

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Владимирский государственный университет

Кафедра вычислительной техники

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
«УСТРОЙСТВА ПРИЕМА И ОБРАБОТКИ  
РАДИОСИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ  
ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ»**

Составители:  
А.С. МЕРКУТОВ  
А.Н. ЦИСЛАВ

Владимир 2010

УДК 621.39  
ББК 31.811  
М54

Рецензент  
Кандидат технических наук, доцент  
Владимирского государственного университета  
*С.В. Федоров*

Печатается по решению редакционного совета  
Владимирского государственного университета

**Методические** указания к лабораторным работам по дисциплине «Устройства приема и обработки радиосигналов в системах подвижной радиосвязи» / Владим. гос. ун-т ; сост.: А.С. Меркутов, А.Н. Цислав. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2010. – 31 с.

Содержат описание трех лабораторных работ, которые ориентированы на теоретическое и практическое изучение следующих разделов дисциплины «Устройства приема и обработки радиосигналов»: «Структурные схемы радиоприемных устройств», «Чувствительность и коэффициент шума», «Многосигнальная избирательность и методы ее оценки». Лабораторные работы построены на исследовании микросхемы интегрального приемника ADF7020 с использованием программно-аппаратных средств его управления и современной измерительной техники.

Предназначены для студентов 4-го курса специальности 210402 «Средства связи с подвижными объектами» дневной формы обучения.

Табл. 3. Ил. 15. Библиогр.: 5 назв.

УДК 621.39  
ББК 31.811

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время наблюдается устойчивая тенденция развития однокристалльных приемопередающих устройств, изготавливаемых по «chip-set» технологии. Это позволяет значительно снизить габаритные размеры и энергопотребление изготавливаемых на их основе устройств для систем связи с подвижными объектами. Кроме того, в данных микросхемах в последнее время все чаще реализуются принципы программно-определяемого радио, которые предполагают гибкую реконфигурацию приемопередатчика в процессе работы.

В данных методических указаниях рассмотрены способы оценки определяющих характеристик приемного тракта микросхемы приемопередатчика AD7020 фирмы Analog Devices с использованием современной измерительной техники, а также принципы ее управления с помощью специализированной оценочной платы и программного обеспечения.

### *Лабораторная работа № 1*

#### **Изучение принципов работы приемопередатчика ADF7020**

##### ***Цель работы***

Изучение структурной схемы и принципов функционирования микросхемы приемопередатчика ADF7020 в режиме приема. Освоение интерфейса управления с использованием оценочной платы фирмы Analog Devices.

##### ***Задание***

Ознакомиться с принципами работы приемопередатчика ADF7020 и его основными характеристиками.

По заданию преподавателя подготовить краткое описание работы одного из функциональных блоков приемной части (преселектор, смеситель, тракт промежуточной частоты, блок демодуляции, блоки ав-

томатической регулировки усиления и автоподстройки частоты и др.) на основании технического описания микросхемы, представленного фирмой Analog Devices.

Внимательно изучить меню программы управления приемопередатчиком.

Изучить назначение основных регистров управления приемопередатчиком.

Подключить оценочную плату с приемопередатчиком к персональному компьютеру с использованием USB-порта. Запустить программу управления. Выполнить следующие установки (конкретные значения параметров задаются преподавателем индивидуально) с использованием меню программы:

- частота приема;
- ширина полосы пропускания фильтра промежуточной частоты;
- тип модуляции;
- скорость цифрового потока;
- режим включения автоподстройки частоты;
- режим включения автоматической регулировки усиления;
- режим контроля уровня принимаемого сигнала.

В процессе задания параметров наблюдать изменение состояния регистров управления микросхемой. Выполнить проверку корректности заполнения соответствующих полей регистров.

### ***Краткое описание микросхемы приемопередатчика ADF7020***

Структурная схема приемопередатчика приведена на рис. 1.

#### *Общее описание*

Микросхема ADF7020 представляет собой интегральный приемопередатчик с малым потреблением, который поддерживает работу с различными типами модуляции (FSK/GFSK/ASK/OOK/GOOK) и предназначен для использования в открытых диапазонах стандарта ISM (Scientific and Medical band) с частотами 433, 868 и 915 МГц. Приемопередатчик полностью поддерживает европейский стандарт ETSI-300-220. В состав микросхемы входит генератор, управляемый напряжением (ГУН), и малошумящий синтезатор с переменнo-дробным коэф-

фициентом деления частоты (fractional-N PLL), позволяющий обеспечить высокую точность установки частоты ГУН при минимальном уровне фазовых шумов. Выходная мощность передатчика программируется с шагом 0,3 дБм в диапазоне от -16 до +13 дБм. Частота приема/передачи, полоса каналов, а также вид модуляции и другие параметры программируются по 3-проводному интерфейсу (SPI). Микросхема функционирует при изменении питающего напряжения от 2,3 до 3,6 В и может быть программно выключена.

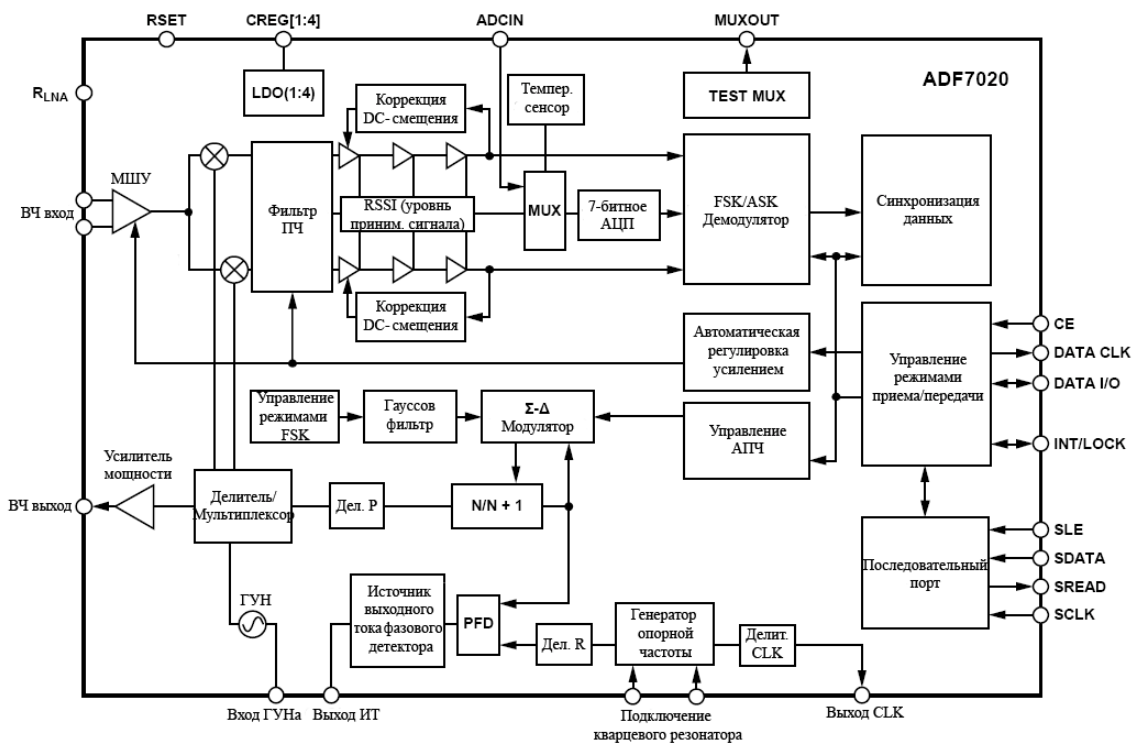


Рис. 1. Структурная схема приемопередатчика

В приемной части реализована структурная схема с низкой промежуточной частотой (ПЧ), равной 200 кГц, что позволило минимизировать энергопотребление и количество внешних элементов. В микросхеме ADF7020 используется много программируемых параметров, таких как коэффициент усиления входного малошумящего усилителя (МШУ) и смесителя, полоса ПЧ, коэффициент усиления в тракте ПЧ и т.д. В приемнике также имеется блок автоматической подстройки частоты (АПЧ), позволяющий расширить полосу захвата для системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Встроенный блок аналого-цифрового преобразователя (АЦП) позволяет считы-

