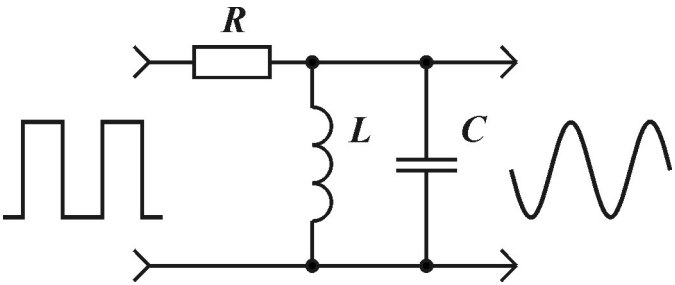
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ЦЕПИ И СИГНАЛЫ

Методические указания к лабораторным работам

Часть I



Рязань 2017

УДК 621.372 (021)

Радиотехнические цепи и сигналы: методические указания к лабораторным работам, часть I / Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: А.Ю. Линович, Б.И. Филимонов; под ред. Б.И. Филимонова. — Рязань, 2017. — 68 с.

Приведены описания и методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Радиотехнические цепи и сигналы» Описание каждой работы содержит краткие теоретические сведения, рекомендации по подготовке и выполнению домашнего и лабораторного заданий.

Предназначены для студентов дневного отделения, обучающихся по направлению «Радиотехника».

Ил. 15. Табл.4. Библиогр.: 4 назв.

Сигналы, радиотехнические цепи, спектры сигналов, воздействия сигналов на цепи, искажения сигналов

Печатается по решению редакционно-издательского совета Рязанского государственного радиотехнического университета.

Рецензент: кафедра ТОР Рязанского государственного радиотехнического университета (зав. кафедрой проф. В.В. Витязев)

Радиотехнические цепи и сигналы
Часть I

Составители: Л и н о в и ч Александр Юрьевич
Ф и л и м о н о в Борис Иванович

Редактор М.Е. Цветкова
Корректор С.В. Макушина
Подписано в печать 07.02.17. Формат бумаги 60х84 1/16.
Бумага газетная. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 4,0.
Тираж 50 экз. Заказ
Рязанский государственный радиотехнический университет.
390005, Рязань, ул. Гагарина, 59/1.
Редакционно-издательский центр РГРТУ.

Правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ

Лабораторная установка и измерительные приборы питаются от сети переменного тока 220 В и представляют опасность в отношении поражения электрическим током, поэтому неаккуратность, невнимательность, недостаточное знакомство с приборами, электрическими схемами и правилами безопасности работ могут повлечь за собой несчастный случай.

Для предупреждения несчастных случаев и пожаров необходимо изучить и строго соблюдать правила техники безопасности, производственной санитарии и пожарной профилактики.

1. Перед началом работ в лаборатории получите у руководителя инструктаж по технике безопасности, обращая при этом внимание на возможные опасности в порученной работе, меры их устранения, защитные средства, приборы включения и выключения и на правила и приемы оказания первой помощи.
2. Прежде чем приступать к работе, внимательно ознакомьтесь с правилами безопасности работ с лабораторным оборудованием.
3. Не нарушайте правила безопасности работ и внутреннего распорядка и останавливайте нарушающих эти правила.
4. Не загромождайте свое рабочее место. Захламленность рабочего места может явиться причиной несчастного случая.
5. При работе в лаборатории выполняйте только ту работу, которая вам поручена. Категорически воспрещается производить другую работу.
6. Не заходите без разрешения в лабораторию, в которой работает не ваша группа.

7. Во время выполнения лабораторной работы не ходите без дела по лаборатории, так как этим вы отвлекаете внимание товарищей и оставляете без внимания свое рабочее место, что может повлечь за собой несчастный случай.
8. Неаккуратное обращение с огнем и курение в запрещенных местах могут явиться причиной пожара.
9. Тщательно следите за исправностью изоляции проводов и оборудования. Прикосновение к корпусам электрооборудования и проводам безопасно при их исправной изоляции.
10. Строго запрещается:
    а) включать силовые и осветительные рубильники без разрешения руководителя;
    б) включать схему под напряжением без предварительной проверки и разрешения руководителя;
    в) отключать заземляющие проводники кабелей в сигнальные гнёзда оборудования (заземляющие проводники выделяются либо тёмной изоляцией, либо увеличенной длиной);
    г) использовать устройства мобильной радиосвязи как в активном, так и в дежурном режимах работы;
    д) оставлять без наблюдения схему, находящуюся под напряжением.
11. В случае аварии на рабочем месте, порчи приборов, перегорания предохранителей и т.п. вы обязаны немедленно выключить напряжение, питающее данную схему, и сообщить о происшествии преподавателю или лаборанту.
12. Бережно относитесь к приборам и лабораторному оборудованию.

13. Работу на оборудовании проводите в строгом соответствии с требованиями заданий, изложенными в методических указаниях к лабораторным работам.
14. Не разрешается вешать сумки, пальто, головные уборы, одежду и прочие предметы на лабораторное оборудование, а также находиться в лаборатории в верхней одежде.
15. Если с вашим товарищем произошел несчастный случай, немедленно окажите ему первую помощь и сообщите об этом преподавателю или лаборанту.
16. По окончании работы приведите в порядок свое рабочее место и заявите преподавателю или лаборанту об окончании работы. Только после разрешения вы можете оставить лабораторию.

Виновные в нарушении настоящих правил привлекаются к ответственности в соответствии с трудовым законодательством и правилами внутреннего распорядка.

Порядок выполнения и оформления лабораторных работ

Лабораторные работы по курсу «РТЦиС» выполняются на универсальной лабораторной установке фронтальным методом после изучения соответствующих разделов лекционного курса. Работы, каждая продолжительностью четыре академических часа, выполняются бригадным методом. Каждой бригаде выдается общее задание на предварительный расчет и эксперимент.

Лабораторная работа включает предварительную (домашнюю) подготовку и экспериментальную работу в лаборатории. Домашняя подготовка предусматривает изучение теоретического материала по теме работы, выполнение предварительных расчетов и графических построений. Занятие в лаборатории состоит из следующих этапов:

- проверка преподавателем подготовленности студента к выполнению лабораторной работы;
- выполнение эксперимента;
- обработка результатов эксперимента (построение графиков, вычисление заданных параметров, сравнение результатов расчёта и эксперимента);
- проверка результатов эксперимента преподавателем;
- защита предыдущей работы.

Каждый студент оформляет персональный отчет по выполненной лабораторной работе. Отчеты по всем лабораторным работам помещаются в отдельной тетради, которая после окончания цикла лабораторных работ сдаётся на кафедру.

Отчеты о лабораторных работах должны быть оформлены в соответствии с требованиями ЕСКД, графическая часть отчета должна быть оформлена аккуратно, с указанием масштабов и сопровождаться соответствующими подписями.

Защита лабораторной работы проводится каждым студентом индивидуально по материалам отчета. Подготовку к защите рекомендуется проверить ответами на контрольные вопросы, которые приведены в каждой работе.

Лабораторная работа № 1

Изучение основных радиоизмерительных приборов

Цели работы

Изучение генератора сигналов специальной формы АКИП-3407 и цифрового запоминающего осциллографа АКИП-4115, используемых при выполнении цикла лабораторных работ по курсу РТЦиС.

Домашнее задание

Ознакомиться с краткой инструкцией по использованию генератора сигналов специальной формы АКИП-3407 и цифрового запоминающего осциллографа АКИП-4115. Обратить внимание, что если изображение на экране осциллографа нестабильно (изображение «бежит»), то это говорит об отсутствии синхронизации Рис. 1.1.

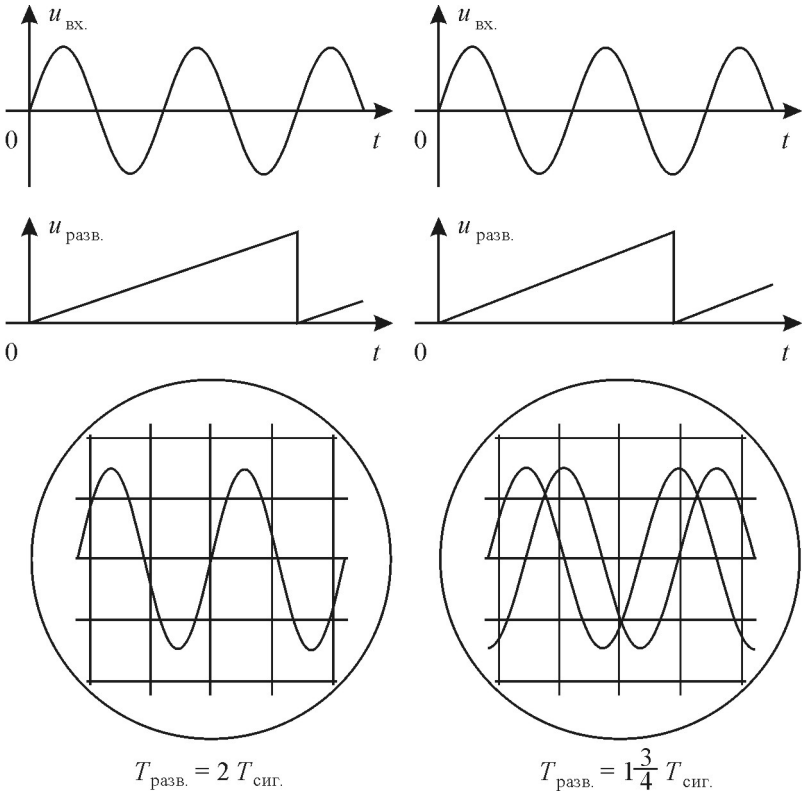


Рис. 1.1. Изображение колебания на экране осциллографа: а — при наличии синхронизации, б — при отсутствии синхронизации

Порядок выполнения работы

1. Получить разрешение преподавателя или лаборанта на выполнение лабораторной работы.
2. Проверить подключение генератора сигналов специальной формы АКИП-3407 и цифрового запоминающего осциллографа АКИП-4115 к силовой сети. Убедиться, что выход А генератора сигналов подключен ко входу КАН 1 осциллографа, а выход В к ко входу КАН. 2. Кабелем должны быть соединены выход «синхронизация» генератора со входом осциллографа «внешняя синхронизация». Включить приборы. Кнопка включения питания « 0 / I » генератора АКИП-3407 находится на задней его панели слева под шнуром питания; после включения питания начинает мигать кнопка включения рабочего режима, расположенная в левом нижнем углу передней панели генератора, нажатие на которую завершает операцию включения генератора. Кнопка включения питания осциллографа АКИП-4115 находится на верхней стороне корпуса слева.
3. Установить на выходе канала «А» генератора сигналов специальной формы АКИП-3407, используя его органы управления и индикации, расположенные на передней панели, гармоническое напряжение с амплитудным значением $U_{\text{m}} = (1 + 0{,}5 \cdot K)$ В и частотой $f_{\text{н}} = (110 + 5 \cdot K)$ кГц, где K — номер бригады. Для этого выполнить следующие действия.

   3.1 Выбрать режим работы генератора «Генерация немодулированного сигнала», нажав для этого функциональную кнопку «Немодул сигнал» на передней панели устройства.

   3.2 Чтобы установить амплитудное значение колебания, требуется выбрать пункт экранного меню «Амплит/ВерхУров» (кнопки управления экранным меню

расположены вдоль нижнего края экрана напротив соответствующих пунктов меню), затем с помощью цифровой клавиатуры ввести значение размаха колебания (размах колебания для синусоиды равен удвоенной амплитуде), после чего с помощью экранного меню указать единицы измерения «Впик».

3.3 Чтобы задать частоту колебания, требуется выбрать пункт экранного меню «Частота/Период», затем с помощью цифровой клавиатуры ввести величину $f_н$ и указать единицы измерения «кГц».

3.4 Подачу сигнала на выход генератора (разъёмы «КАН А» и «КАН В») можно включать и отключать. Для включения выхода необходимо сначала активировать канал, для которого следует включить выход. Активный канал выделяется зелёным цветом в верхней части экрана. Для включения выхода необходимо нажать функциональную кнопку «Выход», при этом над разъёмом должен загореться индикатор «КАН А».

4. Настроить осциллограф. Прежде всего, необходимо установить стандартные настройки осциллографа («настройки по умолчанию» или «начальные установки»), для этого достаточно нажать кнопку «НАЧ УСТ». Затем нажать кнопку «КАН 1» и выбрать в разделе «Связь входа» экранного меню «КАН1» (расположено по правому краю экрана осциллографа) режим связи канала 1 по переменному току — режим «АС» (такой режим называется также «закрытым входом»). Управление экранным меню осуществляется с помощью кнопок управления, размещённых вдоль правого края экрана осциллографа, напротив соответствующих пунктов экранного меню. Настройки каналов вертикального отклонения символически отображаются в левом нижнем углу экрана. После переключения в режим связи по переменному току значок «CH1⎓1.00V»

должен смениться значком «CH1~1.00V». В правой части этой строки указывается масштаб изображения по вертикали — коэффициент вертикального отклонения. Указанная в данном случае величина «1.00V» означает, что одна клетка экранной сетки соответствует 1 В входного напряжения осциллографа.

<u>Замечание:</u> во всех лабораторных работах входы осциллографа должны быть предварительно переведены в режим работы по переменному току (режим «АС», «закрытый вход»)!

