

УДК 621.372.512

## ПРИЕМНАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА Х-ДИАПАЗОНА С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ ПИТАНИЕМ

Е Сван, магистрант

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

Бойкачёв П. В. – канд. техн. наук, доцент

**Аннотация.** Представлена приемная антенная решетка (АР) Х-диапазона (9,2–9,6 ГГц), синтезированная с использованием микрополосковых ПАТЧей с последовательным питанием. Решетка обеспечивает ширину диаграммы направленности (ДН)  $\leq 3^\circ$  в плоскости Е и  $\leq 6,3^\circ$  в плоскости Н, а КСВ не более 1,7 во всем диапазоне рабочих частот. Показана параметрическая оптимизация патчей, биномиальное распределение амплитуды и компоновка АР из 30×16 элементов. Результаты моделирования подтверждают теоретические результаты синтеза.

**Ключевые слова.** Антенная решетка Х-диапазона, микрополосковая ПАТЧ, последовательное питание, оптимизация диаграммы направленности, моделирование, CST Studio.

### Введение.

Фазированные антенные решетки (АР) Х-диапазона имеют решающее значение при разработке современных радиолокационных систем благодаря балансу разрешающей способности системы и хорошему распространению радиоволн в атмосфере. Конструкция АР позволяет обеспечить ширину луча менее  $7^\circ$  при сохранении широкой полосы рабочих частот (400 МГц) и низких потерях.

Основными характеристиками АР являются:

Полоса рабочих частот: 9,2–9,6 ГГц.

Ширина ДН:  $\leq 3^\circ$  (в плоскости Е),  $\leq 6,3^\circ$  (в плоскости Н).

КСВ:  $\leq 2$ .

КПД:  $> 50\%$

### ПАТЧ антенны с последующим питанием.

Топология ПАТЧей в рассчитанной АР с последовательным питанием (рис 1). Расстояние между элементами:  $\lambda/2$  (рассчитываем для частоты 9,4 ГГц). Материал подложки: ROGERS RO4450F с низкими потерями ( $\epsilon = 3,52$ ,  $\tan\delta = 0,004$ , толщина 1,2 мм).

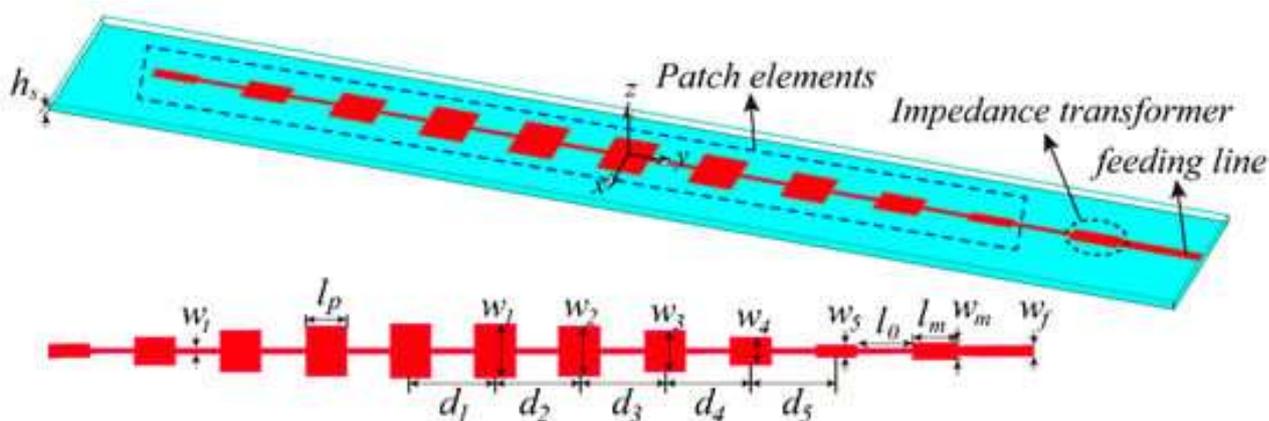


Рисунок 1 – Топология ПАТЧей в рассчитанной АР с последовательным питанием

### Размеры ПАТЧ элементов АР.

Размеры патчей были получены с использованием алгоритмов из [6], а после оптимизированы в CST Studio (Таблица 1).

