

УДК 621.396.677

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ 4-ЛУЧЕВОЙ ПЕЧАТНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ  
АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ С МАТРИЦЕЙ БАТЛЕРА****А.П. Горбачев, Ю.Н. Паршин***Новосибирский государственный технический университет*

Данная работа посвящена анализу, расчету и проектированию печатной диаграммообразующей матрицы Батлера 4×4, входящей в состав 4-лучевой ФАР, предназначенной для работы на частоте 2,2 ГГц. Разработка модели велась стратегией «от простого к сложному» в следующей последовательности: трехдецибелный направленный ответвитель; узел для сглаживания негативного воздействия пересечения соединительных полосковых линий с противоположных сторон платы, разводка под антенное полотно, матрица Батлера 4×4, излучатель и 4-лучевая фазированная антенная решетка.

*Ключевые слова:* матрица Батлера, направленный ответвитель, фазированная антенная решетка, излучатель.

DOI: 10.17212/1727-2769-2019-3-34-47

**Введение**

Известно, что многолучевые фазированные антенные решетки (ФАР) весьма широко применяются в радиолокационных и инфокоммуникационных системах диапазона сверхвысоких частот (СВЧ) для обзора окружающего пространства и обмена информацией с корреспондентами, координаты которых имеют жесткую привязку к территориальному районированию страны (офисы фирм в городах, вахтовые поселки нефтяников и газовиков, базовые лагеря геологоразведочных партий и т. п.) [1, 2]. Несмотря на значительный прогресс в проектировании и серийном выпуске таких ФАР, внимание к их модернизации и совершенствованию не ослабевает с течением времени [3–5], причем в этом процессе существенное значение имеет всемерное сокращение габаритов и массы многолучевой ФАР. В значительной мере этой тенденции отвечает печатное полосковое и микрополосковое исполнение элементов и узлов антенной решетки. В связи с этим в настоящей работе представляются основные результаты эскизного проектирования 4-лучевой ФАР диапазона 2...3 ГГц, разработанной в рамках реализации Договора о научно-техническом сотрудничестве № 25/304 между НГТУ и АО «Ордена Трудового Красного Знамени Всероссийский научно-исследовательский институт радиоаппаратуры» (АО «ВНИИРА») во второй половине 2017 года. В 2018 году эта ФАР была доработана за счет установки модифицированных печатных дипольных излучателей, архитектура и топология которых описаны в работе [6], причем сама работа [6] была оформлена также в рамках вышеупомянутого Договора с АО «ВНИИРА».

**1. Расчет ключевых геометрических размеров топологии 4-лучевой ФАР с позиций системного подхода**

Проектируемая ФАР, структурная схема которой представлена на рис. 1, формирует в верхней полусфере четыре луча (четыре диаграммы направленности), каждый из которых связан с соответствующим входом  $i$  ( $i = 1, \dots, N = 4$ ) матрицы [диаграммообразующего устройства (ДООУ)] Батлера, обведенной на рис. 1 штриховыми линиями.

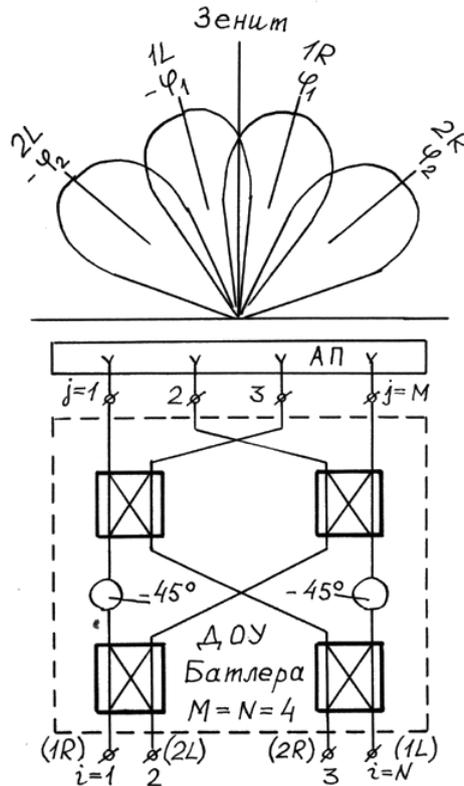


Рис. 1 – Структурная схема проектируемой ФАР

Fig. 1 – Structure diagram of the designed phased antenna array

Это устройство содержит два ряда из двух 3-децибельных четвертьволновых направленных ответвителей (НО) и двух фазовращателей (ФВ, точнее: фазозадерживателей) с задержкой по фазе  $(-45^\circ)$ , реализованных на диэлектрической подложке из соединенных должным образом между собой полосковых линий передачи.

