

ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОПОЛОСКОВЫХ АНТЕНН

Семенюк Владислав Владимирович¹, Адильбеков Алибек Еркинович²,
Проселков Анатолий Владимирович³

Alibekadilbek93@mail.ru, evdimid@mail.ru, proselkov96@mail.ru

1 – докторант кафедры «Энергетика и радиоэлектроника» Северо-
Казахстанского Университета им. М. Козыбаева,

2 – м. т. н., преподаватель кафедры «Энергетика и радиоэлектроника» Северо-
Казахстанского Университета им. М. Козыбаева,

3 – м. т. н., лаборант кафедры «Энергетика и радиоэлектроника» Северо-
Казахстанского Университета им. М. Козыбаева.

г. Петропавловск, Казахстан

Аннотация: В данной статье рассматриваются метод лабораторного исследования микрополосковых антенн с помощью программируемого SDR-радио. Авторы отмечают актуальность применения исследуемого типа антенн радиолокации и сотовой связи за счет преимуществ в конструкции, в габаритах и стоимости. С целью создания доказательной базы точного и качественного измерения электродинамических параметров антенн описан алгоритм лабораторного исследования антенной решетки с 4 патчами. Анализируя результаты работы, авторы указали преимущества и недостатки рассмотренного метода.

Ключевые слова: лабораторное исследование, микрополосковая антенна, математическое моделирование, SDR-радио, приемник, передатчик.

В настоящее время тема микрополосковых антенн [1] актуальна в научной среде, это связано с широким спектром применимости данной технологии в бортовых радиолокационных системах, в базовых станциях мобильной связи, в спутниковом телевидении. Это обусловлено рядом преимуществ:

- тонкий профиль;
- малый вес;
- возможность возбуждения волны круговой поляризации;
- возможность реализации многочастотных антенн;
- интеграция со схемой питания в антенных решетках,
- дешевизна и простота реализации.

Геометрические и электродинамические параметры удобно проектировать и измерять в программных приложениях, например CST Studio Suite, MatLab Simulink, Ansys. Но стадию тестирования необходимо проводить в лабораторных условиях, перед тем как внедрить устройство в эксплуатацию. Разработанная антенная должна соответствовать заявленным параметрам [2]

технического задания: КНД (коэффициент направленного действия), диаграммы направленности в трех плоскостях, коэффициент потерь на отражение, коэффициент стоячей волны. Проверить вышеуказанные характеристики удобно с помощью программно-аппаратного комплекса «Микрополосковые антенны», который сопряжен с программируемым SDR-приемником NI USRP-2901. [3]

Лабораторная установка включает в себя следующие аппаратные компоненты:

- Устройство NI USRP-2901 - программно определяемое радиоустройство, обеспечивающее прием и передачу сигналов;
- Устройство «Antenna Static Fixture» (ASF) - опорное устройство для крепления вспомогательной антенны;
- Устройство «Antenna Rotary Fixture» (ARF) - опорно-поворотное программно-управляемое устройство для крепления исследуемой антенны;
- Разъемы TX1 RX1 и RX2;
- Кабели коаксиальные SMA(m) – SMA(m) (1,5 и 0,5 м), кабель USB 2.0, кабель USB 3.0;
- Персональный компьютер.

Рассмотрим на примере исследование микрополосковой антенной решетки 4x1, которая применима в радиолокации.

Конструкция исследуемой антенны. Схематическое изображение антенной решетки 4x1 с указанием основных параметров, учитываемых при моделировании и конструировании, представлено на рисунке 1:

