

УДК 621.396.67

## ФАЗИРОВАННЫЕ ЛИНЕЙНЫЕ АНТЕННЫЕ РЕШЕТКИ РАМОЧНЫХ АНТЕНН С УПРАВЛЯЕМОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ

В.В. КЕДА

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь*

*Поступила в редакцию 8 января 2018*

**Аннотация.** Рассмотрена возможность использования разработанных компактных рамочных антенн с управляемой поляризацией в качестве излучателей линейных фазированных антенных решеток. Приведенные в работе результаты могут быть использованы при разработке фазированных антенных решеток.

*Ключевые слова:* рамочная антенна, управление поляризацией, фазированная антенная решетка.

**Abstract.** The possibility of using of designed compact loop antennas with controllable polarization as linear phased array antenna element is considered. The obtained results can be used in designing of phased antenna arrays.

*Keywords:* loop antenna, polarization control, phased array antenna.

**Doklady BGUIR. 2018, Vol. 113, No. 3, pp. 47-53**

**Linear phased array of loop antennas with controllable polarization**

**U.V. Keda**

### Введение

Использование управляемой поляризации в радиотехнических системах значительно расширяет их возможности и помехозащищенность [1]. Для излучения и приема волн с управляемой поляризацией в диапазоне метровых и дециметровых волн нашли применение антенны в виде перпендикулярно расположенных вибраторов с развязанными входами [2]. Вместе с тем рамочные антенны по сравнению с вибраторными более широкополосны, обладают более высоким коэффициентом направленного действия и меньшими размерами. Управление поляризацией путем возбуждения антенны по двум развязанным входам возможно в шунтовой рамочной антенне [3–5], однако такая антенна имеет высокое входное сопротивление, в том числе и заметную его реактивную составляющую, что затрудняет ее согласование. В работах [6, 7] описаны рамочные антенны, в которых управление поляризацией осуществляется путем переключения их входов, однако в этих антеннах присутствует заметное излучение поля с кроссполяризацией, обусловленное несимметричной конструкцией согласующих элементов относительно Н-плоскости. Указанные недостатки были устранены в двухвходовой рамочной антенне, описанной в [8, 9], путем замены несимметричных согласующих элементов симметричными. В работе [10] рассмотрена модификация антенны, описанной в [8, 9], в которой благодаря добавлению дополнительной согласующей рамки удалось расширить ее рабочий диапазон. В статье [11] проведено уточнение размеров антенны, полученных в работе [10], путем использования трех программ численного моделирования, а также рассмотрена возможность применения разработанной антенны в качестве излучателя линейной синфазной антенной решетки. В работе [12] описан новый вариант двухвходовой рамочной антенны, обладающей минимальными размерами и максимальной, из всех выше перечисленных вариантов, рабочей полосой частот.

Настоящая статья является продолжением работ [6–12]. Целью работы является исследование возможности применения двухвходовой антенны [12] в качестве излучателя линейных фазированных антенных решеток с управляемой поляризацией. Расчет характеристик антенных решеток производился в программе CST MICROWAVE STUDIO. Для расчета характеристик решеток был выбран метод интегральных уравнений с использованием тонкопроволочной модели тока в проводниках [13]. Результаты, полученные в предыдущих работах [11, 12], подтверждают возможность использования названной программы и метода.

### Конструкция излучателя

Конструктивно антенна [12, рис. 1, 2] состоит из активной излучающей рамки с двумя развязанными входами – [12, рис. 1] ( $in1$ ,  $in2$ ) и квадратного рефлектора. Управление поляризацией в антенне осуществляется изменением амплитуд и фаз возбуждения по входам  $in1$  и  $in2$ , что позволяет получить произвольную поляризацию. В ходе работ [6–12] выяснилось, что оптимальное согласование разработанных антенн достигается при очень близком расположении друг к другу концов близлежащих согласующих элементов. Исходя из вышесказанного, сделано предположение о необходимости обеспечивать емкостную связь между концами согласующих элементов. Для обеспечения этой связи введены дополнительные элементы связи [12, рис. 1]. Необходимая емкость между концами элементов достигается выбором длин согласующих элементов  $L_{sy}$  и элементов связи  $L_{sy2}$ .

Рассматриваемый излучатель питается через согласующе-симметрирующий трансформатор, позволяющий запитывать антенну, оптимизированную под входное сопротивление 200 Ом, коаксиальным кабелем с волновым сопротивлением 50 Ом.

