

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ВЫСШЕМУ ОБРАЗОВАНИЮ
НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Н. И. ЛОБАЧЕВСКОГО

Радиофизический факультет
Кафедра общей физики

ОСЦИЛЛОГРАФ

(Описание к лабораторной работе)

Нижегород, 1994

Осциллограф: Описание к лабораторной работе. Сост. И.Я.Королев.- Н.Новгород: ННГУ, 1994. - 16 с.

Описание предназначено для студентов 1-го курса радиофизического факультета, выполняющих работы в лабораториях общего практикума кафедры общей физики. Содержит изложение принципа работы электронного осциллографа и методику проведения измерений с помощью этого прибора.

Рис.9

Составитель И.Я.Королев
Рецензент М.И.Бакунов

Нижегородский государственный университет
им. Н.И.Лобачевского, 1994

Можно с уверенностью сказать, что осциллограф- основной прибор экспериментатора. А так как большинству из вас в той или иной степени придется сталкиваться с экспериментальными работами, то рекомендуем уделить самое серьезное внимание изучению принципа его работы.

Осциллограф предназначен для наблюдения формы и измерения параметров электрических сигналов. Промышленностью выпускается большое количество самых разнообразных осциллографов. На примере простейшего осциллографа типа СИ-1 (ЭО-7) рассмотрим принцип работы этих приборов. Его упрощенная блок-схема приведена на рис.1. Выясним назначение отдельных узлов осциллографа и их взаимодействие.

1. Электронно-лучевая трубка (ЭЛТ)

ЭЛТ- едва ли не самый главный узел осциллографа- представляет собой откачанный до высокого вакуума стеклянный баллон, передняя стенка которого (экран) покрывается с внутренней стороны специальным составом- люминофором; при попадании на люминофор электронного луча в месте попадания образуется яркая светящаяся точка.

Электронный луч формируется с помощью так называемой электронной линзы (см. рис.2), состоящей из подогревного катода К и трех цилиндрических коаксиальных электродов: модулятора М, первого анода A_1 и второго анода A_2 . На второй анод подается положительное относительно катода напряжение порядка 1-2 кВ, на первый анод- положительное напряжение $U_{A_1} = (0,1-0,3) U_{A_2}$ и на модулятор- небольшое отрицательное относительно катода напряжение U_M . При этом в междуэлектродном пространстве создается аксиально-симметричное электрическое поле, обладающее фокусирующим действием на электронный пучок. Электроны, вылетевшие из раскаленного катода, ускоряются и фокусируются этим полем таким образом, чтобы на экране трубки получилось малое по размеру резко очерченное светящееся пятно.

Чем больше электронов в пучке, т.е. чем больше ток пучка, тем ярче будет пятно на экране. Величина тока в пучке регулируется изменением напряжения на модуляторе. Ручка потенциометра, с помощью которого производится эта регулировка, выведена на переднюю панель осциллографа (ручка "ЯРКОСТЬ").

Фокусировка осуществляется изменением напряжения на первом аноде с помощью соответствующего потенциометра (ручка "ФОКУС" на передней панели). При изменении U_{A_1} меняется конфигурация электрического по-

