

## Компактный двухполяризационный сверхширокополосный кардиоидный излучатель с согласующими вставками

Р. Э. Косак<sup>✉</sup>, А. В. Геворкян

Южный федеральный университет, Таганрог, Россия

<sup>✉</sup> [kosak@sfedu.ru](mailto:kosak@sfedu.ru)

### Аннотация

**Введение.** В настоящее время наблюдается тенденция к миниатюризации печатных излучателей фазированных антенных решеток. При этом довольно часто от таких излучателей требуется работа в сверхширокой полосе (СШП) частот, возможность широкоугольного сканирования, а также работа на двух поляризациях. Для улучшения качества характеристик печатных излучателей иногда используются согласующие вставки определенного размера и формы.

**Цель работы.** Увеличение значения коэффициента перекрытия излучателя с сохранением СШП, широкоугольности сканирования в секторе углов  $\pm 60^\circ$ , ограниченного рассогласованием, и электрической компактности с высотой, значение которой не превышает  $\lambda$  на верхней рабочей частоте, благодаря использованию различных согласующих металлических вставок.

**Материалы и методы.** Электродинамическое моделирование излучателя выполнено в составе бесконечной антенной решетки в системе автоматизированного проектирования Ansys HFSS.

**Результаты.** Использование металлических прямоугольных вставок размером  $25.5 \times 145.0$  мм на краях излучателя позволяет расширить его рабочую полосу частот, а использование дополнительной вставки в расширяющейся щели позволяет улучшить его согласование (излучатель с комбинированными вставками). Рабочая полоса частот исходного излучателя по уровню коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН)  $\leq 3$  располагается в диапазоне от 257.6 до 732.5 МГц, чему соответствует коэффициент перекрытия 2.844. Рабочая полоса частот излучателя с комбинированными вставками по тому же уровню КСВН располагается в диапазоне от 164.9 до 677.5 МГц, чему соответствует коэффициент перекрытия 4.109. Электрический размер предложенного излучателя на верхней рабочей частоте 677.5 МГц составляет  $0.339\lambda \times 0.339\lambda \times 0.678\lambda$ , а на нижней 164.9 МГц –  $0.083\lambda \times 0.083\lambda \times 0.165\lambda$ .

**Заключение.** Благодаря использованию комбинированных вставок удалось увеличить значение коэффициента перекрытия излучателя с сохранением СШП, широкоугольности сканирования в секторе углов  $\pm 60^\circ$  и электрической компактности. Предложенный излучатель может использоваться в составе фазированных антенных решеток для систем радиосвязи, радиолокации и радионавигации.

**Ключевые слова:** двухполяризационный излучатель, кардиоидный излучатель, КСВН, коэффициент усиления, сверхширокая полоса частот, согласующие вставки, уровень кроссовой поляризации, широкий сектор углов сканирования

**Для цитирования:** Косак Р. Э., Геворкян А. В. Компактный двухполяризационный сверхширокополосный кардиоидный излучатель с согласующими вставками // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2026. Т. 29, № 2. С. 39–48. doi: 10.32603/1993-8985-2026-29-2-39-48

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Источник финансирования.** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №22-19-00537-П, <https://rscf.ru/project/22-19-00537/> в Центре коллективного пользования "Прикладная электродинамика и антенные измерения" Южного федерального университета, Таганрог.

Статья поступила в редакцию 16.08.2025; принята к публикации после рецензирования 10.12.2025; опубликована онлайн 30.04.2026



## Compact Dual-Polarized Ultra-Wideband Cardioid Radiator with Matching Inserts

Roman E. Kosak✉, Armen V. Gevorkyan

Southern Federal University, Taganrog, Russia

✉ kosak@sfnu.ru

### Abstract

**Introduction.** In recent years, there has been a growing trend toward the miniaturization of printed radiators for phased arrays. At the same time, such radiators are frequently required to operate over an ultra-wide bandwidth, support wide-angle scanning, and enable dual polarization. To enhance the performance of printed radiators, matching inserts with specific geometries and dimensions can be used.

**Aim.** To increase the overlap ratio of a printed radiator while maintaining its ultra-wideband performance and wide-angle scanning within an angular sector of  $\pm 60^\circ$ , limited by the mismatch, and ensuring electrical compactness with a height not exceeding  $\lambda$  at the upper operating frequency through the use of various matching metal inserts.

**Materials and methods.** Electrodynamics simulation of the radiator was performed as part of an infinite antenna array using the Ansys HFSS computer-aided design software.

**Results.** The use of metal rectangular inserts measuring  $25.5 \times 145.0$  mm at the edges of the radiator allowed its operating frequency band to be extended, while the use of an additional insert in the aperture allowed its matching (radiator with combined inserts) to be improved. The operating frequency band of the original radiator, at a voltage standing wave ratio (VSWR) of  $\leq 3$ , extends from 257.6 to 732.5 MHz, corresponding to an overlap ratio of 2.844. For the radiator with combined inserts, the operating band at the same VSWR level ranges from 164.9 to 677.5 MHz, yielding an overlap ratio of 4.109. The electrical dimensions of the proposed radiator are  $0.339\lambda \times 0.339\lambda \times 0.678\lambda$  at the upper operating frequency of 677.5 MHz, and  $0.083\lambda \times 0.083\lambda \times 0.165\lambda$  at the lower frequency of 164.9 MHz.

**Conclusion.** The application of combined inserts in the radiator allows its overlap ratio to be increased at the same time as maintaining its ultra-wideband performance, wide-angle scanning in the sector of angles up to  $\pm 60^\circ$ , and compact dimensions. The proposed radiator can be used in phased arrays for radio communication, radar and radio navigation systems.

**Keywords:** dual-polarization radiator, cardioid radiator, VSWR, realized gain, ultra-wide frequency band, matching inserts, cross-polarization level, wide-angle scanning sector

**For citation:** Kosak R. E., Gevorkyan A. V. Compact Dual-Polarized Ultra-Wideband Cardioid Radiator with Matching Inserts. Journal of the Russian Universities. Radioelectronics. 2026, vol. 29, no. 2, pp. 39–48.

doi: 10.32603/1993-8985-2026-29-2-39-48

**Conflict of interest.** The authors declare no conflicts of interest.

**Source of funding.** This research was financially supported by Russian Science Foundation (project №22-19-00537-P, <https://rscf.ru/en/project/22-19-00537/>).