### Характеристики излучателя

Для анализа изменений характеристик излучателей при их использовании в составе антенных решеток ниже приведены геометрические параметры и характеристики излучателей, полученные в работе [12]. Оптимизация размеров произведена по критерию максимальной относительной полосы частот при заданном максимальном уровне коэффициента стоячей волны (КСВ) ( $КСВ_{MAX}$ ). В качестве значений  $КСВ_{MAX}$  выбраны три значения: 1,3, 1,5 и 2,0. Размеры излучателей приведены в работе [12, табл. 1]. Диаметр элементов антенны равен 4,6 мм. При моделировании антенны рефлектор моделировался бесконечно тонким металлическим листом. На рис. 1 приведены зависимости КСВ от частоты для варианта антенны с  $КСВ_{MAX} = 1,3$  и варианта с  $КСВ_{MAX} = 1,5$ . В работе [12, рис. 5] приведена зависимость КСВ от частоты варианта с  $КСВ_{MAX} = 2,0$ . В табл. 1–4 приведены параметры рассматриваемых антенн. Параметр  $\delta F\%$  – относительная полоса частот, в которой КСВ не превышает значения  $КСВ_{MAX}$ . Параметры  $2\theta_{0,5XZ}$  и  $2\theta_{0,5YZ}$  – ширина главного лепестка диаграммы направленности (ДН) в главных плоскостях  $XZ$  и  $YZ$ .

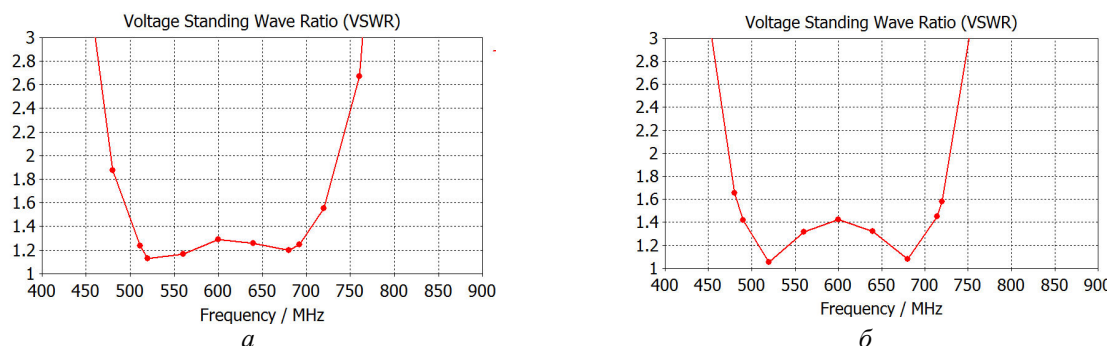


Рис. 1. Зависимость КСВ от частоты варианта с  $КСВ_{MAX} = 1,3$  (а) и варианта с  $КСВ_{MAX} = 1,5$  (б)

Таблица 1. Параметры антенны, оптимизированной под  $КСВ_{MAX} = 1,3$

$F1 = 511 \text{ МГц}$			$F2 = 600 \text{ МГц}$			$F3 = 692 \text{ МГц}$			$\delta F, \%$
КНД, дБ	$2\theta_{0,5XZ}$ , град	$2\theta_{0,5YZ}$ , град	КНД, дБ	$2\theta_{0,5XZ}$ , град	$2\theta_{0,5YZ}$ , град	КНД, дБ	$2\theta_{0,5XZ}$ , град	$2\theta_{0,5YZ}$ , град	
8,0	70	86	8,1	70	83	8,1	69	81	30

Таблица 2. Параметры антенны, оптимизированной под  $KCB_{MAX} = 1,5$

$F1 = 490 \text{ МГц}$			$F2 = 600 \text{ МГц}$			$F3 = 714 \text{ МГц}$			$\delta F, \%$
КНД, дБ	$2\theta_{0,SVZ}$ , град.	$2\theta_{0,SVZ}$ , град.	КНД, дБ	$2\theta_{0,SVZ}$ , град.	$2\theta_{0,SVZ}$ , град.	КНД, дБ	$2\theta_{0,SVZ}$ , град.	$2\theta_{0,SVZ}$ , град.	
8,0	70	86	8,0	70	84	8,0	69	81	37,1