вать показания встроенного датчика температуры, внешних аналоговых входов, напряжение источника питания, сигнал индикации уровня входной мощности (RSSI). Датчик температуры имеет погрешность не более  $\pm 10$  °С в полном рабочем диапазоне температур ( $-40 \dots +85$ ) °С. Эта погрешность может быть уменьшена при выполнении однократной калибровки при комнатной температуре с сохранением ее результатов в памяти микросхемы.

*Краткий перечень основных характеристик*

В табл. 1 приведен перечень основных технических характеристик микросхемы.

*Таблица 1*

Параметр	Минимальное значение	Типовое значение	Максимальное значение	Единица измерения	Условия
Параметры в режиме приема					
Частотный диапазон	862	–	956	МГц	–
Частотный диапазон	431	–	478	МГц	При включенном делителе частоты на 2
Чувствительность при скорости цифрового потока 1 кБод	–	–119	–	дБм	Частота девиации 5 кГц (FSK-модуляция)
Чувствительность при скорости 9,6 кБод	–	–112	–	дБм	Частота девиации 10 кГц (FSK-модуляция)
Чувствительность при скорости 200 кБод	–	–100	–	дБм	Частота девиации 50 кГц (FSK-модуляция)
Избирательность по соседнему каналу	–	27	–	дБ	При отстройке на одну полосу ПЧ
Избирательность по соседнему каналу	–	50	–	дБ	При отстройке на две полосы ПЧ
Избирательность по зеркальному каналу	–	30	–	дБ	–
Блокировка	–	60	–	дБ	При отстройке $\pm 1$ МГц
Блокировка	–	72	–	дБ	При отстройке $\pm 10$ МГц
Максимальная входная мощность	–	+12	–	дБм	При FSK-модуляции
Входное сопротивление МШУ	–	24 – j60	–	Ом	При однофазном включении на частоте 915 МГц

Продолжение табл. 1

Параметр	Минимальное значение	Типовое значение	Максимальное значение	Единица измерения	Условия
Входное сопротивление МШУ	–	71 – j128	–	Ом	При однофазном включении на частоте 433 МГц
Параметры передачи					
Скорость цифрового потока (FSK/GFSK-модуляция)	0,15	–	200	кБод	–
Скорость цифрового потока (OOK/ASK-модуляция)	0,15	–	64	кБод	–
Скорость цифрового потока (OOK/ASK-модуляция)	0,3	–	100	кБод	При использовании кода Манчестера
Мощность передатчика	–20	–	+13	дБм	–
Программируемый шаг выходной мощности	–	0,312	–	дБм	В диапазоне изменения от –20 до +13 дБм
Параметры блока АПЧ					
Диапазон	–	±50	–	кГц	Полоса ПЧ 200 кГц
Точность установки	–	1	–	кГц	–
Параметры блока RSSI					
Диапазон чувствительности	–100	–	-36	дБм	–
Линейность	–	±2	–	дБ	–
Абсолютная точность	–	±3	–	дБ	–
Параметры блока ФАПЧ					
Фазовые шумы (в полосе)	–	–89	–	дБн/Гц	–
Фазовые шумы (вне полосы)	–	–110	–	дБн/Гц	Отстройка 1 МГц
Вход по сигналу опорной частоты					
Диапазон частот внешнего кварцевого резонатора	3,625		24	МГц	–
Входная емкость	–	33	–	пФ	–
Входной уровень	–	КМО П	–	–	–
Питание и энергопотребление					
Напряжение питания	2,3	–	3,6	В	–

Окончание табл. 1

Параметр	Минимальное значение	Типовое значение	Максимальное значение	Единица измерения	Условия
Ток потребления в режиме передачи	–	14,8	–	мА	Уровень выходной мощности –20 дБм
Ток потребления в режиме передачи	–	28,5	–	мА	Уровень выходной мощности +10 дБм
Ток потребления в режиме приема	–	21	–	мА	Режим высокой чувствительности
Ток потребления в спящем режиме	0,1	–	1	мкА	–
Температурный диапазон	–40	–	+85	°С	–

Приемная часть микросхемы представляет собой достаточно сложное устройство, многие параметры которого задаются программно. В состав устройства включены следующие функциональные блоки:

- высокочастотный (ВЧ) тракт;
- тракт ПЧ;
- блок автоматической регулировки усиления (АРУ);
- блок автоматической подстройки частоты (АПЧ);
- демодулятор;
- детектор синхропоследовательности.

#### *ВЧ-тракт*

В интегральной схеме реализован встроенный малошумящий приемник с небольшим числом внешних элементов, что в значительной мере устраняет проблемы наводок от силовых цепей. Состав и назначение функциональных устройств ВЧ-тракта приведены в табл. 2.

Таблица 2

Название функционального блока	Назначение и комментарии
Входной ключ	Обеспечивает коммутацию на землю высокочастотного входа МШУ при установке режима передачи для минимизации паразитных наводок



Название функционального блока	Назначение и комментарии
Малозумящий усилитель	В схеме МШУ реализована возможность использования дифференциального входа, что обеспечивает устойчивость МШУ к внутренним и внешним помехам
Смеситель	Смеситель представляет собой 2-канальный квадратурный преобразователь частоты, переносящий ВЧ-сигнал на низкую ПЧ, равную 200 кГц. Избирательность по зеркальному каналу обеспечивается балансной схемой Гильберта
Гетеродин	Частота установки гетеродина в режиме приема должна быть меньше на 200 кГц центральной частоты канала приема. В микросхеме частота генерации определяется внутренней резонансной системой, реализованной на LC-структуре. Автогенератор работает на частотах 1724 – 1912 МГц. Для функционирования в диапазоне 833 – 920 МГц частота делится на 2, а для диапазона 433 – 460 МГц – на 4. Это позволяет минимизировать уровни паразитных излучений, наводимых в антенном входе.

### *Тракт ПЧ*

Основное усиление сигнала и фильтрация внеполосных помех осуществляется в активном фильтре ПЧ. В нем реализована амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) фильтра Баттерворта 4-го порядка с центральной частотой 200 кГц. Ширина полосы пропускания может варьироваться при конфигурировании микросхемы и принимать одно из следующих значений: 100 кГц, 150 кГц, 200 кГц. На рис. 2 показаны АЧХ фильтра для разных полос, приведенные в техническом описании микросхемы.

### *Блок АРУ*

Тракт АРУ и оценки RSSI (рис. 3) состоит из логарифмического усилителя-детектора и фильтра нижних частот (ФНЧ). Логарифмический усилитель имеет линейность  $\pm 3$  дБ.

Данный тракт используется также в качестве ограничителя для преобразования сигнала в цифровые уровни для FSK-демодулятора.

