

Ярославский государственный педагогический
университет им. К.Д. Ушинского

Вводный практикум

В.К. Мухин

Лабораторная работа № 031

**Знакомство с электронным
осциллографом и проведение
простейших измерений**

Ярославль
2013

Оглавление

| | |
|---|----|
| Вопросы для подготовки к работе..... | 3 |
| Теоретическое введение | 3 |
| Описание установки | 6 |
| Порядок выполнения работы | 8 |
| Задание 1. Подготовка осциллографа к проведению измерений. | 8 |
| Задание 2. Измерение амплитуды синусоидального сигнала..... | 9 |
| Задание 3. Измерение периода синусоидального сигнала..... | 9 |
| Задание 4. Установка заданной разности фаз между двумя синусоидами по картине сложения взаимно перпендикулярных колебаний..... | 10 |
| Задание 5. Наблюдение двух синусоид, сдвинутых между собой по фазе на заданный угол. | 10 |
| Контрольные вопросы | 11 |

Знакомство с электронным осциллографом и проведение простейших измерений

Цель работы: приобретение навыков работы с электронным осциллографом.

Приборы и принадлежности: осциллограф С1-55 или аналогичный, звуковой генератор ГЗ-33 (ГЗ-34), фазосдвигающая цепь, набор проводов.

Литература

1. Физический практикум. Электричество и оптика. Под ред. В.И. Иверновой – М: «Наука», 1968.
2. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л.Л. Гольдина, изд. 2-е, переработанное. – М: «Наука», 1973.

Вопросы для подготовки к работе

1. Каково назначение осциллографа?
2. Какие физические величины можно исследовать с помощью осциллографа?
3. Кратко объясните назначение блоков на простейшей блок-схеме осциллографа.

Теоретическое введение

Электронный осциллограф является наиболее универсальным физическим измерительным прибором.

Исторически изначальным предназначением электронного осциллографа было получение на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) графика периодической функции

$$u = f(t),$$

который принято называть *осциллограммой*.

Принцип получения осциллограммы понять нетрудно (Рис. 2.). В ЭЛТ осциллографа под действием линейно изменяющегося электрического поля, созданного горизонтально-отклоняющими пластинами, электронный луч движется по горизонтали с постоянной скоростью слева направо. Дойдя до правого края экрана, луч практически мгновенно возвращается к левому краю и процесс повторяется. Ясно, что это периодический процесс, и частоту повторения обозначим F_p . Поскольку за одинаковые промежутки времени луч проходит одинаковые расстояния, то горизонтальную ось X можно проградуировать в единицах

времени (с, мс, мкс). Процесс движения луча по горизонтали носит название – *развертка*. Конкретная скорость передвижения луча по горизонтали определяется *генератором развертки* или, по-другому, *генератором пилообразного напряжения* (ГПН). Если при этом луч не отклоняется в вертикальном направлении и движется с достаточно большой скоростью, то на экране наблюдается горизонтальная линия.

При подаче на вход Y (вертикальное отклонение) периодически изменяющегося по определенному закону напряжения, например,

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi_0) = U_m \sin(2\pi f t + \varphi_0),$$

где: U_m – амплитуда (наибольшее значение) напряжения ($[U] = \text{В}$);

ω – круговая частота ($[\omega] = \text{рад/сек} = \text{с}^{-1}$);

f – частота ($[f] = \text{Гц}$);

$T = 1/f$ – период ($[T] = \text{с}$);

t – время ($[t] = \text{с}$);

$(\omega t + \varphi_0)$ – фаза;

φ_0 – начальная фаза;

то отклонение луча по оси Y тоже будет соответствовать этому закону. И если при этом обеспечить кратность частоты сигнала f и частоты развертки F_p

$$f = kF_p, \text{ где } k \text{ – коэффициент кратности,}$$

то на экране осциллографа появится неподвижное изображение синусоиды (Рис. 1.).

