

Целью настоящей работы являются знакомство с принципами работы электронного осциллографа и получение практических навыков работы с ним.

Осциллограф – техническое устройство, предназначенное для:

1. Исследования изменений напряжения или силы тока периодических и однократных процессов во времени;
2. Измерения амплитуд напряжений или силы токов;
3. Определения частот электрических колебаний;
4. Определения частотно-фазовых соотношений двух и более сигналов.

Осциллограф позволяет оценить амплитуду сигнала и исследовать его форму, поэтому является универсальным и наиболее широко применяемым измерительным прибором, который используют при настройке и ремонте электронной (теле-, радио- и др.) аппаратуры, а также в научных исследованиях.

Основными элементами осциллографа являются: блок питания, электронно-лучевая трубка, генератор развёртки, блок синхронизации, усилители, входные делители.

Блок питания преобразует сетевое напряжение (220 В, 50 Гц) в постоянные напряжения, обеспечивающие работу всех узлов осциллографа.

Электронно-лучевая трубка (ЭЛТ)

Электронно-лучевая трубка – вакуумный прибор, в котором используется управляемый поток электронов, сконцентрированных в узкий пучок, – электронный луч для преобразования электрических сигналов в видимые изображения.

Электронно-лучевые трубки различают по способам фокусировки и отклонения луча, по длительности послесвечения экрана, а также по некоторым электрическим и конструктивным параметрам (чувствительность ЭЛТ, размеры и т.п.).

По способу фокусировки и отклонения луча электронно-лучевые трубки подразделяются на:

- трубки с электростатическим управлением, в которых для фокусировки и отклонения луча используется электрическое поле;
- трубки с магнитным управлением, в которых для фокусировки и отклонения электронного луча используется магнитное поле;
- трубки с комбинированным управлением луча: электростатическая фокусировка и магнитное отклонение луча /телевизионные трубки /.

Длительность послесвечения экрана – время, в течение которого яркость экрана после удаления луча уменьшается до 1% от первоначальной. Для современных ЭЛТ длительность послесвечения варьирует в пределах от 10^{-5} до 100 с.

ЭЛТ состоит из трёх основных элементов:

1. Электронной пушки, создающей узкий электронный луч, направленный вдоль трубки;
2. Отклоняющей системы (устройства для отклонения электронного луча от оси трубки);
3. Флуоресцирующего экрана для индикации положения электронного луча.

На рис. 1 показано устройство ЭЛТ с электростатическим управлением.

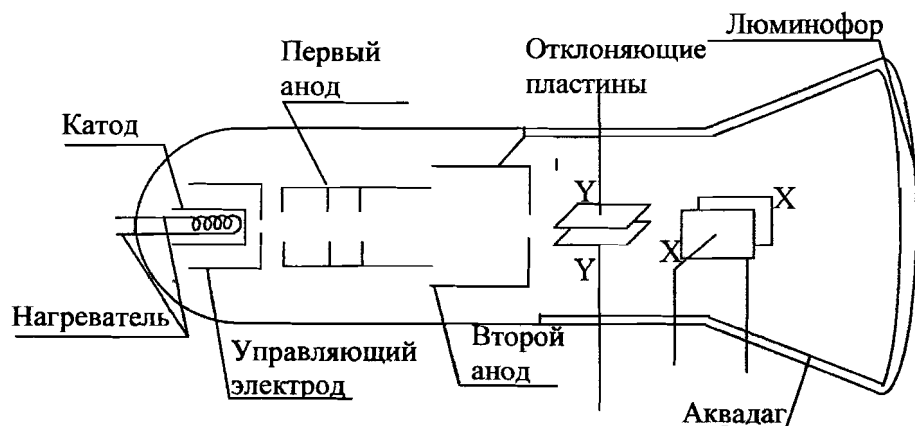


Рис. 1

Электронная пушка. Электронной пушкой называется часть трубки, формирующая пучок электронов. Сюда входят: подогреваемый катод, управляющий электрод, первый и второй аноды.

Катод – источник электронов, образующихся за счет термоэлектронной эмиссии. Обычно применяется оксидный подогреваемый катод, изготовленный в виде небольшого никелевого цилиндра, внутри которого находится подогреватель. Управляющий электрод (или модулятор) предназначен для регулировки яркости светящегося пятна на экране (определяемого количеством электронов, достигающих экрана) посредством подачи на него небольшого отрицательного потенциала, выполнен в виде никелевого цилиндра, окружающего катод. Первый анод (фокусирующий) представляет собой цилиндр с двумя или тремя диафрагмами. Второй анод (ускоряющий) выполнен также в виде цилиндра и обычно имеет одну диафрагму.