Выходы  $j$  ( $j = 1, \dots, M = 4$ ) матрицы соединены такими же линиями передачи со входами печатных дипольных излучателей, объединенных на той же диэлектрической подложке в антенное полотно (АП), обведенное на рис. 1 сплошными линиями. В результате разность фаз  $\psi_i$  между возбуждающими токами соседних дипольных излучателей зависит от номера входа и составляет:

$$\begin{aligned}
 i = 1, \quad \psi_1 &= -45^\circ \text{ (луч } 1R); \\
 i = 2, \quad \psi_2 &= +135^\circ \text{ (луч } 2L); \\
 i = 3, \quad \psi_3 &= -135^\circ \text{ (луч } 2R); \\
 i = 4, \quad \psi_4 &= +45^\circ \text{ (луч } 1L).
 \end{aligned}$$

При этом угол отклонения  $\varphi_i$  оси луча относительно зенита определяется как [1]

$$\varphi_i = \arcsin (\psi/\pi). \tag{1}$$

Таким образом, 1-й ( $i = 1$ ) и 3-й ( $i = 3$ ) лучи отклонены вправо от направления в зенит (на рис. 1 введены дополнительные обозначения  $1R$  и  $2R$  соответственно; буква  $R$  от слова *Right* – правый), а 2-й ( $i = 2$ ) и 4-й ( $i = 4$ ) – влево (на рис. 1 дополнительные обозначения  $1L$  и  $2L$ ; буква  $L$  от слова *Left* – левый).

Основным элементом матрицы Батлера является четвертьволновый полосковый НО, представляющий собой четырехплечее устройство, образованное четвертьволновым отрезком двух параллельных, близко расположенных и электромагнитно связанных между собой за счет полного наложения по всей длине  $l$  линий передачи, которые формируются на обеих сторонах изначально двухсторонне фольгированной диэлектрической пленки (рис. 2).

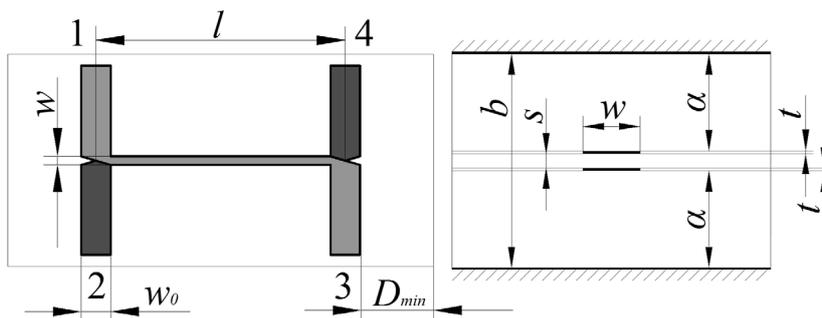


Рис. 2 – Размеры направленного ответвителя

Fig. 2. – Directional coupler dimensions

Эта пленка толщиной  $s$  размещается между двумя листами нефольгированного диэлектрика из того же материала толщиной  $\alpha$  [7]. В результате СВЧ сигнал, поданный на плечо 1, делится в отношении 1:1 между плечами 2 и 3 и практически не поступает в плечо 4, развязанное относительно плеча 1, причем это плечо хорошо (теоретически идеально) согласовано с источником сигнала.

Исходные данные:

$f_0 = 2,2$  ГГц – рабочая частота;

$\rho_0 = 50$  Ом – волновое сопротивление подводящих линий;

$S_{21} = 3$  дБ – переходное затухание направленного ответвителя.

Основным материалом для работы был выбран фольгированный фторопласт (ФАФ-4Д) с параметрами:

$t = 0,035$  мм – толщина фольги;

$\alpha = 1,43$  мм – толщина изолирующего диэлектрика;

$s$  = (вычисляется ниже) – толщина пленки;

$\epsilon_r = 2,5$  – диэлектрическая проницаемость подложки.

Расчет размеров направленного ответвителя (рис. 2) производился согласно [7].

Коэффициент электромагнитной связи

$$k = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,7071.$$

Для применяемого материала ФАФ-4Д воспользуемся семейством характеристик из [8], приведенных на рис. 3.

Уровень коэффициента  $k = 0,707$  пересекает график  $s/b = 0,1$ , в проекции этой точки на горизонтальную ось получается значение  $w/b = 0,44$ .

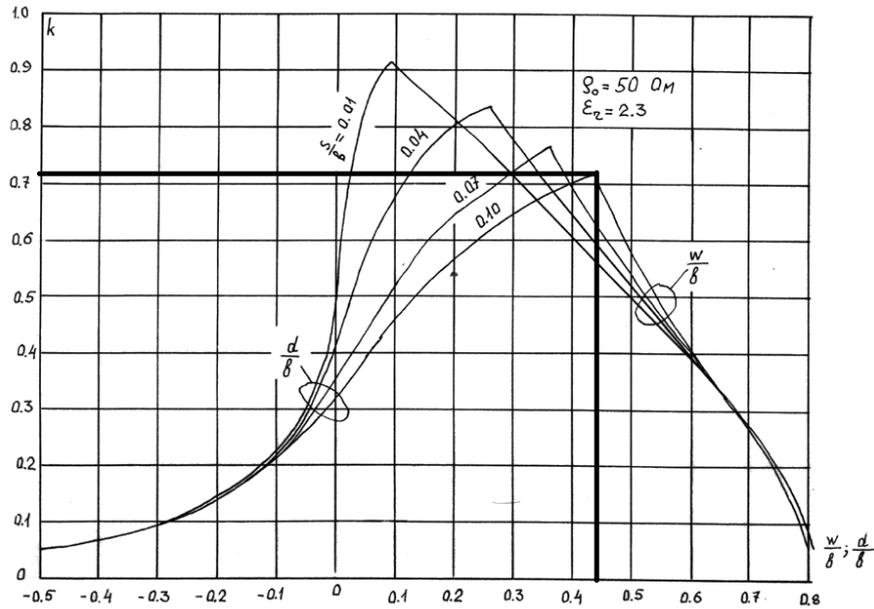


Рис. 3 – Графики зависимостей размеров направленного ответвителя

Fig. 3 – Plot size dependencies plots

Расстояние между пластинами корпуса:

