

Министерство общего и профессионального образования
Российской Федерации.

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им.
А.Н.ТУПОЛЕВА

Кафедра теоретической радиотехники и электроники

Исследование электронно-лучевой трубки

Методические указания к лабораторной работе №202

Казань, 2000

Цель работы: ознакомление с устройством и принципом работы электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) с электростатическим и магнитным отклонением, изучение основных характеристик и параметров.

1. Основные понятия и расчетные формулы.

Электронно-лучевыми трубками называются приборы, в которых электронный луч используется для преобразования электрических сигналов в визуальное изображение. ЭЛТ по своему назначению делятся на:

- а) осциллографические, используемые для наблюдения и исследования электрических процессов, т.е. для целей измерения;
- б) индикаторные, используемые для регистрации сигналов;
- в) кинескопы (приемные телевизионные трубки).

По принципу управления электронным лучом различают трубки с электростатическим управлением луча (это обычно осциллографические ЭЛТ) и трубки с электромагнитным управлением.

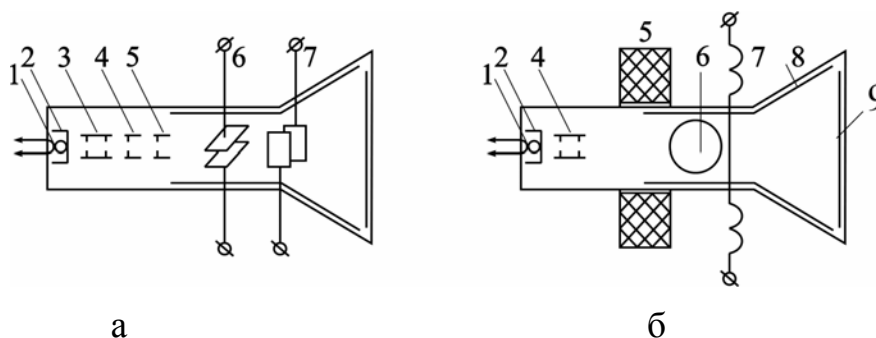


Рис. 1

Рассмотрим устройство ЭЛТ с электростатическим управлением луча (рис.1,а). Она содержит электронный прожектор, в состав которого входят катод 1, модулятор 2, ускоряющий электрод 3, первый анод 4, второй анод 5. За ним расположена отклоняющая система 6, 7. В ЭЛТ с электромагнитным управлением второй анод отсутствует (рис.1,б), вместо него устанавливается фокусирующая катушка 5.

Пройдя отклоняющую систему, электронный луч попадает на экран ЭЛТ 9, покрытый люминофором. На экране ЭЛТ появляется светящееся пятно, видимое снаружи. При бомбардировке экрана электронами с его поверхности выбиваются вторичные электроны, которые увлекаются полем проводящего покрытия 8 (аквадаг), находящегося под положительным напряжением.

Катод выполняется в виде цилиндра, внутри которого помещена спираль для подогрева. Вблизи катода расположен полый цилиндр 2 с небольшим отверстием. Это управляющий электрод или модулятор, который управляет плотностью тока электронного луча. На модулятор подают небольшой отрицательный потенциал.

За модулятором располагается ускоряющий электрод 3, который ускоряет электроны, а также два цилиндра - аноды. Первый анод 4, находясь под положительным потенциалом в несколько сотен вольт, ускоряет движущийся от катода поток

электронов. Ко второму аноду 5 подводится напряжение 1...25 кВ, и поток электронов покидает зону второго анода с достаточно высокой скоростью. Кроме ускорения электронов аноды фокусируют электронный поток. В пространстве между катодом и модулятором существует неоднородное электростатическое поле (рис.2), которое образует часть первой электростатической линзы и служит для фокусировки электронного луча.

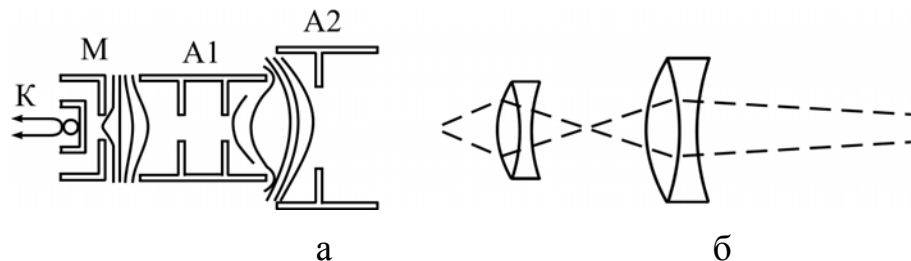


Рис. 2

Конфигурация электродов и их потенциалы подбираются таким образом, что вся система образует две электростатические линзы: первую - между модулятором и электродами ускоряющим и первым анодом, вторую - между первым анодом и вторым анодом. Проходя через эти линзы, электроны образуют узкий, сходящийся у экрана пучок - электронный луч. На фокусировку наибольшее влияние оказывают потенциалы на модуляторе, ускоряющем электроде, первом аноде. На рис.3 дана зависимость диаметра пятна на экране от напряжения на первом аноде.

