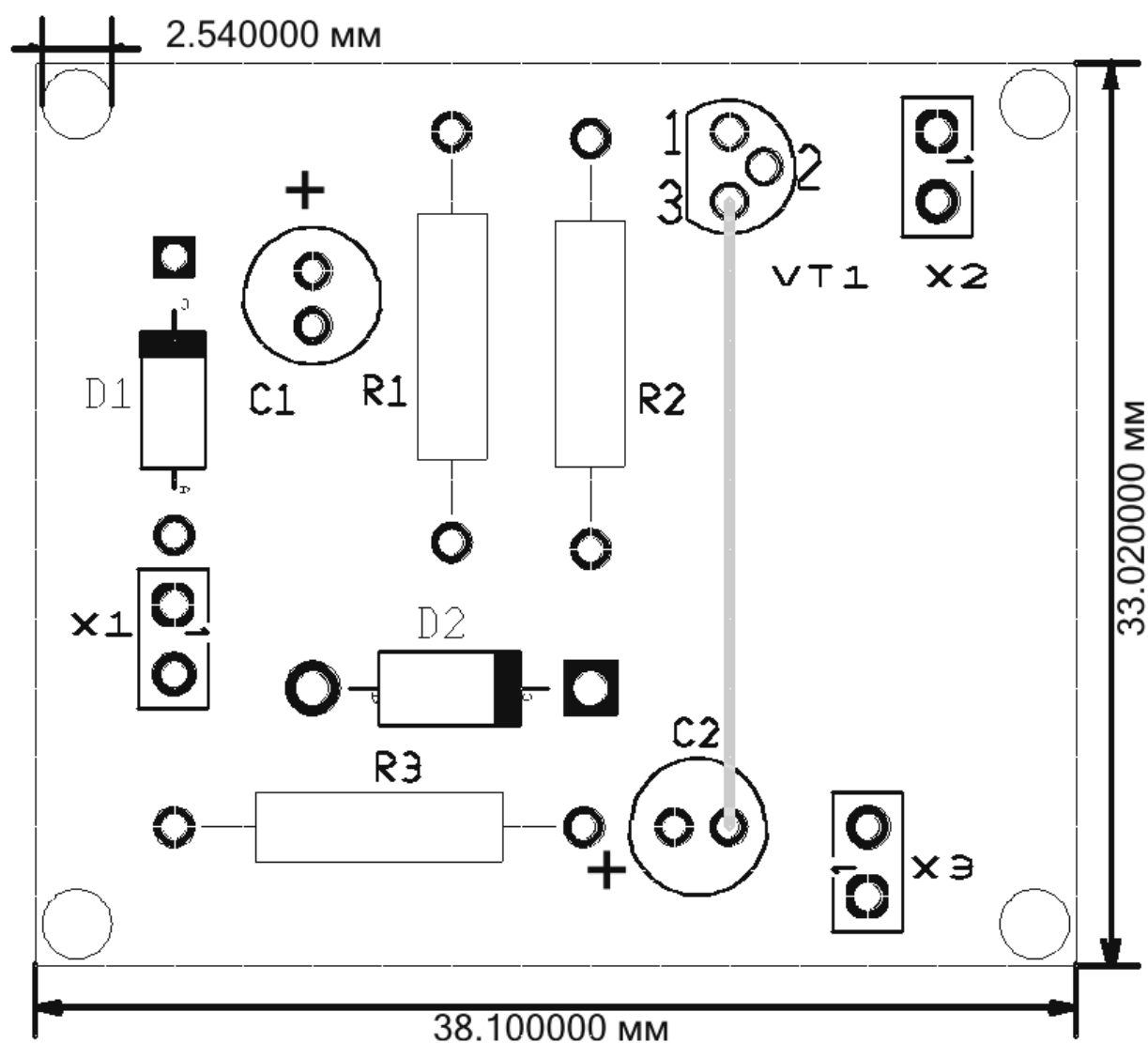


Рисунок 31 – Сборочный чертеж печатной платы блока питания сетки

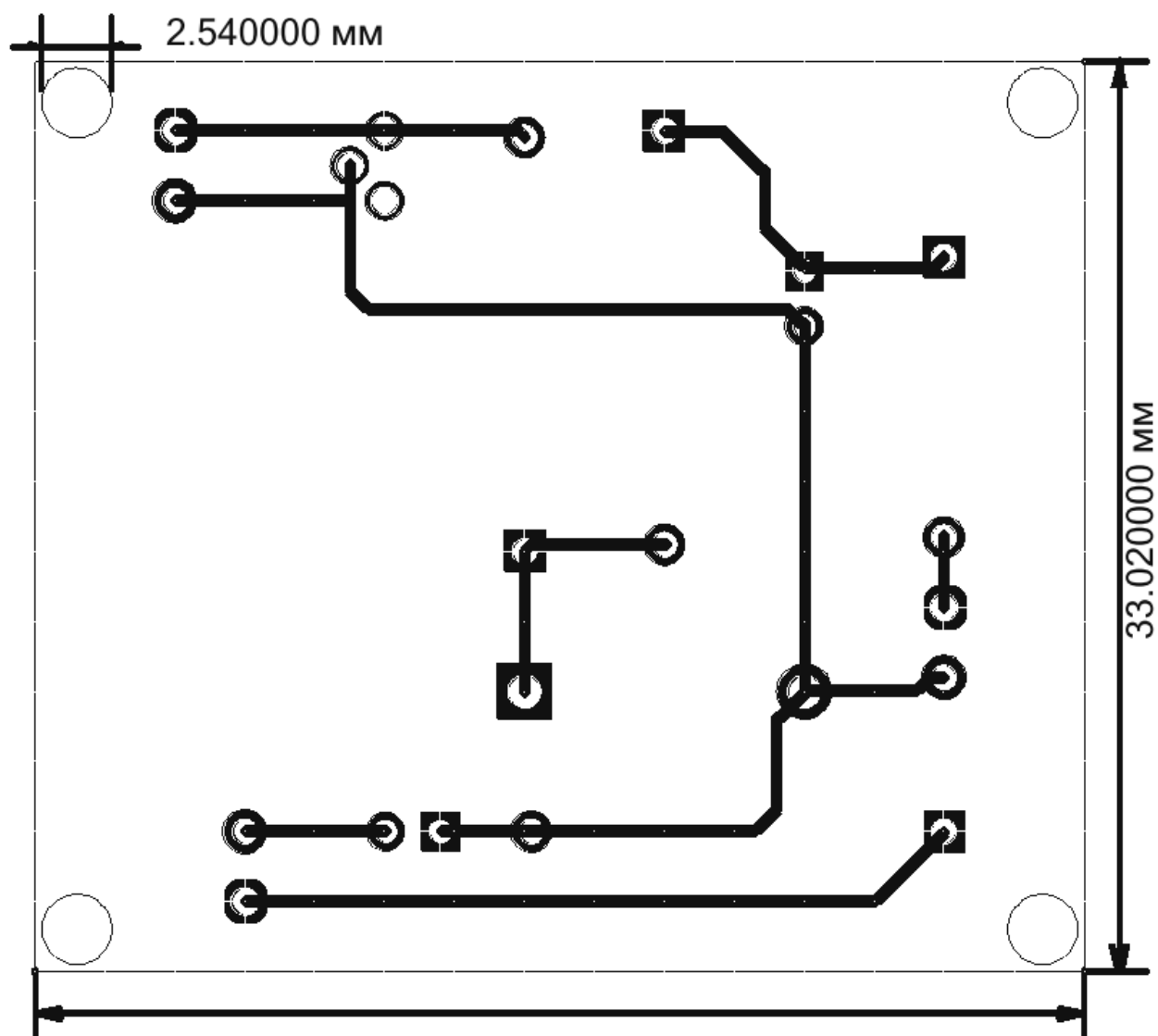


Рисунок 32 – Разводка нижней стороны печатной платы блока питания сетки

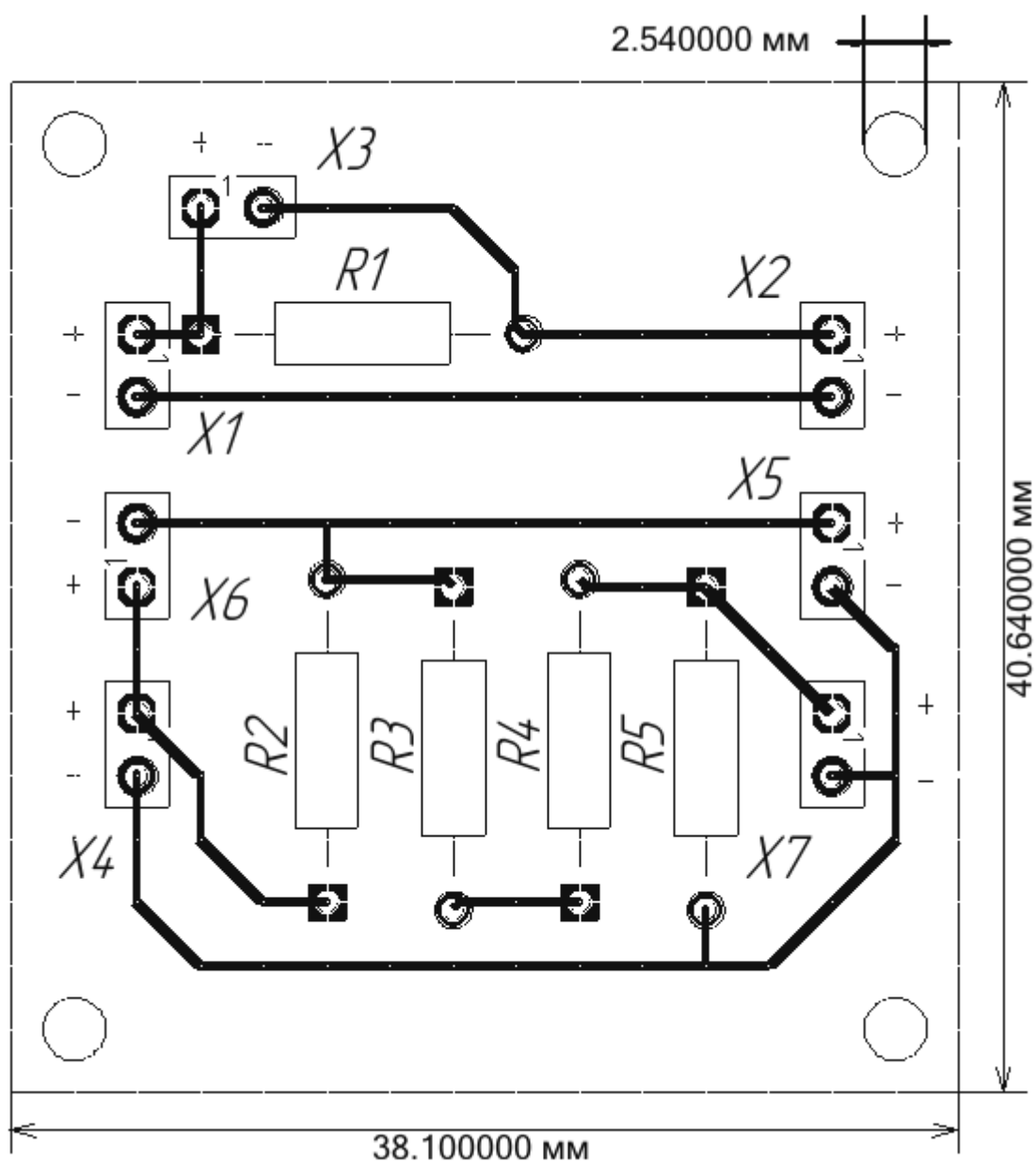


Рисунок 34 – Топология печатной платы схемы для снятия характеристик вакуумных ламп

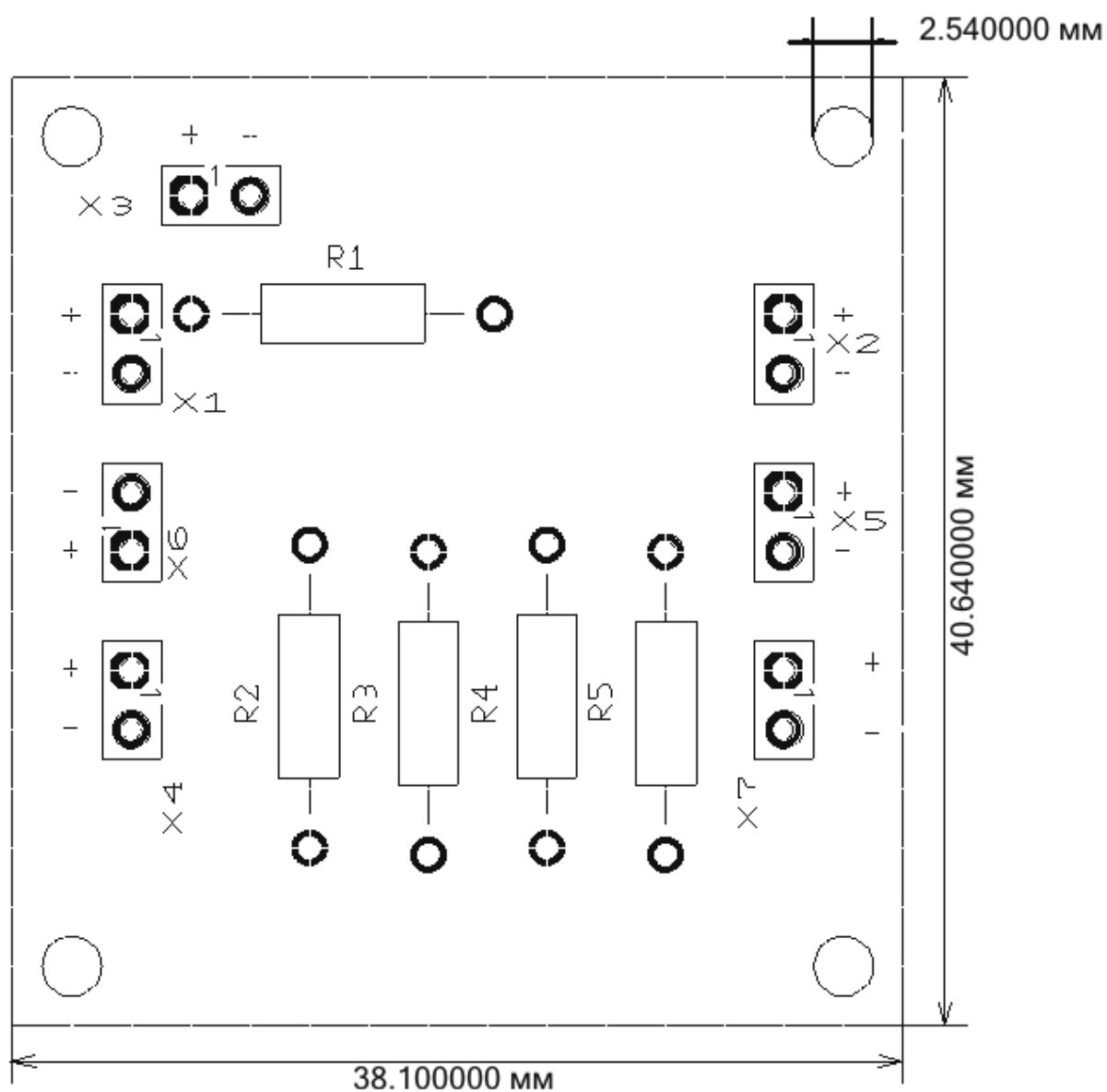


Рисунок 35 – Сборочный чертеж печатной платы схемы для снятия характеристик вакуумных ламп

