

УДК 621.396.62+621.396.677

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ И ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕЛЕНГА В РАДИОПРИЕМНЫХ ТРАКТАХ АМПЛИТУДНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ПЕЛЕНГАТОРОВ

ГРИНКЕВИЧ В. И., МАТЮШКОВ М. А., ТИТОВИЧ Н. А.

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

E-mail: nikolai.titovich@gmail.com, golapolosov24@gmail.com, v.grinkevich@kbradar.by

Аннотация. Проведен анализ способов повышения чувствительности и точности определения пеленга, которые заключаются в использовании перекрестной коммутации каналов, увеличении частоты дискретизации аналогоцифрового преобразователя (АЦП) и применении быстрого преобразования Фурье (БПФ). Представлен один из вариантов радиотракта амплитудного импульсного пеленгатора, позволяющего значительно увеличить динамический диапазон АЦП и отношение сигнал/шум.

Abstract. The analysis of ways to increase the sensitivity and accuracy of the bearing determination is carried out, which consist in the use of cross-channel switching, increasing the sampling frequency of an analog-digital converter (ADC) and the use of fast Fourier transform (FFT). One of the variants of the radio path of the amplitude pulse direction finder is presented, which allows to significantly increase the dynamic range of the ADC and the signal-to-noise ratio.

Введение

В настоящее время в связи с широким использованием цифровых систем радиосвязи (СРС) с пакетной передачей данных, в отличие от аналоговых систем с непрерывным излучением информационного сигнала, и радиолокационных станций (РЛС) с короткой длительностью зондирующих импульсов наиболее универсальным средством радиомониторинга и пеленгации указанных источников радиоизлучений (ИРИ) являются моноимпульсные пеленгаторы. Моноимпульсные пеленгаторы способны регистрировать ИРИ, излучающие не только одиночные радиоимпульсы (серии радиоимпульсов), но и непрерывные аналоговые сигналы [1].

Способы для повышения их чувствительности и точности определения пеленга

Анализ существующих радиоприемных трактов амплитудных импульсных пеленгаторов показал, что существуют три способа для повышения их чувствительности и точности определения пеленга: перекрестная коммутация каналов; повышения точности измерения пеленгования при увеличении частоты дискретизации АЦП; повышения точности измерения пеленгования при применении БПФ.

Перекрестная коммутация. Сравнение амплитуд и/или фаз принимаемых сигналов в двух пеленгационных каналах требует идентичности их характеристик. На АЧХ каналов приемника могут также влиять условия эксплуатации, нагрев оборудования и другие факторы, вследствие чего возникает ошибка расчета пеленга. Для того чтобы устранить ошибку требуется постоянная калибровка каналов приёмника, что приводит к существенному недостатку всей системы. Чтобы достигнуть требуемой эффективности для применяемого метода пеленгования возможно путем быстрой перекрестной коммутации каналов. При этом для достижения требуемого эффекта достаточным условием является идентичность работы не всего приемного тракта, а только измерителя параметров сигнала. В этом случае калибровка проводится путем выравнивания усиления двух каналов.

Увеличение частоты дискретизации АЦП. При увеличении частоты дискретизации АЦП возможно повысить динамический диапазон АЦП, что эквивалентно увеличению

чувствительности радиоприёмного тракта пеленгатора. Используя сверхдискретизацию с коэффициентом 4 (и последующей фильтрацией), мы выигрываем в отношении сигнал/шум квантования столько же, сколько при увеличении разрядности АЦП на один бит.

Повышение частоты дискретизации позволит также использовать при цифровой обработке сигнала более простой антиалиазинговый фильтр, чем при более низких частотах дискретизации.

Повышения точности измерения пеленгования при применении БПФ. Для увеличения отношения сигнал/шум и повышения точности измерения частоты сигналов при пеленгации необходимо увеличить длину преобразования (количество точек) БПФ. Однако, максимальное количество точек БПФ ограничивается вычислительными ресурсами применяемых процессоров DSP или ПЛИС (FPGA).

На рисунке 1 представлен один из вариантов радиотракта амплитудного импульсного пеленгатора, реализующий указанные выше способы.

