

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления
и радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ТРУБКА С ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ

Методические указания к лабораторной работе
для студентов направления
210100.62 – Электроника и наноэлектроника
Профиль: Квантовая и оптическая электроника;
Электронные приборы и устройства

Томск 2014

Аксенов Александр Иванович
Злобина Алевтина Федоровна

Электронно-лучевая трубка с электростатическим управлением: методические указания к лабораторной работе для студентов направления 210100.62 – Электроника и наноэлектроника (профили: Квантовая и оптическая электроника; Электронные приборы и устройства) / А.И. Аксенов, А.Ф Злобина; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск: ТУСУР, 2014. - 14 с.

В настоящей работе изучаются свойства основных элементов осциллографической электронно-лучевой трубки. Исследуются основные характеристики электронного прожектора. Измеряется чувствительность отклоняющей системы трубки. Рассчитывается чувствительность трубки к отклонению и сравнивается с экспериментальными данными

Процесс изучения направлен на формирование следующих компетенций:

- способностью осуществлять сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения (ПК-9);
- способностью аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения (ПК-20).

Пособие предназначено для студентов очной формы, обучающихся по направления 210100.62 – «Электроника и наноэлектроника» (профили Квантовая и оптическая электроника; Электронные приборы и устройства) по дисциплине «Вакуумные и плазменные приборы и устройства».

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой ЭП
_____ С.М. Шандаров
« ____ » _____ 2014 г.

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ТРУБКА
С ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ

Методические указания к лабораторной работе
для студентов направления
210100.62 – «Электроника и наноэлектроника»
Профили: Квантовая и оптическая электроника;
Электронные приборы и устройства

Разработчик
доцент каф.ЭП
_____ А.И.Аксенов
« ____ » _____ 2014 г

_____ А.Ф. Злобина
« ____ » _____ 2014 г

Оглавление

1 Введение	5
2 Теоретическая часть	5
2.1 Устройство осциллографической трубки	5
2.2 Параметры осциллографических трубок	9
2.2.1. Чувствительность к отклонению	9
2.2.2. Разрешающая способность	9
2.2.3. Скорость записи	10
2.2.4. Частотная характеристика	10
2.2.5. Линейность отклонения	10
3. Экспериментальная часть	11
3.1. Используемая аппаратура	11
3.2. Задание на исследование электроннолучевой трубки	12
3.3. Методические указания	13
3.4. Содержание отчета	13
4. Рекомендуемая литература	13

1 Введение

В современной измерительной технике широко применяются осциллографические измерительные устройства, т.е. устройства, использующие в качестве индикатора электронно-лучевую трубку. К таким устройствам относятся электронно-лучевые осциллографы, измерители временных интервалов, измерители характеристик электронных приборов и др.

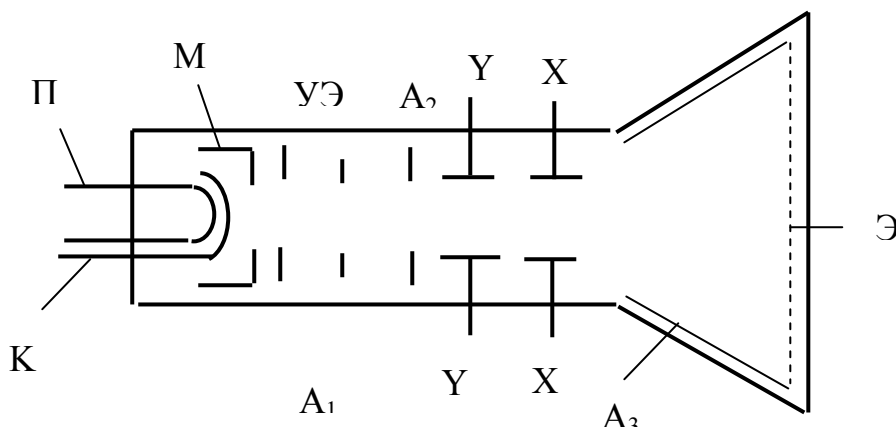
В настоящей работе изучаются свойства основных элементов осциллографической электронно-лучевой трубки. Исследуются основные характеристики электронного прожектора. Измеряется чувствительность отклоняющей системы трубки. Рассчитывается чувствительность трубки к отклонению и сравнивается с экспериментальными данными