Submitted 16.08.2025; accepted 10.12.2025; published online 30.04.2026

**Введение.** Фазированные антенные решетки (ФАР) находят широкое применение в спутниковых системах связи и навигации [1], в составе радиолокационных станций различного назначения [2], системах связи пятого поколения [3] и системах радиоэлектронной борьбы. Широкая сфера применения ФАР обусловлена возможностью электрического сканирования пространства, что обеспечивает оптимальную скорость обзора и увеличивает срок службы системы [4]. Большинство ФАР способны сканировать с заданными характе-

ристиками излучения в одной плоскости из-за характерных для этого способа более низких потерь и стоимости. В этом случае сканирование во второй плоскости обеспечивается механическим вращением решетки [5, 6]. При этом непростой задачей является обеспечение сканирования с приемлемыми характеристиками в обеих плоскостях.

Довольно часто к ФАР предъявляются требования возможности работы в сверхширокой полосе частот, широкоугольного сканирования и работы на двух ортогональных поляризациях.

Итоговая масса решетки и ее стоимость также играют немаловажную роль. Всем этим требованиям могут удовлетворить излучатели на основе антенны Вивальди, впервые представленной П. Гибсоном в 1979 г. [7]. Форма антенны напомнила ему скрипку, вследствие чего он назвал свою разработку именем любимого скрипичного композитора XVII–XVIII вв. – А. Вивальди. Ширина рабочей полосы частот такой антенны теоретически не ограничена, однако на практике она определяется размером питающей линии, а также конструкцией самой антенны [8].

Итак, характеристики излучения таких антенн и излучателей на их основе в основном определяются конструктивными особенностями антенн. В частности, значительную роль играет форма кромки. В литературе рассмотрены различные формы кромки антенн Вивальди: эллиптическая, круглая, чебышевская и др. Наиболее распространена эллиптическая форма вследствие простоты ее проектирования и реализации, однако она приводит к увеличению размера антенны. Дальнейшее скругление кромки позволяет обеспечить одинаковую диаграмму направленности в плоскостях  $E$  и  $H$ , а также улучшить согласование и расширить рабочую полосу частот. Другие формы кромки обычно усложняют конструкцию и процесс изготовления антенны [8].

Известны различные методы повышения компактности антиподных антенн и излучателей, позволяющие сохранять приемлемые характеристики: использование различных диэлектрических подложек, вырезов и вставок, разъемов питания. Более того, эти характеристики могут быть улучшены гофрированием кромки, использованием диэлектрической линзы или различных согласующих устройств или метаматериалов. Таким образом, изменение геометрии антенны приводит к изменению таких ее параметров, как размер, усиление, согласование, диаграмма направленности, поляризация и рабочий диапазон частот.

К ФАР может предъявляться требование компактности (уменьшенные размеры) излучателей. Основная цель уменьшения размера – обеспечить ее совместимость с современными промышленными требованиями и легкость интеграции с другими схемами, что приведет к созданию экономически эффективной системы

беспроводной связи с меньшим энергопотреблением [9]. Электрический размер излучателя ФАР измеряется в рабочих длинах волн. Он показывает количество длин волн, укладываемых в геометрическом размере антенны [10]. Компактными будем считать излучатели ФАР, электрическая высота которых меньше длины волны на верхней рабочей частоте.

Известны различные конструкции двухполяризованных излучателей на основе антенны Вивальди, которые являются сверхширокополосными (СШП) по уровню коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН)  $\leq 3$ , однако имеют недостаточно широкий сектор углов сканирования [11, 12] или их электрические размеры не позволяют говорить о компактности [13]. Так, в [11] представлен СШП-излучатель на основе антенны Вивальди, который может найти применение в системах связи и радиолокации. Предложенный излучатель имеет небольшое значение коэффициента перекрытия 2.792 и сектор углов сканирования  $\pm 30^\circ$  в  $E$ - и  $H$ -плоскостях при электрической высоте  $0.491 \lambda$  на верхней рабочей частоте 3.4 ГГц. Излучатель с коэффициентом перекрытия 5.143 и сектором углов сканирования  $\pm 40^\circ$  в  $E$ - и  $H$ -плоскостях при электрической высоте  $0.576 \lambda$  на верхней рабочей частоте 1.8 ГГц рассмотрен в [12]. В [13] предложен излучатель с коэффициентом перекрытия 5.667, при этом сектор углов сканирования равен  $\pm 50^\circ$  в  $E$ - и  $H$ -плоскостях, а электрическая высота на верхней рабочей частоте 13.6 ГГц составляет  $1.377 \lambda$ .

Из рассмотренных работ видно, что довольно сложно создать компактный излучатель ФАР на основе антенны Вивальди, имеющий хорошие характеристики в СШП в режиме широкоугольного сканирования. Количество исследований по этой тематике свидетельствует об актуальности и высоком интересе к такой разработке в последнее время.

Целью описываемой работы являлось увеличение значения коэффициента перекрытия излучателя с сохранением сверхширокополосности, широкоугольности сканирования в секторе углов  $\pm 60^\circ$ , ограниченного рассогласованием, и электрической компактности с высотой, значение которой не превышает  $\lambda$  на верхней рабочей частоте, благодаря использованию различных металлических согласующих вставок.

**Материалы и методы.** Существует множество методов, позволяющих сделать антиподный излучатель более компактным с сохранением характеристик излучения на приемлемом уровне: выбор материала подложки и формы лепестков излучателя, использование импедансных вставок [8]. На характеристики излучателя существенно влияют толщина диэлектрической подложки и диэлектрическая проницаемость материала. Направление максимума излучения электромагнитного поля такой антенны совпадает с вектором распространения электромагнитной волны, вдоль которого выполняется расширяющаяся щель. Существует много различных диэлектрических материалов для создания печатных антенн и излучателей. Желательна подложка с низким тангенсом угла диэлектрических потерь  $\text{tg } \delta$  и низкой относительной диэлектрической проницаемостью [8]. Низкий  $\text{tg } \delta$  означает низкие потери мощности, что необходимо для работы антенн. В описываемой работе в качестве подложки выбран материал Rogers RT/Duroid 5880 толщиной 0.9 мм с относительной диэлектрической проницаемостью 2.2 и  $\text{tg } \delta = 0.0009$ .