Таблица 1 – Результаты расчета элементов АР

№	Название патча	Ширина патча, мм	№	Название патча	Ширина патча, мм
1	Wpatch1	4.82	16	Wpatch16	6.09
2	Wpatch2	4.30	17	Wpatch17	3.96
3	Wpatch3	5.75	18	Wpatch18	3.18

№	Название патча	Ширина патча, мм	№	Название патча	Ширина патча, мм
4	Wpatch4	5.77	19	Wpatch19	4.97
5	Wpatch5	4.08	20	Wpatch20	4.04
6	Wpatch6	4.72	21	Wpatch21	5.14
7	Wpatch7	5.84	22	Wpatch22	2.05
8	Wpatch8	4.49	23	Wpatch23	2.92
9	Wpatch9	2.72	24	Wpatch24	4.74
10	Wpatch10	3.03	25	Wpatch25	5.36
11	Wpatch11	4.35	26	Wpatch26	2.71
12	Wpatch12	3.49	27	Wpatch27	6.48
13	Wpatch13	3.35	28	Wpatch28	3.07
14	Wpatch14	3.45	29	Wpatch29	4.81
15	Wpatch15	3.64	30	Wpatch30	3.74

**Результаты согласования импеданса источника сигнала и ПАТЧ антенны. S11 <-10 дБ в диапазоне 9,2–9,6 ГГц (рис. 2); KСВ: ≤2 (рис. 3).**

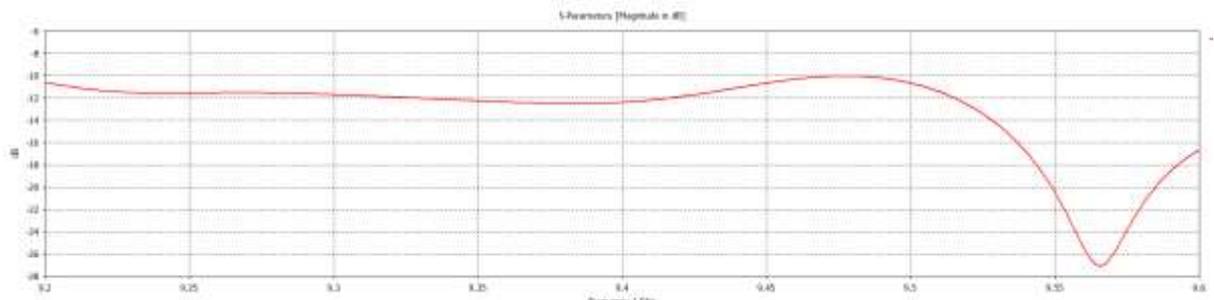


Рисунок 2 – S11 AP от частоты с последовательным питанием от частоты

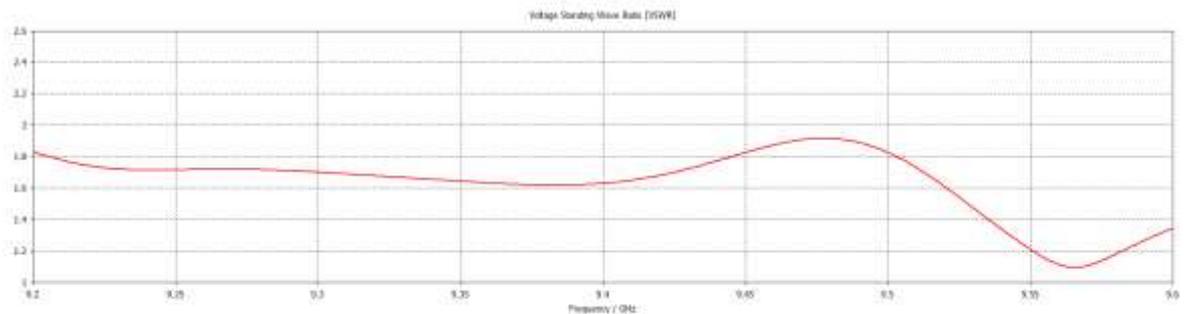


Рисунок 3 –КСВ от частоты AP с последовательным питанием

**Характеристики излучения разработанной AP:**

Ширина ДН: 3° (Е-плоскость), 6,3° (Н-плоскость).