К первому аноду относительно катода подводится напряжение порядка $+300 \div 1000$ В. На второй анод – более высокое напряжение $1000 \div 30000$ В. Диафрагмы внутри анодов способствуют сужению электронного пучка, так как они захватывают электроны, сильно отклоняющиеся от оси ЭЛТ.

Отклоняющая система. Чтобы менять траекторию пучка электронов между вторым анодом и экраном располагают отклоняющую систему, состоящую из двух пар взаимно перпендикулярных пластин ХХ и YY. Пластины ХХ – горизонтально отклоняющие, пластины YY – вертикально отклоняющие.

Флуоресцирующий экран. Экран ЭЛТ покрывается специальным веществом, обладающим способностью флуоресцировать, т.е. светиться в местах бомбардировки его электронами. Светящиеся покрытия экранов – люминофоры – определяют также цвет и длительность послесвечения экрана. Человеческий глаз имеет наибольшую светочувствительность в желто-зелёной части спектра, поэтому ЭЛТ для визуального наблюдения чаще всего делают с жёлтым или зелёным свечением.

При эксплуатации ЭЛТ нельзя длительное время оставлять электронный луч неподвижным, т.к. его длительное воздействие на одно и то же место экрана вызывает ослабление яркости в этом месте, «утомление», люминофора и даже его выгорание!

Из этих же соображений рекомендуется также ограничивать яркость луча, что одновременно увеличивает точность измерений за счёт уменьшения толщины луча.

При попадании электронов на экран часть их кинетической энергии переходит в световую энергию люминофора в месте соударения, остальная часть энергии расходуется на нагревание экрана, а также на выбивание из него вторичных электронов.

Большая часть вторичных электронов улавливается проводящим графитовым материалом (аквадагом), нанесенным на внутреннюю поверхность баллона ЭЛТ. Кроме того, аквадаг играет роль электростатического экрана и предохраняет электронный пучок от воздействия внешних электрических полей, т.к. соединен со вторым анодом трубки.

Фокусировка электронов электрическим полем

В трубках с электростатическим управлением в состав фокусирующей системы входят все элементы электронной пушки. Фокусировку проводят подбором напряжений на первом и втором аноде.

Управляющий электрод (модулятор) служит для изменения яркости светящегося пятна фактически является аналогом сетки в триоде.

Фокусирующая система двух анодов. На рис. 2 показан вид силовых линий электрического поля (сплошные тонкие линии) и

эквипотенциальные поверхности (штриховые линии) между анодами. Потенциал второго анода A_2 выше, чем потенциал первого анода A_1 , поэтому между анодами образуется электрическое поле, направленное от второго к первому. На электрон, попадающий в это электрическое поле, действует сила, направленная в каждой точке поля по касательной к силовой линии электрического поля.

Разложив эту силу по направлениям вдоль и перпендикулярно оси системы (рис. 3), легко убедиться, что при описанной структуре поля на электрон, отклонившийся в движении от оси системы, действует помимо ускоряющей сила, направленная на участке первого анода к оси, а на участке второго от оси системы.

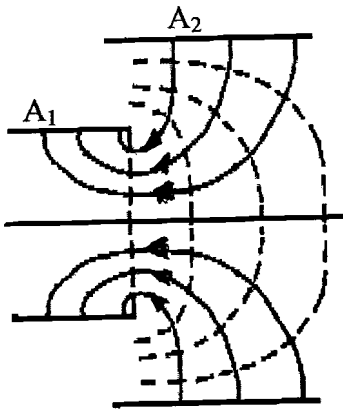


Рис. 2

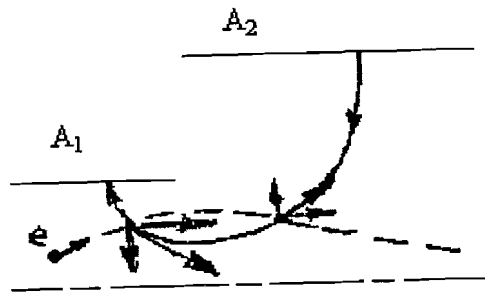


Рис.3

В рассматриваемой системе собирательное действие электрического поля преобладает над рассеивающим, т.к.:

- напряженность электрического поля (густота силовых линий) на участке первого анода больше, чем на участке второго анода;
- электроны двигаются ко второму аноду с ускорением, т.е. проходят рассеивающий участок с большей скоростью, чем собирающий, следовательно, на рассеивающем участке траектории изменяются меньше;
- первый анод имеет меньший диаметр, чем второй, следовательно, радиус кривизны силовых линий вблизи оси трубки меньше на участке первого, поэтому поперечная составляющая электрического поля всегда больше на участке первого анода.