$$b = 3 \cdot t + s + 2 \cdot \alpha = 3 \cdot 0,035 + s + 2 \cdot 1,43 = (2,965 + s) \text{ мм.} \quad (2)$$

Толщину пленки найдем, подставив (2) в выражение  $s/b = 0,1$ :

$$\frac{s}{2,965 + s} = 0,09. \quad (3)$$

Решив уравнение (3), получаем

$$s = \frac{0,1 \cdot 2,965}{1 - 0,1} \approx 0,33 \text{ мм.}$$

Конкретизируем расстояние между пластинами корпуса:

$$b = 2,965 + s = 2,965 + 0,33 = 3,295 \text{ мм.}$$

Длина полоска НО

$$l = \frac{\lambda}{4 \cdot \sqrt{\epsilon_r}} = \frac{136,364}{4 \cdot \sqrt{2,5}} = 21,56 \approx 22 \text{ мм,}$$

где длина волны

$$\lambda = \frac{c}{f_0} = \frac{3 \cdot 10^8}{2,2 \cdot 10^9} \approx 136,364 \text{ мм.}$$

Ширина полоска НО

$$w = 0,44b = 0,44 \cdot 3,295 = 1,45 \text{ мм.}$$

Ширина подводящих линий

$$w_0 = 0,81b = 0,81 \cdot 3,295 = 2,67 \text{ мм.}$$

Минимальное расстояние между корпусом и ближайшей линией

$$D_{\min} = 2b = 2 \cdot 3,295 = 6,59 \text{ мм.}$$

Выходные контакты матрицы Батлера для сочленения с излучателями должны быть размещены на расстоянии полволны в воздухе:

$$l_{\text{вых}} = \frac{\lambda}{2} \approx 68 \text{ мм.}$$

## 2. Компьютерное моделирование базовых печатных фрагментов топологии 4-лучевой ФАР

В этом разделе описаны основные этапы компьютерного моделирования печатных фрагментов, таких как направленный ответвитель, пересечение линий передачи, разводка под антенное полотно, матрица Батлера 4×4 и печатный излучатель.

### 2.1 Направленный ответвитель

Топология модели представлена на рис. 4 (светло-серый цвет – линии на лицевой стороне пленки, темно-серый цвет – линии на обратной стороне пленки).

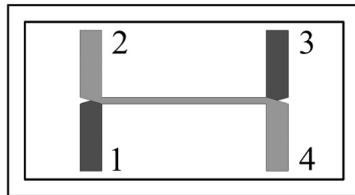


Рис. 4 – Топология направленного ответвителя

Fig. 4 – Directional coupler topology

В результате компьютерного моделирования и оптимизации геометрических размеров получили результаты затуханий в направленном ответвителе, находящиеся на рис. 5, где черный график –  $S_{21}$ , а серый –  $S_{31}$ , а также график разностей набега фаз между  $S_{21}$  и  $S_{31}$ , представленный на рис. 6.

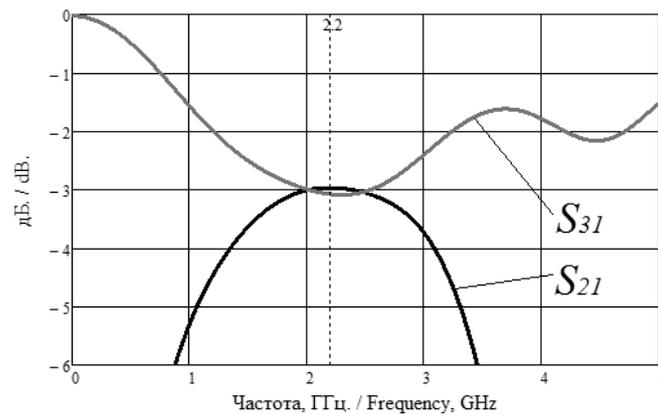


Рис. 5 – Графики затуханий

Fig. 5 – Attenuation graphs

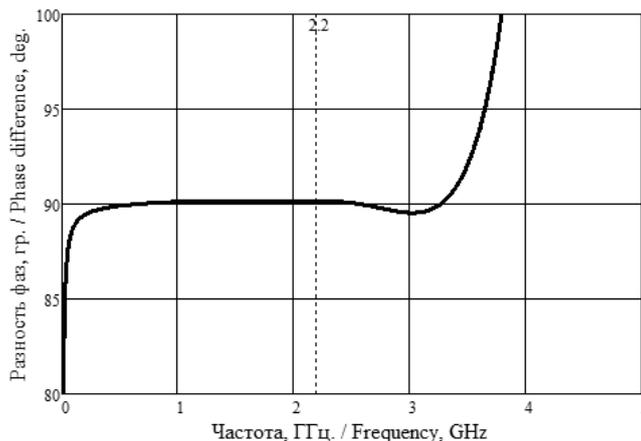


Рис. 6 – Разность набега фаз

Fig. 6 – Phase difference

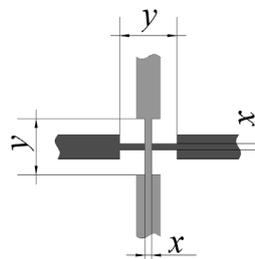
Анализируя графики, получаем вывод о том, что направленный ответитель пригоден для использования в полосе частот 1,9...2,6 ГГц.

