

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАТИКИ  
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Кафедра информационных радиотехнологий

Козел В.М., Горбачев К.Л.

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

по курсам «Телекоммуникационные технологии и системы» и «Системы  
мобильной радиосвязи»

для специальности 1-39 01 01-02 «Радиотехника (техника цифровой радиосвязи)»

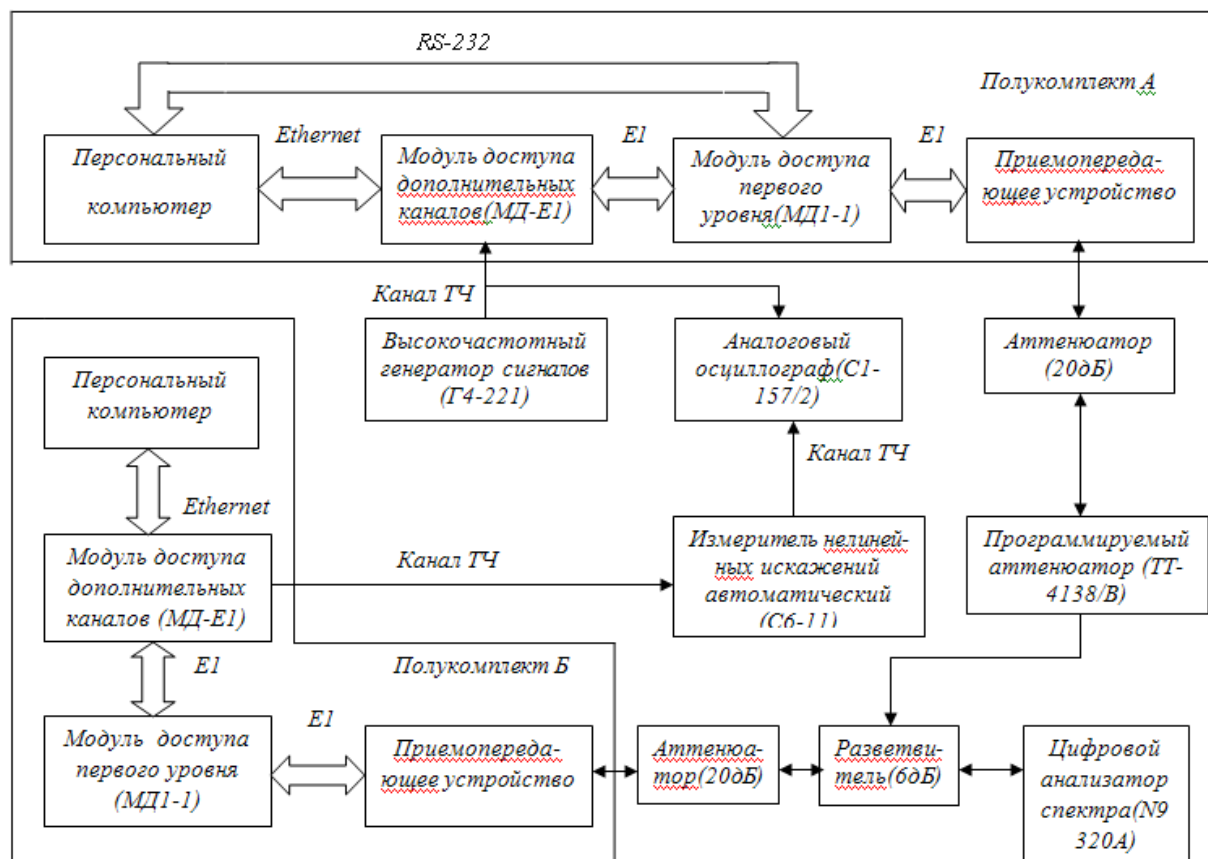
Минск 2018

## Содержание

|  |    |
|--|----|
| Методы измерения параметров канала цифровой радиорелейной линии...   | 3  |
| Изучение принципов образования канала цифровой радиорелейной линии.....  | 10 |
| Исследование влияния предмодуляционного фильтра на спектральные характеристики сигналов с цифровой модуляцией..... | 16 |
| Исследование характеристик помехоустойчивости цифрового канала связи с двухуровневой частотной манипуляцией.....   | 23 |
| Определение чувствительности цифрового приемного устройства.....   | 28 |

# МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КАНАЛА ЦИФРОВОЙ РАДИОРЕЛЕЙНОЙ ЛИНИИ

## Структурная схема измерительной установки:



## 1 Порядок выполнения лабораторной работы

### 1.1 Подготовка лабораторного макета

Перед началом работы за лабораторным макетом следует произвести следующие операции:

В указанном порядке включаем устройства, входящие в лабораторный макет:

1. Персональные компьютеры, соединенные с обоими комплектами (А и Б) радиорелейной аппаратуры.

2. Источники бесперебойного электропитания ИБЭП 220-60(48)-24(12)А обоих полукомплектов аппаратуры;

3. Программируемый аттенюатор ТТ-4138/В;

4. Генератор сигналов высокочастотный Г4-221;
5. Измеритель нелинейных искажений автоматический С6-11;
6. Модули доступа дополнительных каналов МД-Е1 обоих полукомплектов радиорелейной аппаратуры;
7. Модули доступа первого уровня МД1-1 обоих полукомплектов радиорелейной аппаратуры (по возможности необходимо включить одновременно);
8. Осциллограф С1-157/2;
9. Цифровой анализатор спектра N9320A.

В следующем порядке производим настройку аппаратуры, входящей в лабораторный стенд:

1. Для высокочастотного генератора сигналов Г4-221 устанавливаем частоту формирования сигналов, равную 1 кГц, и уровень выходного сигнала, равный 0,76 В;
2. На осциллографе С1-157/2 добиваемся получения устойчивой осциллограммы сигналов на входе и выходе РРК связи;
3. При помощи программируемого аттенюатора ТТ-4138/В устанавливаем ослабление в радиорелейном канале связи, равное 60дБ;
4. По показаниям жидкокристаллического дисплея и индикаторных светодиодов, расположенных на лицевой части панели модуля доступа первого уровня МД1-1 (обоих полукомплектов), убеждаемся в отсутствии ошибок и аппаратных аварий в эксплуатируемом стволе РРС;
5. По показаниям светодиодов, расположенных на передней панели модуля доступа дополнительных каналов МД-Е1 (обоих полукомплектов), убеждаемся в нормальном функционировании используемых каналов передачи информации;
6. По показаниям ПСО «Мастер», установленной на персональном компьютере администратора, убеждаемся, что значения внутренних параметров оборудования, входящего в ЦРРС обоих полукомплектов, находятся в пределах допустимых.

## **1.2 Получение спектрограммы сигналов в РРК связи**

Для получения спектрограммы сигналов в радиорелейном канале связи необходимо выполнить следующие операции:

1. По нажатию кнопки «Frequency», расположенной на лицевой панели цифрового анализатора спектра N9320A, переходим в меню «Частота»;
2. При помощи клавиш экранного меню выбираем начальную частоту полосы анализа в качестве устанавливаемого параметра;
3. Используя кнопки цифровой клавиатуры и клавиши экранного меню, устанавливаем значение начальной частоты полосы анализа равное 400 МГц;
4. С помощью клавиш экранного меню выбираем конечную частоту полосы анализа в качестве устанавливаемого параметра;
5. Устанавливаем значение конечной частоты полосы анализа, равным 455МГц;
6. По нажатию клавиши «Amplitude» переходим в меню «Уровень»;
7. Используя клавишу экранного меню, необходимо выбрать ослабление в качестве устанавливаемого параметра;
8. При помощи соответствующей клавиши экранного меню, переходим в ручной режим установки ослабления;
9. Используя кнопки цифровой клавиатуры и клавиши экранного меню, устанавливаем значение ослабления равное 10 дБ;
10. При помощи клавиш экранного меню выбираем опорный уровень в качестве устанавливаемого параметра;
11. Используя кнопки цифровой клавиатуры и клавиши экранного меню, устанавливаем значение опорного уровня, равное 12дБм;
12. По нажатию кнопки «BW/Avg» переходим в меню «Полоса частот»;
13. При помощи клавиш экранного меню выбираем полосу пропускания в качестве устанавливаемого параметра;
14. Далее переходим в ручной режим установки полосы пропускания, используя соответствующую клавишу экранного меню;
15. Затем при помощи кнопок цифровой клавиатуры и клавиш экранного меню, устанавливаем значение полосы пропускания равное 10 кГц;
16. Теперь сохраняем полученную спектрограмму сигналов в РРК связи на USB-носитель. Для этого необходимо выполнить следующее:
  - Нажать кнопку «File/Print» для перехода в меню «Файл»;
  - Используя клавиши экранного меню, выбрать пункт «Каталог»;

- В меню «Каталог» при помощи клавиш экранного меню выбрать носитель, на который будет сохраняться информация—пункт «USB»;
- Далее необходимо вернуться в меню «Файл» и выбрать пункт «Запомнить»;
- В меню «Запомнить» при помощи клавиш экранного меню необходимо установить тип и имя сохраняемого изображения;
- После установки указанных параметров выбирается пункт «Выполнить запомнить».

### 1.3 Получение спектрограммы сигнала указанного ППУ

1. Нажатием кнопки «Peak Search», расположенной на лицевой панели цифрового анализатора спектра N9320A, переходим в меню «Поиск максимума»;
2. С помощью клавиш экранного меню «Поиск максимума», «Следующий максимум справа», «Следующий максимум слева», устанавливается маркер на максимальном значении спектральной мощности сигнала заданного ППУ;
3. Затем определяем значение центральной частоты указанного ППУ, соответствующей данному максимуму;
4. Нажатием кнопки «Frequency» осуществляем переход в меню «Частота»;
5. С помощью клавиш экранного меню выбираем центральную частоту полосы анализа в качестве устанавливаемого параметра;
6. Используя кнопки цифровой клавиатуры и клавиши экранного меню, устанавливаем значение центральной частоты полосы анализа в соответствии с центральной частотой заданного ППУ;
7. Далее, нажатием кнопки «Span», осуществляем переход в меню «Полоса обзора»;
8. При помощи клавиш экранного меню выбираем полосу обзора в качестве устанавливаемого параметра;
9. Кнопками цифровой клавиатуры и клавишами экранного меню устанавливаем значение полосы обзора (20 МГц);
10. Кнопкой «Amplitude» переходим в меню «Уровень»;
11. Далее, с помощью клавиш экранного меню, выбираем опорный уровень в качестве устанавливаемого параметра;

12.Используя кнопки цифровой клавиатуры и клавиши экранного меню, устанавливаем значение опорного уровня равное -10дБм;

13.Клавишами экранного меню выбираем ослабление в качестве устанавливаемого параметра;

14.Далее, с помощью соответствующей клавиши экранного меню переходим в ручной режим установки ослабления;

15.Используя кнопки цифровой клавиатуры и клавиши экранного меню, устанавливаем значение ослабления равное 10дБ;

16.Следуя методике, описанной в предыдущем пункте, сохраняем спектрограмму полученного сигнала на USB-носитель.

#### **1.4 Измерение мощности сигнала указанного ППУ**

1. Нажатием кнопки «Frequency» на лицевой панели цифрового анализатора спектра N9320A, переходим в меню «Частота»;

2. Клавишами экранного меню выбираем центральную частоту полосы анализа в качестве устанавливаемого параметра;

3. Затем устанавливаем значение центральной частоты полосы анализа (449,53 МГц);

4. Кнопкой «Meas» переходим в меню «Измерение»;

5. В качестве измеряемого параметра выбираем мощность;

6. Следуя описанной в пункте 1.2 методике, полученные показания анализатора спектра сохраняются на USB носитель;

#### **1.5 Измерение занимаемой полосы частот указанного ППУ**

1. Кнопкой «Meas» (на лицевой панели цифрового анализатора) переходим в меню «Измерение»;

2. Клавишами экранного меню выбираем занимаемую полосу в качестве измеряемого параметра;

3. Сохраняем полученные данные;

#### **1.6 Измерение спектральной маски излучения указанного ППУ**

1. Кнопкой «Meas» возвращаемся в меню «Измерение»;

2. Выбираем спектральную маску в качестве измеряемого параметра;

3. Сохраняем полученные данные;

### **1.7 Измерение чувствительности ППУ по заданному коэффициенту битовых ошибок (Bit Error Ratio, BER)**

1. На управляемом аттенуаторе ТТ-4138/В устанавливаем уровень ослабления в канале равным 70 дБ;

2. На ПК полукомплекта А запускаем ПСО «Мастер»;

3. В ПСО «Мастер» нажатием правой кнопки мыши на изображение РРС первого полукомплекта (RRS-1) открываем контекстное меню станции и выбираем пункт «Параметры»;

4. В открывшемся окне управления параметрами выбранной станции убеждаемся, что значения основных параметров РРС лежат в пределах допустимых;

5. На управляемом аттенуаторе ТТ-4138/В увеличиваем уровень ослабления в канале на 1дБ;

6. Из контекстного меню, доступного в окне управления параметрами, производим обновление значений группы параметров, относящихся к блоку БУКС выбранной РРС;

7. Фиксируем текущее значение параметра «BER 1с»;

8. Повторяем п.5-7 текущей методики до тех пор, пока значение параметра «BER 1с» не станет равным указанному в задании к лабораторной работе;

9. С управляемого аттенуатора ТТ-4138/В снимаем значение текущего ослабления в радиорелейном канале связи и по следующей формуле рассчитываем чувствительность ППУ:

$$P_{RX} = P_{TX} - L_1 - L_2 - L_3 - L_4, \quad (1.1)$$

где  $P_{RX}$ , дБм – чувствительность приемника ППУ;

$P_{TX}$ , дБм – мощность передатчика ППУ;

$L_1, L_2$ , дБм – ослабление, вносимое в канал передачи информации фиксированными аттенуаторами;