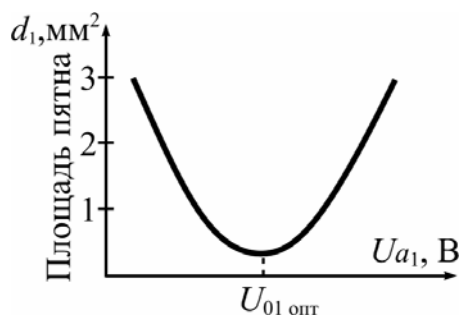


Рис. 3

В ЭЛТ с магнитным управлением луча в качестве второй линзы используют неоднородное аксиально-симметричное магнитное поле фокусирующей катушки, которая представляет собой короткую катушку, надетую на горло трубки (рис.4).

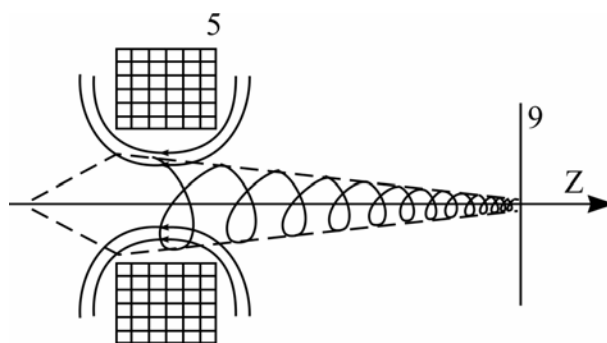


Рис. 4

Зависимость тока луча от напряжения на модуляторе называется модуляционной характеристикой (рис.5). Ввиду того, что измерить ток электронного луча вблизи экрана трудно, на практике обычно пользуются зависимостью тока второго анода $I_{A2}=f(U_m)$.

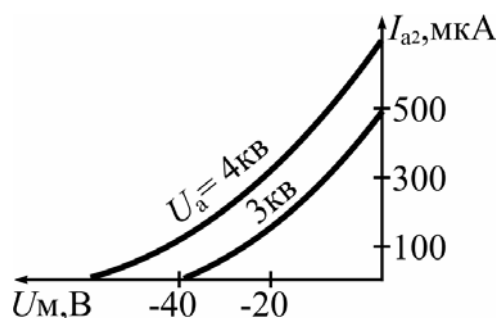


Рис.5

Крутизна модуляционной характеристики ЭЛТ с магнитным отклонением в несколько раз больше крутизны модуляционной характеристики ЭЛТ с электростатическим отклонением. Это объясняется отсутствием ограничивающих диафрагм в электронном прожекторе трубки с магнитным отклонением. Магнитная фокусирующая катушка 5 (рис.1,б) имеет большой диаметр линзы по сравнению с электростатической системой. Это обеспечивает лучшее качество фокусировки и позволяет получить более мощный луч, что важно для ЭЛТ с яркостной отметкой.

Простейшая электростатическая отклоняющая система состоит из двух пар плоских параллельных пластин 6 и 7, расположенных друг за другом (рис 1). Если между парой пластин, например, горизонтально расположенных, создана разность потенциалов, то электрическое поле между ними искривляет траекторию электронов в направлении, перпендикулярном их движению, и вызывает смещение пятна на экране в вертикальной Y плоскости в ту или другую сторону в зависимости от знака приложенного напряжения. Вторая пара отклоняющих пластин повернута по отношению к первой на 90° , поэтому прикладываемое к ней напряжение смещает пятно на экране в горизонтальной X плоскости.

Таким образом, под воздействием двух напряжений световое пятно перемещается в любую точку экрана. Важным параметром электронно - лучевой трубки является ее чувствительность (в мм/В):

$$S_y = \frac{h_y}{U_{откл.у}} = \frac{h_y}{2\sqrt{2}U_{эфф.откл.}} \quad (1)$$

Геометрические размеры отклоняющей системы (рис.6) влияют на величину чувствительности трубки:

$$S = \frac{h}{U_{откл.}} = \frac{l_1 l_2}{2dU_{A2}} \quad (2)$$

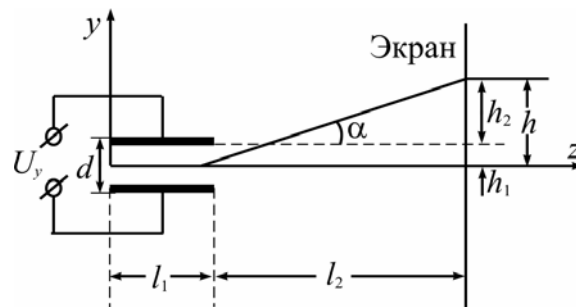


Рис.6

Чем больше пластина l_1 , тем дольше электрон находится под воздействием отклоняющего поля и тем сильнее отклоняется им. При малом расстоянии между пластинами d напряженность поля больше, поэтому сильнее импульс, отклоняющий электрон. Чем выше напряжение второго анода, тем быстрее пролетает электрон расстояние между пластинами и тем слабее отклоняющее действие поля на него. Увеличение расстояния l_2 увеличивает катет треугольника, т.е. величину изображения (рис.6).

Магнитная отклоняющая система состоит из двух пар последовательно соединенных катушек 6 и 7 (рис.1,б), расположенных взаимно перпендикулярно. Электронный луч пересекает магнитное поле катушек под прямым углом, при этом на электрон действует сила Лоренца $F = l [V_0, B]$, перпендикулярная как к направлению вектора скорости V_0 , так и к направлению вектора индукции B (рис.7).

В результате электрон начинает двигаться по криволинейной траектории под углом φ к начальной траектории.

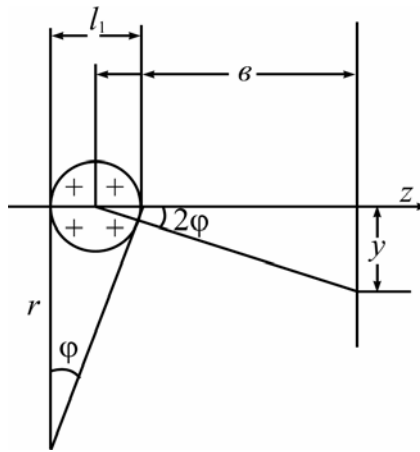


Рис.7

Поскольку скорость V_0 и индукция B постоянны, радиус является также постоянной величиной, следовательно, электрон движется в отклоняющем магнитном поле по дуге окружности.

Чувствительность трубки с магнитным отклонением (в мм/А-вит.):

$$S = \frac{h}{nU_{откл.}} = \frac{0,3kll_1}{\sqrt{U_{уск.}}} \quad (3)$$

Величина $\gamma = 0,3k_1$, зависящая от конфигурации катушек, для данной системы катушек постоянна и может быть определена из опыта.

Чувствительность трубки с магнитным отклонением зависит от ускоряющего напряжения ($\sim U_{уск.}^{1/2}$) меньше, чем чувствительность трубки с электростатическим отклонением ($\sim U_{уск.}^{-1}$). Это объясняется тем, что при магнитном отклонении сила, отклоняющая электрон, пропорциональна скорости и, следовательно, увеличивается с ростом ускоряющего напряжения.

2. Описание макета.

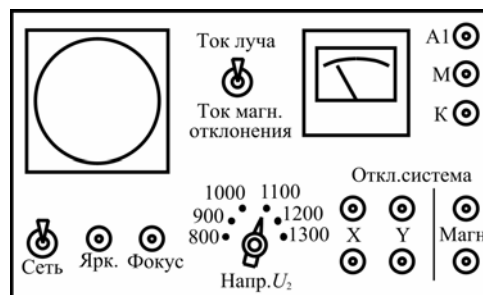


Рис.8

В лабораторной работе исследуется электростатическая электронно-лучевая трубка 8Л029, дополненная магнитной отклоняющей системой. Напряжение на модуляторе трубки регулируется ручкой «Яркость». Напряжение на первом аноде регулируется ручкой «Фокус» в пределах 0...600 В. Напряжение второго анода имеет ступенчатую регулировку в пределах 800...1300 В (переключатель «Напряжение второго анода»). Электроды электронного прожектора имеют выводы на переднюю панель (рис.8) гнезда: «Модулятор», «Катод», «Анод 1».

Питание ЭЛТ осуществляется по схеме с заземленным вторым анодом. В этом случае на катод и другие электроды подается отрицательный потенциал по отношению к корпусу прибора. Отклоняющие пластины заземлены через сопротивления, поэтому потенциал в области отклоняющих пластин не отличается существенно от потенциала второго анода, и луч в зоне от анода до экрана не подвержен расфокусировке. Отклоняющее напряжение с гнезд на лицевой панели через разделительные емкости подается непосредственно на отклоняющие пластины.