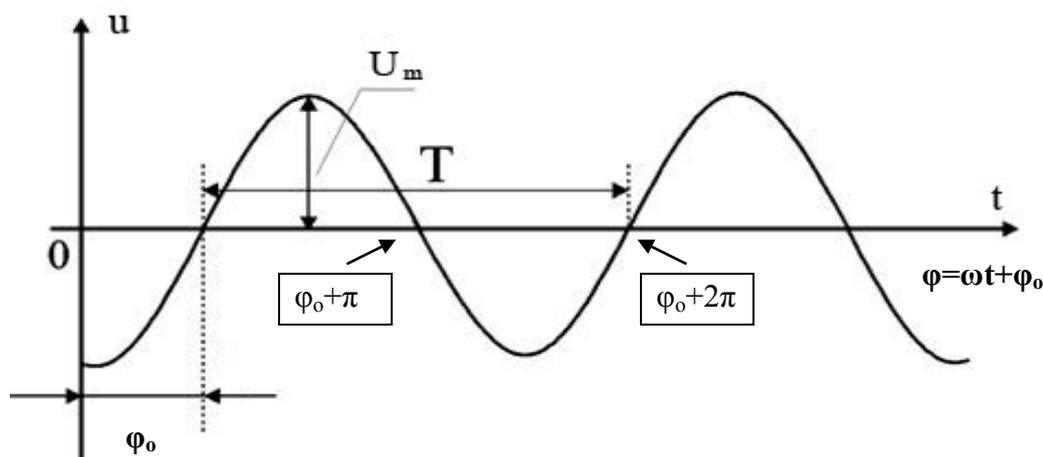


Рис. 1.

Кратность частот обеспечивается *каналом синхронизации*. Принцип действия этого канала состоит в том, что часть исследуемого сигнала из канала Y подается в генератор развертки и «заставляет» его вырабатывать пилообразное напряжение развертки с частотой, кратной частоте сигнала.

Блок-схема осциллографа

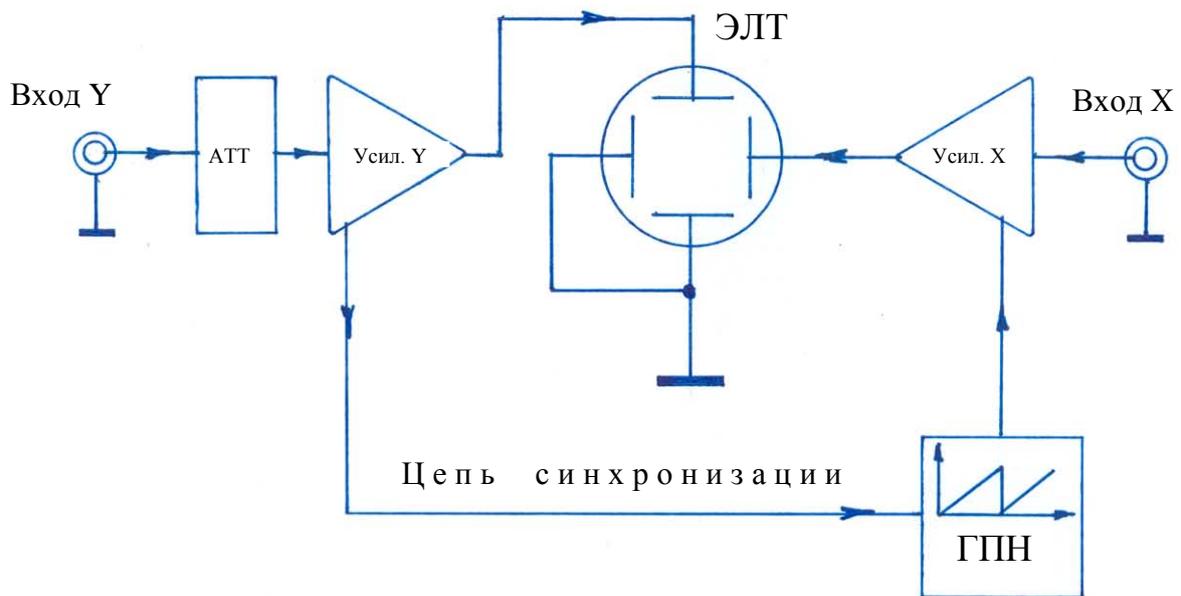


Рис. 2.

Похожую синусоиду можно получить с помощью механического осциллографа или, по-другому, самописца, где график рисуется пером на бумажной ленте, движущейся с постоянной скоростью. Существенная разница между этими приборами заключается в том, что график на экране электронного осциллографа рисуется безинерционным пучком электронов (в отличие от механического пера, имеющего ощутимую массу), поэтому электронный осциллограф имеет значительно более высокое быстродействие (до сотен МГц), чем самописец (не более нескольких десятков кГц).

