

ТОР



КАФЕДРА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ  
И ОСНОВ РАДИОТЕХНИКИ

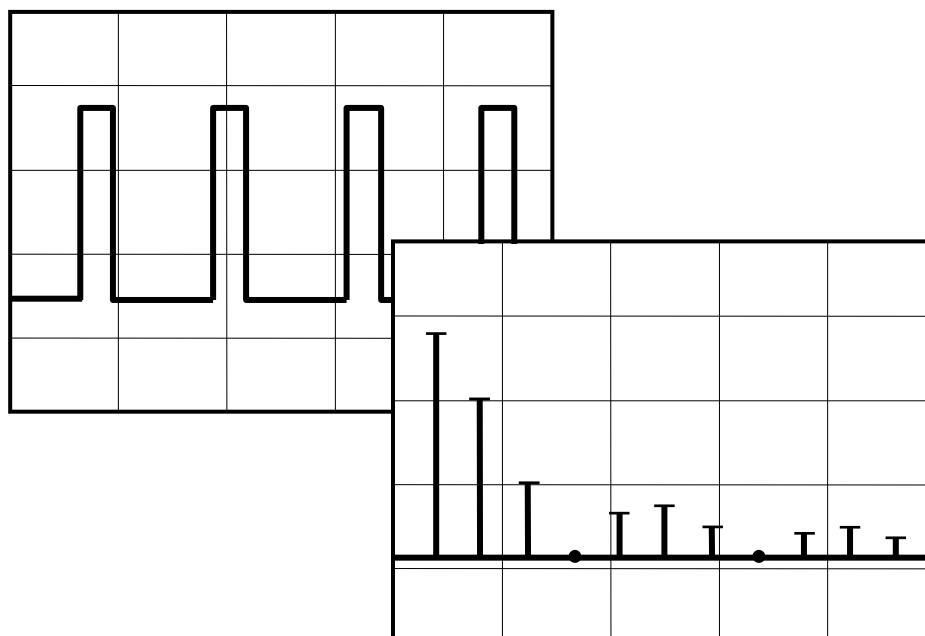
Н.А. Каратаева

## ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

по курсу

# РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ЦЕПИ И СИГНАЛЫ

Теория сигналов и линейные цепи  
(Часть 1)



ТОМСК – 2007

Федеральное агентство по образованию

**ТОМСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ  
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

**Кафедра ТОР**

**Н.А. Каратаева**

**Лабораторный практикум часть I  
по курсу**

***РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ЦЕПИ И СИГНАЛЫ***

**Теория сигналов и линейные цепи**

Томск - 2007

Пособие подготовлено и издано за счет средств Программы  
«Инновационный Вуз»

## СОДЕРЖАНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ .....	4
2. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПОДГОТОВКЕ, ВЫПОЛНЕНИЮ И ЗАЩИТЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ.....	4
2.1. Правила подготовки к лабораторным работам .....	4
2.2. Правила выполнения лабораторных работ .....	5
3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА И ТРЕБОВАНИЯ К ЕГО ОФОРМЛЕНИЮ.....	6
4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1.....	7
ПРАКТИКА АППАРАТУРНОГО АНАЛИЗА СИГНАЛОВ ВО ВРЕМЕННОЙ И ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТЯХ .....	7
4.1. Цель работы .....	7
4.2. Основные определения, обозначения и расчетные соотношения .....	7
4.3. Домашнее задание .....	9
4.4. Описание лабораторной установки.....	9
4.5. Лабораторное задание.....	9
4.6. Методические указания .....	10
4.7. Указания к отчету .....	11
4.8. Вопросы для самопроверки .....	11
5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2.....	12
ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ УПРАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛОВ .....	12
5.1. Цель работы .....	12
5.2. Основные обозначения, расчетные формулы и определения .....	12
5.3. Описание лабораторной установки.....	16
5.4. Домашнее задание .....	16
5.5. Лабораторное задание .....	16
5.6. Методические указания .....	17
5.7. Указания к отчету .....	19
5.8. Вопросы для самопроверки .....	19
6. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3.....	20
ПРОХОЖДЕНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛОВ ЧЕРЕЗ ЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ.....	20
6.1. Цель работы.....	20
6.2. Основные обозначения, расчетные формулы и определения.....	20
6.3. Домашнее задание .....	23
6.4. Описание лабораторной установки.....	24
6.5. Лабораторное задание.....	25
6.6. Методические указания .....	25
6.7. Указания к отчету .....	26
6.8. Вопросы для самопроверки .....	26
7. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4.....	28
АМПЛИТУДНО-МОДУЛИРОВАННЫЕ СИГНАЛЫ.....	28
7.1. Цель работы .....	28
7.2. Основные обозначения, расчетные формулы и определения.....	28
7.3. Домашнее задание .....	32
7.4. Описание лабораторной установки .....	33
7.5. Лабораторное задание и методические указания .....	33
7.6. Вопросы для самопроверки .....	34
8. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА .....	35
9 ПРИЛОЖЕНИЕ .....	36
9.1. Описание панели «Радиосигналы» .....	36
9.2. Осциллограф CI-94 .....	41
9.3 Анализатор спектра СКЧ-56.....	45

## **1. ВВЕДЕНИЕ**

В дисциплине «Радиотехнические цепи и сигналы» (РТЦиС) рассматривается теория детерминированных и случайных радиосигналов, а также теория преобразования сигналов в линейных и нелинейных цепях. Кроме теории в программу курса включены расчётно-графические домашние задания, практические занятия и лабораторные работы.

Лабораторный практикум состоит из двух частей и включает девять четырёхчасовых лабораторных работ.

Первая часть лабораторного практикума, содержащая четыре лабораторные работы, посвящена исследованию спектров управляющих сигналов, радиосигналов, изучению особенностей спектров амплитудно-импульсно-модулированных сигналов, анализу искажений формы сигналов и их спектров при прохождении сигналов через линейные цепи.

Вторая часть лабораторного практикума, содержащая пять лабораторных работ, посвящена исследованию основных принципов работы типовых нелинейных цепей, которые осуществляют преобразование сигналов в радиотехническом канале связи.

Подготовка к лабораторным работам по первой части практикума осуществляется в процессе выполнения индивидуального расчётно-графического домашнего задания, которое полностью определяет и организует практически всю самостоятельную работу по дисциплине РТЦиС в четвёртом семестре как в плане изучения теоретического материала, так и в части подготовки к практическим и лабораторным занятиям.

## **2. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПОДГОТОВКЕ, ВЫПОЛНЕНИЮ И ЗАЩИТЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

### **2.1. Правила подготовки к лабораторным работам**

Первая часть лабораторного практикума выполняется во второй половине четвёртого семестра. В первой половине семестра начинается самостоятельная работа по изучению основных разделов курса РТЦиС, которая включает:

- 1) изучение теоретического материала;
- 2) разбор решений типовых задач;
- 3) выполнение индивидуального расчётно-графического домашнего задания.

При выполнении индивидуального задания производятся все расчёты, которые необходимы для выполнения второй, третьей и четвёртой лабораторных работ. В итоге выполнения трёх пунктов расчётно-графического домашнего задания у студентов должны быть:

- 1) изучены соответствующие разделы теории курса;
- 2) закончены и оформлены в тетради необходимые предварительные расчёты, изложенные в домашнем задании.

Первая лабораторная работа носит ознакомительный характер и требует отдельной двухчасовой подготовки. Перед выполнением каждой лабораторной работы студенты обязаны:

- 1) ознакомиться с описанием работы и используемыми при её выполнении измерительными приборами;
- 2) ознакомиться с лабораторной установкой, знать расположение и назначение её отдельных узлов и органов управления.

## **2.2. Правила выполнения лабораторных работ**

Студенты, приступающие к выполнению лабораторных работ, обязаны пройти краткий инструктаж по безопасным приёмам работы в лаборатории, ознакомиться с правилами эксплуатации лабораторного оборудования.

Инструктаж проводит преподаватель, ведущий занятия. После инструктажа каждый студент расписывается в регистрационном журнале, выражая тем самым своё согласие с тем, что он ознакомлен с правилами безопасной работы в лаборатории и обязуется их выполнять.

Регистрационный журнал хранится у заведующего лабораторией.

Студенты, не прошедшие инструктаж, к лабораторным работам не допускаются.

Студенты, нарушающие правила техники безопасности, отстраняются от выполнения работ и могут быть допущены к ним только после письменного разрешения декана или его заместителя.

Лабораторные работы выполняются фронтальным методом бригадами из двух-трёх человек. Каждый студент должен иметь рабочую тетрадь, куда заносятся результаты лабораторных исследований.

Содержание и объём этих записей должны соответствовать лабораторному заданию.

К выполнению лабораторных работ допускаются только студенты, выполнившие требования п. 2.1 и показавшие свою подготовленность при собеседовании с преподавателем или с помощью тестового машинного контроля.

Выполнив лабораторное задание, студент представляет преподавателю для проверки и утверждения рабочую тетрадь с результатами работы. Работа считается выполненной после утверждения преподавателем итогов работы. При наличии недостоверных или недостаточных данных необходима их проверка и экспериментальная доработка.

Результаты домашней подготовки и лабораторных исследований оформляются отчётом. Отчёт по каждой лабораторной работе должен быть защищён.

### **3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА И ТРЕБОВАНИЯ К ЕГО ОФОРМЛЕНИЮ**

Отчёт по лабораторной работе составляется и защищается индивидуально каждым студентом.

Отчёт пишется в ученической тетради. Титульный лист оформляется в соответствии с формой, приведённой в приложении 1.

Отчёт должен содержать:

- 1) цель работы;
- 2) результаты выполнения домашнего задания;
- 3) схему лабораторной установки;

4) результаты лабораторных исследований, представленные в порядке следования пунктов лабораторного задания (рекомендации по форме представления результатов исследования делаются, как правило, в методических указаниях к лабораторному заданию);

5) при совмещении графических зависимостей с целью, например, проверки расчётных соотношений и экспериментальных данных необходимо выполнять нормировку данных с целью облегчения сравнения, а также использовать различные цвета для представления различных данных;

6) по каждому пункту лабораторного задания необходимо дать краткое резюме: о соответствии теории и эксперимента, о причинах отклонения полученного результата от желаемого и т.п.;

7) графики, схемы, осциллограммы и прочий графический материал в отчёте представляются на вклейках из миллиметровой бумаги и выполняются в соответствии с требованиями ЕСКД;

8) работа заканчивается краткими выводами, в которых формулируется основной итог проделанной работы;

9) отчёт подписывается студентом.

Формой отчётности по итогам выполнения лабораторного практикума и расчётно-графического индивидуального домашнего задания является зачёт. Зачёт проставляется студенту, выполнившему все предусмотренные календарным планом расчётные и лабораторные работы, представившему и защитившему все отчёты по этим работам.

## **4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1**

### **ПРАКТИКА АППАРАТУРНОГО АНАЛИЗА СИГНАЛОВ ВО ВРЕМЕННОЙ И ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТЯХ**

#### **4.1. Цель работы**

Изучить оборудование лабораторного стенда и приобрести практические навыки по аппаратурному анализу сигналов во временной и частотной областях.

#### **4.2. Основные определения, обозначения и расчетные соотношения**

Основная задача радиоэлектроники как области деятельности человека состоит в создании аппаратуры для обработки и передачи информации на расстояние с помощью электромагнитных колебаний.

Все возможные носители информации называются *сигналами* в широком смысле слова. В узком смысле сигналами чаще всего называют колебания электрического тока (напряжения), электромагнитные волны или колебания механической среды, распространяющиеся на расстояние и несущие информацию.

В процессе передачи и приема сообщений сигналы подвергаются различного рода преобразованиям. Некоторые из преобразователей, называемых радиотехническими цепями, являются типовыми:

- 1) преобразователь информации в электрический сигнал;
- 2) кодирующие устройства;
- 3) передатчик, состоящий из модулятора и генератора;
- 4) канал передачи информации (воздушный, кабельный и т.д.);
- 5) приемник, состоящий из избирательного усилителя, детектора, декодирующего и регистрирующего устройств.

Ясно, что процесс передачи информации должен проходить без искажений. Однако в общем случае, при любых сигналах и радиотехнических цепях, это требование не выполнимо. Оценить же искажения сигнала при передаче можно только после решения задачи анализа прохождения сигнала по каналу связи.

На основании сказанного можно задачи лабораторного практикума по дисциплине РТЦиС конкретизировать следующим образом:

- 1) изучение современной аппаратуры и приобретение практических навыков аппаратурного анализа сигналов;
- 2) изучение радиотехнических цепей и приобретение практических навыков измерения основных характеристик цепей;
- 3) изучение и практическое освоение экспериментальных методов анализа прохождения сигналов через радиотехнические цепи.

Несмотря на чрезвычайное многообразие сигналов, представление о каждом из них складывается из знания его свойств в двух областях:

временной и спектральной.

Под временным описанием понимают задание сигнала с помощью функции времени  $s(t)$ , определяющей его мгновенные значения. Под временной характеристикой сигнала  $s(t)$  понимают любую функцию, характеризующую развитие сигнала во времени, например, мгновенную мощность, взаимную энергию, корреляционную функцию и т.д. Основными параметрами могут быть длительность сигнала, период, длительность фронтов, амплитуда и т.д. Наиболее универсальным и удобным инструментом для наблюдения сигнала и определения временных параметров является осциллограф, на экране которого мы можем видеть картину развития сигнала во времени.

Под спектральным описанием детерминированного сигнала понимают задание его с помощью функции частоты  $\dot{S}(\omega)$ , называемой комплексной спектральной плотностью и определяющей все спектральные свойства сигнала. Между временным и спектральным представлениями сигнала существует взаимнооднозначное соответствие, устанавливаемое парой преобразований Фурье

$$\dot{S}(\omega) = \Phi^+[s(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \cdot e^{-j\omega t} dt, \quad (4.1)$$

$$s(t) = \Phi^-[\dot{S}(\omega)] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \dot{S}(\omega) \cdot e^{j\omega t} d\omega. \quad (4.2)$$

Если сигналы во временной области описываются периодическими функциями

$$s(t) = s(t + k \cdot T). \quad (4.3)$$

где  $T$  - период;

$k$ - число натурального ряда, то в спектральной области эти сигналы описываются рядами Фурье:

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \dot{C}_n \dot{\phi}_n(t), \quad (4.4)$$

$$\text{где } \dot{C}_n = \frac{\int_{t_i}^{t_i+T} s(t) \dot{\phi}_n^*(t) dt}{\int_{t_i}^{t_i+T} 2 \dot{\phi}_n(t) dt}. \quad (4.5)$$

$\{\dot{\phi}_n(t)\}$  - ортогональный базис (полная ортогональная система базисных функций).

В тех случаях, когда сигналы представляют собой, электромагнитные колебания, а радиотехнические цепи реализованы с преимущественным



применением как линейных, так и нелинейных резисторов  $R$ , конденсаторов  $C$ , катушек индуктивности  $L$ , в качестве ортогонального базиса целесообразнее всего применять систему тригонометрических функций  $\{\sin(n\omega_1 t), \cos(n\omega_1 t)\}$ . Ряд Фурье при этом представляет собой совокупность гармонических колебаний с различными амплитудами  $A_n$ , начальными фазами  $\varphi_n$  и частотами  $n\omega_1$ , т.е.

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega_1 t + \varphi_n). \quad (4.6)$$

Для аппаратурного анализа периодических сигналов в спектральной области применяется анализатор спектра, на экране которого можно наблюдать совокупность амплитуд гармонических колебаний, сдвинутых друг относительно друга пропорционально частоте  $n\omega_1$ .

### 4.3. Домашнее задание

При самостоятельной подготовке к лабораторной работе необходимо:

- 1) изучить физические характеристики сигналов, их классификацию, основные виды математического описания (временное и спектральное);
- 2) ознакомиться с описанием сменной панели "Радиосигналы" лабораторного стенда, четко представлять ее структурную схему и функциональные возможности;
- 3) изучить по описанию структурную схему, технические характеристики анализатора спектра СКЧ-56 и работу с ним при анализе спектров периодических сигналов.

### 4.4. Описание лабораторной установки

Работа выполняется на лабораторном стенде по курсу РТЦиС с использованием сменной панели "Радиосигналы". Для измерения основных временных параметров сигналов используется осциллограф С1-94 лабораторного стенда. Спектральный анализ сигналов проводится с помощью анализатора спектра СКЧ-56.

