

Лабораторная работа 2.7 Изучение электронного осциллографа

См. также с.119 «Практикума»

Экспериментальные задачи, поставленные в работе:

- калибровка осциллографа,
- наблюдение одиночных электрических сигналов на экране осциллографа и измерение их параметров,
- наблюдение сложения взаимно перпендикулярных электрических колебаний,
- наблюдение биений.

Введение.

Электронный осциллограф предназначен для изучения электрических процессов.

Основой осциллографа является электроннолучевая трубка, на экране которой можно визуально наблюдать исследуемые явления, естественно, не «напрямую», а их отображение в виде светящихся линий на экране. Изображение возникает в результате свечения специального вещества – люминофора при воздействии на него пучка электронов, который создается электронной пушкой. Органы управления электронной пушкой позволяют регулировать яркость и четкость изображения на экране. *Устройство электронной пушки и принципы управления параметрами электронного пучка рассмотрены в разделе "Подготовка к защите".*

По пути к экрану электронный луч попадает в область между двумя парами плоскопараллельных пластин. Под действием электрического напряжения, приложенного к этим пластинам, электронный пучок отклоняется в сторону положительно заряженной пластины и светящаяся точка на экране сдвигается в ту же сторону.

Обычно одна пара пластин располагается вертикально и, соответственно, пятно смещается по горизонтали. Поэтому эти пластины называют пластинами горизонтального отклонения или отклонения по X (в соответствии с общепринятым обозначением осей на графиках). Вторая пара пластин расположена горизонтально. Это – пластины вертикального отклонения или отклонения по Y.

Величина смещения светящейся точки прямо пропорциональна напряжению, приложенному к пластинам: $\Delta x(\Delta y) = \alpha U$, где Δx или Δy – смещение точки на экране в горизонтальном или вертикальном направлении соответственно, α – коэффициент пропорциональности, который называют чувствительностью (по X или по Y), обычно измеряется в мм/В. Это позволяет использовать осциллограф для измерения электрических напряжений и малых интервалов времени.

Для удобства измерений поверх экрана предусмотрена прозрачная пластина с нанесенной на ней координатной сеткой, а вместо чувствительности используют обратную величину - цену деления координатной сетки. Вначале определяют величину смещения светящейся точки в делениях, а затем, умножая число делений на цену деления, рассчитывают соответствующую величину напряжения, так же, как и при использовании стрелочных приборов.

Для измерения разных по величине напряжений в осциллографе предусмотрена возможность усиления слабых сигналов и ослабления сильных. Это аналогично изменению пределов измерения (и, соответственно, цены деления) у стрелочных приборов. Обычно цена деления указана на лицевой панели осциллографа около ручки переключателя усилителя «У». В противном случае необходимо перед измерениями провести градуировку осциллографа.

Если на пластины подано переменное напряжение, то на экране будет наблюдаться соответственно вертикальная или горизонтальная линия, образующаяся при многократном движении точки вверх-вниз или влево-вправо. Если напряжение подано одновременно на обе пары пластин, то на экране появляется кривая линия – результат сложения двух взаимно перпендикулярных колебаний. Например, если подано две синусоиды с кратными частотами, то можно наблюдать уже известные из курса «Механика» фигуры Лиссажу.

На каждую пару отклоняющих пластин одновременно подаётся постоянное напряжение для сдвига всей «картинки» на экране вручную. *Реализация сдвига изображения подробно рассмотрена в разделе "Подготовка к защите".*

Чтобы наблюдать зависимость напряжения от времени, обычно исследуемое напряжение подаётся на пластины вертикального отклонения (на ось Y). При этом на пластины горизонтального отклонения (ось X) подается напряжение, линейно возрастающее со временем, так называемое напряжение развертки изображения. Тем самым обеспечивается равномерное движение светового пятна по горизонтали.

Действие развертки подобно движению бумаги при выполнении лабораторной работы по изучению колебаний песочного маятника в курсе "механика". Маятник оставляет на неподвижном листе бумаги песочный след в виде прямой линии. Равномерное движение бумаги приводит к тому, что след превращается в синусоиду.

При изучении быстротекущих процессов движение пятна на экране происходит настолько быстро, что глаз человека не успевает его заметить. Поэтому после прохождения луча слева - направо необходимо осуществить быстрый возврат луча в исходное положение и повторное его многократное прохождение по экрану. Эти соображения и обуславливают пилообразную форму напряжения развертки, подаваемого на пластины горизонтального отклонения (см. рис. 2.7.4 на стр.123 "Практикума"). Это напряжение формируется при помощи специального генератора, который является важной

составной частью любого осциллографа.

