

## МОДУЛЬ ЦИФРОВОГО ФОРМИРОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

Ампилов О.В., Маслов Д.А., Пяткин А.К., Топчиев С.А., Никитин М.В., Шаров А.И.

ОАО «Радиофизика»

Технологические достижения в создании современной элементной базы ЦОС позволяют сегодня говорить о возможности ее использования при разработке устройств первичной обработки сигналов РЛС [1,3].

В настоящее время в ОАО «Радиофизика» производятся научные и инженерные исследования по созданию радиолокационных систем с цифровыми алгоритмами первичной обработки сигналов.

При использовании современных программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) и микросхем динамической памяти, разработчикам становятся доступны высокая производительность и большие объемы памяти при сохранении миниатюрных размеров и невысокой потребляемой мощности устройства. Это дает возможность применения подобных устройств, например, в составе переносных РЛС, разработка которых ведется в условиях жестких аппаратных ограничений.

На рис.1 показана структурная схема модуля цифрового формирования и обработки сигналов (МЦФОС), работающего в составе переносной когерентной импульсной радиолокационной станции.

МЦФОС выполнен в виде многослойной аналого-цифровой платы, построенной с использованием следующих основных элементов (таблица 1):

Таблица 1

Название	Тип	Производитель	Количество
Регулируемый ОУ	AD8369	«Analog Devices»	2
АЦП	AD9214	«Analog Devices»	1
ПЦСС	AD9852	«Analog Devices»	1
ПЛИС (FPGA)	Spartan3-400	«Xilinx»	2
ПЛИС (CPLD)		«Xilinx»	1
Динамическая память	K4H511638D	«Samsung»	2
ПЦОС	ADSP-2191	«Analog Devices»	1

МЦФОС обеспечивает:

- Формирование зондирующего сигнала на промежуточной частоте 95 МГц.
- Регулируемое усиление принятых эхо-сигналов.
- Дискретизацию эхо-сигналов на промежуточной частоте 75 МГц;
- Согласованную фильтрацию эхо-сигналов с частотной полосой 10 МГц;
- Адаптивное обнаружение эхо-сигналов;
- Получение доплеровских портретов целей;
- Вычисление координат целей;
- Управление модулями РЛС;
- Информационные взаимодействия с составными частями РЛС.

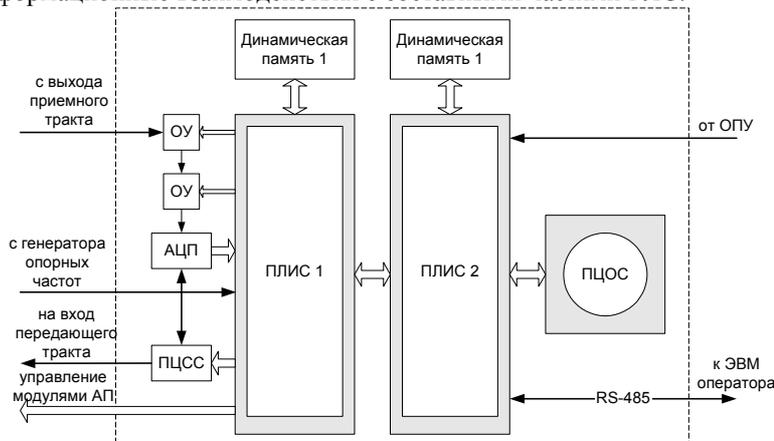


Рис.1 Структурная схема МЦФОС

Формирование зондирующего сигнала производится с помощью микросхемы прямого цифрового синтеза сигналов (ПЦСС, DDS). Тактовая частота для ПЦСС подается с выхода опорного высокостабильного генератора (стабильность  $10^{-9}$  за 1 с). Генератор является источником для получения всех опорных частот

для преобразований сигналов в РЛС, в том числе для дискретизации, что обеспечивает необходимую когерентность обработки.

Диаграмма зондирующего сигнала, состоящих из когерентной последовательности 1024 композитных сигналов, состоящих из немодулированного импульса (БЧМ - импульса) длительностью 0,2 мкс, и модулированного импульса (ЛЧМ - импульса) с девиацией 10 МГц и длительностью 10 мкс приведена на рис.2.