5. Пронаблюдать полученное в п. 3 высокочастотное напряжение на экране осциллографа АКИП-4115.
   5.1. Регулятором коэффициента вертикального отклонения канала 1 (расположен над кнопкой «КАН 1» на передней панели осциллографа) установить такой масштаб изображения по вертикали, при котором осциллограмма отображается наиболее подробно (то есть занимает не менее 40% экрана). Сигнал, поступающий на КАН1 на экране подсвечивается желтым цветом.
   5.2. Регулятором времени развёртки (расположен под надписью «ГОРИЗОНТ») установить такой масштаб по горизонтальной оси изображения на экране осциллографа, при котором на осциллограмме видны 1…2 полных периодов колебания.
   5.3. По изображению, полученному на экране осциллографа измерить амплитуду и период этого напряжения. Рассчитать частоту колебания. Сравнить полученные результаты с заданными. Зарисовать осциллограмму колебания с указанием масштаба по осям. При измерениях следует учитывать масштаб изображения по осям. Например, если в нижнем левом углу экрана указано «CH1~ 200mV», это означает, что одно деление

(клетка масштабной сетки) по вертикали соответствует напряжению 200 мВ. Надпись в средней части у нижнего края экрана «M 1.00μs» говорит о том, что одно деление (клетка) по горизонтали соответствует интервалу времени 1 мкс. Для удобства измерений осциллограмму можно смещать по вертикали и горизонтали ручками «СМЕЩЕНИЕ». Если необходимо вернуть смещениям нулевое значение, достаточно нажать на регулятор как на кнопку. **Кнопкой «КАНА» отключите канал А генератора от осциллографа. Если кнопка не погасла нажмите на неё повторно.**

6. Установить на выходе канала «В» генератора АКИП-3407, используя органы управления, расположенные на передней панели устройства, гармоническое напряжение с амплитудным значением $U_m = (3 + 0{,}5 \cdot K)$ В и частотой $F = (400 + 500 \cdot K)$ Гц, где K — номер бригады). Для переключения на работу с каналом «В» следует нажать функциональную кнопку «Кан А Кан В». Для канала В цвет параметров сигнала красный. Установка параметров колебания выполняется так же, как и для канала «А». Для включения выхода необходимо нажать функциональную кнопку «Выход», при этом над разъёмом должен загореться индикатор «КАН В».
7. Пронаблюдать полученное в п. 6 низкочастотное напряжение на экране осциллографа АКИП-4115, нажав поочередно кнопки «КАН 1», «КАН 2». Установить связь АС по каналу 2. Сигнал, поступающий на канал В, на экране подсвечивается голубым цветом. По изображению, полученному на экране осциллографа измерить амплитуду и период этого напряжения. Рассчитать частоту колебания. Сравнить полученные результаты с заданными. Зарисовать осциллограмму колебания с указанием масштаба по осям.

8. Подать полученные в п. 3 и п. 6 колебания высокой и низкой частоты с каналов «А» и «В» генератора АКИП-3407 на осциллограф АКИП-4115 ко входам КАН1 КАН2 соответственно. Для этого необходимо нажать кнопку «КАН А». Копка должна загореться. Ручками смещение и размер по вертикали соответствующих каналов разместить изображение высокочастотного колебания (желтый цвет) вверху экрана и изображение низкочастотного колебания (голубой цвет) в нижней части экрана и между ними оставалась свободная зона. Ручкой «горизонт» добейтесь чтобы на экране было изображение двух или трех периодов низкочастотного колебания. Зарисовать полученную осциллограмму с указанием масштаба по осям.

   8.1. Пронаблюдать сумму этих двух колебаний. Для этого на передней панели осциллографа нажать кнопку «МАТЕМ». При нажатии кнопки «МАТЕМ» она загорается и на экран выводится меню математики. Верхней кнопкой управления меню ввести оператор «А+В».

   8.2. Установить частоту $F = f_н - 5$ кГц и амплитуду канала В равной амплитуде канала А. Пронаблюдать биения двух гармонических колебаний близких частот. Если изображение на экране нестабильно, то следует использовать однократный запуск развертки осциллографа, нажав кнопку «однокр». Обратить внимание на изменение формы колебания по сравнению с колебанием по п. 8.1. Измерить частоту биений. Зарисовать осциллограмму колебания с указанием масштаба по осям.

   8.3. Отключить канал «В» генератора. Для этого активировав канал «В» нажатием кнопки «Кан А Кан В» (активный канал выделяется зелёным

шрифтом), нажать кнопку «Выход». Индикатор над выходом «КАН В» должен погаснуть. Нажав кнопку «математика» отключить математику осциллографа (кнопка должна погаснуть).

9. Получить на выходе функционального генератора АКИП-3407 тонально амплитудно-модулированное (АМ) колебание с частотой несущей $f_н$ (по п. 3), модулирующей частотой F (по п. 6) и глубиной модуляции $M = (0{,}2 + 0{,}05 \cdot K)$ (K — номер бригады). Для этого выбрать режим работы «Модуляция» (нажать кнопку «Модуляция» на передней панели генератора). В режиме «Модуляция» способен работать только канал «А». Частота несущей $f_н$ задаётся в разделе «Частота» экранного меню генератора, действующее значение $U_{вч}$ — в разделе «Амплитуд». Кроме того, в разделе «Тип Модул» необходимо выбрать тип модуляции «АМ», а затем, выбрав пункт меню «Дальше» задать глубину M (в процентах) и частоту F модулирующего гармонического колебания в разделах «АМ Глубина» и «АМ Частота».
10. Пронаблюдать полученное в п. 8 АМ-колебание на экране осциллографа, добиваясь получения 2…3 периодов огибающей АМ-колебания, и зарисовать осциллограмму колебания с указанием масштаба по осям. Определить по осциллограмме значение коэффициента глубины модуляции M на основе, соотношения $M = (A - - B) / (A + B)$, где A и B — соответственно максимальный и минимальный размеры изображения АМ-колебания по вертикали, и сравнить полученное значение с заданным. Для удобства можно перейти в режим однократного запуска развёртки осциллографа, нажав кнопку «ОДНОКР». В режиме однократного запуска осциллограмма измеряется один раз по каждому нажатию кнопки «ПУСК/СТОП».

10.1. Пронаблюдать АМК, когда модуляция выполняется управляющим сигналом треугольной формы. Для этого активировать параметр «форма» , нажав соответствующую кнопку «ФОРМА» снизу от экрана , выбрать треугольник, нажав соответствующую кнопку внизу экрана, и зарисовать осциллограмму.

10.2. Пронаблюдать АМК, когда модуляция выполняется управляющим сигналом прямоугольной формы. Для этого выбрать прямоугольник, нажав соответствующую кнопку внизу экрана, и зарисовать осциллограмму.

10.3. Пронаблюдать АМК, когда модуляция выполняется импульсом. Для этого выбрать кнопкой меню внизу экрана «Импульс», нажав соответствующую кнопку внизу экрана, и зарисовать осциллограмму.

11. Получить с генератора сигналов периодическую последовательность прямоугольных радиоимпульсов. Для этого нажать кнопку «возврат», установить частоту $f_н$ =1 мГц, нажать кнопку меню внизу экрана «Дальше 1 из 2» и установить глубину модуляции 100 %. Измерить по масштабу длительность и амплитуду радиоимпульсов. Зарисовать полученную осциллограмму.

12. Получить с генератора сигналов периодическую последовательность прямоугольных видеоимпульсов с частотой повторения F = (8+К) кГц и длительностью импульса $\tau = (10 + 2 \cdot K)$ мкс, где K — номер бригады и положительной полярностью для четных номеров и отрицательной полярностью для нечетных номеров. Для этого нажать кнопку «немодулир. сигнал» , нажать кнопки «форма», «импульс», «возврат» и установить частоту повторения F и длительность импульса τ. Для установки полярности нажать кнопку меню внизу эк-

рана «Дальше 1 из 2» и установить полярность. Зарисовать полученную осциллограмму. Измерить по масштабу длительность, частоту повторения и амплитуду импульсов.

13. Предъявить полученные результаты преподавателю и только после их утверждения выключить приборы. При выключении сначала отключить работу приборов нажатием кнопок включения-выключения питания. Кнопка выключения питания осциллографа АКИП-4115 находится на верхней стороне корпуса слева. Выключая генератор АКИП-3407, следует сначала перевести его из рабочего режима в ждущий режим нажатием кнопки, расположенной в левом нижнем углу передней панели генератора, и только потом отключить питание генератора кнопкой « 0 / I », расположенной на его задней панели слева под шнуром питания.
14. Привести в порядок рабочее место.

Содержание отчёта

1. Результаты измерений и осциллограммы (с указанием масштабов по осям координат).
2. Краткие выводы (сравнение результатов измерений).

Контрольные вопросы

1. Каково назначение основных элементов лабораторной установки?
2. Каковы основные характеристики и правила пользования генератором АКИП-3407?
3. Как получить АМ-колебания на выходе генератора АКИП-3407?
4. Каковы основные технические характеристики осциллографа АКИП-4115?
5. Из каких соображений выбираются частота развёртки и вид синхронизации осциллографа?

6. Как измерить с помощью осциллографа амплитуду, частоту, длительность колебания?
7. Как получаются биения двух гармонических колебаний разной частоты? Поясните получение биений с помощью построения векторной диаграммы.
8. Как определяется частота биений? Как измерить частоту биений с помощью осциллографа?

Лабораторная работа № 2

Спектральный анализ периодического колебания

Цель работы

Изучение спектрального состава периодической последовательности прямоугольных видеоимпульсов при различных частотах повторения и длительностях импульсов. Анализ спектров радиосигналов АМ.

Теоретические сведения

Среди непрерывных детерминированных колебаний важное место занимают периодические колебания, описываемые функцией

$$s(t) = s(t + nT), \tag{2.1}$$

где T — период колебания, n — любое целое число (0, ±1, ±2, ±3, …).

Такие колебания можно представить рядом Фурье в тригонометрической форме:

$$s(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cos(k\Omega t + \varphi_k), \tag{2.2}$$

или в комплексной форме:

$$s(t) = \frac{1}{2} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \underline{A}_k e^{jk\Omega t}, \tag{2.3}$$

где

$$\Omega = 2\pi F = \frac{2\pi}{T}\,,\ \underline{A}_k = \frac{A_k}{2}e^{j\varphi_k}\,,$$

$$\frac{A_0}{2} = \frac{1}{T}\int_0^T s(t)dt\,,\ A_k = \frac{2}{T}\int_0^T s(t)e^{-jk\Omega t}dt\,.$$

Ряд (2.2) описывает периодическое колебание $s(t)$ суммой постоянной составляющей $A_0/2$ и гармонических колебаний с амплитудами A_k, начальными фазами φ_k и частотами $k{\cdot}F$. Такие колебания принято называть гармониками. Упорядоченное по частоте множество амплитуд $\{A_k\}$ называют амплитудным спектром, а упорядоченное по частоте множество начальных фаз $\{\varphi_k\}$ — фазовым спектром колебания $s(t)$.

В соответствии с выражением (2.3) амплитудный спектр периодического колебания можно представить в виде упорядоченного множества $\{\underline{A}_k\}$, в которое входят гармоники положительных частот и отрицательных частот (двусторонний спектр). Это множество может быть изображено в виде спектральной диаграммы (рис. 2.1).

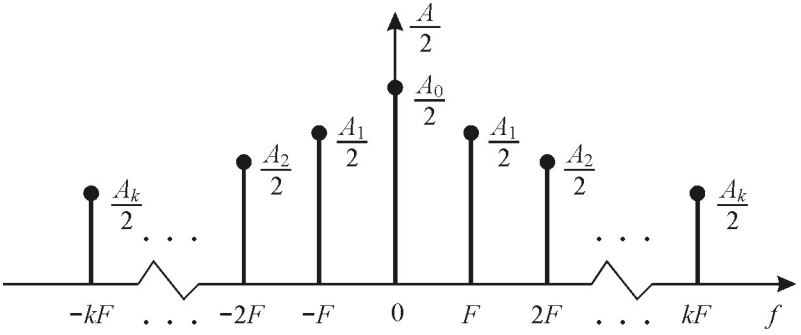


Рис. 2.1. Двусторонний амплитудный спектр сигнала

Для периодической последовательности прямоугольных видеоимпульсов с амплитудой U, длительностью им-

пульса $\tau_и$ и частотой повторения импульсов $F = 1/T$ амплитуды гармоник определяются выражением:

$$A_k = \frac{2U\tau_и}{T} \cdot \left| \frac{\sin(k\pi\tau_и / T)}{k\pi\tau_и / T} \right|, \qquad (2.4)$$

где $k = 0, 1, 2, \ldots$

Амплитудно-модулированное колебание (АМК) при тональной модуляции можно представить в виде:

$$u(t)=U_m(1+M\cos(\Omega t+\gamma))\cos(\omega_н t+\varphi),$$

где M - коэффициент глубины модуляции, Ω- частота модуляции, $\omega_н$, γ и φ- начальные фазы.

Ширина спектра ($\Delta\omega_c$) при произвольном управляющем колебании определяется как:

$$\Delta\omega_c=2\Omega_{max},$$

где Ω_{max} – максимальная частота модулирующего колебания.

Для выполнения лабораторной работы используются цифровой осциллограф АКИП-4115 и генератор сигналов специальной формы АКИП-3407.

Домашнее задание

1. Ознакомиться с описанием измерительных приборов (см. приложение).
2. В соответствии с таблицей заданий записать аналитические выражения и нарисовать форму (с указанием масштаба по осям координат) следующих сигналов:
   - гармонического колебания с амплитудным значением U_m= (1+0,5К) В и частотой $F = F^*$;

- периодической последовательности прямоугольных видеоимпульсов с частотой повторения $F = F^*$, амплитудой U^*, длительностью $\tau_и^*$.