Электронно-лучевая трубка дополнена магнитной отклоняющей системой, состоящей из двух катушек, охватывающих горловину трубки и соединенных последовательно. Ток магнитного отклонения подается на катушки с гнезд магнитного отклонения на передней панели и измеряется миллиамперметром на передней панели установки. Этот же измерительный прибор используется для измерения тока луча. Установка питается от сети переменного тока напряжением в 220 В. Тумблер «Сеть» включает питание установки, при этом загорается сигнальная лампа на лицевой панели прибора. Переменное напряжение на отклоняющие пластины или катушки подается с выхода звукового генератора.

3. Лабораторное задание.

1. Исследование номинального режима электронного прожектора ЭЛТ. Установить напряжение второго анода $U_{A2}=1300$ В. На экране необходимо получить четко сфокусированное пятно нормальной яркости при среднем положении ручки «Яркость». Измерить вольтметром и записать потенциалы на электродах электронного прожектора относительно катода.

2. Исследование модуляционной характеристики. Снять модуляционную характеристику $I_{\text{луча}} = f(U_M)$ при номинальном режиме ($U_{A2}=1300$ В). Величину тока $I_{\text{луча}}$ отсчитывать по прибору, установленному на лицевой панели установки. Напряжение на модуляторе изменять ручкой «Яркость» и отсчитывать по вольтметру относительно катода. Зафиксировать потенциал гашения луча.

3. Исследование характеристик фокусировки ЭЛТ.

а) Снять зависимость диаметра пятна на экране от напряжения на первом аноде: $d = f(U_{A1})$.

б) Проследить, как меняется напряжение оптимальной фокусировки $U_{A1\text{оптим.}} = f(U_{A2})$ от напряжения на втором аноде.

4. Исследование чувствительности ЭЛТ по отклоняющим пластинам.

а) Собрать схему измерений (рис.9).

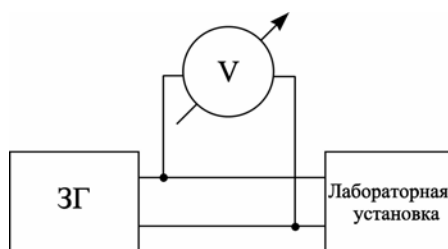


Рис.9

На генераторе установить частоту 2...3 кГц, внутреннюю нагрузку выключить. На макете установить $U_{A2} = 1300$ В. Увеличивая выходное напряжение генератора, получить на экране отклонение луча $h = 3...4$ см. Чувствительность вертикально отклоняющих пластин подсчитать по формуле (1).

б) Измерить чувствительность горизонтально отклоняющих пластин. Данный пункт выполняется аналогично предыдущему, только сигнал с генератора необходимо подать на пластины X установки.

в) Снять зависимость чувствительности S_x от ускоряющего напряжения: $S_x = f(U_{A2})$.

г) Измерить чувствительность магнитной отклоняющей системы (мм/А-вит.):

$$S_{\text{магн.}} = \frac{h}{2\sqrt{2} n I_{\text{откл.}}} \quad n = 2 \cdot 400 \text{ витков} \quad (4)$$

Ток $I_{\text{откл.}}$ измеряется прибором на лицевой панели установки.

д) Снять зависимость $S_{\text{магн.}} = f(U_{A2})$ для чего на магнитную отклоняющую систему подается сигнал со звукового генератора.

Содержание отчета:

1. Записать потенциалы электродов электронного прожектора: U_M, U_{A1}, U_{A2} .
2. Построить характеристику фокусировки $d = f(U_{A1}); U_{A1\text{опт.}} = f(U_{A2})$.
3. Записать номинальные при ($U_{A2} = 1300$ В) значения чувствительности S_y и S_x и построить зависимость $S_x = f(U_{A2})$. Сравнить параметры S_y и S_x и объяснить их различие.
4. Записать номинальную чувствительность магнитного отклонения $S_{\text{магн.}}$ при ($U_{A2} = 1300$ В) и построить графики зависимости $S_{\text{магн.}} = f(U_{A2})$.
5. Сравнить графики $S_x = f(U_{A2})$ и $S_{\text{магн.}} = f(U_{A2})$, объяснить их различие.

Контрольные вопросы:

1. Типы электронно - лучевых трубок и их назначение.
2. Устройство электронно - лучевых трубок с электростатическим отклонением.
3. Особенности устройства ЭЛТ с магнитной фокусировкой и отклонением.
4. Чувствительность ЭЛТ с электростатическим и магнитным отклонением.
5. Зависимость чувствительности от геометрических размеров ЭЛТ.
6. Конструкция экранов ЭЛТ.
7. Типы искажений на экране и причины их возникновения.

Литература:

1. Дулин В.К. Электронные приборы, М., Энергия, 1977.
2. Батушев В.А. Электронные приборы, М., Высшая школа, 1980.