### 4.5. Лабораторное задание

При практической работе в лаборатории необходимо:

- 1) ознакомиться с оборудованием лабораторного стенда;
- 2) изучить функциональные возможности сменной панели "Радиосигналы";
- 3) восстановить навыки работы с осциллографом С1-94;
- 4) исследовать форму и измерить основные параметры сигналов с разных выходов "Генератора видеосигналов" с помощью осциллографа;
- 5) изучить функциональные возможности анализатора спектра СКЧ-56 и назначение органов управления, подготовить прибор к работе;
- 6) исследовать с помощью анализатора СКЧ-56 спектральный состав

периодического сигнала сложной формы, заданного преподавателем.

#### 4.6. Методические указания

4.6.1. Изучить с помощью осциллографа временные диаграммы колебаний с разных выходов "Генератора видеосигналов".

Измерить амплитуду, частоту, длительность, скважность, угол отсечки сигналов при различных положениях органов регулировки параметров - переключателей ДЛИТЕЛЬНОСТЬ и ПЕРИОД. Результаты изучения генерируемых колебаний, их основных характеристик с указанием положений соответствующих органов регулировки представить в виде таблицы в рабочей тетради. Эти результаты будут необходимы при выполнении всех последующих работ лабораторного практикума.

4.6.2. Подготовить к работе анализатор спектра СКЧ-56 согласно описанию.

Исходя из условия отсутствия динамических искажений спектра периодического сигнала с выхода II "Генератора видеосигналов", определить необходимые при анализе значения полосы пропускания, полосы и времени обзора анализатора СКЧ-56 (см. расчетные формулы в описании анализатора спектра). Установить полученные значения параметров режима анализа спектра с помощью органов управления анализатора. При этом особое внимание уделить установке необходимой полосы обзора. Для исключения возможных ошибок проведите калибровку оси частот с помощью частотомера в пяти точках.

4.6.3. Провести с помощью анализатора СКЧ-56 анализ спектра периодического сигнала с переменным углом отсечки (см. рис. 4.1) с выхода II "Генератора видеосигналов". Половина длительности косинусоидального импульса, выраженная в радианах или градусах, называется углом отсечки. Численное значение угла отсечки  $\theta$  (в градусах) можно определить по формуле

$$\theta = \frac{360}{T} \cdot \frac{\tau}{2} \quad (4.7)$$

где  $T$  - период сигнала;  
 $\tau$  - длительность импульса.

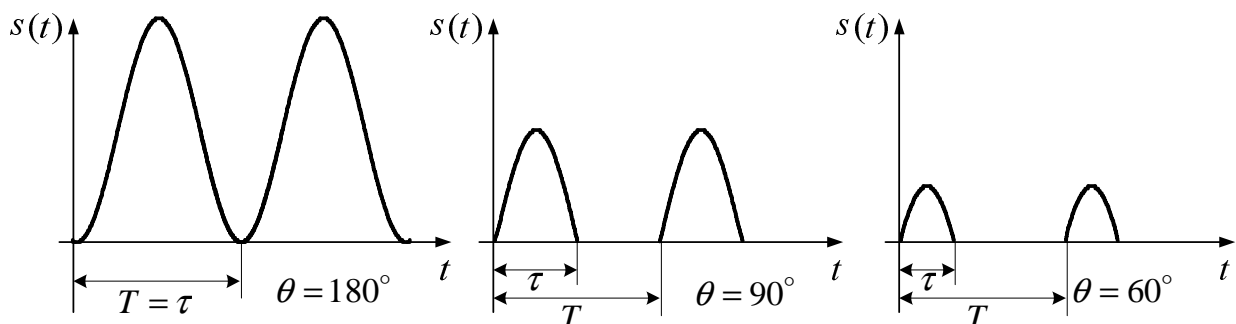


Рисунок 4.1 – Примеры сигналов с выхода II "Генератора видеосигналов"

Углу отсечки задать значения 0; 30; 60; 90; 120; 180°.

#### **4.7. Указания к отчету**

Оформление согласно общим правилам и требованиям.

Построить осциллограммы проанализированных сигналов согласно п. 4.6.1 с указанием числовых значений основных параметров.

Построить спектрограммы периодических сигналов с заданными углами отсечки.

Проанализировать полученные результаты и сделать вывод о влиянии угла отсечки на спектр гармонического колебания.

Попытайтесь указать, при решении, каких практических радиотехнических задач наблюдаемые изменения спектра сигнала (при изменении угла отсечки) могут оказаться как вредными, так и полезными.

#### **4.8. Вопросы для самопроверки**

Поясните:

1) какие временные параметры сигнала можно измерить с помощью осциллографа;

2) в чем заключается принцип работы простейшего анализатора спектра последовательного типа;

3) какие достоинства и недостатки имеет последовательный принцип анализа спектра;

4) в чем заключается задача экспериментального анализа спектра сигнала;

5) почему последовательный анализатор непригоден для анализа одиночных сигналов;

б) что такое динамические искажения спектра сигнала;

7) в чем причина динамических искажений спектра при анализе сигнала;

8) чем определяется разрешающая способность по частоте анализатора спектра;

9) что такое полоса обзора анализатора;

10) что такое время обзора при анализе спектра;

11) из каких соображений выбирается время обзора при анализе спектров сигналов последовательным анализатором;

12) что такое спектр сигнала;

13) зачем нам нужно знать спектр сигнала.

Изобразите:

1) упрощенную структурную схему анализатора спектра СКЧ-56;

2) спектр амплитуд синусоиды при различных углах отсечки.

## 5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ УПРАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛОВ

#### 5.1. Цель работы

Изучить свойства спектров периодических сигналов. Исследовать спектральный состав периодической последовательности униполярных и знакопеременных импульсов прямоугольной формы в зависимости от частоты следования, длительности импульса и количества импульсов в пачке.

#### 5.2. Основные обозначения, расчетные формулы и определения

Периодический сигнал  $s(t)$  с периодом  $T$  может быть представлен рядом Фурье по системе ортогональных тригонометрических функций кратных аргументов:

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos n\omega_1 t + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin n\omega_1 t . \quad (5.1)$$

или 
$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega_1 t + \varphi_n) = \frac{1}{2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} A_n e^{jn\omega_1 t} \quad (5.2)$$

где  $\omega_1 = 2\pi/T = 2\pi f_1$  - частота первой гармоники;

$a_0/2$  - постоянная составляющая сигнала  $S(t)$ ;

$a_n, b_n$  - значения коэффициентов пропорциональности косинусоидальной и синусоидальной  $n$ -ых составляющих ряда Фурье;

$A_n$  - амплитуда  $n$ -ой гармоники;

$\varphi_n$  - начальная фаза  $n$ -ой гармоники.

$$\frac{a_0}{2} = \dot{C}_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} s(t) dt , \quad (5.3)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} s(t) \cos(n\omega_1 t) dt , \quad (5.4)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} s(t) \sin(n\omega_1 t) dt , \quad (5.5)$$

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} = 2 \cdot |\dot{C}_n| , \quad \varphi_n = -\arctg \frac{b_n}{a_n} = \arg \dot{C} \quad (5.6)$$

$$\dot{A}_n = A_n e^{-j\varphi_n} = \frac{2}{T} \int_0^T s(t) \cdot e^{-jn\omega_1 t} dt = a_n - jb_n \quad (5.7)$$

Совокупность амплитуд  $\{A_n\}$ , фаз  $\{\varphi_n\}$  и частот  $\{n\omega_1\}$  гармонических составляющих называют соответственно спектром амплитуд, спектром фаз и спектром частот. Графическое изображение спектров, в котором по оси ординат откладываются амплитуды (или начальные фазы) гармонических колебаний, а по оси абсцисс – частоты, называется спектральной диаграммой амплитуд (фаз).

Сигнал может быть восстановлен по спектру.

$$s_N(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^N A_n \cos(n\omega_1 t + \varphi_n), \quad (5.8)$$

$s_N(t)$  - оценка сигнала  $s(t)$ .

Относительное значение мощности погрешности представления сигнала  $s(t)$  оценкой  $s_N(t)$  определяется по формуле

$$\delta = \frac{P - P_N}{P}, \quad (5.9)$$

где  $P$  и  $P_N$  - мощности сигнала  $s(t)$  и оценки  $s_N(t)$  соответственно

$$P = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} s^2(t) dt, \quad (5.10)$$

$$P_N = \sum_{n=-N}^N |\dot{C}_n|^2 = \left(\frac{a_0}{2}\right)^2 + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^N A_n^2 = \left(\frac{a_0}{2}\right)^2 + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^N (a_n^2 + b_n^2) \quad (5.11)$$

В таблице 5.1 показаны периодические последовательности униполярных и знакопеременных импульсов прямоугольной формы с амплитудой  $E$ , длительностью  $\tau$  и частотой следования  $\omega_1$ . Здесь же представлены формулы для расчета коэффициентов косинусоидальной и синусоидальной составляющих ряда Фурье.

В таблице 5.2 описаны временные свойства сигналов и заданы параметры периодических последовательностей униполярных и знакопеременных импульсов прямоугольной формы для конкретного рабочего места.

**Примечания:** 1. Амплитуда импульсов с выходов 9,7 и 13 составляет 8В.

2. Знакопеременные сигналы моделируются на макете путем перемножения сигналов с двух выходов "Генератора видеосигналов", переменная составляющая сигнала с выхода 13 умножается на сигнал с выхода 9 (либо выхода 7), причем период любого знакопеременного сигнала равен 1000 мкс.

3. После перемножителя амплитуда знакопеременных сигналов составляет  $E=0,1*4*8 \approx 3,2$ В.

Таблица 5.1 – Значения коэффициентов  $a_n$  и  $b_n$  тригонометрического ряда Фурье

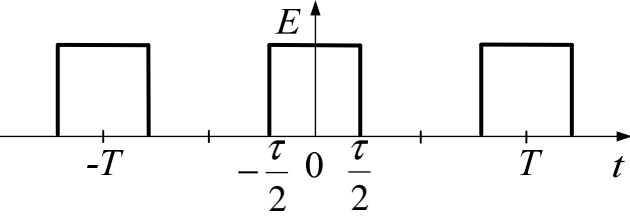
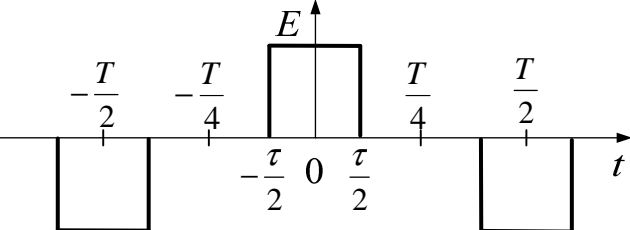
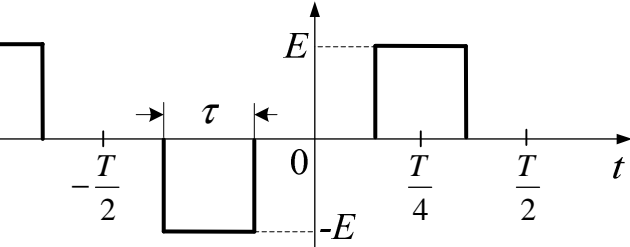
График сигнала $s(t)$	Временные свойства $s(t)$	Формулы для расчета $a_n$ и $b_n$	Размах импульса $E, B$
	$s(t) = s(-t)$	$a_n = \frac{2E}{n\pi} \cdot \sin\left(n\pi \frac{\tau}{T}\right)$ $b_n = 0$	8,0
	$s(t) = s(-t)$ $s(T/4+t) = -s(T/4-t)$	$a_n = \frac{4E}{n\pi} \cdot \sin^2\left(\frac{n\pi}{2}\right) \cdot \sin\left(n\pi \frac{\tau}{T}\right)$ $b_n = 0$	3,2
	$s(t) = -s(-t)$ $s(T/4+t) = s(T/4-t)$	$a_n = 0$ $b_n = \frac{4E}{n\pi} \cdot \sin\left(\frac{n\pi}{2}\right) \cdot \sin\left(n\pi \frac{\tau}{T}\right)$	3,2

Таблица 5.2 – Параметры периодической последовательности импульсов прямоугольной формы

Номер рабочего места	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11																								
Номер выхода Генератора видеосигналов	9	9	9	9	9	9	9	9	9	7	7																								
Частота следования с выходов 9 и 7, кГц	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	6																								
Длительность импульса положительной полярности $\tau$ , мкс	250	125	62,5	31,25	15,625	484,375	468,75	437,5	375	15,625	15,625																								
Шифр студента	11	12	13	21	22	23	31	32	33	41	42	43	51	52	53	61	62	63	71	72	73	81	82	83	91	92	93	101	102	103	111	112	113		
Временные свойства сигналов	$s(t) = s(-t)$	+			+	+		+	+		+	+		+	+		+	+		+	+		+	+		+	+		+	+		+	+		
	$s(t) = -s(-t)$			+					+				+						+						+						+			+	
	$s(T/4+t) = s(T/4-t)$			+						+									+						+							+			+
	$s(T/4+t) = -s(T/4-t)$		+								+										+							+							+

### 5.3. Описание лабораторной установки

При выполнении лабораторной работы используются сменная панель «Радиосигналы», осциллограф и анализатор спектра, соединенные согласно схеме, изображенной на рис. 5.1.

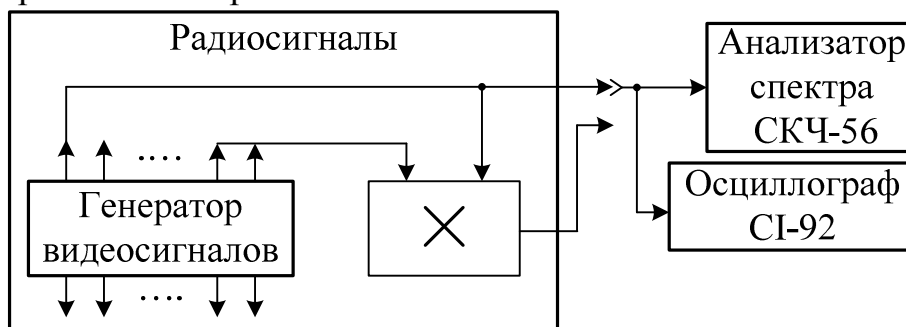


Рисунок 5.1 – Схема эксперимента

Исследуемые сигналы снимаются либо непосредственно с «Генератора видеосигналов», либо предварительно формируются при помощи функционального узла макета перемножителя  $\times$ .

### 5.4. Домашнее задание

Самостоятельная работа заключается в следующем:

- 1) проработать лекционный материал и рекомендованную литературу по теме: «Спектральный анализ периодических сигналов»;
- 2) изучить временные свойства сигналов, представленных в таблице 5.1;
- 3) по заданным в таблице 5.2 для Вашего рабочего места значению частоты следования импульсов прямоугольной формы, длительности импульса, положительной полярности и временным свойствам дать временное представление сигнала на периоде;
- 4) рассчитать и построить спектр амплитуд и спектр фаз заданного сигнала (не менее 10 составляющих), произвести качественный анализ полученных спектров, сравнить временное и спектральное представление;
- 5) построить оценку сигнала из трех гармонических колебаний с максимальными амплитудами, частотами, кратными частоте исследуемого сигнала и соответствующими начальными фазами;
- 6) рассчитать погрешность представления сигнала оценкой из трех гармонических колебаний.

### 5.5. Лабораторное задание

При исследовательской работе необходимо:

- 1) измерить и зарисовать в масштабе спектрограммы и осциллограммы проанализированных дома сигналов;
- 2) изучить изменения в спектре амплитуд, происходящие при уменьшении и увеличении длительности импульсов периодической



последовательности с постоянным периодом повторения;

3) исследовать изменения в спектре амплитуд, происходящие при увеличении периода повторения и постоянной длительности импульсов;

4) получить и зарисовать в масштабе пачки из двух, четырех, восьми и 32 импульсов, сравнить спектры между собой.

## 5.6. Методические указания

### 5.6.1. Подготовка осциллографа к работе:

1) включить прибор в сеть;

2) установить требуемую чувствительность: переключатель УСИЛИТЕЛЬ Y - 2 ВОЛЬТ/ДЕЛЕН.