Таблица заданий

Амплитуда, В	Частота повторения, кГц	Длительность, мкс
$U^* = 2 + K$	$F^* = 8 + 0{,}2 \cdot K$	$\tau_и^* = 20 + 2 \cdot K$

K — номер бригады.

3. Рассчитать и построить амплитудные спектры сигналов с параметрами по п. 2. Число рассчитываемых значений гармоник импульсной последовательности должно быть не менее 10. При построении двустороннего спектра периодической последовательности прямоугольных видеоимпульсов по оси абсцисс откладывать значения частоты f в килогерцах, по оси ординат — нормированные значения:

$$\frac{A_k}{A_0} = \left| \frac{\sin(k\pi\tau_и / T)}{k\pi\tau_и / T} \right|,$$

где $k = 0, 1, 2, \ldots$ Результаты расчёта свести в таблицу.

4. Рассчитать и построить амплитудные спектры импульсной последовательности по п. 3 для:

   а) $U = U^*$, $F = F^*$, $\tau_и = 0{,}5 \cdot \tau_и^*$;

   б) $U = U^*$, $F = 0{,}5 \cdot F^*$, $\tau_и = \tau_и^*$.

   Все амплитудные спектры для импульсных последовательностей построить в одном масштабе.

5. Рассчитать активную ширину спектра периодической последовательности прямоугольных радиоимпульсов при частоте несущего колебания $f_н$ = 500 кГц + 10 К. ,

частоте повторения $F = F^*$ и длительности импульса $\tau_и = \tau_и^*$.

6. Рассчитать и построить амплитудный спектр радиосигнала с тональной АМ при $f_н$ = 500 кГц + 10 К, М=0,4 + 0,3□К и частоте модуляции F = F^*.

Лабораторное задание

1. Получить разрешение преподавателя или лаборанта на выполнение лабораторной работы.
2. Включить приборы. Подготовить лабораторный генератор, лабораторную установку и осциллограф к работе. Сначала подать на рабочее место напряжение питания 220 В из сети переменного тока и только после этого включить приборы. Кнопка включения питания « 0 / I » генератора АКИП-3407 находится на задней его панели слева под шнуром питания; после включения питания начинает мигать кнопка включения рабочего режима, расположенная в левом нижнем углу передней панели генератора, нажатие на которую завершает операцию включения генератора. Кнопка включения питания осциллографа АКИП-4115 находится на верхней стороне корпуса слева.
3. Настроить осциллограф. Прежде всего, необходимо установить стандартные настройки осциллографа («настройки по умолчанию» или «начальные установки»), для этого достаточно нажать кнопку «НАЧ УСТ». Затем нажать кнопку «КАН 1» и выбрать в разделе «Связь входа» экранного меню «КАН1» (расположено по правому краю экрана осциллографа) режим связи канала 1 по переменному току — режим «АС» (такой режим называется также «закрытым входом»). Управление экранным меню осуществляется с помощью кнопок управления, размещённых вдоль правого края

экрана осциллографа, напротив соответствующих пунктов экранного меню. Настройки каналов вертикального отклонения символически отображаются в левом нижнем углу экрана. После переключения в режим связи по переменному току значок «CH1---1.00V» должен смениться значком «CH1~1.00V». В правой части этой строки указывается масштаб изображения по вертикали — коэффициент вертикального отклонения. Указанная в данном случае величина «1.00V» означает, что одна клетка экранной сетки соответствует 1 В входного напряжения осциллографа.

Замечание: во всех лабораторных работах входы осциллографа должны быть предварительно переведены в режим работы по переменному току (режим «AC», «закрытый вход»)!

4. Получить на выходе канала «А» генератора АКИП-3407 гармоническое (синусоидальное) колебание с амплитудным значением $U = 3$ В и частотой $F = F^*$ в соответствии с таблицей заданий. Для этого в разделах экранного меню генератора «Частота/Период» и «Амплит/ВерхУров» задать, соответственно, значения частоты (единицы измерения «кГц») и амплитудны напряжения 3 В (единицы измерения «Впик»), а затем нажать функциональную кнопку «Выход» на передней панели устройства. Неправильно набранную цифру можно стереть клавишей «◄», расположенной на передней панели генератора.
5. Пронаблюдать полученное в п. 3 колебание на экране осциллографа, выбрав наиболее удобный масштаб, при котором на экране отображается 3…4 периода колебания (по высоте изображение тоже должно быть крупным). Зарисовать форму колебания с обозначением масштаба величин по осям. По осциллограмме вычислить амплитуду, действующее значение, период и час-

тоту колебания. Чтобы осциллограмма не «бежала» по экрану требуется выполнить синхронизацию: плавно поворачивая ручку «УРОВЕНЬ», которая находится в правом нижнем углу передней панели осциллографа, требуется найти такое её положение, при котором изображение на экране останавливается.

6. Пронаблюдать амплитудный спектр гармонического колебания. Для этого уменьшить размер изображения по вертикали до двух клеток. Сместить изображение в верхнюю часть экрана, установить , меняя частоту развертки, масштаб по горизонтали 500 мкс, нажать кнопку «математика» и получить изображение амплитудного спектра (на экране спектр отображается фиолетовым цветом). После этого ручкой «смещение» по вертикали переместить изображение спектра в нижнюю часть экрана и установить удобный масштаб. По спектру измерить частоту гармонического колебания. Для этого ручкой «смещение» по горизонтали сдвинуть центр спектральной линии под курсор «Т» (положение курсора «Т» отображается вверху экрана). Записать значение частоты с экрана осциллографа. Меняя частоту на генераторе сигналов, убедиться, что спектральная линия перемещается по оси частот. Зарисовать или сфотографировать спектр колебания. Отключить «математику», для этого нажать кнопку «математика» (клавиша погаснет).
7. Получить на выходе А генератора сигналов периодическую последовательность прямоугольных видеоимпульсов с параметрами по п.2 домашнего задания. Для этого нажать клавишу «форма» (справа от экрана), выбрать «импульс» (внизу экрана), нажать клавишу «возврат» (внизу экрана) и установить частоту повторения, амплитуду (Впик), длительность импульса в соответствии с п.2.

8. Пронаблюдать полученное в п. 7 колебание на экране осциллографа, выбрав наиболее удобный масштаб, при котором на экране отображается 3…4 периода колебания (по высоте изображение тоже должно быть крупным). Зарисовать форму колебания с обозначением масштаба величин по осям. По осциллограмме вычислить амплитуду, период и частоту колебания. Чтобы осциллограмма не «бежала» по экрану требуется выполнить синхронизацию: плавно поворачивая ручку «УРОВЕНЬ», которая находится в правом нижнем углу передней панели осциллографа, требуется найти такое её положение, при котором изображение на экране останавливается.
9. Пронаблюдать амплитудный спектр периодической последовательности прямоугольных импульсов. Для этого уменьшить размер изображения по вертикали до двух клеток. Сместить изображение в верхнюю часть экрана, установить , меняя частоту развертки, масштаб по горизонтали 500 мкс, нажать кнопку «математика» и получить изображение амплитудного спектра (на экране спектр отображается фиолетовым цветом). После этого ручкой «смещение» по вертикали переместить изображение спектра в нижнюю часть экрана и установить удобный масштаб. По спектру измерить частоты гармоник в главном лепестке. Для этого ручкой «смещение» по горизонтали сдвинуть центр спектральной линии под курсор «Т» (положение курсора «Т» отображается вверху экрана). Зарисовать или сфотографировать спектр колебания. Определить число гармоник в главном лепестке спектра и измерить ширину главного лепестка спектра. Отключить «математику», для этого нажать кнопку «математика» (клавиша погаснет).
10. Повторить пункты 8 и 9 для параметров п.4 а домашнего задания.

11. Повторить пункты 8 и 9 для параметров п.4 б домашнего задания.
12. Получить на выходе генератора сигналов радиоимпульс с параметрами $f_н$ и F, указанными в п.5 домашнего задания**.** Для этого
    Нажать клавишу «форма» (справа от экрана), выбрать «синус», нажать клавишу «возврат», установить частоту несущего колебания . Затем нажать клавишу «модуляция», выбрать тип модуляции – АМ, перейти на стр.2 (клавиша «дальше 1 из 2» справа внизу экрана) и установить глубину АМ - 100%, частоту АМ - $F = F^*$, нажать клавишу «форма» (внизу экрана), нажать клавишу «форма» справа от экрана и выбрать «импульс»,
13. Повторить пункты 8 и 9 лабораторного задания.
14. Получить на выходе генератора сигналов АМК с параметрами, указанными в п.6 домашнего задания. Для этого, имея в виду, что несущая частота и частота модуляции установлены в п. 12, установить, нажав клавишу « глубина АМ», установить коэффициент М по п.6 в процентах.
15. Повторить пункты 8 и 9 лабораторного задания. Измерить ширину спектра.
16. Получить АМК с $M_1 = 0{,}5 \cdot M$. Для этого, нажав клавишу « глубина АМ», установить коэффициент M_1 в процентах.
17. Повторить пункты 8 и 9 лабораторного задания. Измерить ширину спектра.
18. Предъявить полученные результаты преподавателю и только после их утверждения выключить приборы. При выключении сначала отключить работу приборов нажатием кнопок включения-выключения питания и только после этого отключить приборы от сети питания переменного тока напряжением 220 В. Кнопка выключения питания осциллографа АКИП-4115 находит-

ся на верхней стороне корпуса слева. Выключая генератор АКИП-3407, следует сначала перевести его из рабочего режима в ждущий режим нажатием кнопки, расположенной в левом нижнем углу передней панели генератора, и только потом отключить питание генератора кнопкой « 0 / I », расположенной на его задней панели слева под шнуром питания.

19. Привести в порядок рабочее место.

Содержание отчёта

1. Результаты домашних расчетов и графических построений.
2. Результаты измерений, осциллограммы, спектральные диаграммы. Рассчитанные и экспериментальные спектральные диаграммы импульсной последовательности с одинаковыми параметрами должны быть построены на одном графике.
3. Выводы и оценки полученных результатов. Выводы и оценки должны быть конкретными, обоснованными и проиллюстрированы результатами расчетов и экспериментов.

Контрольные вопросы

1. Что такое амплитудный и фазовый спектры периодических колебаний?
2. Что такое амплитудный и фазовый спектры непериодических колебаний?
3. Как влияет изменение амплитуды, длительности импульса и периода повторения импульсной последовательности на параметры её спектра?
4. Как влияют изменение полярности, смещение (сдвиг) колебания во времени на его спектр?
5. Как связаны между собой спектры непериодического и периодического колебаний одинаковой формы?

6. Дайте понятие ширины спектра. От каких параметров импульсной последовательности зависит ширина спектра?
7. Как оценить ширину спектра произвольного колебания?
8. Чем отличается спектр радиоимпульса от спектра его огибающей?
9. Как изменяется спектр радиосигналов (радиоимпульса и АМК) при изменении параметров модуляции.
10. Изобразите временные и спектральные диаграммы колебаний исследуемых в работе колебаний.

Библиографический список

1. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высшая школа, 1988. — С. 41 – 43, 103 – 107.
2. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Радио и связь, 1986. — С. 20 – 23, 26 – 27, 74 – 78.

Лабораторная работа № 3

Синтез сигналов на основе теоремы Котельникова

Цель работы

Изучение практических вопросов синтеза сигналов по дискретным отсчётам в соответствии с теоремой Котельникова.

Теоретические сведения

В теории и практике передачи сигналов широко используется теорема Котельникова (теорема отсчётов). Согласно этой теореме сигнал $s(t)$, ограниченный по спектру наивысшей частотой $\omega_в = 2\pi f_в$, можно представить в виде ряда:

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} s(nT) \frac{\sin \omega_{\text{в}}(t - nT)}{\omega_{\text{в}}(t - nT)} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} s(nT)\, \psi_n(t)\,, \qquad (3.1)$$

где

$T \le 1 / (2 \cdot f_{\text{в}})$ — интервал между отсчётами,

$s(nT)$ — значения выборок сигнала $s(t)$ в моменты времени $t = nT$,

$\psi_n(t) = \dfrac{\sin \omega_{\text{в}}(t - nT)}{\omega_{\text{в}}(t - nT)}$ — ортогональные функции.

Из (3.1) следует, что отсчёты $s(nT)$ сигнала $s(t)$ являются коэффициентами C_n ряда Фурье при разложении сигнала по системе ортогональных функций $\psi_n(t)$.

Процедуру взятия выборок удобно рассматривать как умножение функции $s(t)$ на периодическую последовательность тактовых импульсов. В качестве тактовых импульсов обычно рассматривают периодическую последовательность дельта-функций. Тогда совокупность выборок сигнала $s(t)$ можно представить в виде

$$s_{\text{T}}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} s(nT)\delta(t - nT)\,, \qquad (3.2)$$

а спектр дискретного сигнала $s_{\text{T}}(t)$ в виде суммы копий спектра сигнала $s(t)$, сдвинутых по частоте на 0, $\pm\omega_{\text{T}}$, $\pm 2\omega_{\text{T}}$, $\pm 3\omega_{\text{T}}$ и т.д.:

$$\underline{S}_{\text{T}}(\omega) = \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \underline{S}(\omega - n\omega_{\text{T}})\,, \qquad (3.3)$$

где $\omega_{\text{T}} = 2\pi f_{\text{T}} = 2\pi / T$ — частота выборок.

На рис. 3.1 приведено спектральное пояснение теоремы Котельникова для различных частот выборок.