2 Теоретическая часть

2.1 Устройство осциллографической трубки

Осциллографическая трубка – это прибор, предназначенный для преобразования электрического сигнала в световое изображение с помощью тонкого электронного луча, направляемого на люминесцирующий экран.

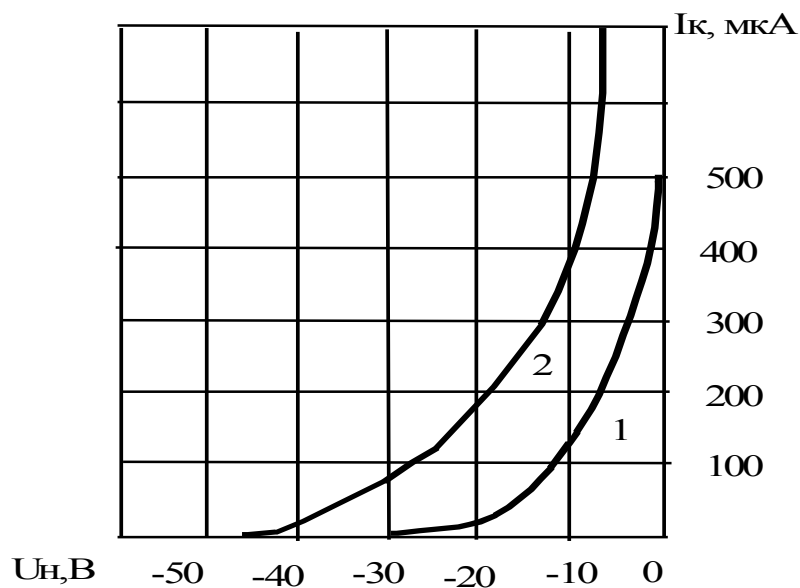
На рисунке 2.1. показана схема устройства трубки с электростатической фокусировкой и электростатическим отклонением луча.



П – подогреватель, К – катод, М – модулятор, УЭ – ускоряющий электрод, А₁ – первый анод, А₂ – второй анод, У – пластины вертикального отклонения, Х – пластины горизонтального отклонения, А₃ – третий анод, Э – экран.

Рисунок 2.1 – Схема устройства осциллографической трубки

Источником электронов в трубке является оксидный подогревный катод. Оксидный слой нанесен на наружной стороне доньшка никелевого цилиндра, внутри которого помещен подогреватель. Управляющий электрод (модулятор) представляет собой цилиндр, прикрытый диском с отверстием. Модулятор имеет отрицательный по отношению к катоду потенциал и служит для управления током пучка и, следовательно, управляет яркостью свечения пятна на экране трубки. Фокусирующая система трубки обычно состоит из двух линз. Первая линза, называемая линзой предварительной фокусировки, представляет собой иммерсионный объектив. Первая линза является короткофокусной. В эту линзу входит катод, модулятор и ускоряющий электрод, имеющий положительный потенциал. Иммерсионный объектив представляет собой своеобразный триод, в котором изменения потенциала модулятора регулируют ток, отбираемый с катода, что аналогично действию управляющей сетки в триоде.



1 – $U_{a2}=1$ кВ

2 – $U_{a2}=2$ кВ.

Рисунок 2.2 – Модуляционная характеристика

Основное отличие первой линзы прожектора от триода заключается в неравномерном распределении тока по катоду прожектора. При изменении напряжения модулятора изменяется не только действующее напряжение в плоскости модулятора, но и величина поверхности отбора электронов с катода.