Если частота развертки кратна частоте исследуемого напряжения, то при повторном прохождении луча по экрану линии движения светового пятна будут точно накладываться друг на друга и изображение будет неподвижным (см. рис. 2.7.6 - 2.7.7 на стр.124 «Практикума»). В противном случае изображение будет перемещаться по экрану. Чтобы этого не происходило, нужно синхронизировать работу генератора развертки и исследуемый сигнал так, чтобы прямой ход (область возрастания) пилообразного напряжения начинался одновременно с одной и той же фазой исследуемого напряжения. Для этого в конструкции осциллографа предусмотрено специальное синхронизирующее устройство.

Линейность прямого хода напряжения развертки позволяет измерять малые отрезки времени, например, период колебаний при помощи все той же масштабной сетки. Цена деления по горизонтали в милли- или микросекундах указана на лицевой панели осциллографа против соответствующих положений ручки переключателя «развертка».

С помощью осциллографа можно также наблюдать результат сложения переменных напряжений, подаваемых на общий вход по оси Y. Если подано два напряжения с близкими частотами, то на экране будут видны биения - колебания с периодически изменяющейся амплитудой. Чтобы понять причину их появления, можно воспользоваться аналогией со сложением двух волн. Предположим, что в какой-то момент времени фазы этих волн совпали. Тогда общая амплитуда колебаний равна сумме амплитуд и максимальна. Затем одна из волн начинает отставать, и в какой-то момент времени фазы колебаний станут противоположными. Тогда общая амплитуда равна разности амплитуд, т. е. минимальна. Отставание продолжается, и в некий момент времени разность фаз составит уже 2π . Т.е. снова общая амплитуда будет равна сумме амплитуд и т.д. Очевидно, что частота повторения максимумов (или минимумов) биений будет равна разности частот суммируемых колебаний.

Некоторые другие примеры применения осциллографа рассмотрены в разделе "Подготовка к защите".

Оборудование для выполнения работы.

В работе исследуется осциллограф типа С1-65А. В ряде заданий используется второй осциллограф в качестве вспомогательного генератора пилообразного напряжения, а также низкочастотные генераторы ГЗ-33 и ГЗ-118. В комплект оборудования для выполнения данной работы входят также кабели со специальными разъёмами на концах, при помощи которых эти приборы соединяются друг с другом.

Приёмы работы с приборами описаны в указаниях по выполнению соответствующих экспериментальных заданий.

Перед выполнением работы ознакомьтесь с кратким описанием осциллографа на стр.125-128 "Практикума". При этом обратите внимание на то,

что все органы управления осциллографом сгруппированы на определенных участках лицевой панели в соответствии с их функциями. Эти группы указаны на рис.1:

1- включение осциллографа (тумблер и лампочка "Сеть"),
2- управление лучом (потенциометры "яркость", "фокус", "подсветка шкалы"),

3- управление отклонением по вертикали (разъём подключения сигнала, переключатель вида входной цепи, переключатель чувствительности по Y, потенциометр сдвига изображения по вертикали),

4-управление отклонением по горизонтали (переключатель множителя и отключения развертки, переключатель частоты развертки, потенциометры сдвига изображения по горизонтали, переключатель вида запуска генератора развертки, кнопка ручного запуска развертки, гнездо выхода пилообразного напряжения),

5-управление синхронизацией (переключатель сигнала, управляющего синхронизацией, регулировка уровня и частоты синхросигнала, переключатели полярности и отключения постоянной составляющей синхросигнала, разъём подачи внешнего сигнала на ось X),

6-управление калибратором - вспомогательным источником сигналов для проверки основных узлов осциллографа (переключатель величины контрольного сигнала, соосно с ним переключатель вида этого сигнала, разъём для вывода контрольного сигнала).

Подготовка протокола к работе.

Запишите № и название работы.

В каждом из заданий данной работы необходимо получить определенное изображение на экране осциллографа и провести измерения характеристик сигнала, основываясь на этом изображении.

Поэтому в протоколе для каждого задания (за исключением задания 1) должно быть зарисовано соответствующее изображение и записаны данные измерений.

Измерения и обработка результатов

Задание 1. Подготовка осциллографа к работе.

Для подготовки прибора используются органы управления, показанные на рис.2.

Включите тумблер "Сеть" (а).

В течение 1-2 мин во время прогрева прибора установите в исходное положение:

переключатель входа Y (b) в правое положение,

переключатель развертки (с) в положение "выключено" (крайнее правое),

переключатель запуска генератора развертки (d) в положение автоматического запуска (крайнее верхнее),

переключатель режима синхронизации (e) в положение "внутр" (крайнее верхнее).