Одна из основных проблем при конструировании излучателей ФАР – минимизация коэффициента отражения (улучшение КСВН) в рабочей полосе частот в заданном секторе углов сканирования. В качестве метода избран метод электродинамического моделирования. Он применим для различных излучателей, в том числе печатных и щелевых с различными способами возбуждения, к которым относят и излучатели на основе антенны Вивальди. Различают согласование излучателей ФАР для одного направления луча и в секторе углов сканирования.

В настоящее время широкое распространение получила программа электродинамического моделирования Ansys HFSS, которая предназначена для анализа трехмерных СВЧ-структур. Перед решением электродинамической задачи необходимо начертить модель анализируемого устройства, задать материалы для каждого элемента объекта, а также указать порты и граничные условия на поверхностях. Затем Ansys HFSS рассчитает электромагнитное поле исследуемой структуры и найдет по этим данным  $S$ -параметры и другие характеристики. Электродинамическое моделирование в Ansys

HFSS в описываемой работе основано на использовании метода конечных элементов [14].

ФАР, содержащие большое количество излучающих печатных элементов, поддаются анализу на основе ряда Флоке для периодических ячеек [5]. В качестве модели многоэлементной ФАР удобно использовать периодическую структуру, которая получается при продолжении реальной антенной решетки до бесконечности с сохранением периодичности расположения излучателей. Именно такая модель и называется бесконечной антенной решеткой. Она лучше всего описывает конечную антенную решетку с пассивными, нагруженными на согласованные нагрузки излучателями на периферии, используемыми для уменьшения заднего излучения и краевого эффекта. Использование бесконечной антенной решетки позволяет решить граничную задачу электродинамики только для одного периода антенной решетки и существенно сократить объем вычислений [6].

Итак, анализ бесконечной ФАР сводится к электродинамическому расчету одной из ее ячеек в силу теоремы Флоке. На вертикальных противоположащих поверхностях параллелепипеда ячейки ФАР в САПР Ansys HFSS задаются периоди-

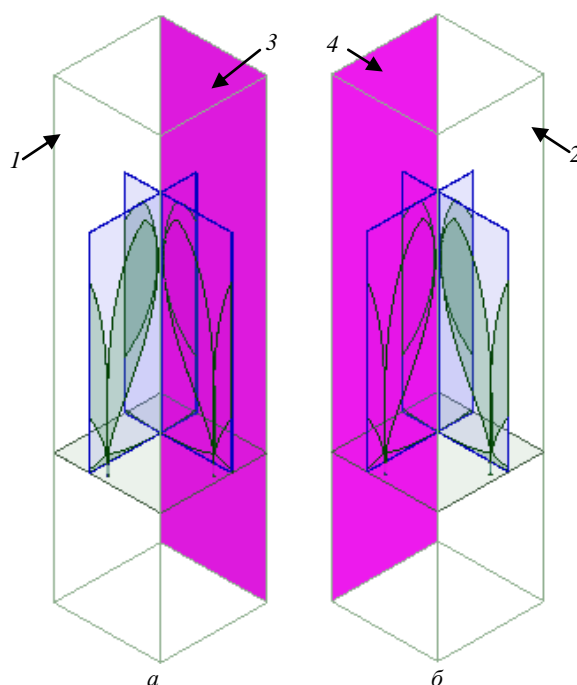


Рис. 1. Периодические граничные условия Master –Slave:  $a$  – Master (1), Slave (3);  $b$  – Master (2), Slave (4)

Fig. 1. Periodic boundary Master –Slave conditions:  $a$  – Master (1), Slave (3);  $b$  – Master (2), Slave (4)

ческие граничные условия типа Master (1, 2) – Slave (3, 4), как указано на рис. 1, а, б.

**Конструкции кардиоидных излучателей.** Исходная конструкция описываемого в статье компактного двухполяризованного СШП кардиоидного излучателя (рис. 2, а) разработана на основе излучателя линейной поляризации из [15]. Изменился размер экрана – теперь он составляет 150×150 мм. Такой излучатель является антиподным – лепестки, образующие расширяющуюся щель, расположены с двух сторон диэлектрической подложки. Для построения кромки излучателя используется следующая формула кардиоиды:

$$\begin{cases} x(t) = 0; \\ y(t) = \frac{0.5}{7} \cos t; \\ z(t) = \frac{1}{9} (\sin t + \sqrt{|\cos t|}), \end{cases}$$

где  $t$  изменяется от 0 до  $2\pi$  с шагом  $2\pi/1000$ .

В описываемой работе рассмотрено влияние металлических прямоугольных вставок (рис. 2, б), которые соединены с лепестками излучателя, так как определено, что в зависимости от их размера удастся расширить рабочую полосу частот [15] и улучшить согласование [16]. Также рассмотрен излучатель с комбинирован-

ными вставками (рис. 2, в), что может улучшить характеристики излучения при сканировании [17]. В соответствии с рис. 2, а для входа 1  $E$ -плоскость излучателя находится в плоскости  $Y0Z$ ,  $H$ -плоскость –  $X0Z$ , а для входа 2 – наоборот.

Расширяющаяся щель излучателей выполнена по формуле эллипса:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1,$$

где  $a = 198.17$  мм,  $b = 57.57$  мм.

