

Лабораторная работа № 12

Частотная модуляция и частотное детектирование

ПРОГРАММА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Начало работы

- Включите все приборы, которые задействованы в лабораторной установке. Не выключайте их до окончания занятия (при необходимости временно оставить установку без контроля предупредите преподавателя и согласуйте с ним необходимость отключения приборов).
- Заведите протокол измерений, записав название работы, ФИО преподавателя и выполняющих работу студентов, номер академической группы, номер бригады и дату.

Часть 1. Измерение характеристик частотного модулятора

- Постоянная составляющая E модулирующего напряжения, управляющего частотой сигнала на выходе модулятора, регулируется соответствующим потенциометром и отображается на цифровом индикаторе (индикатор показывает значение напряжения в Вольтах). В макете есть вход для переменного модулирующего сигнала, который подается в схему через проходной конденсатор и суммируется с E , формируя полное модулирующее напряжение, управляющее частотой выходного сигнала модулятора.

1.1. Подключение приборов и регистрация сигнала несущей частоты.

- Подключите осциллограф и частотомер к выходу частотного модулятора, как показано на рисунке 1.
- Убедитесь в наличии гармонического сигнала на выходе модулятора.
- Изменяя напряжение E , убедитесь в том, что частота f выходного сигнала модулятора изменяется.
- Установите значение напряжения E в середине диапазона изменения этого напряжения и зафиксируйте осциллограмму сигнала несущей частоты на выходе модулятора.

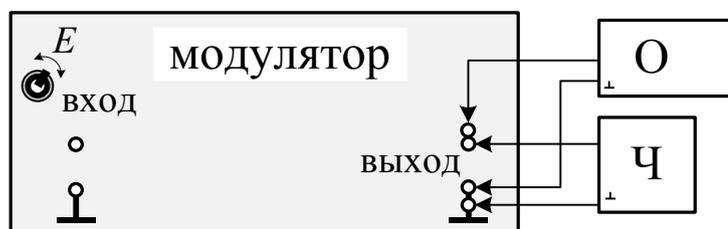


Рис. 1. Схема для измерения статической характеристики частотного модулятора. Ч – частотомер, О – осциллограф.

1.2. Измерение статической модуляционной характеристики.

! Под статической модуляционной характеристикой подразумевается зависимость частоты f выходного сигнала модулятора от постоянной составляющей E модулирующего сигнала.

! Частоту синусоидальных колебаний на выходе модулятора измеряйте частотомером.

– Запишите в протокол минимальное и максимальное значения напряжения E_{\min} и E_{\max} , а также соответствующие значения частоты f_{\min} и f_{\max} .

– Измерьте зависимости $f(E)$ и $A_m(E)$ (A_m – амплитуда сигнала на выходе модулятора), выбрав $8 \div 12$ значений напряжения E , в диапазоне $E_{\min} \div E_{\max}$, запишите измеренные значения в протокол.

1.3. ПРИ ПОДГОТОВКЕ ОТЧЕТА

Анализ характеристик частотного модулятора.

– Постройте графики зависимостей $f(E)$ и $A_m(E)$.

– Оцените границы входного статического напряжения E'_{\min} и E'_{\max} , такие что рабочий участок модуляционной характеристики от E'_{\min} до E'_{\max} соответствовал модуляции частоты без модуляции амплитуды. Также запишите в протокол границы этого участка в шкале частот: $f'_{\min} = f(E'_{\min})$, $f'_{\max} = f(E'_{\max})$.

– Оцените крутизну модуляционной характеристики K_M [Гц/В] для точки, частота в которой соответствует середине рабочего диапазона детектора (середина участка между пиками статической характеристики детектора, измеренной при выполнении п. 2.3).

1.4. Наблюдение манипуляции частоты сигнала частотного модулятора.

! Манипуляцией частоты (или частотной манипуляцией) называют режим модуляции частоты, при котором частота меняется не непрерывно, а скачками. В частности, частотная манипуляция реализуется в случае, когда модулирующий сигнал представляет собой прямоугольные импульсы. Тогда на выходе модулятора частота изменяется скачками между двумя значениями.

– Подключите генератор и осциллограф ко входу и выходу частотного модулятора, как показано на рисунке 2 с подключением осциллографа к выходу модулятора – подключение а) на рисунке 2.