Если $\omega_{\text{T}} > 2\omega_{\text{в}}$, т.е. $T < 1/(2 \cdot f_{\text{в}})$, как показано на рис. 3.1,б, то можно по выборкам восстановить исходный сигнал $s(t)$, пропустив дискретный сигнал $s_{\text{T}}(t)$ через иде-

альный фильтр нижних частот (НЧ) с комплексным коэффициентом передачи:

$$\underline{H}(\omega)=\begin{cases}\dfrac{\pi}{\omega_{\text{в}}} & \text{при}\,|\,\omega\,|\le\omega_{\text{в}},\\ 0 & \text{при}\,|\,\omega\,|>\omega_{\text{в}},\end{cases} \qquad (3.4)$$

где $\omega_{\text{в}} = 2\pi f_{\text{в}}$.

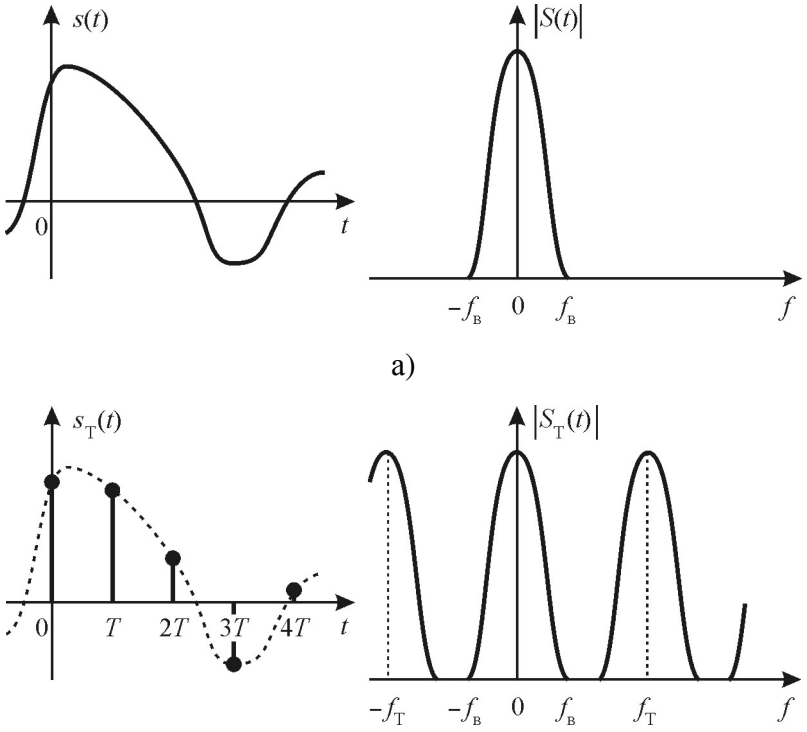
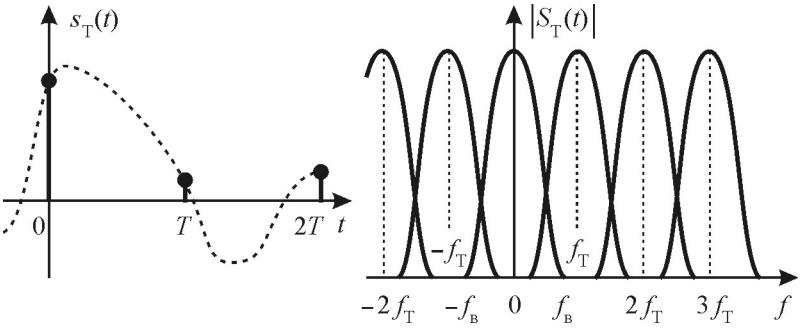
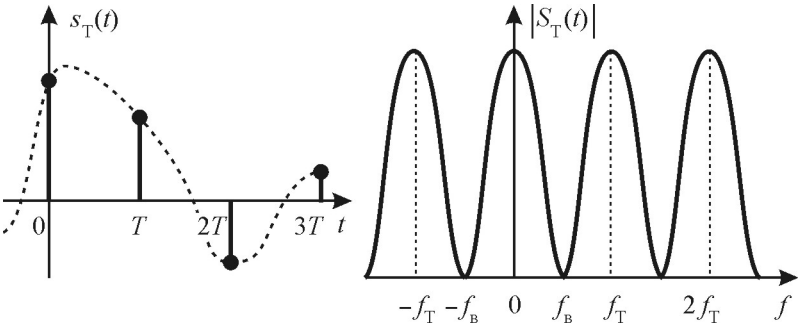


Рис. 3.1. Сигналы и их спектры. Спектральное пояснение теоремы Котельникова: а — непрерывный сигнал $s(t)$ и его спектр, б — дискретный сигнал при $T < 1/(2{\cdot}f_{\text{в}})$ и его спектр



в)



г)

Рис. 3.1. (продолжение) Сигналы и их спектры. Спектральное пояснение теоремы Котельникова: в — дискретный сигнал при $T > 1/(2 \cdot f_в)$ и его спектр, г — дискретный сигнал при $T = 1/(2 \cdot f_в)$ и его спектр

Импульсная характеристика такого фильтра

$$g(t) = \frac{\sin \omega_в t}{\omega_в t} \tag{3.5}$$

совпадает с функцией отсчётов $\psi_0(t)$ и, следовательно, выходной сигнал фильтра при подаче на его вход сигнала $s_T(t)$ будет определяться выражением (3.1).

Если же $T > 1/(2 \cdot f_в)$, т.е. $\omega_Т < 2\omega_в$ (рис. 3.1,в), то копии спектра сигнала $s(t)$ перекрываются и восстановление аналогового сигнала из дискретного невозможно.

Минимальный интервал между выборками $T = 1/(2 \cdot f_в)$, как показано на рис. 3.1,г, что и утверждает теорема Котельникова.

При практическом применении теоремы Котельникова при восстановлении сигнала по отсчетам неизбежно возникают погрешности. Причины для этого следующие.

1. Сигналы с ограниченным спектром бесконечны во времени, и поэтому восстановление мгновенного значения $s(t)$ принципиально требует учёта бесконечно большого числа дискретных отсчётов. Использование отсчётов, взятых в ограниченном временном интервале $(0, t_1)$, означает переход к конечному числу выборок сигнала $N = t_1/(2 \cdot f_в)$ в ряде Котельникова (3.1), что и вызывает появление ошибки восстановления.
2. Сигналы конечной длительности имеют частотные спектры бесконечной протяженности. В этом случае $\omega_в$ обычно выбирают так, чтобы в диапазоне частот от нуля до $\omega_в$ была сосредоточена основная (заданная) часть полной энергии сигнала. Очевидно, что погрешность восстановления будет тем больше, чем «медленнее» убывает спектр за пределами выбранной полосы $0..\omega_в$. Уменьшить погрешность можно, увеличивая частоту дискретизации $\omega_Т$.
3. Отклонение характеристик реальных фильтров от идеальных (3.4) и (3.5) приводит к появлению дополнительных погрешностей восстановления сигнала по отсчётам Котельникова, так как нарушается ортогональность функций $\psi_n(t)$. Наличие погрешностей, связанных с использованием реальных фильтров, можно объяснить и с частотных позиций. Так, в частности, неравномерность АЧХ в пределах полосы пропускания при-

водит к искажению спектра аналогового сигнала и, следовательно, к ошибке восстановления. Кроме того, АЧХ реального НЧ-фильтра отличается от прямоугольной (3.4), поэтому на выход фильтра «проходят» сдвинутые по частоте спектры аналогового сигнала, что также приводит к ошибке восстановления. Уменьшить эти ошибки можно применением фильтров высоких порядков и увеличением частоты дискретизации ω_T.

4. Выборки сигнала $s(t)$ имеют конечную длительность, что приводит к дополнительным погрешностям восстановления сигнала, так как в этом случае выборки, строго говоря, не являются отсчётами, и поэтому нарушаются условия ряда (3.1).

Описание лабораторной установки

Лабораторная работа выполняется на макете, который разделен на две части. Часть лабораторного макета, названная «Теорема отсчетов» и обозначенная цифрой «1», предназначена для изучения дискретизации и синтеза сигналов в соответствии с теоремой Котельникова. Передняя панель этой части приведена на Рис.3.2. В верхней части панели размещен генератор видео и радиоимпульсов. Длительность генерируемого импульса (0.2,0.4, 0.8)устанавливается переключателем «$\tau_{имп}$, мс». Видео или радиоимпульс устанавливается тумблером в соответствующем положении.

Импульс с генератора подаётся на блок дискретизатора. Частота дискретизации устанавливается переключателем $f_д$, кГц (10, 20, 40, 80) . Сигнал с генератора импульсов можно наблюдать с помощью осциллографа на гнездах «непр. сигнал», сигнал после дискретизации на гнездах «дискр. сигнал».

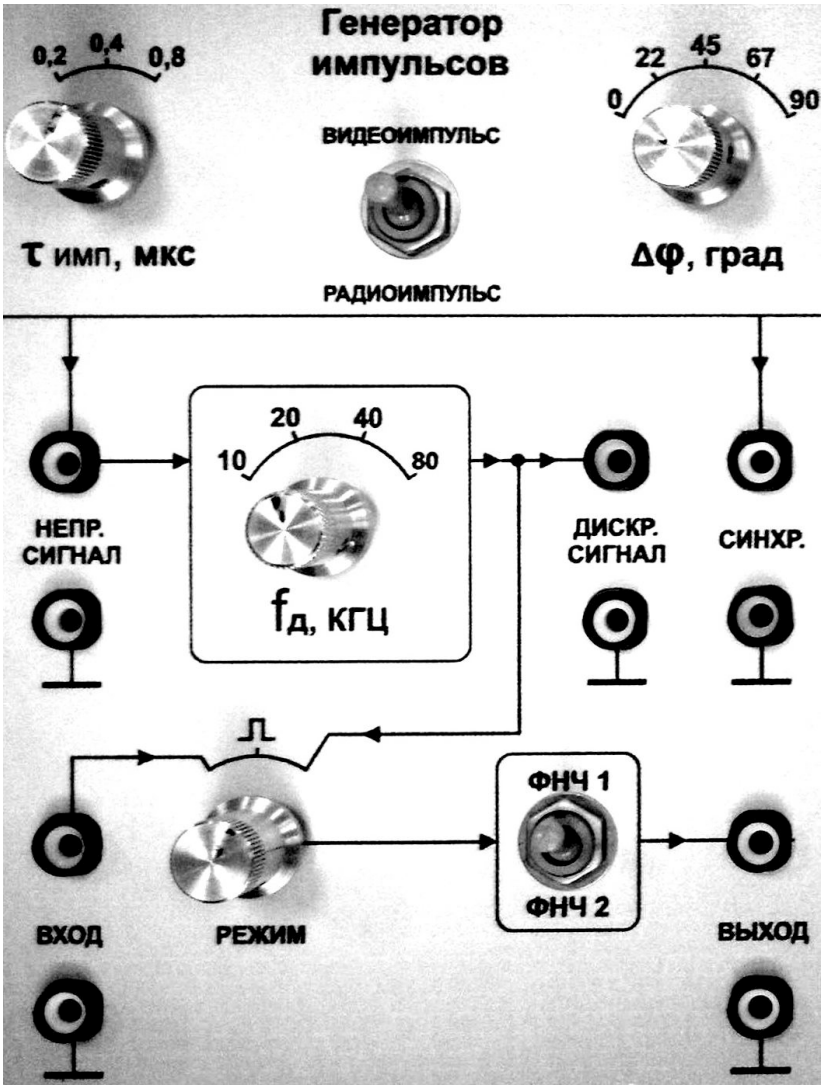


Рис 3.2 Передняя панель лабораторного макета для изучения дискретизации и синтеза сигналов в соответствии с теоремой Котельникова.

Блок восстановления непрерывного сигнала из дискретного расположен в нижней части панели и состоит из двух фильтров низкой частоты ФНЧ1 и ФНЧ2 и переключателя «Режим». Тумблером выбирается фильтр ФНЧ1 или ФНЧ2, который используется для восстановления непрерывного сигнала из дискретного. На гнезда «Вход» блока восстановления может быть подан сигнал от внешнего источника. Переключатель «Режим» имеет три фиксированных положения.

В крайне левом положении переключателя гнезда «Вход» подключены либо к фильтру ФНЧ1 либо к фильтру ФНЧ2 в зависимости от положения тумблера. Это положение переключателя используется для снятия частотных характеристик фильтров. ФНЧ2.

В среднем положении переключателя «Режим» снимается импульсная характеристика фильтров ФНЧ1 или ФНЧ2. Для этого на вход фильтров подается короткий импульс.

В крайне правом положении переключателя дискретный сигнал с блока дискретизатора подается на фильтр ФНЧ1 Или ФНЧ2. Реакция фильтров наблюдается на гнездах «Выход».

Домашнее задание

Домашние расчёты выполняются для нечетных номеров бригад $\tau_{и1}$=0,2 мс и $\tau_{и2}$=0,4 мс, а для четных номеров - $\tau_{и1}$=0,4 мс и $\tau_{и2}$=0,8 мс.

1. Изобразите временные диаграммы сигналов:
   а) видеоимпульсов единичной амплитуды прямоугольной формы длительностью $\tau_{и1}$ и $\tau_{и2}$;
   б) радиоимпульсов единичной амплитуды прямоугольной формы длительностью $\tau_{и1}$ и $\tau_{и2}$ и частотой заполнения (несущей частотой) $f_н$ = 10 кГц;

2. Ограничив спектр главным лепестком, построить спектры сигналов по п.1.
3. Построить спектры дискретных сигналов по п.1 для частот дискретизации 10. 20. 40. и 80 кГц.
4. Построить и рассчитать амплитудно-частотные и импульсные характеристики идеальных НЧ-фильтров с граничными частотами $f_в$ = 7 кГц и $f_в$ = 12 кГц.

