



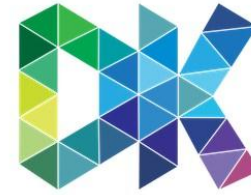
Дипломный проект

На тему: «Автономный SDR-приемник на ПЛИС»

Выполнил: Курсант Кенесов А.Б.

Руководитель: Подполковник Левина Ю.Д.

Алматы 2019



DIGITAL
KAZAKHSTAN

**Государственная программа
«Цифровой Казахстан»**



Цель программы — ускорение темпов развития экономики республики и улучшение качества жизни населения за счет использования цифровых технологий в среднесрочной перспективе, а также создание условий для перехода экономики Казахстана на принципиально новую траекторию развития, обеспечивающую создание цифровой экономики будущего в долгосрочной перспективе



- 1. История развития и актуальность SDR-технологии**
- 2. Создание автономного SDR-приемника на ПЛИС**
- 3. Заключение, краткие выводы из дипломного проекта**

Дипломный проект

История развития и актуальность SDR-ТЕХНОЛОГИИ

SDR – ключ к бесперебойной и эффективной военной связи.

Потребности военной радиосвязи в последнее время развиваются в направлении голосовой связи и цифрового обмена данными, армейцам теперь требуются коммуникации, которые используют одновременно несколько различных частот и реализует несколько различных протоколов связи. Технология SDR – значительно эволюционировала на протяжении многих лет и способна удовлетворить эти особые потребности. Также SDR (Software Defined Radio) устройства могут выступать в качестве связных ретрансляторов, предлагая безопасные многоканальные репитерные узлы, обеспечивающие очень низкую временную задержку при формировании канала радиосвязи.



Дипломный проект

Значимым объектом SDR является радиостанция AN/PRC-154 (Rifleman Radio, продукция General Dynamics), благодаря которой пехотинцы в зоне боевых действий являются пользователями мобильной одноранговой сети (MANET - Mobile Ad Hoc Network). Системы и объекты этой сети автоматически конфигурируются, внутреннее подключение позволяет сигналам ретранслировать от одного AN/PRC-154 к другому, до получения шлюза на спутник или интернет.



AN/PRC-154

Дипломный проект



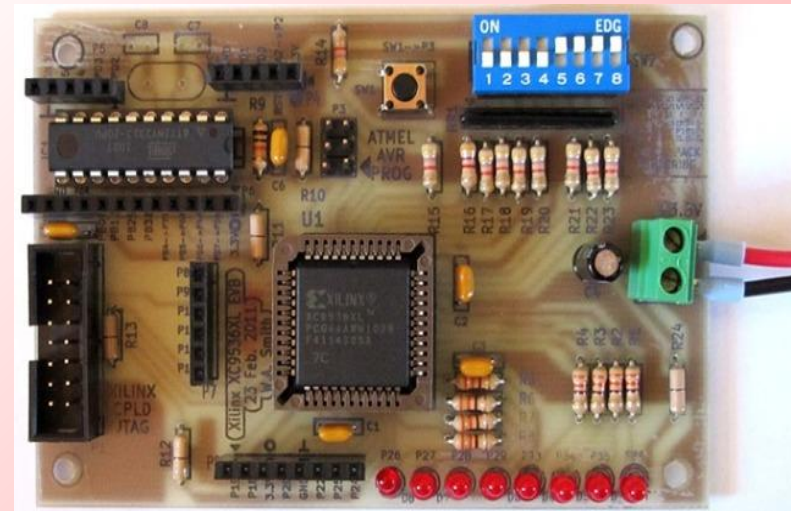
SDR это устройство радиосвязи, где функции приемника и передатчика изменяются с помощью программного обеспечения без внесения физических изменений в самом оборудовании. Эта технология была фактически разработана с идеей замена ПО, тюнеров и фильтров. В итоге SDR на основе алгоритмов может реализовывать выбор конкретных частот, фильтров и режимов, а такое устройство требует достаточно гибкой, мощной и современной аппаратной платформы. К тому же обновление ПО, обеспечивает адаптируемость в течение всего срока службы SDR радиооборудования, что делает SDR-радиостанции очень гибкими и идеально подходящими для военных целей.