3) обеспечить внешнюю синхронизацию: клавиша  $\bullet \square$  - включить; гнездо ВХОД СИНХР. — соединить с выходом 5 «Генератора видео - сигналов» макета;

4) установить длительность развертки  $T_p$  так, чтобы на экране осциллографа можно было наблюдать от двух до пяти периодов  $T_c$  исследуемого сигнала

$$T_p = (2 - 5)T_c = \text{ВРЕМЯ/ДЕЛЕН.} \cdot 10$$

$$\text{ВРЕМЯ/ДЕЛЕН.} = (0,2 \sim 0,5) \cdot T_c = (0,2 - 0,5)/F_c$$

Если  $F_c$  2 кГц, тогда

$$\text{ВРЕМЯ/ДЕЛЕН.} = (0,2-0,5)/2 \cdot 10^3 = (0,1-0,25) \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

Выбираем положение переключателя

ВРЕМЯ/ДЕЛЕН. - 0,1

### 5.6.2. Подготовка к работе анализатора спектра СКЧ-56

Установить органы управления в следующие положения:

клавиша ПАМЯТЬ - ОТКЛ.;

ручка РАЗВЕРТКА - РУЧ.;

ручка РУЧНАЯ - среднее положение;

переключатель ОБЗОР кГц/ДЕЛЕН. - 2;

переключатель ПОЛОСА Hz - 100;

тумблер ЛИНЕЙН./ЛОГ. - ЛИНЕЙН.;

тумблер КАЛИБР.АМПЛ. - выключен;

переключатель S /ДЕЛЕН. - 1;

Тумблер частоты - (0,01-60кГц);

сдвоенный переключатель НОМИНАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ: внешний диск - в крайнем правом, внутренний диск - в крайнем левом положении, что соответствует 80 мВ; включить тумблер СЕТЬ.

После десятиминутного прогрева появляется светящаяся точка, которую следует сфокусировать ручкой  $\Theta$ , затем установить минимально необходимую яркость ручкой  $\odot$ .

Установить начало отсчета:

ручка РУЧНАЯ - повернуть влево, в результате чего светящаяся метка

переместится в начало развертки по горизонтали;

индикатор частотомера - фиксирует в общем случае отличное от нуля значение частоты в килогерцах, причем, результаты измерений обновляются через одну секунду;

ручки ЧАСТОТА - не торопясь, следя за индикатором, поворачивать вправо или влево до появления на индикаторе показания, близкого к нулю ( $\sim 0,01$ ).

**Примечание.** *Направление вращения ручки ГРУБО (ТОЧНО) и количество оборотов или величина угла поворота зависит от изменения показаний индикатора.*

Установить непрерывную развертку:

ручка РАЗВЕРТКА - АВТ.; клавиша ДЛИТ.- включить;

кнопка  $\times$  (очистка экрана) - нажать;

клавиша ПЕРИОДИЧ. - включить.

На экране должно возникнуть изображение линии развертки.

Проверить калибровку линейной шкалы по амплитуде:

тумблер ЛИНЕЙН. ЛОГ. - ЛИНЕЙН.;

тумблер КАЛИБР. АШЛ. -  $80\text{ mV}/10\text{kHz}$ .

При этом на экране по вертикали высвечивается отрезок прямой в восемь делений. Каждое деление - 10 мВ.

**Примечание.** *После проведения калибровки тумблер КАЛИБР. АМПЛ. выключить.*

5.6.3. Измерение спектров периодических сигналов с помощью анализатора спектра

На входе анализатора спектра включен высокоомный делитель напряжения 1:100.

Установленный предел линейной шкалы определяется показанием внутреннего диска ( $\text{mV}$  или  $\mu\text{V}$ ) переключателя НОМИНАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ. Отсчет уровня сигнала производится по масштабной сетке ЭЛТ, с учетом делителя 1:100 и установленного предела.

Если белая риска, нанесенная на внешнее черное кольцо, стоит против  $80\text{ mV}$ , тогда восемь делений ЭЛТ по вертикали соответствуют  $80 \cdot 100 = 8000$ ,  $\text{mV} = 8\text{ V}$ .

Если белая риска стоит против  $25\text{ mV}$ , тогда восемь делений ЭЛТ  $2500\text{ mV}$  или  $2,5\text{ V}$  и так далее.

Отсчет частоты спектральных составляющих производится по масштабной сетке ЭЛТ с учетом установленной цены одного деления. Если ручка ОБЗОР стоит на 2 кГц/деление, тогда каждому делению по горизонтали соответствует 2 кГц.

Чтобы измерить частоту отдельной спектральной составляющей с помощью частотомера необходимо:

1) в момент остановки горизонтальной развертки повернуть ручку

РУЧНАЯ вправо (или влево), в результате чего светящаяся метка переместится в нужное положение (процесс можно повторить несколько раз);

2) с помощью индикатора частотомера зафиксировать значение частоты, соответствующее положению светящейся метки по горизонтали.

**Примечание.** Измерители частоты производит измерение только в момент остановки развертки в точке, на которую указывает светящаяся метка.

### 5.7. Указания к отчету

Оформление согласно общим требованиям и правилам оформления отчета по лабораторной работе.

Отчет должен содержать результаты выполнения индивидуального домашнего задания, экспериментальные временные и спектральные диаграммы рассчитанного дома сигнала, а также диаграммы сигналов, позволяющие выявить изменения в спектрах в зависимости от скважности, частоты следования импульсов, количества импульсов в пачке, а также анализ полученных результатов и выводы.

**Примечание.** Следует привести в ответе не менее трех временных и спектральных диаграмм исследованных сигналов по каждому влияющему фактору.

### 5.8. Вопросы для самопроверки

Поясните:

- 1) какими свойствами обладают спектры периодических сигналов;
- 2) как влияет изменение длительности импульса и периода повторения на спектр периодической последовательности прямоугольных видеоимпульсов;
- 3) как отразится на спектре периодического сигнала изменение положения начала отсчета времени;
- 4) как изменится спектр периодического сигнала, если период повторения устремить в бесконечность;
- 5) какая связь существует между сплошным спектром непериодического сигнала и линейчатым спектром соответствующего периодического сигнала;
- 6) как связаны между собой длительности импульса и ширина спектра.

Постройте и сравните:

- 1) спектры периодической последовательности унipoлярных импульсов и периодической последовательности знакопеременных импульсов;
- 2) спектры периодической последовательности видеоимпульсов и пачки из нескольких этих же видеоимпульсов.

Запишите выражение для спектральной плотности периодического сигнала.

## 6. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

### ПРОХОЖДЕНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛОВ ЧЕРЕЗ ЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ

#### 6.1. Цель работы

В результате выполнения лабораторной работы студент должен приобрести практические навыки:

- 1) анализа прохождения периодических сигналов через линейные цепи на основе спектрального и временного методов;
- 2) сравнения спектрального состава сигналов на входе и выходе простейших линейных цепей;
- 3) исследования искажений, возникающих при прохождении импульсов прямоугольной формы через простейшие фильтры верхних частот, нижних частот, полосовые фильтры.

#### 6.2. Основные обозначения, расчетные формулы и определения

Основная задача теории сигналов и линейных цепей заключается в определении сигнала на выходе известной линейной цепи при заданном воздействии. Замечательная особенность линейных систем, состоящая в справедливости принципа суперпозиции, открывает прямой путь к анализу задач о прохождении сигналов путем разложения этих сигналов на элементарные составляющие.

При решении задачи в спектральной области воздействие представляется в виде суммы гармонических колебаний, каждое из которых проходит через линейную цепь независимо от других. Отклик определяется как сумма видоизмененных гармонических колебаний, прошедших через цепь.

При периодическом воздействии в основе спектрального метода лежит аппарат рядов Фурье. Решение задачи включает три этапа:

- 1) представление сигнала  $s(t)$  суммой гармонических колебаний

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega_1 t + \varphi_n), \quad (6.1)$$

- 2) определение комплексной передаточной функции цепи и вычисление значений комплексного коэффициента передачи цепи для каждой из гармонических составляющих воздействия.

$$\dot{K}(\omega) = \dot{K}(n\omega_1) = |K(n\omega_1)| \cdot e^{j\varphi(n\omega_1)}, \quad (6.2)$$

где  $n = \omega/\omega_1$  - нормированная частота;

$|K(n\omega_1)|$  - амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) цепи;

$\varphi(n\omega_1)$  - фазочастотная характеристика (ФЧХ) цепи;

- 3) представление отклика  $s_{\text{вых}}(t)$  в виде суммы видоизмененных гармонических колебаний, прошедших через цепь

$$s_{\text{вых}}(t) = \frac{a_0}{2} K(\theta) + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot |\dot{K}(n\omega_1)| \cdot \cos[n\omega_1 t + \varphi_n + \varphi(n\omega_1)]. \quad (6.2)$$

Недостатком описанного решения является то, что отклик представлен бесконечной суммой гармонических колебаний и, следовательно, отсутствует прямой ответ на вопрос об искажении формы сигнала.

Аналогично изложенной процедуре решения задачи строится исследование прохождения периодического сигнала через линейные цепи в настоящей лабораторной работе. С помощью анализатора спектра СКЧ-56 определяются спектры воздействия и отклика, а также измеряются АЧХ исследуемых линейных цепей.

При решении задачи прохождения сигнала через линейные цепи методами временного интегрирования в качестве элементарных составляющих для представления воздействия используются единичные скачки  $\sigma(t-\tau)$  и дельта-функции  $\delta(t-\tau)$ . С помощью названных испытательных сигналов интегральное (динамическое) представление сигнала воздействия  $s(t)$  имеет вид:

$$s(t) = \int_0^t s(\tau) \cdot \sigma(t-\tau) d\tau. \quad (6.3)$$

$$s(t) = \int_0^t s(\tau) \cdot \delta(t-\tau) d\tau. \quad (6.4)$$

Отклик цепи с нулевыми начальными условиями на воздействие единичного скачка  $\sigma(t)$  численно совпадает с переходной характеристикой цепи  $h(t)$ .

Отклик цепи с нулевыми начальными условиями на воздействие дельта-функции  $\delta(t)$  численно совпадает с импульсной характеристикой цепи  $g(t)$ .

В силу линейности цепи ее отклик на произвольное воздействие заданное в виде (6.4) и (6.5), определяется следующим образом:

$$s_{\text{вых}}(t) = \int_0^t s'(\tau) \cdot h(t-\tau) d\tau. \quad (6.5)$$

$$s_{\text{вых}}(t) = \int_0^t s(\tau) \cdot g(t-\tau) d\tau. \quad (6.6)$$

Формулы (6.6) и (6.7) можно трактовать, как предел суммы переходных (или импульсных) характеристик, взятых с весовыми коэффициентами, соответствующими скорости изменения сигнала воздействия (или значениям сигнала воздействия) в моменты времени:  $\tau$ . Отклик цепи на воздействие последовательности прямоугольных импульсов определяется на основе (6.6) как

$$s_{\text{ВЫХ}}(t) = \sum_{n=1}^N \Delta s(t_k) \cdot h(t - t_k), \quad (6.7)$$

где  $\Delta s(t_k)$  - приращение сигнала в точке разрыва  $t_k$ ,

$N$  - число разрывов.

Краткая сводка обозначений и расчетных соотношений, используемых в работе, приведена в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Испытательные сигналы и временные характеристики ЛЭЦ (изображения и оригиналы)

Название	Изображение по Лапласу	Оригинал
$\delta$ – функция	$L[\delta(t)] = 1$	$\delta(t) = L^{-1}[1]$
Единичный скачок	$L[\sigma(t)] = 1/p$	$\sigma(t) = L^{-1}[1/p]$
Импульсная характеристика	$L^+[g(t)] = K(p)$	$g(t) = L^{-1}[K(p)]$
Переходная характеристика	$L^+[h(t)] = K(p)/p$	$h(t) = L^{-1}[K(p)/p]$

Для проверки правильности проведённых расчетов следует использовать предельные соотношения, связывающие частотные и временные характеристики линейных цепей.

$$\left. \begin{aligned} \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot H(p) &= \lim_{p \rightarrow 0} K(p) = \lim_{t \rightarrow \infty} h(t) \\ \lim_{p \rightarrow \infty} p \cdot H(p) &= \lim_{p \rightarrow \infty} K(p) = \lim_{t \rightarrow 0} h(t) \end{aligned} \right\} \quad (6.8)$$

На рисунке 6.1 изображены схемы цепи, варианты которой исследуются лабораторной работе.

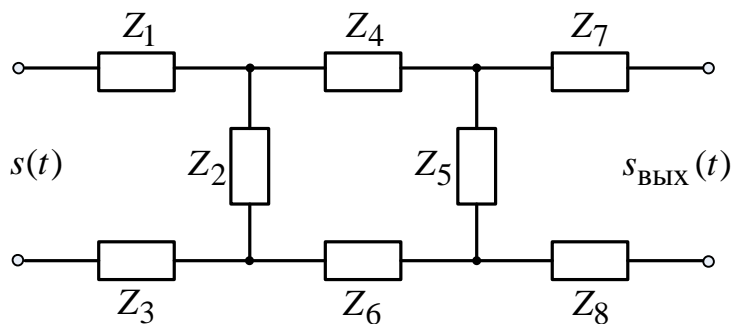


Рисунок 6.1 – Обобщенная схема электрической цепи

Передаточная функция этой цепи определяется следующими выражениями

$$K(p) = \frac{S_{\text{вых}}(p)}{S(p)}, \quad (6.9)$$

$$\dot{K}(\omega) = \frac{\dot{S}_{\text{вых}}(\omega)}{\dot{S}(\omega)}, \quad (6.10)$$

$$\dot{K}(\omega) = \frac{\dot{U}_{\text{вых}}}{\dot{U}}, \quad (6.11)$$

$\dot{K}(\omega) = K(p)$  при  $p = j\omega$ ,

где  $S_{\text{вых}}(p)$ ,  $S(p)$  - изображения по Лапласу сигналов на выходе и входе линейной цепи;

$\dot{S}_{\text{вых}}(\omega)$ ,  $\dot{S}(\omega)$  - спектральная плотность сигналов на выходе и входе линейной цепи;

$\dot{U}_{\text{вых}}$ ,  $\dot{U}$  - комплексные амплитуды гармонического сигнала на выходе и входе линейной цепи.

Применяя любой из методов расчета линейной электрической цепи, получим (в режиме холостого хода).

$$K(p) = \frac{Z_2 \cdot Z_5}{(Z_1 + Z_2 + Z_3)(Z_4 + Z_5 + Z_6) + Z_2(Z_1 + Z_3)}, \quad (6.12)$$

где  $Z$  - комплексное сопротивление двухполюсника.

### 6.3. Домашнее задание

Самостоятельная работа заключается в следующем:

1) проработать лекционный материал и рекомендованную литературу по теме "Прохождение детерминированных сигналов через линейные цепи", изучить методы анализа;

2) рассчитать и построить частотные (АЧХ и ФЧХ) и временные характеристики интегрирующей и дифференцирующей цепей (см. табл.6.2 примечание) полагая, что постоянные времени интегрирующей  $\tau_{\text{иц}}$  и дифференцирующей  $\tau_{\text{дц}}$  цепей связаны с длительностью импульса  $\tau_u$  (см. свой вариант сигнала в табл.5.2) соотношением

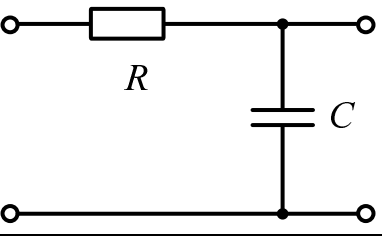
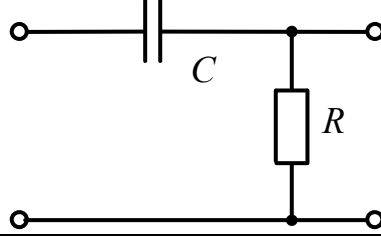
$$\tau_{\text{иц}} = \tau_{\text{дц}} = RC = \tau$$

$$\tau = \frac{\tau_u}{\ln 10} \approx \frac{\tau_u}{2,31}$$

3) рассчитать и построить спектры амплитуд и фаз на выходе цепей, совместить с учетом масштаба спектры входного и выходного сигналов на одной спектрограмме;

4) дать временное представление сигнала на выходе линейной цепи, изобразить на одном графике сигналы на входе и выходе цепей.

Таблица 6.2 – Исследуемые электрические цепи

Название цепи	Интегрирующая цепь	Дифференцирующая цепь
Электрическая схема		
Коэффициент передачи	$K_{и}(p) = \frac{1}{p\tau + 1}$	$K_{д}(p) = \frac{p\tau}{p\tau + 1}$
Комплексный коэффициент передачи	$K_{и}(f) = \frac{1}{j2\pi f\tau + 1}$	$K_{д}(f) = \frac{j2\pi f\tau}{j2\pi f\tau + 1}$
Обозначения	$\tau = RC$ $2\pi f = \omega$	$\tau = RC$ $2\pi f = \omega$

**Примечание.** Частоту в килогерцах менять в пределах от нуля до  $10 F_{сл}$  (рассчитать 5-10 точек). Частоту следования импульсов  $F_{сл}$  взять в таблице 5.2. Время  $t$  менять в пределах от нуля до  $t_{max} = 1/3F_{сл}$  (в микросекундах). Между любыми двумя разрывами сигнала следует брать не менее трех точек.