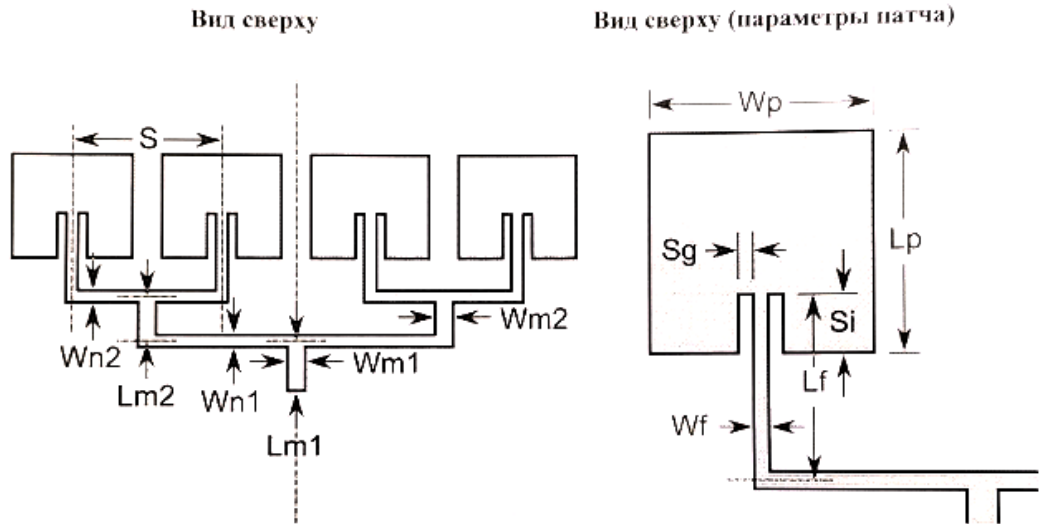


Рисунок 1 – Схематическое изображение антенной решетки 4x1

Описание конструктивных параметров антенной решетки 4x1 приведено в Таблице 1:

Таблица 1 – Конструктивные параметры антенной решетки 4x1

Параметр	Описание
----------	----------

ϵ_r	Относительная диэлектрическая проницаемость подложки
H	Толщина подложки
L_p	Длина патча
W_p	Ширина патча
S	Расстояние между центрами патчей
L_{m1}, L_{m2}	Длина согласующего отрезка
W_{m1}, W_{m2}	Ширина согласующего отрезка
W_{n1}, W_{n2}	Ширина линии сети
L_f	Длина линии питания
W_f	Ширина линии питания
S_i	Длина углубления линии питания от края патча
S_g	Расстояние между линией питания и патчем

Используемые антенны. В данном лабораторном исследовании используются следующие антенны, приведенные в таблице 2:

Таблица 2 – Антенны

№ п/п	Наименование	Назначение
1	Антенная решетка (inset-fed 4-by-1 patch array)	Исследуемая антенна (приемная антенна)
2	Антенна Вивальди (microstrip-fed Vivaldi slot)	Вспомогательная антенна (передающая антенна)

Схемы подключений. Для получения 3-х мерной диаграммы направленности исследуемой антенны необходимо проводить измерения в 3 плоскостях: XY/XZ/YZ. На рисунке 2 показан пример подключения:

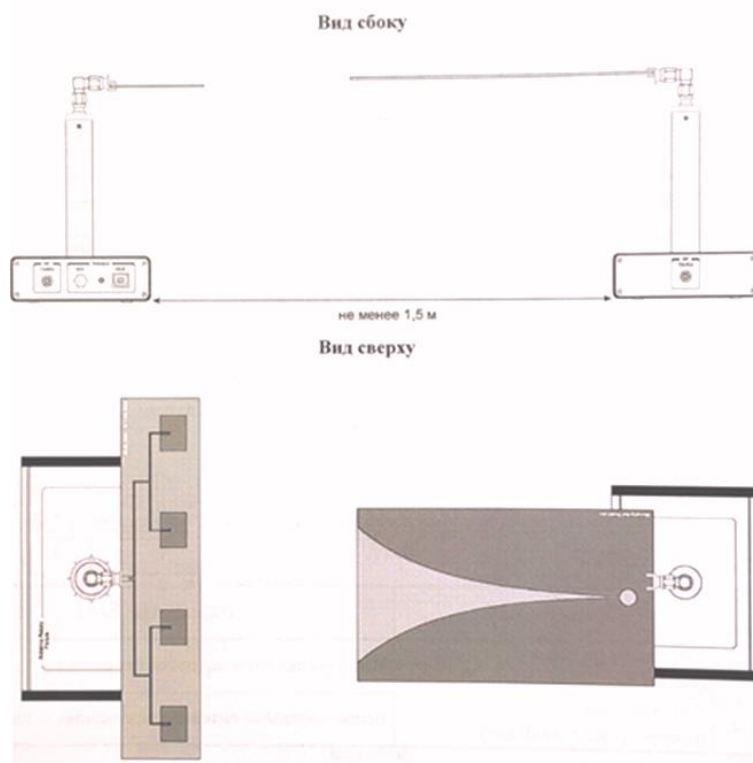


Рисунок 2 – Схема подключений (плоскость измерения XY)