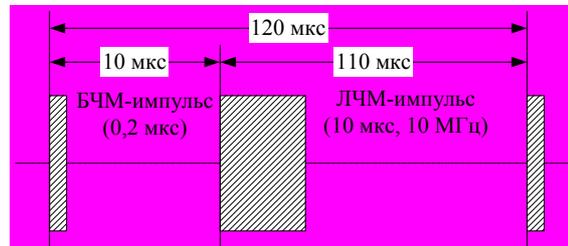


Рис.2 Диаграмма зондирующего сигнала

Аналоговый усилитель с временной регулировкой усиления (ВРУ), построенный на основе операционных усилителей (ОУ) со ступенчатой (3 дБ) регулировкой усиления (рис.1), производит поддержание оптимального уровня мощности эхо-сигналов на входе аналого-цифрового преобразователя (АЦП) [3] в зависимости от их дальности. Это обеспечивает максимальный динамический диапазон при разрешении суперпозиций сигналов, в том числе на фоне мощных сигналов отраженных от подстилающей поверхности, при заданных потерях в отношении сигнал/шум при дискретизации.

Дискретизация сигнала производится с частотой 60 МГц, что позволяет использовать простой многозвенный LC-фильтр для формирования полосы сигнала [3]. Далее сигнал поступает в ПЛИС, где производится его обработка, состоящая из следующих основных этапов:

- Получение квадратурного сигнала с частотой 10 МГц;
- Согласованная фильтрация импульсов [6];
- Фильтрация когерентной последовательности импульсов [4];
- Детектирование;
- Адаптивное обнаружение.

Основным вычислительным ядром согласованной фильтрации является вычислители быстрого преобразования Фурье [2], архитектура которых обеспечивает требуемую производительность [7].

Потери в отношении сигнал/шум за счет проведения вычислений не превышают 0,3 дБ [5].

Обнаруженные сигналы и соответствующие им доплеровские портреты целей записываются в динамическую память. Дальнейшая обработка осуществляется процессором цифровой обработки сигналов (ПЦОС), который производит:

- Группирование обнаруженных сигналов;
- Определение координат целей.

Также ПЛИС и ПЦОС выполняют функции по управлению модулями РЛС и информационным взаимодействиям с составными частями РЛС (опорно-поворотным устройством (ОПУ) и ЭВМ оператора).

Низкая скважность зондирующего сигнала (рис.2) позволяет при сравнительно невысокой выходной импульсной мощности передающего устройства РЛС (единицы ватт) обнаруживать цели на расстоянии до 15 км. Однако это предъявляет жесткие требования на производительность МЦФОС, заключающиеся в реализации коэффициента фильтрации 50 дБ для сигналов с полосой 10 МГц в режиме реального времени.

Тем не менее, результаты комплексных испытаний МЦФОС в составе подтвердили возможность реализации подобных устройств, в частности, для синтеза и согласованной фильтрации когерентных последовательностей импульсов с низкой скважностью. Это, например, позволяет использовать в составе РЛС маломощные твердотельные передающие устройства, имеющие высокую надежность и низкую стоимость при необходимых массогабаритных характеристиках.

Таким образом, представляется, что рассматриваемая реализация МЦФОС адекватно отражает общее направление в развитии радиолокационной техники, учитывающее активное использование цифровых методов обработки и синтеза сигналов, что приводит к появлению нового качественного уровня в характеристиках и возможностях аппаратуры РЛС построенных на основе современной элементной базы.

#### Литература

1. Кузьмин С.З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации. - М: Радио и связь, 1986.
2. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. - М: Мир, 1978.
3. Бобров Д.Ю, Доброжанский А.П., Зайцев Г.В., Маликов Ю.В., Цыбин И.Б. Цифровая обработка сигналов в многофункциональных РЛС. Часть 1.- Цифровая обработка сигналов №4/2001: ООО ЛТИС.

4. Бобров Д.Ю, Доброжанский А.П., Зайцев Г.В., Маликов Ю.В., Цыбин И.Б. Цифровая обработка сигналов в многофункциональных РЛС. Часть 2.- Цифровая обработка сигналов №1/2002: ООО ЛТИС.
5. Пяткин А.К., Никитин М.В., «Реализация на ПЛИС быстрого преобразования Фурье для алгоритмов ЦОС в многофункциональных РЛС», М: «Цифровая обработка сигналов», №3/2003: ООО ЛТИС.
6. Пяткин А.К., Никитин М.В., «Цифровая фильтрация частотно – модулированных импульсов в многофункциональных РЛС», М: «Цифровая обработка сигналов», №4/2003: ООО ЛТИС.
7. Пяткин А.К. «Построение последовательно – параллельных вычислительных систем БПФ на ПЛИС», М: «Цифровая обработка сигналов», №1/2004: ООО ЛТИС.