«ПЛИСИНА»



Программируемая логическая интегральная схема - электронный компонент (интегральная схема), используемый для создания конфигурируемых цифровых электронных систем. В отличие от обычных цифровых микросхем, логика работы ПЛИС не определяется при изготовлении, а задаётся посредством программирования (проектирования). Для программирования используются программатор и IDE (отладочная среда), позволяющие задать желаемую структуру цифрового устройства в виде принципиальной электрической схемы или программы на специальных языках аппаратуры : Verilog, VHDL, AHDL и др.



Дипломный проект



Стоимость Радиостанции



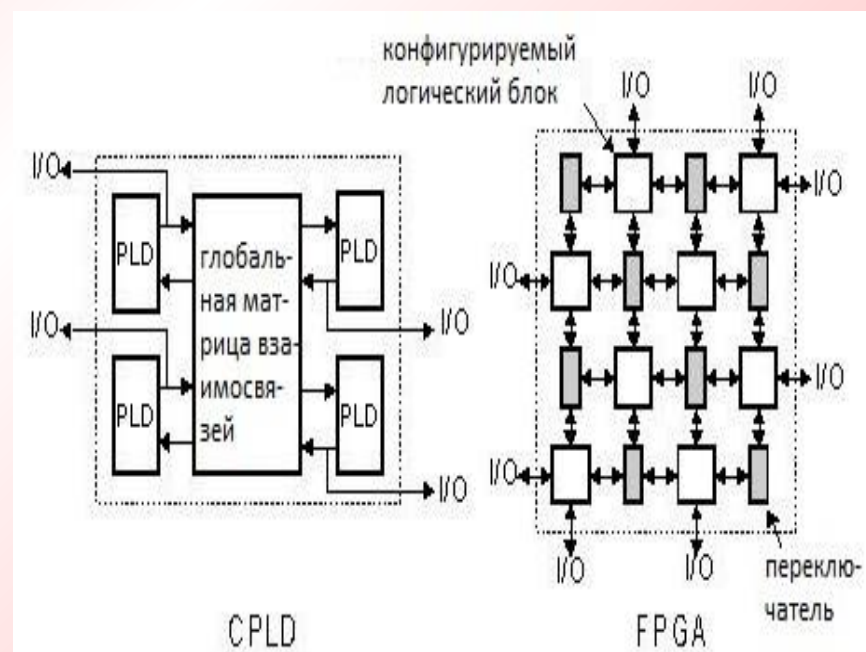
Название Радиостанции	Стоимость в долларах \$	Стоимость в долларах тг
Tadiran PRC-6020	2,152.53	817229,54
Tadiran PRC-154	1,752.74	665445,27
Tadiran PRC-154	1,457.87	553494,92
Радиостанция VRC-110H	3,548.77	1347326,02





Два основных разновидности ПЛИС

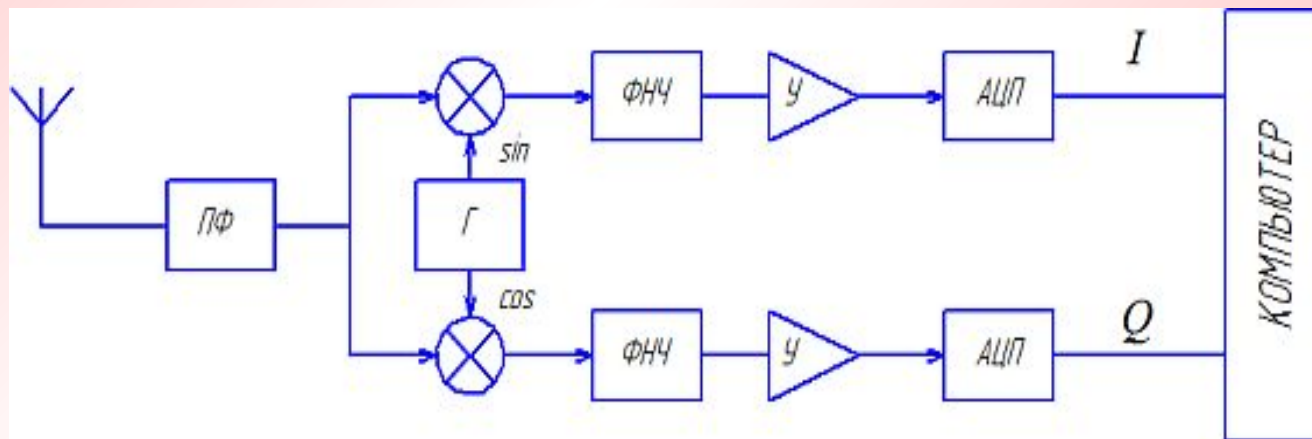
- 1. CPLD (Complex Programmable Logic Device - Программируемая Логическая Интегральная Микросхема, собственно это и есть ПЛИС в её классическом понимании).** В ней обычно есть встроенная энергонезависимая память, в которую загружается прошивка. Внутренняя структура строится на матрице макроячеек или логических блоков, а количество элементов в них лежит в пределах сотен и тысяч штук.
- 2. FPGA (Field-Programmable Gate Array - Программируемая Пользователем Вентильная Матрица, однако её часто относят к ПЛИС) - более развитые и сложные устройства по сравнению с CPLD, строятся на логических блоках с гибкой коммутацией и содержат большее число элементов (десятки или сотни тысяч штук).** Прошивка, как правило, хранится во внешней энергонезависимой памяти.