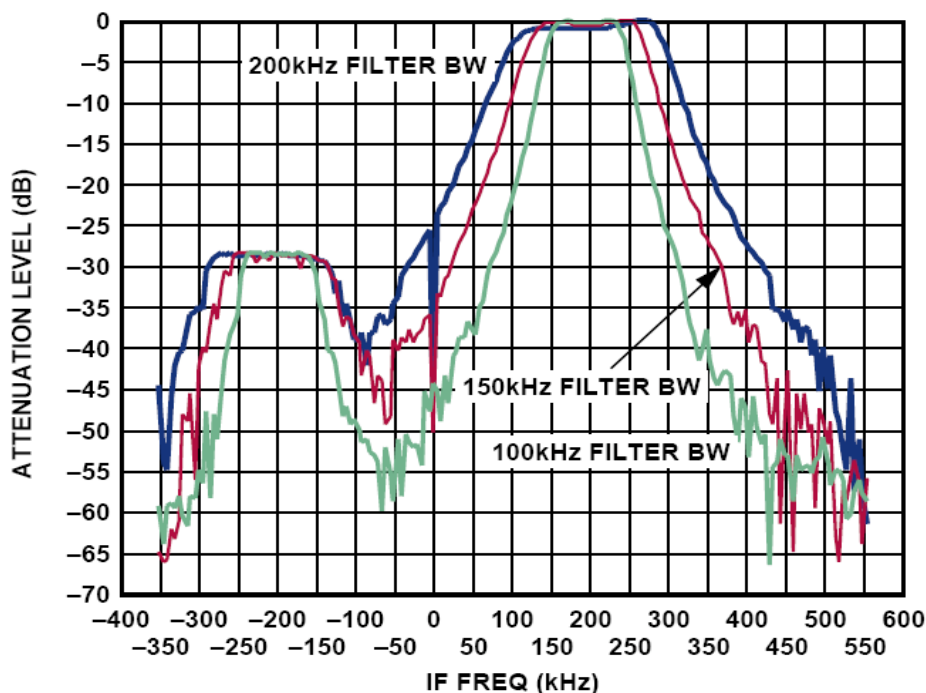


Рис. 2. АЧХ фильтра промежуточной частоты

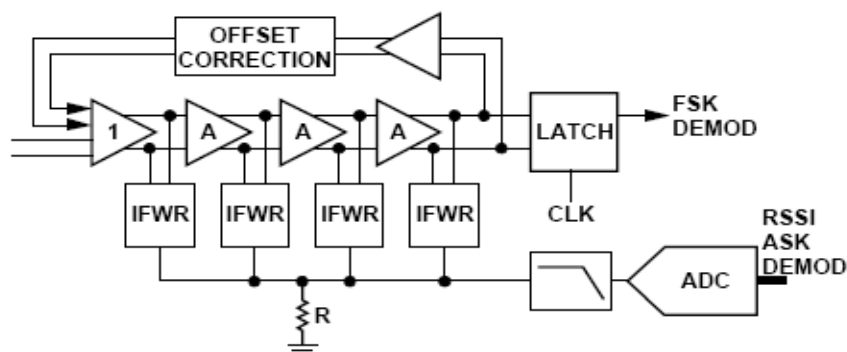


Рис. 3. Тракт АРУ и оценки RSSI

Канал оценки RSSI используется для демодуляции сигналов типа ASK. В режиме ASK выполняется дополнительная цифровая фильтрация значения RSSI. Коррекция смещения обеспечивается применением интегратора на коммутируемых емкостях в цепи обратной связи логарифмического усилителя. Напряжение с выхода канала RSSI преобразуется в цифровой код с помощью параллельного АЦП (80 уровней, 7 разрядов). Это значение может быть считано и использовано в цифровом тракте АРУ. Уровень RSSI может быть преобразован в значения входной мощности, измеряемой в децибелмилливаттах, с использованием переменных регистров управления микросхемой по формуле

$$P_{вх} [\text{дБм}] = -115 \text{ дБм} + 0,5 (\text{Readback\_Code} + \text{Gain\_Mode\_Correction}),$$

где переменная *Readback\_Code* извлекается из регистра считывания RSSI, а переменная *Gain\_Mode\_Correction* служит поправкой на суммарный коэффициент усиления МШУ и фильтра ПЧ (табл. 3) и определяется на основании содержимого полей *LG[2,1]* и *FG[2,1]* из регистра считывания.

*Таблица 3*

Параметры полей, определяющих коэффициент усиления МШУ LNA Gain (LG[2,1])	Параметры полей, определяющих коэффициент усиления активных фильтров ПЧ Filter Gain (FG[2,1])	Ослабление коэффициента усиления Gain Mode Correction, дБ
H (1,1)	H (1,0)	0
M (1,0)	H (1,0)	24
M (1,0)	M (0,1)	45
M (1,0)	L (0,0)	61
L (0,1)	L (0,0)	85
EL (0,0)	L (0,0)	103

Для получения более точных значений необходимо ввести поправку в коэффициент усиления, учитывающую потери во входных согласующих цепях, которые составляют около 2 дБ.

#### *Блок АПЧ*

В приемной части микросхемы ADF7020 имеется контур АПЧ для устранения ошибки, возникающей при рассогласовании частот задающих генераторов передатчика и приемника. В контур включены последовательно частотный дискриминатор, фильтр и детектор огибающей. Выходной сигнал дискриминатора фильтруется и усредняется для подавления частот модуляции. В режиме FSK выходной сигнал детектора огибающей выдает оценку среднего значения ПЧ.

Есть два варианта АПЧ – внешняя и внутренняя (только в режиме FSK).

## Демодулятор

Квадратурные выходные сигналы ПЧ-фильтров после ограничения по уровню поступают на два цифровых частотных коррелятора (рис. 4), выполняющих полосовую фильтрацию двух тональных частот FSK-сигнала:  $(F_{пч} + F_{дев})$  и  $(F_{пч} - F_{дев})$ , где  $F_{пч}$  (IF) – промежуточная частота,  $F_{дев}$  ( $F_{DEV}$ ) – частота девиации.

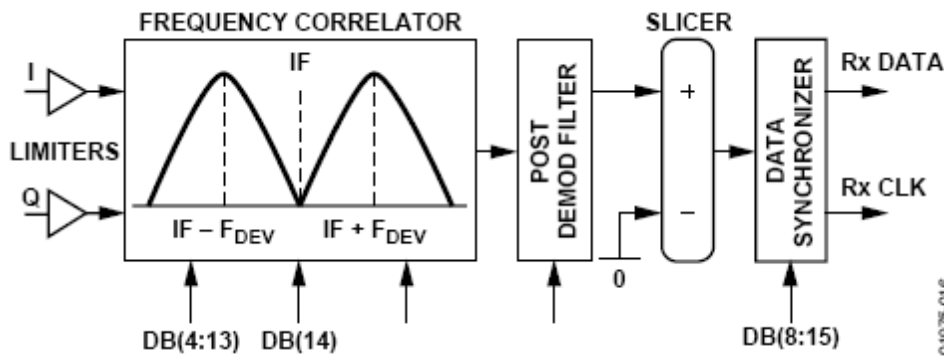


Рис. 4. Тракт демодуляции сигнала

Данные восстанавливаются путем сравнения выходных уровней двух корреляторов. Характеристики этого частотного дискриминатора аналогичны детектору с согласованным фильтром на выходе, который, как известно, обеспечивает оптимальное детектирование в присутствии аддитивного гауссова шума.