– Установите напряжение E примерно в середине диапазона $E_{\min} \div E_{\max}$ и запишите установленное значение в протокол.

– Установите на генераторе частоту 100 Гц, ослабление выходного сигнала 20 дБ, режим *импульсного сигнала*.

– Установите развертку осциллографа в режим 0.5 мкс/дел.

– Убедитесь, что при снижении амплитуды сигнала генератора до нуля ручкой плавной регулировки амплитуды, на выходе модулятора наблюдается несколько

периодов гармонического сигнала. А при установке ручки плавной регулировки амплитуды на максимум наблюдается два гармонических сигнала ("раздвоенная синусоида").

- Зафиксируйте осциллограмму сигнала с "раздвоенной" синусоидой.
- Переключите осциллограф на вход модулятора – подключение б) на рисунке 2. Подберите режим развертки и усиления для наблюдения импульсного сигнала генератора, измерьте размах импульсов на выходе генератора U_{p-p} и запишите это значение в протокол.



Рис. 2. Схема для наблюдения манипуляции частоты сигнала частотного модулятора. Подключение осциллографа к выходу модулятора – а), и ко входу модулятора – б). Ч – частотомер, О – осциллограф.

1.5. ПРИ ПОДГОТОВКЕ ОТЧЕТА

Анализ манипуляции частоты на выходе частотного модулятора.

! В данном пункте расчет на основе зарегистрированной осциллограммы сигнала на выходе модулятора (в режиме манипуляции частоты) достаточно прост, но не точен, его надо рассматривать как приближенный, оценочный.

- По осциллограмме сигнала на выходе модулятора в виде "раздвоенной" синусоиды оцените время T_N , за которое сигнал меняется на N периодов, и время δt , на которое один сигнал опережает другой на интервале T_N (пояснение на рисунке 3).
- Оцените примерное изменение частоты δf на выходе модулятора при импульсном воздействии на входе (манипуляция частоты сигнала).

! Для оценки изменения частоты можно учитывать следующее:

Период колебания оценивается как $T = T_N/N$. Фазовый сдвиг между сигналами связан с задержкой отношением $\delta\varphi = 2\pi \cdot \delta t/T$. Если на интервале T_N один сигнал сместился по фазе на $\delta\varphi$ относительно другого, то сдвиг частоты между сигналами $\delta\omega = 2\pi\delta f = \delta\varphi/T_N$.

В итоге искомый сдвиг частоты можно оценить по выражению $\delta f = N \cdot \delta t / (T_N)^2$.

- Оцените крутизну K_M модуляционной характеристики для установленной в п. 1.4 рабочей точки E по отношению $K_M = \delta f / U_{p-p}$.
- Сравните полученную оценку крутизны со значением крутизны модуляционной характеристики, определенной при выполнении пункта 1.3.

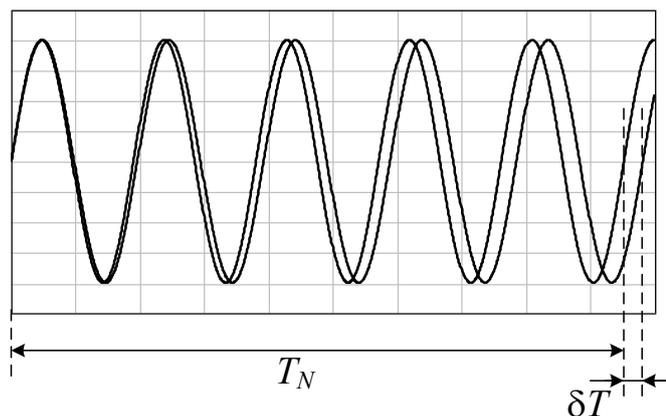


Рисунок 3. Вид осциллограммы с "раздвоенной" синусоидой на выходе частотного модулятора (при манипуляции частоты) с пояснением интервалов времени T_N и δt . На данном рисунке $N = 5$.

Часть 2. Измерение характеристик частотного детектора

- В данной макете частотный детектор предполагает использование резонансного контура, после прохождения которого сигнал с частотной модуляцией приобретает также амплитудную модуляцию. Далее применяется простой амплитудный детектор с диодом и ФНЧ на основе RC-цепи. Для линейаризации детекторной характеристики в макете используется два резонансных контура со сдвинутыми резонансными частотами, два амплитудных детектора (для первого и второго контура), а выходным сигналом частотного детектора является разность выходных сигналов амплитудных детекторов.