**Характеристики излучения исходной конструкции кардиоидного излучателя.** На рис. 3 представлены частотные характеристики КСВН при сканировании в  $E$ - (а) и  $H$ -плоскостях (б), коэффициента усиления КУ (в), уровня кросс-поляризации (г), коэффициента передачи (д) и коэффициента полезного действия КПД (е) исходной конструкции излучателя. Здесь и далее каждому типу кривой соответствует свое значение угла сканирования:  $0^\circ$  (—),  $15^\circ$  (---),  $30^\circ$  (- - -),  $45^\circ$  (.....) и  $60^\circ$  (— — —). Необходимо отметить, что приводится только по одному графику КУ, уровня кроссполяризации и КПД, так как они почти не различаются при сканировании в  $E$ - и  $H$ -плоскостях.

Согласно рис. 3, а, б рабочая полоса частот исходной конструкции излучателя по уровню

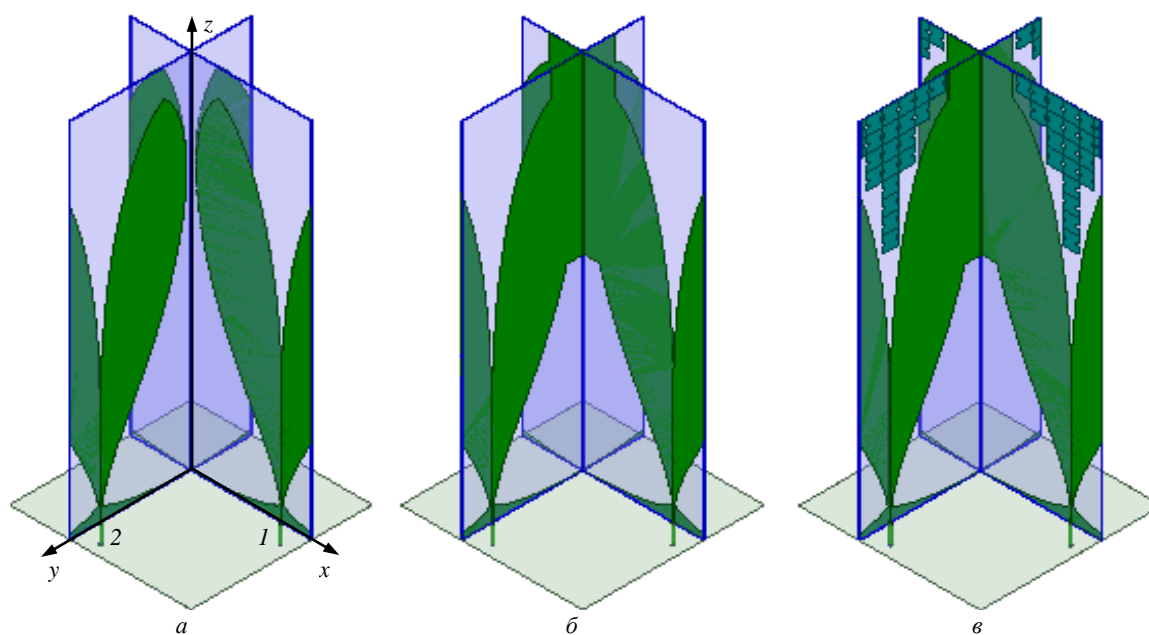


Рис. 2. Конструктивная форма: а – исходной конструкции излучателя; б – с прямоугольными вставками; в – с комбинированными вставками

Fig. 2. Design of: а – the original radiator; б – with rectangular inserts; в – with combined inserts