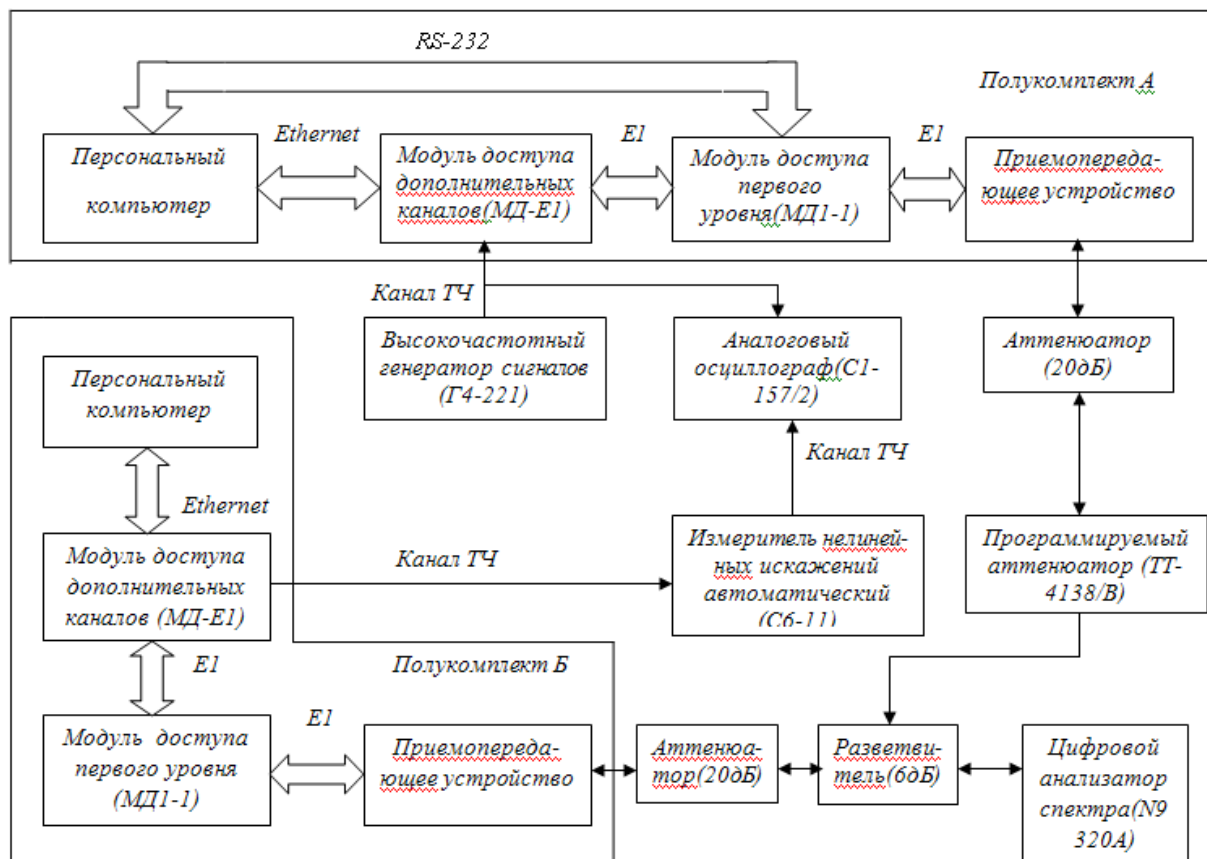
$L_3$ , дБм – ослабление в канале РРЛ, вносимое разветвителем;

$L_4$ , дБм – ослабление, вносимое в канал РРЛ управляемым аттенуатором.



# ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ОБРАЗОВАНИЯ КАНАЛА ЦИФРОВОЙ РАДИОРЕЛЕЙНОЙ ЛИНИИ

## Структурная схема измерительной установки:



## 1 Порядок выполнения лабораторной работы

### 1.6 Подготовка лабораторного макета

Перед началом работы за лабораторным макетом следует произвести следующие операции:

В указанном порядке включаем устройства, входящие в лабораторный макет:

10. Персональные компьютеры, соединенные с обоими комплектами (А и Б) радиорелейной аппаратуры.

11. Источники бесперебойного электропитания ИБЭП 220-60(48)-24(12)А обоих полукомплектов аппаратуры;

12. Программируемый аттенюатор ТТ-4138/В;

13. Генератор сигналов высокочастотный Г4-221;
14. Измеритель нелинейных искажений автоматический С6-11;
15. Модули доступа дополнительных каналов МД-Е1 обоих полукомплектов радиорелейной аппаратуры;
16. Модули доступа первого уровня МД1-1 обоих полукомплектов радиорелейной аппаратуры (по возможности необходимо включить одновременно);
17. Осциллограф С1-157/2;
18. Цифровой анализатор спектра N9320A.

В следующем порядке производим настройку аппаратуры, входящей в лабораторный стенд:

7. Для высокочастотного генератора сигналов Г4-221 устанавливаем частоту формирования сигналов, равную 1 кГц, и уровень выходного сигнала, равный 0,76 В;

8. На осциллографе С1-157/2 добиваемся получения устойчивой осциллограммы сигналов на входе и выходе РРК связи;

9. При помощи программируемого аттенюатора ТТ-4138/В устанавливаем ослабление в радиорелейном канале связи, равное 60 дБ;

10. По показаниям жидкокристаллического дисплея и индикаторных светодиодов, расположенных на лицевой части панели модуля доступа первого уровня МД1-1 (обоих полукомплектов), убеждаемся в отсутствии ошибок и аппаратных аварий в эксплуатируемом стволе РРС;

11. По показаниям светодиодов, расположенных на передней панели модуля доступа дополнительных каналов МД-Е1 (обоих полукомплектов), убеждаемся в нормальном функционировании используемых каналов передачи информации;

12. По показаниям ПСО «Мастер», установленной на персональном компьютере администратора, убеждаемся, что значения внутренних параметров оборудования, входящего в ЦРРС обоих полукомплектов, находятся в пределах допустимых.

## **1.2 Измерение зависимости скорости передачи информации, по РРК связи, от количества задействованных временных слотов потока Е1**

1. На управляем аттенюаторе ТТ-4138/В устанавливаем уровень ослабления в радиорелейном канале связи равным 60 дБ;

2. На персональном компьютере, подключенному к первому полуккомплекту радиорелейной аппаратуры, запускаем ПСО «Мастер»;

3. Нажатием правой кнопки мыши на изображении радиорелейной станции первого полуккомплекта аппаратуры (RRS-1) открываем контекстное меню станции и выбираем пункт «Параметры»;

4. В открывшемся окне управления параметрами выбранной станции убеждаемся, что в значении основных параметров аппаратуры, входящей в радиорелейную станцию, лежат в пределах допустимых;

5. В окне управления параметрами переходим к разделу управления модулем доступа дополнительных каналов (МД-Е1);

6. Убеждаемся, что модуль доступа дополнительных каналов (МД-Е1) работает в режиме «Дополнительные каналы» и для передачи данных, поступающих по Ethernet-протоколу (канал 2), задействовано 30 временных слотов потока Е1, а для передачи данных, поступающих по каналу тональной частоты (канал 3), задействован один временной слот канала Е1;

7. С персонального компьютера, подключенного к первому полуккомплекту радиорелейной аппаратуры, приступаем к передаче цифровой информации по Ethernet-протоколу, на персональный компьютер, подключенный ко второму полуккомплекту радиорелейной аппаратуры, при помощи программного обеспечения, обеспечивающего возможность индикации скорости передачи цифровой информации (например Total Commander);

8. При помощи задействованного ПО, фиксируем текущую скорость передачи информации по радиорелейному каналу связи;

9. При помощи контекстного меню в окне управления параметрами радиорелейной станции, уменьшаем на единицу количество временных слотов, предназначенных для передачи информации поступающей по Ethernet-протоколу, по радиорелейному каналу связи не станет равным единице;

10. Повторяем пункты 8 и 9 до тех пор, пока количество временных слотов, предназначенных для передачи информации, поступающей по Ethernet-протоколу, по радиорелейному каналу связи не станет равным единице;

11. Используя зафиксированные значения скорости передачи информации по радиорелейному каналу связи и соответствующие им количества временных слотов потока Е1 заполняем таблицу;

| Скорость передачи информации, кбит/с | Количество временных слотов |
|--------------------------------------|-----------------------------|
|                                      |                             |

12. На основе полученных значений строим график зависимости скорости передачи информации от количества занятых временных слотов в канале E1.

### **1.3 Измерение зависимости скорости передачи информации от уровня ослабления в радиорелейном канале связи**

1. На управляемом аттенюаторе ТТ-4138/В устанавливаем уровень ослабления в радиорелейном канале связи равным 60 дБ;

2. На персональном компьютере, подключенном к первому полуккомплекту радиорелейной аппаратуры, запускаем ПСО «Мастер».

3. В главном окне ПСО «Мастер» нажатием правой кнопки мыши на изображение радиорелейной станции первого полуккомплекта аппаратуры (RRS-1) открываем контекстное меню станции и выбираем пункт «Параметры»;

4. В открывшемся окне управления параметрами выбранной станции убеждаемся, что значения основных параметров аппаратуры, входящей в радиорелейную станцию, лежат в пределах допустимых;

5. В этом же окне переходим к разделу управления модулем доступа дополнительных каналов (МД-Е1);

6. Убеждаемся, что модуль доступа дополнительных каналов (МД-Е1) работает в режиме «Дополнительные каналы» и для передачи данных, поступающих по Ethernet-протоколу (канал 2), задействовано 30 временных слотов потока E1, а для передачи данных, поступающих по каналу тональной частоты (канал 3), задействован один временной слот канала E1;

7. С персонального компьютера, подключенного к первому полуккомплекту радиорелейной аппаратуры, приступаем к передаче цифровой информации по Ethernet-протоколу, на персональный компьютер, подключенный ко второму полуккомплекту радиорелейной аппаратуры, при помощи программного обеспечения, обеспечивающего возможность индикации скорости передачи цифровой информации (Total Commander).

8. При помощи ПО, осуществляющего передачу информации по Ethernet-протоколу, фиксируем текущую скорость передачи информации по радиорелейному каналу связи;

9. На управляемом аттенюаторе ТТ-4138/В увеличиваем уровень ослабления в радиорелейном канале на 1 дБ;

10.Повторяем пункты 8 и 9 до тех пор, пока не будет зафиксирован разрыв сетевого соединения;

11.Используя зафиксированные значения скорости передачи информации и соответствующие им уровни ослабления в радиорелейном канале связи, заполняем таблицу;

| Скорость передачи информации, кбит/с | Уровень ослабления, дБ |
|--------------------------------------|------------------------|
|                                      |                        |

12.На основе полученных значений строим график зависимости скорости передачи информации от величины ослабления в радиорелейном канале связи.

**а. Измерение чувствительности канала тональной частоты (ТЧ) по заданному значению коэффициента нелинейных искажений**

2. Для высокочастотного генератора Г2-221 устанавливаем частоту формирования сигналов, равную 1 кГц, и уровень выходного сигнала, равный 0,76 дБ;

3. На управляемом аттенюаторе ТТ-4138/В устанавливаем уровень ослабления в радиорелейном канале связи равным 60 дБ;

4. На автоматическом измерителе нелинейных искажений С6-11 переходим в режим измерения коэффициента гармоник;

5. При помощи автоматического измерителя нелинейных искажений убеждаемся, что значение коэффициента гармоник в канале тональной частоты находится в пределах 1,5%;

6. При помощи управляемого аттенюатора увеличиваем уровень ослабления в канале до тех пор, пока коэффициент гармоник не станет равным заданному;

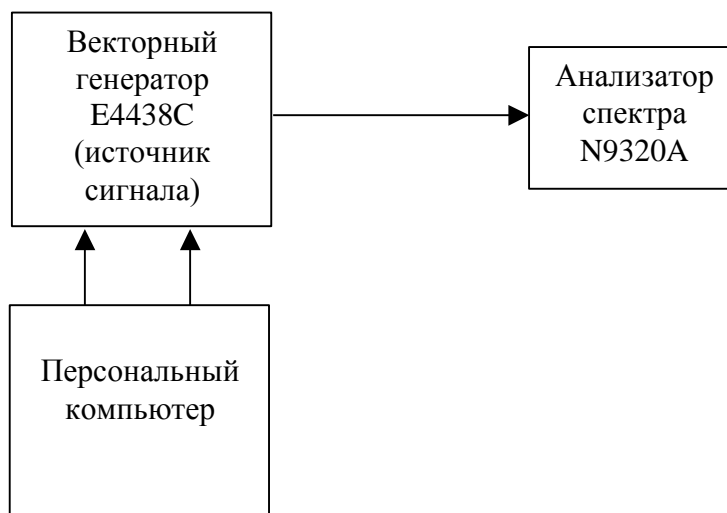
7. Фиксируем значение ослабления, вносимого управляемым аттенюатором в канал связи, соответствующее заданному коэффициенту гармоник;

8. Используя зафиксированное значение ослабления, рассчитаем чувствительность канала тональной частоты по заданному коэффициенту гармоник:



## ИЗУЧЕНИЕ ИНТЕРФЕЙСА И ОСВОЕНИЕ ПОРЯДКА РАБОТЫ С СОВРЕМЕННЫМ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ (ВЕКТОРНЫМ ГЕНЕРАТОРОМ E4438C И АНАЛИЗАТОРОМ СПЕКТРА N9320A)