**2.2. Узел пересечения печатных линий передачи**

В разделе представлен узел пересечения линий с противоположных сторон пленки. Хотя гальванический контакт и отсутствует, но из-за емкости взаимного перекрытия появляются искажения на используемой нами частоте. Основываясь на результатах из [9], было принято решение сделать подобную реализацию. На рис. 7 показано, оперируя какими размерами были улучшены характеристики.

Рис. 7 – Изменяемые размеры

Fig. 7 – Resizable dimensions



Размеры были подобраны при помощи программной оптимизации и составили:  $x = 0,4$  мм,  $y = 2,6$  мм. Согласно этим размерам на рис. 8 представлена топология этого пересечения.

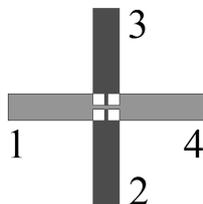


Рис. 8 – Топология пересечения

Fig. 8 – Intersection topology

На рис. 9 видны затухания в исследуемом узле (черная сплошная линия –  $S_{11}$ , серая сплошная линия –  $S_{21}$  ( $S_{31}$ ), черная пунктирная линия –  $S_{41}$ ), слева – до изменений, справа – после изменений.

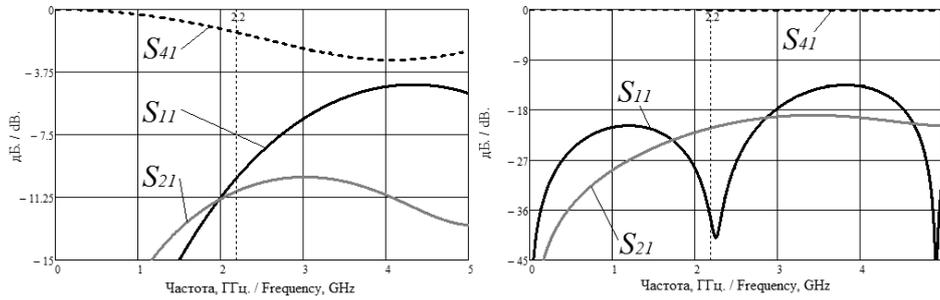


Рис. 9 – Графики затуханий

Fig. 9 – Attenuation graphs

### 2.3. Разводка под антенное полотно

Разводка под антенное полотно была выполнена отдельным этапом, так как требует особого внимания при моделировании из-за существенного влияния на диаграммы направленности ФАР. Согласно расчетам и программной оптимизации получилась топология, представленная на рис. 10. Геометрические размеры элемента составили 219,6×41,8×3,16 мм.

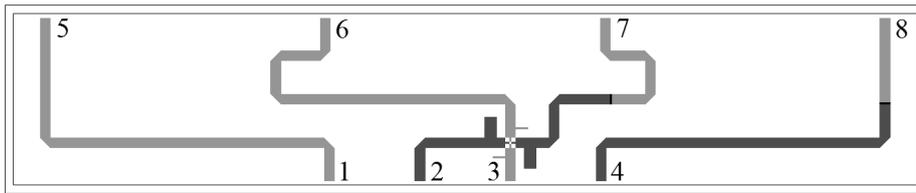


Рис. 10 – Топология разводки

Fig. 10 – Layout topology

Результаты затуханий, полученные в ходе компьютерного моделирования, представлены на рис. 11, где сплошная черная линия –  $S_{51}$  ( $S_{84}$ ), черная пунктирная –  $S_{63}$ , серая сплошная –  $S_{72}$ .

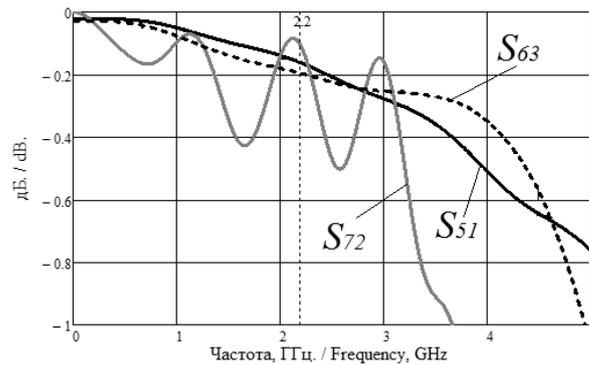


Рис. 11 – Графики затуханий

Fig. 11 – Attenuation graphs

Результаты получились приемлемыми, поэтому переходим к следующему этапу.