После прогрева ручками смещения по вертикали (f) и по горизонтали (g) установите светящееся пятно в центре экрана.

Если не удаётся увидеть пятно на экране, увеличьте яркость до максимума ручкой (h). Появится зеленое свечение в какой-то части экрана. Это означает, что пятно находится за пределами экрана со стороны засветки, и станет понятно, в какую сторону надо его двигать ручками регулировки положения пятна, чтобы установить в центре экрана. Затем нужно уменьшить яркость пятна до удобного уровня и отрегулировать размер пятна до минимума ручкой "фокус" (i).

Включите генератор развёртки, переведя переключатель (c) в положение "1". На экране должна появиться горизонтальная линия. Установите ее в центре экрана.

Задание 2a. Проверка калибровки чувствительности по оси Y.

В этом задании необходимо проверить соответствие цены деления, указанной на лицевой панели для определенного положения переключателя "V/дел", ее фактическому значению. Для этого на вход осциллографа подается напряжение известной величины и проводятся необходимые измерения.

Установите в исходное положение (см. рис.3):

переключатель уровня контрольного сигнала (a) в положение "200 мВ", совместив риску на рукоятке с соответствующей надписью на панели,

переключатель вида контрольного сигнала (b), расположенный на той же оси, в среднее положение " П 1кГц" (указано под переключателем),

переключатель усилителя Y (c) в положение "0,1 V/дел", расположенную на той же оси ручку "плавно" - в крайнее правое положение, только в этом случае цена деления шкалы будет соответствовать положению этого переключателя,

переключатель частоты развертки (d) в положение "0,2 мс/дел"), расположенную на той же оси ручку "плавно" - в крайнее правое положение.

Соедините выход калибратора и вход Y, как показано на рис.3. Для этого используйте кабель с двумя однополюсными вилками на конце. Для подключения кабеля ко входу Y нужно специальный разъём на втором конце кабеля вставить в разъём на панели осциллографа так, чтобы штырьки панельного разъёма вошли в прорези на кольце кабельного разъёма, затем нажать на кольцо и повернуть его до упора по часовой стрелке, зафиксировав соединение. Отключение кабеля проводится в обратной последовательности: нажать на кольцо, освободить разъём поворотом кольца против часовой стрелке до легкого щелчка, снять кабельную часть.

При подключении однополюсных вилок к выходу калибратора нужно

соблюдать полярность подключения. Её легко проверить следующим образом. Для этого нужно взяться рукой за контактный наконечник одной из вилок кабеля. Если на экране появляется непрерывно изменяющаяся линия, то эта вилка является «сигнальной» и она должна вставляться в гнездо на панели калибратора. Если на экране останется неизменной горизонтальная линия, то эту вилку нужно вставить в гнездо «земля».

На экране должно появиться изображение сигнала от калибратора в виде прямоугольных импульсов. При необходимости воспользуйтесь регулировкой уровня синхронизации.

Зарисуйте полученную осциллограмму. Запишите в тетради установленные значения контрольного сигнала $U_k=200\text{мВ}$, паспортное значение цены деления по Y: $U_{\text{доп}}=0,1\text{В/дел}$.

Измерьте величину импульсов по вертикали в больших делениях шкалы N_y , рассчитайте фактическую цену деления $U_{\text{доф}}=U_k/N_y$. Она должна соответствовать паспортному значению.

Задание 2б. Проверка калибровки осциллографа по оси времени (X).

Такую проверку можно осуществить, используя ту же осциллограмму.

Запишите в тетради частоту импульсов контрольного сигнала $f_k=1\text{кГц}$. Рассчитайте период импульсов $T_k=1/f_k$.

Укажите на осциллограмме интервал по оси X, соответствующий периоду импульсов. Измерьте величину этого интервала в делениях шкалы и запишите его в тетради как N_{xt} . Выпишите паспортное значение цены деления по X по переключателю частоты развертки $\text{топ}=0,2\text{ мс/дел}$ и рассчитайте измеренное значение периода импульсов как $T_{\text{и}}=N_{xt} \cdot \text{топ}$. Оно должно соответствовать T_k .

Отключите развёртку, переведя переключатель (с, рис.2) в правое положение. При этом изображение импульсов на экране сожмётся по горизонтали, но луч будет продолжать многократное движение вверх-вниз с частотой подаваемых импульсов, задерживаясь в верхней и нижней точках и быстро проскакивая между ними. Поэтому изображение превратится в две яркие точки, расположенные на одной вертикальной линии на расстоянии, соответствующем величине импульсов. Если точки будут сдвинуты относительно общей вертикали, то отключите внутреннюю синхронизацию, переведя переключатель (b, рис.2) в положение "1:1".