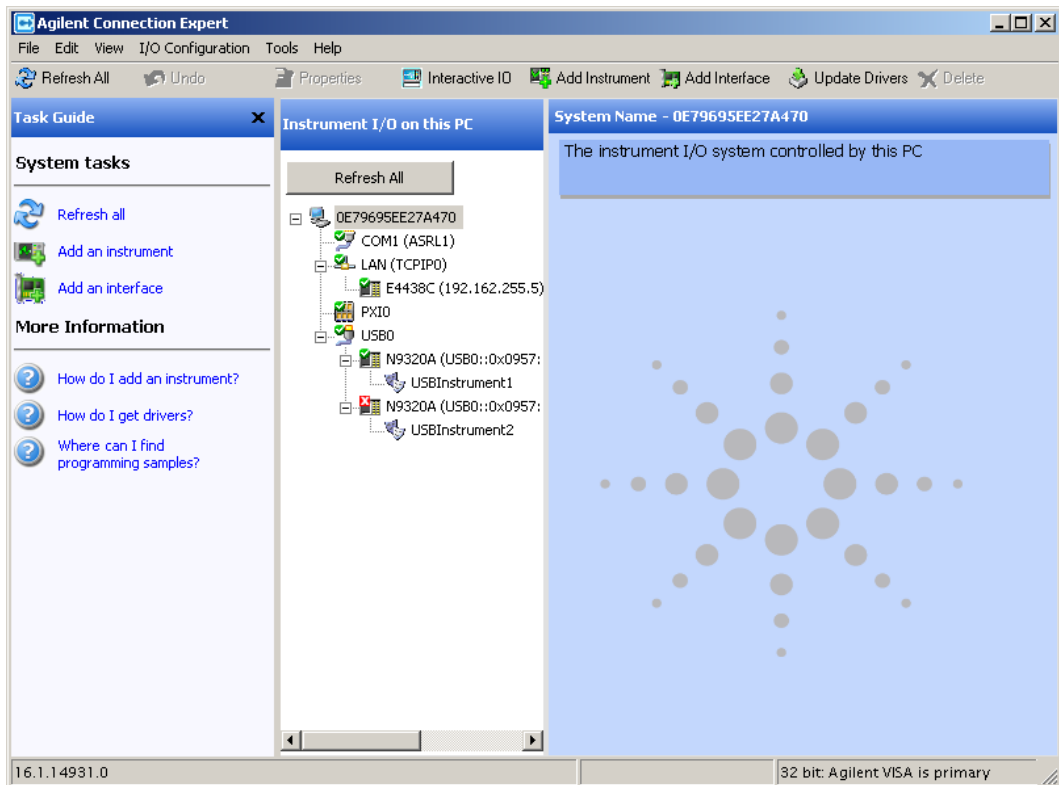
**Цель работы:** изучение современного измерительного оборудования и приобретение практических навыков работы с ним.

Структурная схема измерительной установки:

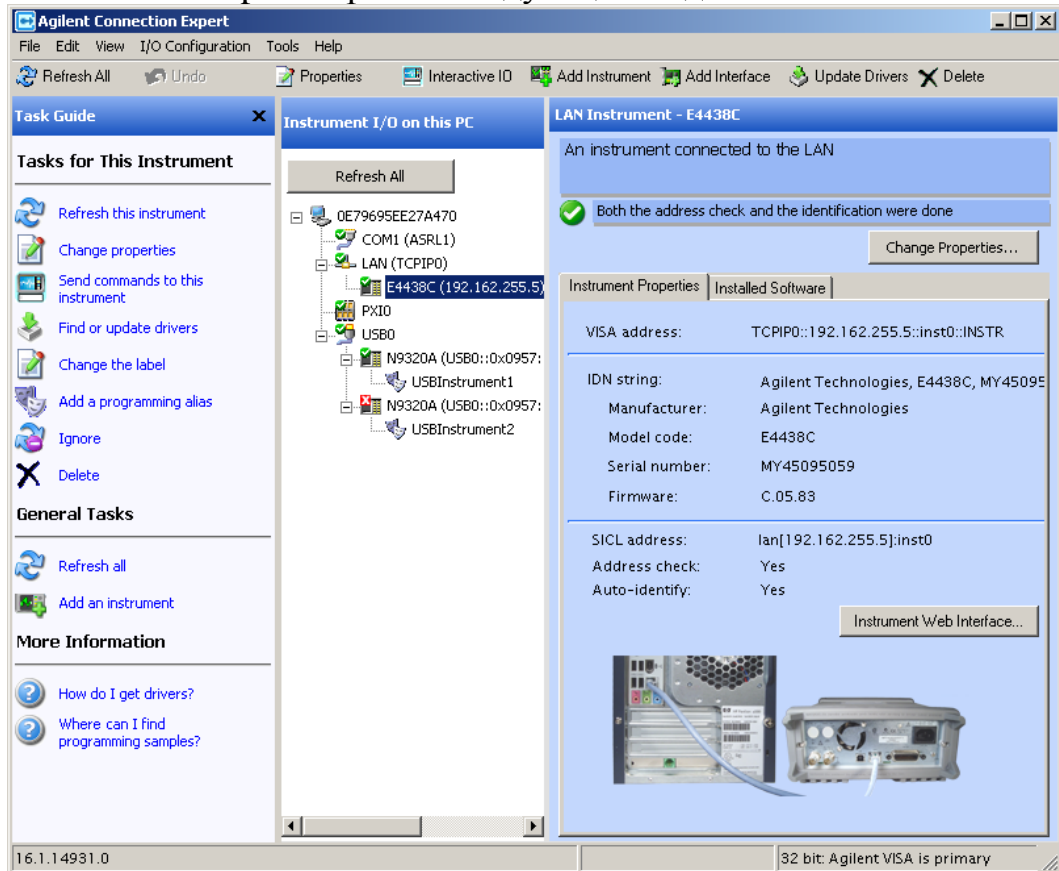


Порядок выполнения работы

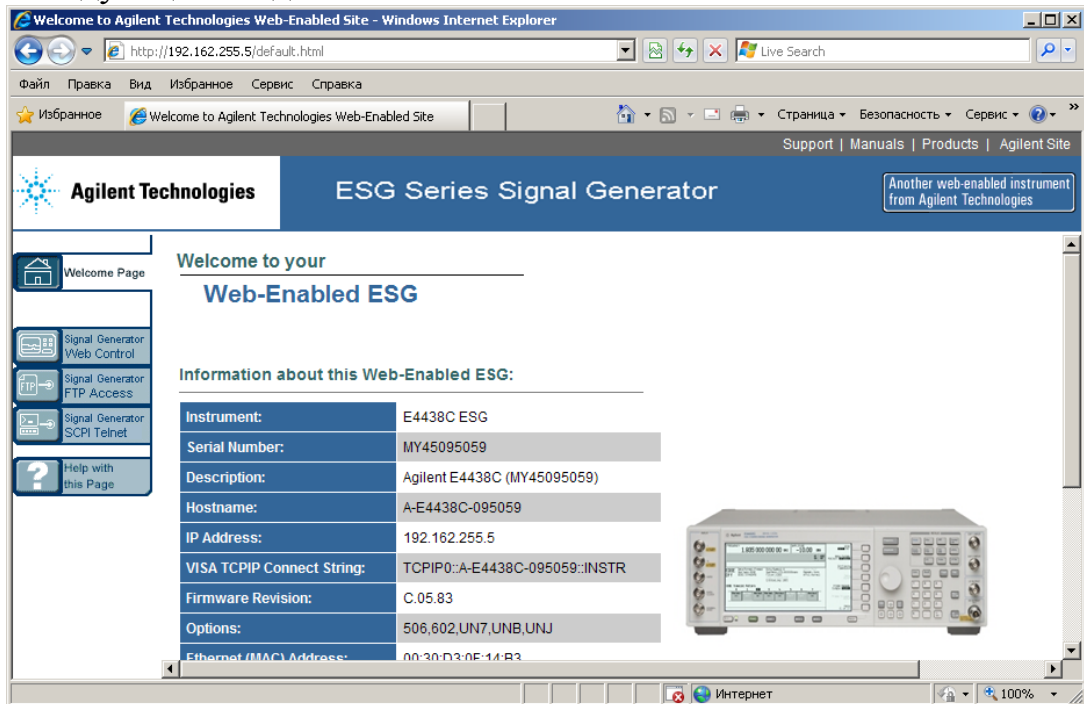
1. Используя документацию производителя измерительного оборудования (Agilent) изучить основные технические характеристики, органы управления и назначение входов и выходов измерительных приборов.
2. Включить векторный генератор и анализатор спектра (путем нажатия на кнопку  соответствующих измерительных приборов) и персональный компьютер).
3. Перевести векторный генератор в режим дистанционного управления.
  - 3.1. Вызвать специализированную программу ввода/вывода для измерительного оборудования семейства Agilent путем клика правой клавишей манипулятора «мышь» по иконке  в панели задач и выбора пункта «Agilent Connection Expert» в соответствующем всплывающем меню.
  - 3.2. После загрузки программного обеспечения ввода/вывода появится окно со следующим содержанием



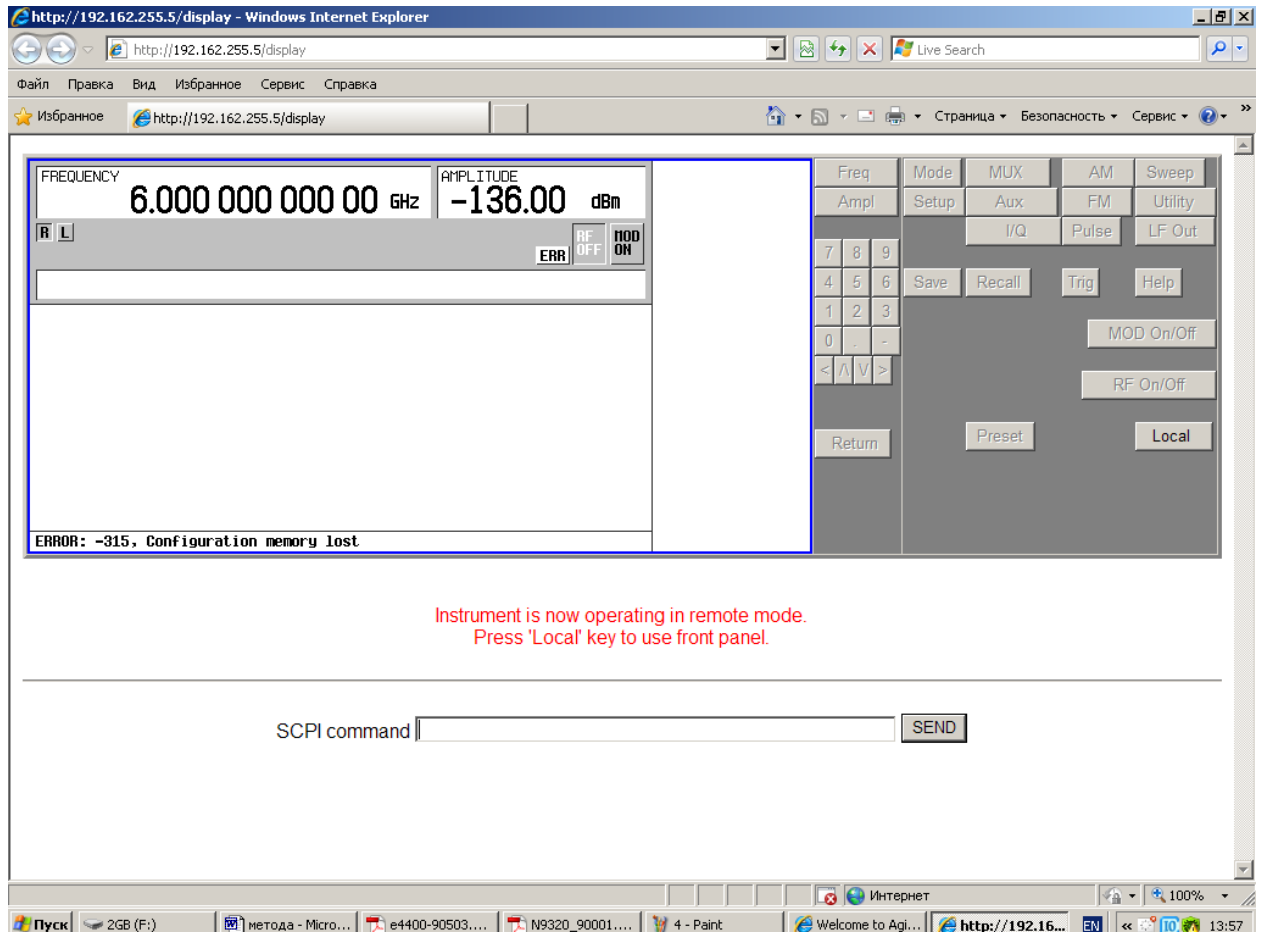
- 3.3. В отобразившемся «дереве» Instrument I/O on this PC левой кнопкой мыши выбрать E4438C (192.162.255...).
- 3.4. При правильном выборе подключенного оборудования окно «Agilent Connection Expert» примет следующий вид



- 3.5. Кликнуть левой клавишей мыши по кнопке «Instrument Web Interface...» при этом произойдет загрузка страницы Web доступа следующего вида