**2.4. Матрица Батлера 4×4**

После сочленения всех составляющих частей получилась топология матрицы, представленная на рис. 12. Геометрические размеры модели составили 219,6×73,6×3,16 мм.

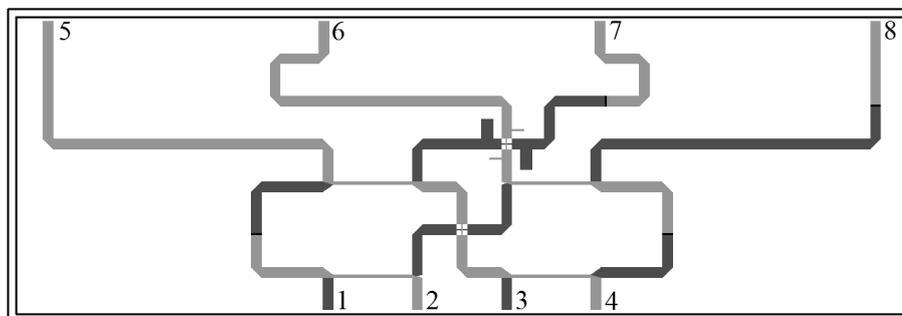


Рис. 12 – Топология матрицы Батлера 4×4

Fig. 12 – Butler 4×4 matrix topology

На рис. 13 показаны затухания в трактах передачи матрицы.

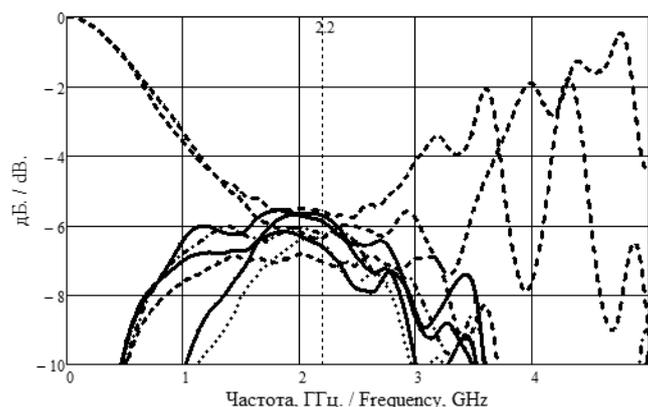


Рис. 13 – Графики ослаблений

Fig. 13. Attenuation graphs

В табл. 1 суммировано подробное описание значений согласования, отражения и затуханий в трактах передачи.

Таблица 1 / Table 1

**Подробные результаты моделирования  
Detailed simulation results**

	Входы			
	1	2	3	4
S1	-29,44	-25,11	-24,97	-14,27
S2	-25,11	-20,56	-15,04	-28,95
S3	-25,11	-14,96	-18,65	-26,17
S4	-14,27	-28,95	-26,34	-27,1
S5	-5,72	-6,63	-6,21	-6,26

Окончание табл./ And table

		Входы			
		1	2	3	4
S6		-5,89	-6,51	-6,52	-6,14
S7		-7,04	-5,6	-5,71	-6,85
S8		-6,36	-6,22	-6,6	-5,7
КСВН		1,07	1,21	1,26	1,09
		Разность фаз между выходами $\psi$ , °			$\psi_{\text{геор}}$ , °
		5-6	6-7	7-8	
Выходы	1	-50,49	-37,23	-43,67	-45
	2	+130,45	+141,34	+131,21	+135
	3	-144,72	-128,66	-132,7	-135
	4	+42,57	+49,69	+36,86	+45

В результате получили модель с хорошим согласованием по входам (КСВН не хуже 1,26), затуханием в прямом тракте  $-6,32 \pm 0,72$  дБ и с максимальным отклонением разности фаз от идеального значения  $9,72^\circ$ . Результаты получились приемлемые, поэтому переходим к следующему разделу.

### 2.5. Излучатель

Было принято решение использовать усовершенствованный печатный дипольный излучатель [6], топология которого изображена на рис. 14.

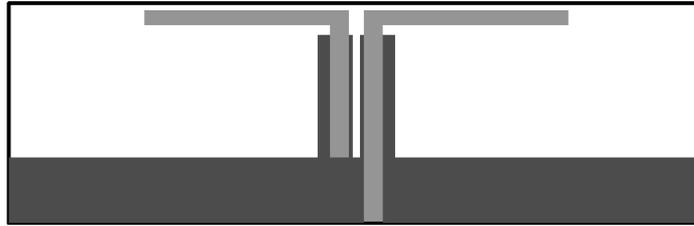


Рис. 14 – Топология излучателя

Fig. 14 – Radiator topology

Результаты моделирования представлены на рис. 15 и 16. Их можно классифицировать как вполне приемлемые.