Задание 3. Определение чувствительности горизонтального отклонения осциллографа по напряжению.

Подайте сигнал от калибратора на ось X в соответствии с рис.4. Для этого отключите кабель от входа Y и подключите его на вход X.

На экране должно появиться изображение в виде двух точек, расположенных горизонтально, т.к. на пластины вертикального отклонения напряжение не подаётся, нет развертки по вертикали.

Измерьте расстояние между светящимися точками (размах импульсов) в делениях сетки экрана X и вычислите чувствительность прибора по оси X как

$\alpha_x = X/U_k$. Результат запишите в тетради.

Задание 4. Измерение параметров пилообразного напряжения.

В этом задании в качестве источника пилообразного напряжения используется второй вспомогательный осциллограф.

Отключите полностью кабель, соединяющий калибратор и вход X.

Соедините вход Y основного осциллографа с выходом генератора развертки вспомогательного осциллографа, как показано на рис. 5.

Включите тумблер "сеть" вспомогательного осциллографа.

Включите развертку основного осциллографа, установив соответствующий переключатель в положение $\times 1$, а переключатель синхронизации - в положение «внутр».

Установите переключатель усиления Y основного осциллографа в положение "1В/дел".

Получите устойчивое изображение пилообразного напряжения. Зарисуйте осциллограмму. Измерьте амплитуду и частоту наблюдаемого напряжения. Запишите в протокол результаты.

Задание 5.1. Наблюдения сложения синусоидального сигнала по горизонтальной и пилообразного по вертикальной осям.

В качестве источника синусоидального напряжения используйте низкочастотный (звуковой) генератор типа ГЗ-33. Перед тем как включить генератор, установите ручку переключателя «шкала прибора» в положение $\times 1$, ручку «пределы шкал» в положение «АТТ», ручку «расстройка» в положение «0», тумблер «внутренняя нагрузка» в положение «выкл». Значение частоты выходного сигнала устанавливается ручкой «частота Hz» и отсчитывается по вращающейся шкале прибора с учетом положения переключателя «множитель». Величина выходного напряжения устанавливается ручкой «рег. выхода». Включение генератора осуществляется тумблером «сеть».

Подключите выход генератора ко входу X основного осциллографа, как показано штриховой линией на рис.5. При этом необходимо соблюдать полярность подключения вилок кабеля. "Сигнальная" вилка должна подключаться к верхней клемме, а "земляная" - к средней, которая должна быть соединена перемычкой с зажимом «земля» (нижним).

Отключите развёртку основного осциллографа.

Включите генератор тумблером "Сеть". После прогрева в течение 1-2 минут установите значения частоты и величины выходного сигнала генератора, равные параметрам пилообразного напряжения от вспомогательного осциллографа, определенным ранее в задании 4.

На экране должно появиться изображение "вертикальной" синусоиды. Это изображение может перемещаться, так как устройство синхронизации по вертикали не действует. Подстройте частоту генератора так, чтобы смещение синусоиды было минимальным. Убедитесь в том, что это происходит при строгом совпадении частот сигналов по вертикали и горизонтали.

Задание 5.2. Наблюдение сложения пилообразного напряжения по горизонтальной и синусоидального по вертикальной осям.

Для этого нужно поменять местами кабели, идущие на вход Y и вход X.

На экране должно появиться изображение одного периода синусоиды, расположенной горизонтально. При необходимости подстройте частоту генератора для получения неподвижного изображения.

Меняя частоту генератора, получите изображение, содержащее 2, 3, 4 периода.

Запишите эти значения в протокол. Убедитесь в том, что они кратны частоте пилообразного напряжения.

Выключите вспомогательный осциллограф и отключите кабель от входа X основного осциллографа.

Задание 5.3. Наблюдение синусоидального напряжения с использованием внутреннего генератора развертки осциллографа.

Включите развертку основного осциллографа.

Переключателями усиления Y и частоты развертки добейтесь устойчивого изображения на экране.

Определите частоту напряжения, поданного на осциллограф, запишите ее в протокол. Убедитесь в том, что она соответствует показаниям частоты на генераторе.

Задание 6. Наблюдение биений.

Для этого нужно отключить кабель от входа Y, закрепить на входе Y тройник и подключить к нему вначале кабель от генератора ГЗ-33, а затем – второй кабель, соединив его с выходом «600Ω» второго низкочастотного генератора типа ГЗ-118.