Зависимость тока катода от напряжения модулятора называется модуляционной характеристикой (рисунок 2.2.). Напряжение модулятора, соответствующее прекращению прохода электронов через модулятор (запиранию прожектора), называется запирающим напряжением.

В общем, виде формула для тока катода может быть записана в следующем виде:

$$J_k = \kappa (U_m - U_z)^y, \quad (2.1)$$

где J_k – ток катода; κ и y – постоянные коэффициенты; U_m – потенциал модулятора; U_z – потенциал записания.

Коэффициент y для прожектора рассматриваемого типа обычно равен $\frac{5}{2}$.

Величина запирающего напряжения зависит от геометрических размеров элементов иммерсионного объектива и от напряжения ускоряющего электрода. Запирающее напряжение можно определять по формуле Гайне.

$$U_z = 0,034 \frac{(D - \delta)^2}{I_{km} \cdot I_{mu}} \cdot U_{a2}, \quad (2.2)$$

где U_z – запирающее напряжение; U_{a2} – ускоряющее напряжение; D – диаметр отверстия в модуляторе; δ – толщина диафрагмы модулятора; I_{km} – расстояние катод–модулятор; I_{mu} – расстояние модулятор–ускоряющей электрод.

Вторая линза прожектора является главной проекционной линзой и служит для создания изображения объекта (кроссовера) на экране электронно-лучевой трубки. Вторая линза образована тремя электродами и представляет собой симметричную (одиночную) линзу. Линза образуется ускоряющим электродом, первым анодом и вторым анодом. Потенциалы крайних электродов линзы равны, а, следовательно, равны и фокусные расстояния линзы. Симметричная линза, формирует электронное изображение, не изменяя энергии электронного пучка. Вторая линза является длиннофокусной. Фокусирование пятна на экране осуществляется изменением потенциала первого анода, который обычно ниже, чем потенциал второго анода. Для лучшей фокусировки необходимо работать при малых токах пучка и при повышенном напряжении на втором аноде.

Все электроды прожектора трубки питаются от одного общего источника через делитель напряжения.

Для отклонения сфокусированного электронного пучка за вторым анодом расположены перпендикулярно друг другу две пары отклоняющих пластин. Наличие двух пар взаимно-перпендикулярных отклоняющих пластин обеспечивает возможность смещения пятна в любую точку экрана.

В осциллографических трубках чаще применяют однократно-изогнутые пластины. На рисунке 2.3. показана форма однократно-изогнутых пластин.

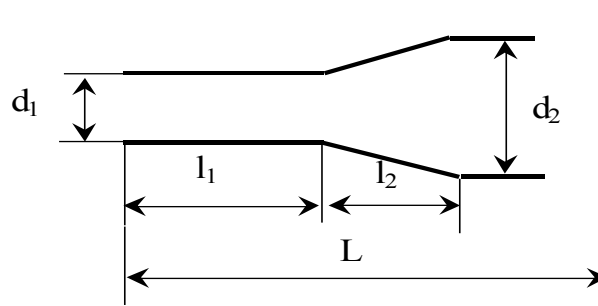


Рисунок 2.3 – Однократно – изогнутые отклоняющие пластины

В таблице показаны размеры отклоняющих пластин трубки 13ЛО37

Таблица 2.1 – Размеры отклоняющих пластин трубки 13ЛО37

Отклоняющие пластины	Размеры, мм				
	d_1	d_2	l_1	l_2	L
X	3,5	13,0	11,0	14,5	247
Y	3,5	10,0	11,0	9,5	278

В исследуемой трубке 13ЛО37 используется принцип послеускорения, который позволяет сохранить высокую чувствительность и яркость. В трубках этого типа электроны пучка, ускоренные сначала небольшим напряжением второго анода, отклоняются при высокой чувствительности, а затем отклоненный пучок дополнительно ускоряется полем третьего анода. Потенциал третьего анода больше потенциала второго анода. Электрод послеускорения (третий анод) представляет собой проводящее покрытие из аквадага, нанесенное на коническую часть баллона. В некоторых осциллографических трубках третий анод делают из нескольких секций, что позволяет значительно уменьшить искажения вносимые системой послеускорения.