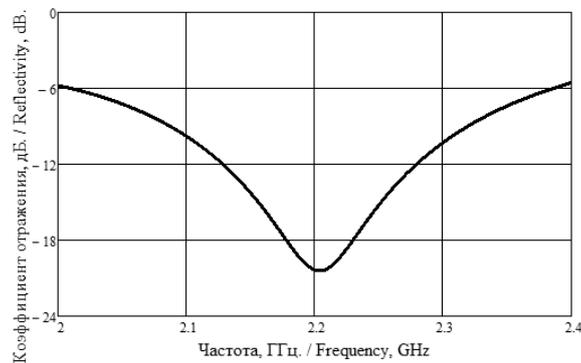


Рис. 15 – График согласования

Fig. 15 – Correlation graph

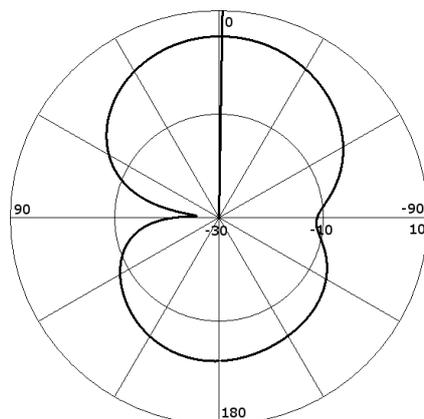


Рис. 16 – Диаграмма направленности  
 Fig. 16 – Radiation pattern

**2.6. 4-лучевая ФАР**

Объединив матрицу Батлера 4×4 и антенное полотно, состоящее из четырех излучателей, получим модель, топология которой представлена на рис. 17. Геометрические размеры модели составили 282×94,8×3,16 мм.

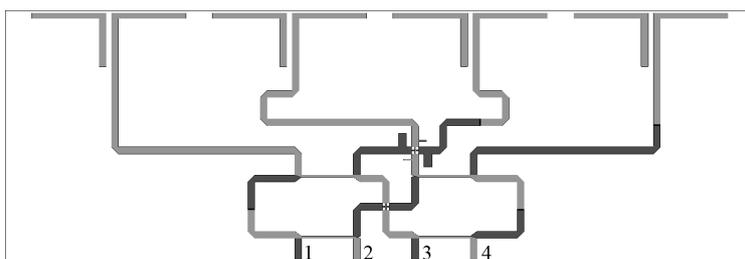


Рис. 17 – Топология 4-лучевой ФАР  
 Fig. 17 – Four-beam phased array antenna topology

В табл. 2 представлены подробные значения результатов моделирования.

Таблица 2 / Table 2

**Подробные результаты моделирования  
 Detailed simulation results**

	Входы			
	1	2	3	4
S1	-21,17	-24,08	-12,34	-6,45
S2	-23,02	-17,25	-4,7	-14,66
S3	-11,9	-4,5	-20,18	-22,57
S4	-6,71	-14,65	-20,56	-16,82
КСВН	1,19	1,31	1,22	1,34
$\varphi_{\text{теор}}, ^\circ$	+14,5	-48,6	+48,6	-14,5
$\varphi, ^\circ$	+13	-36	+37	-10
Отклонение, $^\circ$	1,5	12,6	11,6	4,5

На рис. 18 изображены диаграммы направленности моделируемой ФАР.

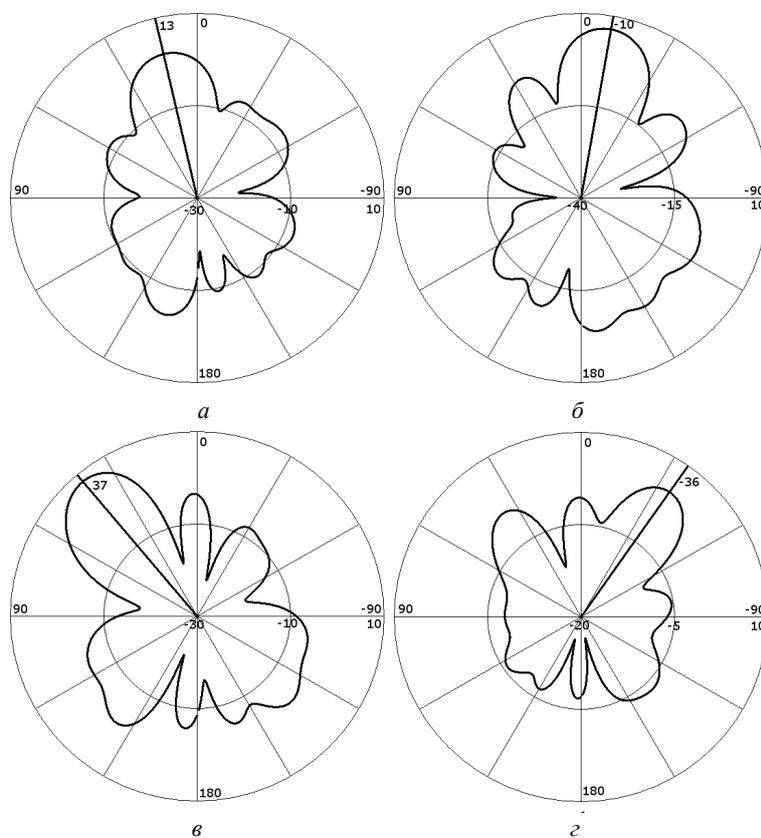


Рис. 18 – Диаграммы направленности лучей:

$a$  – 1R;  $б$  – 1L,  $в$  – 2R;  $г$  – 2L

Fig. 18 – Beam radiation patterns:

$a$  – 1R;  $b$  – 1L;  $c$  – 2R;  $d$  – 2L

На рис. 19 расположены графики КСВН.