Установите частоту напряжения на выходе генератора ГЗ-118, равную 5000 Гц, используя для этого соответствующие переключатели «частота». Отсчет значения частоты производите по цифрам, появляющимся в «окошках» над переключателями с учетом «запятой» на лицевой панели и положения переключателя «множитель». Проверьте, чтобы ручка «расстройка» генератора находилась в положении «О», а ручка «ослабление» - в положении «10».

Установить частоту на основном генераторе, равную 5,5 КГц или близкую к ней.

Сначала получите устойчивое изображение синусоиды от основного генератора с большим количеством периодов (20 -30). Затем включите второй генератор и после его прогрева наблюдайте на экране биения. При необходимости подберите величину напряжения от второго генератора ручкой «рег. выхода».

Зарисуйте осциллограмму биений.

Запишите в тетради значения частот по шкалам обоих генераторов и теоретическое значение частоты биений, равное разности этих частот.

Измерьте частоту биений, используя сетку на экране. Сравните

полученное значение с теоретическим.

Выключите тумблеры "Сеть" на всех приборах.

Подготовка к защите.

При подготовке к защите используйте описание на стр. 119 "Практикума" и следующие дополнения.

Электронная пушка состоит из нескольких электродов, подключенных к общему источнику питания (рис. 2.7.3).

Нить накала 1 служит для нагрева катода 2 до температуры, необходимой для того, чтобы катод начал испускать электроны. Остальные электроды выполнены в виде цилиндров, внутри которых и движутся электроны.

Управляющий электрод 3 служит для регулировки яркости изображения на экране. Вместе с катодом он подключен к потенциометру R1 таким образом, что его потенциал всегда отрицателен по отношению к катоду. При перемещении движка потенциометра влево электроны тормозятся полем этого электрода, их количество в луче, а следовательно, яркость изображения на экране уменьшается.

Электрод 4 служит для фокусировки потока электронов, прошедшего через отверстие в управляющем электроде. Он подключен к движку потенциометра R3, от положения которого зависит, таким образом, распределение потенциалов в пространстве между электродами 3, 4 и 4,5. Эквипотенциальные линии в этих областях имеют форму, аналогичную выпуклой оптической линзе. Такие линзы называют электростатическими. Изменение направления движения электронов сквозь такие линзы связано с изменением их скорости из-за наличия электрических сил в электрическом поле линз аналогично тому, что происходит на границе стеклянных линз в оптике.

Электрическое поле между электродами 3 и 4 образует короткофокусную линзу, сжимающую пучок, а поле между электродами 4 и 5 образует длиннофокусную линзу, формируя светящуюся точку на экране.

Электрод 5 является анодом, т.к. находится под положительным потенциалом относительно катода. Двигаясь от катода к аноду, электроны под действием этого потенциала ускоряются до энергии, достаточной, чтобы вызвать свечение люминофора.

Постоянное напряжение на отклоняющие пластины поступает от соответствующего источника через потенциометры R5 и R6 (рис. 2.7.2). С движка потенциометра потенциал подаётся на одну пластину каждой пары. В конструкции потенциометра предусмотрена средняя точка, которая обозначена на рисунке значком « \perp ». Такой же значок можно видеть в верхней части рисунка, на проводниках, присоединённых к другой пластине каждой пары. Он означает соединение с «землёй» или корпусом осциллографа. Другими словами средние точки потенциометров и соответствующие пластины соединены между собой. При перемещении движков потенциометров знаки потенциалов на

пластинах после прохождения этой средней точки меняются на противоположные. Это позволяет смещать изображение на экране как вверх, так и вниз, как влево, так и вправо.

Осциллограф, по сути, является вольтметром с очень высоким входным сопротивлением. Чтобы его можно было использовать для изучения изменений силы тока, необходимо включить последовательно в исследуемую цепь дополнительный (так называемый измерительный резистор), падение напряжения на котором и подавать на вход осциллографа, а далее можно воспользоваться законом Ома и определять значения силы тока.

Если на вход X (при отключенной развертке) подать падение напряжения на зажимах какого-либо элемента электрической цепи, а на вход Y подать напряжение с измерительного резистора, пропорциональное силе тока через этот элемент, то на экране осциллографа можно непосредственно наблюдать вольтамперную характеристику исследуемого элемента.

К осциллографу можно подключать различные датчики, преобразующие изменения физических величин, например, температуры, механических напряжений, звукового давления и т.п., в электрическое напряжение. В этом случае он позволяет исследовать и неэлектрические физические процессы.

Способность измерять малые отрезки времени позволяет применить осциллограф в радиолокации. На экран выводятся изображения импульсов, переданных антенной радиолокатора, и отраженных от наблюдаемого объекта. Измеряя время между ними, можно определить расстояние до объекта.