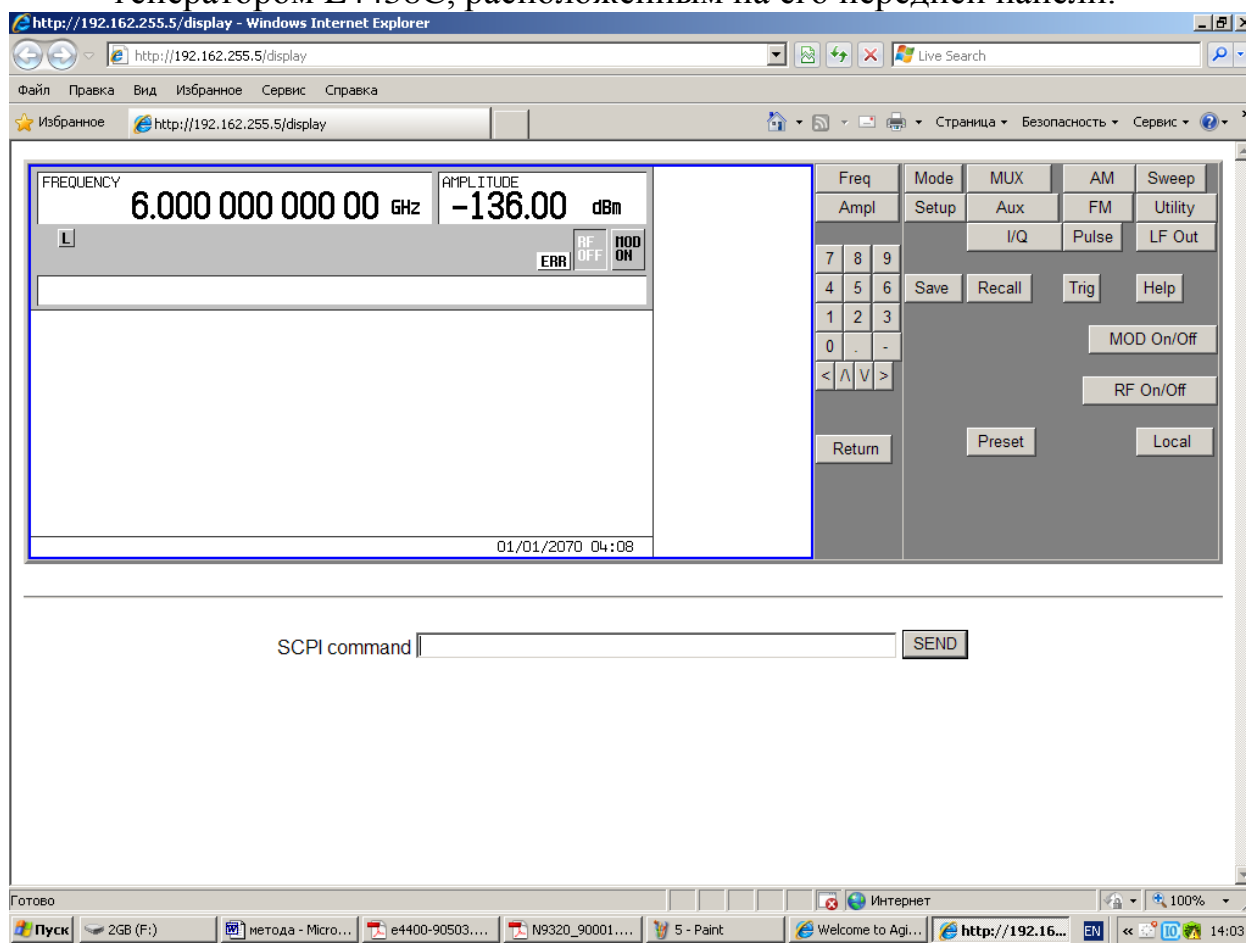


- 3.6. Перейти на Web страницу управления векторным генератором, кликнув левой клавишей мыши по кнопке «Signal Generator Web Control»





- 3.7. Клик левой клавишей мыши по «подсвеченной» кнопке «Local» откроет дистанционный доступ к элементам управления векторным генератором E4438C, расположенным на его передней панели.



4. После загрузки программного обеспечения измерительных приборов и персонального компьютера при красном свечении индикатора «Remote» перевести анализатор спектра в режим местного управления (управления с передней панели прибора) путем нажатия на кнопку «Preset/System».
5. Установить указанную преподавателем центральную частоту и уровень сигнала генерируемого векторным генератором (см. инструкцию пользователя Agilent E4438C).
6. Установить соответствующий режим измерения анализатора спектра (центральную частоты и диапазон анализа, полосы пропускания ВЧ и НЧ трактов, тип детектора, параметры отображения спектрограммы, параметры чувствительности, см. инструкцию пользователя Agilent N9320A) позволяющий четко идентифицировать сигнал, поступающий с векторного генератора. Идентификация может четко контролироваться путем включения и выключения выходного сигнала генератора соответствующей кнопкой (см. инструкцию пользователя Agilent E4438C).

*Примечание: существующие погрешности реального измерительного оборудования могут затруднить выполнение п.б. за одну итерацию. Для облегчения «поиска» сигнала генерируемого векторным генератором*

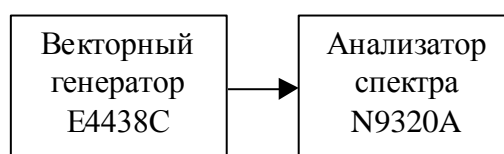
*целесообразно произвести несколько итераций с уровнем сигнала, чувствительностью, полосами анализа и пропускания анализатора спектра.*

7. Полученную спектрограмму предъявить преподавателю.
8. Увеличить уровень сигнала, формируемого векторным генератором на 40дБ.
9. Установить угловую модуляцию формируемого сигнала с параметрами указанными преподавателем (см. инструкцию пользователя Agilent E4438C).
10. Установить соответствующий режим измерения анализатора спектра (центральную частоты и диапазон анализа, полосы пропускания ВЧ и НЧ трактов, тип детектора, параметры отображения спектрограммы, параметры чувствительности, см. инструкцию пользователя Agilent N9320A) позволяющий получить четкую спектрограмму.
11. Полученную спектрограмму предъявить преподавателю.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕДМОДУЛЯЦИОННОГО ФИЛЬТРА НА СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИГНАЛОВ С ЦИФРОВОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ**

**Цель работы:** исследование влияния на спектральные характеристики сигналов с частотной и фазовой манипуляциями типа и параметров предмодуляционного фильтра.

**Структурная схема измерительной установки:**



### **Порядок выполнения работы**

1. Исследование влияния на спектральные характеристики сигналов с частотной манипуляцией типа и параметров предмодуляционного фильтра.
  - 1.1. Установить следующие параметры генерации сигнала:
    - Центральная частота генерируемого сигнала – 1 ГГц;
    - Уровень сигнала – минус 30 дБм;
    - Вид модуляции генерируемого сигнала – двухуровневая частотная манипуляция;
    - Скорость манипуляции – 300 кбит/с;
    - Манипулирующий сигнал – PN23;
    - Девиация частоты – 1,2 МГц;

- Предмодуляционный фильтр – Rectangle (прямоугольный).

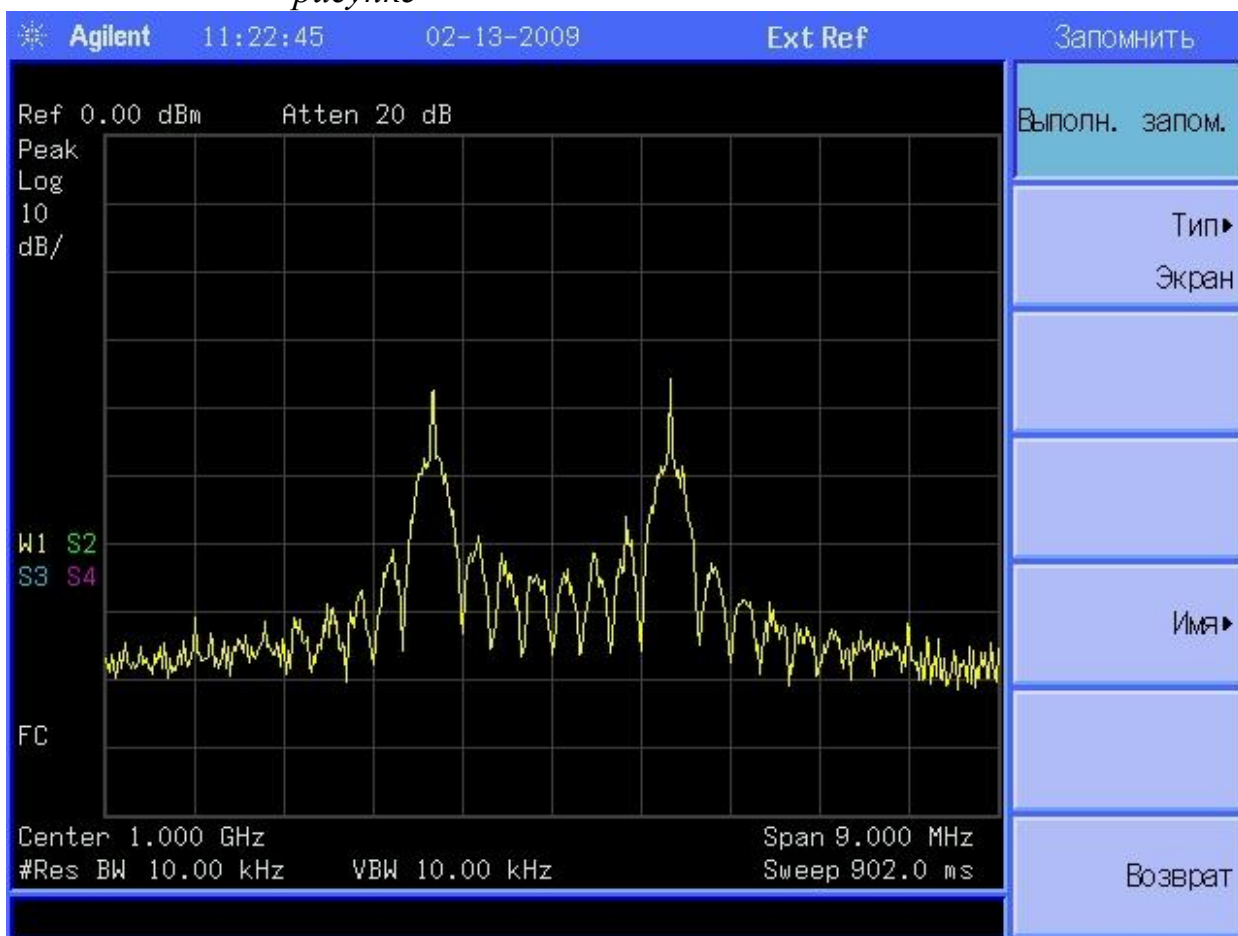
*Примечание: Установка вида сигнала (двухуровневой частотной манипуляции и ее параметров):*

- 1) Нажать кнопку «Mode Setup»
- 2) Нажать клавишу экранного меню «Custom»
- 3) Нажать клавишу экранного меню «Real Time I/Q Baseband»
- 4) Клавишей экранного меню перевести генератор в состояние «Custom-On»
- 5) Нажать клавишу экранного меню «Data», нажать клавишу экранного меню «PN Sequence» и затем соответствующей клавишей экранного меню выбрать «PN23»
- 6) Нажать клавишу экранного меню «Filter» для выбора типа предмодуляционного фильтра
- 7) Нажать клавишу экранного меню «Select»
- 8) Нажать клавишу экранного меню «More»
- 9) Соответствующей клавишей экранного меню выбрать тип фильтра «Rectangle» (прямоугольный)
- 10) Нажать кнопку «Return»
- 11) Нажать клавишу экранного меню «Symbol Rate»
- 12) Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число «300»
- 13) Нажать клавишу экранного меню «ksps»
- 14) Нажать кнопку «Return»
- 15) Нажать клавишу экранного меню «Modulation Type»
- 16) Нажать клавишу экранного меню «Select»
- 17) Нажать клавишу экранного меню «FSK» (частотная манипуляция)
- 18) Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число «1.2»
- 19) Нажать клавишу экранного меню «MHz»
- 20) Нажать клавишу экранного меню «2-Lvl FSK»
- 21) Нажать кнопку «Return»
- 22) Нажать кнопку «Frequency»
- 23) Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число «1»
- 24) Нажать клавишу экранного меню «GHz»
- 25) Нажать кнопку «Amplitude»
- 26) Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число «-30»
- 27) Нажать клавишу экранного меню «dBm»
- 28) Включить радиочастотный выход генератора нажав кнопку «RF On/Off»

1.2. Получить спектрограмму сгенерированного сигнала.

*Примечание: Установка режима и параметров измерения анализатора спектра для контроля сигнала на входе векторного генератора сигналов:*

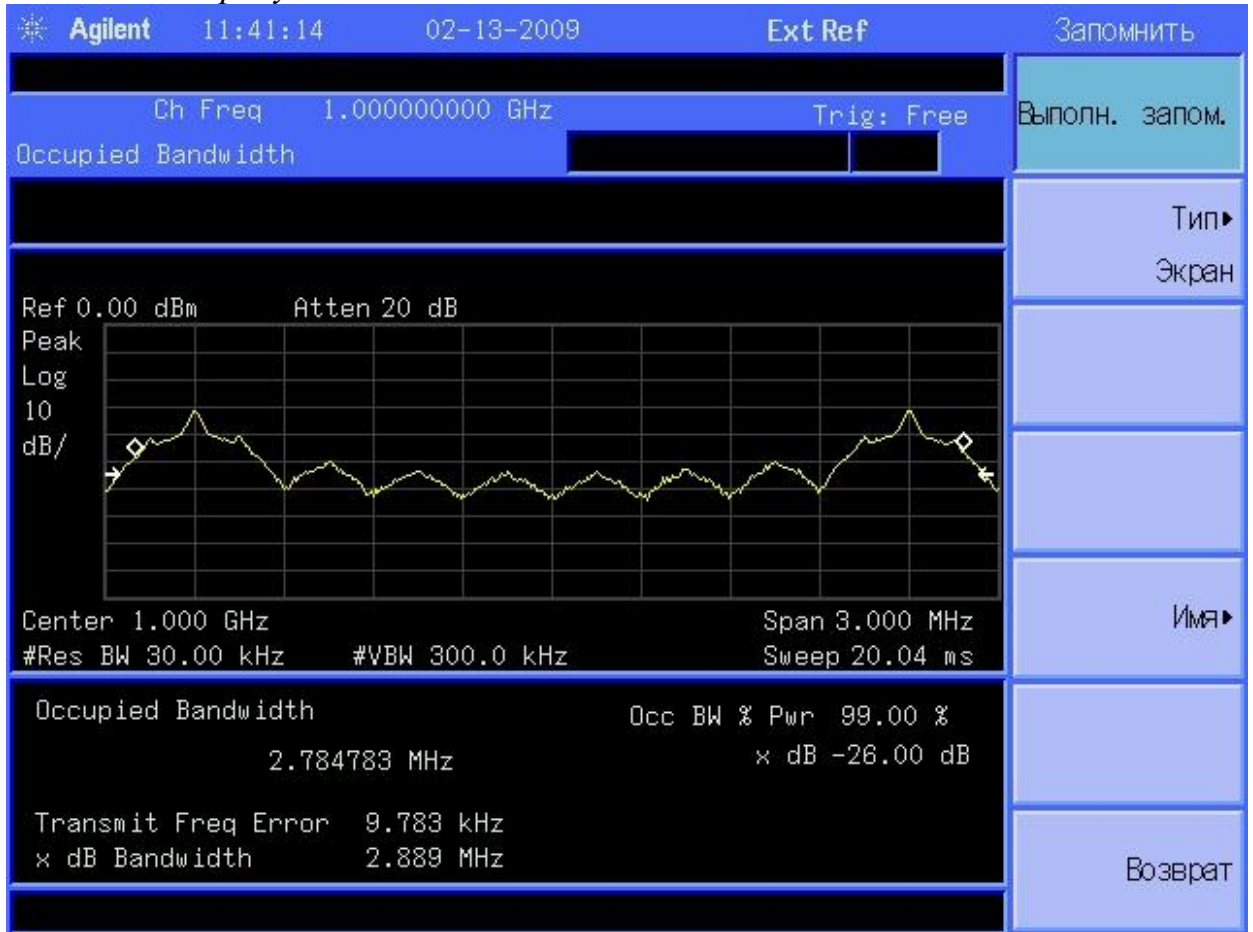
- 1) *Нажать кнопку «Frequency»*
- 2) *Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число «1» - установить центральную частоту полосы анализа*
- 3) *Нажать клавишу экранного меню «GHz»*
- 4) *Нажать кнопку «SPAN»*
- 5) *Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число «9» - установить ширину полосы анализа*
- 6) *Нажать клавишу экранного меню «MHz»*
- 7) *Нажать кнопку «BW/Avg»*
- 8) *Перевести анализатор спектра в режим ручного управления полосой пропускания нажав соответствующую клавишу экранного меню «Полоса проп.»*
- 9) *Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число «10» - установить ширину полосы пропускания*
- 10) *Нажать клавишу экранного меню «kHz»*
- 11) *Примерный вид экрана спектроанализатора приведен на рисунке*