Коэффициент усиления: 14 дБи.

КПД: >50% на частоте 9,6 ГГц (рис. 4).

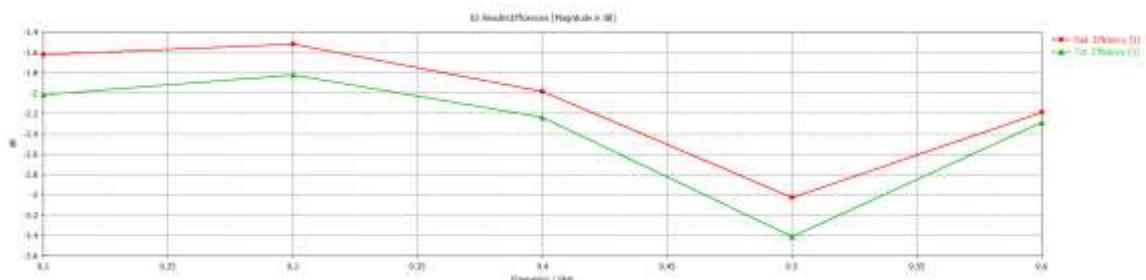


Рисунок 4 – Зависимость КПД антенной решетки от частоты

На рисунке обозначено: красная линия – эффективность излучения, зеленая линия – общая эффективность.

#### Полотно приемной АР в целом.

Вся приемная АР ( $599 \times 275 \times 1,2 \text{ мм}^3$ ) включает в себя  $30 \times 16$  элементов с шагом  $\lambda/2$  (рис. 5). Модульная конструкция для масштабирования с фазированными решетками.



Рисунок 5– Внешний вид АР

#### Заключение.

Рассчитанная АР с последовательным питанием обеспечивает следующие характеристики: Узкая ширина ДН; работа в достаточно широком диапазоне частот (400 МГц) с КСВ не более 2; КПД > 50%, коэффициент усиления (14 дБи).

#### Список использованных источников:

1. Хансен, Р.С. Фазированные антенные решётки : пер. с англ. / Р.С. Хансен. — Изд. 2-е. — Москва : Техносфера, 2012. — 560 с.
2. [www.taconic-add.com](http://www.taconic-add.com) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://taconic-add.com/>. — Дата обращения: (укажите дату последнего посещения сайта).
3. Курушин, А.А. Школа проектирования микроволновых устройств в CST Studio Suite : учеб.-методическое пособие / А.А. Курушин. — Москва : Однокнижная книга, 2014. — 433 с.
4. Справочник по радиолокации : в 4-х книгах / под общ. ред. М.И. Скольникова. — Книга 1. — Москва : Техносфера, 2014. — 672 с.
5. Бойкачев, П.В. Результаты исследования влияния условий эксплуатации на импеданс антенных устройств УКВ/УВЧ радиостанций / П.В. Бойкачев, И.А. Дубовик, В.О. Исаяев // Вестник ВАРБ. — 2019. — № 2(63). — С. 32–40.
6. Rinke Chopra, Girish Kumar, "Series Binomial Arrays for Extremely Low Sidelobe Levels", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. XX, no. YY, pp. ZZ-ZZZ, 2019. [Англ.]

UDC 621.372.512

## DESIGN AND VALIDATION OF A SERIAL-FEED X-BAND RECEIVING ANTENNA ARRAY

Ye Swan, master's student

*Institute of Information Technologies of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics,  
Minsk, Republic of Belarus*

*Boykachev P.V. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

**Annotation.** This paper presents a compact, high-performance X-band (9.2–9.6 GHz) receive antenna array using a series-fed microstrip patch architecture. The array achieves a beamwidth of  $\leq 3^\circ$  in the E-plane and  $\leq 6.3^\circ$  in the H-plane, a VSWR of  $\leq 1.7$ , and a radiation efficiency of  $> 50\%$ . Key innovations include parametric patch optimization, binomial amplitude distribution, and a  $30 \times 16$  element layout. Simulation results confirm compliance with stringent radar and satellite communication requirements.

**Keywords.** X-band antenna array, microstrip patch with series feed, beamwidth optimization, CST studio simulation, radar and satellite communications, narrow beamwidth.