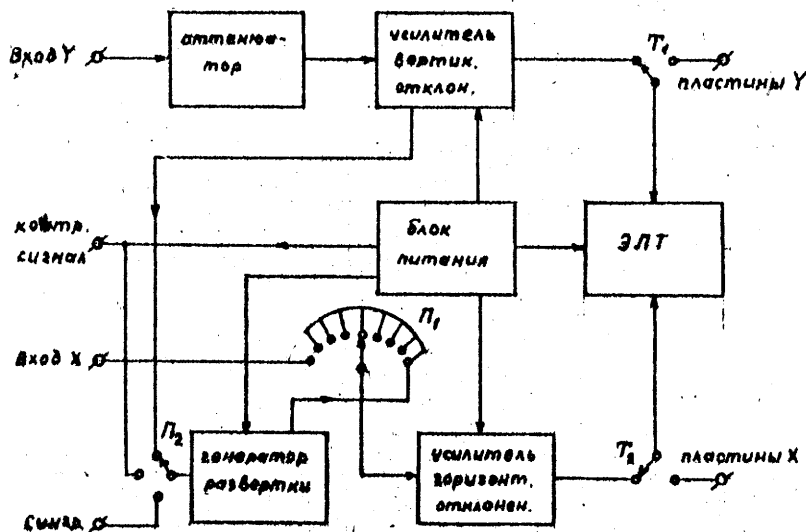


Рис. 1

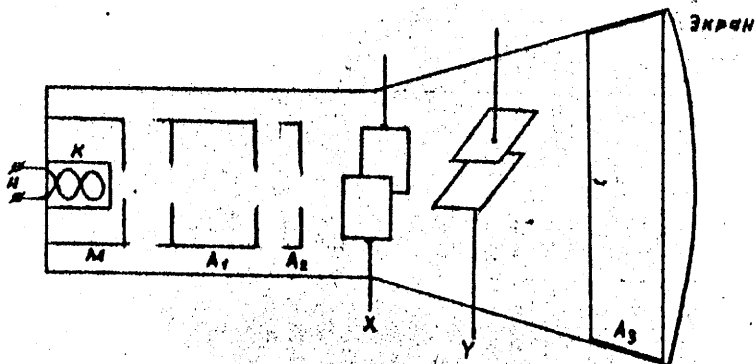


Рис. 2

ля и его фокусирующее действие.

Отклонение электронного луча производится с помощью электрических полей, создаваемых между двумя парами взаимно-перпендикулярных пластин, называемых отклоняющими. На летающий в пространство между любой парой пластин электрон действует со стороны электрического поля сила, отклоняющая электрон в направлении, перпендикулярном оси трубки. Пластины, отклоняющие луч в горизонтальном направлении, называются горизонтальными или X пластинами, а в вертикальном — вертикальными или Y пластинами. Изменяя напряжение на пластинах, можно перемещать электронный луч в любую точку экрана. На переднюю панель осциллографа выведены ручки "ОСЬ Y ВНИЗ-ВВЕРХ" и "ОСЬ X ВЛЕВО-ВПРАВО", с помощью которых можно изменять постоянное напряжение на пластинах и смещать луч по экрану.

Для получения на экране формы исследуемого напряжения — осциллограммы — необходимо исследуемое напряжение подать на вертикальные (Y) пластины, а на горизонтальные пластины необходимо подать пилообразное напряжение, снимаемое с генератора развертки, которое равномерно во времени смещает луч по горизонтали (подробнее об этом см. п. 3).

Важным параметром трубки является ее чувствительность

$$\alpha = \frac{h}{U_{откл.}} \quad (1)$$

которая определяется отклонением луча на экране трубки в мм, приходящимся на 1 вольт отклоняющего напряжения. Нетрудно показать, что чувствительность трубки с плоскими пластинами определяется выражением:

$$\alpha = \frac{l_1 l_2}{2 d U_{A_2}} \quad (2)$$

где l_1 — длина пластин, l_2 — расстояние от центра пластин до экрана, d — расстояние между пластинами, U_{A_2} — напряжение на втором аноде.

Из этого выражения видно, что для увеличения чувствительности следует сближать отклоняющие пластины и увеличивать их длину. Чтобы при этом не уменьшался предельный угол отклонения, отклоняющие пластины делают с изогнутыми краями (рис. 3). Чувствительность возрастает и при увеличении расстояния от пластин до экрана, что практически и делается в допустимых пределах. Увеличение чувствительности может быть достигнуто и путем уменьшения напряжения на втором аноде. Физически это понятно: чем меньше U_{A_2} , тем меньше скорость электронов в пучке,