Изучение предварительных характеристик исследуемой антенны:

$$\text{Коэффициент отражения: } |\Gamma| = \left| \frac{Z_{\text{BX}} - Z_0}{Z_{\text{BX}} + Z_0} \right| = \left| \frac{R_{\text{BX}} + jX_{\text{BX}} - 50}{R_{\text{BX}} + jX_{\text{BX}} + 50} \right| = \sqrt{\frac{(R_{\text{BX}} - 50)^2 + X_{\text{BX}}^2}{(R_{\text{BX}} + 50)^2 + X_{\text{BX}}^2}}$$

$$\text{Коэффициент стоячей волны по напряжению: } (VSWR) - VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

$$\text{Коэффициент потерь на отражение: } RL = 20 \lg |\Gamma|$$

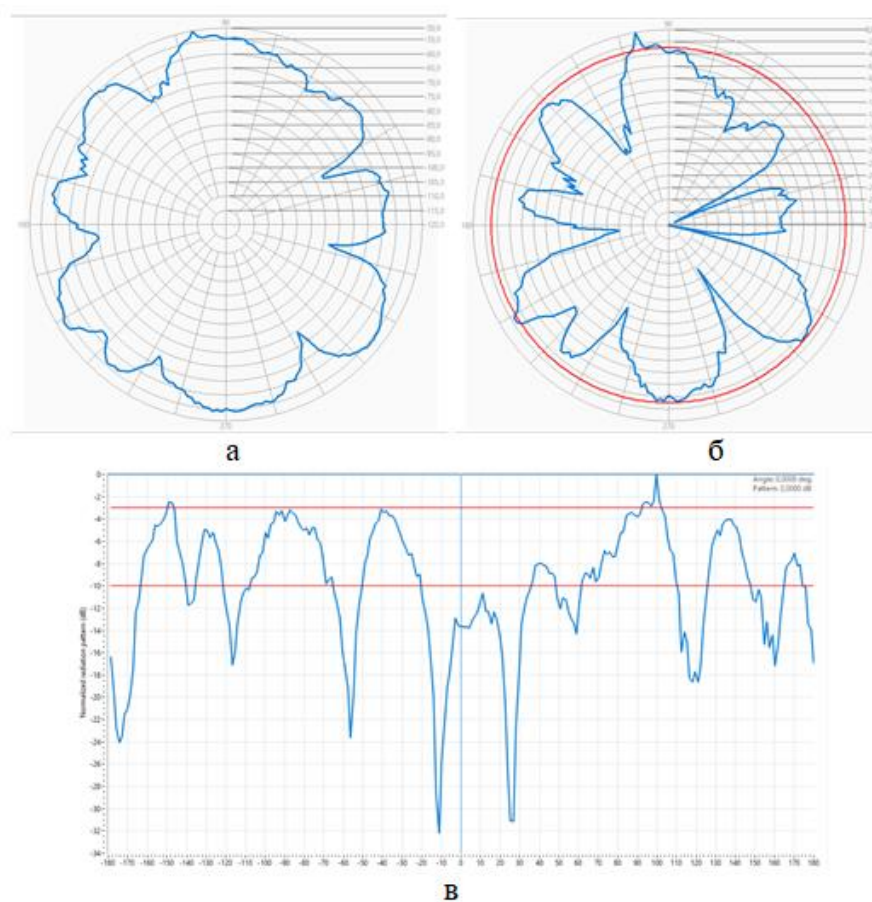
Таблица 3 – Предварительные характеристики

Предварительные характеристики антенной решетки 4×1							
№ п/п	Диапазон частот при RL<-10dB, MHz	f _{min} , MHz	RL при f _{min} , dB	R _{вх} , Ом	X _{вх} , Ом	(Γ)	VSWR при f _{min}
1	4,16-4,29	4,16	-9,789	33	-22	0,324	1,959
2	5,56-5,63	5,56	-9,525	25	-2	0,334	2,003

Порядок выполнения лабораторного исследования. Перед выполнением лабораторного исследования микрополосковых антенн на основе программно-аппаратного комплекса SDR NI USRP-2901 необходимо установить устройства ARF и ASF параллельно на расстоянии не менее 1,5 м, обеспечивая максимальное отсутствие помех, и запустить программное обеспечение «PCB Antennas Lab». Изучить предварительные характеристики антенн можно в разделе Description выбрав из списка исследуемую антенну. Затем с помощью инструментов масштабирования определить, рассчитать характеристики антенны и заполнить соответствующие ячейки таблицы 3 (RL должен быть менее -10 дБ, значение VSWR в диапазоне от 1 до 2).