Таблица 3. Параметры антенны, оптимизированной под  $KCB_{MAX} = 2,0$

$F1 = 434 \text{ МГц}$			$F2 = 600 \text{ МГц}$			$F3 = 772 \text{ МГц}$			$\delta F, \%$
КНД, дБ	$2\theta_{0,SVZ}$ , град.	$2\theta_{0,SVZ}$ , град.	КНД, дБ	$2\theta_{0,SVZ}$ , град.	$2\theta_{0,SVZ}$ , град.	КНД, дБ	$2\theta_{0,SVZ}$ , град.	$2\theta_{0,SVZ}$ , град.	
8,0	70	86	8,1	69	82	8,1	67	85	56

В работе [12] приведены результаты расчета ДН антенны для основной и ортогональной поляризации. Диаграмма направленности слабо зависит от частоты. Поле с ортогональной поляризацией имеет уровень ниже  $-50$  дБ.

### Характеристики фазированных антенных решеток

Цель исследования – оценка относительной рабочей полосы частот линейных антенных решеток, рассчитанных для работы в секторах сканирования от  $0$  до  $\pm 45$  градусов. Исходя из этого, рассчитаны характеристики антенных решеток с максимальными углами отклонения луча  $Q_{max}$ , равными  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $35^\circ$  и  $45^\circ$ . Количество излучателей в решетках равно 10, амплитудное распределение возбуждения излучателей равномерное, фазовое распределение линейное. Численные эксперименты показали, что рабочий диапазон (в котором КСВ не превышает заданных значений  $KCB_{MAX}$ ) рассматриваемых антенн в составе решетки более узкий, чем у одиночной антенны. Из-за этого возникает необходимость в выборе максимальной рабочей частоты решетки  $F_{max}$  ниже верхней рабочей частоты отдельного излучателя. Точное значение  $F_{max}$  может быть определено опытным путем исходя из требуемых параметров решетки. В рассматриваемых решетках выбрано две частоты  $F_{max}$ , что не достаточно, чтобы получить исчерпывающую информацию о максимально достижимой рабочей полосе частот антенных решеток. Однако приведенные ниже рабочие полосы частот решеток можно рассматривать как минимально достижимые. Расстояние  $Dx$  между соседними излучателями в решетках выбрано исходя из соблюдения условия единственности главного максимума ДН на двух частотах  $F_{max}$ , равных 690 и 660 МГц. Первая частота выбрана на верхнем краю рабочего диапазона (в котором КСВ не превышает значения 1,3) варианта излучателя с  $KCB_{MAX} = 1,3$ . Для каждой пары параметров  $Q_{max}$  и  $F_{max}$  рассмотрены решетки с тремя вариантами излучателя (параметры которых приведены в табл. 1–3), имеющими различный параметр  $KCB_{MAX}$ . В табл. 4 приведены значения  $Dx$  для рассчитанных решеток. В табл. 5–10 приведены относительные рабочие полосы частот  $\delta F_{1,5}$ ,  $\delta F_{2,0}$  и  $\delta F_{3,0}$ , при которых КСВ в излучателях решеток не превышает значения 1,5, 2,0 и 3,0. Относительные полосы частот рассчитывались для случаев возбуждения горизонтальной, вертикальной поляризации и случая, когда в антенне задействован режим с управляемой поляризацией. В табл. 11 обобщены данные из табл. 5–10. В ней содержатся наибольшие рабочие полосы частот, полученные в исследованных решетках с заданными параметрами  $Q_{max}$ . На рис. 2, 3 показаны зависимости КСВ от частоты в излучателях решетки с параметрами  $F_{max} = 660$ ,  $KCB_{MAX} = 1,3$  и  $Q_{max} = 45^\circ$  при углах отклонения луча от нормали  $Q_{scan}$ , равных  $0^\circ$  и  $45^\circ$ , и возбуждении излучения с горизонтальной и вертикальной поляризацией. Кривым Array\_SWR1...Array\_SWR10 соответствуют зависимости КСВ от частоты для излучателей с номерами от 1 до 10. На рис. 4, 5 показаны ДН названной решетки для основной поляризации для случаев возбуждения горизонтальной и вертикальной поляризации. Уровни ДН с ортогональной поляризацией почти совпадают с соответствующими значениями для отдельных излучателей.

Из результатов моделирования следует, что разработанная антенна может быть использована в антенных решетках с управляемой поляризацией и широкоугольным сканированием. В линейных решетках из разработанных антенн согласование излучателей в режиме излучения вертикальной поляризации лучше, чем в режиме горизонтальной. Чем уже сектор сканирования, тем выше может быть выбран КСВ одиночного излучателя в рабочей полосе частот. С расширением сектора сканирования требования к согласованию отдельного излучателя ужесточаются. Полученные результаты позволяют выбрать необходимые параметры согласования излучателя в зависимости от требуемого сектора сканирования и рабочей полосы частот решетки.