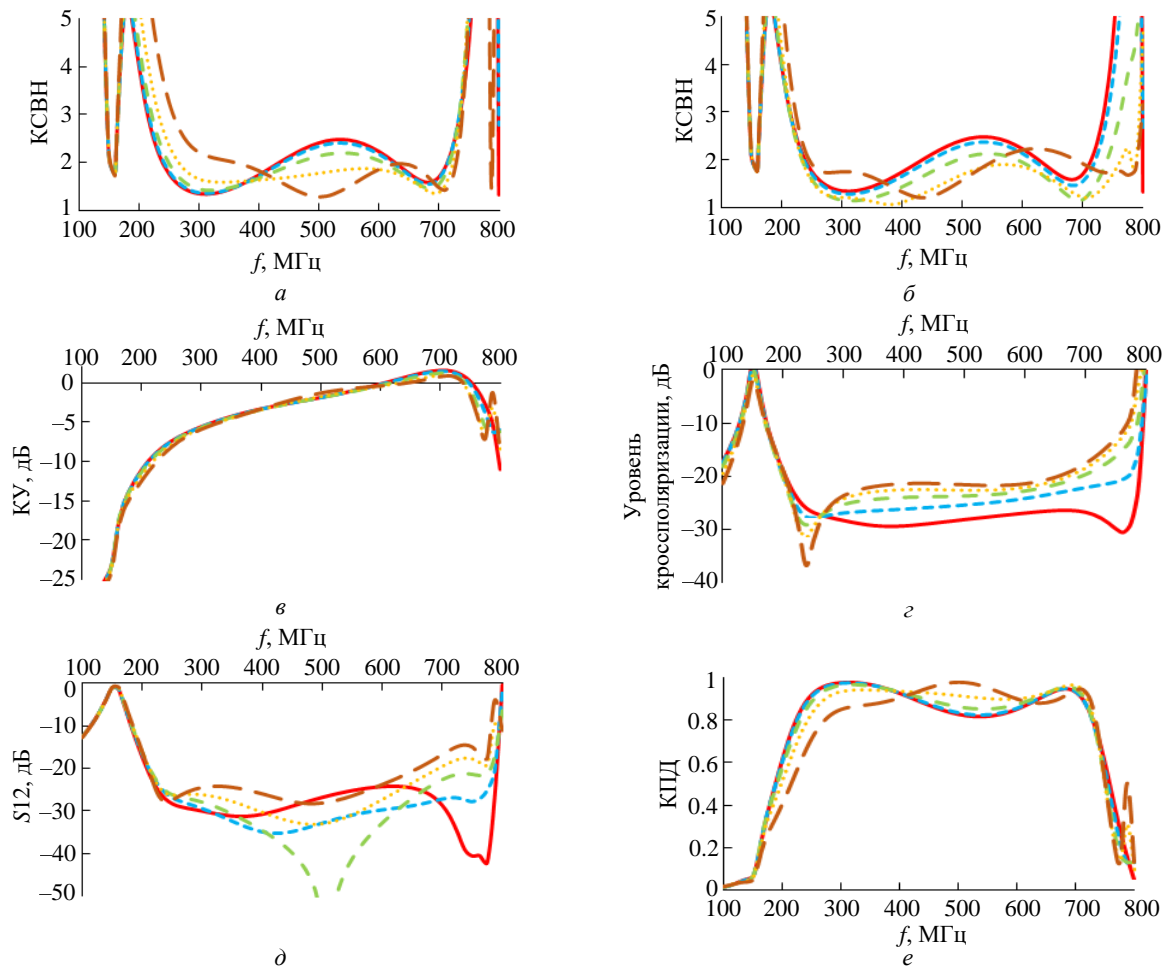


Рис. 3. Частотная характеристика: *a, б* – КСВН при сканировании в *E*- и *H*-плоскостях; *в* – КУ; *г* – уровни кроссполяризации; *д* – коэффициента передачи; *е* – КПД исходной конструкции излучателя  
 Fig. 3. Frequency characteristics of: *a, б* – VSWR in the scanning mode in the *E*- and *H*-plane; *в* – realized gain; *г* – crosspolarization level; *д* – transmission coefficient; *е* – efficiency of the original radiator

КСВН  $\leq 3$  располагается в диапазоне от 257.6 до 732.5 МГц при сканировании в секторе углов  $\pm 60^\circ$  в *E*- и *H*-плоскостях, чему соответствует значение коэффициента перекрытия 2.844. Из рис. 3, *в* следует, что в рабочей полосе частот КУ располагается в диапазоне от  $-7.7$  до 1.6 дБ. Значение уровня кроссполяризации не превышает  $-14$  дБ, причем в основной части рабочего диапазона оно ниже  $-21$  дБ, как видно из рис. 3, *г*. Согласно рис. 3, *д, е* значение коэффициента передачи в основном располагается ниже уровня  $-23$  дБ, а КПД превышает значение 0.81.

**Характеристики излучения конструкций кардиоидного излучателя с прямоугольными и комбинированными вставками.** Рассмотрено влияние металлических прямоугольных вставок разного размера на характеристики излучения. Определено, что оптимальное значение размера вставок составляет  $25.5 \times 145.0$  мм. На рис. 4

представлены частотные характеристики КСВН излучателя с металлическими прямоугольными вставками при сканировании в секторе углов  $\pm 60^\circ$  в *E*- (*a*) и *H*-плоскостях (*б*).

Согласно рис. 4, *a, б* рабочая полоса частот излучателя с металлическими прямоугольными вставками по уровню КСВН  $\leq 3$  располагается в диапазоне от 295.1 до 693.4 МГц при сканировании в секторе углов  $\pm 60^\circ$  в *E*- и *H*-плоскостях, чему соответствует значение коэффициента перекрытия 2.350. Видно, что рабочая полоса сместилась вниз по оси частот, а среднее значение КСВН при работе в *E*-плоскости уменьшилось. При этом возник пик КСВН при угле сканирования  $60^\circ$  в полосе частот 220...300 МГц, превышающий уровень КСВН = 3, вследствие чего итоговая рабочая полоса частот при сканировании в секторе углов  $\pm 60^\circ$  сужается. Из [17] следует, что такой пик можно уменьшить благодаря

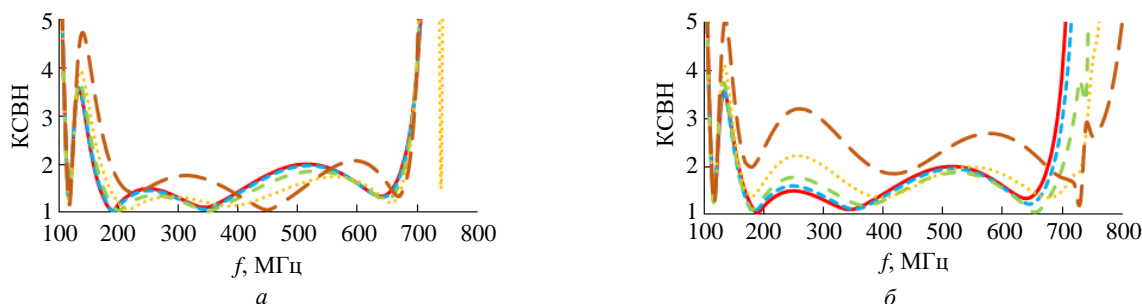


Рис. 4. Частотная характеристика КСВН излучателя с прямоугольными вставками при сканировании в  $E$ - (а) и  $H$ -плоскостях (б)  
 Fig. 4. Frequency characteristics of VSWR of the radiator with rectangular inserts in the scanning mode in the  $E$ - (a) and  $H$ -plane (b)

дополнительному использованию импедансных вставок в расширяющейся щели.

Рассмотрено влияние комбинированной вставки, состоящей из металлических прямоугольных вставок и вставки в расширяющейся щели кардиоидного излучателя. Установлено, что ее оптимальный размер определяется совокупностью 22 плотно прилегающих друг к другу металлических элементов без зазора размером

13×13 мм с вырезами размером 2×2 мм, размещаемых на стороне металлических слоев, подключенных к жиле коаксиального кабеля. На рис. 5 представлены частотные характеристики КСВН при сканировании в  $E$ - (а) и  $H$ -плоскостях (б), КУ (в), уровня кроссполяризации (г), коэффициента передачи (д) и КПД (е) конструкции излучателя с комбинированными вставками.