2.2 Параметры осциллографических трубок

Основными параметрами, определяющими общие свойства осциллографических трубок, являются:

- 1) чувствительность к отклонению;
- 2) разрешающая способность;
- 3) скорость записи;
- 4) частотная характеристика отклоняющей системы;
- 5) линейность отклонения.

2.2.1. Чувствительность к отклонению

Чувствительностью трубки к отклонению называется отношение величины отклонения пятна на экране к величине отклоняющего напряжения. Чувствительность показывает, на сколько миллиметров перемещается пятно на экране при отклоняющем напряжении в один вольт.

$$\varepsilon = \frac{h}{U_{отк}} \quad , \quad (2.3)$$

где ε – чувствительность к отклонению; h – величина отклонения пятна на экране; $U_{отк}$ – отклоняющее напряжение.

Чувствительность однократно-изогнутых пластин рассчитывается по формуле (2.4):

$$\varepsilon = \frac{l_2}{2U_{a2}(d_2 - d_1)} \left[\left(\frac{d_2 \cdot l_2}{d_2 - d_1} \right) l_n \frac{d_2}{d_1} - l_2 \right] + \frac{l_1}{2U_{a2}d_1} \left(\frac{l_1}{2} + l_2 + L \right) \quad (2.4)$$

Обозначения, принятые в формуле (2.4), показаны на рисунке 2.3, а размеры отклоняющей системы в таблице 2.1.

2.2.2. Разрешающая способность

Разрешающая способность характеризует количество информации, которое может содержать экран. Под разрешающей способностью понимают число строк с шириной, равной ширине пятна укладываемых без перекрытия на рабочем участке экрана трубки. Диаметр пятна, а, следовательно, и разрешающая способность зависит от величины кроссовера пучка, увеличения фокусирующей системы, абберации линз и отклоняющей системы, а также от тока пучка и

потенциала второго анода. Кроме этого, разрешающая способность зависит и от структуры экрана. Лучшими свойствами обладают сублимат-экраны, в которых рассеяние света очень мало.

2.2.3. Скорость записи

Если процесс, который необходимо исследовать, протекает быстро и не является периодическим, то для того, чтобы «развернуть» его во времени, необходимо увеличить скорость движения луча по экрану. Скорость записи определяется как наибольшая линейная скорость перемещения электронного пятна, при которой информация еще может быть воспроизведена на экране. Скорость записи зависит от тока пучка, рабочего напряжения и эффективности экрана. Скорость записи измеряется в километрах на секунду.

2.2.4. Частотная характеристика

При исследовании сверхвысокочастотных сигналов возможно искажение формы сигнала и сдвиг по фазе самой осциллограммы. Такого рода искажения возникают из-за того, что начинают сказываться индуктивности вводов отклоняющих пластин, емкости между ними. Кроме этого, возникновение искажений связано и с тем, что на пролет отклоняющей системы электроны затрачивают некоторое конечное время. Это ограничивает верхний предел частоты сигнала.

Предельную частоту осциллографической трубки можно оценить по следующей формуле (2.5):

$$f_{\text{пред}} = \frac{7,5\sqrt{U_{a2}}}{l_1}, \quad (2.5)$$

где $f_{\text{пред}}$ – предельная частота в МГц; l_1 – длина пластин в см.; U_{a2} – ускоряющее напряжение в вольтах.

Для расширения частотного диапазона осциллографических трубок применяют специальные конструкции отклоняющих устройств с бегущей волной. Такими мерами можно расширить частотный диапазон до 1000 МГц.

2.2.5. Линейность отклонения

Отклоняющая система трубки характеризуется зависимостью между отклонением и приложенным к пластинам напряжением. Эта зависимость носит линейный характер. Однако на краях экрана

линейность нарушается. Это связано в основном с неоднородностью отклоняющего поля на краях пластин. Поэтому в качестве рабочей части экрана выбирают среднюю часть экрана, где гарантируется линейная зависимость между величиной отклонения и отклоняющим напряжением.