#### 6.4. Описание лабораторной установки

При выполнении лабораторной работы №3, кроме приборов, используемых в работе № 2; сменной панели "Радиосигналы", анализатора спектра СКЧ-56 и осциллографа СИ-92, применяется сменная панель "Линейные цепи". Для снятия амплитудно-частотной характеристики исследуемой цепи приборы соединяются по схеме, изображенной на рисунке 6.2.

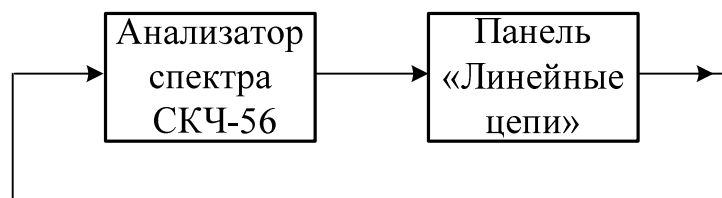


Рисунок 6.2 – Схема эксперимента

Для исследования спектров и формы сигнала на выходе (и входе) линейной цепи приборы соединяются по схеме, представленной на рисунке 6.3.



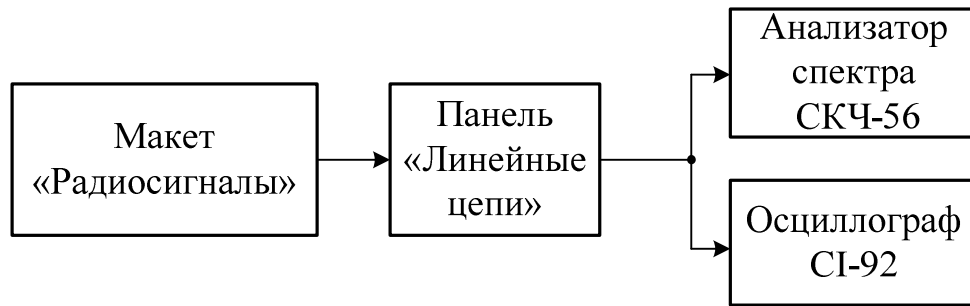


Рисунок 6.3 – Схема включения приборов

## 6.5. Лабораторное задание

При выполнении работы необходимо:

1) собрать и настроить на панели "Линейные цепи" дифференцирующую и интегрирующую цепи (а также цепи из расчетно-графического домашнего задания по усмотрению преподавателя);

2) получить и зарисовать в масштабе осциллограммы временных характеристик заданных цепей для трех значений емкостей, отметив нулевой уровень;

3) снять и зарисовать в масштабе амплитудно-частотные характеристики цепей для трех значений емкостей;

4) измерить и зарисовать в масштабе спектрограммы и осциллограммы сигналов на входе и выходе цепей для  $\tau_{\text{иц}} = \tau_{\text{дц}} \approx \frac{\tau}{2,31}$ .

5) исследовать изменения в спектре сигнала, а также искажения в форме сигнала, возникающие при различных соотношениях между постоянными времени цепей  $\tau_{\text{иц}}$ ,  $\tau_{\text{дц}}$  и длительностью импульса  $\tau$ , наиболее характерные осциллограммы и спектрограммы представить в отчете.

## 6.6. Методические указания

### 6.6.1. Подготовка осциллографа к работе

Установить органы управления в следующие положения:

переключатель УСИЛИТЕЛЬ Y -2ВОЛЬТ/ДЕЛЕН.;

клавиша СЕТЬ -нажать;

гнездо ВХОД СИНХР. -соединить с выходом 5 ГЕНЕРАТОРА ВИДЕОСИГНАЛОВ макета;

переключатель ВРЕМЯ/ДЕЛЕН -в одно из положений I -50 $\mu$ s ,0,1ms таким образом, чтобы заданный импульс по длительности занимал половину интервала развертки.

### 6.6.2. Измерение частотных характеристик линейных цепей

В анализаторе спектра. СКЧ-56 имеется генератор качающейся частоты (ГКЧ), который вырабатывает гармоническое колебание. Максимальная

амплитуда этого колебания равна 2В и может быть уменьшена переключателем УРОВЕНЬ *dBV* с дискретом в 10 дВ до минус 70 дВ. Частота гармонического колебания меняется в пределах (0,01-60)кГц.

Для получения на экране анализатора частотных характеристик высокочастотный разъем ГКЧ СКЧ-56, расположенный в правом верхнем углу, подключается ко входу линейной цепи (см. рисунок 6.2).

### 6.6.3. Настройка линейных цепей

При сборке цепей требуемую емкость выбрать, исходя из рассчитанной постоянной времени  $\tau_{иц}$ ,  $\tau_{дц}$ .

Для получения переходной характеристики в качестве модели единичного скачка использовать сигнал с выхода 13 «Генератора видеосигналов».

Для настройки дифференцирующей цепи следует менять переменное сопротивление таким образом, чтобы при  $t = \tau_{и}$  (см. длительность импульса  $\tau_{и}$  в таблице 5.2) экспоненциальная составляющая переходной характеристики уменьшалась до одной десятой доли от амплитуды входного сигнала.

Для настройки интегрирующей цепи следует менять переменное сопротивление таким образом, чтобы при  $t = \tau_{и}$  сигнал на выходе цепи увеличился до девяти десятых от амплитуды входного импульса.

## 6.7. Указания к отчету

Оформление согласно общим требованиям и правилам.

При представлении результатов работы совмещать на отдельной спектрограмме спектры сигнала на входе и выходе цепи, а также на отдельном графике осциллограммы сигнала на входе и выходе цепи для каждого характерного случая.

## 6.8. Вопросы для самопроверки

Поясните:

1) на чем базируется спектральный метод расчета реакции линейной цепи на периодическое воздействие; на непериодическое воздействие;

2) на чем базируются методы временного интегрирования условно называемые метод интеграла Дюамеля и метод интеграла свертки;

3) какова связь между частотными и временными характеристиками линейных цепей;

4) как экспериментально снять временные характеристики линейных цепей;

5) почему меняется форма сигнала при прохождении его через линейную цепь;

6) каковы условия неискаженной передачи сигнала по каналу связи;

7) как отражаются искажения в области низких и высоких частот на форме сигнала;

8) как по графику переходной характеристики определить постоянную времени цепи;

9) смысл и размерность постоянных времени интегрирующих и дифференцирующих  $RC$  и  $RL$ -цепей:

10) при каких сочетаниях между постоянной времени цепи и длительностью импульса положительной полярности с выхода 13 "Генератора видеосигналов" этот импульс может служить моделью единичного скачка;

11) при каких условиях  $RC$ -фильтр верхних частот ведет себя как дифференцирующая цепь,

неискажающая цепь (межкаскадная разделительная цепь);

12) при каких условиях  $RC$ -фильтр нижних частот приближается к интегралу (на основе временного и частотного подходов).

Изобразите:

1) частотные характеристики цепи, не искажающей сигнал;

2) схемы и графики АЧХ и ФЧХ интегрирующей и дифференцирующей  $RC$  и  $RL$ -цепей;

3) переходные характеристики ФВЧ и ФНЧ на  $RC$  и  $RL$ -цепях;

4) переходные характеристики полосопропускающей апериодической цепи.

## 7. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

### АМПЛИТУДНО-МОДУЛИРОВАННЫЕ СИГНАЛЫ

#### 7.1. Цель работы

Изучить основные параметры и характеристики амплитудно-модулированных (АМ) сигналов. Исследовать спектры радиосигналов, полученных путем амплитудной модуляции гармонического сигнала и периодической последовательности коротких импульсов управляющими периодическими сигналами сложной формы.

#### 7.2. Основные обозначения, расчетные формулы и определения

7.2.1. В процессе модуляции участвуют два вида лабораторно-модулированных сигналов: несущий и управляющий. При амплитудной модуляции в соответствии с управляющим сигналом  $s_y(t)$  меняется амплитуда несущего сигнала  $s_o(t)$ .

Различают два вида амплитудной модуляции (АМ) балансную и простую. Математическое описание амплитудно-модулированного сигнала в общем случае представляется выражением

$$s_{AM}(t) = k_{AM} \cdot s_y(t) \cdot s_o(t), \quad (7.1)$$

где  $k_{AM}$  - коэффициент пропорциональности, зависящий от параметров модулятора.

Если управляющий сигнал  $s_y(t)$  содержит постоянную  $s_o$  и переменную  $\tilde{s}_y(t)$  составляющие, то имеет место простая амплитудная модуляция с математическим описанием

$$s_{AM}(t) = k_{AM} \cdot (s_o + \tilde{s}_y(t)) \cdot s_o(t), \quad (7.2)$$

В случае отсутствия постоянной составляющей имеет место так называемая балансная модуляция (см. формулу 7.1).

#### 7.2.2. Узкополосные амплитудно-модулированные сигналы

Для получения узкополосных АМ-сигналов в качестве несущего колебания используют высокочастотное гармоническое колебание. Узкополосность достигается в том случае, если частота несущего сигнала много больше максимальной частоты в спектре управляющего сигнала.

##### А. Тональная модуляция

Если несущий  $s_o(t)$  и управляющий  $s_y(t)$  сигналы представляют собой гармонические колебания, тогда модуляция называется тональной

$$s_o(t) = A_o \cos(\omega_o t + \varphi_o), \quad (7.3)$$

$$s_y(t) = B \cos(\Omega t + \varphi_y) \quad (7.4)$$

где  $A_o$ ,  $B$  – амплитуды;  $\omega_o$ ,  $\Omega$  – частоты;  $\varphi_o$ ,  $\varphi_y$  – начальные фазы.

В случае простой АМ (рис.7.1а) математическое описание модулированного сигнала имеет вид:

$$s_{AM}(t) = A_o [1 + M \cdot \cos(\Omega t + \varphi_y)] \cdot \cos(\omega_o t + \varphi_o), \quad (7.5)$$

где  $M$  – коэффициент амплитудной модуляции (иногда называют глубиной модуляции).

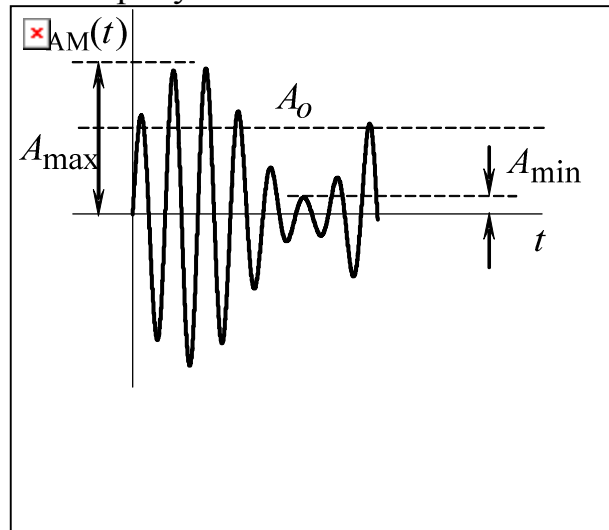
**Примечание.** Закон изменения огибающей линейно связан с управляющим сигналом, поэтому информацию об управляющем сигнале легко получить путем выделения огибающей (детектированием).

Спектр модулированного сигнала (рисунок 7.2а) представляет собой совокупность трех гармонических колебаний, а именно

$$s_{AM}(t) = A_o \cdot \cos(\omega_o t + \varphi_o) + \frac{A_o M}{2} \cdot \cos[(\omega_o + \Omega)t + \varphi_o + \varphi_y] + \frac{A_o M}{2} \cdot \cos[(\omega_o - \Omega)t + \varphi_o - \varphi_y], \quad (7.6)$$

При амплитудной модуляции происходит перенос спектра управляющего сигнала из области низких частот в область высоких.

Временное и спектральное представление радиосигнала при тональной модуляции изображено на рисунке 7.1.



а)

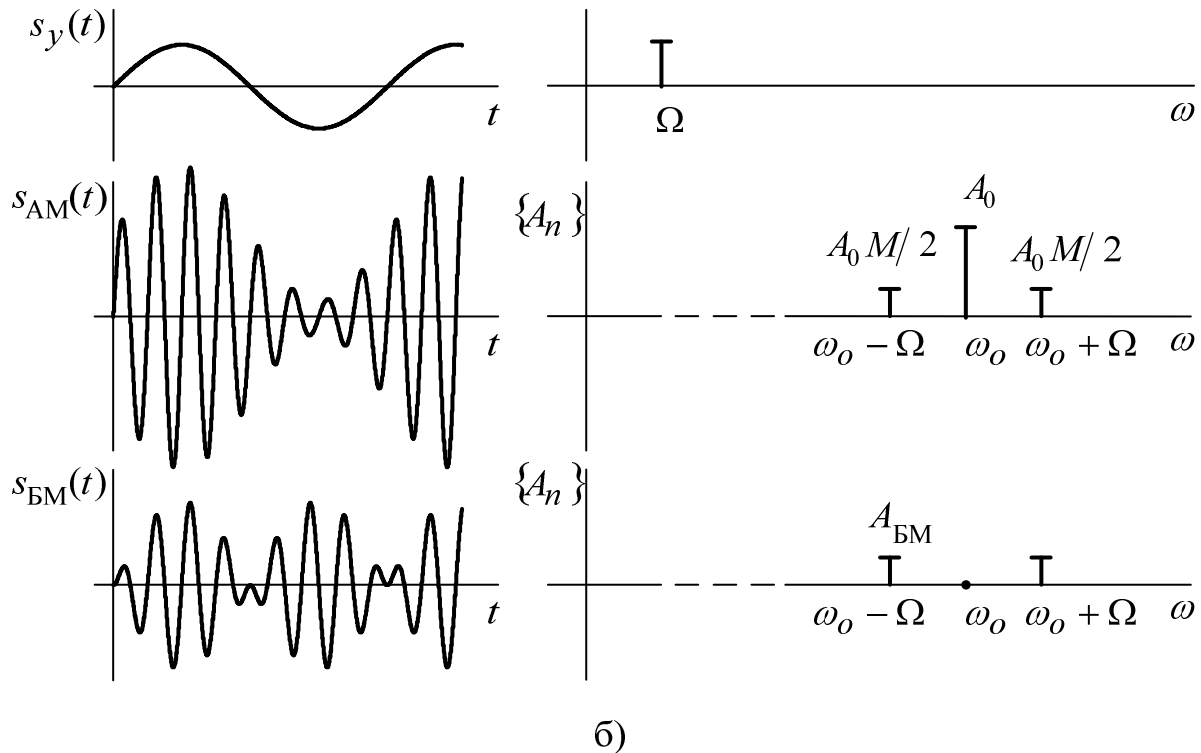


Рисунок 7.1 - а) простая модуляция, б) сравнение с балансной модуляцией

На рисунке 7.1а обозначены максимальное  $A_{\max}$  и минимальное  $A_{\min}$  значения огибающей, зная которые, можно оценить коэффициент (глубину) модуляции  $M$ .

$$\left. \begin{aligned} A_{\max} &= A_o(1 + M) \\ A_{\min} &= A_o(1 - M) \end{aligned} \right\} \cdot \quad (7.7)$$

$$M = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}} \quad (7.8)$$

$$A_o = \frac{1}{2}(A_{\max} + A_{\max}) \quad (7.9)$$

В случае балансной АМ математическое описание модулированного сигнала (см.рис. 7.1б) имеет вид

$$\begin{aligned} s_{\text{БМ}}(t) &= k_{\text{БМ}} \cdot A_o \cdot B \cdot \cos(\Omega t - \pi/2) \cdot \cos(\omega_o t - \pi/2) = \\ &= A_{\text{БМ}} \cos(\omega_o - \Omega)t + A_{\text{БМ}} \cos[(\omega_o + \Omega)t - \pi], \end{aligned} \quad (7.10)$$

где  $A_{\text{БМ}} = k_{\text{БМ}} \cdot A_o \cdot B$  - амплитуда боковой составляющей.

$k_{\text{БМ}}$  - коэффициент пропорциональности.

В спектре сигнала (рис. 7.2б) нет информации о несущем колебании. Радиосигнал, получившийся в результате балансной модуляции, узкополосен и может быть представлен квазигармоническим колебанием вида

$$\begin{aligned} s_{\text{БМ}}(t) &= k_{\text{БМ}} \cdot s_y(t) \cdot s_o(t) = k_{\text{БМ}} \cdot s_y(t) \cdot A_o \cos(\omega_o t + \varphi_o) = \\ &= A_{\text{БМ}}(t) \cdot \cos(\omega_o t + \varphi_o). \end{aligned} \quad (7.11)$$

где  $A_{\text{БМ}}(t) = k_{\text{БМ}} \cdot A_o \cdot s_y(t)$  - огибающая модулированного колебания.