2.1. Измерение параметров резонансных контуров.

– Подключите ко входу частотного детектора генератор, осциллограф и частотомер, а к выходам резонансных контуров детектора вольтметры переменного напряжения, как показано на рисунке 4 (для подключения частотомера используйте дополнительное гнездо подключения после каскада эмиттерного повторителя).

– Установите на генераторе режим *гармонического колебания* и частоту в диапазоне $f_{\min} \div f_{\max}$. Амплитуду сигнала установите примерно такую же, как амплитуда A_m у сигнала на выходе модулятора в середине рабочего диапазона значений E (п. 1.2.).

! Выходные напряжения контуров подаются на гнезда разъемов макета через емкостные делители напряжения, в результате чего измеряемые значения примерно в 10 раз ниже фактического напряжения на контуре. Это сделано для ослабления влияния входного сопротивления и емкости подключаемых приборов на резонансные характеристики контуров.

– Изменяя частоту генератора в актуальном диапазоне (таковым логично считать $f_{\min} \div f_{\max}$), найдите резонансную частоту первого контура $f_{к1р}$, на которой

- действующее значение напряжения на выходе первого контура $U_{к1}$ достигает максимума $U_{к1max}$. Запишите в протокол значения $f_{к1p}$ и $U_{к1max}$.
- Измерьте ширину полосы пропускания Δf_1 первого контура. Для этого, изменяя частоту генератора в разные стороны от $f_{к1p}$, найдите и запишите в протокол значения частот, на которых $U_{к1}$ снижается до уровня 0.707 от уровня $U_{к1max}$.
 - Найдите резонансную частоту второго контура $f_{к2p}$, когда $U_{к2}$ достигает максимума $U_{к2max}$. Запишите в протокол значения $f_{к2p}$ и $U_{к2max}$.
 - Измерьте ширину полосы пропускания Δf_2 второго контура. Для этого найдите и запишите в протокол значения частот, на которых $U_{к2}$ снижается до уровня 0.707 от уровня $U_{к2max}$.
 - Найдите в области между $f_{к1p}$ и $f_{к2p}$ частоту f_0 , на которой $U_{к1} = U_{к2}$ и запишите в протокол значение f_0 .

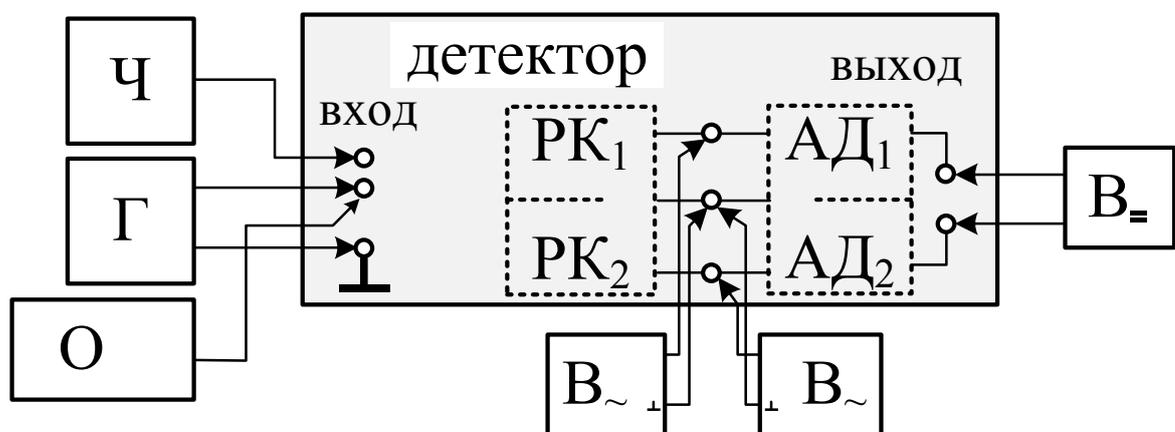


Рис. 4. Схема для измерения характеристик частотного детектора. Г – генератор, Ч – частотомер, О – осциллограф, V_{\sim} – вольтметры переменного напряжения, $V_{=}$ – вольтметр постоянного напряжения.

2.2. ПРИ ПОДГОТОВКЕ ОТЧЕТА Анализ результатов измерений характеристик резонансных контуров детектора.