Описанная конструкция сближает траектории электронов, группируя их вдоль оси симметрии системы, и поэтому получила название «электрическая линза».

Генератор развёртки

Чтобы с помощью осциллографа исследовать изменение величины сигнала (напряжения) во времени, необходимо подать исследуемый сигнал на пластины вертикального отклонения ЭЛТ, тогда, если на пластины горизонтального отклонения луча подать напряжение, линейно возрастающее во времени, то перемещающееся по экрану световое пятно изобразит в координатах $y=f(x)$ график зависимости величины сигнала от времени $U=f(t)$. Через некоторое время изображение на экране исчезнет, т.к. луч покинет пределы экрана. Но если сигнал периодический, т.е. повторяющийся во времени, можно получить на экране устойчивое неподвижное изображение. Для этого подают на пластины горизонтального отклонения ЭЛТ так называемое «пилообразное» напряжение (рис. 4а). Очевидно, что если между периодом сигнала T_c (рис. 4б) и периодом пилообразного напряжения развертки T_p будет выполняться соотношение $T_p = nT_c$, где n — целое число, на экране установится неподвижное изображение, т.к. луч при движении будет повторно попадать в одни и те же точки экрана. Невозможно, однако, мгновенно изменить напряжение на отклоняющих пластинах, поэтому реально пилообразное напряжение на них имеет вид, приведенный на рис. 4в.

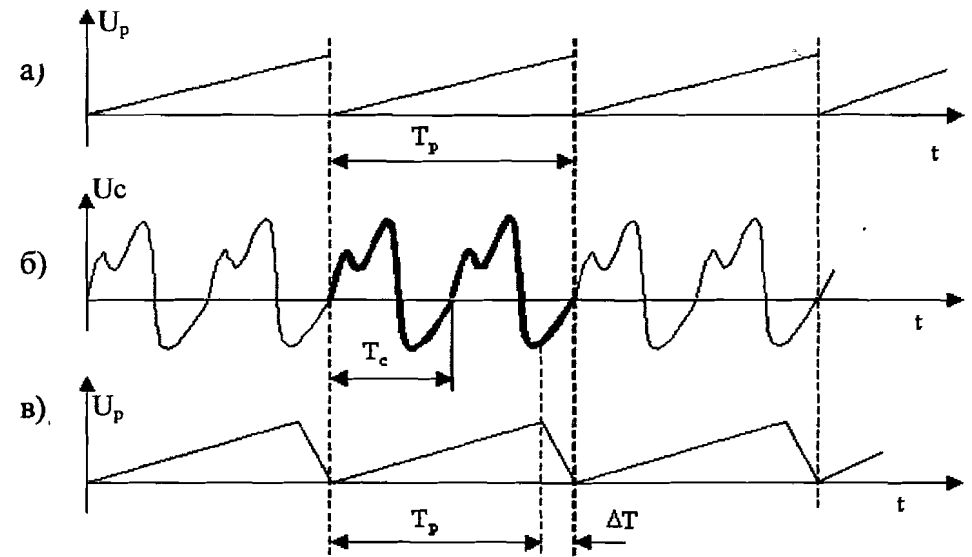


Рис. 4

Оказывается, что только часть времени (T_p) луч перемещается в нужном для нас направлении, «разворачивая» сигнал по экрану (рабочий ход). Время ΔT необходимо для возврата луча в исходное положение (обратный ход). Луч на это время гасится путем подачи запирающего напряжения на управляющий электрод. Очевидно, что и в этом случае достаточно удовлетворить равенству $T_p + \Delta T = nT_c$, чтобы получить на экране неподвижное изображение. В этом случае на экране мы увидим не n периодов сигнала, а немного меньше на величину ΔT . Таким образом, для получения неподвижного изображения на экране ЭЛТ достаточно иметь возможность плавно изменять в достаточно широких пределах частоту генератора развертки с тем, чтобы подобрать период непрерывно следующих друг за другом импульсов развертки кратным периоду исследуемого сигнала.