Дипломный проект

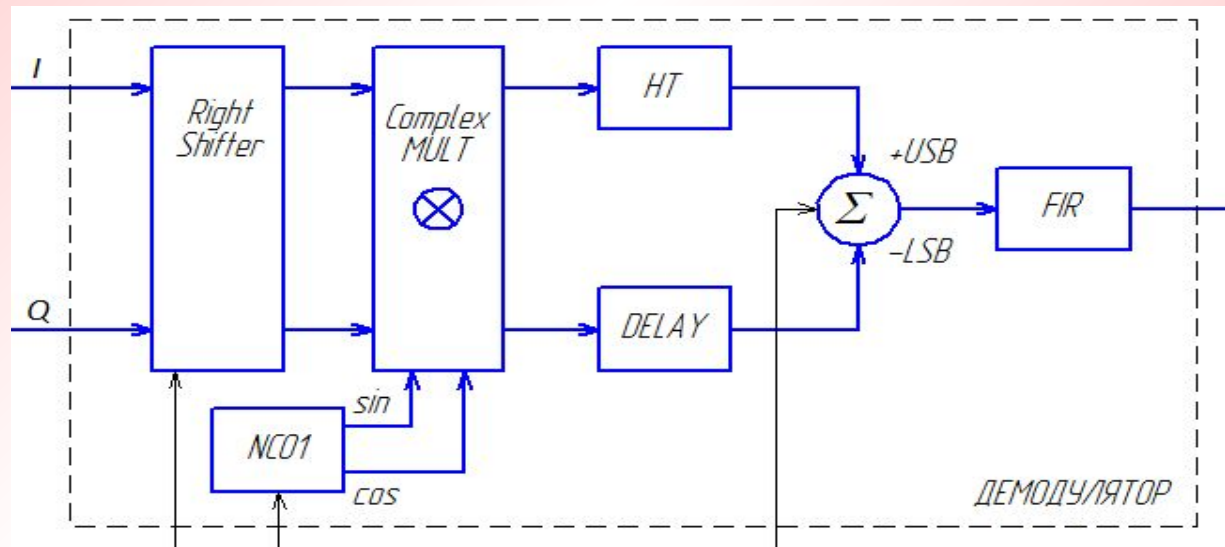
При наличии подходящего высокоскоростного АЦП и ПЛИС можно выполнять в цифровой форме даже квадратурное преобразование и децимацию получившегося сигнала. Приемники такого типа называются DDC (Digital Down Conversion). За счет того, что в таком приемнике практически нет аналоговых компонентов, можно получить очень высокий коэффициент подавления «зеркального канала». Он включает в себя внешний АЦП, и реализованные в ПЛИС умножители сигналов, цифровой генератор сигналов, CIC и FIR фильтры, а также модули для передачи полученной информации на компьютер. Приемник выдавал через Ethernet поток данных 16 бит \times 50 ksps \times 2 канала.