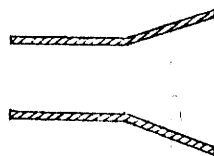


Рис. 3

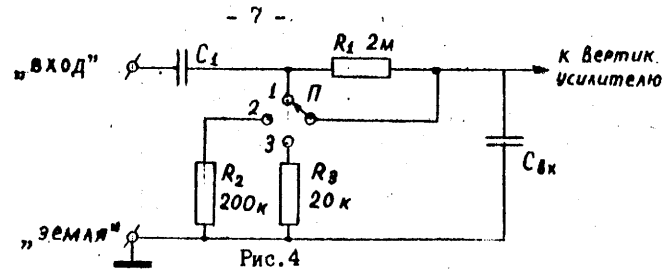
допустимых пределах. Увеличение чувствительности может быть достигнуто и путем уменьшения напряжения на втором аноде. Физически это понятно: чем меньше U_{A_2} , тем меньше скорость электронов в пучке,

тем дольше они будут взаимодействовать с полем внутри пластин и тем на больший угол отклонятся. Но при уменьшении U_{A_2} уменьшается яркость луча и ухудшается его фокусировка. Последнее связано с тем, что между электронами в пучке существуют силы взаимного отталкивания, и при увеличении времени пролета электронов от катода до экрана эти расталкивающие силы проявят себя в большей степени, что приведет к большому размытию пятна на экране. Для некоторого сглаживания указанного противоречия (т.е. невозможности одновременного получения высокой чувствительности и хорошей яркости и фокусировки) внутренняя поверхность стеклянного балона вблизи экрана покрывается проводящим покрытием, которое называется ускоряющим или третьим анодом. На него подается положительное напряжение U_{A_3} , существенно большее, чем U_{A_2} . Электроны, вылетающие из катода, разгоняются вначале напряжением U_{A_2} величиной 1-2 кВ и попадают в отклоняющую систему, чувствительность которой имеет нормальную величину благодаря тому, что скорость электронов сравнительно мала. Далее отклоненный луч попадает в поле третьего анода, где разгоняется до большой скорости, что обеспечивает уменьшение суммарного времени пролета электронов, позволяя получить приемлемую яркость и фокусировку. Кроме того, с помощью третьего анода облегчается отвод от поверхности экрана вторичных электронов, возникающих в результате вторичной эмиссии, когда под действием электронного луча из люминофора выбиваются вторичные электроны. Если такие электроны не убирать, то вблизи экрана появится отрицательный пространственный заряд и тормозящее электрическое поле.

2. Входные цепи и усилители

Реальная чувствительность трубки составляет величину порядка 1,5-2 мм/в. Исследуемые же сигналы могут иметь величину от милливольт до сотен вольт, поэтому для получения нормальной осциллограммы их, как правило, необходимо усиливать или ослаблять.

Исследуемый сигнал подводится к левым гнездам "ВХОД" и "ЗЕМЛЯ" на передней панели осциллографа. С этих гнезд сигнал поступает на входной делитель напряжения (аттенуатор), упрощенная схема которого приведена на рис.4. Конденсатор C_1 препятствует попаданию на вход усилителя постоянной составляющей входного сигнала (если таковая имеется). Осциллографы с конденсатором на входе называют осциллографами с закрытым входом. Резисторы R_1 , R_2 и R_3 образуют ступенчатый делитель напряжения. Ручка переключателя Π выведена на пе-



реднюю панель ("ОСЛАБЛЕНИЕ"). В положении I переключателя входной сигнал поступает непосредственно на вход усилителя вертикального отклонения, в положении 2 сигнал ослабляется в 10 раз и в положении 3- в 100 раз.

Чтобы усилитель вертикального отклонения как можно меньше шунтировал источник исследуемого сигнала, его входное сопротивление стремятся сделать как можно большим, а входную емкость- как можно меньшей. Для этого первый каскад усилителя собирается по схеме так называемого катодного повторителя, которая обеспечивает необходимые параметры (паспортное значение входного сопротивления не менее 2 мОм, а входной емкости- не более 30 пФ).