1.3. Перевести анализатор спектра в режим измерения занимаемой полосы частот и произвести ее измерение.

*Примечание: Установка режима и параметров измерения анализатора спектра для контроля занимаемой сигналом полосы частот:*

- 1) Нажать кнопку «Means»
- 2) Нажать клавишу экранного меню «Заним. Полоса»
- 3) Включить режим удержания максимума (нажать два раза соответствующую клавишу экранного меню)
- 4) Примерный вид экрана спектроанализатора приведен на рисунке



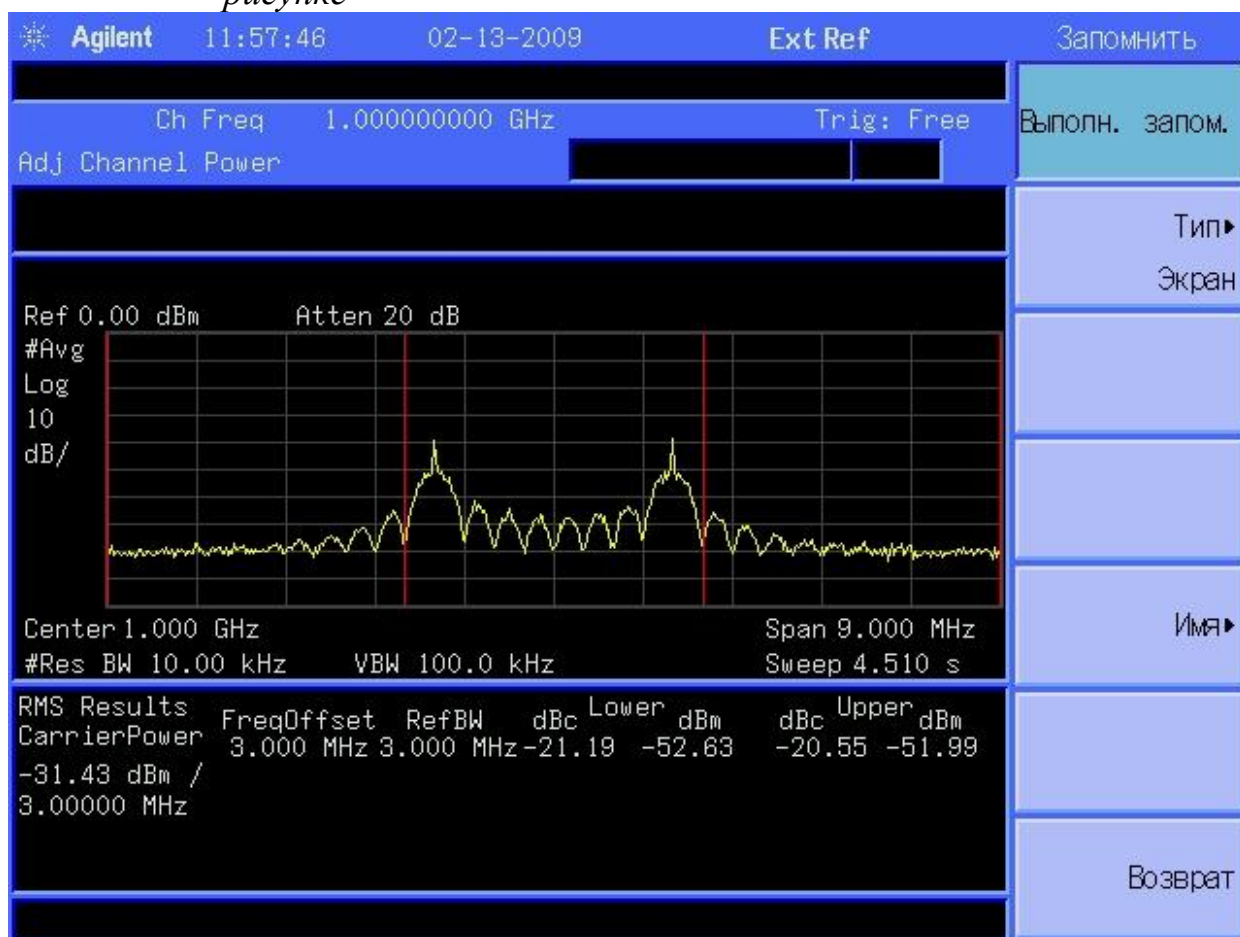
1.4. Перевести анализатор спектра в режим измерения уровня сигнала в соседних каналах.

1.5. Измерить уровень сигнала в нижнем и верхнем соседних каналах относительно уровня сигнала в основном канале.

*Примечание: Установка режима и параметров измерения анализатора спектра для контроля занимаемой сигналом полосы частот:*

- 1) Нажать кнопку «Means»
- 2) Нажать клавишу экранного меню «Мщ. в сос. ка.»
- 3) Нажать клавишу экранного меню «Пол. инт. кан.»
- 4) Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число «3» - установить ширину занимаемой сигналом полосы частот.

- 5) Нажать клавишу экранного меню «MHz»
- 6) Нажать клавишу экранного меню «Смещ./Пред.»
- 7) Нажать клавишу экранного меню «Част. смещен.»
- 8) Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число «3» - установить частоту смещения соседних каналов относительно центральной частоты сигнала.
- 9) Нажать клавишу экранного меню «MHz»
- 10) Нажать кнопку «BW/Avg»
- 11) При необходимости перевести анализатор спектра в режим ручного управления полосой пропускания нажав соответствующую клавишу экранного меню «Полоса проп.»
- 12) Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число «10» - установить ширину полосы пропускания
- 13) Нажать клавишу экранного меню «kHz»
- 14) Примерный вид экрана спектроанализатора приведен на рисунке



1.6. Изменить предмодуляционный фильтр на гауссовский с отношением полосы пропускания к полосе манипулирующего сигнала равном 0,1

Примечание: На векторном генераторе

- 1) Нажать кнопку «Mode Setup»

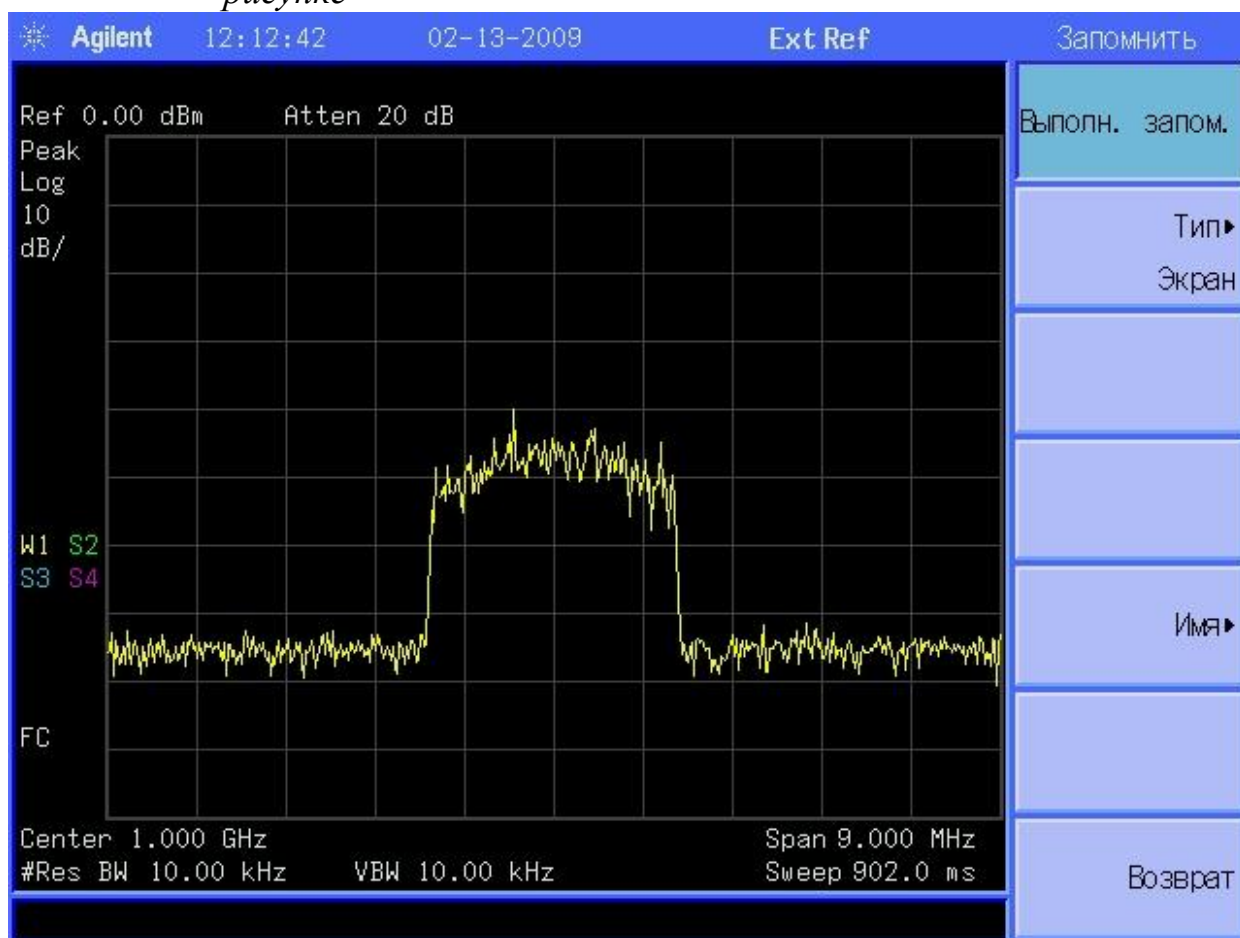


- 2) Нажать клавишу экранного меню «Filter»
- 3) Нажать клавишу экранного меню «Select»
- 4) Соответствующей кнопкой экранного меню выбрать «Gaussian»
- 5) Нажать клавишу экранного меню «Filter BbT»
- 6) Используя клавиши цифровой клавиатуры ввести число «0.1»
- 7) Нажать клавишу экранного меню «Enter»

1.7. Получить спектрограмму сгенерированного сигнала.

Примечание: На анализаторе спектра

- 1) Нажать кнопку «Means»
- 2) Нажать клавишу экранного меню «Измерение выкл.»
- 3) Примерный вид экрана спектроанализатора приведен на рисунке



- 1.8. Перевести анализатор спектра в режим измерения занимаемой полосы частот и произвести ее измерение.
- 1.9. Измерить уровень сигнала в нижнем и верхнем соседних каналах относительно уровня сигнала в основном канале.
- 1.10. Повторить измерения по п.1.6 для других отношений полосы пропускания к полосе манипулирующего сигнала (0,3; 0,6; 1,0; 2,0).
- 1.11. Построить зависимость уровень сигнала в нижнем и верхнем соседних каналах относительно уровня сигнала в основном канале для

различных отношений полосы пропускания к полосе манипулирующего сигнала и сравнить с полученными результатами для прямоугольного предмодуляционного фильтра.