Согласно рис. 5, а, б рабочая полоса частот

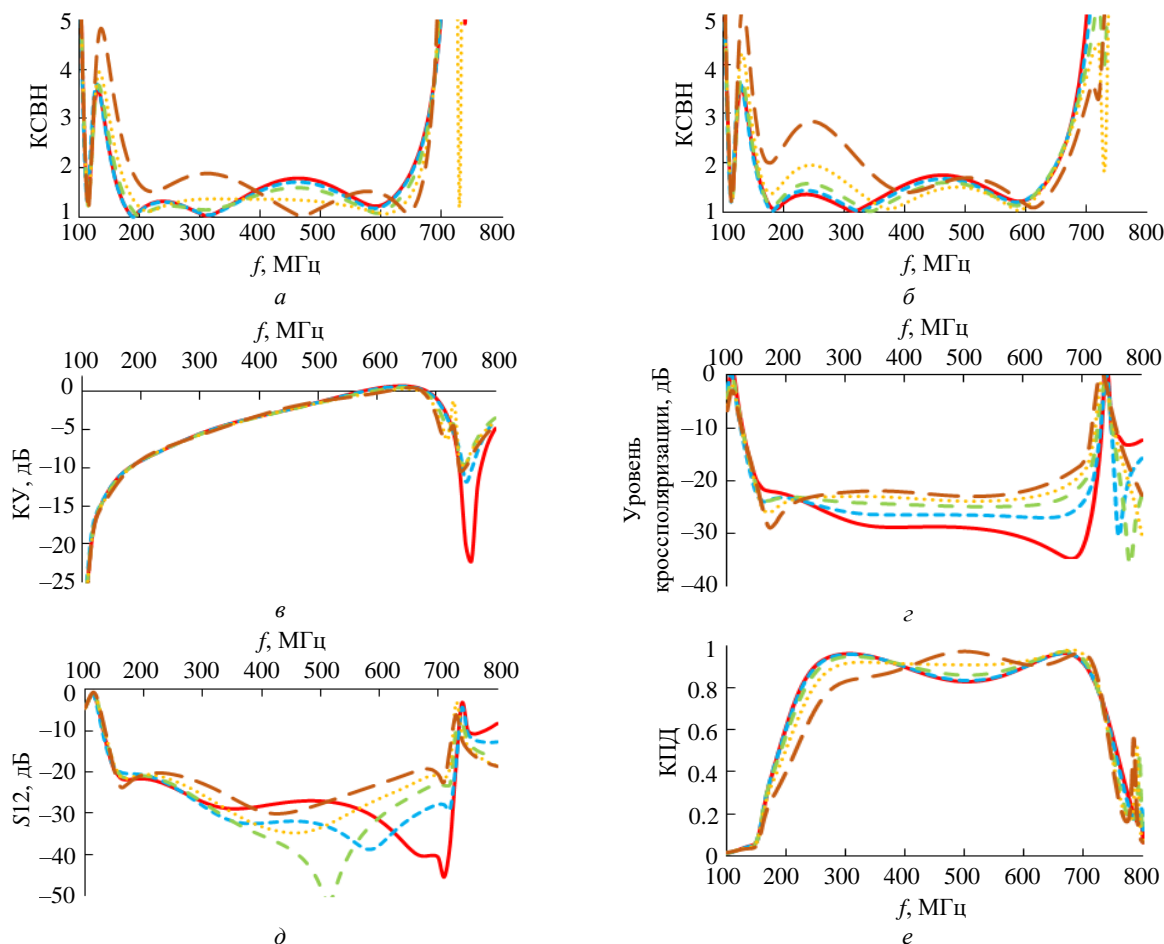


Рис. 5. Частотная характеристика: а, б – КСВН при сканировании в  $E$ - и  $H$ -плоскостях; в – КУ; г – уровни кроссполяризации; д – коэффициента передачи; е – КПД излучателя с комбинированными вставками  
 Fig. 5. Frequency characteristics of: а, б – VSWR in the scanning mode in the  $E$ - and  $H$ -plane; в – realized gain; г – cross-polarization level; д – transmission coefficient; е – efficiency of the radiator with combined inserts

излучателя с комбинированными вставками по уровню КСВН  $\leq 3$  располагается в диапазоне от 164.9 до 677.5 МГц при сканировании в секторе углов  $\pm 60^\circ$  в  $E$ - и  $H$ -плоскостях, чему соответствует значение коэффициента перекрытия 4.109. Из рис. 5, в следует, что в рабочей полосе частот КУ располагается в диапазоне от  $-11.5$  до  $0.8$  дБ. Значение уровня кроссполяризации не превышает  $-18$  дБ, причем в основной части рабочего диапазона оно ниже уровня  $-22$  дБ, как видно из рис. 5, г. Согласно рис. 5, д, е значение коэффициента передачи в основном располагается ниже уровня  $-24$  дБ, а КПД превышает значение 0.82.

**Заключение.** Определено, что использование прямоугольных металлических вставок позволяет расширить рабочую полосу частот с улучшением согласования в  $E$ -плоскости, но ухудшением в  $H$ -плоскости при сканировании на  $60^\circ$ . Эту сложность удастся преодолеть благодаря использованию металлической вставки в раскрыве. В итоге,

излучатель с комбинированными вставками в режиме широкоугольного сканирования в секторе углов  $\pm 60^\circ$  имеет рабочую полосу частот в диапазоне от 164.9 до 677.5 МГц при работе в  $E$ - и  $H$ -плоскостях, чему соответствует значение коэффициента перекрытия 4.109. Электрический размер излучателя на верхней рабочей частоте 677.5 МГц составляет  $0.339\lambda \times 0.339\lambda \times 0.678\lambda$ , а на нижней рабочей частоте 164.9 МГц –  $0.083\lambda \times 0.083\lambda \times 0.165\lambda$ .

Таким образом, благодаря использованию комбинированных вставок удалось увеличить значение коэффициента перекрытия излучателя с сохранением СШП, широкоугольности сканирования в секторе углов  $\pm 60^\circ$  и электрической компактности. Разработанный компактный двухполяризаационный СШП кардиоидный излучатель широкоугольного сканирования с комбинированными вставками может найти применение в системах радиолокации, радионавигации и радиосвязи.