А теперь стоит перейти к описанию SDR приемника, способного работать автономно. Структурная схема такого приемника:



ВЫДЕЛЕНИЕ СИГНАЛА И ЕГО МОДУЛЯЦИЯ

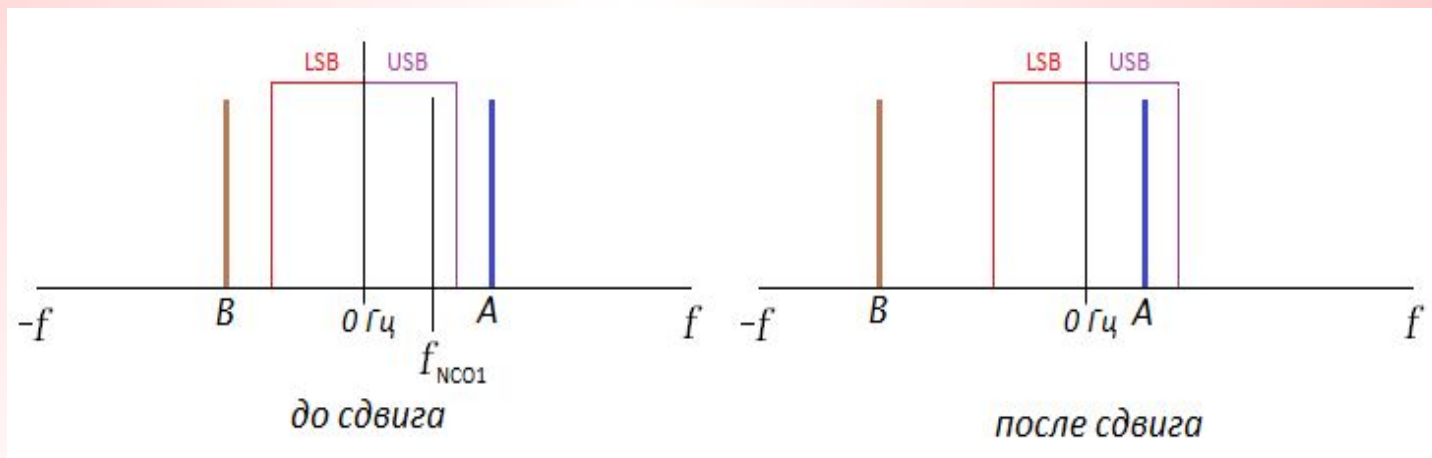
Ранее в приемнике эту операции выполнял компьютер. Теперь требовалось реализовать их на ПЛИС. Структурная схема получившегося демодулятора:



Результат переноса сигналов

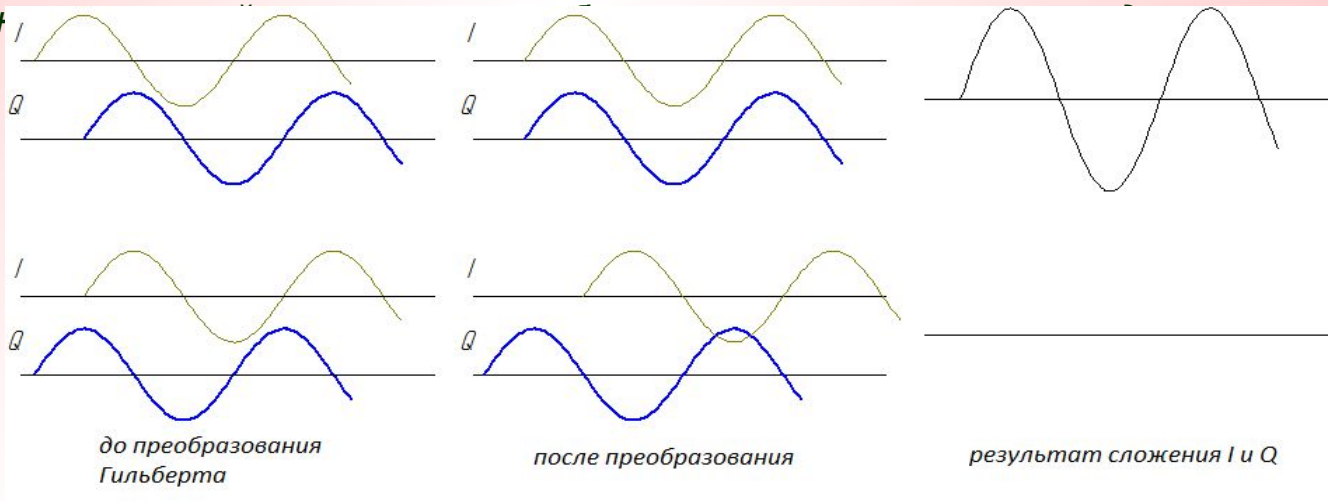
Так как имеется возможность изменять частоту принимаемого сигнала, не изменяя при этом основную частоту настройки приемника, то потребовалось добавить в блок демодулятора дополнительные генератор и комплексный умножитель. Генератор (NCO1) формирует синусоиду и косинусоиду, и может перестраиваться в диапазоне 0-25 кГц.