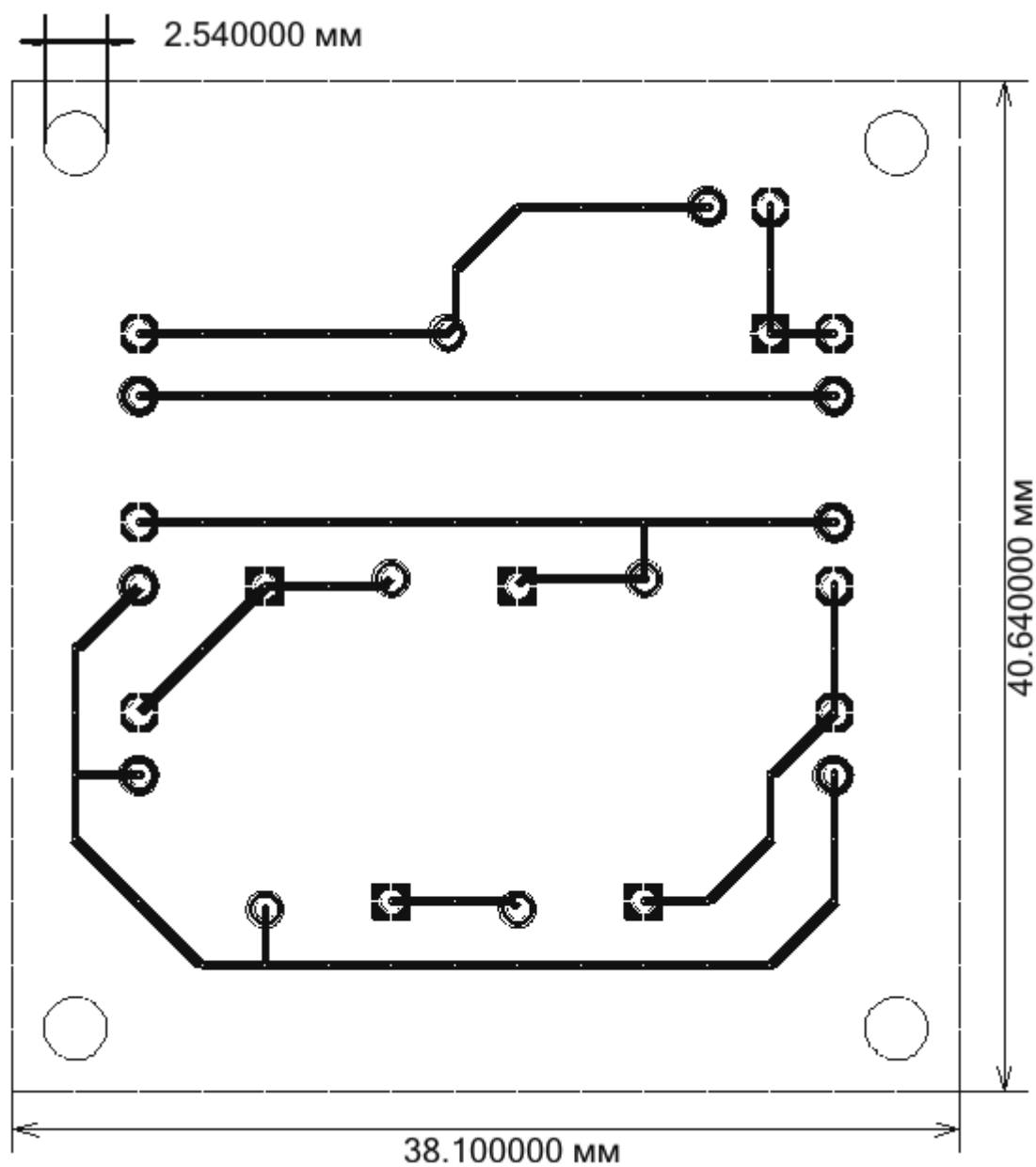


Рисунок 36 – Разводка нижней стороны печатной платы схемы для снятия характеристик вакуумных ламп

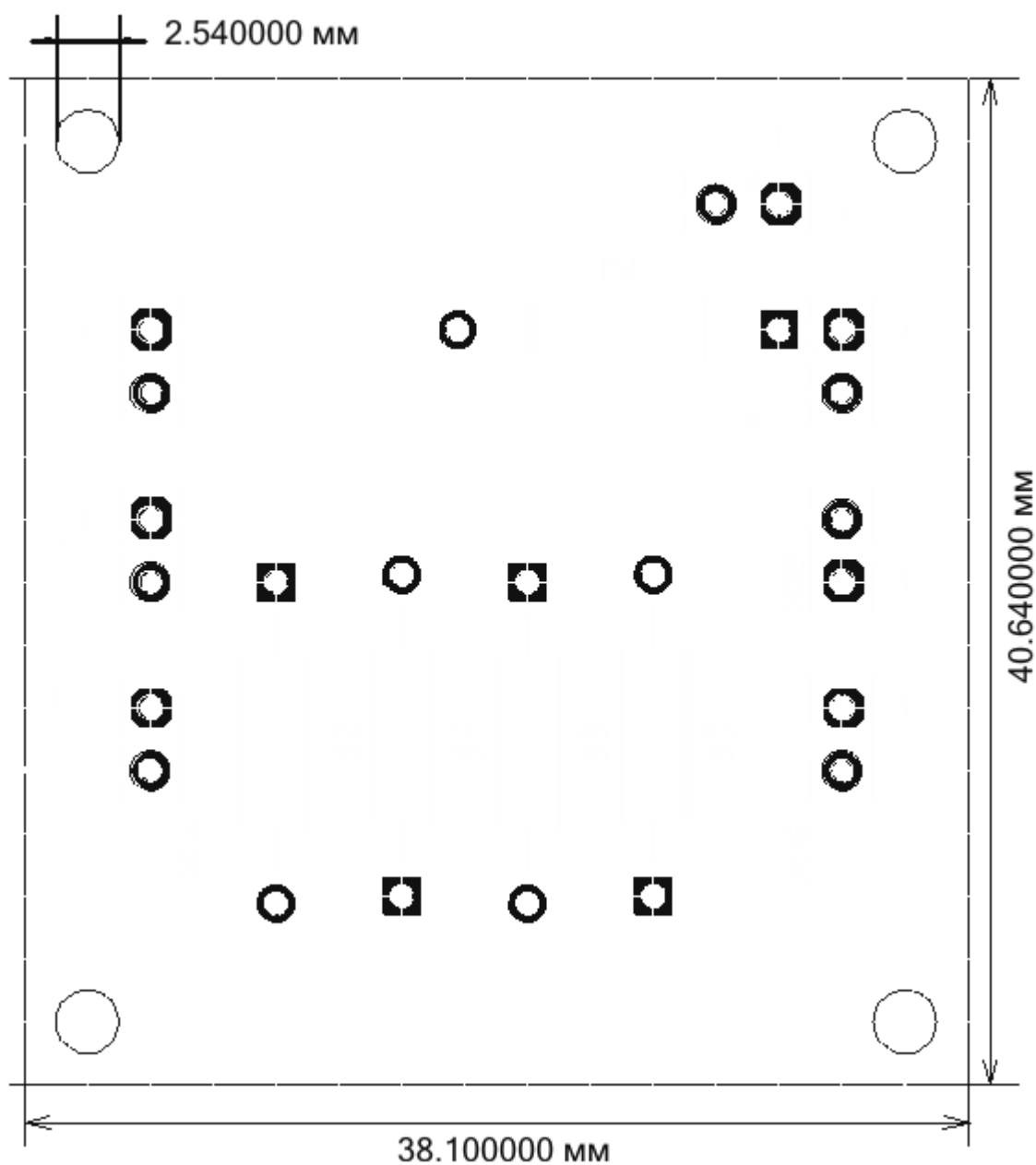


Рисунок 37 –Чертёж отверстий схемы для снятия характеристик вакуумных ламп

Исходя из схем, показанных на рисунках 23-25, можно выполнить трассировку печатной платы устройства для подключения вакуумного диода, триода и пентода.

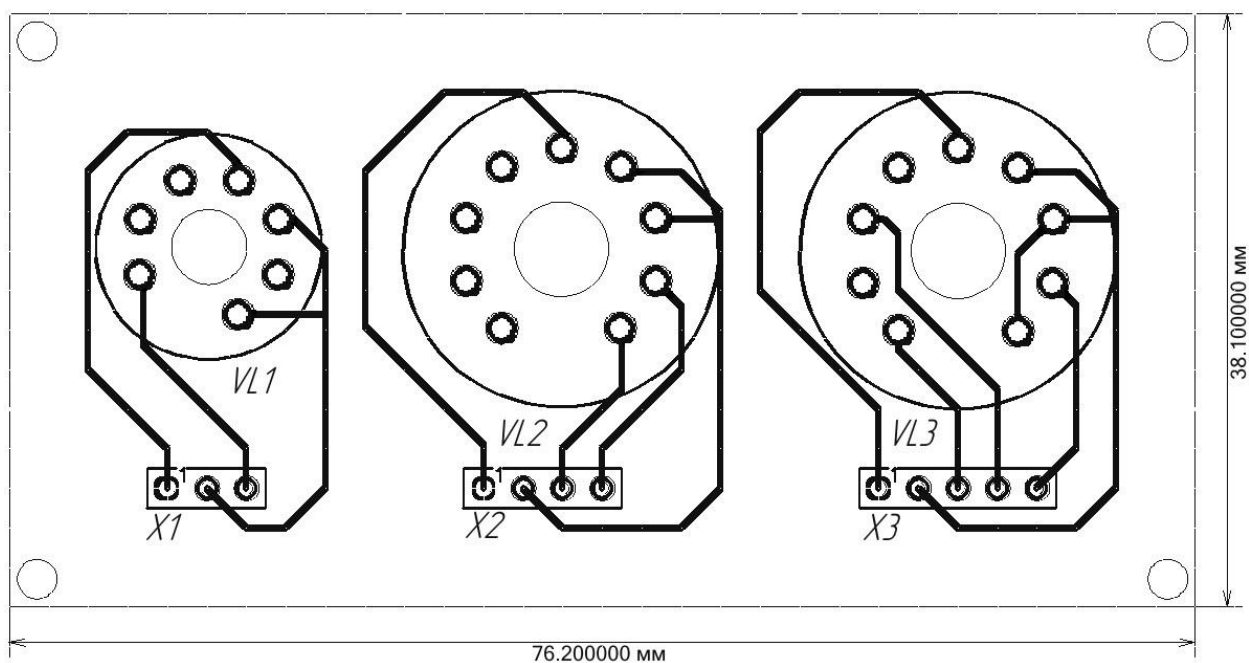


Рисунок 38 – Топология печатной платы схемы для подключения вакуумных ламп

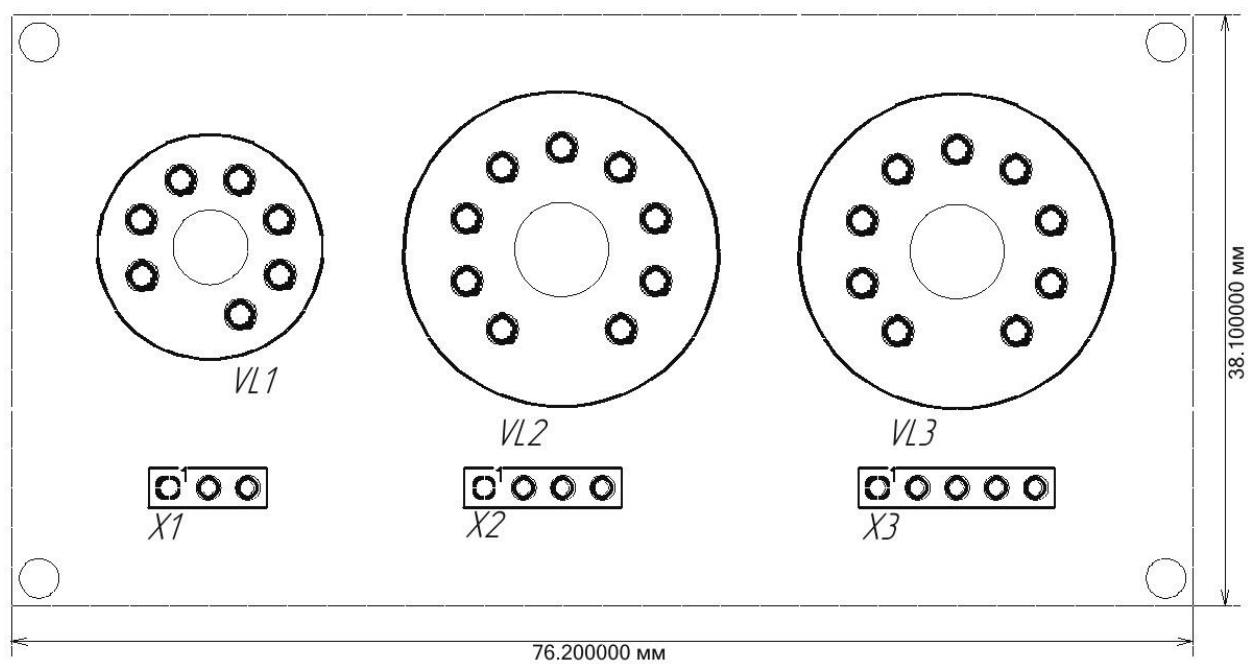


Рисунок 39 – Сборочный чертеж печатной платы схемы для подключения вакуумных ламп

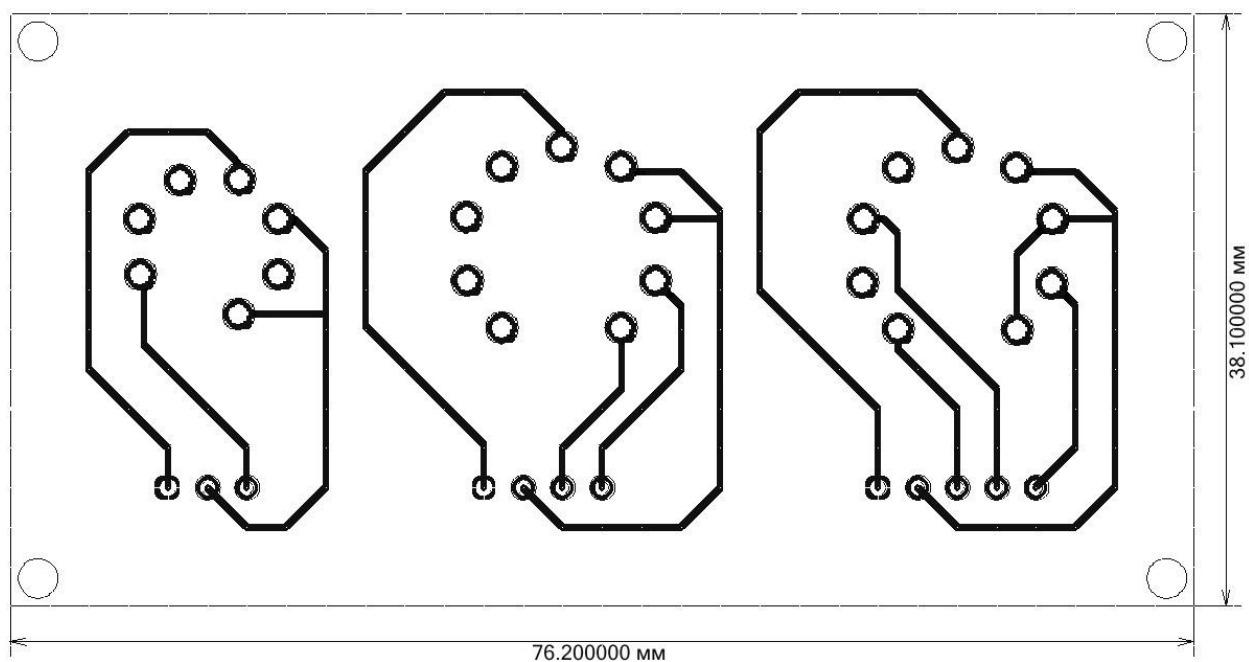


Рисунок 40 – Разводка нижней стороны печатной платы схемы для подключения вакуумных ламп

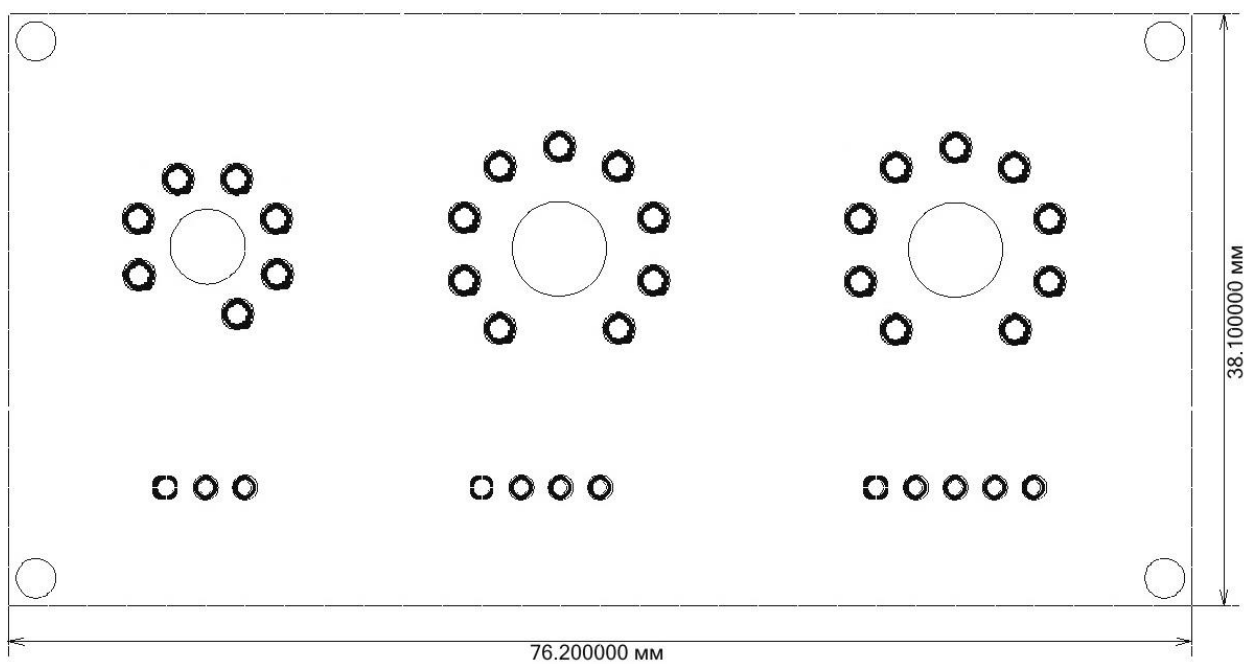


Рисунок 41 – Чертёж отверстий схемы для подключения вакуумных ламп

3.2 Проверка работоспособности учебного стенда

В качестве проверки работоспособности учебного стенда сделаем замер анодных характеристик вакуумных ламп. Для триода и пентода сделаем замер анодных характеристик при разных напряжениях на сетке.