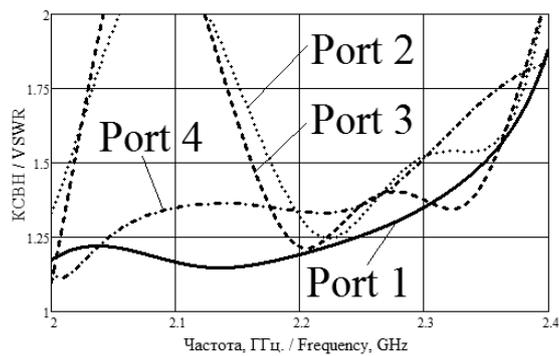


Рис. 19 – Графики КСВН портов модели

Fig. 19 – Graphs of the VSWR port mode

Полученные результаты были использованы для реализации печатной 4-лучевой ФАР на двухсторонне фольгированной пленке (рис. 20).

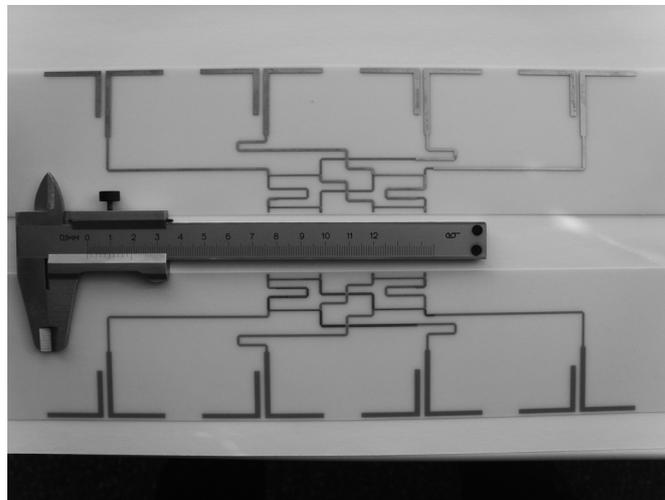


Рис. 20 – Фотография 4-лучевой ФАР

Fig. 20 – A four-beam phased array antenna photo

После оформления несущего металлического корпуса ФАР и использования разъемов серии SMA (Sub Miniature version A) были проведены измерения, которые подтвердили корректность результатов моделирования. Расхождения между экспериментальными и компьютерными значениями находились в пределах, определяемых уровнем диссипативных (джоулевых) потерь в проводниках и диэлектрике, разбросом значений диэлектрической проницаемости заготовок в партии листов и у различных фирм-изготовителей, зависимостью диэлектрической проницаемости от направления стекловолокна, армирующего диэлектрик, конечной разрешающей способностью технологического процесса фотолитографии и химического травления медной фольги с пробельных мест двусторонне фольгированной заготовки, а также неточностью совмещения фотошаблонов лицевой и обратной стороны всей печатной платы ФАР.

### Заключение

Представленные в работе результаты эскизного проектирования 4-лучевой ФАР с матрицей Батлера на связанных полосковых линиях свидетельствуют о том, что описанная стратегия формирования печатной платы всей ФАР из отдельных, предварительно отработанных, печатных фрагментов оправдала себя. Эту стратегию можно рекомендовать при проектировании печатных дипольных многолучевых ФАР с числом лучей 8, 16, 32 и т. д.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Проектирование фазированных антенных решеток / под ред. Д.И. Воскресенского. – М.: Радиотехника, 2012. – 744 с.
2. **Balanis C.A.** Antenna theory: analysis and design. – 4<sup>th</sup> ed. – Hoboken, NJ: Wiley, 2016. – 1072 p.
3. **Ding K., Kishk A.A.** 2-D Butler matrix and phase-shifter group // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2018. – Vol. 66, N 12. – P. 5554–5562.

4. A cost-effective wideband switched beam antenna system for a small cell base station / P.I. Bantavis, C.I. Kolitsidas, T. Empliouk, M.L. Roy, B.L.G. Jonsson, G.A. Kyriacou // *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. – 2018. – Vol. 66, N 12. – P. 6851–6861.
5. Матричные схемы Батлера СВЧ-диапазона / Н.Н. Щетинин, Р.Н. Андреев, М.Ю. Чепелев, В.А. Мельник // *Вестник Воронежского государственного технического университета*. – 2012. – № 10-1. – С. 78–85.
6. **Алексейцев С.А., Горбачев А.П., Тарасенко Н.В.** Модифицированные печатные двухдиапазонные дипольные излучатели // *Вестник Концерна ВКО «Алмаз-Антей»*. – 2017. – № 3. – С. 46–50.
7. **Горбачев А.П.** Синтез микроволновых устройств на связанных линиях передачи. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. – 414 с.
8. **Горбачев А.П.** Многоэлементные направленные ответвители и их применение в радиотехнике: учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1996. – 110 с.
9. Low-loss compact Butler matrix for a microstrip antenna / M. Bona, L. Manholm, J.P. Starski, B. Svensson // *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. – 2002. – Vol. 50, N 9. – P. 2069–2075.