Осциллограмма весьма информативна. В физике не существует других простых эквивалентных способов исследования периодической графической информации. Отметим, что современные осциллографы позволяют исследовать и непериодические сигналы.

С шестидесятых годов XX века в осциллографах стали применяться прямоугольные экраны с беспараллаксными шкалами. При использовании калиброванного делителя (по-другому, *аттенюатора* – АТТ), откалиброванного в вольтах/деление шкалы (В/дел) на входе Y и калиброванной развертки (мс/дел; мкс/дел) в канале X такой экран позволяют весьма точно измерять амплитуду поступающего на вход Y сигнала и его период T.

Осциллограф, имеющий вход X, позволяет проводить фазовые измерения. При этом генератор развертки (ГПН) должен быть отключен. Подадим на вход Y и на вход X синусоидальные сигналы от одного и того же источника с одинаковой амплитудой на экране, но сдвинутые по фазе друг относительно друга. Из теории сложения взаимно перпендикулярных колебаний (а луч в электроно-лучевой трубке осциллографа как раз и участвует в таких колебаниях по оси X и оси Y) вытекают три практически важных случая:

- $u_x = U_m \sin \omega t$ и $u_y = U_m \sin \omega t$ – сигналы не имеют сдвига по фазе (синфазны), и картина на экране осциллографа при этом представляет собой прямую, проходящую через начало координат и первую и третью четверти;
- $u_x = U_m \sin \omega t$ и $u_y = U_m \sin(\omega t + 90^\circ)$ – сигналы сдвинуты друг относительно друга на 90° , и картина на экране осциллографа представляет собой окружность с центром в начале координат;
- $u_x = U_m \sin \omega t$ и $u_y = U_m \sin(\omega t + 180^\circ)$ – сигналы сдвинуты друг относительно друга на 180° (противофазны), и картина на экране осциллографа представляет собой прямую, проходящую через начало координат и вторую и четвертую четверти.

При наличии устройств, позволяющих преобразовать другие физические величины (температуру, давление, освещенность и пр.) в напряжение, можно расширить область применения осциллографа на разделы физики не связанные с электричеством.

Описание установки

В лабораторной работе используется двухлучевой осциллограф С1-55. Его особенностью является двухлучевая ЭЛТ с двумя парами вертикально-отклоняющих пластин и двумя независимыми идентичными каналами Y. Развертка у С1-55 общая для обоих лучей. Такой осциллограф позволяет наряду с информацией об амплитуде и периоде исследуемого сигнала получить довольно точное значение их разности фаз путем наложения на экране двух осциллограмм.

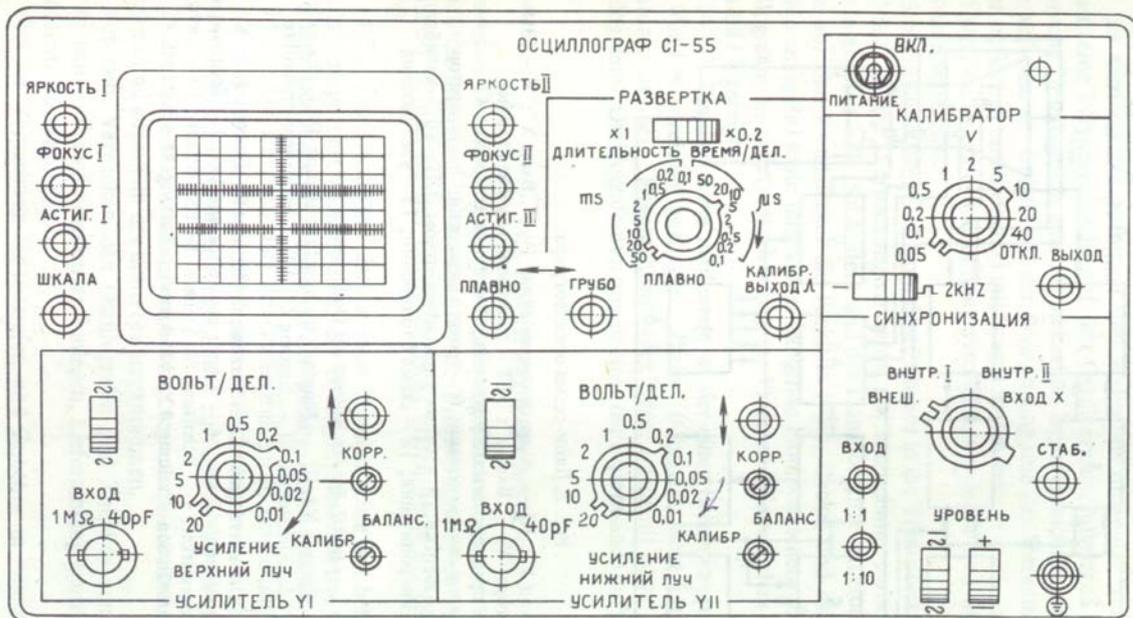


Рис. 3.

