

МОДЕЛЬ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ РАДИОПЕЛЕНГАТОРА ДИАПАЗОНА 2-6 ГГц»

Аниховский Н.М.

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

Каленкович Е.Н. – старший преподаватель кафедры ИРТ

В работе представлена разработка и исследование модели антенной решетки радиопеленгатора, предназначенной для определения направления на источник радиоизлучения в диапазоне частот 2–6 ГГц. Моделирование и анализ электродинамических характеристик позволяют обосновать выбор конфигурации антенной системы, оценить точность пеленгования и подготовить основу для создания полноценного устройства.

Современные системы радиомониторинга и радиоконтроля требуют повышенной точности определения местоположения источников радиоизлучения. Антенная система является ключевым элементом радиопеленгатора, от её характеристик напрямую зависит достоверность определения азимута и угла места. Разработка модели антенной решетки на этапе проектирования позволяет без изготовления полноразмерного прототипа оценить диаграммы направленности, фазовые соотношения и потенциальную точность пеленгования. Актуальность работы обусловлена необходимостью создания компактной широкополосной пеленгационной системы для учебных и исследовательских целей.

Определение направления на источник радиоизлучения (радиопеленгация) является одной из ключевых задач в системах радиомониторинга, радиоконтроля, навигации и радиоэлектронной борьбы. Для её решения используются антенные системы, которые принимают электромагнитный сигнал и формируют информацию, позволяющую вычислить угловые координаты источника. В зависимости от принципа действия различают амплитудные, фазовые и амплитудно-фазовые методы радиопеленгации. Антенные системы радиопеленгаторов классифицируются по геометрии размещения элементов (линейные, плоские, кольцевые, пространственные), по способу возбуждения и по типу применяемых излучателей (рупорные, логопериодические, щелевые, вибраторные и др.). Выбор конкретной конфигурации антенной решётки определяет точность пеленгования, сектор обзора, устойчивость к помехам и габариты устройства. В ходе работы решены следующие задачи:

1 Выполнен аналитический обзор методов радиопеленгации (амплитудных, фазовых, амплитудно-фазовых) и существующих антенных систем, обосновано преимущество амплитудно-фазового метода для диапазона 2–6 ГГц.

2 Сформулированы технические требования к антенной решетке: рабочий диапазон частот, точность пеленгования (порядка $0,5-1^\circ$), круговой азимутальный обзор, компактность; проведен сравнительный анализ конфигураций решетки (линейная, плоская, кольцевая) по критериям двухкоординатного пеленгования, однозначности отсчета, габаритам и сложности реализации; обоснован выбор кольцевой шестиэлементной решетки с радиусом размещения 75 мм на основе рупорных антенн ТЕМ-типа.

3 Проведено трехмерное моделирование в CST Studio Suite как одиночной антенны, так и полной решетки; получены частотные зависимости коэффициента отражения ($S_{11} \leq -10$ дБ), диаграммы направленности на частотах 2, 4 и 6 ГГц (ширина главного лепестка $28-54^\circ$, усиление 8,5–11,6 дБи, уровень боковых лепестков не хуже -12 дБ), оценена взаимная развязка между элементами.

4 Разработана алгоритмическая модель фазового пеленгования с многобазовым устранением неоднозначности; описаны этапы измерения комплексных амплитуд, вычисления разностей фаз и решения системы уравнений для нахождения азимута и угла места.

5 Систематизированы результаты моделирования, подтверждающие соответствие техническим требованиям.

6 Выполнено технико-экономическое обоснование, показывающее целесообразность мелкосерийного производства учебно-исследовательского макета.

Методология работы базируется на теории антенн и распространения радиоволн, методах электродинамического моделирования, принципах схемотехнического проектирования радиоэлектронных средств.

Результаты моделирования демонстрируют, что предложенная кольцевая решетка из шести рупоров ТЕМ-типа обеспечивает круговой обзор 360° , стабильные фазовые характеристики и достаточную для учебно-исследовательских задач точность пеленгования. Разработанная модель может быть использована при создании лабораторного макета радиопеленгатора, а также в качестве основы для дальнейшей оптимизации с целью повышения точности и расширения функциональных возможностей.

Проведённое моделирование подтвердило, что коэффициент стоячей волны (КСВ) во всём рабочем диапазоне 2–6 ГГц не превышает 2,0, а взаимная развязка между элементами решётки составляет не менее 15 дБ, что обеспечивает устойчивую работу фазового пеленгатора. Разработанный алгоритм многобазовой обработки сигналов позволяет однозначно определять азимут и угол места источника излучения с потенциальной точностью порядка $0,5-1^\circ$.

По сравнению с существующими аналогами (например, логопериодическими или вибраторными решётками) предлагаемая система отличается простотой изготовления из листовых материалов, отсутствием смещения фазового центра с частотой и низким уровнем боковых лепестков. Это делает её привлекательной для внедрения в лабораторный практикум по радиотехническим системам и для дальнейших научно-исследовательских работ в области фазовой пеленгации.

Список использованных источников:

1. Воскресенский Д.И. Проектирование фазированных антенных решеток. – М.: Радиотехника, 2012.
2. Неганов В.А., Клюев Д.С., Табаков Д.П. Устройства СВЧ и антенны. – М.: РадиоСофт, 2018.
3. CST Studio Suite Documentation. – Dassault Systèmes, 2020.