Таблица 4. Параметры  $Dx$  исследованных решеток

$Q_{max}$ , град.	0	15	25	35	45
$F_{max} = 660$ МГц	$Dx = 405$ мм	$Dx = 320$ мм	$Dx = 280$ мм	$Dx = 255$ мм	$Dx = 235$ мм
$F_{max} = 690$ МГц	$Dx = 390$ мм	$Dx = 310$ мм	$Dx = 275$ мм	$Dx = 245$ мм	$Dx = 225$ мм

Таблица 5. Относительная рабочая полоса частот решеток с  $F_{max} = 660$  и  $KCB_{MAX} = 1,3$

Максимальный угол отклонения луча от нормали к решетке	$\delta F_{1,5}$ , %			$\delta F_{2,0}$ , %			$\delta F_{3,0}$ , %		
	Горизонтальная поляризация	Вертикальная поляризация	Обе	Горизонтальная поляризация	Вертикальная поляризация	Обе	Горизонтальная поляризация	Вертикальная поляризация	Обе
$Q_{max} = 0^\circ$	21	25	21	30	30	30	37	35	35
$Q_{max} = 15^\circ$	1	24	1	30	30	30	36	35	35
$Q_{max} = 25^\circ$	–	9	–	13	29	13	35	34	34
$Q_{max} = 35^\circ$	–	–	–	4	27	4	33	33	33
$Q_{max} = 45^\circ$	–	–	–	–	–	–	26	26	26

Таблица 6. Относительная рабочая полоса частот решеток с  $F_{max} = 690$  и  $KCB_{MAX} = 1,3$

Максимальный угол отклонения луча от нормали к решетке	$\delta F_{1,5}$ , %			$\delta F_{2,0}$ , %			$\delta F_{3,0}$ , %		
	Горизонтальная поляризация	Вертикальная поляризация	Обе	Горизонтальная поляризация	Вертикальная поляризация	Обе	Горизонтальная поляризация	Вертикальная поляризация	Обе
$Q_{max} = 0^\circ$	25	29	25	35	35	35	41	40	40
$Q_{max} = 15^\circ$	–	28	–	34	34	34	41	39	39
$Q_{max} = 25^\circ$	–	6	–	16	33	16	40	38	38
$Q_{max} = 35^\circ$	–	–	–	–	31	–	38	37	37
$Q_{max} = 45^\circ$	–	–	–	–	4	–	11	32	11

Таблица 7. Относительная рабочая полоса частот решеток с  $F_{max} = 660$  и  $KCB_{MAX} = 1,5$

Максимальный угол отклонения луча от нормали к решетке	$\delta F_{1,5}$ , %			$\delta F_{2,0}$ , %			$\delta F_{3,0}$ , %		
	Горизонтальная поляризация	Вертикальная поляризация	Обе	Горизонтальная поляризация	Вертикальная поляризация	Обе	Горизонтальная поляризация	Вертикальная поляризация	Обе
$Q_{max} = 0^\circ$	25	27	25	32	32	32	38	36	36
$Q_{max} = 15^\circ$	7	27	7	32	32	32	38	36	36
$Q_{max} = 25^\circ$	1	4	1	16	31	16	37	36	36
$Q_{max} = 35^\circ$	–	–	–	3	29	3	35	34	34
$Q_{max} = 45^\circ$	–	–	–	–	–	–	7	28	7

Таблица 8. Относительная рабочая полоса частот решеток с  $F_{max} = 690$  и  $KCB_{MAX} = 1,5$

Максимальный угол отклонения луча от нормали к решетке	$\delta F_{1,5}$ , %			$\delta F_{2,0}$ , %			$\delta F_{3,0}$ , %		
	Горизонтальная поляризация	Вертикальная поляризация	Обе	Горизонтальная поляризация	Вертикальная поляризация	Обе	Горизонтальная поляризация	Вертикальная поляризация	Обе
$Q_{max} = 0^\circ$	25	29	25	35	34	34	41	40	40
$Q_{max} = 15^\circ$	11	28	10	33	35	34	41	39	39
$Q_{max} = 25^\circ$	5	7	4	19	35	19	41	40	40
$Q_{max} = 35^\circ$	1	–	–	7	33	7	40	39	39
$Q_{max} = 45^\circ$	–	–	–	1	1	1	9	33	9