### Детектор синхропоследовательности

В микросхеме в режиме приема обеспечивается автоматическое обнаружение предварительно заданной в передатчике синхропоследовательности (СП), состоящей из 24 бит. При активации этого режима необходимо запрограммировать значение СП. При приеме СП сравнивается с принимаемым битовым потоком и при обнаружении совпадения на выводе INT/LOCK генерируется сигнал высокого уровня, соответствующий логической «1». В противном случае сохраняется нижний уровень, соответствующий логическому «0».

### Описание программы управления оценочным комплектом

Лабораторный стенд для исследования приемопередатчиков серии ADF702\* фирмы Analog Devices состоит из следующих устройств (рис. 5):

- оценочная плата ADF7020;

- плата управления Eval ADF70XXMBZ2;
- кабель Mini-USB;
- персональный компьютер (ПК).

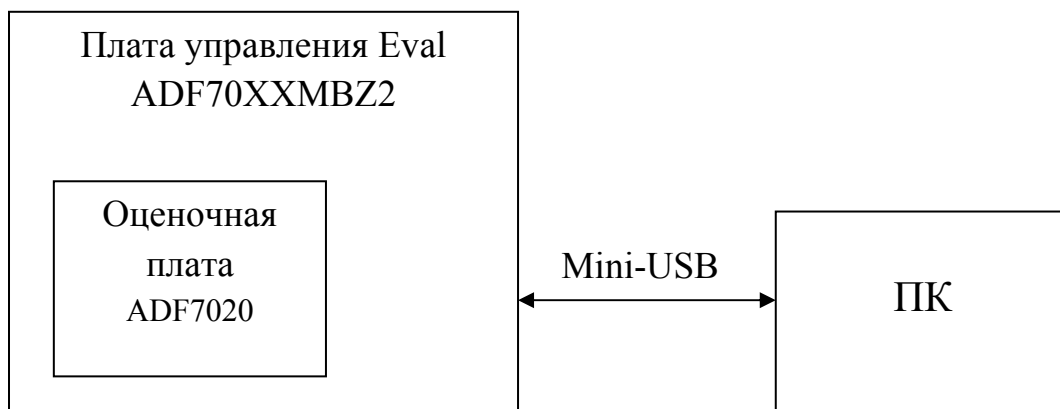


Рис. 5. Лабораторный стенд

Для корректной работы программы управления предварительно необходимо установить драйвер версии не ниже 2.0 на ПК. После запуска программы, главное окно которой показано на рис. 6, необходимо подключить плату управления через USB-порт с помощью кнопки «Connect».

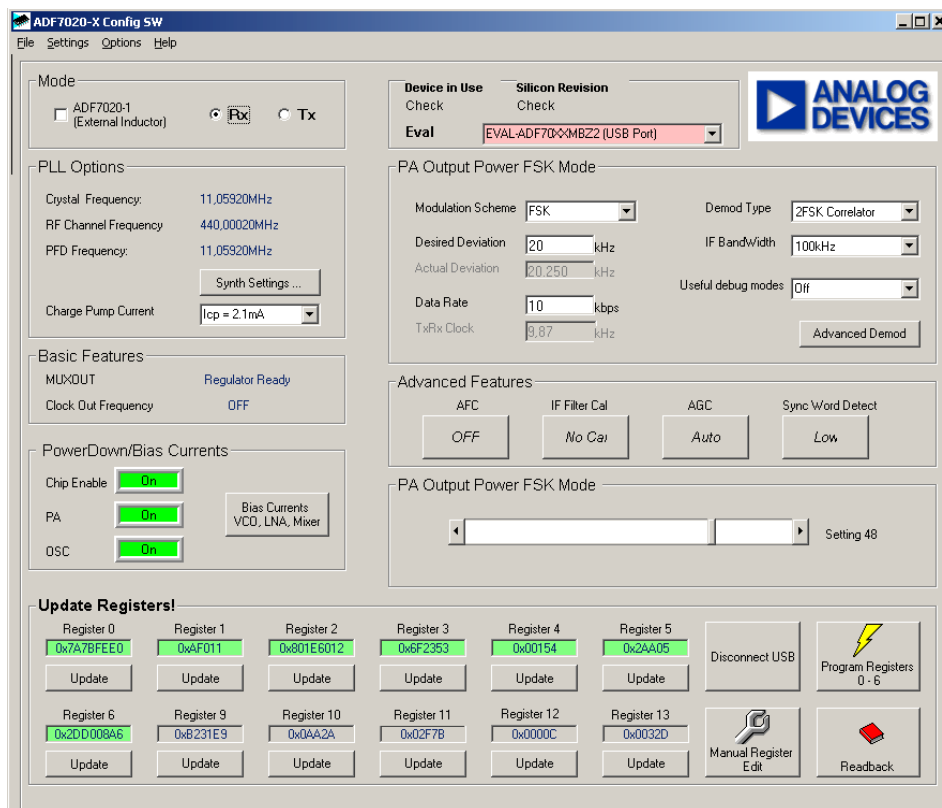


Рис. 6. Главное меню программы управления приемопередатчиком

Если подключение выполнено правильно, то кнопка изменит свой цвет на серый. В противном случае при появлении окна, показанного на рис. 7, необходимо проверить правильность подключения кабеля Mini-USB, а также положение переключателей на плате управления Eval ADF70XXMBZ2.



Рис. 7. Предупреждение об ошибке подключения

Если кабель подключен правильно, а сообщение вновь появляется, то необходимо проверить, правильно ли установлен драйвер (и версию драйвера). Для этого в программных средствах Windows нужно выполнить последовательность команд: «Свойства системы» --> «Оборудование» --> «Диспетчер устройств», а затем развернуть список «Контроллеры последовательной шины USB». В этом списке должно присутствовать устройство «ADF70xx dev kit V2 (ADF70xxDK2.spt)» (рис. 8). Если это устройство отсутствует при правильном подключении кабеля, то скорее всего драйвер был установлен неверно.

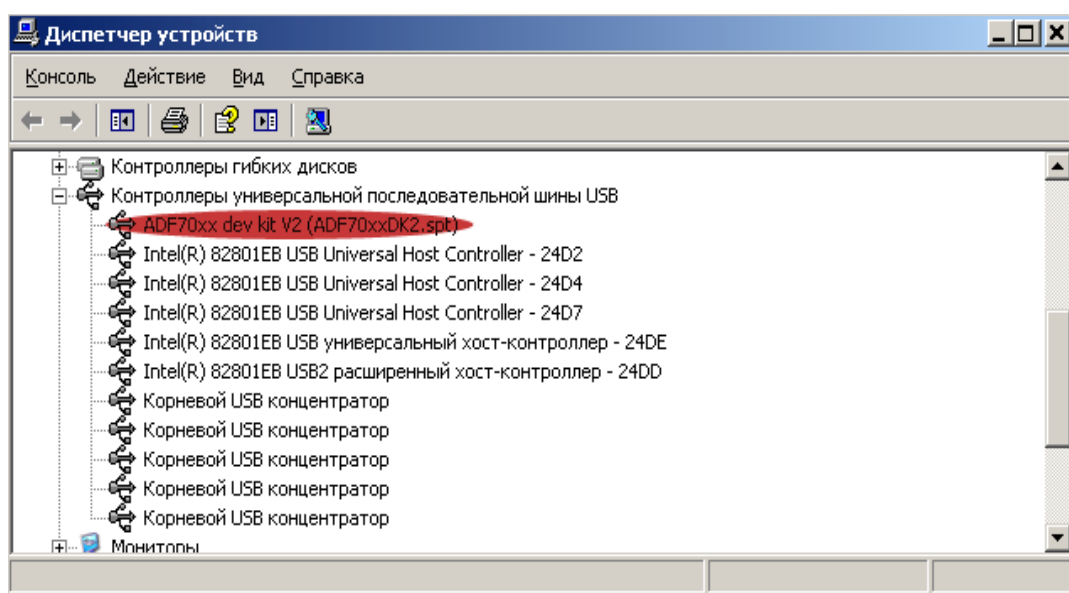


Рис. 8. Список драйверов

В главном окне программы (см. рис. 6) выделены следующие области:

**Mode** – установка режима приема/передачи;

**PLL Options** – установка параметров ГУНа;

**Basic Features** – состояние вспомогательных выводов микросхемы;

**PowerDown/Bias Current** – управление включением/выключением питания различных блоков, из которых состоит микросхема ADF7020, установка значений тока потребления токов этих блоков;

**Device in Use** – установка типа подключения платы управления Eval ADF70XXMBZ2;

**PA Output Power FSK Mode** – установка параметров модуляции/демодуляции в режимах приема/передачи соответственно;

**Advanced Features** – установка дополнительных настроек в режиме приема;

**PA Output Power FSK Mode** – установка уровня выходной мощности приемопередатчика в режиме передачи;

**Update Registers** – отображение состояний регистров и обеспечение их записи в память микросхемы.

Теперь рассмотрим назначение каждой из областей более подробно.

### *Mode*

Установка режима приема/передачи проводится следующим образом:

**Rx** – режим приема.

**Tx** – режим передачи.

Элемент управления **ADF7020-1 (External Inductor)** используется в случае применения оценочной платы ADF7020-1 с внешней устанавливаемой индуктивностью, которая определяет частотный диапазон работы ГУНа.

### *PLL Options*

Для настройки частоты работы приемника/передатчика служит окно (рис. 9), вызываемое нажатием кнопки **Synth Settings** .... Значение частоты вводится в поле **Enter RF Frequency (MHz)**. Поле **Enter the Crystal Frequency (MHz)** задает частоту опорного кварцевого генератора, которая должна быть определена как можно точнее (с точностью до десятков герц).

Поле **Enter PDF Reference Frequency (MHz)** задает частоту опорного сигнала, который получается в результате деления частоты кварцевого генератора с помощью встроенного делителя. Отношение **fcrystal/fPDF Reference** определяет значение коэффициента R. Для микросхемы ADF7020 коэффициент R может принимать целые значения от 1 до 7. Также следует отметить, что значение **fPDF Reference/32768** определяет минимальный шаг перестройки по частоте.

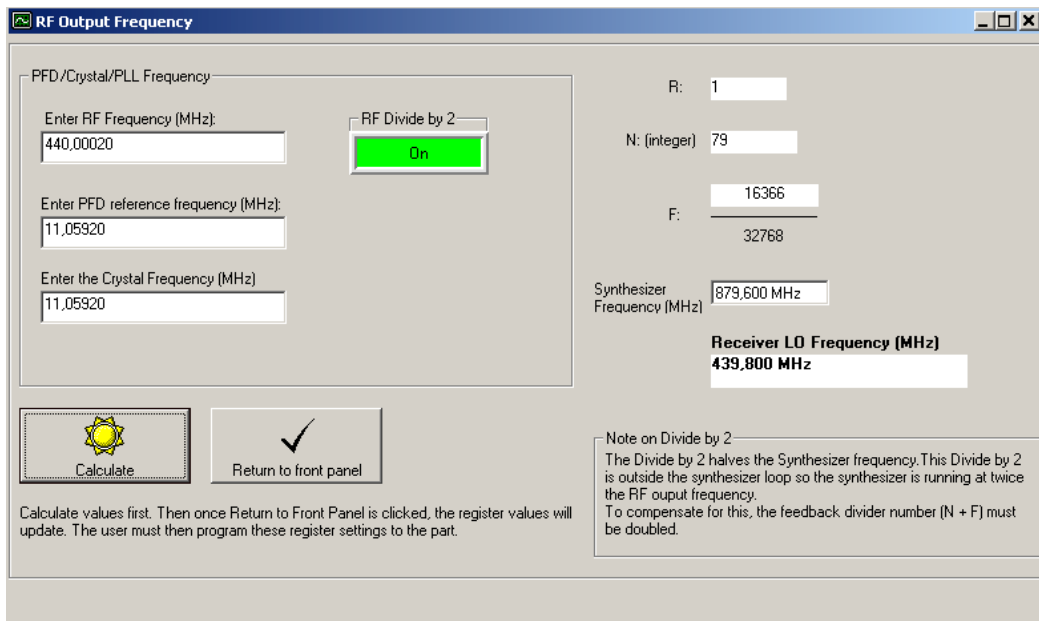


Рис. 9. Установка частоты в режиме приема и передачи

Микросхема ADF7020 работает в двух частотных диапазонах: от 431 до 478 МГц и от 862 до 956 МГц. Расчет частоты настройки производится следующим образом: Частота ГУНа формируется по формуле  $FVCO = f_{crystal}/R(\text{Integer}N + \text{Fractional}N/32768)$ . Коэффициенты **IntegerN**, **FractionalN** рассчитываются программой автоматически. Для расчета необходимо нажать кнопку **Calculate**. Результаты расчета показаны в окне справа. При установке частоты в диапазоне от 432 до 480 МГц включается встроенный делитель частоты ГУНа (значение равно 2). Это отображается в поле **RF Divide by 2**. Когда делитель включен, поле подсвечено зеленым цветом.



Для возвращения в основное окно необходимо нажать кнопку **Return to front panel**.

Поле **Charge Pump Current** обеспечивает регулировку тока фазового детектора, с помощью которого можно изменять полосу пропускания петлевого фильтра системы ФАПЧ (увеличение тока приводит к расширению полосы, а уменьшение – к сужению).

### **Basic Features**

**MuxOut** – тестовый вывод микросхемы, на котором могут генерироваться следующие сигналы (рис. 10):

Поле **Regulator Ready** – устанавливается по умолчанию;

Поле **R Divider Output** формирует последовательность периодических импульсов с частотой, равной **fPDF Reference**.

Поле **N Divider Output** формирует последовательность периодических импульсов с частотой, соответствующей значению коэффициента **IntegerN + FractionalN/32768**.

Поле **Digital Lock Detect** показывает, установился ли сигнал в петле ФАПЧ.

Поле **Analog Lock Detect** используется при подключении внешнего RC-фильтра для фиксации ФАПЧ.

Поля **Charge Pump Tri-state**, **PLL Test Modes Enable**, **Sigma Delta test mode Enable** определяют служебные сигналы микросхемы.