Указанный способ синхронизации развертки в режиме «периодическая» («автоматическая») используется в ряде простейших электронных осциллографов, однако для точных измерений он мало применим. Дело в том, что построить генератор пилообразного напряжения, частота которого плавно изменялась бы в 10^6 раз и при этом гарантировать высокую (до 1%) линейность переднего (рабочего) фронта импульса развертки и высокое постоянство (так же до 1%) длительности нарастания напряжения задача технически весьма сложная. Гораздо проще сделать высокостабильный генератор развертки на несколько фиксированных частот. Как же в этом случае согласовать во времени (синхронизировать) работу генератора развертки с частотой исследуемого сигнала, чтобы получить на экране осциллографа не беспорядочное мелькание, а неподвижное изображение? Эту задачу решает принцип «ждущей» развертки. Представим, что напряжение на пластинах горизонтального отклонения электронного луча начинает возрастать не сразу по окончании очередного цикла, а по определенному сигналу запуска, который будет подаваться в тот момент, когда напряжение исследуемого сигнала достигнет заранее заданной величины, называемой уровнем запуска U_z (рис. 5).

Время развертки T_p задается режимом работы генератора и не связано с длительностью сигнала. Таким образом, «ждущая» развертка позволяет детально изучить осциллограмму сигнала и более точно определить его амплитуду и временные характеристики.

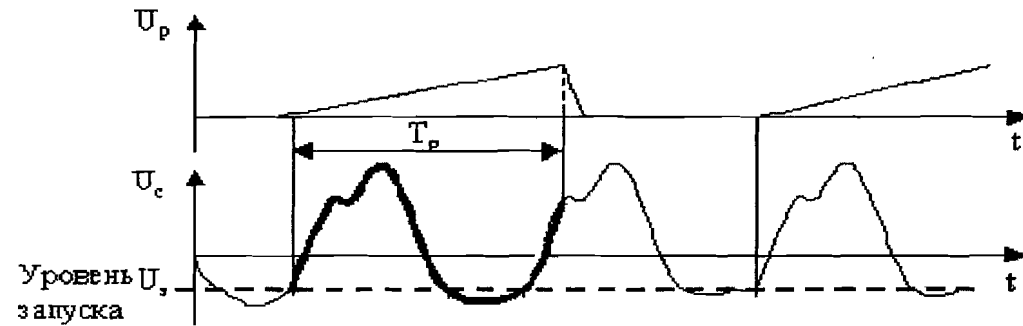


Рис.5

Схема синхронизации

В режиме ждущей развертки схема синхронизации следит за мгновенным значением напряжения сигнала, сравнивает его с заданным уровнем запуска и выдает запускающий импульс на генератор развертки. Сигналом, с которым синхронизируется работа осциллографа, может быть как сам исследуемый, так и любой другой сигнал, что иногда более удобно. Выбор режима синхронизации осуществляется пользователем на передней панели прибора.

Входной делитель и входной усилитель напряжения

Чувствительность ЭЛТ (отношение смещения светового пятна по экрану к вызвавшему его напряжению) – величина постоянная и определяется конструкцией ЭЛТ. Однако на вход осциллографа может подаваться исследуемый сигнал амплитудой от единиц мкВ до десятков вольт. Чтобы с одинаковым успехом наблюдать разные сигналы, исследуемый сигнал ослабляют с помощью входного делителя, либо увеличивают, применяя усилитель.

На рис. 6 приведена функциональная схема осциллографа, которая позволяет проследить взаимодействие основных узлов при работе осциллографа.

Исследуемый сигнал подается на вход «У» (основной вход) осциллографа и далее через переключатель на вход усилителя с делителем либо непосредственно (гальваническая связь) либо через разделительный конденсатор (емкостная связь). Чувствительность усилительного тракта осциллографа изменяется с помощью входного переключателя, ручка которого проградуирована в В/дел (под делением понимается ячейка измерительной сетки экрана ЭЛТ), в некоторых моделях может указываться предел измерений, соответствующий всей высоте экрана.