Таблица 9. Относительная рабочая полоса частот решеток с  $F_{max} = 660$  и  $KCB_{MAX} = 2,0$

Максимальный угол отклонения луча от нормали к решетке	$\delta F_{1,5}$ , %			$\delta F_{2,0}$ , %			$\delta F_{3,0}$ , %		
	Горизонтальная поляризация	Вертикальная поляризация	Обе	Горизонтальная поляризация	Вертикальная поляризация	Обе	Горизонтальная поляризация	Вертикальная поляризация	Обе
$Q_{max} = 0^\circ$	–	–	–	37	40	37	46	36	36
$Q_{max} = 15^\circ$	–	–	–	–	5	–	45	44	44
$Q_{max} = 25^\circ$	–	–	–	–	–	–	19	44	19
$Q_{max} = 35^\circ$	–	–	–	–	–	–	6	43	6
$Q_{max} = 45^\circ$	–	–	–	–	–	–	–	15	–

Таблица 10. Относительная рабочая полоса частот решеток с  $F_{max} = 660$  и  $KCB_{MAX} = 2,0$

Максимальный угол отклонения луча от нормали к решетке	$\delta F_{1,5}, \%$			$\delta F_{2,0}, \%$			$\delta F_{3,0}, \%$		
	Горизонтальная поляризация	Вертикальная поляризация	Обе	Горизонтальная поляризация	Вертикальная поляризация	Обе	Горизонтальная поляризация	Вертикальная поляризация	Обе
$Q_{max} = 0^\circ$	1	3	1	39	44	39	51	50	50
$Q_{max} = 15^\circ$	–	–	–	4	8	4	50	49	49
$Q_{max} = 25^\circ$	–	–	–	–	13	–	20	48	20
$Q_{max} = 35^\circ$	–	–	–	–	–	–	4	47	4
$Q_{max} = 45^\circ$	–	–	–	–	–	–	8	7	7

Таблица 11. Максимальные достигнутые относительные рабочие полосы частот рассчитанных решеток

Максимальный угол отклонения луча от нормали к решетке	$\delta F_{1,5}, \%$			$\delta F_{2,0}, \%$			$\delta F_{3,0}, \%$		
	Горизонтальная поляризация	Вертикальная поляризация	Обе	Горизонтальная поляризация	Вертикальная поляризация	Обе	Горизонтальная поляризация	Вертикальная поляризация	Обе
$Q_{max} = 0^\circ$	25	29	25	39	44	39	51	50	50
$Q_{max} = 15^\circ$	11	28	10	34	35	34	50	49	49
$Q_{max} = 25^\circ$	5	9	4	19	35	19	41	48	40
$Q_{max} = 35^\circ$	1	–	–	7	33	4	40	47	39
$Q_{max} = 45^\circ$	–	–	–	1	4	1	26	33	26

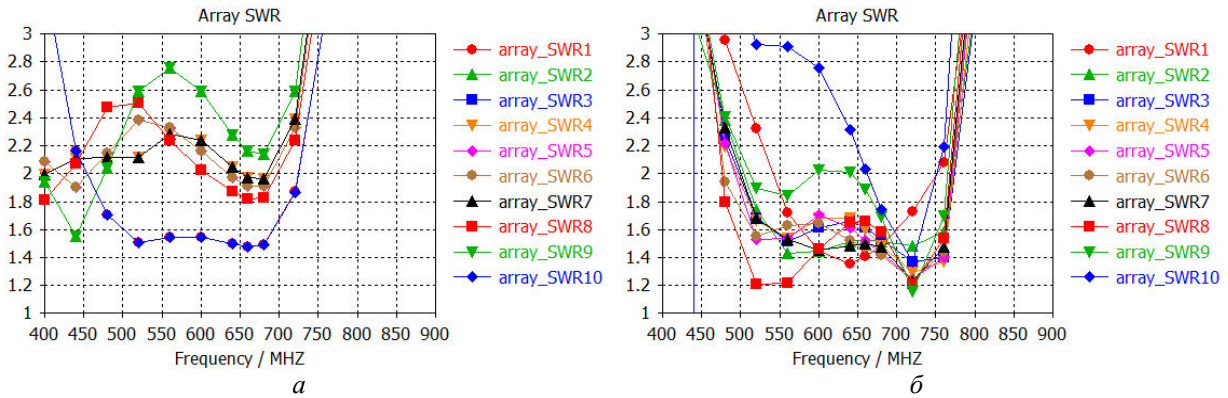


Рис. 2. Зависимость КСВ от частоты в излучателях варианта решетки с параметрами  $F_{max} = 660$ ,  $KCB_{MAX} = 1,3$  и  $Q_{max} = 45^\circ$  при  $Q_{scan} = 0^\circ$  (а) и  $Q_{scan} = 45^\circ$  (б) и возбуждении горизонтальной поляризации