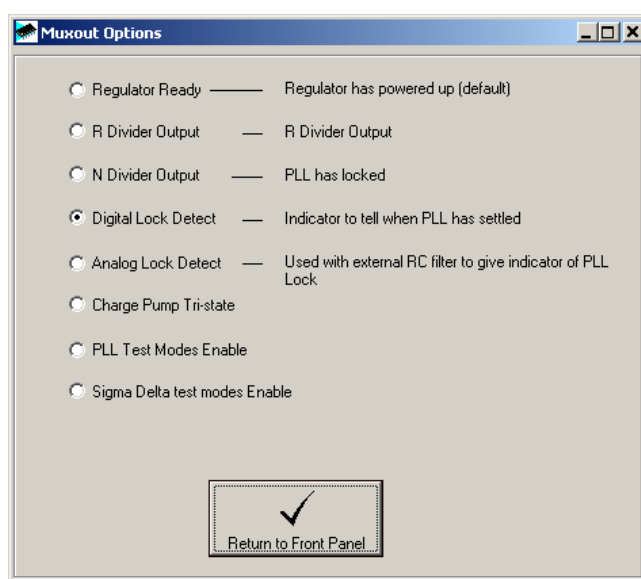


Рис. 10. Установка параметров синтезатора

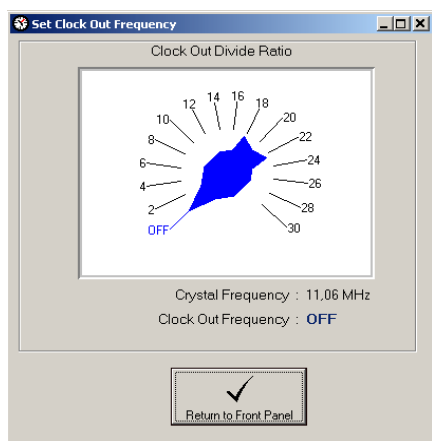


Рис. 11. Окно управления опорной частотой

Для возвращения в основное окно после выполнения установок полей необходимо нажать кнопку **Return to front panel**.

**Clock Out Frequency** – тестовый контакт, на него выводится частота кварцевого генератора, которая может быть поделена с коэффициентом деления от 1 до 30 (рис. 11).

Для возвращения в основное окно необходимо нажать кнопку **Return to front panel**.

### **PowerDown/Bias Current**

Поле **Chip Enable** отвечает за включение/выключение питания микросхемы.

Поле **PA** используется для включения/выключения питания усилителя мощности в режиме передачи.

Поле **Osc** используется для включения/выключения питания ГУНа.

При нажатии кнопки **Bias Current, VCO, LNA, Mixer** появляется окно, показанное на рис. 12.

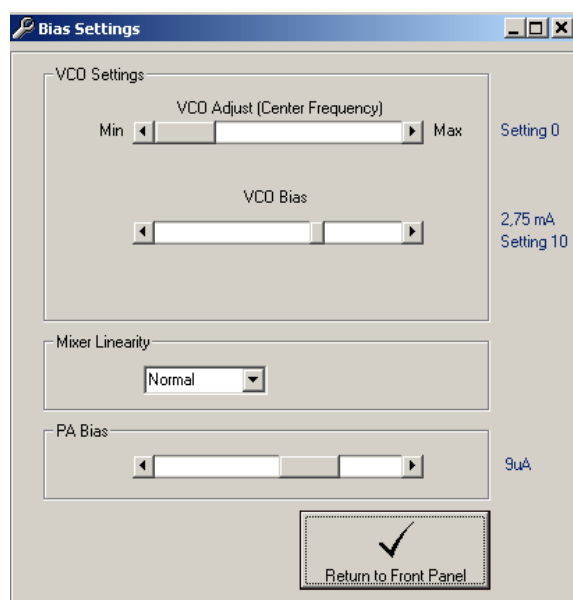


Рис. 12. Окно управления токами смещения

Поле **VCO Adjust (Center Frequency)** управляет подстройкой частоты ГУНа.

Поле **VCO Bias** обеспечивает установку тока смещения ГУНа (рекомендуемое значение – 2,75мА).

Поле **Mixer Linearity** реализует выбор режима работы смесителя: **normal** – штатный режим, **high** – режим повышенной линейности, при котором уменьшается коэффициент передачи смесителя (снижается чувствительность приемника) и уменьшается количество комбинационных продуктов, определяемых нелинейными свойствами смесителя;

Поле **PA Bias** обеспечивает установку тока смещения усилителя мощности в режиме передачи.

Для возвращения после выполненных установок в основное окно необходимо нажать кнопку **Return to front panel**.

### ***PA Output Power FSK Mode***

Поле **Modulation Scheme** устанавливает тип модуляции в режиме передачи:

**FSK** (frequency-shift keying) – частотная модуляция.

**GFSK** (Gaussian frequency-shift keying) – гауссова частотная модуляция.

**ASK** (amplitude shift keying) – амплитудная модуляция.

**OOK** (on-off keying) – амплитудная модуляция со 100-процентной глубиной модуляции.

**GOOK** (Gaussian on-off keying) – гауссова амплитудная манипуляция со 100-процентной глубиной модуляции.

**Desired Deviation** – устанавливаемая девиация частоты.

**Actual Deviation** – фактически установленная девиация частоты.

Как правило, параметры **Desired Deviation** и **Actual Deviation** незначительно различаются. Это связано с тем, что реально устанавливаемая девиация получается путем целочисленного умножения и деления частоты опорного кварцевого генератора.

**Data Rate** – требуемая скорость битового потока в режиме приема.

**RxTxClock** – фактическая скорость битового потока, получаемого с демодулятора в режиме приема.

**Demod Type** – выбор типа демодулятора в режиме приема:

**2FSK Linear** – линейный двухпозиционный FSK-демодулятор.

**2FSK Correlator** – корреляционный двухпозиционный FSK-демодулятор.

**ASK** – ASK-демодулятор.

Поле **IF Bandwidth** реализует установку ширины полосы фильтра на промежуточной частоте. Возможны значения 100, 150, 200 кГц.

Поле **Useful Debug Modes** реализует установку дополнительных отладочных режимов.

При нажатии на кнопку **Advanced Demod** открывается окно, показанное на рис. 13.

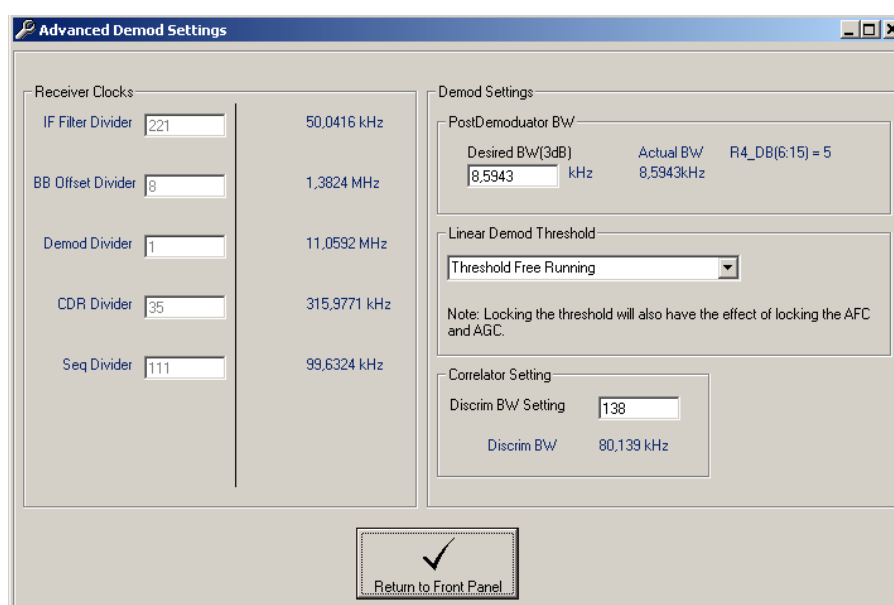


Рис. 13. Установка уточненных параметров демодулятора

Поле **Post Demodulator BW** отвечает за установку полосы пропускания ФНЧ после демодулятора. Полоса должна быть равна значению  $0,7 \cdot \text{Bit Rate}$  для оптимального приема сигнала.