2. *Исследование влияния на спектральные характеристики сигналов с фазовой манипуляцией типа и параметров предмодуляционного фильтра.*

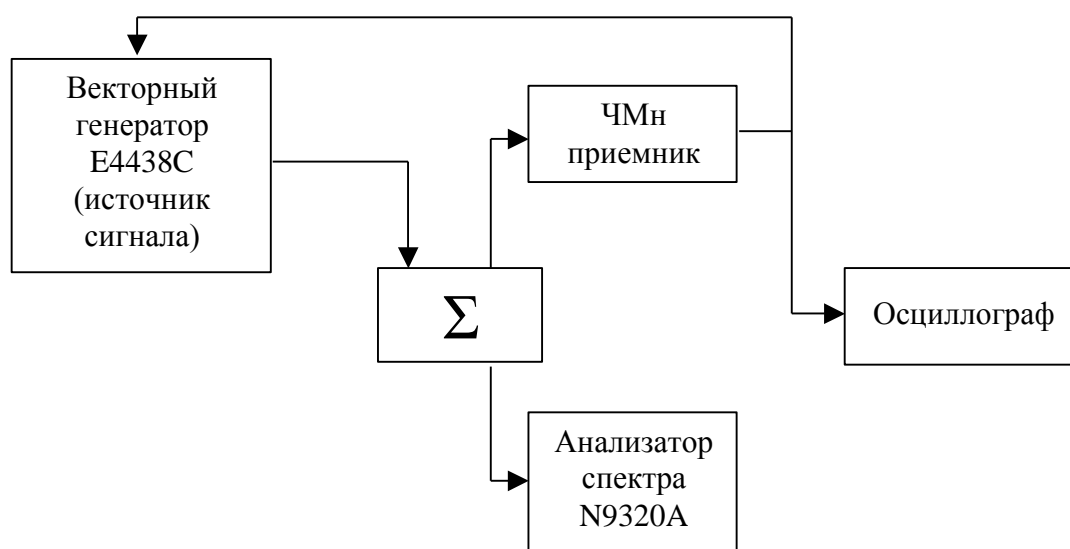
- 2.1. Установить следующие параметры генерации сигнала:
  - Центральная частота генерируемого сигнала – 1 ГГц;
  - Уровень сигнала – минус 30 дБм;
  - Вид модуляции генерируемого сигнала – бинарная фазовая манипуляция;
  - Скорость манипуляции – 300 кбит/с;
  - Манипулирующий сигнал – PN23;
  - Предмодуляционный фильтр – Rectangle (прямоугольный)
- 2.2. Получить спектрограмму сгенерированного сигнала.
- 2.3. Перевести анализатор спектра в режим измерения уровня сигнала в соседних каналах.
- 2.4. Измерить уровень сигнала в нижнем и верхнем соседних каналах относительно уровня сигнала в основном канале.
- 2.5. Изменить предмодуляционный фильтр на гауссовский с отношением полосы пропускания к полосе манипулирующего сигнала равном 0,1
- 2.6. Измерить уровень сигнала в нижнем и верхнем соседних каналах относительно уровня сигнала в основном канале.
- 2.7. Повторить измерения по п.2.6 для других отношений полосы пропускания к полосе манипулирующего сигнала (0,3; 0,6; 1,0; 2,0).
- 2.8. Построить зависимость уровень сигнала в нижнем и верхнем соседних каналах относительно уровня сигнала в основном канале для различных отношений полосы пропускания к полосе манипулирующего сигнала и сравнить с полученными результатами для прямоугольного предмодуляционного фильтра.



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЦИФРОВОГО ПРИЕМНОГО УСТРОЙСТВА

**Цель работы:** определение чувствительности цифрового канала связи с двухуровневой частотной манипуляцией при различных значениях вероятности ошибочного приема.

Структурная схема измерительной установки:



Измерительная установка состоит из источника полезного сигнала (векторный генератор E4438C) с инсталлированной функцией измерителя вероятности ошибки, источника помехового сигнала (векторный генератор E4438C), согласованного сумматора, приемника частотно-манипулированных радиосигналов, анализатора спектра для контроля входного сигнала приемника частотно-манипулированных сигналов и осциллографа для контроля выходного сигнала приемника частотно-манипулированных сигналов.

Основные параметры ЧМн приемника:

- Частота настройки – 160,85 МГц;
- Девиация частоты – 4,5 кГц
- Скорость манипуляции – 1,2 кбит/с
- Критерий нормального функционирования – вероятность ошибки не более  $1 \times 10^{-3}$ .

Порядок выполнения работы

1. *Определение чувствительности ЧМн приемника.*

**1. Установить следующие параметры генерируемого полезного сигнала**

- Вид сигнала – сигнал с двухуровневой частотной манипуляцией;
- Девиация частоты –4,5 кГц
- Скорость манипуляции – 1,2 кбит/с
- Модулирующие данные – PN23
- Частота настройки – 160,85 МГц;
- Уровень выходного сигнала – минус 70 дБм

*Примечание: Установка вида сигнала (двухуровневой частотной манипуляции и ее параметров):*

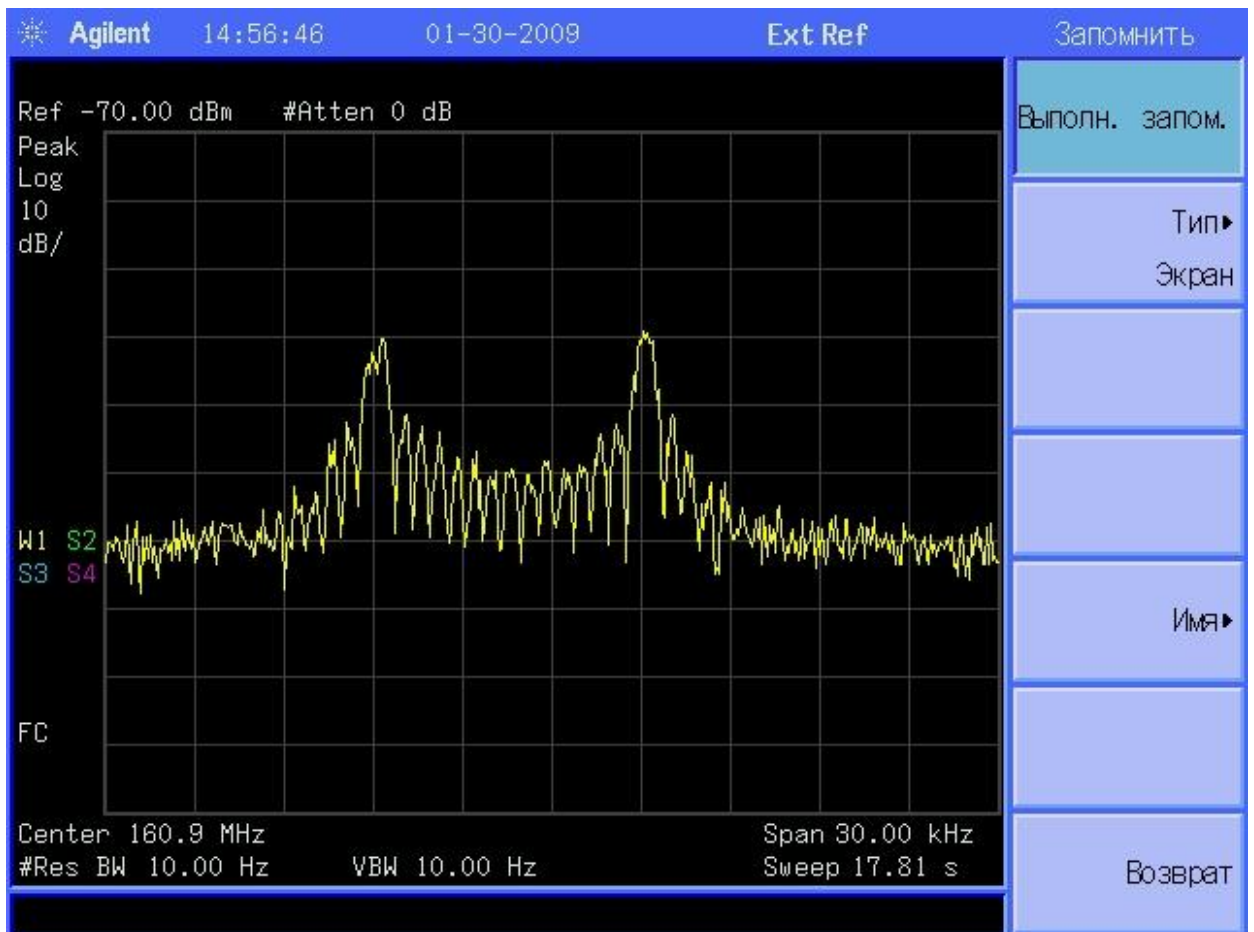
- 29) Нажать кнопку «Mode Setup»
- 30) Нажать клавишу экранного меню «Custom»
- 31) Нажать клавишу экранного меню «Real Time I/Q Baseband»
- 32) Клавишей экранного меню перевести генератор в состояние «Custom-On»
- 33) Нажать клавишу экранного меню «Data», нажать клавишу экранного меню «PN Sequence» и затем соответствующей клавишей экранного меню выбрать «PN23»
- 34) Нажать клавишу экранного меню «Filter» для выбора типа предмодуляционного фильтра
- 35) Нажать клавишу экранного меню «Select»
- 36) Нажать клавишу экранного меню «More»
- 37) Соответствующей клавишей экранного меню выбрать тип фильтра «Rectangle» (прямоугольный)
- 38) Нажать кнопку «Return»
- 39) Нажать клавишу экранного меню «Symbol Rate»
- 40) Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число «1200»
- 41) Нажать клавишу экранного меню «sps»
- 42) Нажать кнопку «Return»
- 43) Нажать клавишу экранного меню «Modulation Type»
- 44) Нажать клавишу экранного меню «Select»
- 45) Нажать клавишу экранного меню «FSK» (частотная манипуляция)
- 46) Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число «4.5»
- 47) Нажать клавишу экранного меню «kHz»
- 48) Нажать клавишу экранного меню «2-Lvl FSK»
- 49) Нажать кнопку «Return»
- 50) Нажать кнопку «Frequency»
- 51) Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число «160.85»
- 52) Нажать клавишу экранного меню «MHz»
- 53) Нажать кнопку «Amplitude»

- 54) *Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число «-70»*
- 55) *Нажать клавишу экранного меню «dBm»*
- 56) *Включить радиочастотный выход генератора нажав кнопку «RF On/Off»*

**2. Используя анализатор спектра проконтролировать наличие и вид сигнала на входе приемника частотно-манипулированных сигналов**

*Примечание: Установка режима и параметров измерения анализатора спектра для контроля сигнала на входе приемника частотно-манипулированных сигналов:*

- 12) *Нажать кнопку «Frequency»*
- 13) *Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число «160.85» - установить центральную частоту полосы анализа*
- 14) *Нажать клавишу экранного меню «MHz»*
- 15) *Нажать кнопку «SPAN»*
- 16) *Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число «30» - установить ширину полосы анализа*
- 17) *Нажать клавишу экранного меню «kHz»*
- 18) *Нажать кнопку «BW/Avg»*
- 19) *Перевести анализатор спектра в режим ручного управления полосой пропускания нажав соответствующую клавишу экранного меню «Полоса проп.»*
- 20) *Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число «10» - установить ширину полосы пропускания*
- 21) *Нажать клавишу экранного меню «Hz»*
- 22) *Нажать кнопку «Amplitude»*
- 23) *Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число «-70» - установить опорный уровень индикации результатов измерения*
- 24) *Нажать клавишу экранного меню «dBm»*
- 25) *Перевести анализатор спектра в режим ручного управления ослаблением входного сигнала нажав соответствующую клавишу экранного меню «Ослабление»*
- 26) *Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число «0» - установить ослабление входного сигнала*
- 27) *Нажать клавишу экранного меню «dB»*
- 28) *Примерный вид экрана спектроанализатора приведен на рисунке*



### 3. Установить режим измерения BERT на генераторе полезного сигнала с соответствующими параметрами измерения.

*Примечание: Установка режима и параметров измерения вероятности ошибочного приема векторным генератором:*

- 1) Нажать кнопку «Aux Fctn»
- 2) Нажать клавишу экранного меню «BERT»
- 3) Клавишей экранного меню перевести генератор в состояние «BERT On»
- 4) Нажать клавишу экранного меню «Configure BERT»
- 5) Нажать клавишу экранного меню «Data» и затем соответствующей клавишей экранного меню выбрать «PN23»
- 6) Нажать кнопку «Return»
- 7) Нажать клавишу экранного меню «Configure Trigger»
- 8) Нажать клавишу экранного меню «BERT Trigger»
- 9) Выбрать соответствующей клавишей экранного меню режим запуска измерений пользователем – «Trigger Key»
- 10) Нажать кнопку «Return»
- 11) Перевести режим индикации вероятности ошибки в экспоненциальный, используя клавишу экранного меню «BERT Display»
- 12) Нажать клавишу экранного меню «I/Q Setup»

- 13) Нажать клавишу экранного меню «Treshold» и установить порог различения символов равный 1,65В, используя соответствующую клавишу экранного меню
- 14) Нажать клавишу экранного меню «Polarity Setup» и установить соответствующей клавишей экранного меню негативную полярность данных - «Data Polarity»
- 15) При нажатии на кнопку «Trigger» на дисплее генератора начнется счет проанализированных выходных данных приемника сигналов с частотной манипуляцией, по окончании анализа зафиксируется значение измеренной вероятности ошибки.
- 16) Два раза нажать кнопку «Return»

- 4. Уменьшая уровень полезного сигнала с шагом 2 дБ на каждом цикле измерения BER добиться вероятности ошибки демодуляции ЧМн-приемника равной или чуть большей чем  $1 \times 10^{-3}$ .**

*Примечание: Перевод генератора в режим изменения уровня выходного сигнала:*

- 1) Нажать клавишу экранного меню «Frequency and Amplitude Setup»
- 2) Нажать клавишу экранного меню «Amplitude Setup»

- 5. Увеличивая уровень полезного сигнала на 1 дБ на каждом цикле измерения BER добиться вероятности ошибки демодуляции ЧМн-приемника менее чем  $1 \times 10^{-3}$ , зафиксировать полученный уровень полезного сигнала как уровень чувствительности ограниченный шумом.**