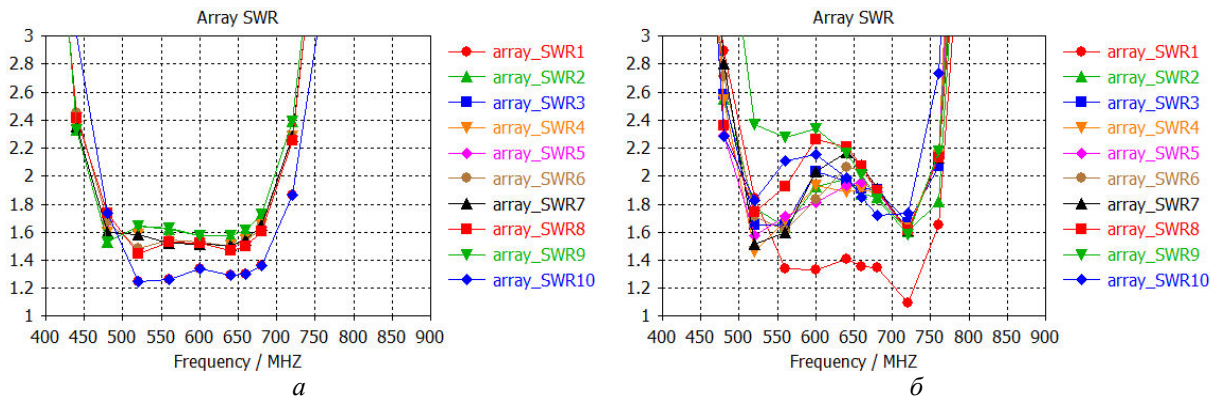


Рис. 3. Зависимость КСВ от частоты в излучателях варианта решетки с параметрами  $F_{max} = 660$ ,  $KCB_{MAX} = 1,3$  и  $Q_{max} = 45^\circ$  при  $Q_{scan} = 0^\circ$  (а) и  $Q_{scan} = 45^\circ$  (б) и возбуждении вертикальной поляризации

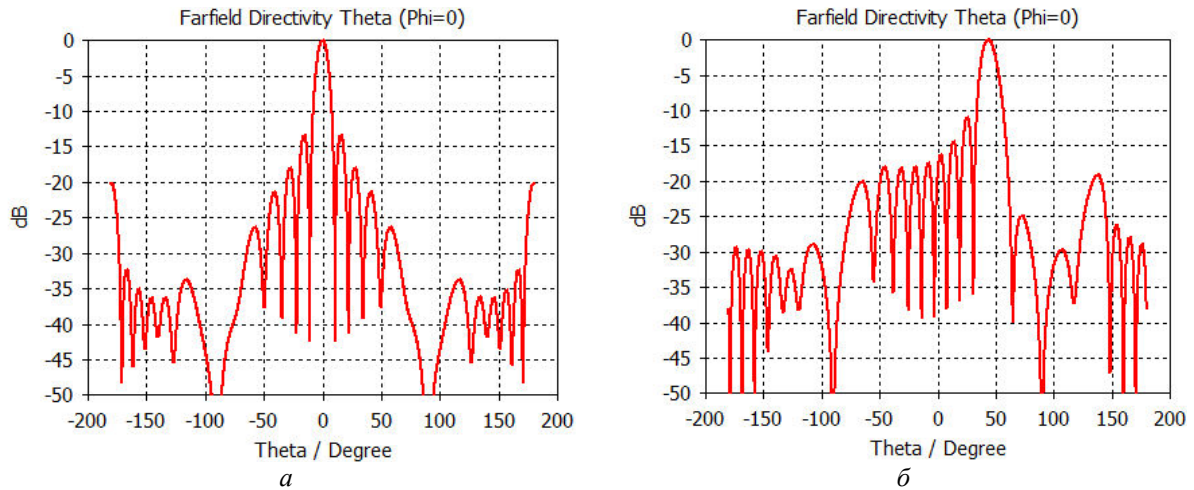


Рис. 4. ДН варианта решетки с параметрами  $F_{max} = 660$ ,  $KCB_{MAX} = 1,3$  и  $Q_{max} = 45^\circ$  при  $Q_{scan} = 0^\circ$  (а) и  $Q_{scan} = 45^\circ$  (б) и возбуждении горизонтальной поляризации