На рис. 3. изображена передняя панель вышеназванного осциллографа. Органы управления сгруппированы по функциональным признакам и их назначение интуитивно понятно.

Около ЭЛТ расположены органы статического управления (6 ручек) электронными лучами. Ручкой «ШКАЛА» регулируется внешняя подсветка измерительной шкалы ЭЛТ. Расположенные справа органы «ПЛАВНО» и «ГРУБО» позволяют перемещать луч по горизонтали.

Экран ЭЛТ имеет размеры: 8 делений (клеток) по вертикали и 10 делений по горизонтали.

В группе «РАЗВЕРТКА» находятся органы управления скоростью перемещения луча по горизонтали. Скорость изменяется дискретно переключателем «ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ВРЕМЯ/ДЕЛ» (конкретно, ms/дел или $\mu\text{s/дел}$). Соосно с переключателем расположена ручка «ПЛАВНО», которая является вспомогательной. Она позволяет плавно менять скорость развертки, но при этом развертка перестает быть калиброванной, то есть, числа скорости развертки у дискретного переключателя перестают соответствовать действительности.

Таким образом, если Вы измеряете промежутки времени по горизонтальной шкале – поверните ручку «ПЛАВНО» до конца вправо (до щелчка).

Переключателем « $\times 1 - \times 0,2$ » можно в пять раз увеличивать скорость развертки. В зависимости от положения этого переключателя, число, показывающее скорости развертки, умножается или на 1, или на 0,2.

С гнезда «КАЛИБР, ВЫХОД Λ » можно снять пилообразное напряжение, вырабатываемое ГПН. (В этой лабораторной работе – не требуется.)

В группе «КАЛИБРАТОР» находятся органы управления, позволяющие контролировать параметры горизонтального и вертикального усилителей. Контроль за параметрами ведется сотрудниками лаборатории и *студентам при первоначальном ознакомлении с осциллографом пользоваться калибратором запрещено!*

Две одинаковые группы органов управления «УСИЛИТЕЛЬ Y_1 » и «УСИЛИТЕЛЬ Y_2 » абсолютно идентичны и управляют они параметрами усилителей вертикального отклонения. Исследуемый сигнал с помощью специального кабеля подводится к коаксиальному гнезду «ВХОД». Чувствительность канала Y , измеряемого в «Вольт/дел» определяется положением ручки дискретного переключателя «УСИЛЕНИЕ». Соосно с переключателем расположена ручка «ПЛАВНО», к которой применимы те же замечания, что и к соответствующей ручке в группе «РАЗВЕРТКА». Вращением ручки « \updownarrow » можно перемещать соответствующий луч по вертикали.

Над входным гнездом расположен переключатель на два положения, который замыкает разделительный конденсатор на входе усилителя Y . В верхнем положении этого переключателя конденсатор на входе замкнут и в усилитель Y попадает как постоянная, так и переменная составляющая входного напряжения (открытый вход). Если постоянная составляющая для измерений не нужна, то переключатель ставят в нижнее положение (закрытый вход).

Выведенные «под шлиц» потенциометры «КОРР» и «БАЛАНС» предназначены для корректировки коэффициента передачи соответствующего усили-

теля Y и настройки его симметрии. Трогать эти органы управления неопытным пользователям крайне не рекомендуется.

Группа органов управления «**СИНХРОНИЗАЦИЯ**» используется для стабилизации изображения на экране ЭЛТ. Для получения неподвижного изображения осциллограммы требуется освоить манипуляцию ручками «УРОВЕНЬ» и «СТАБ.». Ручка «СТАБ.» плавно переводит генератор развертки из автоколебательного режима (ручка – вправо) в ждущий режим (плавно поворачиваем ручку влево). В ждущем режиме развертка появляется только при наличии сигнала на входе Y; при отсутствии сигнала – луч на экране отсутствует. «УРОВЕНЬ» регулирует амплитуду сигнала в цепи синхронизации (рис. 1.).