#### Список литературы

1. Антенные решетки спутниковых мобильных телекоммуникационных систем / Е. В. Овчинникова, Э. В. Гаджиев, С. Г. Кондратьев, А. Л. Поландов, П. А. Шмачилин, М. А. Соков, О. А. Волков // *Вопр. электромеханики. Тр. ВНИИЭМ*. 2021. Т. 182, № 3. С. 39–54.
2. Особенности построения фазированных антенных решеток миллиметрового диапазона волн для РЛС зенитно-ракетного комплекса малой дальности / О. Ю. Шевцов, А. В. Артюшев, В. М. Крехтунов, М. Е. Голубцов, Ю. С. Русов // *Изв. РА ракетных и артиллерийских наук*. 2010. № 3 (65). С. 61–69.
3. Pandey A. K. Phased Array Antenna with Beamforming Network for 5G mmWave Communication System // *50<sup>th</sup> European Microwave Conf.*, Utrecht, Netherlands, 12–14 Jan. 2021. IEEE, 2021. P. 364–367. doi: 10.23919/EuMC48046.2021.9338222
4. Устройства СВЧ и антенны / Д. И. Воскресенский, В. Л. Гостюхин, В. М. Максимов, Л. И. Пономарев; под ред. Д. И. Вознесенского. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Радиотехника, 2006. 376 с.
5. Хансен Р. С. Фазированные антенные решетки. 2-е изд. М.: Техносфера, 2012. 560 с.
6. Инденбом М. В. Антенные решетки подвижных обзорных РЛС. Теория, расчет, конструкции. М.: Радиотехника, 2015. 416 с.
7. Gibson P. J. The Vivaldi Aerial // *9<sup>th</sup> European Microwave Conf.*, Brighton, UK, 17–20 Sept. 1979. IEEE, 1979. P. 101–105. doi: 10.1109/EUMA.1979.332681
8. Dixit A. S., Kumar S. A Survey of Performance Enhancement Techniques of Antipodal Vivaldi Antenna

- // *IEEE Access*. 2020. Vol. 8. P. 45774–45796. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2977167
9. Compactness and performance enhancement techniques of ultra-wideband tapered slot antenna: A comprehensive review / S. Saleh, M. H. Jamaluddin, F. Razzaz, S. M. Saeed, N. Timmons, J. Morrison // *Alexandria Eng. J.* 2023. Vol. 74. P. 195–229. doi: 10.1016/j.aej.2023.05.020
10. Ротхаммель К. Антенны / пер. с нем. С. А. Захарченко. 1-е полн. изд. СПб: Бояныч, 1998. 656 с.
11. Guo L., Qiang Y. F. Design of a Compact Wideband Dual-Polarization Antipodal Vivaldi Antenna Array // *IEEE Intern. Conf. on Computational Electromagnetics*, Chengdu, China, 26–28 March 2018. IEEE, 2018. P. 1–3. doi: 10.1109/COMPEM.2018.8496541
12. A UHF-L Band Dual-polarization BAVA with  $0.1\lambda$  Profile of Low Frequency / J. Zhu, M. Huang, C. Chen, W. Qiao // *Intern. Conf. on Microwave and Millimeter Wave Technology*, Nanjing, China, 23–26 May 2021, IEEE, 2021. P. 1–3. doi: 10.1109/ICMMT52847.2021.9618151
13. Gao X., Liu N.-W., Sun S. An Ultra-wideband Dual-polarized Array Antenna with Wide-angle Scanning Performance // *IEEE MTT-S Int. Microwave Workshop Series on Advanced Materials and Processes for RF and THz Applications*, Guangzhou, China, 27–29 Nov. 2022. IEEE, 2022. P. 1–3. doi: 10.1109/IMWS-AMP54652.2022.10107134
14. Банков С. Е., Курушин А. А. Проектирование СВЧ устройств и антенн с Ansoft HFSS // *Журн. радиоэлектроники*. 2009. № 5. 736 с.
15. Косак Р. Э., Геворкян А. В. Компактный сверхширокополосный излучатель Вивальди кардиоидной

формы с прямоугольными импедансными вставками // Изв. ЮФУ. Техн. науки. 2024. № 3. С. 276–284.  
doi: 10.18522/2311-3103-2024-3-276-284

16. Пат. RU 231877 U1 H01Q 1/38. Компактный сверхширокополосный излучатель Вивальди кардиоидной формы с прямоугольными вставками / Р. Э. Косак, А. В. Геворкян. Опубл. 14.02.2025. Бюл. № 5.

17. Kosak R. E., Gevorkyan A. V. Compact Ultra-Wideband Cardioid-Shaped Vivaldi Radiator with H-Shaped Impedance Inserts in the Aperture // IEEE 9<sup>th</sup> All-Russ. Microwave Conf., Moscow, Russia, 25–29 Nov. 2024. IEEE, 2024. P. 330–334.  
doi: 10.1109/RMC62880.2024.10846865

### Информация об авторах

**Косак Роман Эдуардович** – магистр по направлению "Радиотехника" (2022, Институт радиотехнических систем и управления Южного федерального университета (Таганрог), аспирант, заведующий лабораторией кафедры антенн и радиопередающих устройств Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета (Таганрог). Автор 17 научных работ. Сфера научных интересов – антенны Вивальди; антенные решетки и фазированные антенные решетки; печатные излучатели.

Адрес: Южный федеральный университет, пер. Некрасовский, д. 44, Таганрог, 347922, Россия

E-mail: kosak@sfedu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0220-3501>

**Геворкян Армен Валерьевич** – кандидат технических наук (2017), доцент кафедры антенн и радиопередающих устройств Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета (Таганрог). Автор более 60 научных работ. Сфера научных интересов – антенны; СВЧ-устройства; антенные решетки; импедансные структуры.

Адрес: Южный федеральный университет, пер. Некрасовский, д. 44, Таганрог, 347922, Россия

E-mail: gevorkyan.scr@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1910-4737>

### References

1. Ovchinnikova E. V., Gadzhiev E. V., Kondratieva S. G., Polandov A. L., Shmachilin P. A., Sokov M. A., Volkov O. A. Antenna Arrays for Satellite Mobile Telecommunication Systems]. Questions of Electromechanics. Proc. of VNIEM. 2016, vol. 182, no. 3, pp. 39–54. (In Russ.)