2.3. Контрольные вопросы

1. Основные элементы осциллографической трубки.
2. Устройство электронного прожектора.
3. Объясните модуляционную характеристику.
4. Для чего отклоняющим пластинам придают изогнутую форму?
5. Что такое чувствительность к отклонению?
6. От чего зависит яркость свечения экрана трубки?
7. Какие функции выполняет третий анод трубки?
8. Что такое послеускорение?
9. Каким способом изменяется фокусировка луча?
10. От чего зависит предельная частота осциллографической трубки?

3. Экспериментальная часть

3.1. Используемая аппаратура

Лабораторная работа выполнена на базе стандартного осциллографа типа С1–1 с электронно-лучевой трубкой типа 13ЛО37. Питание электронно-лучевой трубки осуществляется от имеющихся в осциллографе блоков питания. Принципиальная электрическая схема для исследования приведена на рисунке 3.1. На задней панели осциллографа имеется разъем, к которому подключен выносной блок. На передней панели выносного блока расположены приборы для измерения напряжений и токов трубки. Это приборы для измерения напряжения модулятора, напряжения первого анода, напряжения второго анода, напряжения третьего анода, напряжения на отклоняющих пластинах, тока катода, тока луча. Для измерения яркости свечения экрана трубки используется фоторезистор типа ФСК-1 и микроамперметр.