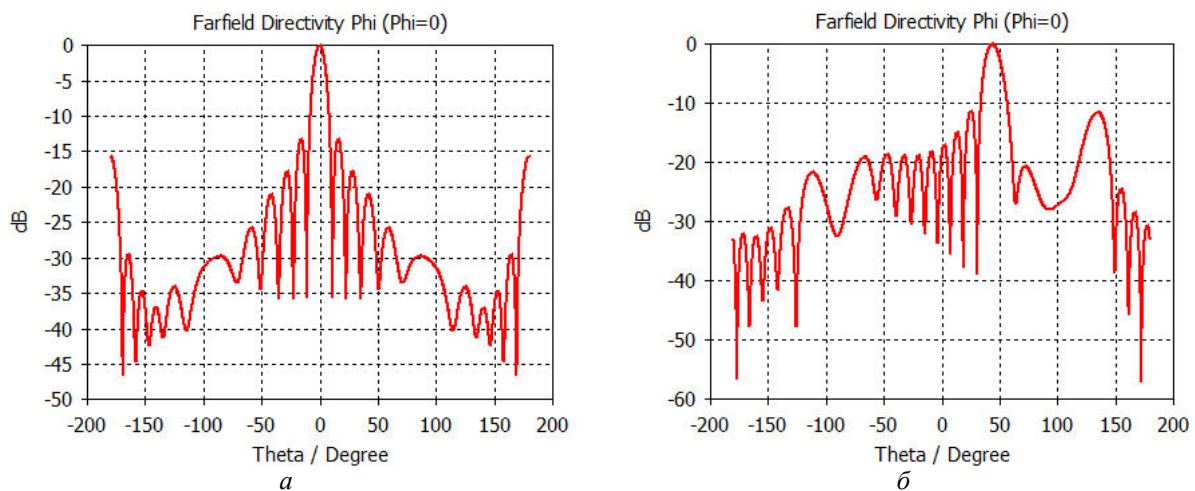


Рис. 5. ДН варианта решетки с параметрами  $F_{max} = 660$ ,  $KCB_{MAX} = 1,3$  и  $Q_{max} = 45^\circ$  при  $Q_{scan} = 0^\circ$  (а) и  $Q_{scan} = 45^\circ$  (б) и возбуждении вертикальной поляризации

### Заключение

Исследование показало возможность применения разработанного излучателя в составе фазированных антенных решеток с управляемой поляризацией и широкоугольным сканированием. Полученные результаты позволяют выбрать необходимые параметры согласования излучателя в зависимости от требуемого сектора сканирования решетки и рабочей полосы частот антенной решетки.

### Список литературы

1. Канарейкин Д.Б. Павлов Н.Ф., Потехин В.А. Поляризация радиолокационных сигналов. М.: Сов. радио, 1966. 439 с.
2. Mailloux R.J. Phased Array Antenna Handbook. Artech house, 2005. 515 p.
3. Ротхаммель К., Кришке А. Антенны: в 2 т. М.: Данвел, 2007. Т. 2. С.177–178.
4. Григоров И.Н. Практические конструкции антенн. М.: ДМК Пресс, 2005. 352 с.
5. Колчев Г.И. УКВ антенна с управляемой поляризацией поля // Радиоаматор. 2005. № 4 (140). С. 47.
6. Юрцев О.А., Бобков Ю.Ю., Кеда В.В. Новая модификация рамочной антенны // Докл. БГУИР. 2015. № 6. С. 30–35.
7. Кеда В.В., Бобков Ю.Ю., Юрцев О.А. Рамочная антенна с переключаемой поляризацией // Матер. XIII Междунар. науч.-техн. конф. «Физика и технические приложения волновых процессов». Казань, 21–25 сент. 2015 г. С. 60.