Для переноса нужного сигнала в область нулевых частот используется квадратурный умножитель. Важная особенность его работы — за счет того, что перемножаются комплексные сигналы, на его выходе не возникает зеркального канала. Результат переноса сигналов:



Преобразования Гильберта

Однако вышеупомянутый перенос частоты не решает проблемы зеркального канала. Фаза сигналов на выходе квадратурного смесителя зависит от их положения относительно частоты гетеродина: находящиеся выше этой частоты будут иметь разность фаз в каналах I и Q $+90$ градусов, ниже -90 градусов. Таким образом, если дополнительно сдвинуть все сигналы в канале I на $+90$ градусов, то разность фаз сигналов будет составлять уже либо 180 , либо 0 градусов. Достаточно сложить получившиеся сигналы друг с другом, и нежелательный зеркальный канал будет подавлен (сложение сигналов с разностью фаз в 180 градусов дает ноль). Если вместо сложения выполнять вычитание сигналов — то будет приниматься именно **LSB/USB**.



Дипломный проект

Для выполнения фазового сдвига в модуль демодулятора введен цифровой фазосдвигающий фильтр — преобразователь Гильберта. Он осуществляет сдвиг фаз всех частотных составляющих сигнала на 90 градусов.

Фильтр был рассчитан при помощи инструмента *FDATool*, входящего в состав *Matlab*. Фактически, фильтр Гильберта — это просто разновидность КИХ-фильтра с определенными коэффициентами. *FDATool* позволяет даже сгенерировать *VHDL*-код для получившегося фильтра. Порядок использованного фильтра — 65.

Особенность фильтра Гильберта — на частотах 0 и $F_s/2$ его коэффициент пропускания стремится к 0. В данном случае это значит, что частоты в НЧ области от 0 до ~500 Гц приниматься не будут.

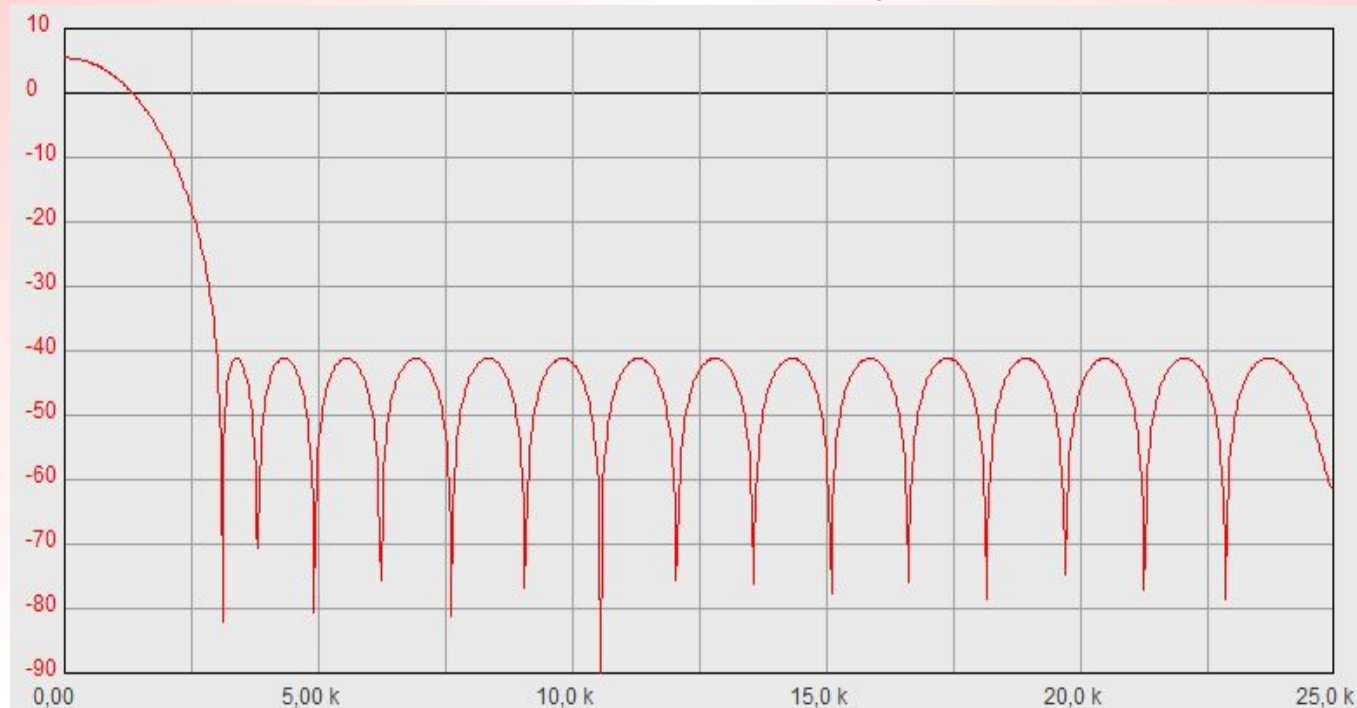
Фильтр Гильберта задерживает сигнал на $N/2$ выборки, где N -порядок фильтра. Для компенсации этого эффекта в канал Q введена линия задержки (*FIFO* буфер), задерживающий сигнал на 34 выборки.