Сделаем замер анодной характеристики вакуумного диода. Поскольку максимальное напряжение у 2Х2П составляет 14В, то будем проводить замер до 13,5В. ВАХ вакуумного диода 2Х2П показана на рисунке 42.

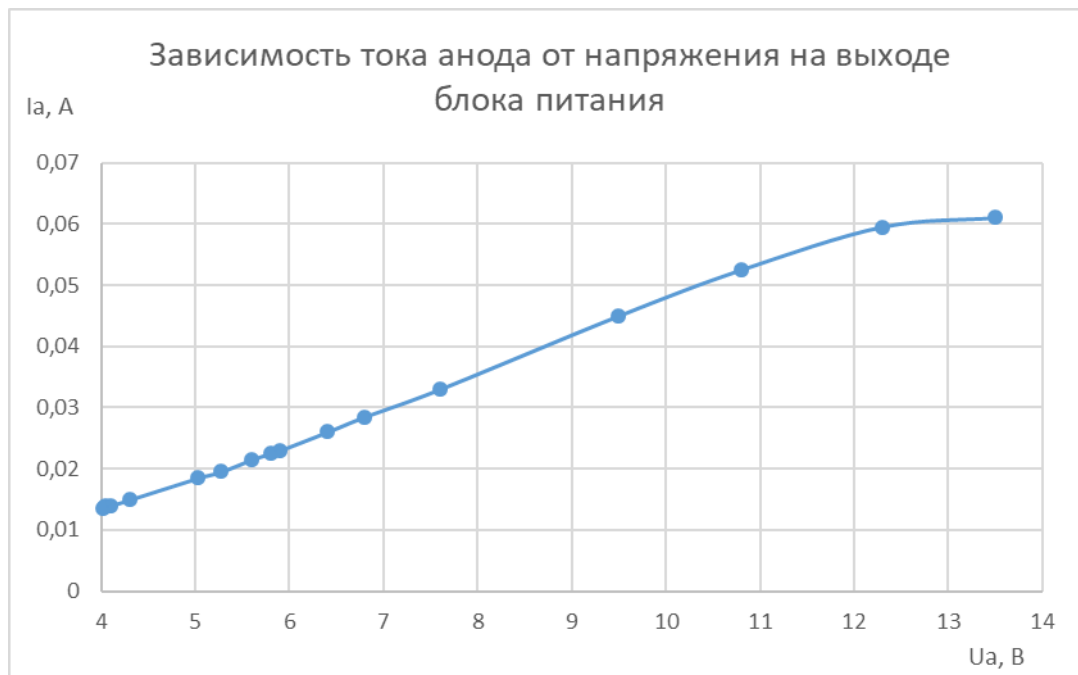


Рисунок 42 –Зависимость тока анода от напряжения на выходе блока питания при исследовании вакуумного диода 2Х2П

Сделаем замер анодной характеристики вакуумного триода. Вольт-амперные характеристики вакуумного триода 6Н23П показаны на рисунках 43-45.

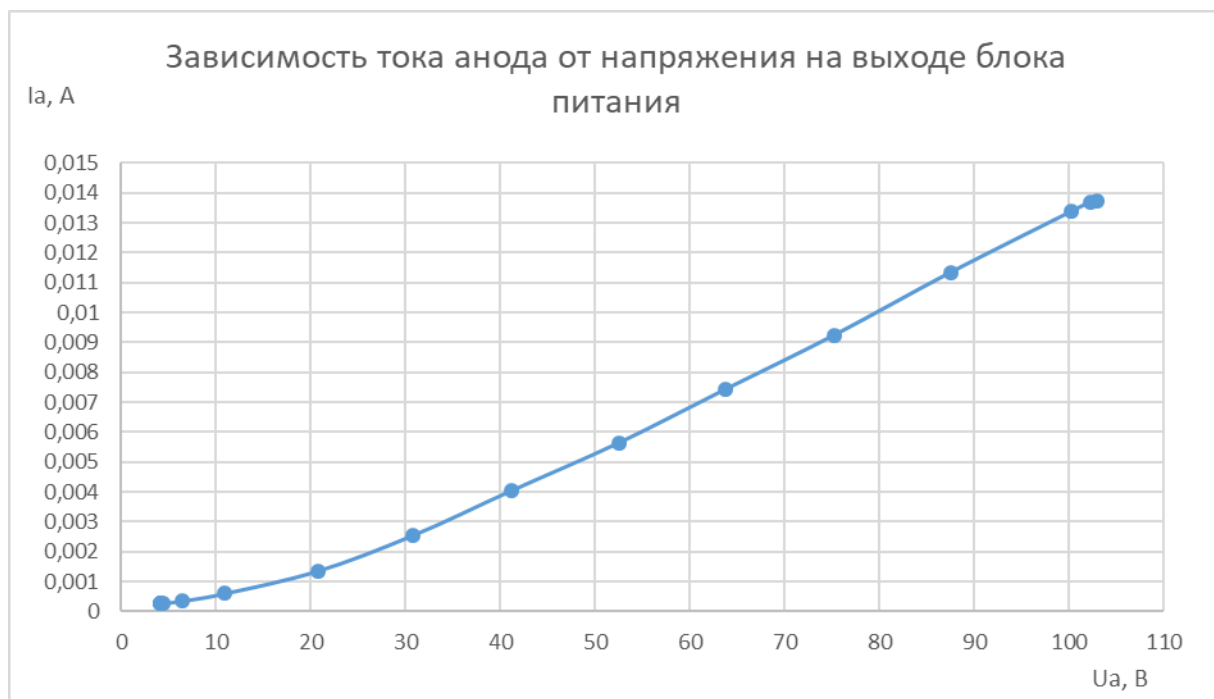


Рисунок 43 – Зависимость тока анода от напряжения на выходе блока питания при исследовании вакуумного триода 6Н23П, при $U_{\text{сетки}} = 0$

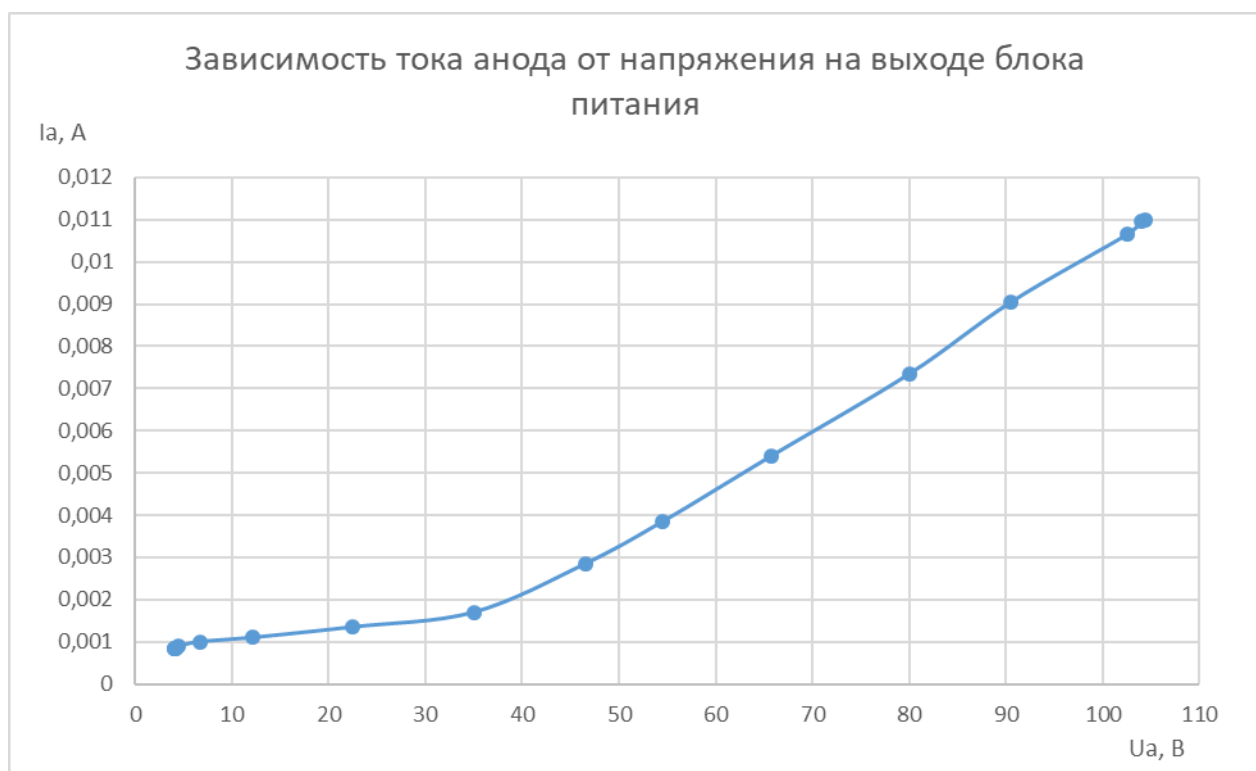


Рисунок 44 – Зависимость тока анода от напряжения на выходе блока питания при исследовании вакуумного триода 6Н23П, при $U_{\text{сетки}} = 0,5$

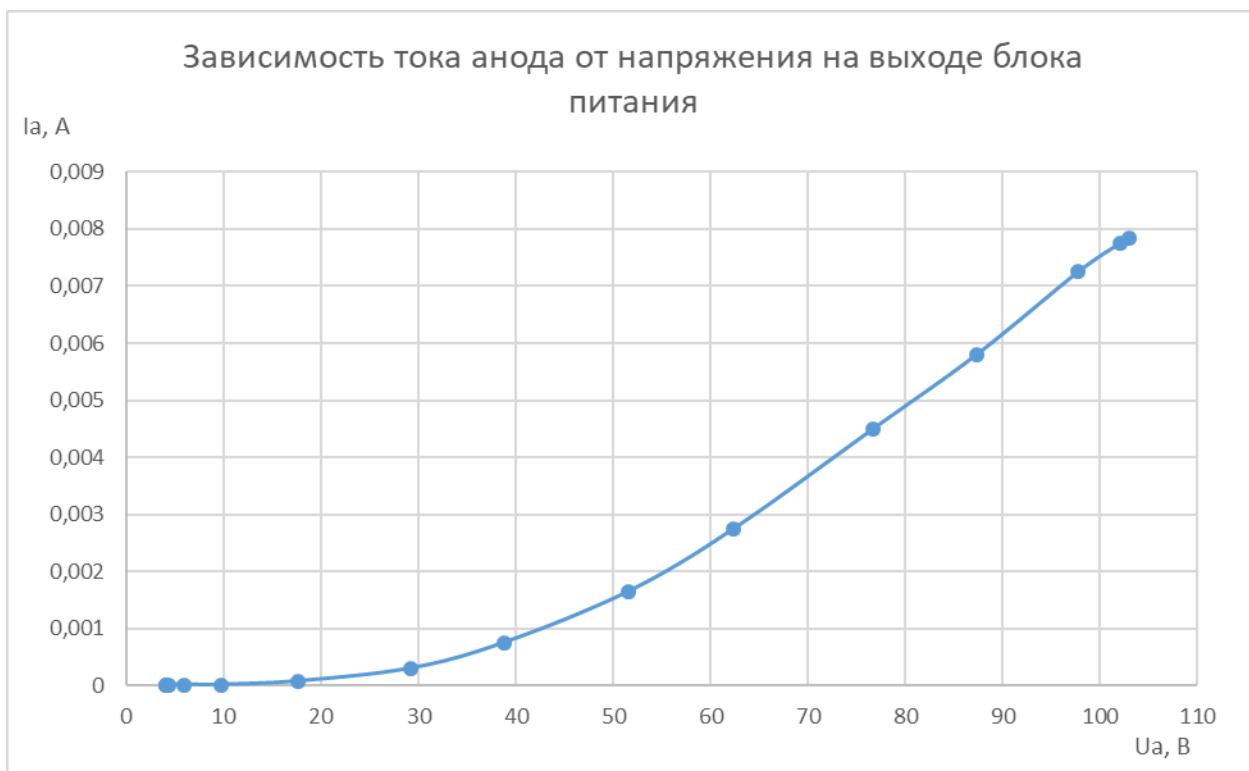


Рисунок 45 – Зависимость тока анода от напряжения на выходе блока питания при исследовании вакуумного триода 6Н23П, при $U_{\text{сетки}} = 1$

Сделаем замер анодной характеристики вакуумного триода. Вольт-амперные характеристики вакуумного пентода 6П15П показаны на рисунках 46-48.

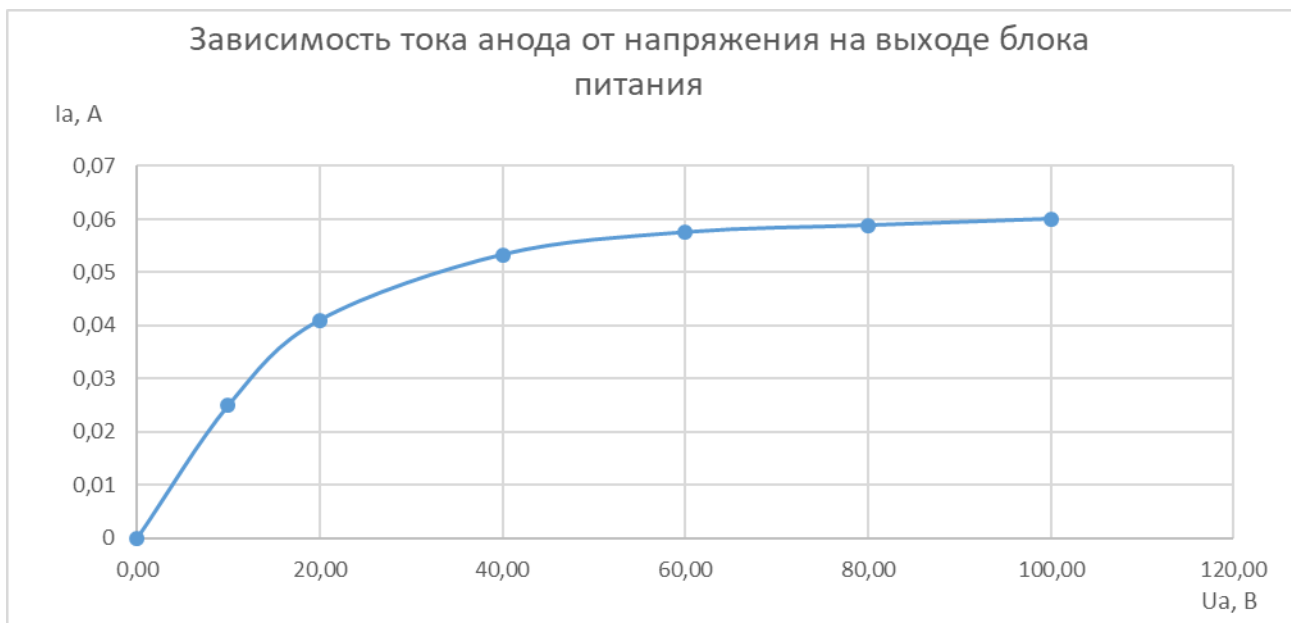


Рисунок 46 – Зависимость тока анода от напряжения на выходе блока питания при исследовании вакуумного пентода 6П15П, при $U_{\text{сетки}} = 0$