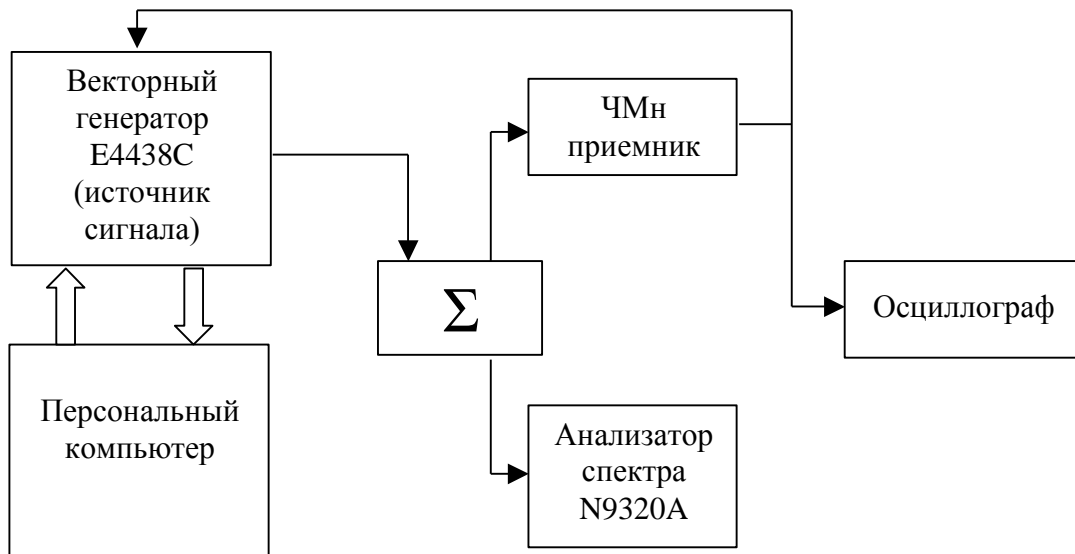
*Примечание: Установка выходного уровня генератора полезного сигнала*

- 1) Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число - необходимый уровень выходного сигнала
- 2) Нажать клавишу экранного меню «dBm»

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ВЕРОЯТНОСТИ ОШИБОЧНОГО ПРИЕМА ОТ ОТНОШЕНИЯ ЭНЕРГИИ ПРИХОДЯЩЕЙСЯ НА ОДИН БИТ ПЕРЕДАВАЕМОЙ ИНФОРМАЦИИ К СПЕКТРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ ШУМА

**Цель работы:** Исследование влияния аддитивного шума на качественные характеристики демодуляции сигналов с дискретной модуляцией

Структурная схема измерительной установки:



Измерительная установка состоит из источника полезного сигнала (векторный генератор E4438C) с инсталлированной функцией измерителя вероятности ошибки, согласованного сумматора, приемника частотно-манипулированных радиосигналов, персонального компьютера со специализированным сигнальным процессором и программным обеспечением, реализующими влияние канала связи на формируемый сигнал, анализатора спектра для контроля входного сигнала приемника частотно-манипулированных сигналов и осциллографа для контроля выходного сигнала приемника частотно-манипулированных сигналов.

Основные параметры ЧМн приемника:

- Частота настройки – 160,85 МГц;
- Девиация частоты – 4,5 кГц
- Скорость манипуляции – 1,2 кбит/с
- Критерий нормального функционирования – вероятность ошибки не более  $1 \times 10^{-3}$ .

## 1. Установить следующие параметры генерируемого полезного сигнала

- Вид сигнала – сигнал с двухуровневой частотной манипуляцией;

- Девиация частоты –4,5 кГц
- Скорость манипуляции – 1,2 кбит/с
- Модулирующие данные – PN23
- Частота настройки – 160,85 МГц;
- Уровень выходного сигнала – минус 30 дБм

*Примечание: Установка вида сигнала (двухуровневой частотной манипуляции и ее параметров):*

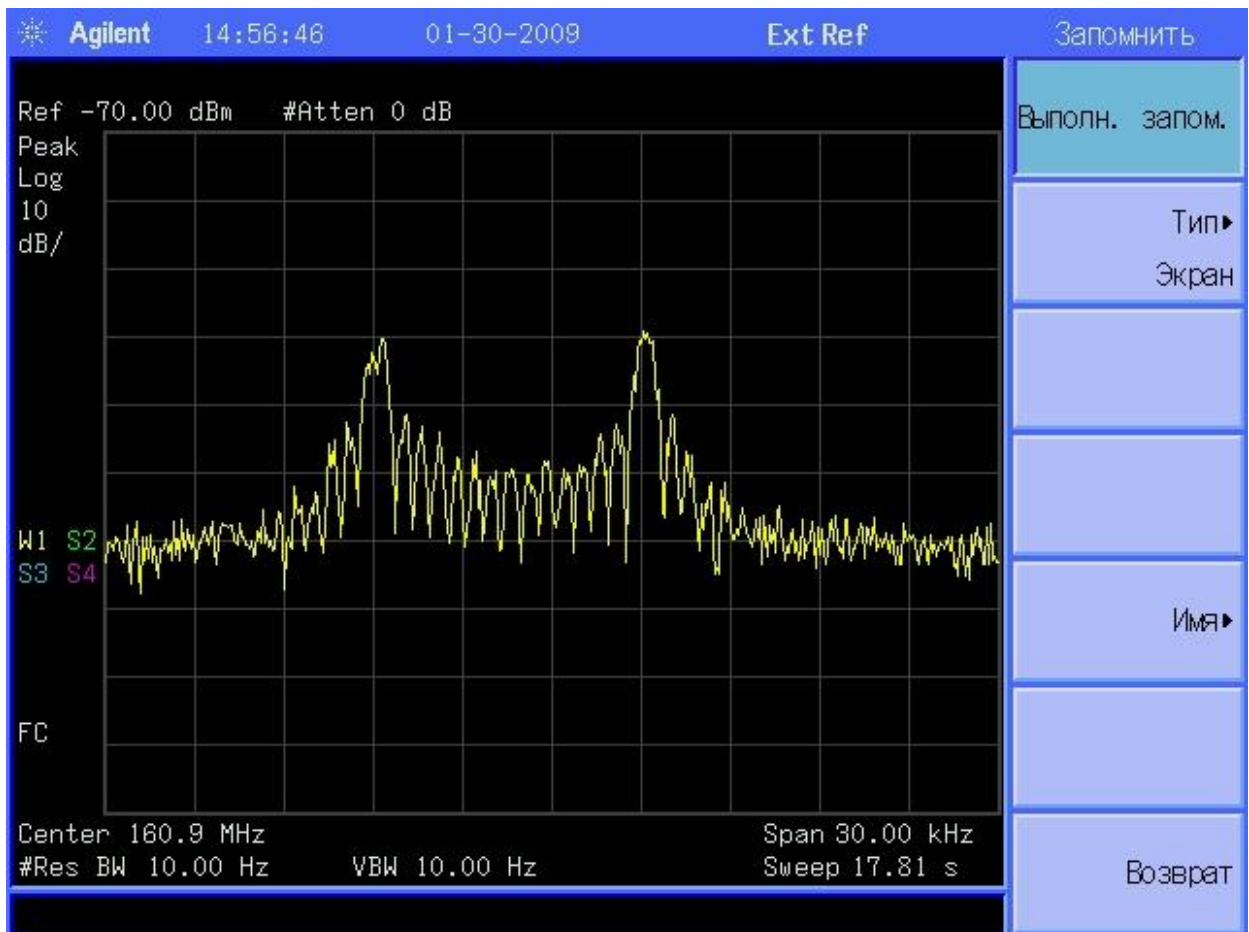
- 1) Нажать кнопку «Mode Setup»
- 2) Нажать клавишу экранного меню «Custom»
- 3) Нажать клавишу экранного меню «Real Time I/Q Baseband»
- 4) Клавишей экранного меню перевести генератор в состояние «Custom-On»
- 5) Нажать клавишу экранного меню «Data», нажать клавишу экранного меню «PN Sequence» и затем соответствующей клавишей экранного меню выбрать «PN23»
- 6) Нажать клавишу экранного меню «Filter» для выбора типа предмодуляционного фильтра
- 7) Нажать клавишу экранного меню «Select»
- 8) Нажать клавишу экранного меню «More»
- 9) Соответствующей клавишей экранного меню выбрать тип фильтра «Rectangle» (прямоугольный)
- 10) Нажать кнопку «Return»
- 11) Нажать клавишу экранного меню «Symbol Rate»
- 12) Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число «1200»
- 13) Нажать клавишу экранного меню «sps»
- 14) Нажать кнопку «Return»
- 15) Нажать клавишу экранного меню «Modulation Type»
- 16) Нажать клавишу экранного меню «Select»
- 17) Нажать клавишу экранного меню «FSK» (частотная манипуляция)
- 18) Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число «4.5»
- 19) Нажать клавишу экранного меню «kHz»
- 20) Нажать клавишу экранного меню «2-Lvl FSK»
- 21) Нажать кнопку «Return»
- 22) Нажать кнопку «Frequency»
- 23) Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число «160.85»
- 24) Нажать клавишу экранного меню «MHz»
- 25) Нажать кнопку «Amplitude»
- 26) Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число «-70»
- 27) Нажать клавишу экранного меню «dBm»
- 28) Включить радиочастотный выход генератора нажав кнопку «RF On/Off»

## **2. Используя анализатор спектра проконтролировать наличие и вид сигнала на входе приемника частотно-манипулированных сигналов**

*Примечание: Установка режима и параметров измерения анализатора спектра для контроля сигнала на входе приемника частотно-манипулированных сигналов:*

- 1) Нажать кнопку «Frequency»
- 2) Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число «160.85» - установить центральную частоту полосы анализа
- 3) Нажать клавишу экранного меню «MHz»
- 4) Нажать кнопку «SPAN»
- 5) Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число «30» - установить ширину полосы анализа
- 6) Нажать клавишу экранного меню «kHz»
- 7) Нажать кнопку «BW/Avg»
- 8) Перевести анализатор спектра в режим ручного управления полосой пропускания нажав соответствующую клавишу экранного меню «Полоса проп.»
- 9) Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число «10» - установить ширину полосы пропускания
- 10) Нажать клавишу экранного меню «Hz»
- 11) Нажать кнопку «Amplitude»
- 12) Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число «-30» - установить опорный уровень индикации результатов измерения
- 13) Нажать клавишу экранного меню «dBm»
- 14) Перевести анализатор спектра в режим ручного управления ослаблением входного сигнала нажав соответствующую клавишу экранного меню «Ослабление»
- 15) Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число «0» - установить ослабление входного сигнала
- 16) Нажать клавишу экранного меню «dB»
- 17) Примерный вид экрана анализатора спектра приведен на рисунке





### 3. Установить режим измерения BERT на генераторе полезного сигнала с соответствующими параметрами измерения.

*Примечание: Установка режима и параметров измерения вероятности ошибочного приема векторным генератором:*

- 1) Нажать кнопку «Aux Fctn»
- 2) Нажать клавишу экранного меню «BERT»
- 3) Клавишей экранного меню перевести генератор в состояние «BERT On»
- 4) Нажать клавишу экранного меню «Configure BERT»
- 5) Нажать клавишу экранного меню «Data» и затем соответствующей клавишей экранного меню выбрать «PN23»
- 6) Нажать кнопку «Return»
- 7) Нажать клавишу экранного меню «Configure Trigger»
- 8) Нажать клавишу экранного меню «BERT Trigger»
- 9) Выбрать соответствующей клавишей экранного меню режим запуска измерений пользователем – «Trigger Key»
- 10) Нажать кнопку «Return»
- 11) Перевести режим индикации вероятности ошибки в экспоненциальный, используя клавишу экранного меню «BERT Display»
- 12) Нажать клавишу экранного меню «I/Q Setup»

- 13) Нажать клавишу экранного меню «Treshold» и установить порог различения символов равный 1,65В, используя соответствующую клавишу экранного меню
- 14) Нажать клавишу экранного меню «Polarity Setup» и установить соответствующей клавишей экранного меню негативную полярность данных - «Data Polarity»
- 15) При нажатии на кнопку «Trigger» на дисплее генератора начнется счет проанализированных выходных данных приемника сигналов с частотной манипуляцией, по окончании анализа зафиксированное значение измеренной вероятности ошибки.
- 16) Два раза нажать кнопку «Return»

#### 4. На персональном компьютере запустить специализированное программное обеспечение «Fader»

- 1) Два раза кликнуть по соответствующей иконке «Fader» левой клавишей мыши.
- 2) В «всплывшем» выбрать – «Most recently used hardware configuration» и нажать кнопку «ОК» левой клавишей мыши. Загрузиться окно программы моделирования влияния на сигнал, формируемый векторным генератором E4438C следующего вида:

| Path | Enabled                             | Fading Type | Rician K (dB) | Path Delay (us) | Rel Loss (dB) | Speed (km/h) | Doppler Freq. (Hz) | ADA (deg) | Phase Shift (deg) | Log Normal               | Length Const. (m) | Std. Dev. |
|------|-------------------------------------|-------------|---------------|-----------------|---------------|--------------|--------------------|-----------|-------------------|--------------------------|-------------------|-----------|
| 1    | <input checked="" type="checkbox"/> | Rayleigh    |               | 0.000000        | 0             | 0.00         | 0.000              |           | 0.00              | <input type="checkbox"/> |                   |           |
| 2    | <input type="checkbox"/>            | Rayleigh    |               | 0.000000        | 0             | 0.00         | 0.000              |           | 0.00              | <input type="checkbox"/> |                   |           |
| 3    | <input type="checkbox"/>            | Rayleigh    |               | 0.000000        | 0             | 0.00         | 0.000              |           | 0.00              | <input type="checkbox"/> |                   |           |
| 4    | <input type="checkbox"/>            | Rayleigh    |               | 0.000000        | 0             | 0.00         | 0.000              |           | 0.00              | <input type="checkbox"/> |                   |           |
| 5    | <input type="checkbox"/>            | Rayleigh    |               | 0.000000        | 0             | 0.00         | 0.000              |           | 0.00              | <input type="checkbox"/> |                   |           |
| 6    | <input type="checkbox"/>            | Rayleigh    |               | 0.000000        | 0             | 0.00         | 0.000              |           | 0.00              | <input type="checkbox"/> |                   |           |
| 7    | <input type="checkbox"/>            | Rayleigh    |               | 0.000000        | 0             | 0.00         | 0.000              |           | 0.00              | <input type="checkbox"/> |                   |           |
| 8    | <input type="checkbox"/>            | Rayleigh    |               | 0.000000        | 0             | 0.00         | 0.000              |           | 0.00              | <input type="checkbox"/> |                   |           |
| 9    | <input type="checkbox"/>            | Rayleigh    |               | 0.000000        | 0             | 0.00         | 0.000              |           | 0.00              | <input type="checkbox"/> |                   |           |
| 10   | <input type="checkbox"/>            | Rayleigh    |               | 0.000000        | 0             | 0.00         | 0.000              |           | 0.00              | <input type="checkbox"/> |                   |           |
| 11   | <input type="checkbox"/>            | Rayleigh    |               | 0.000000        | 0             | 0.00         | 0.000              |           | 0.00              | <input type="checkbox"/> |                   |           |
| 12   | <input type="checkbox"/>            | Rayleigh    |               | 0.000000        | 0             | 0.00         | 0.000              |           | 0.00              | <input type="checkbox"/> |                   |           |