В схеме усилителя предусмотрен потенциометр, плавно регулирующий величину сигнала (левая ручка "УСИЛЕНИЕ"). С выхода усилителя сигнал поступает непосредственно на У пластину. По существу, качество осциллографа во многом определяется качеством усилителя вертикального отклонения. Он должен обладать хорошей линейностью, чтобы не искажать форму исследуемого сигнала (иными словами, его коэффициент усиления не должен зависеть от величины входного сигнала при фиксированном положении ручек "ОСЛАБЛЕНИЕ" и "УСИЛЕНИЕ"), и иметь достаточно широкую полосу пропускания, чтобы можно было исследовать высокочастотные сигналы (паспортное значение полосы пропускания осциллографа С1-1 составляет 2 Гц-500 кГц).

При необходимости пластины с помощью тумблера T_1 (см. рис.1) отключаются от усилителя, и сигнал может подаваться непосредственно на пластины (тумблер T_1 и гнезда "ВХОД ПЛАСТИН У" находятся на задней панели осциллографа).

Горизонтальный усилитель принципиально не отличается от вертикального. В нем также предусмотрено плавное изменение входного сигнала (правая ручка "УСИЛЕНИЕ") и также имеется возможность подавать сигнал, минуя усилитель, непосредственно на X пластины.

3. Блок развертки

Пилообразное напряжение, с помощью которого осуществляется равномерное во времени отклонение луча в горизонтальном направлении, вырабатывается генератором развертки. Желательно, чтобы график напряжения развертки имел вид, приведенный на рис.5.

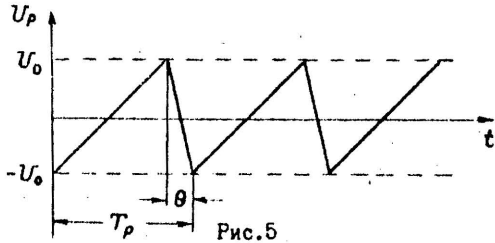


Рис.5

Когда напряжение такой формы прикладывается к X пластинам, то за время нарастания U_p от $-U_0$ до U_0 луч равномерно движется по экрану слева направо (прямой ход развертки), а за время $\theta \ll T_p$ быстро возвращается в исходное положение (обратный ход). Через период T_p весь процесс повторяется.

Напряжение, вырабатываемое реальным генератором развертки, несколько отличается от приведенного на рис.5. Упрощенная принципиальная схема генератора приведена на рис.6

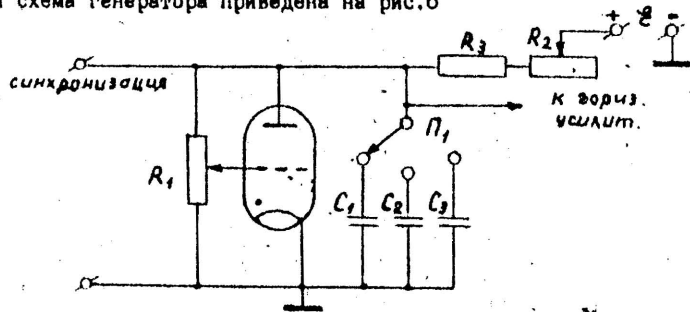


Рис.6

Он собран на трехэлектродной газонаполненной лампе-тиратроне, которая имеет накаливаемый катод, управляющую сетку и анод. Пока напряжение на аноде не достигнет некоего порогового значения, называемого напряжением зажигания U_z , тиратрон практически не пропускает ток. В это время конденсатор, включенный между анодом и катодом тиратрона, заряжается от источника с э.д.с. \mathcal{E} через сопро-

тивление ($R_2 + R_3$). Как только напряжение на конденсаторе (а, следовательно, и на аноде тиратрона) достигнет величины U_z , тиратрон загорается, его сопротивление резко падает, и конденсатор быстро разряжается через тиратрон. Разряд длится до тех пор, пока напряжение на конденсаторе (и на аноде тиратрона) не упадет до величины напряжения гашения U_r . Тиратрон при этом закрывается, его сопротивление резко возрастает, а конденсатор вновь начинает заряжаться от источника \mathcal{E} до величины U_z и т.д. Графическая иллюстрация этого процесса приведена на рис.7. Реальный ход изменения напряжения развертки,