- Рассчитайте добротности контуров Q_1 и Q_2 .

! Общепринятый вариант оценки добротности по резонансной кривой: $Q_1 = f_{к1p} / \Delta f_1$, где Δf_1 – ширина резонансной кривой первого контура по уровню 0.707, и аналогично для Q_2 .

- Рассчитайте частоту середины интервала между резонансными частотами контуров $f_{cp} = (f_{к1p} + f_{к2p})/2$.
- Сравните значение f_0 и f_{cp} , поясните, почему эти частоты различаются.

2.3. Измерение статической детекторной характеристики.

- Подключите вольтметр постоянного напряжения к выходу частотного детектора для измерения выходного напряжения детектора $U_{д}$, как показано на рисунке 4.

- Измерьте детекторную характеристику $U_D(f)$, изменяя частоту генератора, подключенного ко входу детектора, в диапазоне частот $f_{\min} \div f_{\max}$. При этом нужно выбрать разумное (~ 10 точек) количество точек шкалы f , в которых регистрируется кривая. В число таких точек должны входить частоты f_{D1} и f_{D2} экстремумов измеряемой кривой $U_{D\max}$ и $U_{D\min}$ (которые должны примерно соответствовать резонансным частотам контуров детектора) и точка на частоте f_{D0} , в которой измеряемая характеристика переходит через ноль (в которой $U_D = 0$). Запишите измеренные значения в протокол.

2.4. ПРИ ПОДГОТОВКЕ ОТЧЕТА Оценка параметров частотного детектора на основе статической детекторной характеристики.

- Постройте статическую детекторную характеристику $U_D(f)$.
- Рассчитайте максимальную девиацию частоты ЧМ-сигнала, который может демодулировать данный детектор (она ограничена шириной рабочего участка между экстремумами детекторной характеристики: $\Delta f_D = f_{D2} - f_{D1}$).
- Оцените диапазон частот F_{\max} модулирующего сигнала, который может быть корректно демодулирован данным детектором (для такой оценки можно принять условие $F_{\max} \ll \Delta f_D$).
- Сравните частоты f_0 (измерена в п. 2.1) и f_{D0} .
- Оцените частоту $f_{D\text{ср}} = (f_{D1} + f_{D2})/2$, которая соответствует середине рабочего диапазона детектора. Насколько различаются f_{D0} и $f_{D\text{ср}}$, и с чем это связано?
- Сравните параметры модуляционной характеристики и детекторной характеристики. Насколько согласованы характеристики модулятора и детектора с точки зрения возможности их совместной корректной работы?
- Оцените крутизну детекторной характеристики K_D [В/Гц] в рабочем диапазоне детектора на основе отношения $K_D \approx (U_{D\max} - U_{D\min})/\Delta f_D$.

Часть 3. Изучение работы тракта передачи с частотной модуляцией несущей частоты

• В данном случае подразумевается тракт передачи некоторого информационного сигнала $u(t)$, когда в канале связи между передатчиком и приемником распространяется не сам сигнал $u(t)$, а узкополосный сигнал т.н. несущей частоты f_n . При этом исходная информация о колебании $u(t)$ перенесена в сигнал несущей частоты посредством частотной модуляции. Для реализации такого тракта передатчик должен содержать частотный модулятор, а приемник – частотный детектор, что и позволяет продемонстрировать данный лабораторный макет.

3.1. Измерение статической передаточной характеристики тракта с частотной модуляцией несущей частоты.

- Отключите от схемы генератор и частотомер. Соедините выход модулятора и вход детектора кабелем, как показано на рисунке 5.

! В данном случае модулятор выполняет роль источника сигнала (статическое напряжение E) и передатчика сигнала несущей частоты. Детектор выполняет роль приемника сигнала. А кабель, соединяющий выход модулятора и вход детектора, выполняет роль канала связи, в котором распространяется ЧМ-сигнал.

! В качестве соединительного кабеля в данном макете используется *одиночный провод*, выводы земли (общей точки) выхода модулятора и входа детектора соединять не надо, они уже соединены внутри макета.

