

# ПРИЕМНИК РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ РАЗВЕДКИ С ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМОЙ ОБРАБОТКОЙ СИГНАЛА

Козубов П.И., студент гр.241201

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Кашкин А.Ю. – ассистент каф. ИРТ

**Аннотация.** Разработка приемника радиоэлектронной разведки с программно-определяемой обработкой сигнала направлена на создание компактного и гибкого устройства, способного в реальном времени перехватывать и анализировать радиосигналы в широком диапазоне частот с возможностью быстрой смены алгоритмов обработки без изменения аппаратуры. Такое устройство предназначено для специалистов подразделений радио- и технического контроля, а также мобильных групп, которым необходимо оперативно оценивать электромагнитную обстановку. Оно решает проблемы классических аналоговых приемников – жесткость архитектуры, сложность модернизации и высокое энергопотребление – за счет переноса основной обработки в цифровую среду, что обеспечивает скрытность, малые массогабаритные параметры и адаптивность к новым типам сигналов.

**Ключевые слова.** Приемник, радиоэлектронная разведка, программно-определяемая обработка, SDR.

Радиоэлектронная разведка, являясь составной частью военной разведки, за последние 30 лет превратилась в важнейший элемент единой автоматизированной системой разведки и предупреждения об агрессии, обеспечивающий боевые действия войск и контроль за выполнением договоров и соглашений по сокращению вооруженных сил и вооружений.

Только радиоэлектронная разведка, обладающая высоким пространственным и информационным доступом, с достаточной полнотой и достоверностью обеспечить необходимыми данными о военно-политической обстановке, группировках войск, их действиях и намерениях, тенденциях развития вооружения и военной техники. Одной из важнейших составных частей системы радиоэлектронной разведки является радиотехническая разведка.

В современных условиях радиоэлектронная обстановка характеризуется высокой плотностью сигналов, разнообразием видов модуляции и широким диапазоном частот. Традиционные приёмники с жёсткой аппаратной архитектурой не всегда способны эффективно работать в таких условиях. Поэтому всё большее значение приобретают приёмники, построенные по принципу программно-определяемого радио (SDR), которые обеспечивают гибкость, адаптивность и возможность обработки сигналов с неизвестными параметрами [1].

Приёмник в системе РЭР выполняет функции первичного звена, связывающего систему с электромагнитной средой. К его основным задачам относятся:

- обнаружение источников радиоизлучения;
- измерение частотных, временных и энергетических параметров сигналов;
- выделение полезных сигналов на фоне шумов и помех;
- формирование выходных данных для последующих этапов обработки (классификации, пеленгования, анализа).

Разнообразие решаемых задач и жёсткие требования к приёмным устройствам привели к появлению различных типов приёмников: кристаллические видеоприёмники, супергетеродинные, с мгновенным измерением частоты, многоканальные, цифровые и другие. Каждый из них имеет свои достоинства и ограничения. Например, кристаллические видеоприёмники просты и обеспечивают широкий мгновенный охват, но обладают низкой чувствительностью и избирательностью. Супергетеродинные приёмники дают высокую чувствительность и избирательность, но требуют времени на перестройку. Многоканальные приёмники обеспечивают 100% вероятность перехвата в заданной полосе, однако сложны в реализации из-за большого числа каналов.

Цифровые приёмники, и особенно их развитие в виде SDR-технологии, позволяют преодолеть многие ограничения классических схем [2].

Программно-определяемое радио (SDR) – это подход, при котором ключевые функции обработки сигналов (фильтрация, демодуляция, измерение параметров) реализуются программно, а не жёстко заданной аппаратурой. Основой SDR-приёмника является высокоскоростной аналого-цифровой преобразователь (АЦП), который оцифровывает сигнал непосредственно на промежуточной частоте (ПЧ) или даже на радиочастоте.

Важнейшим теоретическим основанием является теорема Найквиста: частота дискретизации должна быть не менее удвоенной ширины полосы сигнала. Однако для полосовых сигналов применяется метод субдискретизации (подвыборки). Он позволяет использовать частоту дискретизации, меньшую удвоенной верхней частоты сигнала, при условии, что весь спектр сигнала целиком укладывается в одну из зон Найквиста. При этом сигнал из более высокой зоны после дискретизации отображается в первую зону, и при наблюдении условий наложения спектров не происходит.

Типовая структурная схема SDR-приёмника включает (см. рисунок 1):

- полосовой фильтр на входе, ограничивающий полосу сигнала выбранной зоной Найквиста;
- АЦП, оцифровывающий сигнал ПЧ;

– цифровой понижающий преобразователь (ЦПП).