**Примечание.** Закон изменения огибающей и закон изменения управляющего сигнала имеют нелинейную связь, поэтому выделение управляющего сигнала представляет сложную техническую задачу которая решается, как правило, путем предварительного восстановления в спектре радиосигнала несущего колебания.

Ширина спектра радиосигнала,  $\Delta\omega$  как при простой, так и при балансной модуляции равна  $2\Omega$ .

$$\Delta\omega = 2\Omega, \quad (7.12)$$

Балансная модуляция позволяет получить выигрыш по мощности.

Б. Модуляция периодическим сигналом сложной формы

Управляющий сигнал задан спектром

$$s_y(t) = \sum_{n=1}^{\infty} B_n \cdot \cos(n\Omega t + \varphi_n). \quad (7.13)$$

При простой модуляции имеем

$$\begin{aligned} s_{AM}(t) &= \left[ A_0 + k_{AM} \sum_{n=1}^{\infty} B_n \cos(n\Omega t + \varphi_n) \right] \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = \\ &= A_0 \left[ 1 + \sum_{n=1}^{\infty} M_n \cos(n\Omega t + \varphi_n) \right] \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \end{aligned} \quad (7.14)$$

где  $M_n$  -  $n$ -ый (парциальный) коэффициент модуляции.

Спектр модулированного сигнала описывается выражением вида

$$\begin{aligned} s_{AM}(t) &= A_0 \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0) + \underbrace{\sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_0 M_n}{2} \cos[(\omega_0 + n\Omega)t + \varphi_0 + \varphi_n]}_{\text{ВБП}} + \\ &+ \underbrace{\sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_0 M_n}{2} \cos[(\omega_0 - n\Omega)t + \varphi_0 - \varphi_n]}_{\text{НБП}}, \end{aligned} \quad (7.15)$$

где ВБП – верхняя боковая полоса, НБП – нижняя боковая полоса.

Поясняющие иллюстрации приведены на рисунке 7.3. Спектрограммы на рисунке 7.3б наглядно демонстрируют перенос спектра управляющего сигнала из области низких частот в область высоких.

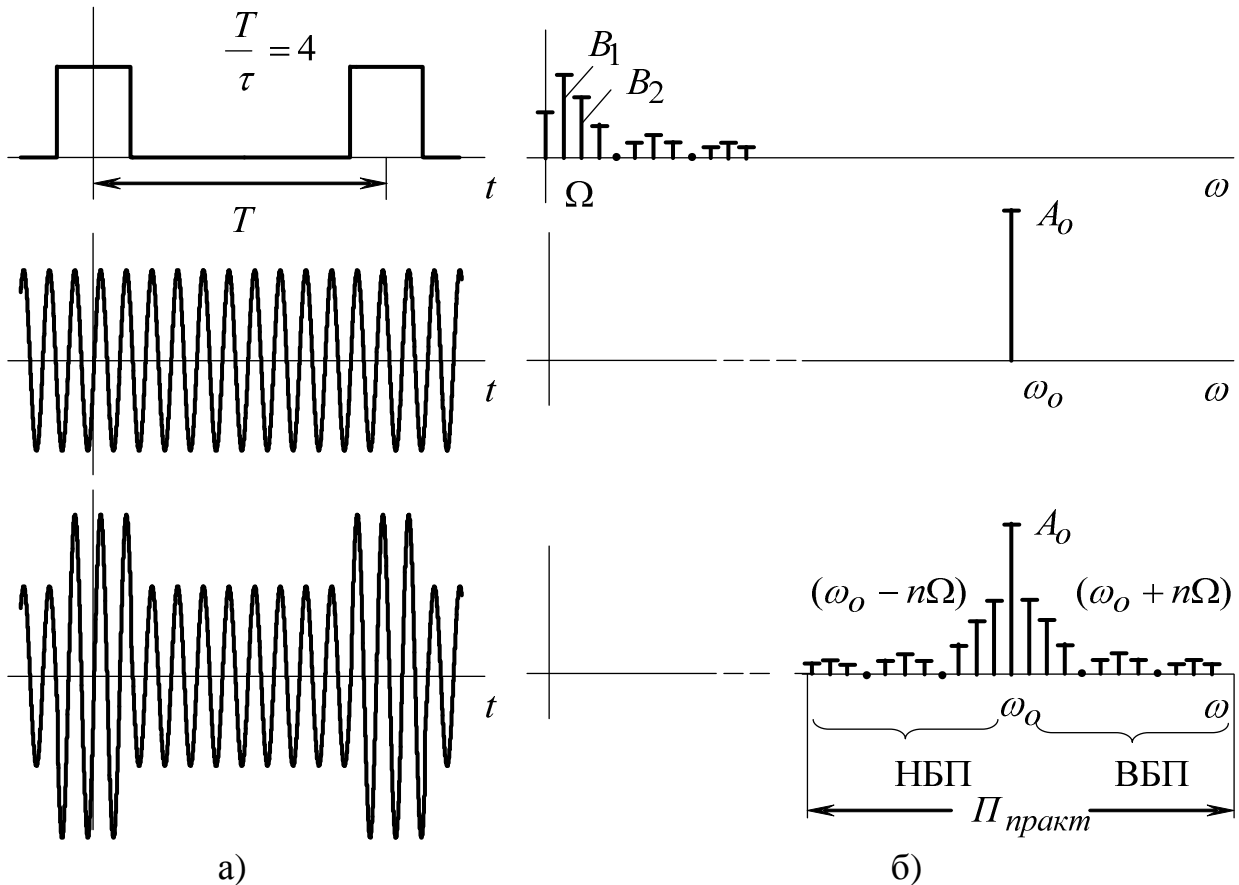


Рисунок 7.3 – Временное и спектральное представления радиосигнала при амплитудной модуляции периодическим управляющим сигналом

### 7.2.3. Широкополосные амплитудно-импульсно-модулированные АИМ-сигналы

Несущее колебание представляет собой периодическую последовательность коротких импульсов, математическое описание которой представляет собой ряд Фурье

$$s_o(t) = E \left[ \frac{\tau}{T} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_n}{E} \cdot \cos(n\omega_o t + \varphi_n) \right]. \quad (7.16)$$

**Примечание.** Во избежание искажений, возникающих за счет наложения спектров, должно выполняться условие  $n_{max} \cdot \Omega_1 < \omega_1/2$ , т.е. максимальная частота в спектре управляющего сигнала не должна превышать половину частоты следования импульсов несущего колебания.

### 7.3. Домашнее задание

Самостоятельная работа заключается в следующем:

- 1) проработать лекционный материал и рекомендованную литературу по теме "Радиосигналы";
- 2) дать математическое описание амплитудно-модулированного сигнала



(в качестве несущего сигнала использовать гармоническое колебание с параметрами  $U_{\omega} = 8\text{В}$ ,  $\omega_0 = 2\pi \cdot 32 \cdot 10^3 \text{ рад/с}$ ,

$\varphi_0 = 60^\circ$ , в качестве управляющего сигнала использовать свой вариант из табл. 5.2, коэффициент модуляции  $K_{\text{АМ}} \sim 0,1$ );

3) рассчитать парциальные коэффициенты модуляции;

4) построить спектр амплитуд и спектр фаз АМ-сигнала;

5) построить векторные диаграммы, иллюстрирующие тональную модуляцию для двух случаев - простой и балансной модуляции.

#### 7.4. Описание лабораторной установки

При выполнении лабораторной работы №4 используются следующие приборы: сменная панель "Радиосигналы", анализатор спектра СКЧ-56 и осциллограф С1-94. Несущие сигналы - гармоническое колебание и последовательность коротких импульсов - снимаются с выходов 1 и 7 "Генератора видеосигналов". Управляющие сигналы снимаются либо непосредственно с "Генератора видеосигналов", либо предварительно формируются при помощи функциональных узлов макета: перемножителя "X", сумматора " $\Sigma$ " и усилителя ">". Модуляция осуществляется путем перемножения несущего и управляющего сигналов.

На рисунке 7.5 изображена одна из возможных схем включения.

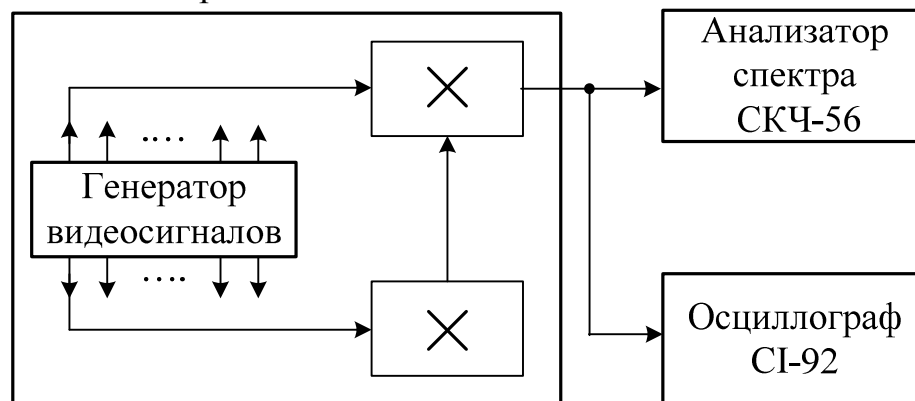


Рисунок 7.5 – Схема эксперимента

#### 7.5. Лабораторное задание и методические указания

При выполнении работы необходимо:

1) получить тонально-модулированное колебание путем перемножения высокочастотного гармонического колебания без постоянной составляющей и низкочастотного гармонического колебания с постоянной составляющей (несущий и управляющий сигналы снимаются соответственно с I и II выходов "Генератора видеосигналов", ручка ОТСЕЧКА должна быть повернута в крайнее правое положение);

2) измерить и зарисовать в масштабе осциллограмму и спектрограмму полученного радиосигнала;

3) вычислить глубину модуляции по осциллограмме (формула 7.9) и по

спектрограмме  $M = 2U_{\delta}/U_0$  сравнить их между собой;

4) исследовать и изобразить в масштабе осциллограмму и спектрограмму АМ-сигнала при балансной модуляции, получаемой путем перемножения гармонических сигналов с двух выходов 1 и 12 "Генератора видеосигналов";

5) исследовать и изобразить в масштабе осциллограмму и спектрограмму АМ-сигнала, полученного перемножением высокочастотного гармонического колебания (выход 1 "Генератора видеосигнала") и проанализированного в домашнем задании и лабораторной работе № 2 управляющего сигнала, заданного в таблице 5.2 и получаемого с помощью функциональных узлов сменной панели "Радиосигналы";

6) сравнить между собой спектрограммы управляющего сигнала и полученного АМ-сигнала, оценить практическую ширину спектра АМ-сигнала;

7) исследовать особенности спектров амплитудно-импульсно-модулированных (АИМ) сигналов, получаемых путем перемножения периодической последовательности униполярных прямоугольных импульсов (с частотами следования 32, 16,8 кГц) с выхода 7 и сигнала сложной формы по выбору (пилообразной формы - с выхода 6 или косинусоидальной формы - с выхода II);

8) изобразить в масштабе полученные осциллограммы и спектрограммы АИМ-сигналов, сравнить их между собой, а также сравнить спектры АИМ-сигналов со спектром выбранного управляющего сигнала.

## 7.6. Вопросы для самопроверки

Поясните:

1) в чем заключается процесс модуляции;  
2) что понимается под несущим и модулирующим колебаниями;  
3) как определяется и от чего зависит глубина амплитудной модуляции;  
4) в чем принципиальное отличие осциллограмм сигналов о балансной амплитудной модуляцией и обычных АМ-сигналов;

5) каким путем можно преобразовать радиосигнал с балансной модуляцией в обычный АМ-сигнал;

6) в чем заключается причина возникновения искажений в огибающей АМ-сигнала при перемодуляции;

7) как записываются АМ-колебание и как формируется его спектр при модуляции: гармоническим колебанием; произвольным периодическим колебанием; непериодическим сигналом;

8) как изобразить векторные диаграммы АМ-сигнала при тональной простой и балансной модуляциях;

9) в каких пределах меняется мощность АМ-колебания, средняя за период высокой частоты (при простой амплитудной модуляции);

10) как распределяется в спектре АМ-сигнала мощность, средняя за период модуляции;

- 11) как осуществляется импульсная модуляция;
- 12) в чем проявляются различия между управляющим и несущим сигналами при импульсной модуляции;
- 13) как формируется спектр АИМ-сигнала;
- 14) какие изменения происходят в спектре управляющего сигнала при импульсной модуляции;
- 15) из каких соображений следует выбирать частоту следования импульсов несущего колебания.

## **8. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник -Изд. перераб. и доп.-М.: Сов.радио,1986.-512 с.
2. Баскаков С.К. Радиотехнические цепи и сигналы: Экспериментальный учебник.-М.: Высш.школа,1983.-535с.
3. Радиотехнические цепи и сигналы: Учеб.пособие /Под ред. К.А.Самойло.-М.: Радио и связь,1982.-527с.
4. Каратаева Н.А. Радиотехнические цепи и сигналы. Теория сигналов и линейные фильтры: Учебное пособие. – Томск: Томск. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2003. – 255 с.  
ISBN 5-86889-175-9
5. Прохождение управляющих сигналов через линейные цепи и корреляционный анализ: Учебное пособие/Разработчик Н.А.Каратаева.- ТИАСУР,1987.-40с.

## 9 ПРИЛОЖЕНИЕ

### 9.1. Описание панели «Радиосигналы»

#### 9.1.1. Назначение

Все необходимое для выполнения лабораторных работ смонтировано на лабораторном стенде. При выполнении работ используются:  
сменная панель «Радиосигналы», изображенная на рисунке 9.1;

осциллограф СИ-94;

анализатор спектра СК4-56.

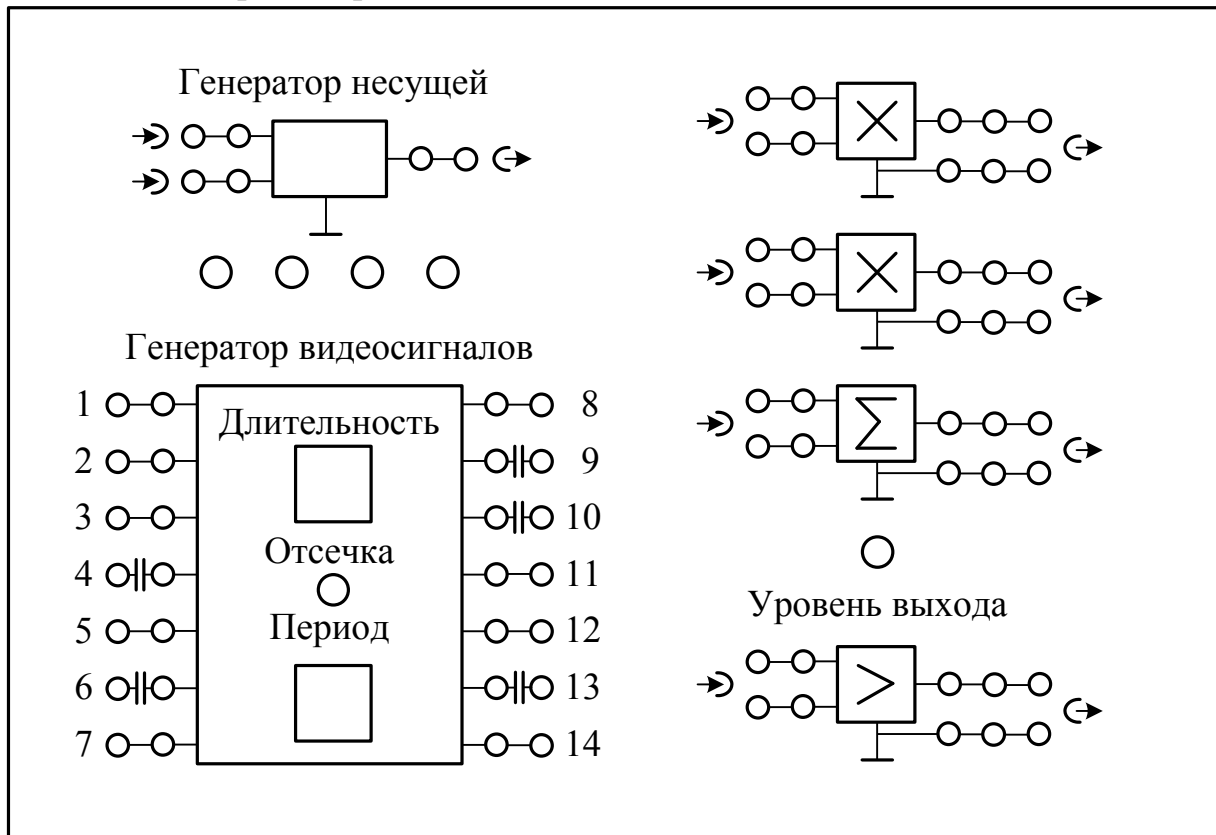


Рисунок 9.1 – Внешний вид сменной панели «Радиосигналы»

Панель «Радиосигналы» лабораторного стенда представляет собой генератор электрических колебаний широкого класса и предназначена для выполнения лабораторных работ, проведения экспериментальных исследований студентами в рамках курсового проектирования и учебно-исследовательской работы (УИР), а также лекционных демонстраций в курсах «Радиотехнические цепи и сигналы» и «Основы теории цепей».