Поле **Linear Demod Threshold** определяет тип срабатывания (защелкивания) на выводе **Int/Lock** микросхемы:

**Threshold Free Running** – свободный запуск;

**Lock Threshold after next Syncw'd** – защелкивание после следующей синхропоследовательности;

**Threshold after next Syncw'd for DPL Bytes** – защелкивание после следующей синхропоследовательности для битов DPL;

**Lock Threshold** – блокировка запуска.

Поле **Discrim BW Setting** определяет установку полосы пропускания полосовых фильтров корреляционного дискриминатора. Для возвращения в основное окно необходимо нажать кнопку **Return to front panel**.

### *Содержание отчета*

1. Цель работы и задание с индивидуальным вариантом.
2. Структурная схема приемопередатчика и краткое описание предложенного функционального блока.
3. Описание последовательности действий, реализующих предложенные преподавателем варианты настройки.
4. Результаты контроля заполнения полей регистров состояний и управления в зависимости от предложенного варианта параметров.

### *Контрольные вопросы*

1. Какая структурная схема приемника реализована в приемопередатчике?
2. Какие виды модуляции сигналов можно обрабатывать в приемнике?
3. В каких каскадах реализуется автоматическая регулировка усиления?
4. Назовите принципы формирования частоты гетеродина, внешние и внутренние элементы, определяющие ее установку.
5. Опишите алгоритм формирования заданной частоты приема.
6. Каково назначение опорного кварцевого генератора в приемнике?
7. Как в микросхеме реализованы принципы пакетной передачи данных (тактовая синхронизация, обработка обучающей последовательности)?
8. Опишите интерфейс обмена данными с внешним микроконтроллером.

## *Лабораторная работа № 2*

### **Определение чувствительности приемника при приеме цифровых сигналов с различными видами модуляции и исследование тракта промежуточной частоты**

#### ***Цель работы***

Изучение методики измерения чувствительности приемника цифровых сигналов с амплитудной и частотной модуляцией и характеристик тракта промежуточной частоты. Исследование АЧХ тракта ПЧ.

#### ***Задание***

1. Ознакомиться с методами оценки чувствительности в приемниках аналоговых и цифровых сигналов.

2. Ознакомиться с измерительным оборудованием и лабораторной установкой, используемой при измерении чувствительности.

3. Выполнить установку одного из вариантов параметров принимаемого сигнала (частота приема, тип модуляции, скорость цифрового потока, ширина полосы фильтра промежуточной частоты, частота девиации и тип используемого демодулятора (для частотной модуляции)). Частота настройки приемника должна быть на 200 кГц больше частоты сигнала на высокочастотном входе. Установить режим включенной автоматической подстройки частоты и регулировки усиления. Выполнить измерение чувствительности.

4. Изменяя выходную частоту генератора высокочастотных сигналов в пределах ширины полосы пропускания фильтра промежуточной частоты ( $\pm 50\%$ ), определить чувствительность в 5-частотных точках.

5. Установить исходное значение входной частоты. Уменьшить скорость цифрового потока модулирующего сигнала в четыре раза (в программе управления приемником и генераторе высокочастотных сигналов). Выполнить измерение чувствительности. Увеличить скорость цифрового потока в два раза. Выполнить измерение чувствительности.

6. Установить исходную скорость цифрового потока в генераторе и приемнике. С помощью программы управления отключить режим автоматической подстройки частоты. Выполнить измерение чувствительности в частотном диапазоне, использованном в п. 4.

7. Установить исходные значения сигналов. С помощью программы управления отключить режим автоматической регулировки усиления. Отключить режим модуляции на генераторе и установить мощность выходного сигнала минус 50 дБм. Подключить осциллограф к выходу фильтра промежуточной частоты квадратурного тракта, отмеченного на оценочной плате контрольным выводом красного цвета. Изменяя частоту генератора, определить зависимость амплитуды напряжения на выходе фильтра от частоты. Для повышения точности оценки допускается использование анализатора спектра.

### **Методика измерения чувствительности**

Схема измерения чувствительности приведена на рис. 14.

Измерение чувствительности проводится в следующем порядке:

А) Установить на генераторе Г1 следующие параметры выходного сигнала в режиме “ЧМ”:

- несущая частота –  $F_c$  ;
- девиация частоты –  $F_d$  ;
- частота модуляции (соответствует 0,5 скорости цифрового потока) –  $F_m$ ;
- мощность выходного сигнала генератора – минус 60 дБм.

Б) С помощью органов управления осциллографа О1 получить четкое изображение

развертки демодулированного сигнала на выходе RXTXDATAOUT оценочной платы ОП (форма меандра). Наблюдаемая развертка должна содержать не менее 25 периодов меандра.

В) Уменьшать мощность выходного сигнала генератора Г1 до тех пор, пока не будут наблюдаться искажения цифрового сигнала на выходе приемника (отличие от меандра и т.п.). Зафиксировать развертку реализации сигнала на осциллографе. Определить приближенно количество ошибочных символов. Повторить измерения для 5 – 10 реализаций информационного сигнала. Определить среднее значение от-

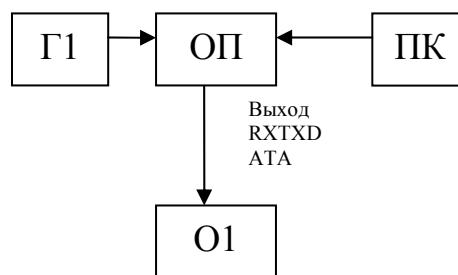


Рис. 14. Схема измерения чувствительности: Г1 – генератор высокочастотных сигналов MXG N5182A; О1 – осциллограф MSO6032A; ПК – персональный компьютер с программой управления оценочной платой; ОП – оценочная плата ADF7020

носительной битовой ошибки. Зафиксировать выходную мощность генератора Рч, которая будет определять приближенное значение чувствительности приемника для полученного значения битовой ошибки.

### ***Содержание отчета***

1. Цель работы и задание с индивидуальным вариантом.
2. Структурная схема измерения чувствительности.
3. Результаты измерения чувствительности при заданных параметрах принимаемого сигнала.
4. График зависимости чувствительности приемника от частоты входного сигнала.
5. Результаты измерения чувствительности в зависимости от скорости цифрового потока.
6. Результаты измерения чувствительности в частотном диапазоне при отключенном режиме автоматической подстройки частоты.
7. Результаты контроля заполнения полей регистров состояний и управления в зависимости от предложенного варианта параметров.
8. Амплитудно-частотная характеристика тракта промежуточной частоты.
9. Выводы.

### ***Контрольные вопросы***

1. Какой тракт приемника оказывает определяющее влияние на чувствительность приемника и почему?
2. Как определяется коэффициент шума приемника?
3. Дайте определение чувствительности приемника.
4. Какие виды шумов Вы знаете?
5. Что такое реальная чувствительность приемника, и чем она определяется?
6. Опишите методику измерения чувствительности.
7. Опишите методику расчета коэффициента шума с помощью САПР ADS.



### *Лабораторная работа № 3*

## **Измерение избирательности приемника по соседним и побочным каналам приема**

### ***Цель работы***

Изучение методики измерения избирательности приемника цифровых сигналов.

### ***Задание***

Ознакомиться с методами оценки избирательности в приемниках цифровых сигналов.

Ознакомиться с измерительным оборудованием и лабораторной установкой, используемой при измерении избирательности, описанной ниже.

Выполнить приведенные ниже измерения для параметров сигнала, предложенных преподавателем (частота сигнала, полоса фильтра промежуточной частоты, частота девиации, скорость цифрового потока, канальное разнесение). С помощью программы управления на ПК выполнить указанные установки для оценочной платы. Включить режимы автоматической регулировки усиления и автоподстройки частоты.