Лабораторное задание

1. Получить разрешение преподавателя или лаборанта на выполнение лабораторной работы.
2. Включить приборы. Подготовить лабораторный генератор, лабораторную установку и осциллограф к работе. Сначала подать на рабочее место напряжение питания 220 В из сети переменного тока и только после этого включить приборы. Кнопка включения питания « 0 / I » генератора АКИП-3407 находится на задней его панели слева под шнуром питания; после включения питания начинает мигать кнопка включения рабочего режима, расположенная в левом нижнем углу передней панели генератора, нажатие на которую завершает операцию включения генератора. Кнопка включения питания осциллографа АКИП-4115 находится на верхней стороне корпуса слева.
3. Настроить осциллограф. Прежде всего, необходимо установить стандартные настройки осциллографа («настройки по умолчанию» или «начальные установки»), для этого достаточно нажать кнопку «НАЧ УСТ». Затем нажать кнопку «КАН 2» и выбрать в разделе «Связь входа» экранного меню «КАН2» (расположено по правому краю экрана осциллографа) режим связи канала 1 по переменному току — режим «АС» (такой режим называется также «закрытым входом»). Управление экранным меню осуществляется с помощью

кнопок управления, размещённых вдоль правого края экрана осциллографа, напротив соответствующих пунктов экранного меню. Настройки каналов вертикального отклонения символически отображаются в левом нижнем углу экрана. После переключения в режим связи по переменному току значок «CH1---1.00V» должен смениться значком «CH1~1.00V». В правой части этой строки указывается масштаб изображения по вертикали —коэффициент вертикального отклонения. Указанная в данном случае величина «1.00V» означает, что одна клетка экранной сетки соответствует 1 В входного напряжения осциллографа.

Замечание: во всех лабораторных работах входы осциллографа должны быть предварительно переведены в режим работы по переменному току (режим «AC», «закрытый вход»)!

4. **Снять и построить** амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) фильтров «ФНЧ1» и «ФНЧ2» в диапазоне частот 1 кГц..25 кГц при $U_{вх}$ = 3 В. Определить граничные частоты фильтров по уровню 0,707.
   4.1. Получить на выходе канала «А» генератора гармоническое (синусоидальное) колебание напряжением 3 В (в разделе экранного меню «Амплит/ВерхУров» ввести с помощью цифровой клавиатуры число 6 и выбрать единицы измерения «Впик», а затем нажать кнопку «Выход» на передней панели генератора).
   4.2. Подключить лабораторный генератор к гнёздам «Вход» лабораторной установки, канал 2 осциллографа — к гнёздам «Выход», переключатель «Режим» поставить в крайне левое положение.
   4.3. Снять зависимость амплитуды выходного напряжения фильтра от частоты в диапазоне от 1 кГц до 24 кГц. Значение частоты колебания задаётся в

разделе экранного меню генератора «Частота/Период».

4.4. Рекомендуется измерения частотных характеристик фильтров «НЧ-1» и «НЧ-2» производить одновременно переключением тумблера на частотах 1 кГц, 2 кГц, 3 кГц, …, 24 кГц и для каждого значения частоты фиксировать амплитуду, измеряя амплитуду выходного напряжения по масштабу. Результаты измерения занести в таблицу и по таблице построить графики в одном масштабе. По графику определить полосы пропускания фильтров по уровню 0,707. **Результаты измерения показать преподавателю.**

5. Получить и зарисовать осциллограммы импульсных характеристик фильтров «ФНЧ1» и «ФНЧ2». Для этого поставить переключатель «Режим» в среднее положение.

Настроить осциллограф на работу в режиме внешней синхронизации по положительному фронту синхросигнала. Для внешней синхронизации осциллографа использовать импульсы, снимаемые с гнезд *«Синхр»* лабораторной установки, которые должны поступать на вход «ВНЕШ СИНХР» осциллографа. В меню синхронизации осциллографа (экранное меню «СИНХРОН» открывается по нажатию кнопки «МЕНЮ СИНХР», расположенной у правого края передней панели осциллографа) в разделе «Тип» (тип синхронизации) выбрать настройку «фронт» (синхронизация по фронту) и в разделе «Источник» выбрать настройку «ВНЕШ», после чего в разделе «Наклон» выбрать «_↑¯» (синхронизация положительным фронтом).

Переключая тумблер и выбирая масштаб по вертикали и горизонтали (изображение должно занимать две, три клетки по вертикали и горизонтали) осцилло-

графа зарисовать (сфотографировать) импульсные характеристики фильтров. Для регистрации результатов наблюдения на экране осциллографа удобно использовать режим однократного запуска развертки. Для этого необходимо нажать на кнопку «Пуск/Стоп» (кнопка подсвечивается красным цветом). После регистрации осциллограммы следует ещё раз нажать на эту кнопку для перехода в обычный режим (подсветка погаснет).

6. Синтезировать сигналы, перечисленные в п. 1а домашнего задания. Для этого поставить тумблер генератора импульсов макета в положение «Видеоимпульс», переключателем «$\tau_{имп}$, мс» установить длительность импульса $\tau_{и1}$, частоту дискретизации 10 кГц.
   6.1. Подключить канал1 осциллографа к гнёздам *«Непр. сигнал»*, а канал2 к гнездам «дискр. сигнал», ручкой «Горизонт.» добиться, чтобы на экране было два или три периода колебаний. Используя масштабы по горизонтали и вертикали, измерить амплитуду, длительность и частоту повторения непрерывного сигнала (сигнал по каналу1 на экране отображается желтым цветом. Зарисовать (сфотографировать) осциллограмму сигналов (для фиксации изображения рекомендуется использовать однократный запуск развертки осциллографа).
   6.2. Подключить канал2 осциллографа к гнездам *«Выход»*. Переключатель «Режим» поставить в крайнее правое положение. Переключая тумблер коммутации фильтров «ФНЧ1»и «ФНЧ2», зарисовать (сфотографировать) осциллограммы непрерывного и синтезированных сигналов на выходе каждого фильтра.
7. Установить частоту дискретизации $f_Т = 20$ кГц и повторить пп. 6.1 и 6.2.

8. Установить частоту дискретизации $f_T = 40$ кГц и повторить пп. 6.1 и 6.2.
9. Установить частоту дискретизации $f_T = 80$ кГц и повторить пп. 6.1 и 6.2.
10. Повторить п.6, 7, 8. 9 для видеоимпульса длительностью $\tau_{и2.}$
11. Повторить п.6, 7, 8. 9 для радиоимпульса длительностью $\tau_{и1.}$
12. Повторить п.6, 7, 8. 9 для радиоимпульса длительностью $\tau_{и2.}$
13. Представить результаты эксперимента преподавателю и только после его разрешения выключить приборы. При выключении сначала отключить работу приборов нажатием кнопок включения-выключения питания и только после этого отключить приборы от сети питания переменного тока напряжением 220 В. Кнопка выключения питания осциллографа АКИП-4115 находится на верхней стороне корпуса слева. Выключая генератор АКИП-3407, следует сначала перевести его из рабочего режима в ждущий режим нажатием кнопки, расположенной в левом нижнем углу передней панели генератора, и только потом отключить питание генератора кнопкой « 0 / I », расположенной на его задней панели слева под шнуром питания.
14. Привести в порядок рабочее место.

Содержание отчёта

1. Функциональная схема устройства для синтеза сигналов по отсчетам.
2. Результаты выполнения домашнего задания.
3. Осциллограммы и графики, полученные при выполнении лабораторного задания.
4. Краткие выводы, в которых комментируются и поясняются полученные результаты.

Контрольные вопросы

1. Как формулируется теорема Котельникова?
2. Какой вид имеет спектр дискретного сигнала?
3. Для чего при восстановлении непрерывного сигнала по отсчётам применяется фильтр низкой частоты?
4. Как влияет вид частотных характеристик фильтра на качество восстановления непрерывного сигнала?
5. В чём отличие импульсной характеристики идеального НЧ-фильтра от импульсной характеристики реального фильтра?
6. Как влияет выбор частоты дискретизации на погрешность восстановления сигнала? Объясните результаты, полученные при выполнении пп. 7-9 и 3.4 лабораторного задания.
7. Чем определяются погрешности восстановления сигнала по дискретным отсчётам?
8. Как выглядят несколько первых составляющих ряда Котельникова, аппроксимирующего видеоимпульс прямоугольной формы длительностью 0,2 мс при $T = 1/(4 \cdot f_в)$, при $T = 1/(2 \cdot f_в)$, при $T = 1/f_в$? Считать $f_в$ равной частоте первого нуля спектральной плотности.
9. Как выглядят дискретный сигнал и его спектр для прямоугольного импульса длительностью 0,5 мс при частоте выборок, равной 1, 2, 5 кГц? Ширину спектра сигнала ограничить первым нулем спектральной плотности.
10. Как выглядят дискретный сигнал и его спектр для прямоугольного радиоимпульса длительностью 0,5 мс с частотой заполнения $f_н = 10$ кГц при частоте выборок, равной 20 и 40 кГц? Ширину спектра ограничить шириной основного лепестка спектра.

Библиографический список

1.Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Радио и связь, 1986. — С. 59 – 62, 64 – 67, 380 – 383.
2.Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высшая школа, 1988. — С. 47 – 48, 59 – 61, 116 – 119, 193 – 194.

Лабораторная работа № 4

Прохождение сигналов через резистивный усилитель

Цель работы

Исследование и экспериментальное измерение характеристик апериодического усилителя, изучение и экспериментальное исследование процессов и явлений при прохождении видеоимпульсов через резистивный усилитель.

Теоретические сведения

Резистивный (апериодический) усилитель являются наиболее простыми устройством, который применяется для усиления сигналов в широкой полосе частот . Принципиальная схема одного каскада транзисторного усилителя представлена на рис. 4.1.

Активный элемент — полевой транзистор с необходимыми элементами задания режима по постоянному току $U_{см}$, разделительной цепью $C_р$ и $R_з$, подключён к сопротивлению R_c. Упрощённая схема замещения каскада приведена на рис. 4.2, где приняты следующие обозначения:

- S и R_i — крутизна и внутреннее сопротивление транзистора в рабочей точке.
- C_0 – паразитная емкость каскада, которая складывается из емкости монтажа, выходной емкости транзистора и входных емкостей цепей и устройств , подключенных к каскаду.

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) (зависимость $H(\omega)=f(\omega)$) приведена на рис. 4.3. На АЧХ можно выделить три части – области низких, средних и высоких частот. В области низких частот коэффициент усиления с уменьшением частоты воздействия снижается, потому что увеличивается сопротивление разделительной емкости $C_р$ (1/ωс) и амплитуда низкочастотного колебания, поступающая на транзистор уменьшается. Нижняя граничная частота полосы пропускания определяется выражением:

$$\omega_н=1/\tau_н, \text{ где } \tau_н=C_р \square R_з . \qquad (4.1)$$

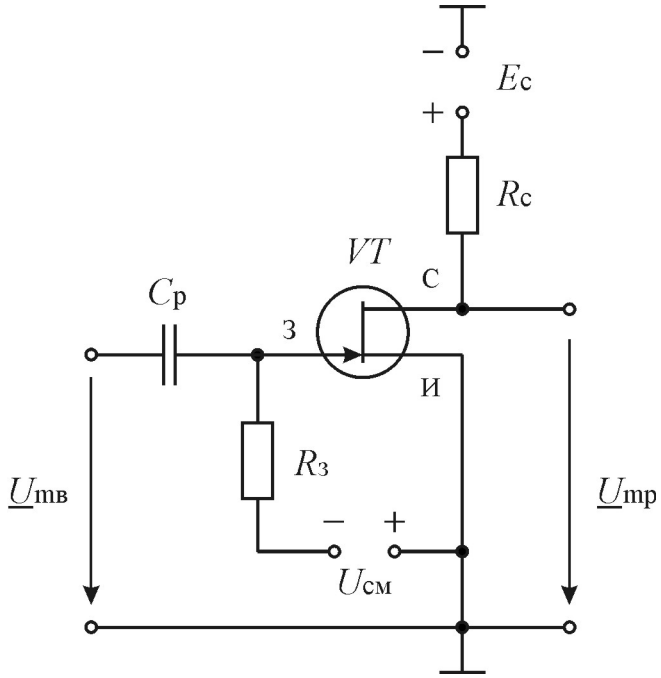


Рис. 4.1. Апериодический усилитель

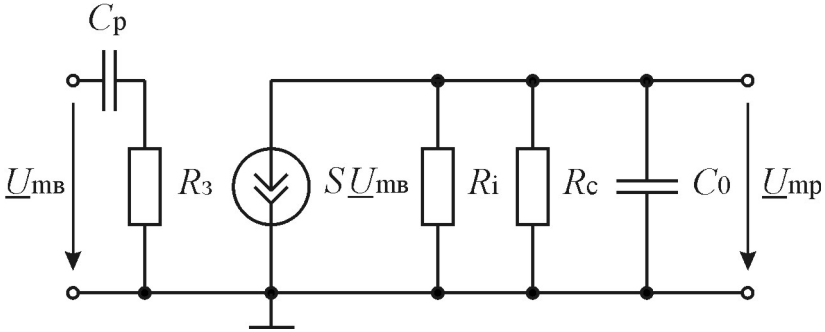


Рис. 4.2. Схема замещения усилителя

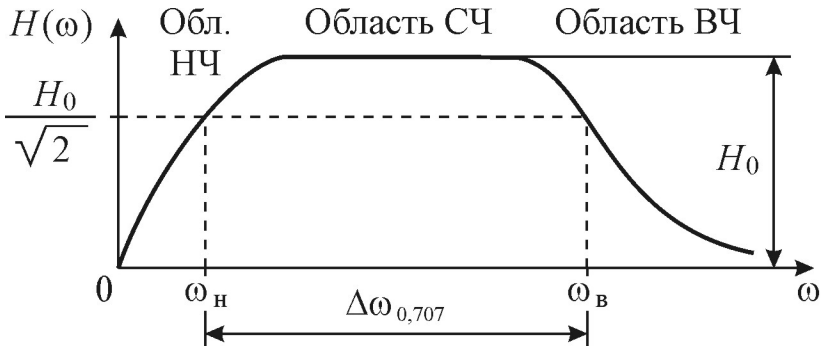


Рис. 4.3. АЧХ усилителя

В области средних частот можно пренебречь влиянием емкостей. В этом случае нагрузка транзистора чисто резистивная и коэффициент усиления не зависит от частоты. Коэффициент усиления в области средних частот можно рассчитать по формуле:

$$H_0 = -S \cdot R_{экв}, \text{ где } R_{экв} = R_i \square R_c / R_i + R_c. \quad (4.2)$$

Знак минус в выражении означает, что выходной сигнал по отношению к входному сдвигается по фазе на π.