- 3) Выбрать режим «AWGN Enabled»

**5. Снять зависимость вероятности ошибки приема полезного сигнала от отношения энергии, приходящейся на один бит передаваемой информации, к спектральной плотности шума**

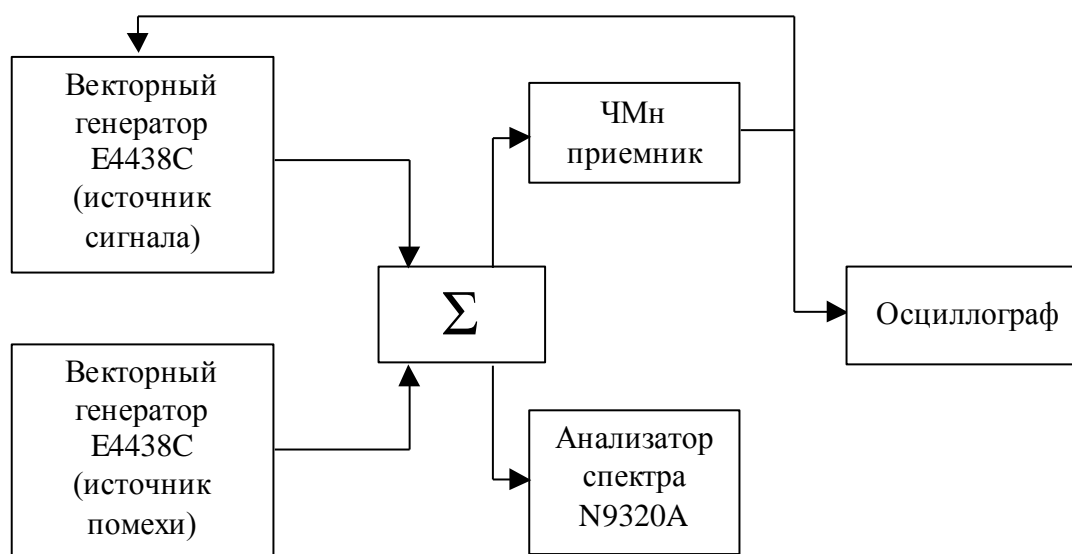
- 1) *Левой клавишей мыши нажать кнопку « $E_b / N_0$  Settings...».*
- 2) *В появившемся окошке выбрать – «С» в поле выбора «When settings  $E_b / N_0$ , hold following selection constant».*
- 3) *В поле ввода  $E_b / N_0$  установить требуемое отношение энергии, приходящейся на один бит передаваемой информации, к спектральной плотности шума. Нажать последовательно кнопки «Apply» и «OK».*
- 4) *Включить режим «Fader On».*
- 5) *Проконтролировать изменение спектрограммы*
- 6) *Произвести измерение вероятности ошибочного приема. (Перейти в окно управления векторным генератором, нажать кнопку «Local» и произвести соответствующие измерения).*

*Примечание: Диапазон значений параметра  $E_b / N_0$  - минус 10...плюс 40 дБ. Перед изменением значения параметра  $E_b / N_0$  необходимо перевести генератор в режим «Fader Off» выбором соответствующего режима в окне программы «Fader».*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВОСПРИИМЧИВОСТИ ЦИФРОВОГО КАНАЛА СВЯЗИ С ДВУХУРОВНЕВОЙ ЧАСТОТНОЙ МАНИПУЛЯЦИЕЙ

**Цель работы:** исследование характеристик восприимчивости цифрового канала связи с двухуровневой частотной манипуляцией при различных видах и параметрах помехового воздействия.

Структурная схема измерительной установки:



Измерительная установка состоит из источника полезного сигнала (векторный генератор E4438C) с инсталлированной функцией измерителя вероятности ошибки, источника помехового сигнала (векторный генератор E4438C), согласованного сумматора, приемника частотно-манипулированных радиосигналов, анализатора спектра для контроля входного сигнала приемника частотно-манипулированных сигналов и осциллографа для контроля выходного сигнала приемника частотно-манипулированных сигналов.

Основные параметры ЧМн приемника:

- Частота настройки – 160,85 МГц;
- Девиация частоты – 4,5 кГц
- Скорость манипуляции – 1,2 кбит/с
- Критерий нормального функционирования – вероятность ошибки не более  $1 \times 10^{-3}$ .

## Порядок выполнения работы

### **1. Измерение характеристик восприимчивости цифрового канала связи с двухуровневой частотной манипуляцией при воздействии гармонической помехи.**

- 1. Установить уровень полезного сигнала на 10 дБ выше уровня чувствительности ограниченной шумом.**

*Примечание: Установка выходного уровня генератора полезного сигнала*

- 1) Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число - необходимый уровень выходного сигнала*
- 2) Нажать клавишу экранного меню «dBm»*

- 2. Установить следующие параметры генерируемой помехи**

- Вид сигнала – немодулированное гармоническое колебание;
- Частота настройки – 160,85 МГц;
- Уровень выходного сигнала – установленный в п.1 уровень полезного сигнала.

*Примечание: Установка вида сигнала помехи и его параметров (немодулированное гармоническое колебание с заданным уровнем и частотой):*

- 1) Нажать кнопку «Frequency»*
- 2) Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести номинал частоты генерируемого сигнала*
- 3) Нажать клавишу экранного меню «MHz»*
- 4) Нажать кнопку «Amplitude»*
- 5) Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число - необходимый уровень выходного сигнала*
- 6) Нажать клавишу экранного меню «dBm»*
- 7) Включить радиочастотный выход генератора нажав кнопку «RF On/Off»*

- 3. Изменяя уровень помехового сигнала с шагом 1 дБ на каждом цикле измерения BER добиться вероятности ошибки демодуляции ЧМн-приемника чуть меньшей чем  $1 \times 10^{-3}$ , зафиксировать полученный уровень помехового сигнала как допустимый уровень помехи.**

*Примечание: Установка выходного уровня генератора помехового сигнала*

- 1) Нажать кнопку «Amplitude»*
- 2) Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число - необходимый уровень выходного сигнала*
- 3) Нажать клавишу экранного меню «dBm»*

- 4. Повторяя п.2.3 для других частот помехового сигнала получить зависимость допустимого отношения сигнал/помеха ( $q = P_s - P_i$ ) дБ.**

*Примечание: Установка частоты помехового сигнала:*

- 1) Нажать кнопку «Frequency»*

- 2) *Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести номинал частоты генерируемого сигнала*
- 3) *Нажать клавишу экранного меню «MHz»*

## **2. Измерение характеристик восприимчивости цифрового канала связи с двухуровневой частотной манипуляцией при воздействии сигналоподобной помехи.**

1. **Установить уровень полезного сигнала на 10 дБ выше уровня чувствительности ограниченной шумом.**
2. **Установить следующие параметры генерируемой помехи**
  - Вид сигнала – сигнал с двухуровневой частотной манипуляцией;
  - Частота настройки – 160,85 МГц;
  - Девиация частоты –4,5 кГц
  - Скорость манипуляции – 1,2 кбит/с
  - Модулирующие данные – PN9
  - Уровень выходного сигнала – установленный в п.3.1 уровень полезного сигнала.

*Примечание: Установка вида помехового сигнала (двухуровневой частотной манипуляции и ее параметров):*

- 1) *Нажать кнопку «Mode Setup»*
- 2) *Нажать клавишу экранного меню «Custom»*
- 3) *Нажать клавишу экранного меню «Real Time I/Q Baseband»*
- 4) *Клавишей экранного меню перевести генератор в состояние «Custom-On»*
- 5) *Нажать клавишу экранного меню «Data», нажать клавишу экранного меню «PN Sequence» и затем соответствующей клавишей экранного меню выбрать «PN9»*
- 6) *Нажать клавишу экранного меню «Filter» для выбора типа предмодуляционного фильтра*
- 7) *Нажать клавишу экранного меню «Select»*
- 8) *Нажать клавишу экранного меню «More»*
- 9) *Соответствующей клавишей экранного меню выбрать тип фильтра «Rectangle» (прямоугольный)*
- 10) *Нажать кнопку «Return»*
- 11) *Нажать клавишу экранного меню «Symbol Rate»*
- 12) *Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число «1200»*
- 13) *Нажать клавишу экранного меню «sps»*
- 14) *Нажать кнопку «Return»*
- 15) *Нажать клавишу экранного меню «Modulation Type»*
- 16) *Нажать клавишу экранного меню «Select»*

- 17) Нажать клавишу экранного меню «FSK» (частотная манипуляция)
- 18) Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число «4.5»
- 19) Нажать клавишу экранного меню «kHz»
- 20) Нажать клавишу экранного меню «2-Lvl FSK»
- 21) Нажать кнопку «Return»
- 22) Нажать кнопку «Frequency»
- 23) Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число «160.85»
- 24) Нажать клавишу экранного меню «MHz»
- 25) Нажать кнопку «Amplitude»
- 26) Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число - необходимый уровень выходного сигнала
- 27) Нажать клавишу экранного меню «dBm»

3. **Изменяя уровень помехового сигнала с шагом 1 дБ на каждом цикле измерения BER добиться вероятности ошибки демодуляции ЧМн-приемника чуть меньшей чем  $1 \times 10^{-3}$ , зафиксировать полученный уровень помехового сигнала как допустимый уровень помехи.**

*Примечание: Установка выходного уровня генератора помехового сигнала*

- 1) Нажать кнопку «Amplitude»
- 2) Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число - необходимый уровень выходного сигнала
- 3) Нажать клавишу экранного меню «dBm»

4. **Повторяя п.3.3 для других частот помехового сигнала получить зависимость допустимого отношения сигнал/помеха ( $q = P_s - P_i$ ) дБ.**

*Примечание: Установка частоты помехового сигнала:*

- 1) Нажать кнопку «Frequency»
- 2) Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести номинал частоты генерируемого сигнала
- 3) Нажать клавишу экранного меню «MHz»

3. **Измерение характеристик восприимчивости цифрового канала связи с двухуровневой частотной манипуляцией при воздействии широкополосной помехи.**

1. **Установить уровень полезного сигнала на 10 дБ выше уровня чувствительности ограниченной шумом.**
2. **Установить следующие параметры генерируемой помехи**
  - Вид сигнала – сигнал с бинарной фазовой манипуляцией;
  - Частота настройки – 160,85 МГц;

- Скорость манипуляции – 1200 кбит/с
- Модулирующие данные – PN9
- Уровень выходного сигнала – установленный в п.4.1 уровень полезного сигнала.

*Примечание: Установка вида помехового сигнала (Бинарной фазовой манипуляции и ее параметров):*

- 28) Нажать кнопку «Mode Setup»
- 29) Нажать клавишу экранного меню «Custom»
- 30) Нажать клавишу экранного меню «Real Time I/Q Baseband»
- 31) Клавишей экранного меню перевести генератор в состояние «Custom-On»
- 32) Нажать клавишу экранного меню «Data», нажать клавишу экранного меню «PN Sequence» и затем соответствующей клавишей экранного меню выбрать «PN9»
- 33) Нажать клавишу экранного меню «Filter» для выбора типа предмодуляционного фильтра
- 34) Нажать клавишу экранного меню «Select»
- 35) Нажать клавишу экранного меню «More»
- 36) Соответствующей клавишей экранного меню выбрать тип фильтра «Rectangle» (прямоугольный)
- 37) Нажать кнопку «Return»
- 38) Нажать клавишу экранного меню «Symbol Rate»
- 39) Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число «12»
- 40) Нажать клавишу экранного меню «ksp»
- 41) Нажать кнопку «Return»
- 42) Нажать клавишу экранного меню «Modulation Type»
- 43) Нажать клавишу экранного меню «Select»
- 44) Нажать клавишу экранного меню «PSK» (фазовая манипуляция)
- 45) Нажать клавишу экранного меню «BPSK» (бинарная фазовая манипуляция)
- 46) Нажать кнопку «Return»
- 47) Нажать кнопку «Frequency»
- 48) Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число «160.85»
- 49) Нажать клавишу экранного меню «MHz»
- 50) Нажать кнопку «Amplitude»
- 51) Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число - необходимый уровень выходного сигнала
- 52) Нажать клавишу экранного меню «dBm»

**3. Изменяя уровень помехового сигнала с шагом 1 дБ на каждом цикле измерения BER добиться вероятности ошибки демодуляции**



**ЧМн-приемника чуть меньшей чем  $1 \times 10^{-3}$ , зафиксировать полученный уровень помехового сигнала как допустимый уровень помехи.**

*Примечание: Установка выходного уровня генератора помехового сигнала*

- 4) *Нажать кнопку «Amplitude»*
- 5) *Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести число - необходимый уровень выходного сигнала*
- 6) *Нажать клавишу экранного меню «dBm»*

**4. Повторяя п.4.3 для других частот помехового сигнала получить зависимость допустимого отношения сигнал/помеха ( $q = P_s - P_i$ ) дБ.**

*Примечание: Установка частоты помехового сигнала:*

- 4) *Нажать кнопку «Frequency»*
- 5) *Используя кнопки цифровой клавиатуры ввести номинал частоты генерируемого сигнала*
- 6) *Нажать клавишу экранного меню «MHz»*