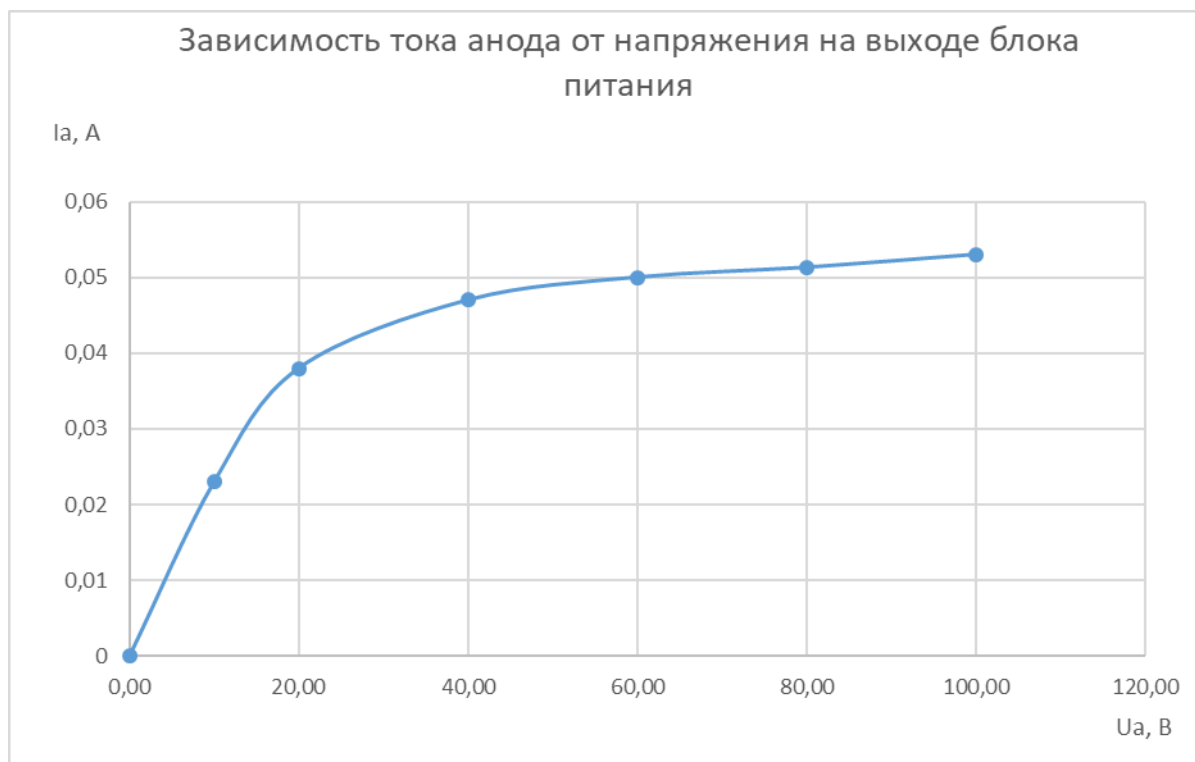


Рисунок 47 – Зависимость тока анода от напряжения на выходе блока питания при исследовании вакуумного пентода 6П15П, при $U_{\text{сетки}} = 0.5$

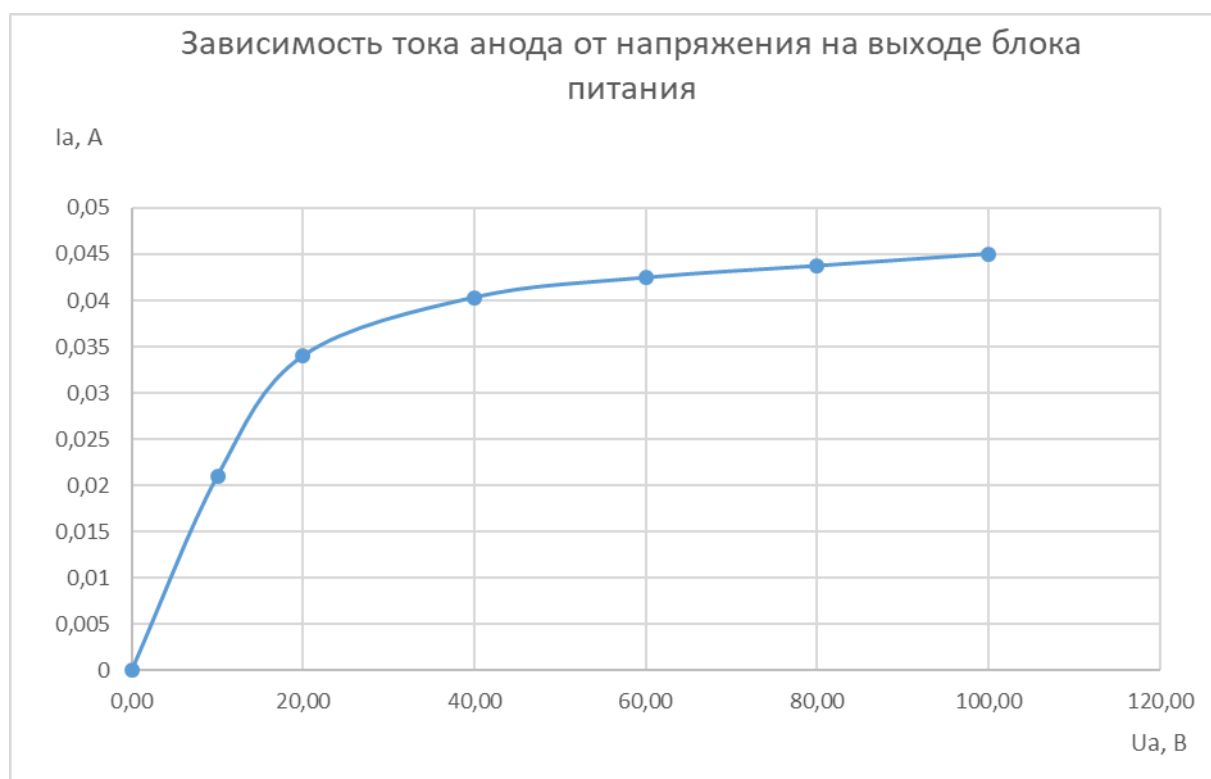


Рисунок 48 – Зависимость тока анода от напряжения на выходе блока питания при исследовании вакуумного пентода 6П15П, при $U_{\text{сетки}} = 1$

Зависимости напряжений на выходе БП сетки от напряжения на затворе 2N5486, показаны на рисунке 49

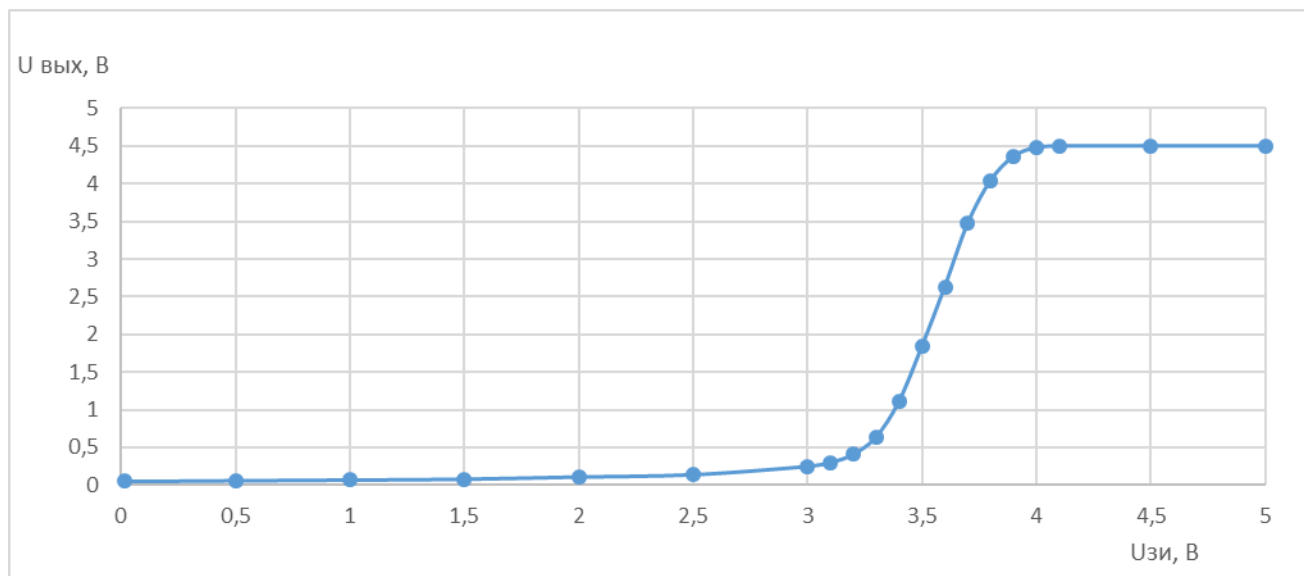


Рисунок 49 – Зависимость напряжения на выходе блока питания сетки от напряжения на затворе

Проверка работоспособности учебного стенда показала, что блоки питания анода и сетки, а также вакуумные лампы полностью исправны и работоспособны.

4 Расчёт условий зрительной работы для обеспечения безопасности труда

Для обеспечения комфортной работы за учебным стендом и сохранить здоровье глаз нужно подобрать правильное освещение. Первым шагом для расчёта является выбор объекта наблюдения. Поскольку самым маленьким объектом на стенде является буква, то в качестве объекта надо взять линию длиной 0,8 мм. Цвет линии будет чёрным с коэффициентом отражения $\rho_o=0,04$.

В качестве фона был взят белый бумажный лист с коэффициентом отражения $\rho_\phi=0,9$.

Длина объекта различения входит в диапазон четвёртого разряда работы, и характеристика зрительной работы будет иметь среднюю точность.

Чтобы обеспечить комфортные условия работы нужно установить в помещении помимо естественного освещения ещё и искусственное, а именно светодиодные или ртутные лампы.

Контраст объекта различения с фоном рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{\rho_\phi - \rho_o}{\rho_\phi} = 0,956 \quad (4)$$

Чтобы обеспечить безопасную и комфортную работу за стендом нужно чтобы коэффициент естественной освещённости (КЕО) был больше или был равен нормированному, который рассчитывается по формуле:

$$e_N = e_n \cdot m_N = 0,9 \cdot 0,85 = 0,765\% \quad (5)$$

Константы в уравнении были взяты из справочника. Они учитывают: тип освещения, ориентацию световых поёмов и коэффициент светового климата.

Внутренне освещение было подобрано таким образом чтобы коэффициент естественной освещённости был больше или был равен нормированному.

Формула для расчёта фактического КЕО выглядит следующим образом:

$$KEO_{\text{факт}} = \frac{E_{\text{внутр}}}{E_{\text{внешн}}} \cdot 100\% = \frac{500}{60000} \cdot 100\% = 0,833\% \quad (6)$$

Фактическая освещённость в помещении должна быть равна или больше нормированной, то есть быть не меньше 200 люкс. С учетом формулы (26) при внешней освещённости 60000 люкс фактическая освещённость должна быть не менее 500 люкс.

Результаты расчётов были помещены в таблицу 1

Таблица 1 – Результаты расчётов

Нормированные значения (СНиП 23-05-95)	КЕО, %	факт	0,833
		норм	0,765
	Освещённость, лк	факт	500
		норм	200
Контраст объекта различения с фоном			0,956 (большой)
Характеристика фона	Степень светлости		Светлый
	Коэффициент отражения, ρ_f		0,9
	Наименование		Белый фон

Продолжение таблицы 1

Характеристика источника света		Ртутные лампы
Система освещения		Общая – искусственная Боковая – естественная
Вид освещения		Совмещённый
Характеристика зрительной работы СНиП 23-05-95		Средняя точность
Объект различения	Коэффициент отражения ρ_o	0,04
	Размер, мм	0,8
	наименование	линия
Вид зрительной работы		Учебный стенд

Таким образом, для комфортной и безопасной работы на учебном стенде для изучения электрических фильтров нужно использовать совмещённое освещение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения данной работы были получены следующие результаты:

1. Разработаны схемы электрические принципиальные и сборочные чертежи: блока питания анода, блока питания сетки, схема для снятия характеристик вакуумных ламп и схема для подключения вакуумных ламп.
2. Разработана структурная схема и алгоритм работы учебного стенда.
3. Проведена проверка правильности работы учебного стенда путём экспериментальных замеров.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сушков А.Д. Вакуумная электроника: Физико-технические основы: Учебное пособие. –СПб.: Издательство «Лань», 2018
2. В. И. Светцов Вакуумная и плазменная электроника: Учебное пособие. Ивановский государственный химико-технологический университет, Издательство. ИГХТУ, 2003.
3. Калашников А. М., Степук Я. В. Электровакуумные и полупроводниковые приборы. — М.: Воениздат, 1973.
4. Батушев В. А. Электронные приборы: Учебник для вузов. — 2-е, перераб. и доп. — М.: Высшая школа, 1980
5. Матлин С. Портативный передатчик. // «Радио» № 1, 1967,
6. Коленко Е. А. Технология лабораторного эксперимента: Справочник. — СПб.: Политехника, 1994.
7. «Расчет и конструирование радиоаппаратуры» Г.Д. Фрумкин. - М.: «Высшая школа», 1989г.
8. Г. Лэм. Аналоговые и цифровые фильтры. Москва, Издательство Мир, 1982

Приложение А

(обязательное)

Задание на магистерскую диссертацию

«Утверждаю»
Заведующий кафедрой НиМЭ
Пронин И.А.
(фамилия, инициалы)
«13» 05 2023 г.

З А Д А Н И Е
на магистерскую диссертацию

1. Студент гр. 21ПДм1 факультета информационных технологий и электроники
Направление подготовки 11.04.04. «Электроника и нанoeлектроника»
Магистерская программа Нано- и микроэлектроника
Янкин Владислав Александрович
(фамилия, имя, отчество)

2. Руководитель Вольсков Андрей Александрович
(фамилия, имя, отчество)

3. Тема выпускной работы Учебный стенд по вакуумной электронике
Тема утверждена приказом ПГУ № 360а/о от «04» апреля 2023 г.

4. Техническое задание на магистерскую работу:

Разработать учебный стенд для изучения характеристик вакуумных ламп со следующими основными параметрами:

1. Подключение компьютера для управления стендом и передачи данных, которые появятся в ходе замеров.
2. Диапазон выходного напряжения блока питания сетки от 0В до 4,5В
3. Диапазон выходного напряжения блока питания анода от 3В до 90В
4. Температура окружающей среды от + 15 до + 35°C;
5. Относительная влажность воздуха от 50 до 80%;
6. Напряжение питающей сети 220 В при частоте 50 Гц.

5 Объем и содержание основной части магистерской диссертации

5.1 Пояснительная записка (перечень вопросов, подлежащих разработке, обоснований, описаний, расчетов и т.д.)

- 1 Обзор существующих технических решений
- 2 Разработка основных узлов учебного стенда по вакуумной электронике
 - 2.1 Разработка структурной схемы и алгоритма работы учебного стенда
 - 2.2 Разработка электрических принципиальных схем устройств, которые входят в состав учебного стенда
- 3 Изготовление стенда по вакуумной электронике и проверка его работоспособности
 - 3.1 Разработка послойных чертежей устройств, которые входят в состав учебного стенда
 - 3.2 Проверка работоспособности учебного стенда
- 4 Расчёт условий зрительной работы для обеспечения безопасности труда

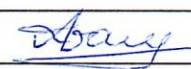
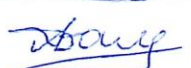
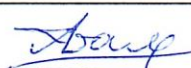
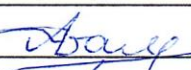
5.2. Иллюстративная часть (перечень и содержание чертежей и слайдов презентации)

1.Цели и задачи магистерской работы	Слайд 2
2. Структурная схема учебного стенда	Слайд 3
3. Блок питания анода.	Слайд 4
4. Блок питания сетки.	Слайд 5
5.Схема подключения вакуумных ламп	Слайд 6
6. Схема для снятия характеристик вакуумных ламп.	Слайд 7
7. Реле для коммутации узлов учебного стенда.	Слайд 9
8. Микроконтроллер и цифро-аналоговый преобразователь	Слайд 9
9.Схемы электрические принципиальные блоков питания анода и сетки	Слайд 10(A1×2)
10.Схемы электрические принципиальные подключения вакуумных ламп и схема для снятия характеристик вакуумных ламп	Слайд 11(A1×2)
11. Печатная плата и послойные чертежи блока питания анода	Слайд 12 (A1×4)
12. Печатная плата и послойные чертежи блока питания сетки	Слайд 13 (A1×4)
13. Печатная плата и послойные чертежи схемы для снятия характеристик вакуумных ламп	Слайд 14 (A1×4)
14.Заключение	Слайд 15

6. Консультанты и содержание дополнительных разделов

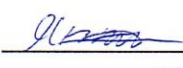
6.1. _____
Консультант _____

7. Календарный график по выполнению магистерской диссертации

Наименование этапов работы	Объем работы	Срок выполнения	Подпись руководителя, консультанта
Обзор существующих технических решений	20%	20.05	
Разработка основных узлов учебного стенда по вакуумной электронике	20%	24.05	
Изготовление стенда по вакуумной электронике и проверка его работоспособности	20%	26.05	
Расчёт условий зрительной работы для обеспечения безопасности труда	20%	28.05	
Графическая часть	10%	30.05	
Оформление ПЗ	10%	1.06	

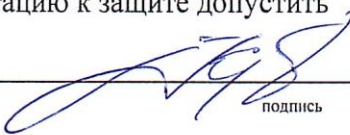
Руководитель выпускной работы  Вольсков А. А.
подпись фамилия, инициалы

Дата выдачи задания «19» 05 2023 г.