В области высоких частот паразитная емкость C_0 шунтирует поступающее колебание и коэффициент усиления уменьшается. При этом верхняя граничная частота полосы пропускания определяется соотношением:

$$\omega_B = 1/\tau_B, \text{ где } \tau_B = R_{экв} \cdot C_0 . \qquad (4.3)$$

При подаче на вход усилителя сигнала, занимающего широкую полосу частот, соответственно искажается передача низко и высоко частотных составляющих. Это приводит к искажениям формы сигнала. На рис 4.4 показан прямоугольный видеоимпульс. В форме этого колебания можно выделить две части - фронт (передний и задний)

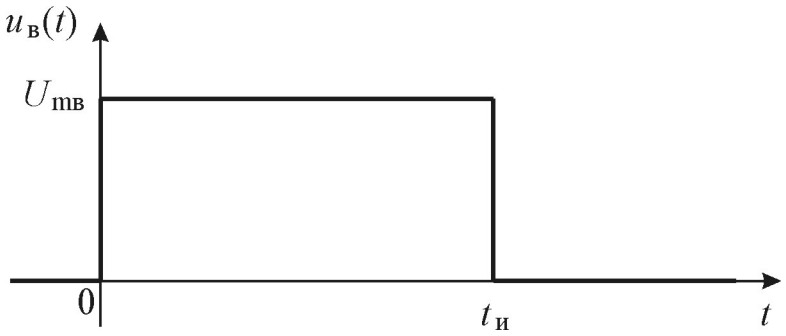


Рис. 4.4 Прямоугольный видеоимпульс

и вершину (плоскую часть). В формировании фронта участвуют высокочастотные составляющие спектра , а в формировании вершины – низкочастотные. Поэтому при прохождении прямоугольного видеоимпульса через резистивный каскад, АЧХ которого имеет вид показанный на рис 4.3, выходной сигнал искажается. Искажения сигнала на выходе каскада показаны на рис. 4.5.

Искажения фронта определяются длительностью фронта ($t_{фр}$) , а искажения вершины – сколом вершины (Δ). Скол вершины Δ определяется в долях от значения Ump. Эти

искажения определяют граничные частоты полосы пропускания усилителя $\omega_в$ и $\omega_н$ в соответствии с выражениями:

$$\omega в = 2{,}2/\ tфр \quad и\ \omega_н = ln(1-\Delta)/\ t_и . \quad (4.4)$$

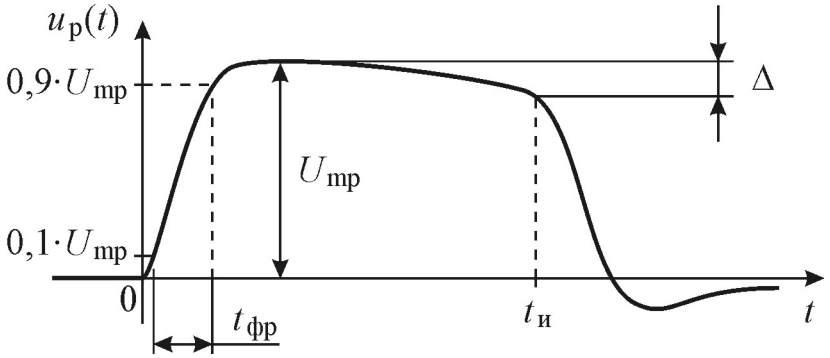


Рис. 4.5 Реакция резистивного каскада при подаче на вход прямоугольного видеоимпульса.

Описание лабораторной установки

Лабораторная работа выполняется на установке, передняя панель которой приведена на рис. 4.6

Исследуемая схема собирается с помощью перемычек соединением соответствующих гнезд. Генератор сигналов подключается ко входу каскада (гнезда «1» и « ⊥ »), цифровой осциллограф к выходу каскада (гнезда «С» и « ⊥ »).

Домашнее задание

Исходные данные для расчётов для всех бригад: S = 3,2 мА/В, Ri = 16 кОм, $C_о$=250 пФ, $R_ш$=3.3кОм, $C_{доп.}$= 470 пФ.

Сопротивление нагрузки транзистора Rc, значения для $R_з$ и $C_р$ взять из таблицы заданий.

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rc, кОм	4,5	5	5,3	5,6	5,8	6,7	6,9	7,2	7,5	8,4
$R_з$, кОм	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
$C_р$, пФ	$4\square 10^4$	$2\square 10^4$	$1.3\cdot 10^4$	10^4	0.810^4	6.610^4	5.710^4	0.510^4	4.410^4	$4\square 10^3$

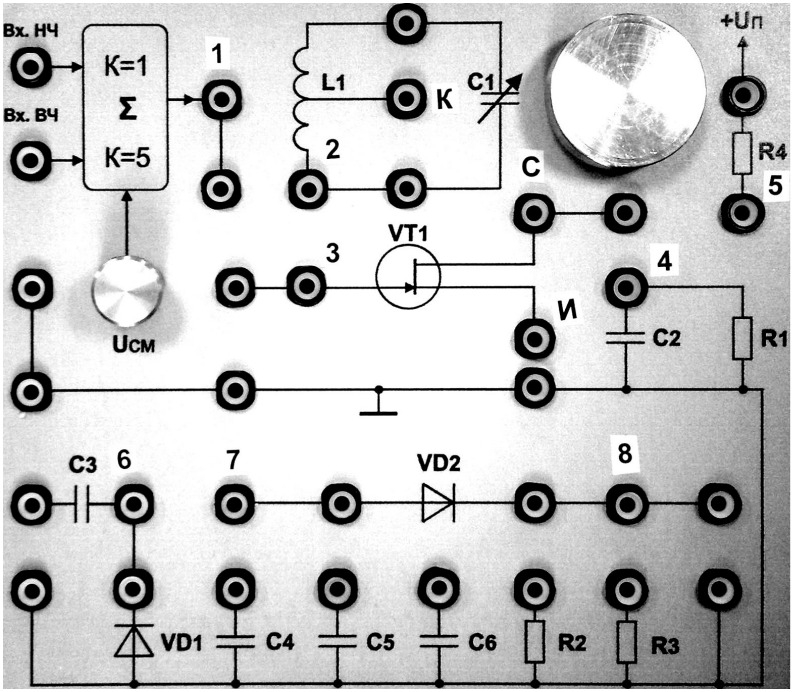


Рис. 4.6 Передняя панель лабораторного макета

⊥

1. В соответствии с выражениями 5.1-5.3 вычислить основные параметры резистивного усилителя H_0, $f_н$, $f_в$.
2. Повторить расчеты по п.1 домашнего задания, когда к сопротивлению Rc подключен шунт $R_ш$. При расчетах учесть, что в выражениях 5.1- 5.3 в качестве $R_{экв}$ *следует использовать* $R^* = R_{экв} \cdot R_ш / R_{экв} + R_ш$.
3. Повторить расчеты по п.1 домашнего задания, когда к транзистору подключена дополнительная емкость $C_{доп}$. При расчетах учесть, что в выражениях 5.1- 5.3 в качестве C_0 *следует использовать* $C^* = C_{доп} + C_0$.

Лабораторное задание

1. Получить разрешение преподавателя или лаборанта на выполнение лабораторной работы.
2. Собрать лабораторный макет для проведения эксперимента. Для этого соединить перемычкой гнездо «1» с гнездом «3», гнездо «И» с гнездом «⊥», гнездо «С» соединить перемычкой с отводом с гнездом «5». Подключить кабелем канал А цифрового генератора сигналов АКИП-3407 к гнезду «Вх. НЧ» («земляной» вывод кабеля соединить с корпусом), соединить кабелем синхронизирующий выход генератора сигналов с синхронизирущим входом цифрового осциллографа, подключить кабелем канал 1 цифрового осциллографа к гнезду «1» («земляной» вывод кабеля соединить с корпусом). подключить кабелем канал 2 цифрового осциллографа к гнезду «С» («земляной» вывод кабеля соединить с корпусом). Пригласить лаборанта или преподавателя проверить правильность сборки.
3. Включить тумблером сеть макета (при этом переключатель должен находится в положении «2»). Включить приборы. Кнопка включения питания « 0 / I » генератора АКИП-3407 находится на задней его панели слева под шнуром питания; после включения питания начи-

нает мигать кнопка включения рабочего режима, расположенная в левом нижнем углу передней панели генератора, нажатие на которую завершает операцию включения генератора. Кнопка включения питания осциллографа АКИП-4115 находится на верхней стороне корпуса слева.

4. Настроить осциллограф. Прежде всего, необходимо установить стандартные настройки осциллографа («настройки по умолчанию» или «начальные установки»), для этого достаточно нажать кнопку «НАЧ УСТ». Затем нажать кнопку «КАН 1» и выбрать в разделе «Связь входа» экранного меню «КАН1» (расположено по правому краю экрана осциллографа) режим связи канала 1 по переменному току — режим «АС» (такой режим называется также «закрытым входом»). Управление экранным меню осуществляется с помощью кнопок управления, размещённых вдоль правого края экрана осциллографа, напротив соответствующих пунктов экранного меню. Нажав кнопку «КАН2» повторить действия, которые были выполнены для канала 1. Настройки каналов вертикального отклонения символически отображаются в левом нижнем углу экрана. После переключения в режим связи по переменному току значок «CH1⎓1.00V» должен смениться значком «CH1~1.00V». В правой части этой строки указывается масштаб изображения по вертикали — коэффициент вертикального отклонения. Указанная в данном случае величина «1.00V» означает, что одна клетка экранной сетки соответствует 1 В входного напряжения осциллографа.

   Замечание: во всех лабораторных работах входы осциллографа должны быть предварительно переведены в режим работы по переменному току (режим «АС», «закрытый вход»)!

5. **Снять и построить амплитудную характеристику усилителя. Д**ля этого с выхода канала «А» генератора АКИП-3407 на гнездо *«Вх.нч»* подать немодулированное гармоническое напряжение с амплитудой 100 мВ и частотой 51 кГц. Меняя амплитуду гармонического колебания с шагам 100 мВ от 0 до значения, при котором появляются заметные искажения формы выходного сигнала, снять зависимость Ump = f(Umв). Рассчитать коэффициент усиления.
6. **Снять и построить АЧХ усилителя в области низких частот.** Для этого установить амплитуду выходного сигнала генератора 100 мВ и изменяя частоту генератора АКИП-3407 от частоты 51 кГц «вниз» через 10 кГц до частоты 1 кГц и от частоты 1 кГц через 200 Гц до тех пор пока амплитуда выходного колебания уменьшится в два раза снять и построить зависимость амплитуды выходного сигнала усилителя от частоты входного сигнала. По построенной АЧХ определить $f_н$ и сравнить с рассчитанной в домашнем задании.
7. **Снять и построить АЧХ усилителя в области высоких частот.** Для этого, изменяя частоту генератора АКИП-3407 от частоты 51 кГц «вверх» через 20 кГц до тех пор пока амплитуда выходного колебания уменьшится в два раза, снять и построить зависимость амплитуды выходного сигнала усилителя от частоты входного сигнала. По построенной АЧХ определить $f_в$ и сравнить с рассчитанной в домашнем задании.
8. **Измерить искажения прямоугольного видеоимпульса при прохождении через усилитель.** Для этого с генератора сигналов подать на усилитель прямоугольный видеоимпульс.

   8.1 Для получения требуемого сигнала на выходе генератора необходимо нажать клавишу «форма» (справа от экрана), выбрать «импульс» (внизу экра-

на), нажать клавишу «возврат» (внизу экрана), установить частоту повторения 20 Гц, длительность 500 мкс., амплитуду импульса 100мВ.

8.2 Плавно вращая ручку «горизонт» осциллографа влево добиться чтобы на экране отображалось один или два периода импульсной последовательности на выходе усилителя. После этого остановить развертку нажатием клавиши «пуск/стоп». Ручкой «смещение» по горизонтали сместить передний фронт какого либо импульса в центр экрана под курсор (вверху экрана осциллографа). Плавно вращая ручку «горизонт» вправо добиться удобного масштаба для измерения скола **вершины Δ. Обратить внимание, что скол вершины измеряется в долях относительно максимального значения выходного сигнала усилителя**. Если изображение сигнала будет смещаться по горизонтали, ручкой «смещение» по горизонтали следует возвращать изображение сигнала в центр экрана под курсор. Для удобства измерения следует размер изображения по вертикали подобрать удобный для этого измерения. По измеренному сколу вершины импульса по выражению 4.4 рассчитать $f_н$ и сравнить со значением, полученном при выполнении домашнего задания.