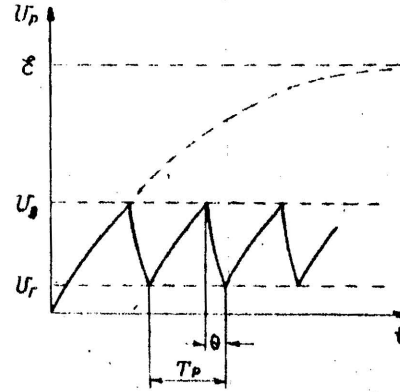


Рис.7

т.е. напряжения на конденсаторе, происходит по экспоненциальному закону. Пунктиром на рис.7 показан ход изменения напряжения на конденсаторе в отсутствие тиратрона. Из приведенной картины ясно, что реальное напряжение развертки более или менее совпадает с изображенным на рис.5 только при условии использования для работы небольшого участка экспоненты. Время зарядки конденсатора определяется произведением $(R_2 + R_3) \cdot C$ (так называемая постоянная времени за-

рядной цепи). Изменяя это время, можно изменять и пропорциональную ему длительность развертки, поскольку именно напряжение на конденсаторе после его усиления усилителем горизонтального отклонения служит напряжением развертки, которое подается на X пластины.

Скачкообразное изменение частоты развертки $f_p = 1/T_p$ осуществляется переключателем Π_1 (см. рис.1 и рис.6). Этот переключатель позволяет скачком изменять величину емкости подключаемого конденсатора (ручка "ДИАПАЗОН ЧАСТОТ" на передней панели). На рис.6 показаны все положения переключателя Π_1 . На самом деле он имеет 9 положений и может подключать по очереди 9 конденсаторов различной емкости. В 9-м (крайнем левом) положении переключатель Π_1 отключает генератор развертки от горизонтального усилителя и подключает его к правым входным клеммам (см. рис.1). В этом случае на X пластины подается усиленное напряжение с правых входных клемм. В пределах каждого положения Π_1 , т.е. в каждом поддиапазоне частот, частоту развертки можно плавно менять с помощью переменного сопротивления R_2 (ручка

"ЧАСТОТА ПЛАВНО").

4. Синхронизация

Остановимся теперь на условиях, при которых на экране осциллографа получается устойчивая картина исследуемого сигнала. Легко понять, что осциллограмма будет устойчивой, если период напряжения развертки кратен периоду напряжения исследуемого сигнала, т.е. при условии

$$T_p = n T_c, \quad (3)$$

где n - целое число. Графическая иллюстрация получения изображения исследуемого сигнала для $n=2$ приведена на рис.8. Пунктирные линии на этом рисунке показывают положение луча в фиксированные моменты времени. Очевидно, что при выполнении условия (3) осциллограммы, получаемые в последующие промежутки времени, накладываются друг на друга, и на экране получается устойчивое изображение.

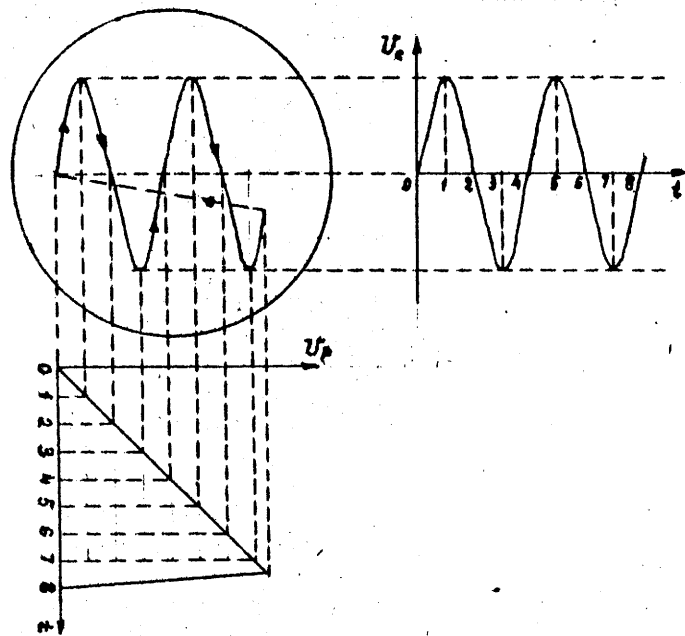


Рис.8

Вообще говоря, для получения неподвижной осциллограммы достаточно выполнения менее жесткого условия