После того, как сигналы каналов I и Q сложены, получившийся сигнал нужно отфильтровать, пропустив на выход сигналы, находящиеся в полосе 0-3 кГц. Это делается для облегчения приема *SSB* сигналов, которые обычно имеют такую полосу. Замечу, что если в эту полосу попадут несколько радиостанций, работающих телеграфом, то все они будут слышны.



АЧХ- ФИЛЬТРА

В качестве фильтра используется готовый КИХ-фильтр из Quartus. Он имеет порядок 32, коэффициенты для него, были также рассчитаны в FDATool. АЧХ получившегося фильтра:



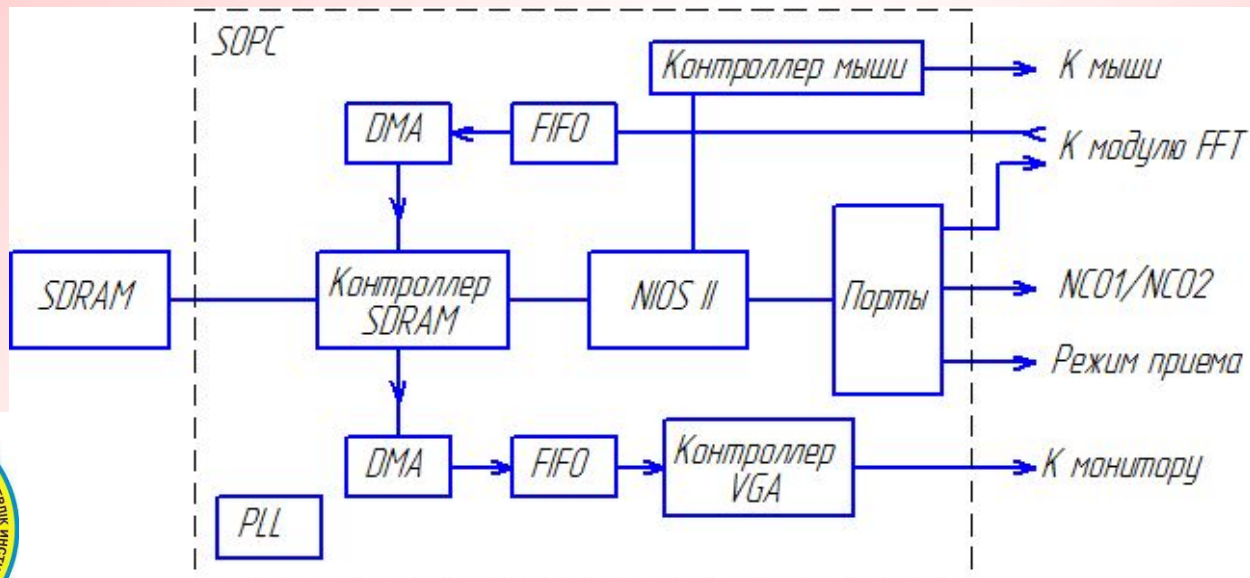
ВЫВОД ЗВУКА

Для того, чтобы вывести звуковой сигнал из ПЛИС, я использовал формирователь ШИМ. Это не самый лучший способ создания звукового сигнала, но наиболее простой. Тактовая частота формирователя ШИМ выбрана достаточно высокой — 100 МГц. С такой частотой при разрядности 12 бит частота импульсов ШИМ — 24кГц.