– Измерьте статическую передаточную характеристику тракта $U_{\text{д}}(E)$ – зависимость выходного напряжения $U_{\text{д}}$ от постоянной составляющей модулирующего напряжения E на входе модулятора. Измерения провести в диапазоне изменения напряжения E , при этом нужно выбрать разумное количество точек (~ 10 точек) в этом диапазоне. При этом в число таких точек должны входить точки E_1 и E_2 , в которых на выходе тракта достигаются экстремумы $U_{\text{дmax}}$ и $U_{\text{дmin}}$, а также точка E_0 в которой $U_{\text{д}} = 0$.

– Рассчитайте напряжение $E_{\text{ср}}$, соответствующее середине рабочего участка передаточной характеристики тракта $E_{\text{ср}} = (E_2 + E_1)/2$.

– Оцените максимальную амплитуду переменного сигнала на входе тракта E_{m0} , которая может быть выбрана при использовании данного тракта (в качестве примерной оценки можно взять $E_{\text{m0}} \approx (E_2 - E_1)/2$).

3.2. ПРИ ПОДГОТОВКЕ ОТЧЕТА Оценка параметров тракта передачи с частотной модуляцией несущей частоты.

- Постройте статическую передаточную характеристику тракта $U_{\text{д}}(E)$.
- Поясните характер зависимости $U_{\text{д}}(E)$ с учетом вида зависимостей $f(E)$ и $U_{\text{д}}(f)$.
- Рассчитайте крутизну рабочего участка (монотонного участка) передаточной характеристики тракта K_{T} по отношению $K_{\text{T}} = (U_{\text{дmax}} - U_{\text{дmin}})/(E_2 - E_1)$.
- Сравните значение K_{T} с произведением $K_{\text{М}} \cdot K_{\text{Д}}$.

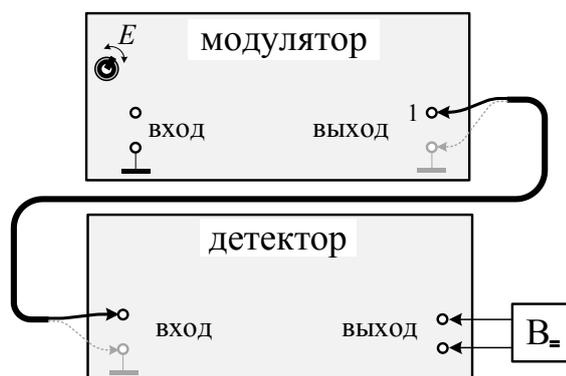


Рис. 5. Схема для измерения статической передаточной характеристики тракта с частотной модуляцией несущей частоты ($V_{\text{=}}$ – вольтметр постоянного напряжения).

3.3. Регистрация сигналов, проходящих через тракт с частотной модуляцией несущей частоты.

- Установите на входе модулятора постоянную составляющую модулирующего напряжения E_{cp} .
- В соответствии с рисунком 6 подключите генератор ко входу модулятора, а каналы осциллографа ко входу модулятора и выходу детектора, чтобы наблюдать осциллограммы переменных сигналов на входе и выходе тракта.
- ! При подключении ко входу модулятора контакт оплетки кабеля осциллографа, как обычно, подключается к контакту общей точки макета. При подключении к выходу детектора контакт оплетки кабеля осциллографа подключается к нижнему контакту выхода (это дополнительно показано на рисунке 6 пунктирной линией).
- Установите генератор в режим гармонического сигнала с частотой $F_1 = 100$ Гц и амплитудой $U_{mвх1}$ примерно $0.3 \cdot E_{m0}$.
- Переведите каналы осциллографа в режим закрытого входа (режим "АС") и установите синхронизацию по первому каналу (по сигналу генератора).
- Зафиксируйте осциллограммы сигналов на входе и выходе тракта (при правильной работе тракта должны отображаться гармонические сигналы с частотой F_1). Запишите в протокол амплитуду входного $U_{mвх1}$ и выходного $U_{mвых1}$ сигналов.
- Переведите генератор в режим меандра (не меняйте частоту $F_1 = 100$ Гц, и амплитуду $U_{mвх1}$). Зафиксируйте осциллограммы сигналов на входе и на выходе тракта (должны отображаться импульсы с частотой F_1).

3.4. ПРИ ПОДГОТОВКЕ ОТЧЕТА Анализ прохождения сигналов через тракт передачи с частотной модуляцией несущей частоты.