### ***Методика измерения двухсигнальной избирательности***

**1.** Измерение избирательности радиоприемника по соседнему каналу, отстоящему от частоты настройки на величину, равную канальному разнесению, – В. Схема измерений приведена на рис. 15.

Измерение избирательности по соседнему каналу приема проводится в следующем порядке:

А) Отключить выходной сигнал с генератора Г2. Установить на генераторе Г1 следующие параметры выходного сигнала в режиме “ЧМ”:

- несущая частота –  $F_c$ ;
- девиация частоты –  $F_d$ ;
- частота модуляции (соответствует 0,5 скорости цифрового потока) –  $F_m$ ;

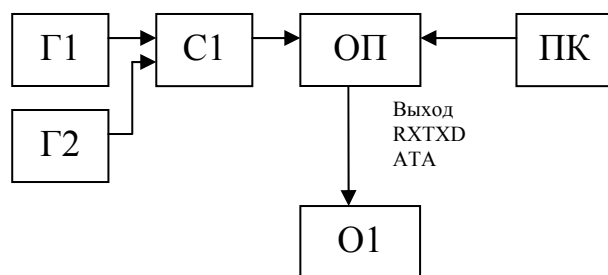


Рис. 15. Схема измерения избирательности: Г1, Г2 – генераторы высокочастотных сигналов MXG N5182A; C1 – делитель мощности ZAPD-900-5W; O1 – осциллограф MSO6032A; ПК – персональный компьютер с программой управления оценочной платой; ОП – оценочная плата ADF7020

- определить мощность выходного сигнала  $P_{ч}$ , соответствующую чувствительности, по методике предыдущей работы;

- установить мощность сигнала на выходе Г1, равную  $P1 = (P_{ч} + 3 \text{ дБ})$ , где  $P_{ч}$  – предварительно измеренное значение чувствительности.

Б) Установить на генераторе Г2 параметры выходного сигнала в режиме ЧМ:

- несущая частота –  $(F_c + B)$ ;
- выходная мощность –  $P2 = (P_{ч} + 6 \text{ дБ})$ ;
- частота модуляции –  $F_m = 400 \text{ Гц}$ ;
- частота девиации –  $F_d = 2400 \text{ Гц}$ .

В) Увеличивая выходную мощность генератора Г2, наблюдать за формой демодулированного сигнала с помощью осциллографа O1. Пользуясь методикой определения чувствительности, описанной в предыдущей лабораторной работе, определить значение выходной мощности  $P2$ , в децибелмилливаттах, при котором уровень относительной битовой ошибки будет соответствовать чувствительности приемника.

Г) Определить избирательность РПУ по соседнему каналу приема по формуле  $S_{ск} = P2 - P1$ .

Д) Повторить измерение избирательности при настройке Г2 на частоту другого соседнего канала  $(F_c - B)$ .

2. Измерение избирательности радиоприемника по побочным каналам приема.

Схема измерения приведена на рис. 15.

Значения частот побочных каналов для частоты сигнала  $F_c$ :

$F_{п1} = F_c - 0,4 \text{ МГц}$  (зеркальная частота);

$F_{п2} = F_c / 2 \text{ МГц}$  (субгармоника);

$F_{п3} = F_c / 3 \text{ МГц}$  (субгармоника);

$F_{п4} = 2 \cdot F_c$  (вторая гармоника).

Проверка избирательности по побочным каналам приема производится в следующем порядке:

А) Отключить выходной сигнал с генератора Г2. Установить на генераторе Г1 следующие параметры выходного сигнала в режиме “ЧМ”:

- несущая частота –  $F_c$  ;
- девиация частоты –  $F_d$  ;
- частота модуляции (соответствует 0,5 скорости цифрового потока) –  $F_m$ ;

- определить мощность выходного сигнала  $P_{ч}$ , соответствующую чувствительности, по методике предыдущей работы;

- установить мощность сигнала на выходе Г1  $P_1 = (P_{ч} + 3 \text{ дБ})$ .

Б) Установить на генераторе Г2 параметры выходного сигнала в режиме ЧМ:

- несущая частота –  $F_{п1}$ ;
- выходная мощность –  $P_2 = (P_{ч} + 6 \text{ дБ})$ ;
- частота модуляции –  $F_m = 400 \text{ Гц}$ ;
- частота девиации –  $F_d = 2400 \text{ Гц}$ .

В) Увеличивая выходную мощность генератора Г2, наблюдать за формой демодулированного сигнала с помощью осциллографа О1. Пользуясь методикой определения чувствительности, описанной в предыдущей лабораторной работе, определить значение выходной мощности  $P_2$ , в децибелмилливаттах, при котором уровень относительной битовой ошибки будет соответствовать чувствительности приемника.

Д) Определить избирательность РПУ по зеркальному каналу приема по формуле  $S_{зк} = P_2 - P_1$ .

Ж) Повторить измерение избирательности для остальных побочных каналов приема.

### ***Содержание отчета***

1. Цель работы и задание с индивидуальным вариантом.
2. Методика измерения избирательности.
3. Результаты измерения избирательности.
4. Выводы.

### ***Контрольные вопросы***

1. Как определяется односигнальная избирательность?
2. Методика определения двухсигнальной и интермодуляционной избирательности.
3. Какие факторы оказывают влияние на значение двухсигнальной избирательности?
4. Чем определяется динамический диапазон работы приемника?
5. Какие тракты приемника обеспечивают избирательность по соседнему, зеркальному и прямому каналам приема?
6. С какой целью применяют несколько преобразований частоты в приемнике?
7. Какие типы фильтров используются в современных радиоприемных устройствах?

## РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колосовский, Е.А. Устройства приема и обработки сигналов : учеб. пособие для вузов / Е.А. Колосовский. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 456 с. – ISBN 5-93517-264-X.

2. Головин, О.В. Радиоприемные устройства / О.В. Головин. – М. : Горячая линия – Телеком, 2002. – ISBN 5-93517-071-X.

3. Техническое описание микросхемы ADF7020. – URL : [http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/ADF7020.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADF7020.pdf) (дата обращения: 15.05.09).

4. Описание оценочной платы управления микросхемой ADF7020. – URL : <http://www.analog.com/en/prod/0%2C2877%2CEVAL%25252DADF70XX%2C00.html> (дата обращения: 15.05.09).

5. Автоматизация проектирования радиотехнических устройств и систем : метод. указания к курсовому и дипломному проектированию / Владим. гос. ун-т ; сост. А.С. Меркутов. – Владимир : Ред.-издат. комплекс Владим. гос. ун-та, 2004. – 92 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
<i>Лабораторная работа № 1. Изучение принципов работы приемопередатчика ADF7020.....</i>	<i>3</i>
<i>Лабораторная работа № 2. Определение чувствительности приемника при приеме цифровых сигналов с различными видами модуляции и исследование тракта промежуточной частоты.....</i>	<i>22</i>
<i>Лабораторная работа № 3. Измерение избирательности приемника по соседним и побочным каналам приема.....</i>	<i>25</i>
РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	29

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «УСТРОЙСТВА ПРИЕМА И ОБРАБОТКИ  
РАДИОСИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ»

Составители:

МЕРКУТОВ Александр Сергеевич  
ЦИСЛАВ Андрей Николаевич

Ответственный за выпуск – зав. кафедрой профессор В.Н. Ланцов

Подписано в печать 18.02.10.

Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 1,86. Тираж 100 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета.  
600000, Владимир, ул. Горького, 87