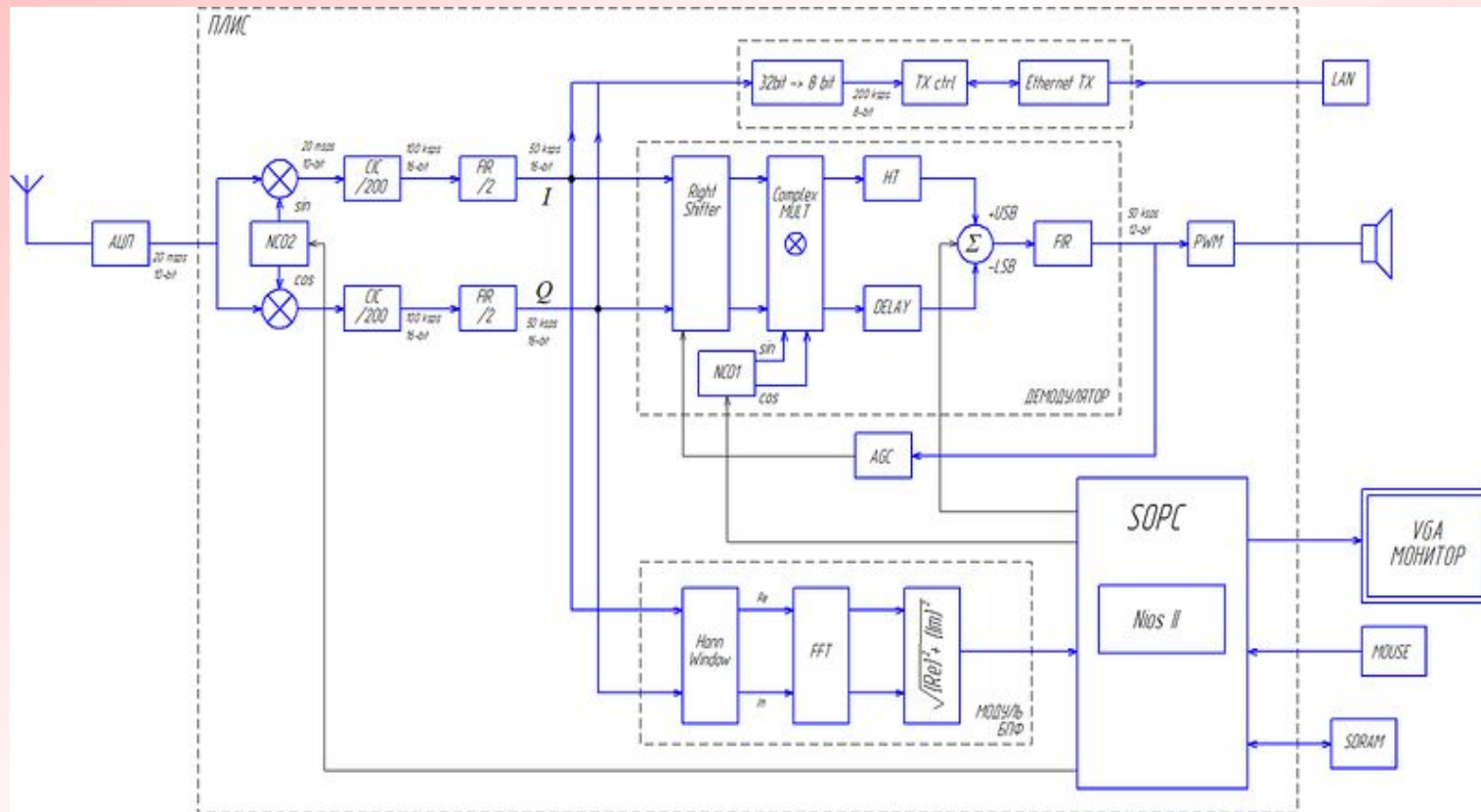
Так как принимаемые сигналы имеют очень большой динамический диапазон, то для нормального приема в конструкцию пришлось ввести программную автоматическую регулировку усиления (AGC). Реализована она довольно просто — при слишком большой амплитуде сигнала на выходе демодулятора модуль АРУ ослабляет сигнал на входе демодулятора (для этих целей используется входящий в него блок *Right Shifter*). Сигнал ослабляется в 2^N раз за счет простого сдвига, что не очень удобно, но очень просто реализуется программно и практически не требует ресурсов ПЛИС. Если в течении 0.2 сек сигнал на выходе демодулятора будет низким, то ослабление сигнала уменьшается. Недостаток такого метода — переключение усиления иногда довольно хорошо слышно.