8.3 Плавно вращая ручку «горизонт» вправо и ручкой «смещение» по горизонтали сохраняя положение переднего фронта импульса в центре экрана, установить масштаб изображения по горизонтали, удобный для измерения фронта. (см. рис.4.5). По измеренному фронту по выражению 4.4 рассчитать $f_в$. Сравнить полученное значение со значением, полученном в домашнем задании.

9. Подключить к R_4 шунт. Для этого перемычку с со свободным выводом подключить к гнезду «$+U_п$». С генератора сигналов подать на вход усилителя гармоническое напряжение. Чтобы сделать это необходимо нажать клавишу «форма», выбрать «синус» и нажать кнопку «возврат». **Повторить пункты 5-8 лабораторного задания.**
10. Подключить к R_4 дополнительную емкость $C_{доп.}$. Для этого перемычку с двумя отводами отключить от гнезда «$+U_п$» и соединить свободный вывод с гнездом, к которому подключена емкость C_6. С генератора сигналов подать на вход усилителя гармоническое напряжение. Чтобы сделать это необходимо нажать клавишу «форма», выбрать «синус» и нажать кнопку «возврат». **Повторить пункты 6-8 лабораторного задания.**
11. Представить результаты эксперимента преподавателю и только после его разрешения выключить приборы. При выключении сначала отключить работу приборов нажатием кнопок включения-выключения питания и только после этого отключить приборы от сети питания переменного тока напряжением 220 В. Кнопка выключения питания осциллографа АКИП-4115 находится на верхней стороне корпуса слева. Выключая генератор АКИП-3407, следует сначала перевести его из рабочего режима в ждущий режим нажатием кнопки, расположенной в левом нижнем углу передней панели генератора, и только потом отключить питание генератора кнопкой « 0 / I », расположенной на его задней панели слева под шнуром питания.
12. Привести в порядок рабочее место.

Содержание отчёта

1. Принципиальная схема резистивного усилителя.
2. Результаты домашних расчётов.

3. Результаты измерений, таблицы и осциллограммы, полученные при выполнении лабораторного задания. Экспериментальные точки отразить на расчетных графиках.
4. Выводы и сравнительная оценка расчетных данных и экспериментальных результатов по каждому пункту выполненного и оформленного лабораторного задания.

Контрольные вопросы

1. Какими параметрами схемы определяются основные параметры резистивного усилителя H_0, $f_н$, $f_в$?
2. Что такое полоса пропускания усилителя?
3. Что необходимо сделать , чтобы изменить $f_н$?
4. Как можно изменить $f_в$?
5. Сформулируйте условия неискаженной передачи сигналов через линейные цепи.
6. Почему возникают искажения видеоимпульса на выходе резистивного усилителя?
7. Как влияет Rш на искажения видеоимпульса при прохождении через резистивный усилитель?
8. Как влияет $C_{доп.}$ на искажения видеоимпульса при прохождении через резистивный усилитель?
9. Что необходимо сделать, чтобы уменьшить скол вершины?
10. Как зависит время установления переднего фронта видеоимпульса от параметров схемы?
11. Что необходимо сделать чтобы уменьшить искажения прямоугольного видеоимпульса?

Библиографический список

1. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Радио и связь, 1986. — С. 153 – 154, 177 – 1180.

2. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высшая школа, 1983. — С. 199 – 200.

3. Радиотехнические цепи и сигналы / под ред. К.А. Самойло. М.: Радио и связь, 1982. — С. 198 – 202.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Краткие сведения об измерительных приборах

Каждое рабочее место в лаборатории оборудовано комплектом измерительных приборов, в который входят измерительный генератор (АКИП-3407) и осциллограф (АКИП-4115) и лабораторный макет. Рекомендуется изучить сведения об измерительных приборах в лаборатории на рабочем месте, рассматривая переднюю панель и читая сведения о приборе.

Генератор сигналов специальной формы АКИП-3407/1А

Генератор АКИП-3407/1А является источником колебаний специальной формы и служит измерительным генератором, предназначенным для регулировки и испытания низкочастотных каскадов радиоаппаратуры.

Основные технические характеристики

1. Диапазон частот — от 1 мкГц до 10 МГц.
2. Погрешность установки частоты — $5 \cdot 10^{-5}$ + 1 мкГц.
3. Максимальная выходная мощность при сопротивлении 50 Ом равна 2 Вт в диапазоне частот до 100 кГц и 1 Вт в диапазоне частот до 200 кГц.
4. Выходное сопротивление генератора 50 Ом (по умолчанию) и 1 МОм — переключаемое. Регулировка выходного сопротивления в диапазоне 1 Ом…10 кОм.
5. Выходное напряжение либо задаётся с помощью цифровой клавиатуры, либо изменяется ступенчато ручкой регулятора (шаг изменений соответствует подсвеченному разряду на экране генератора).

6. Стандартные сигналы — синус, прямоугольник, треугольник, импульс, шум.
7. Режимы модуляции — АМ, ФМ, ЧМ, ЧМн, ШИМ, двоичная ФМн.

Порядок работы

Кнопка включения питания « 0 / I » генератора АКИП-3407 находится на задней его панели слева под шнуром питания; после включения питания начинает мигать кнопка включения рабочего режима, расположенная в левом нижнем углу передней панели генератора, нажатие на которую завершает операцию включения генератора. Кнопка включения питания осциллографа АКИП-4115 находится на верхней стороне корпуса слева.

Чтобы получить на выходе канала «А» генератора сигналов специальной формы АКИП-3407 гармоническое колебание с действующим значением U и частотой f, необходимо выполнить следующие действия:

1. Выбрать режим работы генератора «Генерация немодулированного сигнала», нажав для этого функциональную кнопку «Немодул сигнал» на передней панели устройства.
2. Чтобы установить действующее значение колебания, требуется выбрать пункт экранного меню «Амплит/ВерхУров» (кнопки управления экранным меню расположены вдоль нижнего края экрана напротив соответствующих пунктов меню), затем с помощью цифровой клавиатуры ввести значение U, после чего с помощью экранного меню указать единицы измерения «Вскз» («среднеквадратическое значение, выраженное в вольтах»).
3. Чтобы задать частоту колебания, требуется выбрать пункт экранного меню «Частота/Период», затем с помощью цифровой клавиатуры ввести величину f и указать единицы измерения «кГц».

4. Подачу сигнала на выход генератора (разъёмы «КАН А» и «КАН В») можно включать и отключать. Для включения выхода необходимо сначала активировать канал, для которого следует включить выход. Активный канал выделяется зелёным цветом в верхней части экрана. Для включения выхода необходимо нажать функциональную кнопку «Выход», при этом над разъёмом должен загореться индикатор «КАН А».

С помощью функционального генератора АКИП-3407 можно получить амплитудно-модулированное (АМ) колебание (только на выходе «КАН А») с частотой несущей $f_н$, модулирующей частотой F и глубиной модуляции M. Для этого необходимо выбрать режим работы «Модуляция» (нажать кнопку «Модуляция» на передней панели генератора). Частота несущей $f_н$ задаётся в разделе «Частота» экранного меню генератора, действующее значение $U_{вч}$ — в разделе «Амплитуд». Кроме того, в разделе «Тип Модул» следует выбрать тип модуляции «АМ», а затем, выбрав пункт меню «Дальше» задать глубину M (в процентах) и частоту F модулирующего гармонического колебания в разделах «АМ Глубина» и «АМ Частота».

Цифровой запоминающий осциллограф АКИП-4115/4А

Цифровой осциллограф АКИП-4115/4А предназначен для наблюдения и исследования формы электрических процессов путем визуального наблюдения и измерения их временных амплитудных значений. Вид передней панели осциллографа показан на рис. П.1.

Технические данные

Осциллограф АКИП-4115/4А обеспечивает измерение параметров однократных сигналов и периодических сигналов в полосе частот 0…100 МГц:

- цифровое запоминание, цифровое измерение в диапазоне амплитуд от 2 мВ до 400 В (при входном напряжении 400 В должен применяться делитель 1:10 и частота переменного напряжения не должна превышать 10 кГц) и временных интервалов от 2,5 нс до 50 с,
- автоматическую установку размеров изображения, автоматическое измерение амплитудно-временных параметров входного сигнала с выводом результата измерения на экран.

Усилитель тракта вертикального отклонения (Y-канала) имеет следующие параметры:

- полоса пропускания — от 0 до 100 МГц,
- время нарастания переходной характеристики — не более 3,5 нс,
- активное сопротивление при открытом входе — 1 МОм ± 2%,
- входная ёмкость — не более 13 пФ,
- коэффициенты отклонения Y-каналов имеют грубую установку значений — от 2 мВ/дел. до 10 В/дел. в последовательности 1, 2, 5,
- предел смещения луча по вертикали ±1,6 В для пределов коэффициента отклонения K_O = 2 мВ/дел. … 200 мВ/дел. и ±40,00 В для пределов коэффициента отклонения K_O = 500 мВ/дел. … 5 В/дел., при этом дискретность установки смещения — $\pm K_O/25$ В,
- основная погрешность измерения амплитуд прямоугольных импульсов не более $\pm (3{,}0 \cdot 10^{-2} \times U + 0{,}1$ дел. $\times K_O + 1$ мВ) для значений коэффициента отклонения $K_O \geq 5$ мВ/дел.,
- число разрядов аналого-цифрового преобразования равно 8.

Генератор развёртки X-канала, способный работать в периодическом и ждущем режимах, имеет следующие параметры:

- частота дискретизации на каждый канал равна 500 МГц, эквивалентная частота дискретизации для периодического входного сигнала равна 50 Гвыб/с,
- коэффициент развёртки осциллографа — 2,5 нс/дел. …50 с/дел., погрешность измерения временных интервалов в рабочих условиях не превышает ±0,01%,
- внутренняя синхронизация развёртки обеспечивается исследуемым сигналом при минимальном уровне изображения — 6 делений шкалы экрана,
- внешняя синхронизация развертки обеспечивается при уровнях синхронизирующего сигнала не менее 1,2 В,
- режимы запуска развёртки — автоматический (для сигналов с частотой не менее 40 Гц), ждущий и однократный,
- режимы синхронизации — по фронту (положительному, отрицательному или обоим), по условиям длительности импульса (больше, меньше, равно, в пределах или вне пределов), по скорости нарастания или спада фронта (больше, меньше, равно, в пределах или вне пределов), видео-синхронизация (PAL/SECAM, NTSC, выбор полярности, номера строки и поля), попеременная синхронизация (между двумя каналами).

В приборе предусмотрена возможность отклонения луча по горизонтали внешним напряжением «X-Y-вход». При этом фазовый сдвиг на частоте 100 кГц не превышает ±3°.

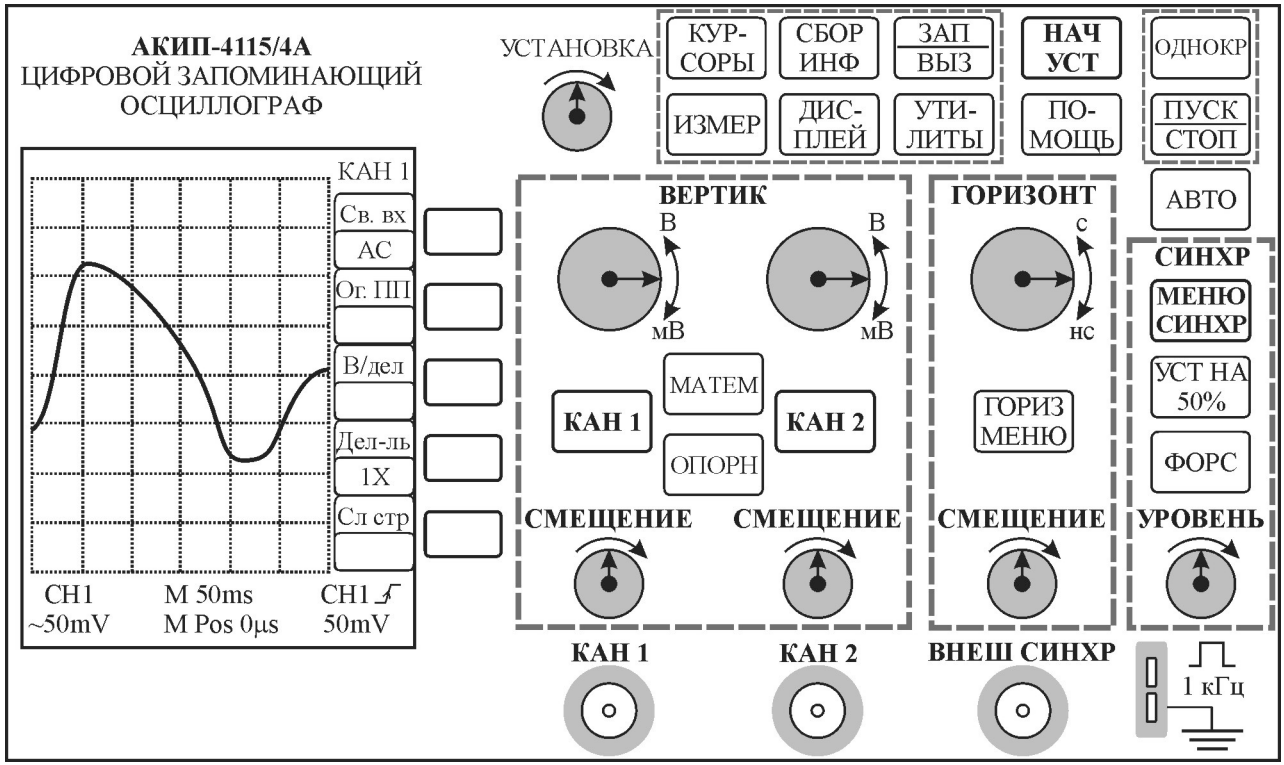


Рис. П.1. Цифровой осциллограф «АКИП-4115/4А»

Питание прибора осуществляется от сети переменного тока напряжением от 90 до 264 В частотой от 45 до 440 Гц.