#### 9.1.2. Состав панели

В состав панели «Радиосигналы» входят:

- 1) «Генератор несущей»;
- 2) «Генератор видеосигналов»;

- 3) два четырехкватратных перемножителя двух аналоговых сигналов (x);
- 4) сумматор ( $\Sigma$ ) двух аналоговых сигналов;
- 5) усилитель ( $>$ ) с регулируемым уровнем выходного напряжения.

#### 9.1.3. Описание блока «Генератор несущей»

«Генератор несущей» представляет собой генератор высокочастотных, близких к гармоническим, колебаний ( $f \approx 120-300$  кГц) с электромагнитной перестройкой частоты и регулируемым уровнем выхода. Перестройка частоты может осуществляться как вручную с помощью потенциометров ЧАСТОТА, ГРУБО, ТОЧНО, так и путем подачи напряжений (до 8 В) на управляющие входы генератора « $\rightarrow$  ЧМ» и « $\rightarrow$  ФМ». При подаче управляющего сигнала на вход « $\rightarrow$  ЧМ» изменение частоты генерируемых колебаний пропорционально напряжению сигнала, т.е. генератор будет вырабатывать частотно-модулированные колебания (ЧМК). При подаче управляющего сигнала на вход « $\rightarrow$  ФМ» на выходе генератора будет получено фазомодулированное колебание (ФМК). Девияция частоты ЧМК и индекс модуляции ФМК могут регулироваться с помощью ручки ИНДЕКС, ДЕВИАЦИЯ. Изменение средней частоты ЧМК и ФМК производится с помощью ручек ЧАСТОТА, ГРУБО, ТОЧНО.

С помощью ручки УРОВЕНЬ ВЫХОДА можно регулировать амплитуду генерируемых колебаний от 0 до 5 В.

#### 9.1.4. Описание блока «Генератор видеосигналов»

«Генератор видеосигналов» вырабатывает одновременно 14 когерентных, с кратными частотами, колебаний различной формы. Для удобства около каждой пары выходных гнезд генератора выгравирована упрощенная временная зависимость напряжения, по которой можно судить о частоте, форме колебания и о регулируемом параметре (угле отсечки, скважности и т.д.). Регулируемый параметр указан на временных диаграммах горизонтальными короткими линиями.

Таблица 9.1 – Характеристики сигналов на выходах «Генератора видеосигналов»

Номер выхода	Описание сигналов и их основные параметры
1	Гармоническое колебание с частотой 32768 Гц. С помощью переключателя ДЛИТЕЛЬНОСТЬ на этом выходе можно получить или непрерывное гармоническое колебание или "пакеты" с частотой следования 20480, содержащие 1, 2, 4, 8, 16, 24, 28, 30, 31 периода синусоиды.
2	Только отрицательные полупериоды колебания, вырабатываемого на выходе « I », в форме «пакетов» или непрерывной последовательности. Длительность «пакета» регулируется

	переключателем ДЛИТЕЛЬНОСТЬ в тех же пределах, что и у гармонического колебания на выходе « I ».
3	То же самое, что и на выходе «2», но положительной полярности.
4	Колебание прямоугольной формы с постоянной скважностью $N=2$ («меандр») положительной полярности с частотой 2048 Гц, Между парой выходных гнезд "4" включен разделительный конденсатор. После разделительного конденсатора получается прямоугольный знакопеременный сигнал без постоянной составляющей.
5	Короткие ( $\tau_u = 6$ мкс) экспоненциальные импульсы напряжения с частотой 2048 Гц. Сигнал может быть использован или в качестве синхронизирующего для осциллографа, или в качестве испытательного при снятии импульсных характеристик цепей.
6	Периодическое линейнонарастающее (пилообразное) напряжение частотой 2048 Гц с начальным уровнем, близким к нулю. Взяв этот сигнал после разделительного конденсатора, можно получить линейнонарастающее напряжение без постоянной составляющей. Сигнал можно использовать и как напряжение горизонтальной развертки осциллографа.
7	Прямоугольные импульсы положительной полярности с постоянной длительностью порядка 15 мкс, период следования которых можно изменять с помощью переключателя ПЕРИОД с шагом в два раза.
8	Прямоугольные импульсы положительной полярности со скважностью 2 и частотой 32768 Гц. С помощью переключателя ДЛИТЕЛЬНОСТЬ можно получить или непрерывную последовательность этих импульсов, или "пакеты" с частотой следования 2048 Гц, содержащие 1, 2, 4, 8, 6, 24, 28, 30, 31 прямоугольных импульсов.
9	Прямоугольные импульсы положительной полярности с частотой 2048 Гц, длительность которых может меняться дискретно с помощью переключателя ДЛИТЕЛЬНОСТЬ по закону. $\tau_u = 15,5 \cdot K$ мкс, где K - любое целое число из ряда 1, 2, 4, 8, 16, 24, 28, 30, 31.
10	Колебание треугольной формы с частотой 2048 Гц. Длительность треугольной части сигнала меняется с помощью переключателя ДЛИТЕЛЬНОСТЬ.
11	Гармонический сигнал с частотой 2048 Гц. Предусмотрена регулировка с помощью потенциометра ОТСЕЧКА угла отсечки в пределах от 0 до 180°.
12	Гармоническое напряжение с частотой 2048 Гц. Параметры колебания не регулируются.
13	Прямоугольный сигнал положительной полярности со скважностью два, частотой 1024 Гц. После конденсатора этот сигнал можно

	получить без постоянной составляющей.
14	Линейнонарастающее от нуля напряжение с частотой 64 Гц. Сигнал может использоваться в качестве напряжения горизонтальной развертки осциллографа и управляющего напряжения в генераторе несущей (« $\rightarrow$ ЧМ») для измерения амплитудно-частотных характеристик цепей.

### 9.1.5. Описание перемножителей

Перемножители позволяют перемножить два любых аналоговых сигнала, снимаемых с выходов других функциональных узлов панели. Перемножаемые сигналы подаются на входы X и Z перемножителей.

Выходной сигнал

$$Y = A \cdot X \cdot Z$$

пропорциональный произведению входных сигналов X и Z, снимается с гнезд (« $\rightarrow$  Y»). Коэффициенты пропорциональности A и B перемножителей в первом приближении можно считать равными 0,1. При необходимости их более точно можно определить экспериментально путем подачи на оба входа одновременно гармонического сигнала с известной амплитудой  $X_m = Z_m$  и измерения с помощью осциллографа амплитуды выходного сигнала  $Y_m$ .

В этом случае  $A = Y_m / X_m^2$ .

### 9.1.6. Описание сумматора

При подаче на входы 1 и 2 сумматора « $\Sigma$ » суммируемых аналоговых сигналов с амплитудами  $U_{1m}$  и  $U_{2m}$  на выходе будет получен сигнал амплитудой

$$U_{m\text{вых}} = k(U_{1m} + U_{2m})$$

Коэффициент пропорциональности сумматора  $k \approx 0,5$ . При необходимости он может быть более точно определен экспериментально аналогично определению коэффициентов A и B перемножителей.

### 9.1.7. Описание усилителя

В состав панели «Радиосигналы» входит неинвертирующий усилитель с регулируемым с помощью ручки УРОВЕНЬ ВЫХОДА выходным напряжением.

Максимальный коэффициент передачи усилителя по напряжению не превышает единицы. И тем не менее это усилитель, так как, обладая большим входным ( $\approx 100$  кОм) и малым выходным ( $\approx 10$  Ом), сопротивлениями он обеспечивает усиление сигнала по мощности. Усилитель целесообразно использовать в тех случаях, когда необходимо или обеспечить согласование высокоомного источника сигнала «Генератора радиосигналов» с низкоомной

нагрузкой (входы исследуемых линейных цепей), или возникает необходимость в регулировке амплитуды используемого колебания.

#### 9.1.8. Общие замечания

Все функциональные узлы панели «Радиосигналы» имеют один общий провод ( $\perp$ ). Поэтому все необходимые электрические соединения выхода одного узла со входом другого в пределах панели ведутся только одним проводом с наконечниками, включаемыми в соответствующие гнезда.

Подключение же к панели внешних устройств (радиоизмерительных приборов, исследуемых цепей и т.д.) должно проводиться по двухпроводной схеме. При этом общие провода приборов соединяются с соответствующими гнездами панели первыми еще до включения питания.

Уровни входных и выходных напряжений всех функциональных узлов подобраны практически одинаковыми ( $\approx 9-10$  В). Это позволяет подавать сигналы от одного функционального узла к другому без опасения возможных в таких случаях электрических перегрузок.

Уровень выходных напряжений "Генератора радиосигналов" не регулируется. Поэтому в тех случаях, когда такая регулировка необходима, следует сигнал подавать через усилитель, имеющий регулировку уровня выхода.

Выходы «Генератора радиосигналов», перемножителей, сумматора рассчитаны на подключение нагрузок с сопротивлением не менее 5 кОм. Поэтому при необходимости подключения к ним цепей, входные сопротивления которых или неизвестны, или меньше 5 кОм, следует между ними включать согласующий усилитель.

Вход управления частотой « $\rightarrow$  ЧМ» «Генератора несущей» является открытым (нет разделительного конденсатора). Поэтому при подаче на этот вход управляющего напряжения с постоянной составляющей будет наблюдаться естественное изменение среднего значения частоты колебаний, генерируемых «Генератором несущей». Компенсировать этот уход частоты можно с помощью ручек ЧАСТОТА, ГРУБО, ТОЧНО.

Смонтированные на панели «Радиосигналы» перемножителя являются четырехкватратными и имеют открытые входы X и Z . Это значит, что результат перемножения (выходной сигнал) будет зависеть не только от знаков мгновенных значений входных сигналов в данный момент, но и от значения постоянных составляющих перемножаемых сигналов.

Все колебания, вырабатываемые одновременно на выходах «Генератора радиосигналов», являются когерентными. т. е. их начальные фазы жестко связаны друг с другом, а частоты являются кратными. Поэтому, используя пилообразное напряжение с частотой 2048 Гц (выход б) для внешней горизонтальной развертки осциллографа, мы всегда будем наблюдать на экране изображение одного или нескольких периодов исследуемого сигнала неподвижным.



## 9.2. Осциллограф СИ-94

Осциллограф СИ-94 предназначен для исследования электрических процессов путем визуального наблюдения и измерения их параметров. Рабочая часть экрана составляет не менее 60 мм (10 делений) по горизонтали и 40 мм (8 делений) по вертикали.

### 9.2.1. Технические характеристики

Осциллограф СИ-94 обеспечивает:

1) наблюдение формы импульсов обеих полярностей длительностью от 0,1 мкс до 0,5 с и размахом от 10 мВ до 30 В, а с выносным делителем I : 10 от 100 мВ до 300 В;

2) наблюдение гармонических сигналов в диапазоне частот от 5 Гц до 10 МГц;

3) измерение амплитуд исследуемых сигналов от 10 мВ до 30 В, с выносным делителем - до 300 В;

4) измерение временных интервалов от 0,2 мкс до 0,5 с.

Канал вертикального отклонения осциллографа имеет следующие параметры:

1) полоса пропускания от постоянного тока до 10 МГц;

2) вход усилителя может быть открытый или закрытый;

3) входное сопротивление усилителя вертикального отклонения 1 МОм  $\pm 3\%$  с параллельной емкостью 40 пФ  $\pm 10\%$ ;

4) коэффициент отклонения калиброванный и устанавливается степенями

от 10 мВ/дел до 5 В/дел с перекрытием два и два с половиной раза;

5) внутренний калибратор амплитуд и временных интервалов выдает калиброванное напряжение в виде меандра.

Усилитель канала горизонтального отклонения луча имеет следующие параметры:

коэффициент отклонения не превышает 0,5 В/дел;

полоса пропускания от 20 Гц до 2 МГц.

Развертка осциллографа может работать как в ждущем, так и в автоколебательном режимах, диапазон калиброванных длительностей развертки от 50 мс/дел до 0,1 мкс/дел разбит на 18 фиксированных поддиапазонов с перекрытием в два и два с половиной раза.

Осциллограф имеет синхронизацию:

1) внутреннюю - исследуемым гармоническим сигналом с частотой от 20 Гц до 10 МГц и импульсными сигналами любой полярности длительностью от 0,3 мкс и более при величине изображения от 0,8 до 8 делений;

2) внешнюю - гармоническими сигналами с частотой от 20 Гц до 10 МГц или импульсными сигналами обеих полярностей длительностью от 0,3 мкс и более и амплитудой от 0,5 В до 3,0 В.

Прибор может питаться от сети переменного тока напряжением 220 В  $\pm 10\%$

частоты  $50 \pm 0,5$  Гц.

### 9.2.2 Краткое описание

Принцип работы осциллографа СИ-94 и взаимодействие его основных узлов поясняется структурной схемой, приведенной на рисунке 9.2.

Исследуемый сигнал подается на входное гнездо усилителя вертикального отклонения « $\rightarrow$  Y». При помощи входного аттенюатора *V/Дел*, представляющего собой частотно-компенсированный делитель напряжения, подают на вход усилителя сигнал с амплитудой, удобной для наблюдения и исследования на экране электронно-лучевой трубки.

С выхода аттенюатора сигнал поступает на предварительный усилитель, в котором происходит основное усиление сигнала.

При исследовании коротких импульсных сигналов генератор развертки осциллографа должен запускаться раньше, чем на вертикально-отклоняющие пластины трубки поступит исследуемый сигнал. В противном случае передний фронт импульса на экране трубки будет не виден. Поэтому в канал вертикального отклонения осциллографа введена линия задержки, а сигнал запуска генератора развертки снимается до нее.

Оконечный усилитель усиливает исследуемый сигнал до величины, обеспечивающей его хорошее наблюдение на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ).

Генератор развертки вырабатывает линейно изменяющееся во времени напряжение, необходимое для перемещения электронного луча на экране ЭЛТ с постоянной скоростью в заданном диапазоне длительностей развертки. Усилитель развертки усиливает напряжения развертки до величины, обеспечивающей перемещение луча в пределах всего диаметра экрана ЭЛТ. Узел синхронизации вырабатывает прямоугольные импульсы постоянной амплитуды независимо от величины напряжения и формы запускающего импульса, приходящего или из канала вертикального отклонения или от генератора внешнего запуска.

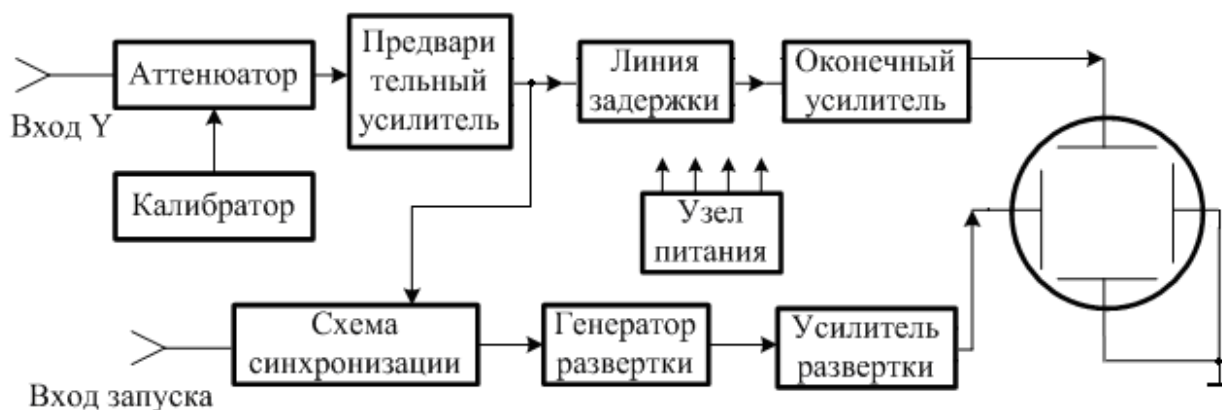


Рисунок 9.2 – Структурная схема осциллографа СИ-56

Калибратор вырабатывает прямоугольные импульсы, которые используются для калибровки чувствительности вертикального канала и длительности развертки осциллографа.