Усиленный либо ослабленный сигнал подаётся затем на пластины вертикального отклонения ЭЛТ, куда поступает также напряжение с потенциометра «вверх-вниз» блока регулировок. Как и в обычном телевизоре, здесь же расположены ручки регулировки яркости и фокусировки (см. описание работы ЭЛТ) и регулятор смещения луча «вправо-влево», напряжение с которого подаётся на пластины горизонтального отклонения ЭЛТ. На них же поступает сигнал либо сигнал генератора развёртки при работе в обычном режиме либо со входа «Х» осциллографа при работе осциллографа с отключенным генератором в режиме измерения фигур Лиссажу. Органами управления генератора развёртки являются переключатель скорости развёртки и переключатель режима работы. Скорость развёртки обычно задаётся как время, за которое луч проходит по горизонтали клетку измерительной сетки (например, «50 мкс/дел» и т.д.). Иногда скорость может задаваться как «время/дел», тогда должен использоваться переключатель, определяющий, в каких единицах это время измеряется (с / мс / мкс / нс). Положение переключателя режима работы определяет, будет ли генератор развёртки запускаться сразу же по окончании предыдущего цикла работы («периодический», «автоматический» режим, в зависимости от модели осциллографа) либо по получении запускающего импульса от системы синхронизации. Работа схемы синхронизации, в свою очередь, определяется положением ручки потенциометра («уровень», «синхронизация», «стабильность» соответственно), задающего величину напряжения на выходе самой схемы, при котором происходит её срабатывание (т.е. формирование импульса на запуск генератора развёртки). На входе схемы установлен переключатель, позволяющий синхронизировать работу осциллографа либо с сигналом, поступающим на его основной вход "Y" («внутренний запуск»), либо с каким-либо другим сигналом, подаваемым на специальный вход «запуск», «синхронизация» («внешний запуск»).

Так как область применения электронных осциллографов весьма обширна (с их помощью осуществляются измерения сигналов с амплитудой от десятков микровольт до сотен вольт и длительностью от наносекунд до десятков секунд, периодических сигналов и одиночных импульсов) очевидно, что осциллографы какого-либо одного типа вряд ли могут обеспечить все виды измерений. Поэтому существуют много моделей осциллографов, универсальные, запоминающие и т.п. Запоминающие осциллографы, в частности, позволяют запомнить и исследовать однократно воспроизведённый сигнал.

Для исследования фазово-частотных соотношений двух гармонических сигналов, достаточно иметь осциллограф с двумя усилителями "X" и "Y".