Следующий этап исследований – подключение антенны «Inset-fed 4-by-1» на устройство ARF, а вспомогательную антенну «Microstrip-fed Vivaldi slot» на устройство AST согласно рисунку 2. В основном программном окне перейти в раздел Measurement установить скорость и угол вращения антенны, задать частоту генератора сигнала, коэффициент потерь на отражение, выбрать плоскость измерения (XY/XZ/YZ) и нажать кнопку Start. Произвести измерения в 3 плоскостях и убедиться, что сбор данных полностью выполнен и слайдер статуса загружен на 100% и сохранить их. В разделе Compare загрузите все измерения и выведите диаграммы направленности.

Полученные данные. Измерения были выполнены при значении частоты 4222 MHz в плоскости XY.



а – диаграмма направленности, б – нормированная диаграмма направленности, в - нормированная диаграмма направленности в декартовой системе координат

Рисунок 3 – Плоскость ХУ

По результатам измерений в дополнительных плоскостях YZ, XZ произведем построение трехмерной диаграммы направленности, показанной на рисунке 4:

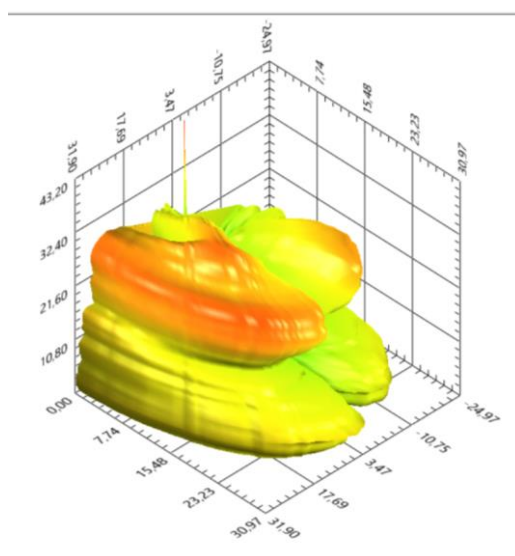


Рисунок 4 – 3D диаграмма направленности

Согласно данным, полученным в результате лабораторного эксперимента, определена ширина лучей ДН в трех системах координат по уровню нулевого излучения FNBW и по уровню половинной мощности HPBW. Измеренные графическим путем параметры представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты измерения

Измеряемые характеристики антенной решетки 4×1							
№ _{изм} , п/п	f _{изм} , МГц	Плоскость измерения XY		Плоскость измерения XZ		Плоскость измерения YZ	
		HPBW, °	FNBW, °	HPBW, °	FNBW, °	HPBW, °	FNBW, °
1	4222	92-104	-110 – -65	-65 – 75	-90 – 90	0 – 4	0 – 8

Заключение: Организация лабораторных исследований на базе данного программно-аппаратного комплекса имеет ряд преимуществ:

- Возможность проверки соответствия параметров тестируемой антенны результатам математического моделирования;
- Наглядная визуализация;
- Точность измерений на разных частотах;
- Возможность корректировки исходных данных с целью оптимизации исследуемых параметров;
- Простота реализации без навыков программирования.

Имеется ряд недостатков:

- В приложении отсутствует наглядное математическое обоснование полученных результатов;
- Нет обоснования влияния внешних условий на результаты измерения (не учитываются коэффициенты внешних условий).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. [Электронный ресурс]: <https://www.radartutorial.eu/06.antennas/an39.ru.html>, 2020 г.
2. [Электронный ресурс]: <http://www.vitex.kiev.ua/parametry-antenn>, 2020 г.
3. [Электронный ресурс]: <http://www.ni.com/pdf/manuals/376357b.pdf>, 2020 г.