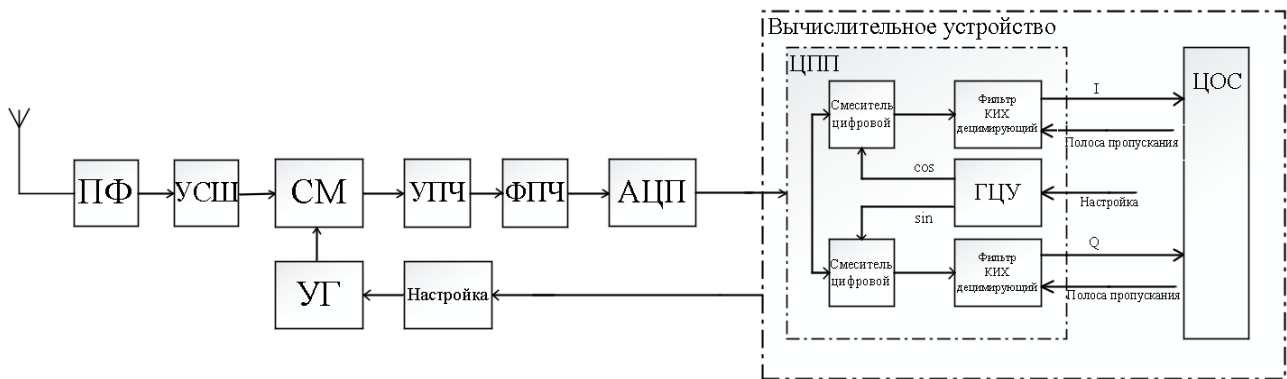


Рисунок 1 – структурная схема приемника SDR.

Выходом ЦПП являются комплексные отсчеты  $I/Q$  сигнала в основной полосе, которые затем поступают в блок цифровой обработки сигналов (ЦОС), реализуемый на ПЛИС, сигнальных процессорах или универсальных вычислителях. Здесь выполняются измерение амплитуды, частоты, длительности импульсов, анализ внутриимпульсной модуляции и другие операции.

Применение SDR-технологии в радиотехнической разведке открывает новые возможности:

- гибкость и адаптивность. Один и тот же аппаратный блок может выполнять функции различных типов приёмников (узкополосного, широкополосного, анализатора спектра) путём простой смены программного обеспечения. Это позволяет быстро реагировать на изменение радиоэлектронной обстановки и появление новых сигналов.

- обработка сигналов с неизвестными параметрами. SDR-приёмники способны одновременно вести приём в широкой полосе, регистрировать данные и затем проводить детальный анализ, включая демодуляцию сигналов с неизвестными видами модуляции.

- высокая точность и стабильность. Поскольку все операции (смещение, фильтрация) выполняются цифровыми методами, удаётся избежать аппаратных нестабильностей, присущих аналоговым трактам. Генератор с цифровым управлением обеспечивает фазовнепрерывную перестройку частоты без переходных процессов.

- эффективная работа в плотной сигнальной обстановке. Субдискретизация и цифровая фильтрация позволяют выделять слабые сигналы на фоне мощных помех, а программируемые алгоритмы могут адаптивно подавлять интерференцию.

- унификация и снижение стоимости. Использование единой цифровой платформы для разных систем РЭР (разведка, радиоподавление, связь) сокращает номенклатуру аппаратуры и упрощает модернизацию.

Несмотря на существующие ограничения (необходимость мощных вычислительных ресурсов, сложность реализации широкополосных АЦП с высоким разрешением), уровень технологий постоянно растёт. SDR-приёмники постепенно вытесняют классические узкоспециализированные устройства, становясь основой современных средств радиотехнической разведки. Они позволяют создавать системы с высокой вероятностью перехвата, точностью измерения параметров и способностью адаптироваться к любым изменениям электромагнитной обстановки.

Приёмники в радиоэлектронной разведке выполняют критически важную функцию первичного захвата и преобразования сигналов, определяя предельные возможности всей системы. Переход к программно-определяемым приёмникам (SDR) знаменует собой смену парадигмы: от жёстко заданных аппаратных решений – к гибким, перенастраиваемым системам, в которых обработка сигналов реализуется программно. Благодаря методам субдискретизации, цифровому понижающему преобразованию и возможности динамического перераспределения вычислительных ресурсов SDR-приёмники обеспечивают эффективное решение задач радиотехнической разведки в условиях высокой плотности сигналов и сложной электромагнитной обстановки. Дальнейшее развитие элементной базы и алгоритмов обработки позволит полностью реализовать потенциал этой технологии и вывести средства РЭР на качественно новый уровень.

**Список использованных источников:**

1. Смирнов Ю.А. Радиотехническая разведка. – М.Воениздат, 2001. – 456 с., ил.
2. David L.A. EW101 a first course in electronic warfare / David L. Adamy. p cm. – (Artech House radar library).