9.2.3. Описание передней панели осциллографа и подготовка его к работе.

Все основные органы управления (см. таблицу 9.2) осциллографа расположены на его передней панели.

Таблица 9.2 – Обозначение органов управления и их назначение

Органы управления	Назначение
Кнопка СЕТЬ	Включение прибора
Ручка ☀	Регулировка яркости луча
Ручка ☉	Регулировка луча фокусировки
Ручка ↔	Смещение луча по горизонтали
Ручка ↕	Смещение луча по вертикали
Ручка УРОВЕНЬ	Выбор уровня запуска развертки
Разъем →	Подключение исследуемых сигналов к вертикальному каналу
Гнездо ЗАПУСКА ↻	Подключение сигнала внешней синхронизации
Переключатель ВРЕМЯ/ДЕЛ	Ступенчатое переключение времени развертки
Переключатель V/ДЕЛ	Переключение коэффициентов отклонения
ms Кнопка μs	Грубое переключение коэффициентов развертки
Кнопка АВТ.ЖДУЩ	Переключение автоматического и ждущего режимов работы развертки
Кнопка ⇄	Переключение полярности запускающего сигнала
Кнопка ВНУТР.ВНЕШ	Переключение режимов синхронизации
Кнопка ≡	Переключение открытого и закрытого входов вертикального канала
Клемма ⊥	Клемма заземления

Установить органы управления осциллографа в положения, указанные в таблице 9.3.

Таблица 9.3 – Исходное положение органов управления

Органы управления	Обозначение на передней панели прибора	Исходное положение
Кнопка	СЕТЬ	Не нажата
Резистор		Среднее
Резистор		Среднее
Кнопка	ВНУТР. ВНЕШ.	Нажата
Резистор		Среднее
Резистор		Среднее
Кнопка	ЖДУЩ. АВТ.	Не нажата
Кнопка	<i>ms</i> <i>μs</i>	Не нажата
Переключатель	ВРЕМЯ/ДЕЛ	« 2 »
Переключатель	V/ДЕЛ	« 1 »
Кнопка		Не нажата
Кнопка		Не нажата
Резистор	УРОВЕНЬ	Среднее

Работу с осциллографом проводить в следующем порядке:

1) нажатием кнопки СЕТЬ включить питание прибора, (при этом должна загореться сигнальная лампочка, а через непродолжительное время появится на экране линия развертки);

2) после прогрева в течение 5 минут отрегулировать яркость и фокусировку линии развертки с помощью ручек и .

3) если при максимальной яркости не будет видна линия развертки, то при помощи ручек и и переместить ее в пределы рабочей части экрана;

4) проверить калибровку чувствительности вертикального канала и длительности развертки, для чего ручку переключателя V/ДЕЛ, установить в положение 1, переключатель ВРЕШ/ДЁЛ. - в положение 2; кнопку  $\mu s/ms$  - в положение *ms*; кнопку ЖДУЩ.АВТ – в положение - ЖДУЩ.; кнопку ВНЕШ. ВНУТР. - в положение ВНУТР.;

5) с помощью ручки УРОВЕНЬ получить устойчивое изображение прямоугольных импульсов калибратора, при правильной калибровке осциллографа размах изображения по вертикали должен быть равен 5 делениям шкалы» а на протяжении 10 делений горизонтальной оси укладываться один период калибровочного сигнала (в случае обнаружения существенных расхождений в калибровке сообщить об этом преподавателю или лаборанту);

б) установить переключатель V/ДЕЛ. в положение "5" и с помощью кабеля, входящего в комплект прибора, подать на вход Y исследуемый сигнал; при этом следует помнить, что открытый вход  $\approx$  предназначен для исследования электрических процессов, содержащих постоянную составляющую, знать которую необходимо исследователю (если постоянная составляющая напряжения сигнала не представляет интереса или ее нет вообще, то следует использовать закрытый вход  $\sim$ );

7) установить необходимый вид синхронизации развертки, причем в большинстве случаев удобной оказывается внутренняя синхронизация;

8) с помощью переключателей V/ДЕЛ, ВРЕМЯ/ДЕЛ. и ручки УРОВЕНЬ -получить устойчивое изображение исследуемого сигнала в удобном для измерения масштабе по вертикальной и горизонтальной осям;

9) с учетом установленной чувствительности V/ДЕЛ. и скорости развертки ВРЕМЯ/ДЕЛ. произвести измерения необходимых параметров сигнала;

10) после окончания измерений нажатием на кнопку СЕТЬ выключить питание прибора.

### 9.3 Анализатор спектра СКЧ-56

#### 9.3.1. Принцип действия последовательного анализатора

Анализатором спектра называют прибор, позволяющий измерить амплитуду и частоту каждой гармонической составляющей в спектре исследуемого сигнала  $s(t)$ .

В основу работы большинства анализаторов положен метод последовательного во времени анализа спектра. Для реализаций этого на практике – необходимо иметь узкополосный перестраиваемый фильтр с хорошей избирательностью, детектор и индикатор напряжения (рисунок 9.3).

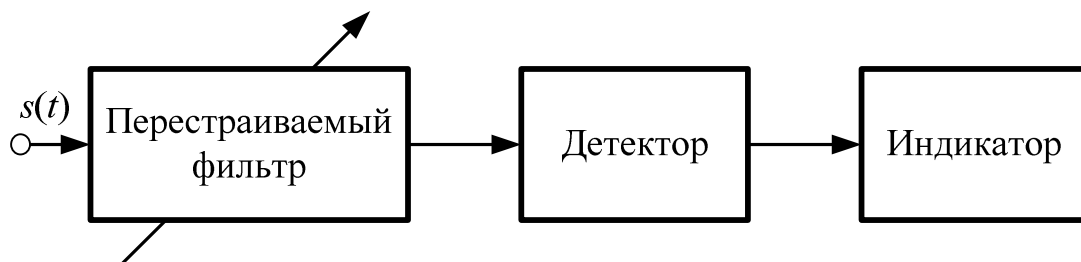


Рисунок 9.3 – Простейший анализатор спектра с ручной перестройкой

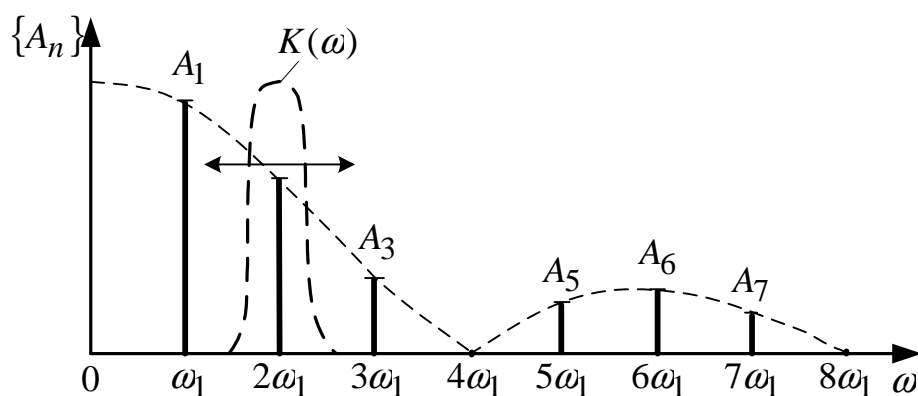


Рисунок 9.4 - Графическое пояснение принципа действия последовательного анализатора спектра

Избирательные свойства узкополосного фильтра характеризуются его амплитудно-частотной характеристикой  $K(\omega)$ , изображенной на рисунке 9.4. В момент времени, когда фильтр настроен нами, например, на частоту  $2\omega_1$ , второй гармоники сигнала, на его выходе будет получено гармоническое напряжение с амплитудой

$$A_{2\text{вых}} = A_2 \cdot |K(2\omega_1)|$$

Амплитуды всех остальных гармоник сигнала на выходе фильтра будут равны нулю при условии, что его коэффициент передачи на этих частотах также равен нулю. При этом индикатором на выходе детектора будет зафиксирован максимум постоянного напряжения. Перестраивая фильтр в пределах ширины спектра и фиксируя амплитуды и частоты гармоник, мы тем самым произведем анализ спектра исследуемого сигнала. Однако изготовить перестраиваемый узкополосный фильтр со стабильными во времени и при перестройке параметрами практически невозможно. А так как всякое движение относительно, то реализовать на практике последовательный принцип анализа можно и другим путем: перемещать спектр исследуемого сигнала по оси частот при неизменной частоте настройки фильтра. Этот путь технически легко реализуем и поэтому именно он лежит в основе работы большинства анализаторов спектра.

Как правило, в анализаторах спектра используется автоматическая перестройка в пределах определенной полосы частот, называемой полосой обзора. В качестве индикатора напряжения гармоник при этом используют электронно-лучевую трубку.

Главным недостатком анализатора спектра последовательного типа является низкое быстродействие, обусловленное как инерционностью всех его основных узлов, так и самим принципом последовательного обзора. Поэтому такие анализаторы пригодны только для анализа спектров достаточно длинной во времени периодической последовательности сигналов. Произвести с их помощью анализ спектров коротких

непериодических сигналов невозможно.

При анализе спектров периодических сигналов анализатор последовательного типа при слишком больших скоростях перестройки (из-за наличия инерционности) может давать искаженную картину спектра. Эти искажения спектра называют динамическими.

Для устранения динамических искажений спектра исследуемого сигнала время обзора в секундах  $T_p$  при заданной полосе обзора  $\Delta\Pi_{обз}$  и полосе пропускания фильтра  $\Pi$  следует выбирать из соотношения

$$T_p \geq (3 \div 5) \cdot \frac{\Delta\Pi_{обз}}{\Pi^2}$$

где  $T_p$  - время обзора в секундах;

$\Delta\Pi_{обз}$  - полоса обзора в герцах;

$\Pi$  - полоса пропускания фильтра, в герцах.

Этим отношением следует руководствоваться всегда при практической работе с анализаторами спектра.

### 9.3.2. Структурная схема анализатора. СКЧ-56

Упрощенная структурная схема анализатора спектра СКЧ-56 приведена на рисунке 9.5. Прибор представляет собой автоматически или вручную перестраиваемый супергетеродинный (с преобразованием частоты) узкополосный приемник с индикацией выходных сигналов на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ). Информация о каждой гармонической составляющей спектра представляется в виде всплеска (отклонение луча ЭЛТ от горизонтали), величина которого пропорциональна амплитуде гармонике, а положение по горизонтали-частоте гармонике.

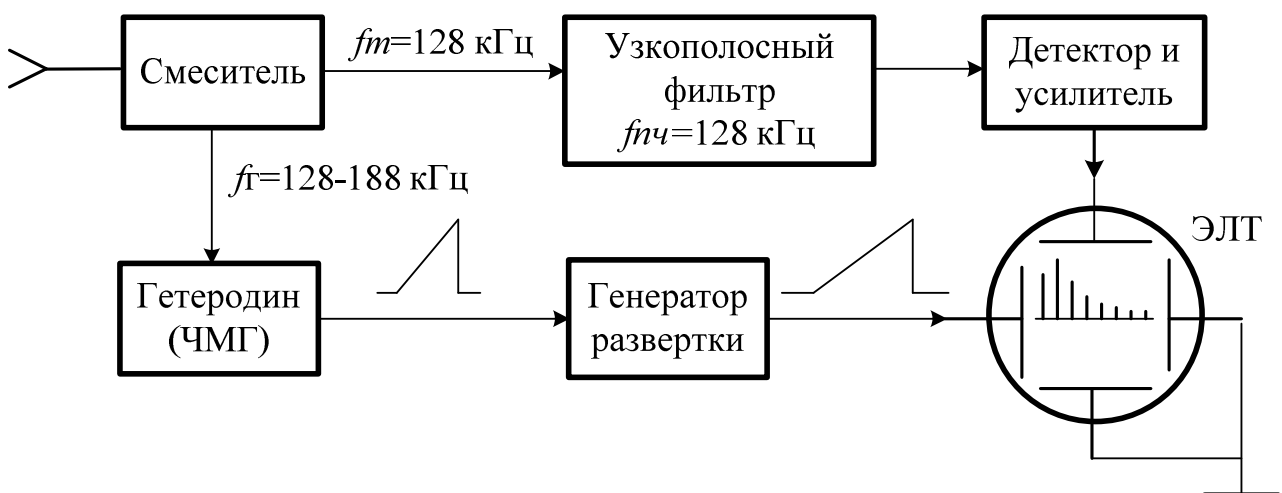


Рисунок 9.5 – Структурная схема анализатора спектра СКЧ-56

Генератор развертки (ГР) синхронизирует работу всех узлов анализатора и задает как время обзора, так и режим работы прибора в целом.

ГР вырабатывает пилообразное напряжение, которое одновременно подается на горизонтально-отклоняющие пластины ЭЛТ и на управляющий вход гетеродина. Гетеродин представляет собой генератор частотно-модулированных колебаний (ЧМК), частота которых  $f_{\Gamma}$  пропорциональна управляющему напряжению. В результате этого отклонение луча по горизонтали на экране ЭЛТ оказывается пропорциональным частоте.

В смесителе под воздействием колебаний гетеродина происходит преобразование частоты колебаний  $f_c$  входного сигнала по закону

$$f_{\text{пч}} = f_{\Gamma} - f_c$$

Узкополосный фильтр прибора настроен на постоянную частоту 128 кГц, равную промежуточной  $f_{\text{пч}}$  на выходе преобразователя. Естественно, что через фильтр пройдут только те составляющие входного сигнала, частота которых после преобразования  $f_{\text{пч}}$  совпадает с частотой его настройки. Частота колебаний гетеродина  $f_{\Gamma}$  в СКЧ-56 изменяется от 128 до 188 кГц. Это позволяет производить анализ спектров сигналов в полосе

$$f_c = (128 - 188) - 128 = (0 - 60) \text{ кГц}$$

Сигнал на выходе узкополосного фильтра представляет собой амплитудно-модулированное колебание (АМК) с несущей частотой 128 кГц, амплитуда которого пропорциональна амплитуде составляющих входного сигнала, на частоту которых в данный момент настроен прибор.

Детектор преобразует АМК в напряжение положительной полярности, которое после усиления в усилителе подается на вертикально-отклоняющие пластины ЭЛТ. Таким образом за один рабочий ход электронный луч трубки высвечивает на ее экране в прямоугольной системе координат картину амплитудного спектра исследуемого сигнала.

### 9.3.3. Описание основных функциональных и измерительных узлов анализатора спектра

На упрощенной структурной схеме (см. рисунок 3.5) не указан ряд узлов, расширяющих возможности прибора, облегчающих работу с ним. К таким узлам можно отнести: аттенюаторы сигнала, следящий генератор, цифровой частотомер, калибратор, дополнительный преобразователь частоты.

Так аттенюаторы с калиброванным ослаблением не только расширяют диапазон амплитуд входных сигналов, но и совместно с индикатором, ЭЛТ, позволяют производить измерения уровней сигналов как в абсолютных единицах (долях вольта), так и в относительных - (децибелах). Прибор имеет два аттенюатора. Первый из них, входной, стоит на входе прибора и позволяет ослаблять сигнал на 50 дБ степенями через 10 дБ. Второй включен в тракт усилителя промежуточной частоты и ослабляет сигнал так же ступенчато, через 10 дБ, его максимальное ослабление 70 дБ.



Конструктивно оба аттенюатора объединены в один переключатель **НОМИНАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ**, расположенный на передней панели прибора (рисунок 3.5). Переключение входного аттенюатора производится поворотом внешнего диска (черного кольца) с белой рисккой. Максимальному ослаблению (50 дБ) аттенюатора соответствует крайнее правое положение диска при его повороте по ходу часовой стрелки. Переключение аттенюатора в тракте промежуточной частоты осуществляется поворотом внутреннего диска переключателя. При этом крайнему левому положению (поворот против часовой стрелки) соответствует наибольшее ослабление (70 дБ) этого аттенюатора. В целом же переключатель **НОМИНАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ** указывает конечное значение предела амплитудной шкалы индикатора, которое определяется цифрой гравировки (в долях вольта или децибелах относительно 1 В) на внутреннем диске переключателя, совпадающей с белой рисккой на черном внешнем диске. Индикатором при измерении напряжения в приборе является электронно-лучевая трубка. Предел шкалы амплитуд, отсчитанный по положению переключателя **НОМИНАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ**, соответствует отклонению луча вверх на восемь основных делений. С помощью прибора можно измерять напряжение как в линейном масштабе, так и в логарифмическом. Перевод прибора в тот или иной масштаб измерения осуществляется установкой тумблера **ЛИНЕЙН.ЛОГ.** в соответствующее положение.