Задание к исполнению принял  Янкин В. А.
подпись фамилия, инициалы

«19» 05 2023 г.

Магистерскую диссертацию к защите допустить

Декан факультета  Кревчик В.Д.
подпись фамилия, инициалы

«18» июня 2023 г.

Приложение Б

(обязательное)

Схемы электрические принципиальные

Поз. обозн.	Наименование	Кол.	Примечание
	<u>Конденсаторы</u>		
C1, C2	K73-17-250 В 1 мкФ ±5%	2	
	<u>Микросхемы</u>		
DA1	LM317H	1	
	<u>Резисторы</u>		
R1	C2-33M-0,5- 120 КОм ±5%	1	
R2	C2-33M-0,5- 47 Ом ±5%	1	
R3	C2-33M-0,5- 100 Ом ±5%	1	
R4	C2-33M-0,5- 1,5 КОм ±5%	1	
R5	C2-33M-0,5- 1 КОм ±5%	1	
R6	C2-33M-0,5- 27 Ом ±5%	1	
	<u>Транзисторы</u>		
VT1, VT2	IRF840	2	
	<u>Диоды</u>		
D5	1N4001	1	
	<u>Стабилитроны</u>		
D1	1N4744A	1	
D2, D3	1N4739A	2	
D4	1N4681	1	
	<u>Разъёмы</u>		
XP1-XP3	PBS-2	3	
ПГУ 2.11.04.04.ПЭЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись Дата
Разраб.		Янкин В.А.	
Провер.		Вольсков А.А.	
Реценз.		Комиссаров	
Н. Контр.		Рыжова	 19.06
Утверд.			
Блок питания анода		Лит.	Лист Листов
Перечень элементов			62 112
гр.21ПДм1			

ПГУ 2. 11.04.04.33

Перв. примен.

Справ. №

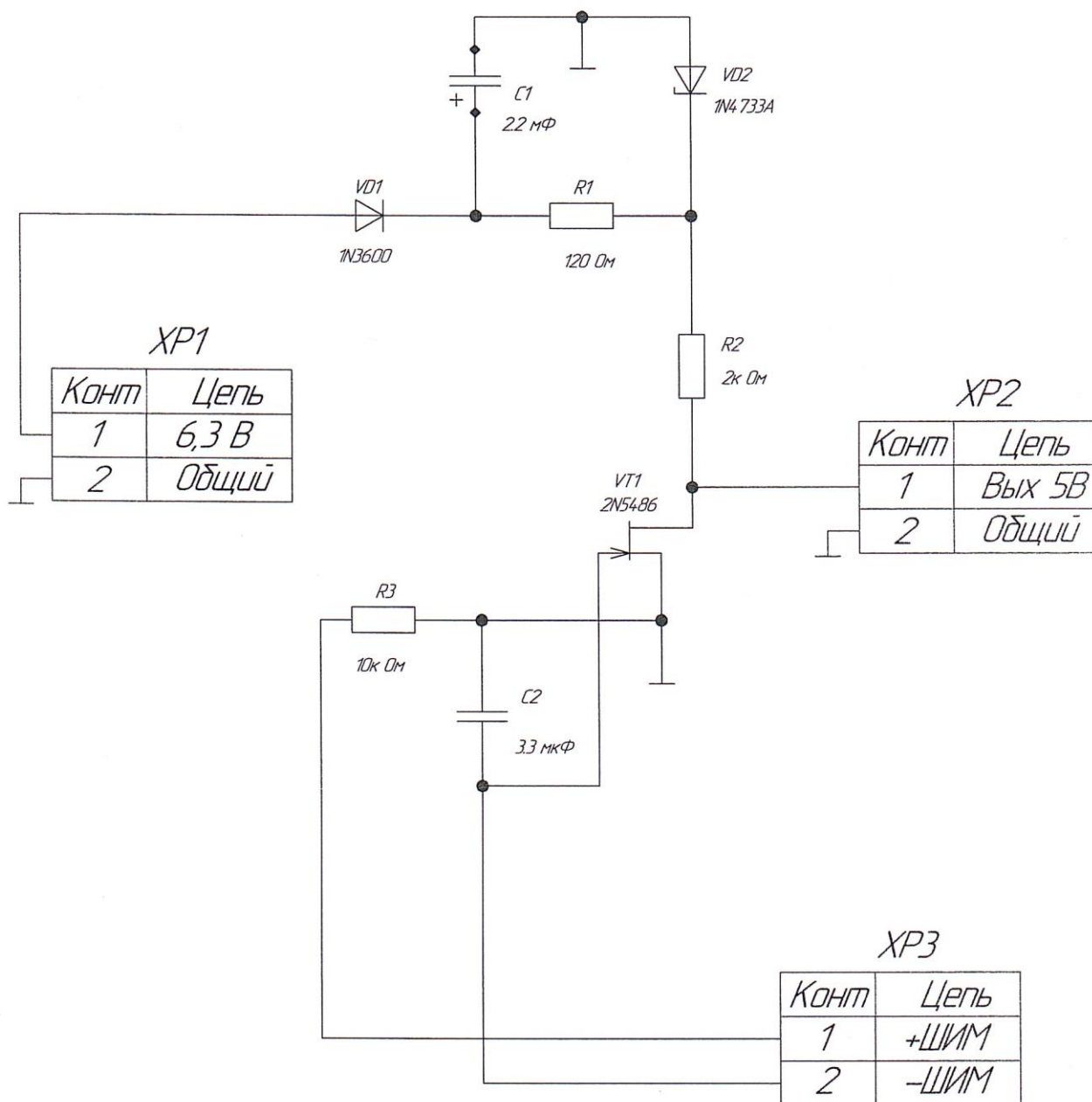
Подп. и дата

Инд. №

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инд. № подл.



ПГУ 2. 11.04.04.33

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Янкин В. А.	<i>Янкин</i>	13.05.23
Пров.		Вольсков А. А.	<i>Вольсков</i>	
Т.контр.				
Реценз.		Комиссаров	<i>Комиссаров</i>	
Н.контр.		Рыжова	<i>Рыжова</i>	19.06
Утв.				

Блок питания сетки
Схема электрическая принципиальная

Лист	Масса	Масштаб
1		1:1
Лист	Листов	1

группа 21ПДм1

Копировал

Формат А4

ПГУ 2 11.04.04.33

Перв. примен.

Справ. №

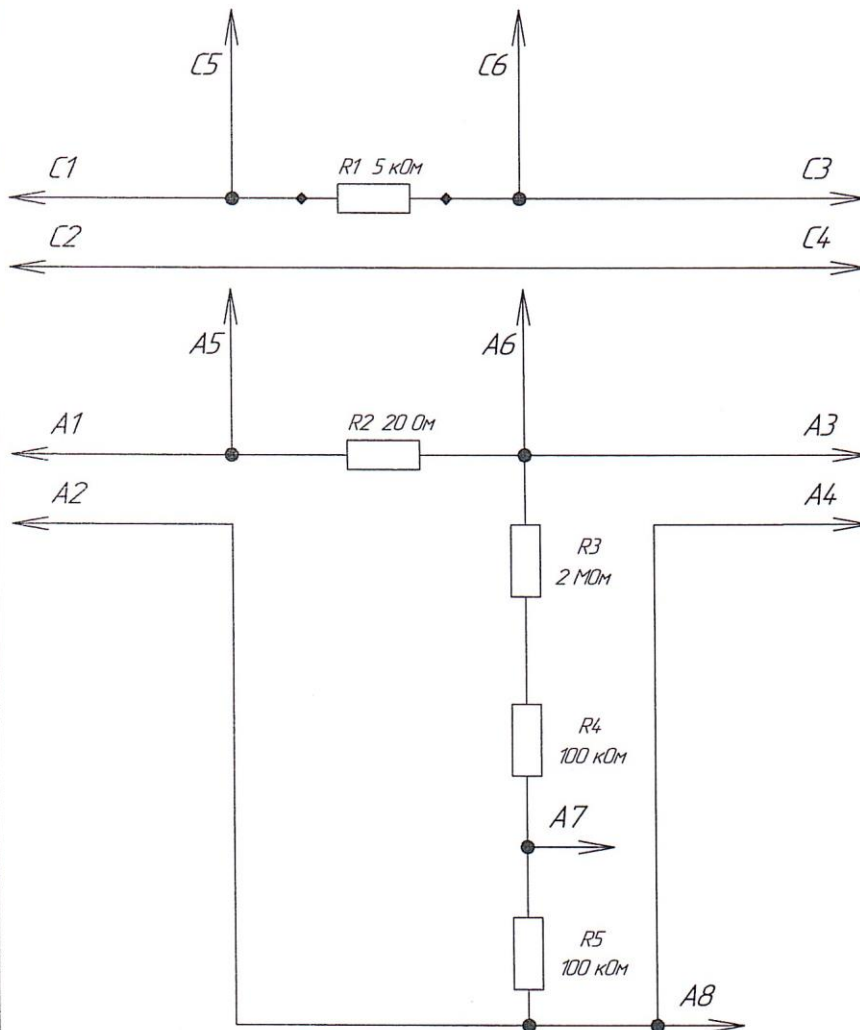
Подп. и дата

Инд. №

Взам. инд. №

Подп. и дата

Инд. № подл.



XP1

Конт	Цепь
1	Вх +5 В
2	Вх -5В

XP2

Конт	Цепь
3	Вых +5 В
4	Вых -5В

XP3

Конт	Цепь
5	Вых 1
6	Вых 2

XP4

Конт	Цепь
7	Вх +90В
8	Вх -90В

XP5

Конт	Цепь
9	Вых+90В
10	Вых-90В

XP6

Конт	Цепь
11	Вых 3
12	Вых 4

XP7

Конт	Цепь
13	Вых 5
14	Вых 6

ПГУ 2 11.04.04.33

Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Янкин В. А.	<i>Янкин</i>	16.05.23
Пров.	Вольсков А. А.	<i>Вольсков</i>	
Т.контр.			
Р.ценз.	Комиссаров	<i>Комиссаров</i>	
Н.контр.	Рыжкова	<i>Рыжкова</i>	19.06
Утв.			

Схема для снятия характеристик
вакуумных ламп
Схема электрическая принципиальная

Лит.	Масса	Масштаб
		1:1
Лист	Листов	1

группа 21ПДМ1

Копировал

Формат А4

ПГУ 2. 11.04.04.33

Перв. примен.

Справ. №

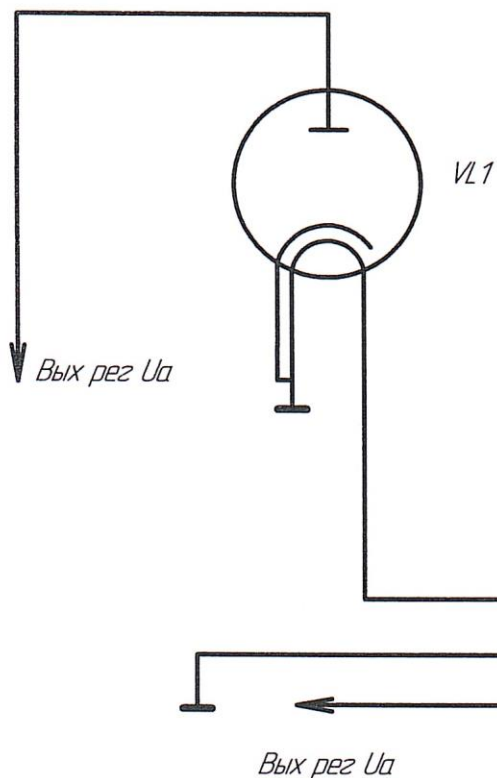
Подп. и дата

Инв. №

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.



Конт	Цепь
1	6,3 В
2	Общий
3	90 В

ПГУ 2. 11.04.04.33

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Янкин В. А.	<i>Янкин</i>	24.05.22
Пров.		Вольсков А. А.	<i>Вольсков</i>	
Т.контр.				
Реценз.		Комиссаров	<i>Комиссаров</i>	
Н.контр.		Рыжова	<i>Рыжова</i>	18.06
Утв.				

Включение диода
Схема электрическая принципиальная

Лит.	Масса	Масштаб
Лист	Листов	1

группа 21ПДм1

Копировал

Формат А4

ПГУ 2. 11.04.04.33

Перв. примен.

Справ. №

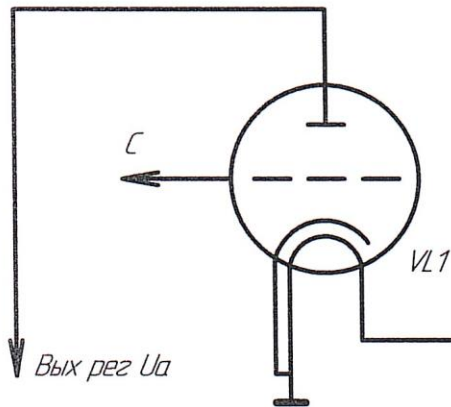
Подп. и дата

Изм. №

Взам. инв. №

Подп. и дата

Изм. № подл.



XP1

Конт	Цепь
1	6,3 В
2	Общий
3	90 В
4	Сетка

ПГУ 2. 11.04.04.33

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Янкин В. А.	<i>Янкин</i>	24.05.22
Пров.		Вольсков А. А.	<i>Вольсков</i>	
Т.контр.				
Реценз.		Комиссаров	<i>Комиссаров</i>	
Н.контр.		Ряжсков	<i>Ряжсков</i>	18.06
Утв.				

Включение триода
Схема электрическая принципиальная

Лит	Масса	Масштаб
Лист	Листов	1

группа 21ПДм1

Копировал

Формат А4

[illegible]

ПГУ 2. 11.04.04.33

Перв. примен.

Справ. №

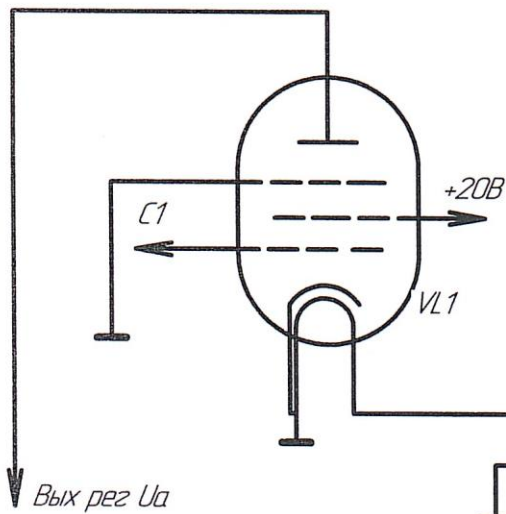
Подп. и дата

Инв. №

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.



XP1

Конт	Цепь
1	6,3 В
2	Общий
3	20 В
4	90 В
5	Сетка

Вых рез Ua

C

ПГУ 2. 11.04.04.33

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Янкин В. А.	<i>Янкин</i>	
Пров.		Вольсков А. А.	<i>Вольсков</i>	
Т.контр.				
Регистр.		Комиссаров	<i>Комиссаров</i>	
Н.контр.		Ряжкова	<i>Ряжкова</i>	19.06
Утв.				

Включение пентода

Схема электрическая принципиальная

Лит. Масса Масштаб

Лист Листов 1

группа 21ПДм1

Копировал

Формат А4

[illegible]

Приложение В

(обязательное)

Сборочные чертежи печатных плат

ПГУ.2.11.04.04.СБ

Перв. примен.