- Сделайте вывод о возможности передачи переменных сигналов через тракт с частотным модулятором и частотным детектором.
- Укажите, какая несущая частота была использована в данном случае. Каковы девиация частоты и индекс частотной (угловой) модуляции сигнала в канале связи.
- Обратите внимание на то, в каком отношении находятся параметры сигнала и их допустимые значения: $U_{mвх1}$ и E_{m0} , F_1 и F_{max} .
- Сравните отношение $U_{mвых1}/U_{mвх1}$ и значение K_T .

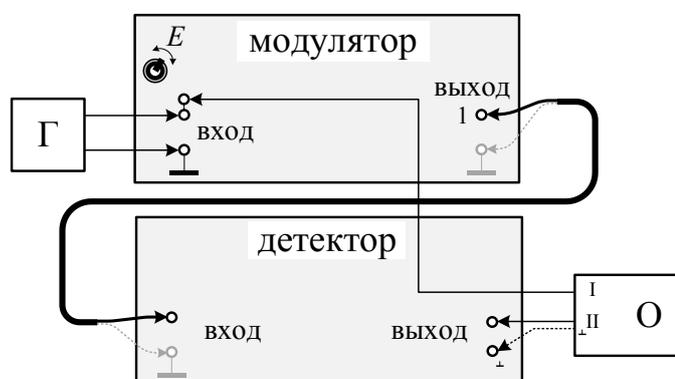


Рис. 6. Схема для регистрации прохождения сигналов через тракт с частотной модуляцией несущей частоты (Г – генератор, О – осциллограф).

3.5. Регистрация искажения сигналов при прохождении через тракт с частотной модуляцией несущей частоты.

– Переведите генератор в режим гармонического сигнала (не меняйте частоту $F = 100$ Гц, и амплитуду $U_{\text{мвх1}}$ – на выходе должен вновь наблюдаться гармонический сигнал).

Изменяйте постоянную составляющую на входе модулятора, увеличивая ее относительно $E_{\text{ср}}$ до тех пор, пока не будут хорошо видны характерные искажения (перегибы) в области отрицательных полупериодов выходного сигнала.

Зафиксируйте осциллограммы сигналов на входе и на выходе тракта и значение постоянной составляющей на входе модулятора $E_{\text{в}}$.

– Изменяйте постоянную составляющую на входе модулятора, уменьшая ее относительно $E_{\text{ср}}$ до тех пор, пока не будут хорошо видны характерные искажения (перегибы) в области положительных полупериодов выходного сигнала.

Зафиксируйте осциллограммы сигналов на входе и на выходе тракта и значение постоянной составляющей на входе модулятора $E_{\text{н}}$.

– Установите постоянную составляющую на входе модулятора снова равной $E_{\text{ср}}$ (на выходе должен вновь наблюдаться гармонический сигнал).

– Установите амплитуду сигнала на входе модулятора $U_{\text{мвх2}}$, равной примерно $1,5 \cdot E_{\text{м0}}$. Зафиксируйте осциллограммы сигналов на входе и на выходе тракта, запишите $U_{\text{мвх2}}$.

– Установите вновь амплитуду входного сигнала $U_{\text{мвх1}}$ (на выходе должен вновь наблюдаться гармонический сигнал)

Зафиксируйте осциллограммы сигналов на входе и на выходе тракта в случае установки частоты входного сигнала $F_2 = 1$ кГц и $F_3 = 10$ кГц. Запишите в протокол амплитуды входного и выходного сигналов.

– Установите режим импульсного входного сигнала (не меняйте амплитуду входного сигнала).

Зафиксируйте осциллограммы сигналов на входе и на выходе тракта в случае установки частоты повторения входных импульсов $F_2 = 1$ кГц и $F_3 = 10$ кГц.

3.6. ПРИ ПОДГОТОВКЕ ОТЧЕТА Анализ искажения сигналов при прохождении через тракт передачи с частотной модуляцией несущей частоты.

– Для каждого случая зафиксированных при выполнении п. 3.5 осциллограмм входного и выходного сигнала опишите характер искажения выходного сигнала и поясните причины. В каждом случае укажите какие конкретно несоответствия каких параметров на входе и каких параметров, характеризующих тракт передачи, приводят к искажению выходного сигнала.

Завершение работы

На этом действия, предусмотренные Программой выполнения лабораторной работы, закончены.

Выключите все приборы, подпишите протокол измерений у преподавателя.