Конечные значения шкал для измерения эффективного значения синусоидального сигнала изменяются в зависимости от положения переключателя **НОМИНАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ** в следующих пределах:

в линейном масштабе от 80 нВ до 80 мВ;

в логарифмическом масштабе от минус 80 до плюс 10 дБВ.

Калибратор прибора вырабатывает прямоугольные по форме колебания со скважностью два, амплитуда которых (80 мВ) и частота (10 кГц) строго постоянны. Включение калибратора производится переводом тумблера **КАЛИБР.АМПЛ.** в соответствующее положение. Калибровка амплитуды производится при настройке на первую гармонику генерируемых калибратором колебаний (10 кГц).

Генератор следящего сигнала вырабатывает гармонические колебания, частота которых всегда равна частоте настройки анализатора спектра. Уровень генерируемых колебаний на выходе генератора « $\leftarrow$  0,01 - 60 кГц» регулируется ступенчато через 10 дБ аттенюатором **УРОВЕНЬ dBV**. Напряжение сигнала следящего генератора на частоте 10 кГц с выхода « $\leftarrow$  0,01 - 60 кГц» нагруженного сопротивлением 600 Ом, равно 1 В ( $\pm 3\%$ ) в положении "0" аттенюатора **УРОВЕНЬ dBV**.

Изменение напряжения сигнала на выходе следящего генератора, нагруженного сопротивлением  $\geq 600$  Ом, при перестройке по частоте в диапазоне 0,01 - 60 кГц не превышает  $\pm 5\%$  от напряжения сигнала на частоте 10 кГц.

Цифровой частотомер прибора позволяет измерить частоту в любой точке полосы обзора 0,01 - 60 кГц.




Дополнительный преобразователь частоты позволяет расширить частотный диапазон работы прибора до 300 МГц. При анализе спектров в диапазоне от 60 кГц до 300 МГц входной сигнал должен подаваться на вход « $\rightarrow$  0,01 - 60 кHz» сигнал внешнего гетеродина ( $U_z = 0,5$  В) на входной разъем ВНЕШН.ГЕТЕP., расположенный на задней стенке прибора. При этом тумблер переключения низкочастотного и высокочастотного входов нужно поставить в соответствующее положение.

#### 9.3.4. Описание передней панели анализатора спектра СКЧ-56

Все основные органы управления прибором выведены на переднюю панель. Назначение органов управления описано в таблице 9.4.

Таблица 9.4 - Обозначение органов управления и их назначения

Обозначение органов управления	Назначение органов управления
РАЗВЕРТКА – переключатель на три положения	Установка необходимого вида развертки: АВТ - периодическая развертка; РУЧ. - ручная развертка с помощью ручки РУЧНАЯ; ОДИН - режим однократной развертки. Для пуска развертки необходимо нажать кнопку ОДИН.
РУЧНАЯ - ручка.	Ручная развертка. В положении АВТ переключателя РАЗВЕРТКА эта ручка определяет положение частотной метки (остановку развертки на 1 с) на оси частот, где необходимо произвести измерение частоты с помощью электронного частотомера.
S/ДЕЛЕН. - переключатель	Задаёт время обзора (прямого хода развертки) в пределах от 0,02 до 10 с. Время обзора равно значению времени в секундах на деление, задаваемому этим переключателем, умноженному на 10 основных делений горизонтальной оси (шкалы частот) ЭЛТ. В положении МАКС, переключателя S/ДЕЛЕН, время развертки не менее 30 с.
ОБЗОР kHz/ДЕЛЕН.- переключатель.	Задаёт полосу обзора в килогерцах на одно основное деление шкалы частот на экране ЭЛТ. Вся полоса обзора в килогерцах будет равна значению, задаваемому этим переключателем, умноженному на 10.
ЧАСТОТА kHz	Ручная грубая и точная установка центральной частоты

ГРУБО, ЧАСТОТА kHz ТОЧНО - ручки.	настройки прибора, т.е. перемещение выбранной полосы обзора вдоль оси частот.
ПОЛОСА kHz- переключатель	Задаёт полосу пропускания анализатора от 3 до 300 Гц. т.е. определяет разрешающую способность по частоте.
НОМИНАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ - переключатель.	Задаёт верхний предел шкалы напряжения, соответствующий отклонению луча индикатора вверх на восемь основных делений. Предел шкалы указывается цифрой на внутреннем диске переключателя, расположенной против белой риски на черном внешнем кольце. При работе индикатора в линейном масштабе предел указывается в долях вольта, при логарифмическом масштабе в децибелах.
ЛИНЕЙН.ЛОГ - тумблер.	Перевод индикатора в линейный или логарифмический масштаб измерения напряжения.
«  0,01- 60 kHz» - гнездо.	Вход сигнала в диапазоне 0,01 - 60 кГц
«  0,06 - 300 MHz» - гнездо.	Вход сигнала при работе в диапазоне 0,06 – 300 МГц (с внешним гетеродином)
0,06 - 300 MHz 0,01 - 60 kHz - тумблер.	Осуществляет подключение соответствующего входа.
{ КАЛИБР.АМПЛ., 80 mV 10 kHz } - тумблер.	Включение внутреннего калибратора
«  0,01- 60 kHz» - гнездо.	Выход следящего генератора для измерения амплитудно-частотных характеристик четырехполюсников.
УРОВЕНЬ dBV - переключатель.	Установка необходимого уровня выходного напряжения следящего генератора.
ОТКЛ. – клавиша.	При нажатии включается обычный осциллографический режим работы ЭЛТ индикатора (без памяти).
ПЕРИОДИЧ. – клавиша.	При нажатии этой кнопки ЭЛТ индикатора переходит в режим длительной памяти: запись во время прямого хода, стирание во время обратного хода.
ДЛИТ. – клавиша.	При нажатии клавиши ЭЛТ переходит в режим длительной памяти – без стирания во время обратного хода.
X - кнопка.	При нажатии кнопки происходит стирание изображения при работе трубки в режиме длительной

	памяти.
☀ - ручка.	Регулировка яркости луча на экране ЭЛТ. Всегда яркость устанавливать минимально-необходимой!
☉ - ручка.	Фокусировка луча ЭЛТ.
СЕТЬ - тумблер.	Включение питания прибора.

### 9.3.5. Подготовка прибора к работе

Необходимо соблюдать определенный порядок работы:

1) до включения питания анализатора спектра тумблером СЕТЬ его органы управления должны быть поставлены в следующие исходные положения:

клавиша ПАМЯТЬ – ОТКЛ.;  
 переключатель РАЗВЕРТКА – РУЧН.;  
 ручка РУЧНАЯ - среднее положение;  
 ОБЗОР

переключатель kHz /ДЕЛЕН. - 0,1;  
 тумблер ЛИНЕЙН./ЛОГ. - ЛИНЕЙН.;  
 тумблер КАЛИБР. АМПЛ. - выключен;  
 переключатель S/ДЕЛЕН. - 0,05;  
 переключатель ВИДЕОФИЛЬТР - ВЫКЛ.;  
 переключатель НОМИНАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ - 80 mV (внешний диск в крайнем правом, внутренний в крайнем левом положении);  
 остальные органы управления могут находиться в произвольных положениях;  
 по окончании работы, перед выключением питания прибора тумблером СЕТЬ, органы управления должны быть предварительно обязательно установлены в указанные положения:

2) тумблером СЕТЬ включить питание прибора, при этом загорится сигнальная лампочка на блоке индикатора и появятся показания на индикаторе частотомера, после кратковременного прогрева на экране появится светящаяся точка;

3) ручкой ☀- установить оптимальную яркость и при необходимости произвести фокусировку луча ЭЛТ ручкой ☉;

4) установить ручку РУЧНАЯ в одно из крайних положений, ручку РАЗВЕРТКА - в положение АВТ., при этом на экране должно появиться изображение линии развертки, совпадающей по положению и по длине с горизонтальной осью масштабной сетки;

5) тумблер КАЛИБР.АМПЛ. установить в положение 80 mV 10 kHz, ручки ОБЗОР kHz. ДЕЛЕН. - в положение 5, S /ДЕЛЕН. - МАКС.

При этом на экране индикатора должен наблюдаться спектр сигнала калибратора; проверить переключение полос пропускания переключателем

ПОЛОСА Hz визуально по экрану индикатора;

б) приступая к проверке работы индикатора в режимах ПАМЯТЬ или использованию этого режима при измерениях следует помнить, что неправильный выбор режима работы ЭЛТ трубки выводит её из строя, во избежание этого следует всегда:

работать при минимально-необходимой яркости луча;

включать кнопку ПАМЯТЬ только при минимальной яркости луча (ручка ☀ в крайнем левом положении), а затем только устанавливать оптимальную яркость;

7) в режиме ПАМЯТЬ работать с временем обзора не менее 1 с, т.е. в положении переключателя S /ДЕЛЕН. не менее 0,1;

8) для включения наиболее употребительного периодического режима памяти сначала нажать кнопку ПАМЯТЬ ДЛИТ., стереть запись кнопкой × и только потом переключиться в режим ПАМЯТЬ ПЕРИОДИЧ.

### 9.3.6. Исследование спектра сигнала с помощью анализатора СКЧ-56

Задача экспериментального исследования спектра периодического сигнала с помощью анализатора последовательного типа, решается в следующей последовательности:

1) с помощью осциллографа необходимо выяснить характер сигнала (видеосигнал, радиосигнал) и определить его основные параметры - амплитуда и частота для видеосигнала, амплитуда и частота несущей, характер и частота огибающей - для радиосигнала;

2) зная теоретически структуру спектров периодических управляющих сигналов и радиосигналов, нетрудно будет определить порядок предполагаемого уровня составляющих, необходимую полосу обзора, центральную частоту полосы обзора, полосу пропускания анализатора, время анализа;

3) при расчете параметров, определяющих режим работы анализатора, в первом приближении будем считать, что для анализа периодических сигналов справедливы следующие условия:

амплитуда наибольшей гармоники имеет тот же порядок, что и амплитуда самого сигнала  $A_{п\max} \approx U_m$ ;

ширина спектра (полоса обзора  $\Delta\Pi_{обз}$ ) сигнала в 10 раз превышает частоту повторения сигнала  $\Delta\Pi_{обз} = \Delta f_c \approx 10F$ ;

для отдельного наблюдения на экране двух соседних гармоник сигнала необходимо иметь полосу пропускания анализатора  $\Pi$  в 10 - 20 раз

меньше частоты повторения сигнала 
$$\Pi = \frac{F}{10 - 20};$$

4) для радиосигналов, спектры которых всегда сосредоточены в районе несущей, полосу обзора следует брать в два раза большей по сравнению с

полосой обзора по огибающей, а центральную частоту полосы обзора брать равной частоте несущей;

5) время анализа (развертки) необходимо определять из условия (9.1) отсутствия динамических искажений.

9.3.7. Пример. Требуется провести анализ периодического сигнала с амплитудой 7 В, частота повторения которого  $F=2$  кГц.

На основании приведенных рекомендаций получим:

ожидаемое значение амплитуды наибольшей гармоники  $A_{п\ max}$  порядка единиц вольт ( $< 7$  В), необходимая полоса обзора

$$\Delta\Pi_{обз} = 10 \cdot 2 = 20 \text{ кГц,}$$

полоса пропускания

$$\Pi = \frac{2000}{20} = 100 \text{ кГц,}$$

время обзора

$$T_p = (3 \div 5) \cdot \frac{20 \cdot 10^3}{100^2} = (6 \div 10) \text{ с,}$$

берем  $T_p = 10$  с.

На основании этих ориентировочных данных устанавливаем переключатель ПОЛОСА Hz в положение 100; переключатель ОБЗОР КHz/ДЕЛЕН. - в положение 20 кГц/10 делен. = 2 кГц/делен.; переключатель скорости развертки S/ДЕЛЕН. - в положение 10 с/10 делен. = 1 с.

Для определения положения переключателя **НОМИНАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ** сопоставим предполагаемый уровень гармоник ( $< 7$  В) с максимально-допустимым, для анализатора СКЧ-56. Последний, как указывалось ранее, составляет при работе в линейном масштабе - 80 мВ; при работе в логарифмическом масштабе - 8 В. Выбираем более наглядный и привычный линейный масштаб. Но в этом случае непосредственная подача сигнала ( $< 7$  В) на вход анализатора недопустима, так как грозит перегрузками прибора по уровню входных сигналов почти в 100 раз. Для устранения указанных перегрузок переключатель **НОМИНАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ** устанавливаем в положение 80mV, а сигнал на вход прибора подаем через делитель  $I : 100$ , имеющийся в комплекте запасного имущества. Тумблер же переключения масштаба следует установить в положение **ЛИНЕЙН.**

После определения параметров режима работы анализатора и их установки с помощью соответствующих органов управления мы можем подать исследуемый сигнал на вход « $\hookrightarrow$  0,01- 60 кHz». При этом, если начальная частота полосы обзора будет соответствовать нулю, на экране индикатора возникает изображение спектра исследуемого сигнала в полосе от 0 до 20 кГц. Далее следует экспериментально уточнить чувствительность

индикатора, убедиться, что отсутствуют динамические искажения наблюдаемого спектра, и приступить к отсчету уровней амплитуд гармоник и измерению их частот.

Признаком отсутствия динамических искажений наблюдаемого спектра является постоянство амплитуд гармонических составляющих при уменьшении полосы пропускания или времени обзора с помощью соответствующих переключателей на одну ступень.

#### 9.3.8. Измерение амплитуд гармоник

Отсчет значения амплитуды напряжения по масштабной сетке на экране индикатора, работающего в линейном режиме, производится аналогично отсчету напряжения по линейной шкале обычного вольтметра. При этом только надо помнить, что предел шкалы, указываемый цифрой гравировки в долях вольта на внутреннем диске переключателя **НОМИНАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ** против белой риски наружного диска (черного кольца), соответствует отклонению луча вверх на восемь основных делений масштабной сетки индикатора.

При работе индикатора в логарифмическом масштабе уровень напряжения в децибелах относительно 1 В определяется как сумма предела шкалы в децибелах, отсчитанная по шкале внутреннего диска переключателя **НОМИНАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ** против риски внешнего диска (черного кольца) и отсчета по масштабной сетке экрана индикатора. При отсчете по масштабной сетке индикатора самой верхней линии присваивается значение 0 dBV, а самой нижней - минус 70 dBV.

Пример. Отсчитать уровень гармоники в децибелах, если вершина изображения гармоники совпадает с четвертой сверху линией масштабной сетки, а предел шкалы переключателя **НОМИНАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ** - минус 10 dBV.

Ответ: минус 40 dBV.

#### 3.3.9. Измерение частоты

Цифровой частотомер анализатора спектра СКЧ-56 позволяет один раз за время каждого прямого хода развертки, работающей в автоматическом или одиночном режимах, измерить частоту в любой точке выбранной полосы обзора. Измерения частотомером производится в момент остановки на одну секунду развертки во время прямого хода. Эту остановку называют частотной меткой. Частотную метку устанавливают по желанию в нужную точку оси частот путем вращения влево; или вправо, относительно среднего положения ручки РУЧНАЯ. При положениях этой ручки, близким к крайним, частотная метка отсутствует, т.е. измерение частоты не производится. Если с помощью ручки РУЧНАЯ за данный ход развертки не удалось установить частотную метку в ту точку оси, где нужно произвести измерение частоты, то следует повторить попытки во время следующих прямых ходов.

При ручной развертке частотомер работает в режиме непрерывного счета, т.е. периодически измеряет частоту в точке, где находится луч ЭЛТ в данное время.

**Примечание.** *При работе в больших полосах обзора (2,5 кГц/ДЕЛЕН.) и в случае неправильной установки границ диапазона ручками перестройки частоты (ниже диапазона рабочих частот) возможно отсутствие перестройки вообще. Об этом будут свидетельствовать показания частотомера в разных точках частот.*

Для восстановления перестройки необходимо: переключатель РАЗВЕРТКА, установить в положение РУЧ., и ручкой РУЧНАЯ установить яркостную метку на экране прибора в крайнее правое положение. Вращая ручку ЧАСТОТА кГц ГРУБО добиться восстановления перестройки. Для проведения измерений установить яркостную метку посередине оси частот и ручками ЧАСТОТА по показаниям частотомера установить требуемую центральную частоту настройки прибора.

Грубые отсчеты значения частоты можно производить прямо по масштабной сетке индикатора. Естественно, что при этом нужно знать частоту настройки прибора, соответствующую началу шкалы и цену её деления. Эти данные легко получить предварительно путем соответствующих измерений частоты с помощью частотомера.