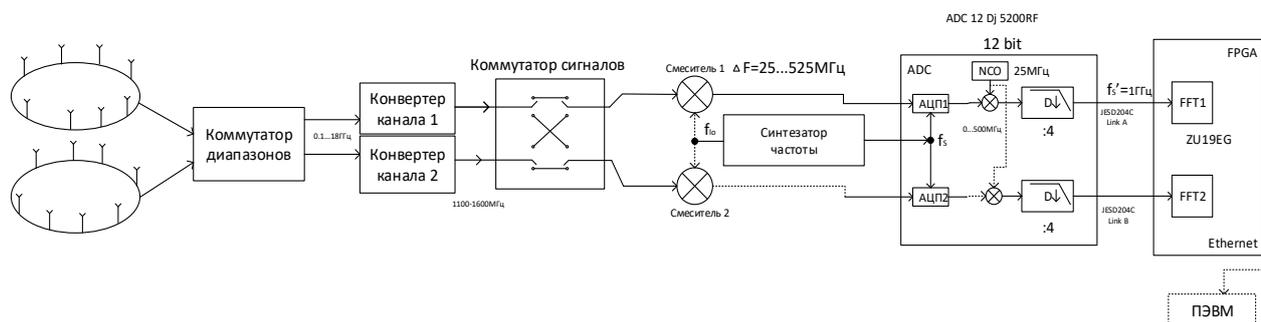


Рис. 1. Функциональная схема пеленгатора

Для пеленгации источника радиоизлучений в широкой полосе частот от 100 до 18 ГГц и в круговую по азимуту в станции применяется двухдиапазонная кольцевая антенная решетка. Антенная решетка каждого из поддиапазонов состоит из восьми антенн. Каждая из 8-ми антенн соответствующего поддиапазона (0,1–0,88 ГГц, 26 полос по 30 МГц и 0,9–18 ГГц, 35 полос по 500 МГц) через электромеханический переключатель (коммутатор поддиапазонов 16x8) подключена к своему входу СВЧ коммутатора в составе двухканального конвертера. Антенны с условно нечетными номерами подключены к одному блоку, с четными к другому. Таким образом появляется пара пеленгаторных антенн, позволяющих реализовать амплитудно–разностный метод пеленгования, основанный на мгновенном сравнении амплитуд.

Принятый от одной из пар антенн СВЧ сигнал поступает в двухканальный конвертер, в котором осуществляется преобразование сигнала на любой из частот в рабочем диапазоне станции в полосу 1100 – 1600 МГц. Синтезатор частоты формирует частоты: гетеродина = 1075 МГц; дискретизация $f_s = 4,1$ GSPS; синхронизация = 650 МГц для тактирования FPGA. Время на один обзор по направлению в секторе 360 градусов и по всему диапазону частот составляет 12 секунд. Соответственно в одном направлении и в одной полосе частот время наблюдения составляет 50 мс. С выхода двухканального конвертера сигнал поступает на смеситель 1 (смеситель 2) с помощью которого производится преобразование аналогового сигнала на вторую промежуточную частоту. Далее приведенный к полосе частот 25 – 525 МГц аналоговый сигнал поступает на вход АЦП. В качестве АЦП целесообразно применить ADC12DJ5200RF производства Texas Instruments. После АЦП дискретизированный сигнал переносится на нулевую промежуточную частоту с помощью цифрового генератора NCO и перемножителя.

В результате мы получаем сигнал с полосой 0 – 500 МГц. После переноса сигнала на нулевую промежуточную частоту происходит децимация и фильтрация сигнала с целью понижения частоты дискретизации в 4 раза до 1 ГГц и снижение уровня шума. Частота дискретизации АЦП $f_s = 4,1$ GSPS выбирается из соображения максимального увеличения SNR (динамического диапазона) АЦП. Для выбранного АЦП согласно техническим характеристикам $SNR = 56,9$ dB.

С учетом выбранной частоты сверхдискретизации и заданной полосы обработки сигнала увеличения отношения сигнал/шум АЦП:

$$- \text{ для полосы обзора } 500 \text{ МГц } SNR_{500} = 56,9 + 10 \lg 4,1/2 \cdot 0,5 = 62,9 \text{ dB};$$

– для полосы обзора 30 МГц $SNR_{30} = 56,9 + 10\lg 4,1/2 \cdot 0,03 = 75,2$ dB.

С выхода АЦП массив данных, полученный вследствие преобразования сигнала, поступает на процессор обработки сигнала, где по заданным алгоритмам производится решение следующих задач: установка порога обнаружения; выделение огибающей импульсного или непрерывного сигнала в зависимости от режима обработки; стробирование сигнала; вычисление параметров сигнала: длительность, период повторения импульсов; вычисление спектра сигнала на основе алгоритмов БПФ; выдача полученной информации для решения задач пеленгования, проведения детального анализа и отображения на ПВМ.

При вычислении спектра сигнала на основе алгоритмов БПФ с количеством точек $N=1024$ величина выигрыша отношения сигнал/шум при обработке сигнала составляет:

$$SNR_{БПФ} = 10\lg 1024 = 27 \text{ dB.}$$

Разрешение по частоте для БПФ с количеством точек $N = 1024$:

– для полосы обзора 500 МГц $\Delta f_{500} = 1000 / 1024 = 0,977$ МГц;

– для полосы обзора 30 МГц $\Delta f_{30} = 30 / 1024 = 0,029$ МГц.

Таким образом, расчеты отношения сигнал / шум показали, что при выбранной функциональной схеме обработки сигнала ИРИ возможно расширить динамический диапазон АЦП для полосы обработки сигнала 500 МГц на 6 dB, т.е. увеличить в 4 раза, для полосы обработки сигнала 30 МГц на 18,3 dB, т.е. увеличить в 68 раз, а так же увеличить отношение сигнал/шум при реализации БПФ до 27dB, т.е. в 512 раз.

Заключение

Рассмотрены существующие способы повышения точности и чувствительности пеленгатора источников радиоизлучения. Для выполнения требований к идентичности каналов, был разработан способ перекрестной коммутации каналов. Данный способ исключает разработку дополнительной системы контроля за идентичностью АЧХ пеленгаторных каналов. Способ перекрестной коммутации каналов позволяет производить калибровку каналов по мере необходимости. Так же для повышения точности пеленгования были применены способы повышения точности пеленгования при применении БПФ; повышения точности пеленгования при увеличении частоты дискретизации АЦП.

Список использованных источников

1. Радиомониторинг – задачи, методы, средства / Под ред. А.М. Рембовского. 2–е изд., перераб. и доп. – М. : Горячая линия–Телеком, 2010. – 624 с.