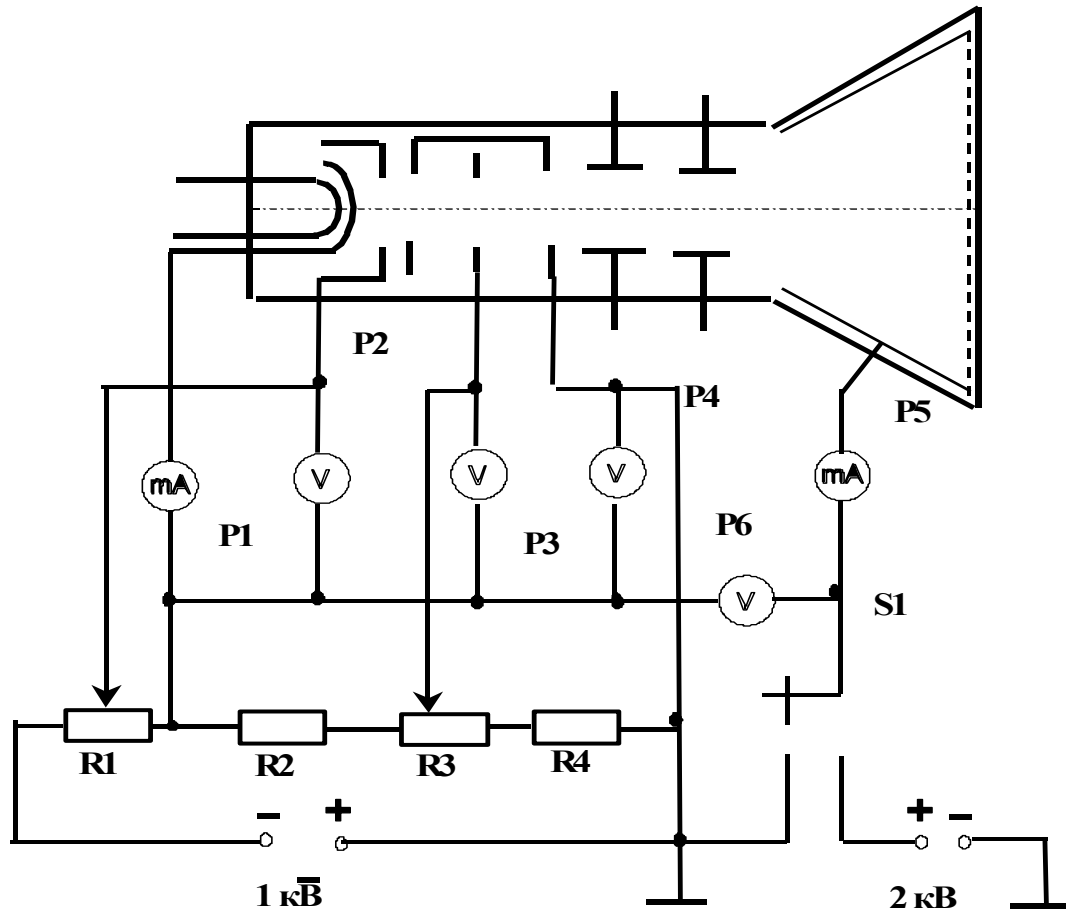


Рисунок 3.1. – Схема для исследования осциллографической трубки

3.2. Задание на исследование электроннолучевой трубки

3.2.1. Ознакомиться с устройством электроннолучевой трубки, зарисовать цоколевку и записать основные паспортные данные.

3.2.2. Включить стенд и получить на экране сфокусированное пятно.

3.2.3. Измерить потенциалы всех электродов трубки, соответствующие получению яркого сфокусированного пятна на экране.

3.2.4. Снять зависимости тока катода и тока луча от потенциала модулятора при наилучшей фокусировке пучка и двух значений U_{a2} .

3.2.5. Снять зависимость величины отклонения луча от отклоняющего напряжения для горизонтальной и вертикальной пар пластин при разных потенциалах третьего анода.

3.2.6. Рассчитать чувствительность трубки к отклонению для обеих пар пластин по формуле (2.4) и сравнить с экспериментальными результатами.

3.2.7. Установить на экране светящийся прямоугольный растр и снять зависимость яркости свечения экрана (в условных единицах) от тока катода при разных потенциалах третьего анода.

3.3. Методические указания

3.3.1. При измерении отклонения луча, отклоняющее переменное напряжение подводится к отклоняющим пластинам трубки. Усилители осциллографа при этом должны быть отключены.

3.3.2. Для получения светящегося растра при измерении яркости свечения экрана следует на вход осциллографа подвести переменное напряжение от зажима, имеющегося на осциллографе «контрольный сигнал», а для горизонтальной развертки луча использовать развертки осциллографа.

3.3.3. При работе с электронно-лучевой трубкой следует соблюдать меры по электробезопасности. При возникших неисправностях в стенде не производить ремонтных работ, т.к. на электродах трубки имеется высокое напряжение.

3.4. Содержание отчета

3.4.1. Паспортные параметры исследуемой электронно-лучевой трубки, а также цоколевка.

3.4.2. Схема испытания осциллографической трубки.

3.4.3. Модуляционная характеристика трубки и характеристика зависимости тока луча от потенциала модулятора.

3.4.4. Графики зависимости отклонения луча от величины отклоняющего напряжения для обеих пар пластин.

3.4.5. Расчет чувствительности трубки к отклонению для обеих пар пластин на основе экспериментальных данных.

3.4.6. Расчет чувствительности к отклонению для обеих пар пластин по формуле (2.4.).

3.4.7. Графики зависимости яркости свечения экрана от тока катода для двух значений напряжения третьего анода.

3.4.8. Выводы.

4. Рекомендуемая литература

1. Батушев В.А. Электронные приборы. – М.: Высшая школа, 1980.- 124 с.

2. Жигарев А.А., Шамаева Г.Г. Электроннолучевые и фотоэлектронные приборы. - М.: Высшая школа, 1982.- 482 с.

3. Шерстнев Л.Г. Электронная оптика и электроннолучевые приборы. - М.: Энергия, 1971.-357 с.

Учебное пособие

Аксенов А.И., Злобина А.Ф.

Электронно-лучевая трубка
с электростатическим управлением

Методические указания к лабораторной работе

Усл. печ. л. Препринт
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40