$$m T_p = n T_c, \quad (4)$$

где m и n - целые числа. Правда, в этом случае может получиться наложение друг на друга разных кусков осциллограммы. Чтобы это стало понятно, постройте изображение сигнала на экране для случая $m=2, n=3$.

Существенную роль играет и такой важный параметр, как время послесвечения трубки (обозначим его τ). Это время можно приблизительно определить как время свечения экрана после прекращения возбуждения люминофора электронным лучом. Естественно, если $\tau > T_p$, глаз не будет замечать движение луча, т.е. изображение на экране не будет мигать.

Заметим также, что во время обратного хода на модулятор ЭЛТ поступает отрицательное напряжение, запирающее луч, поэтому обратный ход луча на экране трубки не виден (на рис.8 он показан пунктиром).

Для получения неподвижной осциллограммы необходимо строгое выполнение условий (3) или (4). Однако колебания генератора развертки сами по себе нестабильны: их частота по разным причинам (например, из-за колебаний напряжения питающей сети, из-за изменения окружающей температуры) может изменяться с течением времени. Кроме того, в процессе наблюдения может несколько меняться и частота исследуемого сигнала. Процесс принудительного установления и поддержания кратности частоты генератора развертки частоте исследуемого сигнала называется синхронизацией. Рассмотрим этот процесс на примере синхронизации частоты тиратронного генератора развертки (рис.9) при помощи синусоидального напряжения.

При изучении блока развертки мы отмечали, что тиратрон открывается, когда напряжение на его аноде достигнет величины напряжения зажигания U_z . Но величиной U_z можно управлять, меняя напряжение на сетке тиратрона относительно катода. Если на сетку тиратрона подать синхронизирующее напряжение U_c , то при уменьшении напряжения на сетке U_s увеличивается и наоборот (см. рис.9а и рис.9б). В результате изменяются моменты зажигания тиратрона и установится новый период развертки T_p' . На рис.9б период развертки T_p' равен периоду синхронизирующего напряжения, а пунктиром показан период напряжения развертки T_p в отсутствие синхронизирующего напряжения.

На рис.9а приведен случай, когда период напряжения развертки в целое число раз превышает период синхронизирующего напряжения. Очевидно, что здесь также возможна устойчивая синхронизация.

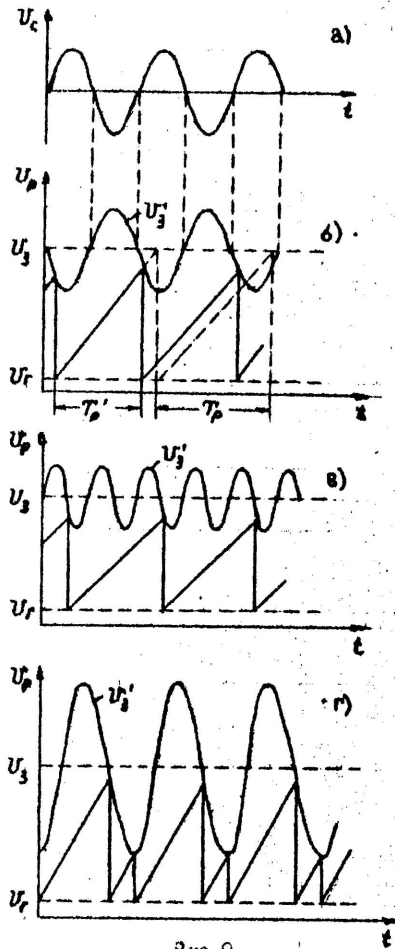


Рис. 9

Амплитуду синхронизирующего напряжения следует выбирать наименьшей величины, при которой наблюдается устойчивое изображение, т.к. при большой амплитуде U_c может измениться амплитуда и длительность напряжения развертки (см. рис. 9г). Регулировка амплитуды синхронизирующего напряжения осуществляется потенциометром R_1 (рис. 6) с помощью ручки "АМПЛИТУДА СИНХРОНИЗАЦИИ", выведенной на переднюю панель.