Блок-схема электронного осциллографа

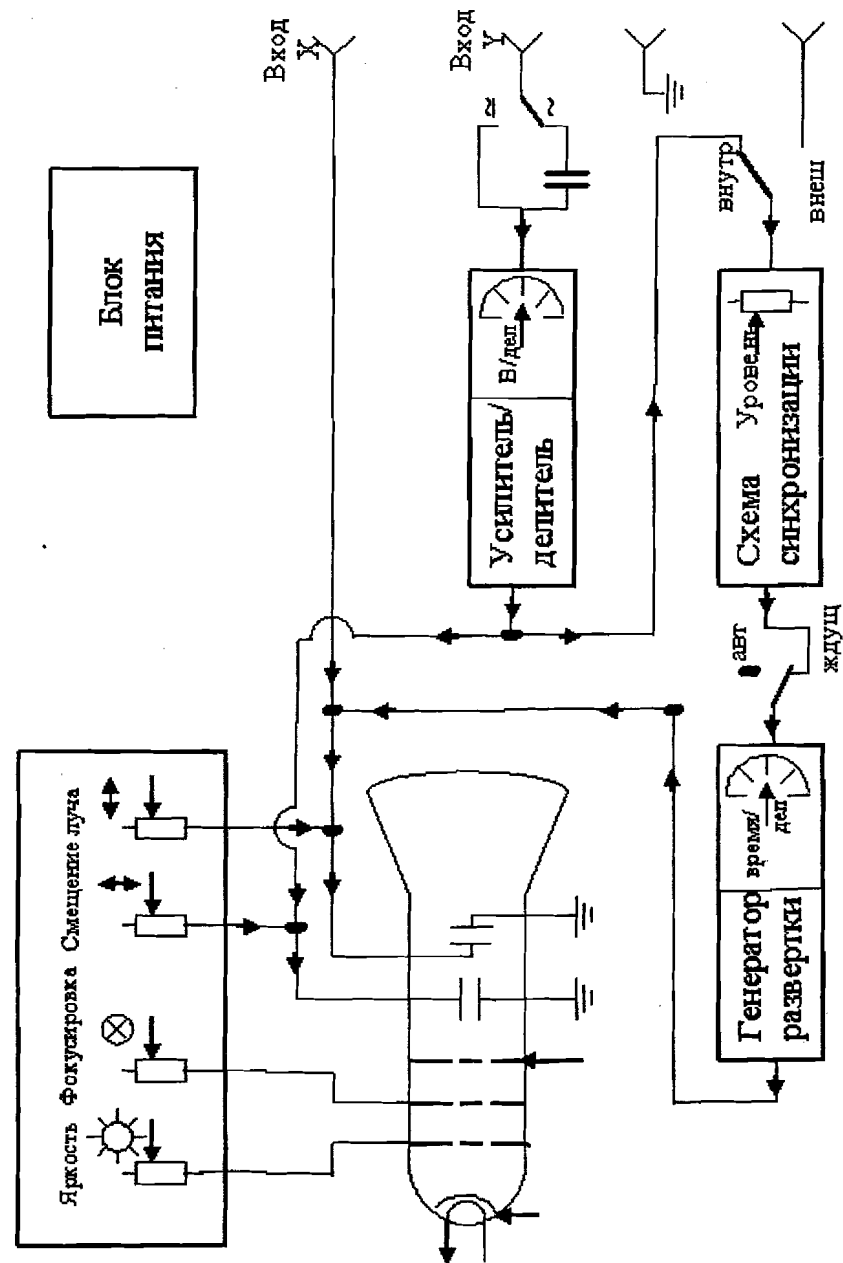


рис. 6

Представим, что перемещения точки на плоскости заданы координатами:

$$X = A \cos(\omega_1 t + \phi_1); \quad Y = B \cos(\omega_2 t + \phi_2),$$

где A и B – амплитуды, ω_1 и ω_2 – частоты, ϕ_1 и ϕ_2 – фазы двух колебаний.

Рассмотрим простейший случай, когда $\omega_1 = \omega_2 = \omega$, $\phi_1 = 0$, $\phi_2 = \pi/2$, тогда

$$X = A \cos(\omega t)$$

$$Y = -B \sin(\omega t)$$

В этом случае точка будет описывать эллипс с центром в начале координат и осями, совпадающими с осями координат (самостоятельно разберитесь, как влияют на траекторию движения параметры A , B , ϕ_1 , ϕ_2). Если положить $\omega_1 = \omega \cdot N$ и $\omega_2 = \omega \cdot M$, где M и N – различные целые числа, то точка в своём движении будет описывать сложную замкнутую кривую, которую

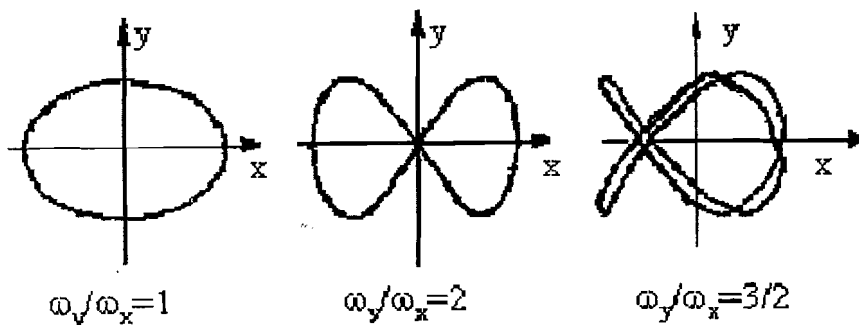


Рис. 7

называют фигурой Лиссажу (рис. 7).

Если провести линии, касательные к полученной фигуре Лиссажу и параллельные осям координат, то отношение числа точек касания вдоль линии, параллельной оси OX , к числу точек касания вдоль Oy будет равно отношению частот ω_2/ω_1 .

Из приведённого примера следует, что, подавая два синусоидальных сигнала соответственно на пластины горизонтального и вертикального отклонения ЭЛТ (при этом генератор развёртки отключен), можно получить на экране осциллографа при выполнении указанных выше условий фигуры Лиссажу. При этом вид полученных фигур будет зависеть от соотношения частот и фаз подаваемых сигналов. Если частота одного из сигналов известна (опорная частота), то, получив на экране осциллографа устойчивое изображение фигуры Лиссажу, можно найти частоту исследуемого сигнала. При этом точность оценки определяется, в основном, точностью определения частоты опорного сигнала.