проб. №

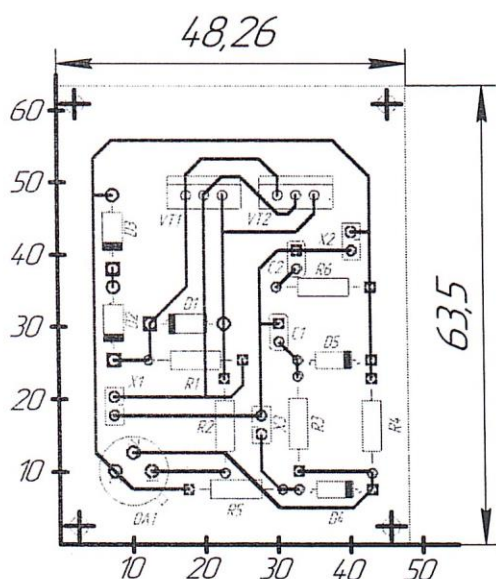
Подп. и дата

Инд. № докум.

Взам. инд. №

Подп. и дата

Инд. № подл.



1. Размер для справок
2. Плату изготовить комбинированным позитивным методом
3. Шаг координатной сетки 1,27 мм
4. Надпись выполнять шрифтом прописным 2,5 мм
5. Плату покрыть ХИМММ 180-(66) 10-15 ОПЛ
6. Клеить краской СТЗ.19.01 чёрная

Условное обозначение	Диаметр отверстия, мм	Наличие металлизации	Диаметр контактных площадок, мм	Количество отверстий
	12 ± 0,1	металл	2 ± 0,1	6
	1,2 ± 0,1	металл	2 ± 0,1	3
	0,9 ± 0,1	металл	1,5 ± 0,1	22
	0,9 ± 0,1	металл	1,5 ± 0,1	10
	2,54 ± 0,1	—	—	4

ПГУ.2.11.04.04.СБ

Блок питания анода
Сборочный чертёж
Печатная плата

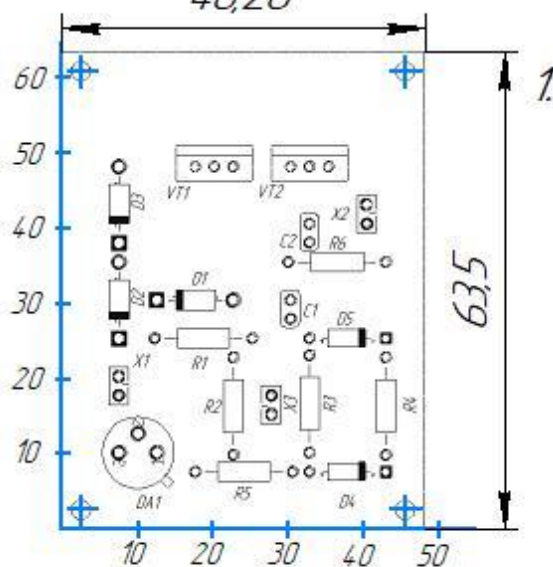
Лит	Масса	Масштаб
		1:1
Лист 1	Листов 4	

кафедра НимЭ
гр. 21ПДМ1

Копировал

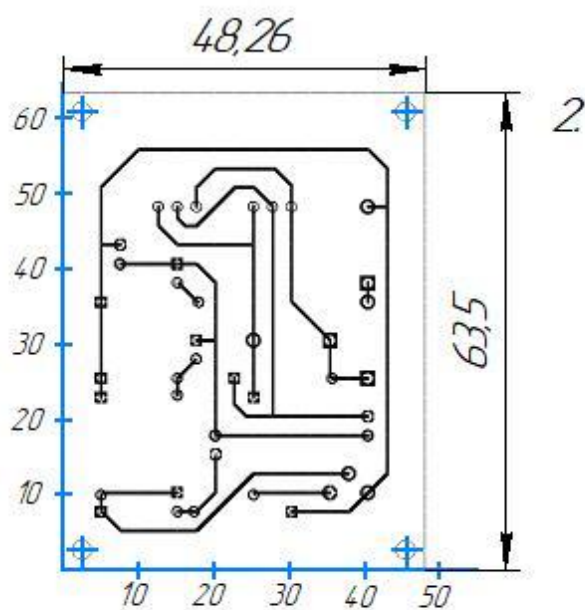
Формат А4

Масштаб 1:1
48,26



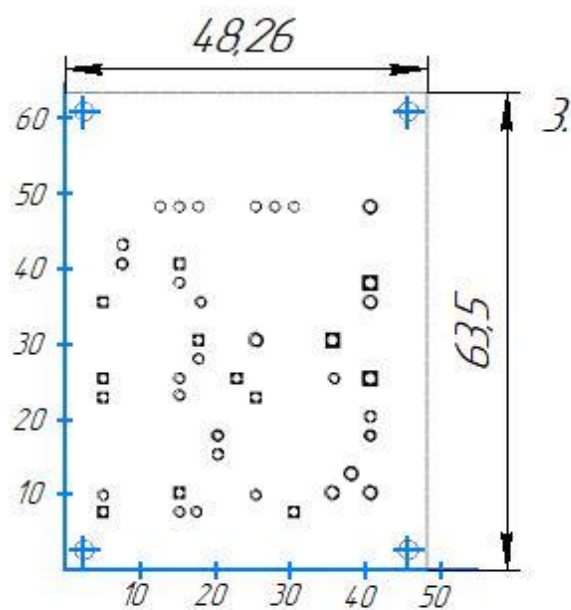
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Масштаб 1:1



Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	ПГУ.2.11.04.04.СБ					Лист
										3
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Копировал					Формат А4

Масштаб 1:1

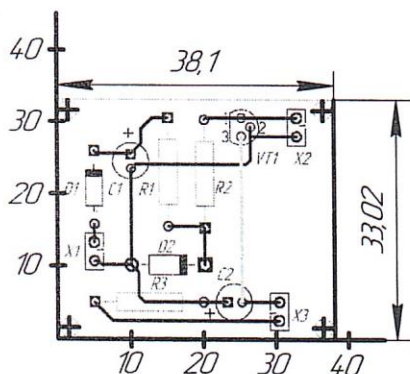


Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ПГУ.2.11.04.04.СБ				
Копировал				
Формат А4				
Лист 4				

ПГУ.2.11.04.04.СБ

Перв. примен.

Лист №



1. Размер для справок
2. Плату изготовить комбинированным позитивным методом
3. Шаг координатной сетки 1,27 мм
4. Надпись выполнять шрифтом прописным 2,5 мм
5. Плату покрыть ХИМММ 180-(66) 10-15 ОП/1
6. Клеить краской СТЗ.19.01 чёрная

Условное обозначение	Диаметр отверстия, мм	Наличие металлизации	Диаметр контактных площадок, мм	Количество отверстий
	$12 \pm 0,1$	металл	$2 \pm 0,1$	1
	$12 \pm 0,1$	металл	$2 \pm 0,1$	1
	$0,9 \pm 0,1$	металл	$1,5 \pm 0,1$	15
	$0,9 \pm 0,1$	металл	$1,5 \pm 0,1$	6
	$2,54 \pm 0,1$	—	—	4

Подп. и дата

Инв. № докум.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

ПГУ.2.11.04.04.СБ

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Янкин В. А.		
Проб.		Вольсков А. А.		
Т.контр.				
Реценз.		Комиссаров		
Н.контр.		Ряжсков		19.06
Утв.				

Блок питания сетки
Сборочный чертёж
Печатная плата

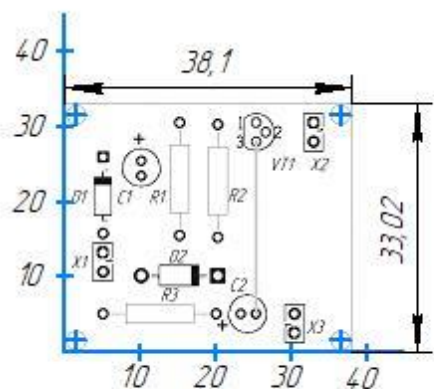
Лит.	Масса	Масштаб
		1:1
Лист 1	Листов 4	

кафедра НУМЗ
гр. 21ПДМ1

Копировал

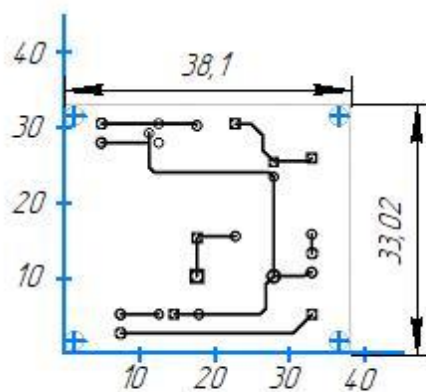
Формат А4

Масштаб 1:1



Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	ПГУ.2.11.04.04.СБ					Лист
										2
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Копировал					Формат А4

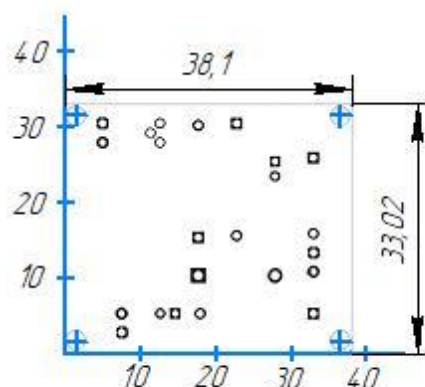
Масштаб 1:1



2

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	ПГУ.2.11.04.04.СБ					Лист
										3
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Копировал					Формат А4

Масштаб 1:1



Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ПГУ.2.11.04.04.СБ

Лист 4

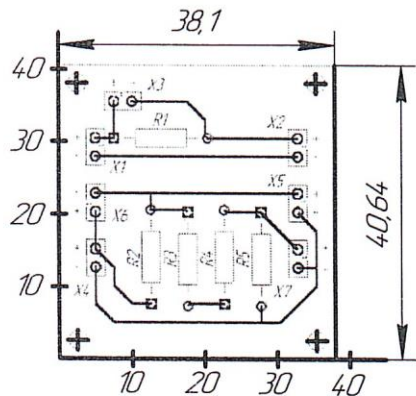
Копировал

Формат А4

ПГУ.2.11.04.04.СБ

Перв. примен.

Лист. №



1. Размер для справок
2. Плату изготовить комбинированным позитивным методом
3. Шаг координатной сетки 1,27мм
4. Надпись выполнять шрифтом прописным 2,5мм
5. Плату покрыть ХИМММ 180-(66) 10-15 ОПИ
6. Клеить краской СТЗ.19.01 чёрная

Условное обозначение	Диаметр отверстия, мм	Наличие металлизации	Диаметр контактных площадок, мм	Количество отверстий
○	0,9 ± 0,1	металл	1,5 ± 0,1	19
□	0,9 ± 0,1	металл	1,5 ± 0,1	5
⊕	2,54 ± 0,1	—	—	4

Подп. и дата

Инв. № докум.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

ПГУ.2.11.04.04.СБ

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Янкин В. А.		
Проб.		Вольсков А. А.		
Т.контр.				
Реценз.		Комиссаров		
Н.контр.		Ряжсков		19.08
Утв.				

Схема для снятия характеристик
вакуумных ламп
Сборочный чертёж
Печатная плата

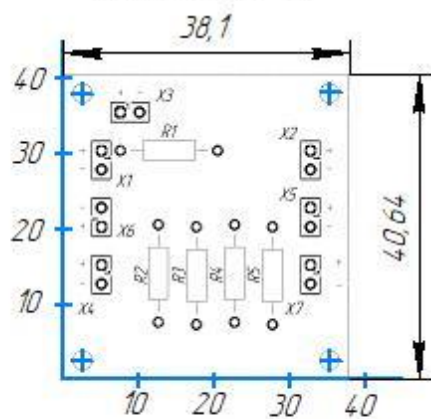
Лит.	Масса	Масштаб
		1:1
Лист 1	Листов 4	

кафедра НУМЭ
гр. 21ПДМ1

Копировал

Формат А4

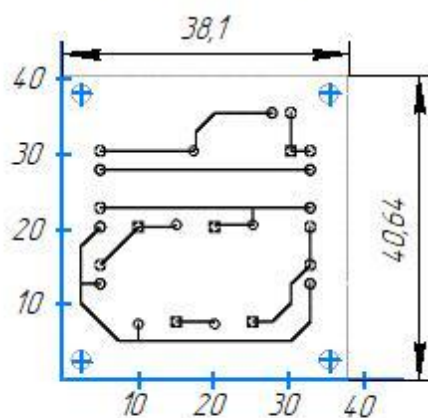
Масштаб 1:1



1

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	ПГУ.2.11.04.04.СБ					Лист
										2
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						
Копировал					Формат А4					

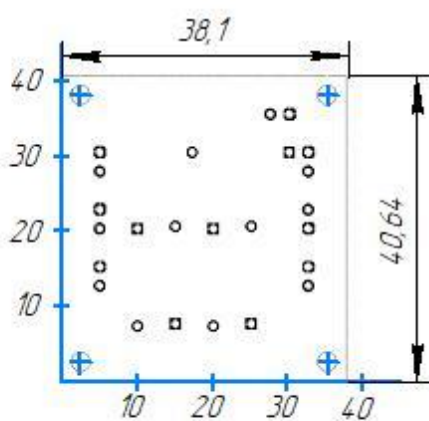
Масштаб 1:1



2.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	ПГУ.2.11.04.04.СБ					Лист
										3
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Копировал					Формат А4

Масштаб 1:1



3

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ПГУ.2.11.04.04.СБ				
Копировал				
Формат А4				
Лист 4				

ПГУ.2.11.04.04.СБ

Перв. примен.

Справ. №

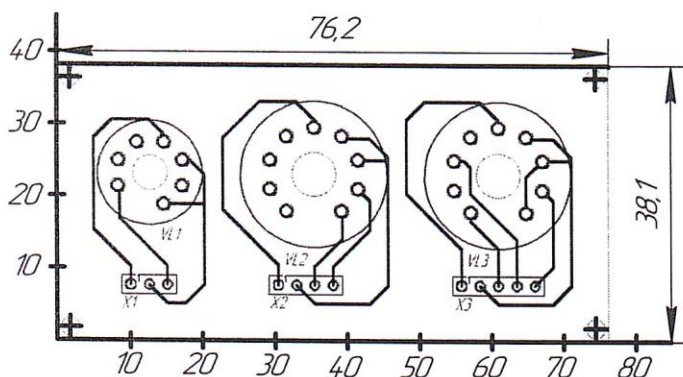
Подп. и дата

Инд. №

Взам. инд. №

Подп. и дата

Инд. № подл.



1. Размер для справок
2. Плату изготовить комбинированным позитивным методом
3. Шаг координатной сетки 1,27мм
4. Надпись выполнять шрифтом прописным 2,5мм
5. Плату покрыть ХИМММ 180-(66) 10-15 ОП/1
6. Клеить краской СТЗ.19.01 чёрная

Условное обозначение	Диаметр отверстия, мм	Наличие металлизации	Диаметр контактных площадок, мм	Количество отверстий
	$1,2 \pm 0,1$	металл	$2 \pm 0,1$	25
	$0,9 \pm 0,1$	металл	$1,5 \pm 0,1$	12
	$2,54 \pm 0,1$	—	—	4

ПГУ.2.11.04.04.СБ

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Янкин В. А.			
Пров.	Вольсков А. А.			
Т.контр.				
Реценз.	Комиссаров			
Н.контр.	Ромасов			15.06
Утв.				