FFT, вывод спектра на экран и управление приемником

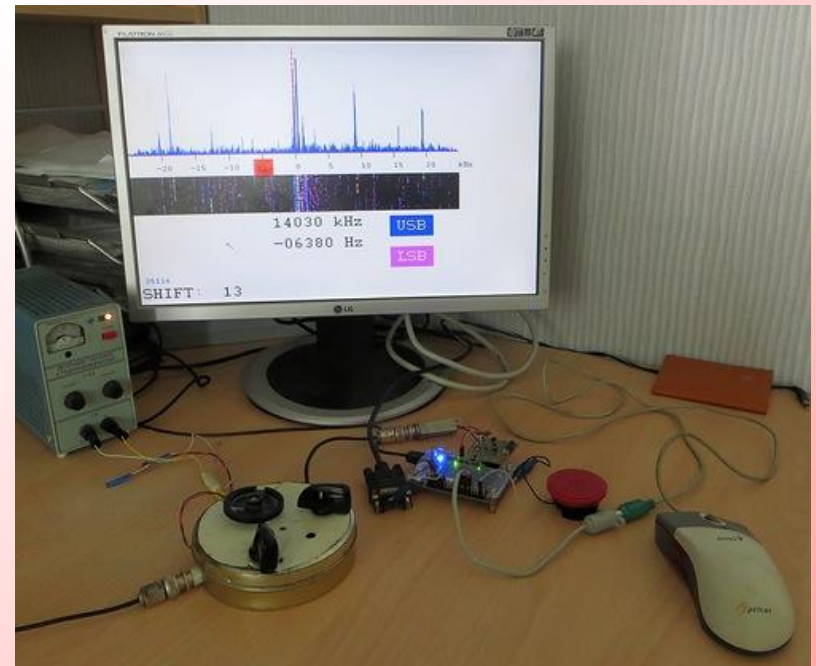
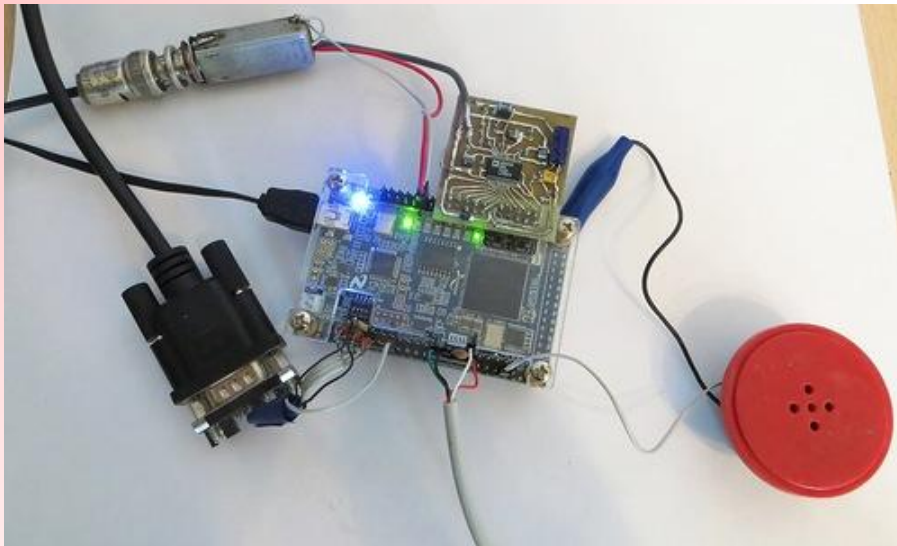
В данном проекте захват данных от модуля FFT, вывод данных на VGA экран, работа с SDRAM, управление приемником идет при помощи системы SOPC, в состав которой входит софтовый процессор NIOS II. Упрощенная структурная схема SOPC:



Структурная схема автономного SDR-приемника на ПЛИС



Конечный итог приемника





Благодарю за внимание