Несколько практических советов по работе с осциллографом

1. Внимательно изучите описание прибора и разберитесь с надписями на панели осциллографа. Если вы представляете принципы работы прибора, то сможете понять назначение органов управления, которые, как правило, группируются на панели поблочно, в соответствии со своими функциями.

2. Включите прибор и, не подавая никакого внешнего сигнала, получите линию развёртки осциллографа. Для этого, прежде всего, «найдите» её, т.е. выведите линию на середину экрана (развёртка – автоматическая, яркость – максимальная, ручки фокусировки, вправо-влево, вверх-вниз в среднем положении). Плавно вращая поочередно ручки регулировки положения луча, добейтесь среднего на экране положения линии. Отрегулируйте яркость и сфокусируйте луч.

3. Не злоупотребляйте яркостью луча. Это приводит к быстрому старению люминофора и понижает точность измерений.

4. Измерение параметров неизвестного сигнала начинайте максимально загрубив чувствительность входа осциллографа.

5. В большинстве случаев правильное воспроизведение сигнала на экране зависит от правильности соединения общей точки («земли») осциллографа с общей точкой («землей») исследуемой схемы. На осциллограф сигнал подаётся чаще всего по входному коаксиальному кабелю, имеющему два одинаковых штекера, соединенных короткими проводами с центральной жилой кабеля и его оплеткой, всегда соединяемой с «землей» прибора.

При этом земляной штекер маркируется:

- либо знаком « \perp »
- либо цветом темного тона: черный, коричневый, синий
- либо длиной провода: «земляной» провод немного длиннее –

при любых подключениях первым должно подключаться заземление.

Если по маркировке не удастся распознать «земляной» и «сигнальный» провода, можно их различить, используя свой организм в качестве генератора, поочередно прикасаясь к входным проводам. При этом чтобы не попасть под напряжение и не вывести из строя прибор, нельзя касаться проводящей части штекера! Достаточно взяться рукой за изоляцию подходящего к штекеру провода. Если на экране осциллографа регистрируется сигнал наводки, то, при прикосновении к земляному проводу, его амплитуда уменьшится. Если же коснуться другого провода амплитуда сигнала возрастет.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

УПРАЖНЕНИЕ 1

Определение периода и амплитуды синусоидальных электрических колебаний (задаётся преподавателем произвольно при помощи генератора низких частот – ГНЧ) Для этого:

- Включить осциллограф в режиме автоматического запуска, настроить его на работу, грубо оценить амплитуду и период сигнала.
- Используя грубую оценку, перевести осциллограф в режим ждущего запуска, стабилизировать изображение, определить амплитуду и период сигнала, записать полученные результаты в рабочую тетрадь
- Убедиться в умении уверенно настраивать осциллограф на требуемый режим работы и продемонстрировать его преподавателю.

УПРАЖНЕНИЕ 2

Определение амплитуды напряжения и периода сигнала с выходов переменного и выпрямленного (пульсирующего) напряжений источника ЛИП-90. Выполняется как упр. 1. Полученные значения амплитуды и периода записать в рабочую тетрадь, осциллограммы зарисовать с указанием цены делений по X и Y.

УПРАЖНЕНИЕ 3

Наблюдение фигур Лиссажу.

- Отключить генератор развёртки, поставить луч в центр экрана
- Подключить сигнал опорной частоты 50 Гц (выход ЛИП-90) ко входу Y; исследуемый сигнал с выхода генератора ко входу X осциллографа.
- Изменяя частоту генератора, добиться устойчивого изображения на экране осциллографа, наблюдать и зарисовать в тетрадь 2-3 фигуры Лиссажу, определить соответствующую частоту сигнала генератора.

Вопросы для допуска

1. Перечислите основные узлы осциллографа, укажите их предназначение.
2. Какие Вы знаете режимы работы осциллографа, в каких случаях удобнее их использовать?
3. Что называют фигурами Лиссажу?
4. Укажите расположение основных органов управления осциллографом.
5. Как найти «земляной» и «сигнальный» провода входного кабеля осциллографа?

Литература

Соболев Д.А. Введение в технику физического эксперимента. М.: изд-во МГУ, 1993, стр. 37-43