Схема для подключения вакуумных ламп
Сборочный чертёж
Печатная плата

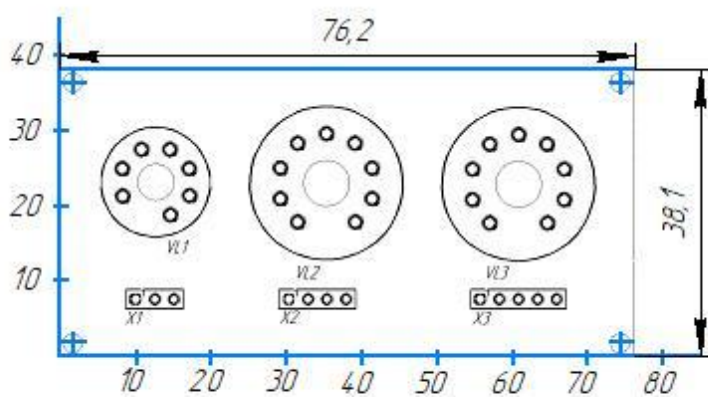
Лит.	Масса	Масштаб
		1:1
Лист 1	Листов 4	

кафедра НУМЭ
гр. 21ПДМ1

Копировал

Формат А4

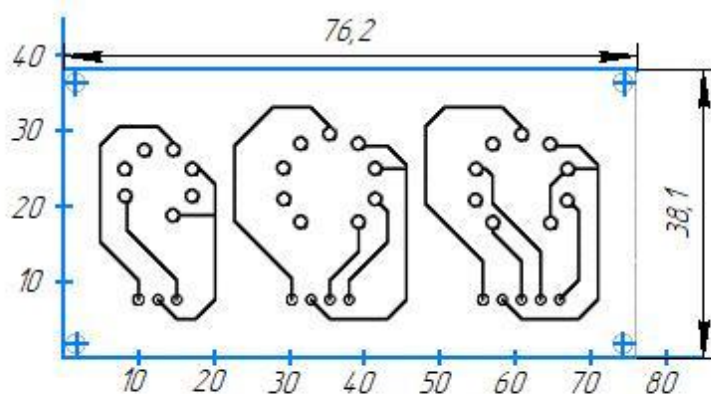
Масштаб 1:1



1.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Лист
					2
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ПГУ.2.11.04.04.СБ
					Копировал
					Формат А4

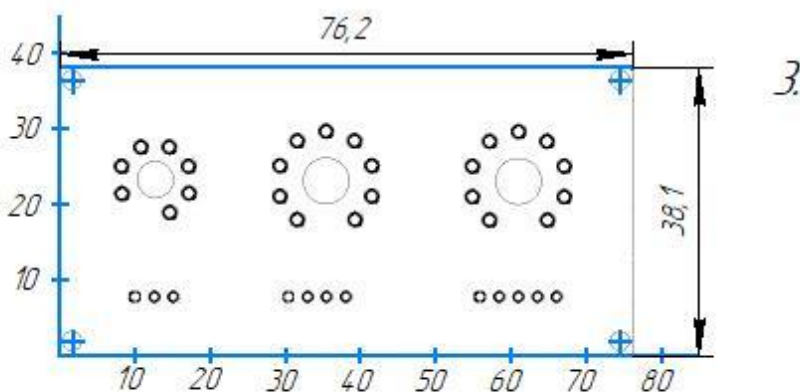
Масштаб 1:1



2

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	ПГУ.2.11.04.04.СБ					Лист
										3
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Копировал					Формат А4

Масштаб 1:1



Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Приложение Г
(обязательное)
Список опубликованных работ

СПИСОК

научных трудов Янкина Владислава Александровича

№ п/ п	Наименовани е работы, её вид	Форма работы	Выходные данные	Объе м в п.л.	Соавтор ы
Научные труды					
1 *	Учебный стенд по вакуумной электронике	Электронна я	Молодой ученый: международный научный журнал**. – 2023. – №23 (470), июнь 2023 г. – Режим доступа: https://moluch.ru/archive/470/103921/ Дата обращения: 17.06.2023	8	
2 *	Учебный стенд для изучения электрически х фильтров	Электронна я	Молодой ученый: международный научный журнал**. – 2023. – №23 (470), июнь 2023 г. – Режим доступа: https://moluch.ru/archive/470/103922/ Дата обращения: 17.06.2023	9	



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о публикации научной статьи

Настоящим подтверждается, что

**Янкин
Владислав Александрович**

студент

Пензенский государственный университет

является автором статьи, опубликованной в
международном научном журнале «Молодой ученый» (№23 (470), июнь 2023 г.)

«Учебный стенд по вакуумной электронике»

<https://moluch.ru/archive/470/103921/>

Главный редактор
Издательства «Молодой ученый»
к.т.н. Ахметов И.Г.



СМ № 04700175758



ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО МОЛОДОЙ УЧЕНЫЙ»

ИНН/КПП: 7536104558/166001001
420029, г. Казань, ул. Акад. Кирпичникова, 25
Тел./факс: (843) 500-57-53, 8-800-555-14-87
E-mail: info@moluch.ru
Сайт: <https://moluch.ru/>
Исх. № 103921 от 10.06.2023

СПРАВКА

Подтверждаем, что статья «**Учебный стенд по вакуумной электронике**» (автор: Янкин Владислав Александрович) принята к печати **8 июня 2023 г.** и будет опубликована в **международном научном журнале «Молодой ученый» №23 (470), июнь 2023 г.**, URL: <https://moluch.ru/archive/470/103921/>. Журнал «Молодой ученый» выходит в печатном виде (ISSN 2072-0297, свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-38059 от 11 ноября 2009 г., выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций). Журнал размещается на портале elibrary.ru, на данный момент не входит в РИНЦ.

Главный
редактор:

/к.т.н. Ахметов И.Г./



Исп.: Осянина Е.И.



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о публикации научной статьи

Настоящим подтверждается, что

**Янкин
Владислав Александрович**

студент

Пензенский государственный университет

является автором статьи, опубликованной в
международном научном журнале «Молодой ученый» (№23 (470), июнь 2023 г.)

«Учебный стенд для изучения электрических фильтров»

<https://moluch.ru/archive/470/103922/>

Главный редактор
Издательства «Молодой ученый»
к.т.н. Ахметов И.Г.



СМ № 04700175759



ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО МОЛОДОЙ УЧЕНЫЙ»

ИНН/КПП: 7536104558/166001001
420029, г. Казань, ул. Акад. Кирпичникова, 25
Тел./факс: (843) 500-57-53, 8-800-555-14-87
E-mail: info@moluch.ru
Сайт: <https://moluch.ru/>
Исх. № 103922 от 10.06.2023

СПРАВКА

Подтверждаем, что статья «**Учебный стенд для изучения электрических фильтров**» (автор: Янкин Владислав Александрович) принята к печати **8 июня 2023 г.** и будет опубликована в **международном научном журнале «Молодой ученый» №23 (470), июнь 2023 г.**, URL: <https://moluch.ru/archive/470/103922/>. Журнал «Молодой ученый» выходит в печатном виде (ISSN 2072-0297, свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-38059 от 11 ноября 2009 г., выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций). Журнал размещается на портале elibrary.ru, на данный момент не входит в РИНЦ.

Главный редактор:

/к.т.н. Ахметов И.Г./



Исп.: Осянина Е.И.

Приложение Д

(обязательное)

Протокол проверки ВКР на оригинальность

Ректору Пензенского
государственного университета
А. Д. Гулякову
студента 2 курса ФИТЭ
очной формы обучения
Янкина Владислава Александровича

ЗАЯВЛЕНИЕ

Я, Янкин Владислав Александрович, студент 2 курса очной формы обучения направления подготовки 11.04.04 Электроника и наноэлектроника, магистерская программа «Нано- и микроэлектроника», прошу провести проверку с использованием системы «Антиплагиат» магистерской диссертации на тему «Учебный стенд по вакуумной электронике», выполненной мной самостоятельно, на содержание элементов плагиата.

Все прямые заимствования из печатных и электронных источников, а также из защищенных ранее выпускных квалификационных работ, кандидатских и докторских диссертаций имеют соответствующие ссылки.

Я ознакомлен с действующим Стандартом университета «Выпускная квалификационная работа обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета и программам магистратуры», согласно которому обнаружение плагиата является основанием для недопуска ВКР к защите и отчисления из университета.



подпись студента

17.06.23

дата

ВКР Представлена на проверку 17.06.23г.
дата

Руководитель ВКР Вольсков А.А. Вольсков

Протокол

Проверки на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ» выпускной квалификационной работы на тему «Учебный стенд по вакуумной электронике»

студента 2 курса Янкина Владислава Александровича направления подготовки/специальности

11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

Руководитель ВКР Вольсков А. А.



СПРАВКА

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

Пензенский государственный университет

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

Автор работы: Янкин Владислав Александрович
Самоцитирование
рассчитано для: Янкин Владислав Александрович
Название работы: Учебный стенд по вакуумной электронике
Тип работы: Магистерская диссертация
Подразделение: Кафедра "Нано- и микроэлектроника"

РЕЗУЛЬТАТЫ

■ ОТЧЕТ О ПРОВЕРКЕ КОРРЕКТИРОВАЛСЯ: НИЖЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ДО КОРРЕКТИРОВКИ

СОВПАДЕНИЯ	3.89%	СОВПАДЕНИЯ	3.89%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	96.11%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	96.11%
ЦИТИРОВАНИЯ	0%	ЦИТИРОВАНИЯ	0%
САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%	САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 17.06.2023

ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 17.06.2023 11:21

Структура документа: Проверенные разделы: основная часть с.1, 3-15, 17, 19-49, содержание с.2, 16, 18, библиография с.50
Модули поиска: ИПС Адилет; Библиография; Сводная коллекция ЗБС; Интернет Плюс*; Сводная коллекция РГБ; Цитирование; Переводные заимствования (RuEn); Переводные заимствования по eLIBRARY.RU (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика; Переводные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Переводные заимствования по Интернету (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Переводные заимствования издательства Wiley, eLIBRARY.RU, СПС ГАРАНТ: аналитика; СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация; IEEE; Медицина; Диссертации НББ; Коллекция НБУ; Перефразирование по eLIBRARY.RU; Перефразирование по СПС ГАРАНТ: аналитика; Перефразирование по Интернету; Перефразирование по Интернету (EN); Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Перефразирование по коллекции

Работу проверил: Головяшкин Алексей Николаевич

ИНО проверяющего

Дата подписи:

17.06.2023

Подпись проверяющего



Чтобы убедиться в подлинности справки, используйте QR-код, который содержит ссылку на отчет.

Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего. Предоставленная информация не подлежит использованию в коммерческих целях.

17.06.23г.
дата

А. А. Вольсков



АНТИПЛАГИАТ
ОБНАРУЖЕНИЕ ЗАИМСТВОВАНИЙ

СПРАВКА

Пензенский государственный университет

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

Автор работы: Янкин Владислав Александрович
Самоцитирование
рассчитано для: Янкин Владислав Александрович
Название работы: Учебный стенд по вакуумной электронике
Тип работы: Магистерская диссертация
Подразделение: Кафедра "Нано- и микроэлектроника"

РЕЗУЛЬТАТЫ

■ ОТЧЕТ О ПРОВЕРКЕ КОРРЕКТИРОВАЛСЯ: НИЖЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ДО КОРРЕКТИРОВКИ

СОВПАДЕНИЯ	3.89%	СОВПАДЕНИЯ	3.89%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	96.11%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	96.11%
ЦИТИРОВАНИЯ	0%	ЦИТИРОВАНИЯ	0%
САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%	САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 17.06.2023

ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 17.06.2023 11:21

Структура документа: Проверенные разделы: основная часть с.1, 3-15, 17, 19-49, содержание с.2, 16, 18, библиография с.50
Модули поиска: ИПС Адилет; Библиография; Сводная коллекция ЭБС; Интернет Плюс*; Сводная коллекция РГБ; Цитирование; Переводные заимствования (RuEn); Переводные заимствования по eLIBRARY.RU (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика; Переводные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Переводные заимствования по Интернету (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Переводные заимствования издательства Wiley; eLIBRARY.RU; СПС ГАРАНТ: аналитика; СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация; IEEE; Медицина; Диссертации НББ; Коллекция НБУ; Перефразирования по eLIBRARY.RU; Перефразирования по СПС ГАРАНТ: аналитика; Перефразирования по Интернету; Перефразирования по Интернету (EN); Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Перефразирования по коллекции

Работу проверил: Головяшкин Алексей Николаевич

ФИО проверяющего

Дата подписи: 17.06.2023

Подпись проверяющего



Чтобы убедиться
в подлинности справки, используйте QR-код,
который содержит ссылку на отчет.

Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование
корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего.
Предоставленная информация не подлежит использованию
в коммерческих целях.

Приложение Е
(обязательное)
Презентация

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Кафедра «Нано – и микроэлектроника»

Учебный стенд по вакуумной электронике

Выполнил: студент группы 21ПДм1 Янкин В.А.

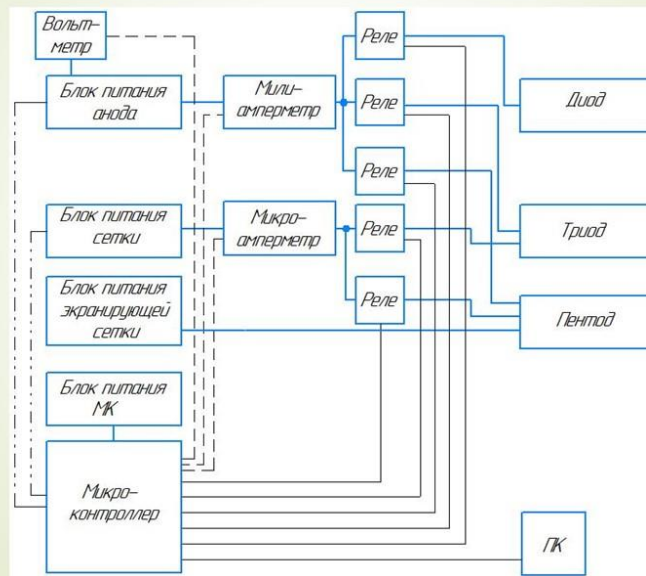
Руководитель: к.т.н. доцент Вольсков А.А.

Пенза 2021

Цель и задачи работы

- Цель: Разработать учебный стенд для изучения характеристик вакуумных ламп
- Задачи:
 - Разработать структурную схему учебного стенда
 - Разработать алгоритм работы учебного стенда
 - Разработать принципиальные схемы устройств, входящих в учебный стенд
 - Разработать топологии печатных плат устройств, входящих в учебный стенд

Структурная схема учебного стенда по вакуумной электронике



Алгоритм работы стенда

1) Исследование характеристик диода:

- замыкаем первое реле и подаём анодное напряжение на диод;
 - меняем напряжение блока питания анода от 3 до 12В;
 - для каждой из точек производим замер анодного тока и напряжения;
 - замыкаем реле AREF1;
 - после замера анодного тока реле AREF1 размыкается;
 - замыкаем реле AREF3;
 - после замера анодного напряжения реле AREF3 размыкается;
- Для замеров нужно выставить нужное напряжение и нажать на кнопку, чтобы записать это напряжение в программу, далее производится замер напряжения на выводах R1 и по закону Ома рассчитывается ток, который протекает через резистор $R1=20\text{ Ом}$.
- выставляем на блоке питания анода

минимальное напряжение;

- размыкаем все реле;
- сохраняем результаты и выводим его в виде excel.

2) Исследование характеристик триода:

- произведём замер ВАХ триода при $U_{\text{сетки}} = 0$;
- замыкаем второе реле и подаём анодное напряжение на триод;
- замыкаем четвёртое реле и подаём сеточное напряжение на триод;
- выбираем длительность ШИМ сигнала блока питания сетки = 1%;
- меняем напряжение блока питания анода от 3 до 90В;
- для каждой из точек производим замер анодного тока и напряжения;
- замыкаем реле AREF1;
- после замера анодного тока реле AREF1 размыкается;
- замыкаем реле AREF3;

Алгоритм работы стенда

- после замера анодного напряжения реле $AREF3$ размыкается;
- Для замеров нужно выбрать нужное напряжение и нажать на кнопку, чтобы записать это напряжение в программу, далее производится замер напряжения на выводах $R1$ и по закону Ома рассчитывается ток, который протекает через резистор $R1=20\text{ Ом}$.
- выставляем на блоке питания анода минимальное напряжение;
- сохраняем результат;
- произведём замер ВАХ триода при $U_{\text{сетки}} = -0.5\text{В}$;
- для $U_{\text{сетки}} = -0.5\text{В}$ выбираем длительность ШИМ сигнала блока питания сетки;
- меняем напряжение блока питания анода от 3 до 90В;
- для каждой из точек производим замер анодного тока и напряжения;
- замыкаем реле $AREF1$;

- после замера анодного тока реле $AREF1$ размыкается;
- замыкаем реле $AREF3$;
- после замера анодного напряжения реле $AREF3$ размыкается;
- Для замеров нужно выбрать нужное напряжение и нажать на кнопку, чтобы записать это напряжение в программу, далее производится замер напряжения на выводах $R1$ и по закону Ома рассчитывается ток, который протекает через резистор $R1=20\text{ Ом}$.
- выставляем на блоке питания анода минимальное напряжение;
- сохраняем результат;
- произведём замер ВАХ триода при $U_{\text{сетки}} = -1\text{В}$;
- для $U_{\text{сетки}} = -1\text{В}$ выбираем длительность ШИМ сигнала блока питания сетки;
- меняем напряжение блока питания анода от 3 до 90В;
- для каждой из точек производим замер анодного тока и напряжения;

Алгоритм работы стенда

- замыкаем реле $AREF1$;
- после замера анодного тока реле $AREF1$ размыкается;
- замыкаем реле $AREF3$;
- после замера анодного напряжения реле $AREF3$ размыкается;
- Для замеров нужно выбрать нужное напряжение и нажать на кнопку, чтобы записать это напряжение в программу, далее производится замер напряжения на выводах $R1$ и по закону Ома рассчитывается ток, который протекает через резистор $R1=20\text{ Ом}$.
- выставляем на блоке питания анода минимальное напряжение;
- выставляем длительность ШИМ сигнала блока питания сетки в 1%;
- сохраняем результат;
- произведём замер анодно сеточной характеристики триода;
- выставляем $U_{\text{анода}} = 60\text{В}$;

- замыкаем реле $AREF3$;
- после замера анодного напряжения реле $AREF3$ размыкается;
- меняем длительность ШИМ сигнала блока питания сетки от 1 до 100%;
- для каждой из точек производим замер анодного тока;
- замыкаем реле $AREF1$;
- после замера анодного тока реле $AREF1$ размыкается;
- Для этого нужно произвести замер напряжения на $R1$ и по закону Ома найти ток, который протекает через резистор $R1=20\text{ Ом}$.
- выставляем длительность ШИМ сигнала блока питания сетки в 1%;
- сохраняем результат;
- произведём замер сеточной характеристики триода;
- замыкаем $AREF2$;
- меняем длительность ШИМ сигнала блока питания сетки от 1 до 100%;

Алгоритм работы стенда

- для каждой из точек производим замер тока сетки;
- Для этого нужно произвести замер напряжения на вольтметре $R2$ и по закону Ома найти ток, который протекает через резистор $R2 = 5.1 \text{ кОм}$.
- выставляем длительность ШИМ сигнала блока питания сетки в 1%;
- выставляем минимальное напряжение на блоке питания анода;
- размыкаем все реле;
- сохраняем результаты в виде *excel*.