Внизу группы «СИНХРОНИЗАЦИЯ» находятся два переключателя. Левый находится на входе цепи синхронизации и его функция аналогична переключателю открытого и закрытого входа в группе «УСИЛИТЕЛЬ Y». Правый переключатель выбирает положительный «+» или отрицательный «-» полупериод исследуемого сигнала, который используется для синхронизации.

Правее переключателей расположена клемма, соединенная с корпусом осциллографа. К ней можно подключать «общий провод» при использовании одного из гнезд «ВХОД» (назначение этих двух гнезд см. ниже).

Соосно с ручкой «УРОВЕНЬ» расположен переключатель режимов синхронизации. С его помощью цепь синхронизации можно подключить к усилителю Y1 («ВНУТР 1»), к усилителю Y2 («ВНУТР 2») или какому-то внешнему источнику синхронизации. Внешний источник синхронизации подключается к одному из гнезд «ВХОД». Гнезда отличаются друг от друга чувствительностью: гнездо «1:1» в десять раз чувствительнее гнезда «1:10».

Переключатель режимов синхронизации может быть установлен в положение «ВХОД X». В этом случае развертка отключается, а гнезда «ВХОД» становятся гнездами «ВХОД X».

Выключатель питания осциллографа находится справа вверху и обозначен как «ПИТАНИЕ».

Порядок выполнения работы

Задание 1. Подготовка осциллографа к проведению измерений.

Перед включением прибора в сеть предварительно установите органы управления в следующие положения:

- ручки «ЯРКОСТЬ 1», «ЯРКОСТЬ 2», «ФОКУС 1», «ФОКУС 2», «АСТИГМ. 1», «АСТИГМ. 2», «УРОВЕНЬ» – **среднее;**
- «СТАБ.» – **крайнее правое;**
- переключатели входов усилителей Y1 и Y2 – **в положение «~»;**
- переключатель входа синхронизации – **в положение "≈";**
- переключатель полярности синхронизации – **в положение «+»;**

- переключатель режимов синхронизации – в полож. «ВНУТР.1»;
- переключатели «УСИЛЕНИЕ» Y1 и Y2 – в полож. «2 В/дел»;
- переключатель «ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ВРЕМЯ/ДЕЛ» – в полож. «1 ms»;
- переключатель «×1», «×0,2» – в положение «×1».

Соедините прибор соответствующим шнуром с сетью 220 В, а тумблер «ПИТАНИЕ» установите в верхнее положение. При этом должна загореться сигнальная лампочка.

Через 2 – 3 мин после включения прибора следует отрегулировать яркость и фокусировку линий разверток с помощью ручек «ЯРКОСТЬ», «ФОКУС», «АСТИГМ.».

Если лучей ЭЛТ не будет на экране даже при максимальной яркости, то необходимо переместить лучи в пределы рабочей части экрана при помощи ручек «↑» и «←→».

После десятиминутного прогрева осциллограф можно использовать в учебных целях. Для серьезных измерений требуется не менее чем получасовой прогрев, а так же балансировка и калибровка усилителей.

Задание 2. Измерение амплитуды синусоидального сигнала.

Установите выходное сопротивление генератора ГЗ-33 «50 Ом». Включите внутреннюю нагрузку. Переключатель пределов (переключатель с окошком под шкалой вольтметра) установите в положение «3 В». Множитель частотной шкалы установите в положение «×10». Выставьте частоту (с учетом множителя) $500 \div 1000$ Гц. Соедините выход ГЗ-33 со входом Y1 осциллографа. При этом общий провод осциллографа (черный штекер или штекер на длинном проводе на конце кабеля из комплекта осциллографа) соедините с общей клеммой генератора. Потушите мешающий второй луч.

Отрегулируйте выходное напряжение генератора (ручка справа), чувствительность усилителя Y1 осциллографа и длительность развертки таким образом, чтобы на экране осциллографа наблюдались 1–2 периода синусоиды с размахом (удвоенная амплитуда) до 8 делений.

Запишите цену деления по вертикали (см. переключатель «УСИЛЕНИЕ») и значение амплитуды в делениях. Вычислите значение амплитуды исследуемого сигнала в вольтах. Определите выходное напряжение генератора по его встроенному вольтметру. Если Вы знаете, что называют действующим (эффективным) значением синусоидального напряжения, то объясните разницу в полученных значениях.

Задание 3. Измерение периода синусоидального сигнала.