В качестве синхронизирующих можно использовать различные напряжения. Наиболее распространенной является внутренняя синхронизация, при которой синхронизирующим является само исследуемое напряжение. Через переключатель Π_2 (см. блок-схему на рис. 1) это напряжение с выхода первого каскада вертикального усилителя поступает на сетку тиратрона. В этом случае создаются оптимальные условия для наблюдения, т.к. исследуемый сигнал даже при его неустойчивости "ведет" за собой развертку, и изображение остается устойчивым. Синхронизация от сети переменного тока используется, в основном, при исследовании сигналов, частоты кото-

рых кратны 50 Гц. При внешней синхронизации сетка тиратрона с помощью переключателя Π_2 соединяется с клеммой "ВНЕШ. СИНХР" на передней панели, и на эту клемму может подаваться напряжение от любого внешнего источника. Ручка переключателя Π_2 также выведена на переднюю панель ("СИНХРОНИЗАЦИЯ").

Для проверки работоспособности осциллографа в отсутствие исследуемого сигнала можно использовать контрольный сигнал с частотой 50 Гц, снимаемый с клеммы "КОНТР. СИГНАЛ" на передней панели.

Заключение

Итак, мы рассмотрели принцип работы простейшего осциллографа. Отметим, что осциллограф типа С1-1 весьма прост, надежен в работе, но современной промышленностью подобные осциллографы уже не выпускаются. Современные осциллографы собираются на другой элементной базе (полупроводниковые транзисторы, микросхемы) и значительно превосходят по своим параметрам изучаемый нами осциллограф. В современных осциллографах особенно важны: наличие режима ждущей развертки для осциллографирования импульсных сигналов с большой скважностью (под скважностью понимается отношение периода сигнала к его длительности), наличие калиброванного коэффициента усиления по вертикали для непосредственного отсчета напряжения исследуемого сигнала с экрана осциллографа, наличие калиброванного коэффициента развертки для определения временных интервалов исследуемой осциллограммы.

Но принцип осциллографирования электрических сигналов как у современных осциллографов, так и у осциллографа типа С1-1 совершенно одинаков. Поэтому научившись уверенно работать с этим осциллографом, вы сравнительно легко сможете работать и на более современных приборах.

Контрольные вопросы

1. Как влияет на чувствительность ЭЛТ величина напряжения на втором аноде?
2. Каково назначение ускоряющего анода трубки?
3. Меняется ли чувствительность трубки при изменении частоты сигнала, подаваемого на отклоняющие пластинки?
4. Почему напряжение развертки должно быть линейным? Изобразите, как будет выглядеть осциллограмма синусоидального напряжения, если в качестве напряжения развертки использовать не малый участок параболы кривой конденсатора, а всю кривую.
5. Каковы основные требования, предъявляемые к усилителям вертикального и горизонтального отклонения?
6. Почему входное сопротивление вертикального усилителя стремится сделать как можно большим, а входную емкость — как можно меньшей?
7. Почему время обратного хода развертки должно быть существенно меньше времени прямого хода? Чем определяется время обратного хода

Тиратронного генератора развертки?

8. Почему на экране осциллографа не виден обратный ход развертки?
9. По какой причине амплитуда синхронизирующего напряжения не должна быть слишком большой? Нарисуйте осциллограмму синусоидального напряжения, если напряжение развертки выглядит, как показано на рис. 9г.
10. Как будут выглядеть картины, подобные приведенным на рис. 9, если синхронизацию осуществлять короткими прямоугольными импульсами?
11. Как будут выглядеть осциллограммы (фигуры Лиссажу), если на вертикальный усилитель подать сигнал $U \sin \omega t$, а на горизонтальный — $U \sin n \omega t$ при $n=1, 2, 3$.

