

# ПРОГРАММНО-ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ИМПУЛЬСНЫХ ИСТОЧНИКОВ РАДИОЧАСТОТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Сырин И.Э, студент гр. 241301

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

Ционенко Д.А. – доцент кафедры ИРТ

Дипломная работа посвящена разработке и проектированию мобильного радиопеленгатора, предназначенного для определения направления на импульсные источники радиоизлучения. Проведен анализ существующих методов пеленгования, включая амплитудные, фазовые и интерферометрические, обоснован выбор фазового метода. Разработана математическая модель с применением численных методов решения нелинейных уравнений. Спроектированы структурная и функциональная схемы устройства, реализованы алгоритмы цифровой обработки сигналов. Выполнена оценка точности, быстродействия и помехоустойчивости. Результатом является компактное и эффективное устройство, пригодное для использования в мобильных системах радиомониторинга и разведки.

Радиопеленгатор, пеленгование, источник радиоизлучения, фазовый метод, интерферометрия, корреляционный измеритель, цифровая обработка сигналов, антенная решетка, радиоприемное устройство, алгоритмы обработки, математическая модель, моделирование, *MATLAB*, точность измерений, среднеквадратичная ошибка, помехоустойчивость, быстродействие, радиомониторинг, координаты цели, азимут, радиосигнал, частотный диапазон, импульсные сигналы, антенны, фазовые измерения, численные методы, метод Ньютона, метод Зейделя, метод итераций, система нелинейных уравнений, структурная схема, функциональная схема, обработка данных, широкополосные сигналы, радионавигация, разведка, мобильные комплексы, анализ сигналов, проектирование устройства, оптимизация системы

На основе тактико-технических характеристик моделей, рассмотренных в подразделе 1.6 предложим структурную схему будущего устройства. В его состав будут входить следующие структурные блоки:

- антенная система из четырёх всенаправленных антенн;
- радиоприёмный блок, содержащий четыре РПРУ в своём составе;
- блок цифровой обработки сигналов;
- устройство индикации [27].

Структурная схема устройства изображена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Структурная схема радиопеленгатора

Данная структурная схема представляет собой многоканальный радиопеленгатор фазового типа, предназначенный для обнаружения и определения направления на источник сверхширокополосных электромагнитных импульсов, в частности видеоимпульсов наносекундной длительности. Архитектура системы построена по параллельному принципу и включает четыре независимых канала приёма, каждый из которых состоит из антенного элемента и соответствующего радиоприёмного устройства.

Все каналы работают одновременно, что позволяет фиксировать один и тот же сигнал с различных пространственных точек.

Антенная система выполнена в виде решётки из четырёх антенных элементов, разнесённых в пространстве. При поступлении электромагнитного импульса каждый элемент принимает сигнал с небольшой временной задержкой и фазовым сдвигом относительно других. Эти различия обусловлены геометрией расположения антенн и направлением прихода волны. Именно измерение разностей времени прихода и фаз сигналов между каналами лежит в основе определения углового положения источника излучения. Использование четырёх антенн повышает точность и устойчивость системы к шумам и помехам по сравнению с минимально необходимым количеством.

Каждому антенному элементу соответствует отдельное радиоприёмное устройство, формирующее независимый приёмный тракт. Основные функции этих устройств включают усиление слабого входного сигнала, его предварительную фильтрацию и, при необходимости, преобразование частоты.

Однако в отличие от классических радиоприёмников, здесь отсутствует демодулятор. Это связано с тем, что система работает не с модулированными сигналами, а с короткими сверхширокополосными импульсами. Такие сигналы не содержат информации в виде амплитудной, частотной или фазовой модуляции несущей. Вся информация определяется формой импульса и временем его прихода, поэтому этап демодуляции оказывается избыточным.

После аналоговой обработки сигналы поступают в блок цифровой обработки информации, который является ключевым элементом всей системы. На этом этапе выполняется аналого-цифровое преобразование каждого канала, синхронизация и калибровка сигналов, компенсация фазовых и амплитудных искажений, а также вычисление разностей времени прихода между каналами. Далее на основе этих данных реализуются алгоритмы пеленгации, позволяющие определить направление на источник излучения.

Особое значение в системе имеет аналого-цифровой преобразователь. Поскольку длительность принимаемых импульсов составляет наносекунды, требуется временное разрешение порядка 1 нс. С учётом скорости распространения электромагнитной волны это соответствует пространственной погрешности порядка 30 сантиметров, что напрямую влияет на точность определения направления. Для достижения такого разрешения необходимы АЦП с частотой дискретизации не менее 1 Гвыб/с, а на практике – ещё выше. Кроме того, критически важным параметром является дрожание (случайные флуктуации) фазы тактового сигнала, поскольку даже небольшие временные флуктуации могут привести к существенным ошибкам измерения. Также требуется строгая синхронизация всех каналов, что достигается использованием общего высокостабильного тактового генератора. Совокупность этих требований делает такие АЦП сложными и дорогостоящими устройствами.

Использование цифровой обработки сигналов позволяет значительно повысить точность и стабильность работы системы. В цифровой области проще реализовать компенсацию аппаратных искажений, устранить влияние температурных факторов, а также применять сложные алгоритмы обработки, невозможные в аналоговой технике. Это особенно важно при работе с короткими импульсами, где требования к точности измерений крайне высоки.

На выходе системы расположен блок индикации, который предназначен для отображения результатов работы. Он может быть реализован в виде вычислительной системы, обеспечивающей визуализацию углового положения источника, параметров сигнала и дополнительной информации, а также управление всей аппаратурой.

Таким образом, представленная схема реализует принцип прямого приёма и анализа сверхширокополосных импульсов без этапа демодуляции, с акцентом на высокоточное измерение времени прихода сигналов. Основными особенностями системы являются многоканальность, высокая скорость обработки, использование дорогостоящих высокоскоростных АЦП и применение цифровых методов пеленгации, что в совокупности позволяет эффективно решать задачу определения направления на источник коротких электромагнитных импульсов [28].

**Список использованных источников:**

- [1] Справочник по радиоэлектронным системам. В 2 т. / под ред. Б.Х. Кривицкого. – Москва : Энергия, 1979. – Т. 2. – 368 с.
- [2] Кукес, И. С. Основы радиопеленгации / И. С. Кукес, М. Е. Старик. – Москва : Советское радио, 1964. – 604 с.
- [3] Introduction into Theory of Direction Finding. Radio monitoring and Radiolocation 2000/2001 / Rohde & Schwarz GmbH & Co. – Munich, Germany, 2000.
- [4] Рембовский, А. М. Радиомониторинг – задачи, методы, средства / А. М. Рембовский, А. В. Ашихмин, В. А. Козьмин – Москва : Телеком, 2010.