8. Кедя В.В., Рубаник А.В., Турук Г.П. Рамочная антенна с управляемой поляризацией // Электроника инфо. 2016. № 6 (132). С. 53–58.
9. Кедя В.В., Садовский И.С., Юрцев О.А. Двухходные рамочные антенны с низким уровнем поля с ортогональной поляризацией // Матер. XXI междунар. науч.-техн. конф. «Радиолокация, навигация, связь». Воронеж, 19–21 апреля 2016 г. С. 794–801.
10. Кедя В.В. Новая конструкция рамочной антенны // Матер. IV Всеросс. микроволновой конф. Москва, 23–25 нояб. 2016 г. С. 54–58.
11. Кедя В.В. Линейная антенная решетка рамочных излучателей с переключаемой поляризацией // Матер. 7-й междунар. науч. конф. по военно-техническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения: сборник научных статей. Ч. 2. Минск, 20–22 мая 2017 г. С. 111–120.
12. Кедя В.В. Широкополосная компактная рамочная антенна с управляемой поляризацией // Докл. БГУИР. 2018. № 1 (111). С. 5–11.
13. Вычислительные методы в электродинамике / Под ред. Р. Митры. М.: Мир, 1977. 494 с.

### References

1. Kanarejkin D.B. Pavlov N.F., Potehin V.A. Poljarizacija radiolokacionnyh signalov. M.: Sov. radio, 1966. 439 s. (in Russ.)
2. Mailloux R.J. Phased Array Antenna Handbook. Artech house, 2005. 515 p.
3. Rothammel' K., Krishke A. Antenny: v 2 t. M.: Danvel, 2007. T. 2. S. 177–178. (in Russ.)
4. Grigorov I.N. Prakticheskie konstrukcii antenn. M.: DMK Press, 2005. 352 s. (in Russ.)
5. Kolchev G.I. UKV antenna s upravljaemoj poljarizaciej polja // Radioamator. 2005. № 4 (140). S. 47. (in Russ.)
6. Jurcev O.A., Bobkov Ju.Ju., Keda V.V. Novaja modifikacija ramochnoj anteny // Dokl. BGUIR. 2015. № 6. S. 30–35. (in Russ.)
7. Keda V.V., Bobkov Ju.Ju., Jurcev O.A. Ramochnaja antenna s pereklyuchaemoj poljarizaciej // Mater. XIII Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. «Fizika i tehniicheskie prilozhenija volnovyh processov». Kazan', 21–25 sent. 2015 g. S. 60. (in Russ.)
8. Keda V.V., Rubanik A.V., Turuk G.P. Ramochnaja antenna s upravljaemoj poljarizaciej // Jelektronika info. 2016. № 6 (132). S. 53–58. (in Russ.)
9. Keda V.V., Sadovskij I.S., Jurcev O.A. Dvuhvodnye ramochnye anteny s nizkim urovnem polja s ortoganal'noj poljarizaciej // Mater. XXI mezhdunar. nauch.-tehn. konf. «Radiolokacija, navigacija, svjaz'». Voronezh, 19–21 aprelja 2016 g. S. 794–801. (in Russ.)
10. Keda V.V. Novaja konstrukcija ramochnoj anteny // Mater. IV Vseross. mikrovolnovoj konf. Moskva, 23–25 nojab. 2016 g. S. 54–58. (in Russ.)
11. Keda V.V. Linejnaja antennaja reshetka ramochnyh izluchatelej s pereklyuchaemoj poljarizaciej // Mater. 7-j mezhdunar. nauch. konf. po voenno-tehniicheskim problemam, problemam oborony i bezopasosti, ispol'zovaniju tehnologij dvojnogo primenenija: sbornik nauchnyh statej. Ch. 2. Minsk, 20–22 maja 2017 g. S. 111–120. (in Russ.)
12. Keda V.V. Shirokopolosnaja kompaktnaja ramochnaja antenna s upravljaemoj poljarizaciej // Dokl. BGUIR. 2018. № 1 (111). S. 5–11. (in Russ.)
13. Vychislitel'nye metody v jelektrodinamike / Pod red. R. Mitry. M.: Mir, 1977. 494 s. (in Russ.)

### Сведения об авторе

Кедя В.В., аспирант кафедры информационных радиотехнологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

### Information about the author

Keda U.V., PG student of information radiotechnologies department of Belarusian state university of informatics and radioelectronics.

### Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. П. Бровки, 6,  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники  
тел.+375-44-745-38-86;  
e-mail: ew1bbe@mail.ru  
Кедя Владимир Васильевич

### Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,  
Minsk, P. Brovka st., 6,  
Belarusian state university  
of informatics and radioelectronics  
tel. +375-44-745-38-86;  
e-mail: ew1bbe@mail.ru  
Keda Uladzimir Vasil'evich