3) Исследование характеристик пентода:

- произведём замер ВАХ пентода при $U_{\text{сетки}} = 0$;
- замыкаем третье реле и подаём анодное напряжение на пентод;
- замыкаем пятое реле и подаём сеточное напряжение на пентод;
- выбираем длительность ШИМ сигнала блока питания сетки = 1%;

- меняем напряжение блока питания анода от 3 до 90В;
- для каждой из точек производим замер анодного тока и напряжения;
- замыкаем реле $AREF1$;
- после замера анодного тока реле $AREF1$ размыкается;
- замыкаем реле $AREF3$;
- после замера анодного напряжения реле $AREF3$ размыкается;
- Для замеров нужно выбрать нужное напряжение и нажать на кнопку, чтобы записать это напряжение в программу, далее производится замер напряжения на выводах $R1$ и по закону Ома рассчитывается ток, который протекает через резистор $R1 = 20 \text{ Ом}$.
- выставляем на блоке питания анода минимальное напряжение;
- сохраняем результат;

Алгоритм работы стенда

- произведём замер ВАХ пентода при $U_{\text{сетки}} = -0.5\text{В}$;
- для $U_{\text{сетки}} = -0.5\text{В}$ выбираем длительность ШИМ сигнала блока питания сетки;
- меняем напряжение блока питания анода от 3 до 90В;
- для каждой из точек производим замер анодного тока и напряжения;
- замыкаем реле $AREF1$;
- после замера анодного тока реле $AREF1$ размыкается;
- замыкаем реле $AREF3$;
- после замера анодного напряжения реле $AREF3$ размыкается;
- Для замеров нужно выбрать нужное напряжение и нажать на кнопку, чтобы записать это напряжение в программу, далее производится замер напряжения на выводах $R1$ и по закону Ома рассчитывается ток, который протекает через резистор $R1 = 20 \text{ Ом}$.

- выставляем на блоке питания анода минимальное напряжение;
- сохраняем результат;
- произведём замер ВАХ пентода при $U_{\text{сетки}} = -1\text{В}$;
- для $U_{\text{сетки}} = -1\text{В}$ выбираем длительность ШИМ сигнала блока питания сетки;
- меняем напряжение блока питания анода от 3 до 90В;
- для каждой из точек производим замер анодного тока и напряжения;
- замыкаем реле $AREF1$;
- после замера анодного тока реле $AREF1$ размыкается;
- замыкаем реле $AREF3$;
- после замера анодного напряжения реле $AREF3$ размыкается;

Алгоритм работы стенда

Для замеров нужно выставить нужное напряжение и нажать на кнопку, чтобы записать это напряжение в программу, далее производится замер напряжения на выводах $R1$ и по закону Ома рассчитывается ток, который протекает через резистор $R1=20\text{ Ом}$.

- выставляем на блоке питания анода минимальное напряжение;
- выставляем длительность ШИМ сигнала блока питания сетки в 1%;
- сохраняем результат;
- произведём замер анодно сеточной характеристики пентода;
- выставляем $U_{\text{анода}} = 60\text{В}$;
- замыкаем реле $AREF3$;
- после замера анодного напряжения реле $AREF3$ размыкается;
- меняем длительность ШИМ сигнала блока питания сетки от 1 до 100%;

- для каждой из точек производим замер анодного тока;

- замыкаем реле $AREF1$;
- после замера анодного тока реле $AREF1$ размыкается;

Для этого нужно произвести замер напряжения на $R1$ и по закону Ома найти ток, который протекает через резистор $R1=20\text{ Ом}$.

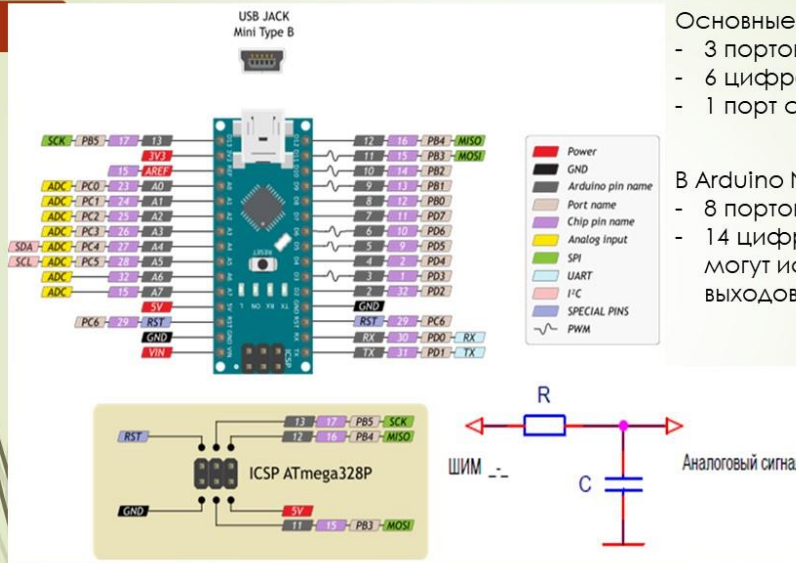
- выставляем длительность ШИМ сигнала блока питания сетки в 1%;
- сохраняем результат;
- произведём замер сеточной характеристики пентода;
- замыкаем $AREF2$;
- меняем длительность ШИМ сигнала блока питания сетки от 1 до 100%;
- для каждой из точек производим замер тока сетки;

Алгоритм работы стенда

Для этого нужно произвести замер напряжения на вольтметре $R2$ и по закону Ома найти ток, который протекает через резистор $R2=5.1\text{кОм}$.

- выставляем длительность ШИМ сигнала блока питания сетки в 1%;
- выставляем минимальное напряжение на блоке питания анода;
- размыкаем все реле;
- сохраняем результаты в виде *excel*.

Описание платы Arduino Nano



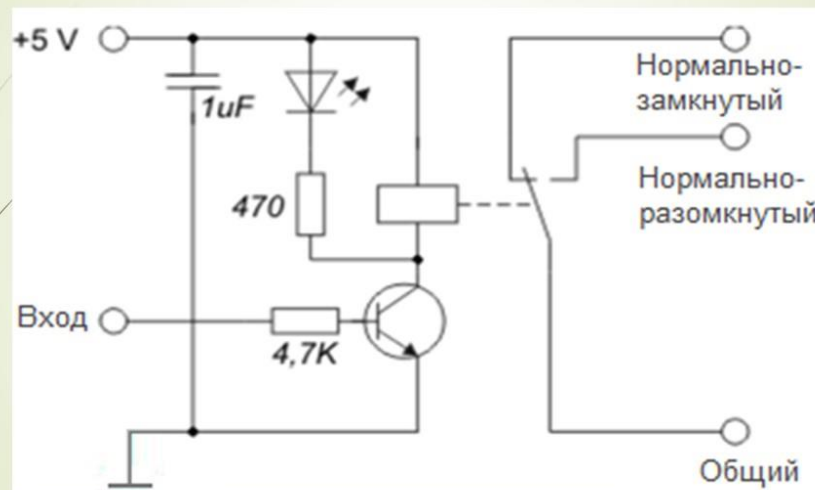
Основные требования:

- 3 портов с АЦП;
- 6 цифровых портов
- 1 порт с ШИМ

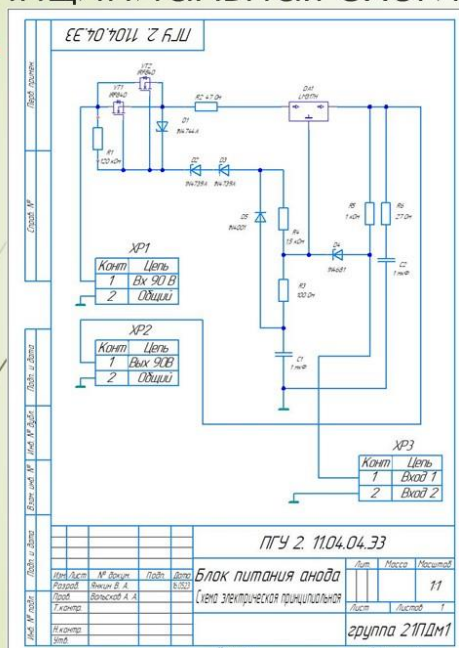
В Arduino Nano имеются:

- 8 портов с АЦП;
- 14 цифровых портов, 6 из них могут использоваться в качестве выходов ШИМ

Схема одноканального релейного модуля SR0039-1L

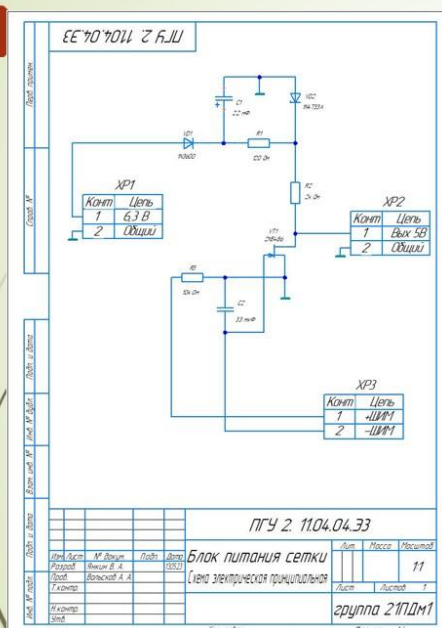


Принципиальная схема блока питания анода



Лист обоз.	Наименование	Кол.	Примечание
Конденсаторы			
C1, C2	K73-17-250 В 1 мкФ ±5%	2	
Микросхемы			
DA1	LM317H	1	
Резисторы			
R1	C2-33M-0,5-120 КОм ±5%	1	
R2	C2-33M-0,5-47 Ом ±5%	1	
R3	C2-33M-0,5-100 Ом ±5%	1	
R4	C2-33M-0,5-1,5 КОм ±5%	1	
R5	C2-33M-0,5-1 КОм ±5%	1	
R6	C2-33M-0,5-27 Ом ±5%	1	
Транзисторы			
VT1, VT2	IRF940	2	
Диоды			
D5	1N4001	1	
Стабилитроны			
D1	1N4744A	1	
D2, D3	1N4739A	2	
D4	1N4681	1	
Резьбы			
XP1-XP3	PBS-2	3	
ПГУ 2.1104.04.ПЗ3			
Разработ.	Васильев В.А.	Лист	Листов
Провер.	Васильев В.А.	61	2
Реценз.			
И.контр.			
Утверд.			
Блок питания анода Перечень элементов			
ар 21ПДм1			

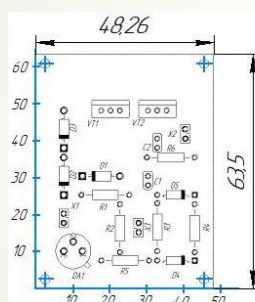
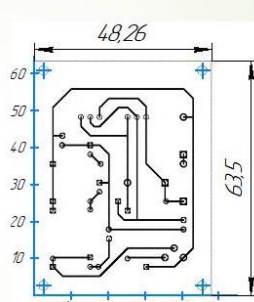
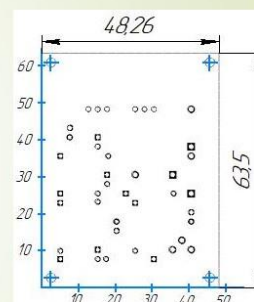
Принципиальная схема блока питания сетки



Лист обоз.	Наименование	Кол.	Примечание
Конденсаторы			
C1	K50-35-16 В 2,2 мкФ ±5%	1	
C2	K73-17-63 В 3,3 мкФ ±5%	1	
Резисторы			
R1	C2-33M-0,5-120 Ом ±5%	1	
R2	C2-33M-0,5-2 КОм ±5%	1	
R3	C2-33M-0,5-10 КОм ±5%	1	
Транзисторы			
VT1	2N5496	1	
Диоды			
VD1	1N3600	1	
Стабилитроны			
VD2	1N4733A	1	
Резьбы			
XP1-XP3	PBS-2	3	
ПГУ 2.1104.04.ПЗ3			
Разработ.	Васильев В.А.	Лист	Листов
Провер.	Васильев В.А.	61	1
Реценз.			
И.контр.			
Утверд.			
Блок питания сетки Перечень элементов			
ар 21ПДм1			

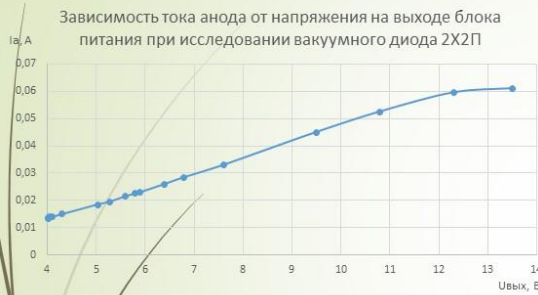
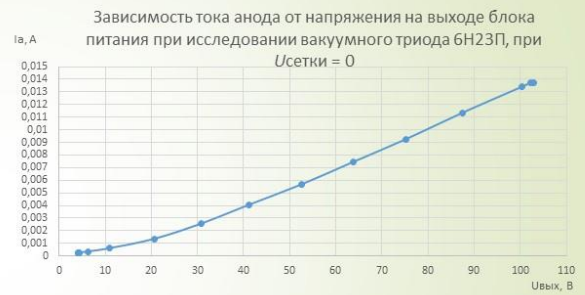


Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ПГУ 21104.04.П33		
Разработ	Яценко В.А.	Схема для снятия характеристик документа лист Пятиугольник, элемент			Изм.	Лист	Листов
Провер	Вольское А.А.				1	65	2
Реценз							
Н. контр.							
Утверд							
					ар. 21ПДМ1		

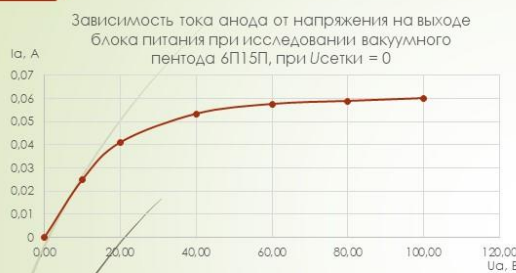
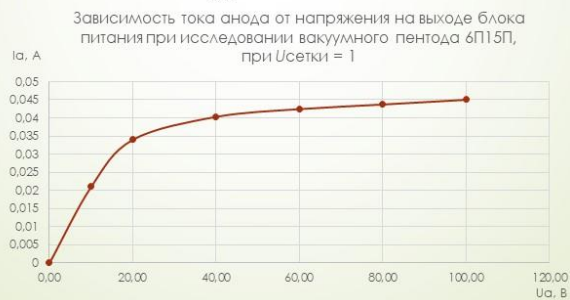




Проверка работоспособности учебного стенда



Проверка работоспособности учебного стенда



Заключение

- В ходе выполнения данной работы были получены следующие результаты:
- Разработаны схемы электрические принципиальные и сборочные чертежи: блока питания анода, блока питания сетки, схема для снятия характеристик вакуумных ламп и схема для подключения вакуумных ламп
- Разработана структурная схема и алгоритм работы учебного стенда
- Проведена проверка правильности работы учебного стенда путём экспериментальных замеров.

Спасибо
за
Внимание