2. Shevtsov O. Yu., Artyushchev A. V., Krekhtunov V. M., Golubtsov M. E., Rusov Yu. S. Features of the Construction of Phased Arrays of the Millimeter Wave Range for the Radar of a Short-Range Anti-Aircraft Missile System. News of the Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences. 2010, vol. 3, no. 65, pp. 61–69. (In Russ.)

3. Pandey A. K. Phased Array Antenna with Beamforming Network for 5G mmWave Communication System. 50<sup>th</sup> European Microwave Conf., Utrecht, Netherlands, 12–14 Jan. 2021. IEEE, 2021, pp. 364–367.  
doi: 10.23919/EuMC48046.2021.9338222

4. Voskresensky D. I., Gostyukhin V. L., Maksimov V. M., Ponomarev L. I. *Ustrojstva SVCh i anteny. Proektirovanie fazirovannykh antennykh reshetok: Ucheb. posobie dlya vuzov* [Microwave Devices and Antennas. Design of Phased Array Antennas: A Textbook for Universities], 2<sup>nd</sup> ed. Moscow, Radiotekhnika, 2006, 376 p. (In Russ.)

5. Hansen R. C. Phased Array Antennas. 2<sup>nd</sup> ed. Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons, 2009, 576 p.

6. Indenbom M. V. *Antennye reshetki podviznykh obzornykh RLS. Teoriya, raschet, konstrukcii. Monografiya* [Antenna Arrays of Mobile Surveillance Radars. Theory, Calculation, Designs]. Moscow, Radiotekhnika, 2015, 416 p. (In Russ.)

7. Gibson P. J. The Vivaldi Aerial. 9<sup>th</sup> European Microwave Conf., Brighton, UK, 17–20 Sept. 1979. IEEE, 1979, pp. 101–105.

doi: 10.1109/EUMA.1979.332681

8. Dixit A. S., Kumar S. A Survey of Performance Enhancement Techniques of Antipodal Vivaldi Antenna. IEEE Access. 2020, vol. 8, pp. 45774–45796.  
doi: 10.1109/ACCESS.2020.2977167

9. Saleh S., Jamaluddin M. H., Razzaz F., Saeed S. M., Timmons N., Morrison J. Compactness and Performance Enhancement Techniques of Ultra-Wideband Tapered Slot Antenna: A Comprehensive Review. Alexandria Eng. J. 2023, vol. 74, pp. 195–229.  
doi: 10.1016/j.aej.2023.05.020

10. Rothammel K. Antennenbuch. Berlin, Deutscher Militärverlag, 1968, 594 p. (In German)

11. Guo L., Qiang Y. F. Design of a Compact Wideband Dual-Polarization Antipodal Vivaldi Antenna Array. IEEE Intern. Conf. on Computational Electromagnetics, Chengdu, China, 26–28 March 2018. IEEE, 2018, pp. 1–3.  
doi: 10.1109/COMPEN.2018.8496541

12. Zhu J., Huang M., Chen C., Qiao W. A UHF-L Band Dual-polarization BAVA with 0.1 $\lambda$  Profile of Low Frequency. Intern. Conf. on Microwave and Millimeter Wave Technology, Nanjing, China, 23–26 May 2021, IEEE, 2021, pp. 1–3.  
doi: 10.1109/ICMMT52847.2021.9618151

13. Gao X., Liu N.-W., Sun S. An Ultra-wideband Dual-polarized Array Antenna with Wide-angle Scanning Performance. IEEE MTT-S Int. Microwave Workshop Series on Advanced Materials and Processes for RF and THz Applications, Guangzhou, China, 27–29 Nov. 2022. IEEE, 2022, pp. 1–3.  
doi: 10.1109/IMWS-AMP54652.2022.10107134

14. Bankov S. E., Kurushin A. A. Designing Microwave Devices and Antennas with Ansoft HFSS. J. of Radio Electronics. 2009, no. 5, 736 p. (In Russ.)

15. Kosak R. E., Gevorkyan A. V. Compact Ultra-Wideband Cardioid Vivaldi Radiator with Rectangular Impedance Inserts. *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*. 2024, no. 3, pp. 276–284. (In Russ.) doi: 10.18522/2311-3103-2024-3-276-284.

16. Kosak R. E., Gevorkyan A. V. *Kompaktnyj sverhshirokopolosnyj izluchatel' Vival'di kardioidnoj formy s prjamo-ugol'nymi vstavkami* [Compact Ultra-Wideband

Cardioid-Shaped Vivaldi Radiator with Rectangular Inserts]. Pat. RF, no. 231877, Publ. 14.02.2025. (In Russ.)

17. Kosak R. E., Gevorkyan A. V. Compact Ultra-Wideband Cardioid-Shaped Vivaldi Radiator with H-Shaped Impedance Inserts in the Aperture. *IEEE 9<sup>th</sup> All-Russ. Microwave Conf., Moscow, Russia, 25–29 Nov. 2024. IEEE, 2024*, pp. 330–334. doi: 10.1109/RMC62880.2024.10846865

#### Information about the authors

**Roman E. Kosak**, Master's degree in Radio Engineering (2022, Institute of Radio Engineering Systems and Control of Southern Federal University (Taganrog), Postgraduate student, Head of the laboratory of the Department of Antennas and Radiotransmitting Devices of Institute of Radio Engineering Systems and Control of Southern Federal University (Taganrog). The author of 17 scientific publications. Area of expertise: Vivaldi antennas; array antennas and phased array antennas; printed radiators.

Address: Southern Federal University, 44, lane Nekrasovsky, Taganrog 347922, Russia

E-mail: kosak@sfedu.ru.

<https://orcid.org/0000-0002-0220-3501>.

**Armen V. Gevorkyan**, Cand. Sci. (Eng.) (2017), Associate Professor of the Department of Antennas and Radiotransmitting Devices of Institute of Radio Engineering Systems and Control of Southern Federal University (Taganrog). The author of more than 60 scientific publications. Area of expertise: antennas; microwave devices; antenna bars; impedance structures.

Address: Southern Federal University, 44, lane Nekrasovsky, Taganrog 347922, Russia

E-mail: gevorkyan.scp@yandex.ru.

<https://orcid.org/0000-0002-1910-4737>

---