## DESIGN OF A 4-BEAM PRINTED PHASED ANTENNA ARRAY WITH A BATLER MATRIX

**Gorbachev A.P., Parshin Y.N.**

*Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation*

This paper is devoted to the analysis, calculation, and design of a printed 4×4 Butler matrix, which is a part of a 4-beam phased antenna array designed to operate at a frequency of 2.2 GHz. The development of the model was carried out by the strategy “from simple to complex” in the following sequence: a three-channel directional coupler; a node for smoothing a negative impact of the intersection of connecting microstrip lines on opposite sides of the board, wiring for an antenna pattern, a 4x4 Butler matrix, an emitter and a 4-beam phased antenna array.

*Keywords:* Butler matrix, directional coupler, phased array, radiator.

DOI: 10.17212/1727-2769-2019-3-34-47

### REFERENCES

1. Voskresenskii D.I., ed. *Proektirovanie fazirovannykh antennykh reshetok* [Designing phased antenna arrays]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2012. 744 p.
2. Balanis C.A. *Antenna theory: analysis and design*. 4<sup>th</sup> ed. Hoboken, NJ, Wiley, 2016. 1072 p.
3. Ding K., Kishk A.A. 2-D Butler matrix and phase-shifter group. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 2018, vol. 66, no. 12, pp. 5554–5562.
4. Bantavis P.I., Kolitsidas C.I., Empliouk T., Roy M.L., Jonsson B.L.G., Kyriacou G.A. A cost-effective wideband switched beam antenna system for a small cell base station. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2018, vol. 66, no. 12, pp. 6851–6861.
5. Schetinin N.N., Andreev R.N., Chepelev M.Yu., Melnik V.A. Matrichnye skhemy Batlera SVCh-diapazona [Microwave Butler matrix schemes]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – The Bulletin of Voronezh State Technical University*, 2012, no. 10-1, pp. 78–85.
6. Alekseitsev S.A., Gorbachev A.P., Tarasenko N.V. Modifitsirovannye pechatnye dvukhdia-pazonnye dipol'nye izluchateli [Modified printed dual-band dipole emitters]. *Vestnik Kon-cерна VKO "Almaz-Antei" – Concern's Bulletin VKO "Almaz-Antey"*, 2017, no. 3, pp. 46–50.
7. Gorbachev A.P. Sintez mikrovolnovykh ustroystv na svyazannykh liniyakh peredachi [Synthesis of microwave devices based on coupled transmission lines]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2010. 414 p.
8. Gorbachev A.P. *Mnogoelementnye napravlennye otvetviteli i ikh primeneniye v radiotekhnike* [Multiple directional otvetviteli and their application in radio engineering]. Novosibirsk, NSTU Publ., 1996. 110 p.

9. Bona M., Manholm L., Starski J.P., Svensson B. Low-loss compact Butler matrix for a microstrip antenna. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 2002, vol. 50, no. 9, pp. 2069–2075.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



**Горбачев Анатолий Петрович** – родился в 1951 году, д-р техн. наук по специальности 05.12.21 (номенклатура специальностей 1999 года), профессор кафедры радиоприемных и радиопередающих устройств, аттестат доцента по кафедре конструирования и технологии радиоэлектронных средств факультета радиотехники и электроники Новосибирского государственного технического университета. Область научных интересов: радиолокация, СВЧ-устройства, фазированные антенные решетки. Опубликовано 134 научные работы, 30 патентов, пять монографий и три учебных пособия с грифом УМО. (630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20. E-mail: apgor@ngs.ru).

**Gorbachev Anatoly Petrovich** (was born in Tumen in 1951) – Doctor of Sciences (Eng.), professor, Department of Radio Receivers and Radio Transmitters, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk. His research interests include antennas, microwave devices, and phased array antennas. He is the author of more than 134 scientific papers, 30 patents, 5 monographs, and 3 manuals. Address: 20, Karl Marx Av., Novosibirsk, 630073, Russia. E-mail: apgor@ngs.ru).



**Паршин Юрий Николаевич** – родился 26 августа 1994 года в Сарканде, Казахстан. Аспирант кафедры радиоприемных и радиопередающих устройств факультета радиотехники и электроники Новосибирского государственного технического университета. Область научных интересов: печатные фазированные антенные решетки. Опубликовано 8 научных работ. (630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20. E-mail: jurparnik@mail.ru).

**Parshin Yury Nikolayevich** was born on August 26, 1994 in Sarkand, Kazakhstan, a post-graduate student, Department of Radio Receivers and Radio Transmitters, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk. His research interests include printed phased antenna arrays. He is the author of 8 scientific papers. Address: 20, Karl Marx Av., Novosibirsk, 630073, Russia. E-mail: jurparnik@mail.ru).

Статья поступила 09 мая 2019  
Received May 09, 2019

## To Reference:

Gorbachev A.P., Parshin Y.N. Proektirovanie 4-luchevoi pechatnoi fazirovannoi antennoi reshetki s matritsei Batlera [Design of a 4-beam printed phased antenna array with a Batler matrix]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii – Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2019, no. 3 (44), pp. 34–47. DOI: 10.17212/1727-2769-2019-3-34-47.