Прибор обеспечивает свои технические характеристики в пределах норм после времени прогрева, равного 15 минутам, и при нормальных условиях: температура +(23±1)°С, влажность 5…85%.

Прибор допускает непрерывную работу в рабочих условиях эксплуатации в течение 8 часов. Рабочие условия эксплуатации: температура от +10°С до +40°С при максимальной относительной влажности 85%.

Порядок работы

1. Включить осциллограф кнопкой, расположенной на верхней стороне корпуса слева. Дать ему прогреться в течение 15 минут.
2. Для проведения измерений необходимо подключить пробник к разъёму канала 1 «КАН 1» или канала 2 «КАН 2». Установить переключатель на пробнике в положение «1Х».
3. Настроить осциллограф. Прежде всего, необходимо установить стандартные настройки осциллографа («настройки по умолчанию» или «начальные установки»), для этого достаточно нажать кнопку «НАЧ УСТ». Затем нажать кнопку «КАН 1» и выбрать в разделе «Связь входа» экранного меню «КАН1» (расположено по правому краю экрана осциллографа) режим связи канала 1 по переменному току — режим «АС» (такой режим называется также «закрытым входом»). Управление экранным меню осуществляется с помощью кнопок управления, размещённых вдоль правого края экрана осциллографа, напротив соответствующих пунктов экранного меню.
4. Настройки каналов вертикального отклонения символически отображаются в левом нижнем углу экрана. После переключения в режим связи по переменному

току значок «CH1---1.00V» должен смениться значком «CH1~1.00V». В правой части этой строки указывается масштаб изображения по вертикали — коэффициент вертикального отклонения. Указанная в данном случае величина «1.00V» означает, что одна клетка экранной сетки соответствует 1 В входного напряжения осциллографа.

Замечание: во всех лабораторных работах входы осциллографа должны быть предварительно переведены в режим работы по переменному току (режим «AC», «закрытый вход»)!

После этого прибор готов к работе и можно приступить к выбору режима его работы и проведению необходимых наблюдений и измерений.

Для проведения необходимых наблюдений и измерений исследуемых сигналов изображение на экране прибора должно быть устойчивым и по величине удобным для наблюдения. Для этого требуется установить необходимый вид связи прибора с источником исследуемого сигнала, ослабление входного делителя усилителя вертикального отклонения, режим работы развертки и вид синхронизации. А это, в свою очередь, определяется характером и величиной исследуемого напряжения и особенностями исследуемой схемы. Если все или некоторые из этих условий неизвестны, то лучший режим для исследования данного сигнала определяется путём проб.

Рассмотрим общие соображения, которыми следует руководствоваться при выборе режима работы.

Вид связи с источником сигнала

Если на вход осциллографа поступает сигнал с постоянной составляющей, то использование режима AC, называемого также режимом с закрытым входом позволяет исключить эту составляющую.

Для перехода в режим работы с закрытым входом следует нажать кнопку «КАН 1» или «КАН 2» (в зависимости от выбранного входа) и выбрать в разделе «Связь входа» экранного меню «КАН1» или «КАН 2» (расположено по правому краю экрана осциллографа) режим связи по переменному току — режим «AC». Управление экранным меню осуществляется с помощью кнопок управления, размещённых вдоль правого края экрана осциллографа, напротив соответствующих пунктов экранного меню. Настройки каналов вертикального отклонения символически отображаются в левом нижнем углу экрана. После переключения канала 1 в режим связи по переменному току значок «CH1---1.00V» должен смениться значком «CH1~1.00V». В правой части этой строки указывается масштаб изображения по вертикали — коэффициент вертикального отклонения. Указанная в данном случае величина «1.00V» означает, что одна клетка экранной сетки соответствует 1 В входного напряжения осциллографа.

Кроме открытого входа имеется два других варианта связи канала по входу:

1. связь по постоянному току (открытый вход или режим DC), позволяющий пропустить обе компоненты входного сигнала — постоянную и переменную,
2. замыкание на землю (эта установка отключает входной сигнал).

Регулировка канала вертикального отклонения

Вертикальная регулировка является одноканальной, то есть каждый из каналов имеет независимые органы управления. Для включения канала требуется нажать кнопку «КАН 1» или «КАН 2» (в зависимости от выбранного входа). Для выключения канала эту же кнопку надо нажать ещё раз. Если канал активен, то соответствующая кнопка подсвечивается и на краю экрана отображается коэффициент отклонения включённого канала. Причём осцилло-

граммы отображаются разными цветами: канал 1 — жёлтым цветом, канал 2 — синим.

Изменение коэффициента отклонения (вертикальной чувствительности) осуществляется вращением регулятора «В↔мВ», расположенного под надписью «ВЕРТИК» на передней панели осциллографа. Выбранное значение коэффициента отклонения в вольтах или милливольтах на деление экранной сетки отображается в строке состояния на экране осциллографа.

Регулятор «СМЕЩЕНИЕ» позволяет перемещать осциллограмму по вертикали. В соответствии с действием регулятора на левой стороне экрана перемещается маркер уровня земли. Для возвращения к нулевому смещению линии развёртки достаточно нажать на ручку регулятора вдоль оси его вращения (в направлении, перпендикулярном плоскости передней панели осциллографа).

Регулировка канала горизонтального отклонения: выбор частоты развёртки

Частота развёртки изменяется вращением регулятора «с↔нс», расположенного под надписью «ГОРИЗОНТ» на передней панели осциллографа. Скорость (частота) развёртки выбирается такой, чтобы изображение исследуемого сигнала было хорошо различимым по горизонтали (например, 2…3 периода колебания). Расположенная ниже регулятора ручка «СМЕЩЕНИЕ» позволяет передвигать осциллограмму в горизонтальном направлении.

Тип развёртки

Для исследования периодических непрерывных колебаний лучше применять **автоколебательный режим** работы развёртки (**непрерывная развёртка**). Этот режим развёртки позволяет регистрировать даже те колебания, которые не соответствуют условиям запуска. При отсутствии пускового сигнала, соответствующего условиям запуска,

осциллограф через определённый период (задаётся настройкой длительности развёртки) произведёт самозапуск. В случае такого форсированного запуска процесс отображения осциллограммы на экране никак не связан с самим сигналом, поэтому если появляется действующий пусковой сигнал, то изображение на экране становится стабильным. В режиме автоматического запуска могут быть обнаружены разные факторы, вызывающие нестабильность формы сигнала, например, помехи от выхода источника питания. Следует иметь ввиду, что при установке горизонтальной развёртки медленнее 50 мс/дел. автоматический режим не позволят осциллографу реагировать на входные сигналы.

Для переключения в автоколебательный режим «Авто» в меню синхронизации осциллографа (экранное меню «СИНХРОН» открывается по нажатию кнопки «МЕНЮ СИНХР», расположенной у правого края передней панели осциллографа) в разделе «Режим» (режим работы развёртки) выбрать настройку «Авто». Следует заметить, что этот режим устанавливается в качестве стандартной настройки осциллографа («настройки по умолчанию») после нажатия на кнопку «НАЧ УСТ».

Кроме автоколебательного режима осциллограф позволяет выбрать **ждущий режим** работы развёртки. В этом случае осциллограф работает в режиме ожидания выполнения условий синхронизации и регистрирует форму сигналов только при выполнении условий запуска (например, только при обнаружении фронта импульса по входу «ВНЕШ СИНХР»). При отсутствии таких условий осциллограф ждёт их появления и на экране сохраняется предыдущая осциллограмма.

Возможен третий режим работы развёртки — **однократный режим**. В режиме однократного запуска после нажатия кнопки «ПУСК-СТОП» осциллограф ждёт выпол-

нения условий запуска. При их выполнении осциллограф регистрирует одну осциллограмму и останавливается. Повторный однократный запуск выполняется нажатием на кнопку «ОДНОКР».

Типы запуска синхронизации

В большинстве случаев целесообразно использовать **внутреннюю синхронизацию** развёртки, т.е. синхронизировать изображение на экране осциллографа самим исследуемым сигналом до получения неподвижного изображения на экране. Настройки синхронизации задаются с помощью разделов экранного меню «СИНХРОН» (открывается по нажатию кнопки «МЕНЮ СИНХР», расположенной у правого края передней панели осциллографа). Для использования внутренней синхронизации надо выбрать один из двух входов (каналов вертикального отклонения) осциллографа: «КАН1» или «КАН2». Следует заметить, что внутренняя синхронизация устанавливается в качестве стандартной настройки осциллографа («настройки по умолчанию») после нажатия на кнопку «НАЧ УСТ».

Осциллограф имеет 5 режимов запуска:

- по фронту,
- по длительности импульса,
- по наклону,
- ТВ-синхронизация,
- чередующийся запуск.

Простейшим из них является запуск по фронту. Для выбора запуска по фронту в экранном меню «СИНХРОН» в разделе «Тип» (тип синхронизации) следует выбрать настройку «фронт» (синхронизация по фронту). В этом режиме можно выбрать синхронизацию (положительным) фронтом «_↑‾», синхронизацию срезом (отрицательным фронтом) «‾↓_» и синхронизацию по фронту и срезу (по любому фронту) « ↑↓ ». В последнем случае момент син-

хронизации соответствует тому фронту, который будет обнаружен раньше. Выбор одного из трёх указанных выше вариантов осуществляется в разделе «Наклон» экранного меню «СИНХРОН». Поскольку напряжение на входе осциллографа не меняется мгновенно, а нарастает постепенно, то момент синхронизации определяется точкой, в которой входное напряжение пересекает некоторый заданный уровень. Изменить величину уровня позволяет ручка «УРОВЕНЬ», расположенная в правом нижнем углу передней панели осциллографа.

Внешняя синхронизация применяется в тех случаях, когда амплитуда исследуемого сигнала недостаточна по величине или непригодна по форме для получения устойчивой синхронизации. Синхронизирующий сигнал подают на специальный вход «ВНЕШ СИНХР» осциллографа. В экранном меню «СИНХРОН» в разделе «Источник» следует выбрать настройку «ВНЕШ».

Развёртка от внешнего источника. Этот режим работы применяется в тех случаях, когда для горизонтального отклонения луча необходимо не пилообразное напряжение, а сигнал другой формы: например, в случае измерения частоты методом фигур Лиссажу подают синусоидальный сигнал. Напряжение, подаваемое на вход канала 1, соответствует отклонению от середины экрана в горизонтальном направлении (ось X). Напряжение, подаваемое на вход канала 2, соответствует отклонению от середины экрана в вертикальном направлении (ось Y). Для включения режима развёртки от внешнего источника в экранном меню «ДИСПЛЕЙ» (открывается по нажатию кнопки «Дисплей») необходимо в разделе «Формат» выбрать вариант настройки «XY».

Определение длительности сигнала

Перед измерением надо проверить калибровку длительности развертки калибровочным сигналом частотой 1 кГц.

После этого нужно установить измеряемый временной интервал в центре экрана ручкой «СМЕЩЕНИЕ», поставить регулятор «с↔нс», расположенный под надписью «ГОРИЗОНТ» на передней панели осциллографа, в такое положение, чтобы измеряемый интервал занимал длину на экране не менее 30 мм шкалы.

Измеряемый временной интервал определяется произведением длины измеряемого интервала времени, выраженном в делениях (клетках) экранной сетки по горизонтали на значение коэффициента развёртки.

Измерение амплитуды исследуемых сигналов

Перед измерением надо проверить калибровку усиления по внутреннему калибратору. Калибровка усиления должна производиться при размере изображения калиброванного сигнала, подаваемого на вход соответствующего канала осциллографа («КАН 1» или «КАН 2») с выхода калибратора, который расположен в нижнем правом углу передней панели осциллографа и выдаёт последовательность прямоугольных импульсов частотой 1 кГц и амплитудой 3 В. Для получения размера изображения калибровочного сигнала, равного 6 делений экранной сетки, калибровку следует производить соответственно в положениях «2 мВ/дел.».

После этого надо подать исследуемый сигнал на вход осциллографа («КАН 1» или «КАН 2») и установить ручкой регулятора «В↔мВ», расположенной над входом соответствующего канала осциллографа величину изображения в пределах рабочей части экрана, но не менее 2 делений экранной сетки. После совмещения с помощью ручек

«СМЕЩЕНИЕ» изображения сигнала с делениями шкалы осциллографа отсчитывают размер изображения по вертикали в делениях экранной сетки.

Величина амплитуды исследуемого сигнала в вольтах равна произведению измеренной величины изображения на экране по вертикали в делениях сетки на значение масштабного коэффициента, указанного в строке состояния в нижней части экрана осциллографа.

Измерение частоты

Частоту сигнала возможно определить, измерив его период T, как $f = 1/T$. Частоту сигнала можно определить также методом сравнения неизвестной частоты f с эталонной частотой $f_{эт}$ по фигурам Лиссажу. В этом случае на усилитель вертикального отклонения (вход «КАН 2») подают сигнал, частоту которого надо измерить, а на усилитель горизонтального отклонения (вход «КАН 1») — сигнал от генератора эталонной частоты.

Содержание

Лабораторная работа № 1

Изучение основных радиоизмерительных приборов 4

Лабораторная работа № 2

Спектральный анализ периодического колебания … 14

Лабораторная работа № 3

Синтез сигналов на основе теоремы Котельникова 24

Лабораторная работа № 4

Прохождение сигналов через резистивный усилитель …… 38

Приложение

Краткие сведения об измерительных приборах …… 50