Не изменяя изображение на экране ЭЛТ, измерьте в делениях и запишите величину периода исследуемого сигнала. Запишите цену деления по горизонтали (см. переключатель «ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ВРЕМЯ/ДЕЛ»). Вычислите период колебания. Зная период, вычислите частоту колебательного процесса и сравни-

те ее с показанием шкалы генератора. Объясните разницу в полученных значениях, если она есть.

Задание 4. Установка заданной разности фаз между двумя синусоидами по картине сложения взаимно перпендикулярных колебаний.

Соедините общие клеммы « \perp » генератора и осциллографа. Отключите вход Y1 осциллографа от генератора. Переключателем режимов синхронизации отключите развертку и задействуйте вход X. Соедините гнездо «1:1» входа X с выходом «50 Ом» генератора ГЗ-33. Отрегулируйте напряжение генератора так, чтобы прямая на экране не выходила за пределы измерительной сетки. Этот же выход генератора и его общую клемму соедините соответственно с гнездом 0° и общим гнездом « \perp » фазовращателя. Выход фазовращателя соедините с входом Y1 осциллографа, соблюдая правила подключения общего и сигнального проводов. Отрегулируйте чувствительность канала вертикального отклонения осциллографа так, чтобы наклонная линия не выходила за пределы измерительной сетки.

Зарисуйте получившуюся на экране ЭЛТ картину, соответствующую фазовому сдвигу $\Delta\varphi = 0^\circ$.

Переткните провод, идущий от генератора, из гнезда 0° фазовращателя в гнездо 90°. Регулируя частоту генератора, получите на экране симметричный относительно осей координат эллипс. Запишите полученную частоту. Увеличивая чувствительность канала Y1 (здесь можно пользоваться ручкой плавной регулировки) и немного изменяя выходное напряжение генератора, добейтесь превращения эллипса в окружность.

Зарисуйте получившуюся на экране ЭЛТ картину, соответствующую фазовому сдвигу $\Delta\varphi = 90^\circ$.

Переткните провод, идущий от генератора, из гнезда 90° фазовращателя в гнездо 180°. Увеличивая чувствительность канала Y1 (здесь можно пользоваться ручкой плавной регулировки) добейтесь, чтобы получившаяся прямая не выходила за пределы измерительной сетки. Здесь, возможно, придется немного подстроить частоту генератора.

Зарисуйте получившуюся на экране ЭЛТ картину, соответствующую фазовому сдвигу $\Delta\varphi = 180^\circ$.

Задание 5. Наблюдение двух синусоид, сдвинутых между собой по фазе на заданный угол.

Отключите провод, соединяющий канал X и выход звукового генератора. Переключателем режимов синхронизации включите развертку с синхронизацией от усилителя Y1 («ВНУТР. 1»). Переткните провод на фазовращателе из гнезда 180° в гнездо 0°. Настройте синусоиду на экране как во втором задании, не изменяя при этом частоту генератора. (Частота ГЗ-33 должна оставаться как полученная в четвертом задании.)

Прибавьте яркость второго канала до появления на экране второго луча. Соедините сигнальный провод усилителя Y2 с выходом «50 Ом» генератора и настройте вторую синусоиду близко по амплитуде к первой.

Зарисуйте получившуюся на экране ЭЛТ картину взаимного расположения двух синусоид, соответствующую фазовому сдвигу $\Delta\varphi = 0^\circ$.

Переткните провод, идущий от генератора, из гнезда 0° фазовращателя в гнездо 90° . Увеличивая чувствительность канала Y1, скорректируйте амплитуду первой синусоиды.

Зарисуйте получившуюся на экране ЭЛТ картину взаимного расположения двух синусоид, соответствующую фазовому сдвигу $\Delta\varphi = 90^\circ$.

Переткните провод, идущий от генератора, из гнезда 90° фазовращателя в гнездо 180° . Увеличивая чувствительность канала Y1, скорректируйте амплитуду первой синусоиды.

Зарисуйте получившуюся на экране ЭЛТ картину взаимного расположения двух синусоид, соответствующую фазовому сдвигу $\Delta\varphi = 180^\circ$.

Контрольные вопросы

1. Как должна выглядеть синусоида на экране ЭЛТ, чтобы измерить ее амплитуду и период максимально точно?
2. Как можно использовать (зачем они нужны?) самые медленные развертки в осциллографе, если луч при перемещении по экрану в этом случае не оставляет следа?