Приложение (генератор ГЗ-109)

В качестве источника исследуемого сигнала в работе используется генератор ГЗ-109, с выхода которого снимается гармоническое напряжение с частотами от 20 Гц до 200 кГц. Весь диапазон частот разделен на четыре поддиапазона (ручка "МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ") с плавной перестройкой внутри каждого поддиапазона.

Выходное напряжение снимается с разъема "ВЫХОД 1" (клеммы "ВЫХОД 2" при выполнении этой работы не понадобятся). Регулировка выходного напряжения осуществляется ступенями и плавно с помощью ручки "РЕГУЛИРОВКА ВЫХ." Подключение генератора к осциллографу необходимо осуществлять через 50-омную согласующую нагрузку, которая входит в комплект прибора. В этом случае выходное напряжение можно измерять по вольтметру, расположенному на передней панели генератора. Необходимо только помнить, что вольтметр проградуирован в эффективных значениях выходного напряжения, а эффективное значение для гармонического напряжения в $\sqrt{2}$ раз меньше амплитудного.

При переключении частотных диапазонов и плавной перестройке частоты время установления выходного напряжения порядка 10 секунд.

З А Д А Н И Е

1. Хорошо выясните назначение всех ручек управления осциллографом.
2. Включите осциллограф в сеть. После 1-2 минутного прогрева получите изображение линии развертки. Ручками "ОСЬ X" и "ОСЬ Y" выведите полученное изображение на середину экрана.
3. Выключите развертку. Сфокусируйте луч. Выясните, как влияет на фокусировку напряжение на модуляторе и на яркость — напряжение на первом аноде (необходимо при этом помнить, что оставлять луч на экране длительное время неподвижным нельзя, т.к. это приводит к выгоранию люминофора, поэтому задание нужно проделать быстро и по оконча-

чании сразу же включить развертку.

4. Определите величину чувствительности (см. формулу (1)) вертикального канала при максимальном усилении (т.е. при положении ручки "ОСЛАБЛЕНИЕ" 1:1 и ручки "УСИЛЕНИЕ" — в крайнем правом положении). При измерении частота генератора должна быть равна 1 кГц, т.к. именно для этого значения частоты указывается паспортное значение чувствительности. Пропделайте то же самое для горизонтального канала.
5. Получите осциллограммы напряжений при $n f_p = m f_c$ (где f_p — частота напряжения развертки, f_c — частота напряжения сигнала) с целыми числами n и m , равными $\frac{n}{m} = 1, 1/2, 2, 2/3, 3/4$. При этих n и m синхронизируйте развертку и наблюдайте срыв синхронизации при изменении (расстройке) частоты генератора. Выясните, как влияет положение ручки "АМПЛИТУДА СИНХРОНИЗАЦИИ" на величину допустимой расстройки

Установите $f_c \geq n f_p$. При выключенной синхронизации наблюдайте и объясните картину. Пропделайте то же задание при $f_c \leq n f_p$.

6. Оцените время послесвечения трубки τ , для чего получите развертку на самой низкой частоте и увеличивайте частоту развертки до тех пор, пока не исчезнет "мигание". После чего подайте на вход Y колебания от генератора и получите на этой развертке 1 период колебаний.
7. Получите устойчивое изображение, используя внешнюю синхронизацию от генератора.
8. Оцените линейность вертикального усилителя, для чего постройте графики зависимости отклонения луча от напряжения при ослаблении делителя 1:100 и нескольких положениях регулятора усиления.
9. Исследуйте частотные свойства вертикального усилителя, для чего снимите зависимость отклонения луча на экране от частоты входного сигнала во всем диапазоне частот генератора (поскоянство уровня входного сигнала контролировать по вольтметру генератора).
10. Подав на вход Y осциллографа контрольный сигнал, а на вход X сигнал от генератора, получите на экране фигуры Лиссажу при $n = 1, 2, 3, 4$ и зарисуйте их.