

РАЗРАБОТКА КОЛЬЦЕВОЙ ЩЕЛЕВОЙ АНТЕННЫ

М. И. Мигачев, С. В. Вертей, И. В. Ишеева

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Введение

Развитие различных отраслей радиотехники (радиоразведки и радиопротиводействия, связи с подвижными объектами, радиоуправления, радиотелеметрии, радиоастрономии) вызвало практическую потребность в антеннах, обеспечивающих одновременную работу в двух независимых радиочастотных диапазонах.

В данной работе описан опыт разработки и экспериментального исследования двухдиапазонной антенны, выполненной на основе короткозамкнутого коаксиального резонатора [1], который обеспечивает прием/передачу по двум развязанным радиочастотным каналам.

Целью работы является разработка двухдиапазонной антенны, предназначенной для излучения радиосигналов по двум независимым радиочастотным каналам.

Результаты теоретических расчетов

Кольцевая щелевая антенна представляет короткозамкнутый с одной стороны коаксиальный резонатор, который состоит из внутреннего и внешнего цилиндров. Возбуждение антенны осуществляется в двух точках, сдвинутых друг относительно друга на 90° , при помощи штыря. В точках, противоположных точкам питания, устанавливаются короткозамкнутые штыри между внутренним и внешним цилиндром (рис. 1).

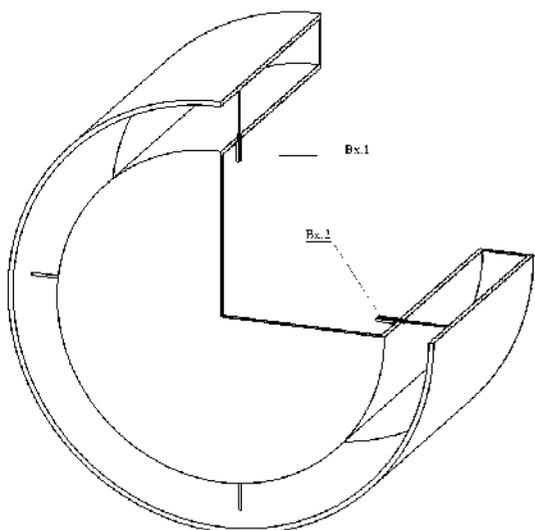


Рис. 1. Кольцевая щелевая антенна

Достоинствами данной антенны являются стабильность характеристик излучения (ширина ДН, коэффициент эллиптичности) в широком диапазоне частот и простое конструктивное исполнение. Недостатком данной антенны является сложность согласования антенны в широком диапазоне частот.

Кольцевая щель выполняется при помощи коаксиального резонатора, имеющего вид четвертьволнового металлического стакана [1]. Питание к резонатору подводится коаксиальным фидером.

Если средняя длина периметра резонатора $\pi(r_1 + r_2) < \lambda$, в резонаторе существует и наиболее интенсивно возбуждается только волна типа ТЕМ. Напряжение в щели при настройке стакана в резонанс распределяется равномерно, на поверхности цилиндра возникают продольные электрические токи, и получается антенна, подобная цилиндрическому вибратору. ДН этой антенны в меридиональной плоскости существенно зависит от длины возбуждаемого цилиндра.

Если же $\pi(r_1 + r_2) > \lambda$ в резонаторе, кроме волны типа ТЕМ, существует и возбуждается волна типа H_{11} коаксиальной линии, у которой критическая длина волны $\lambda_{кр} \approx \pi(r_1 + r_2)$. Выберем длину резонатора l равной $\lambda/2$. Тогда волна типа ТЕМ окажется подавленной, в то время как волна типа H_{11} , у которой длина волны в линии определяется выражением

$$\lambda_B = \frac{\lambda}{\sqrt{(1 - (\lambda/\lambda_{кр}))^2}},$$
 будет существовать. Напря-

жение в щели окажется распределенным в азимутальном направлении по закону синуса, при этом на цилиндре возникнут, помимо продольных, поперечные составляющие поверхностных электрических токов, и излучение антенны существенно изменится. Вследствие поперечных составляющих токов появится излучение вдоль оси цилиндра, причем ДН слабо зависит от длины возбуждаемого цилиндра.

Недостатком антенны с одной точкой питания является невозможность одновременной работы антенны в двух частотных диапазонах.

Данный недостаток был устранен путем трансформации элементов конструкции известной кольцевой щелевой антенны, а именно, было предложено ввести вторую точку питания, смещенную относительно первой точки питания на 90° , а также установить в полости между цилиндрами проводящие штыри, точки соединения с цилиндрами которых расположены диаметрально противоположно первой и второй точкам питания соответственно.

Таким образом, введение дополнительной точки питания смещенной относительно первой на угол 90° позволило разделить рабочие каналы по поляризации и обеспечить развязку между точками питания порядка 10 дБ, тем самым обеспечив одновременную работу антенны в двух частотных диапазонах [2].

По результатам расчетов, кольцевая щелевая антенна формирует однонаправленные ДН с шириной по уровню половинной мощности не менее $2\theta_{0,5} = 70^\circ$ в двух диапазонах частот $\Delta F_1 = F_1 \pm 15$ МГц и $\Delta F_2 = F_2 \pm 15$ МГц. Развязка между входами составила не менее 15 дБ.

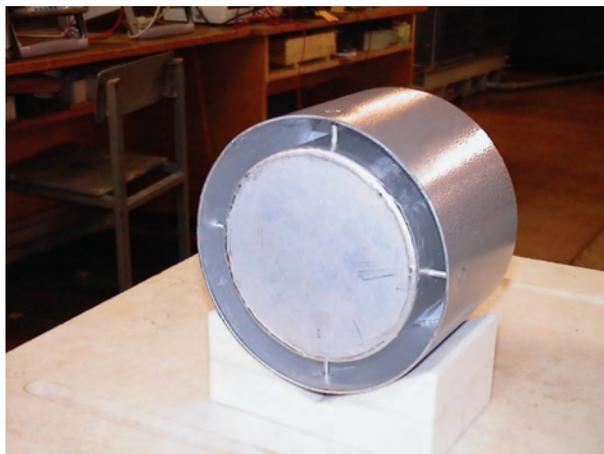


Рис. 2. Макет кольцевой щелевой антенны

Экспериментальные исследования макета кольцевой щелевой антенны

На рис. 2 представлен макет разработанной кольцевой щелевой антенны.

Экспериментальные ДН кольцевой щелевой антенны, запитываемой по входу 1, при вертикальной и горизонтальной поляризациях измерительной антенны на частотах $F_1 - 15$ МГц, F_1 и $F_1 + 15$ МГц приведены на рис. 3.

Экспериментальные ДН кольцевой щелевой антенны, запитываемой по входу 2, при вертикальной и горизонтальной поляризациях измерительной антенны на частотах $F_1 - 15$ МГц, F_1 и $F_1 + 15$ МГц приведены на рис. 4.

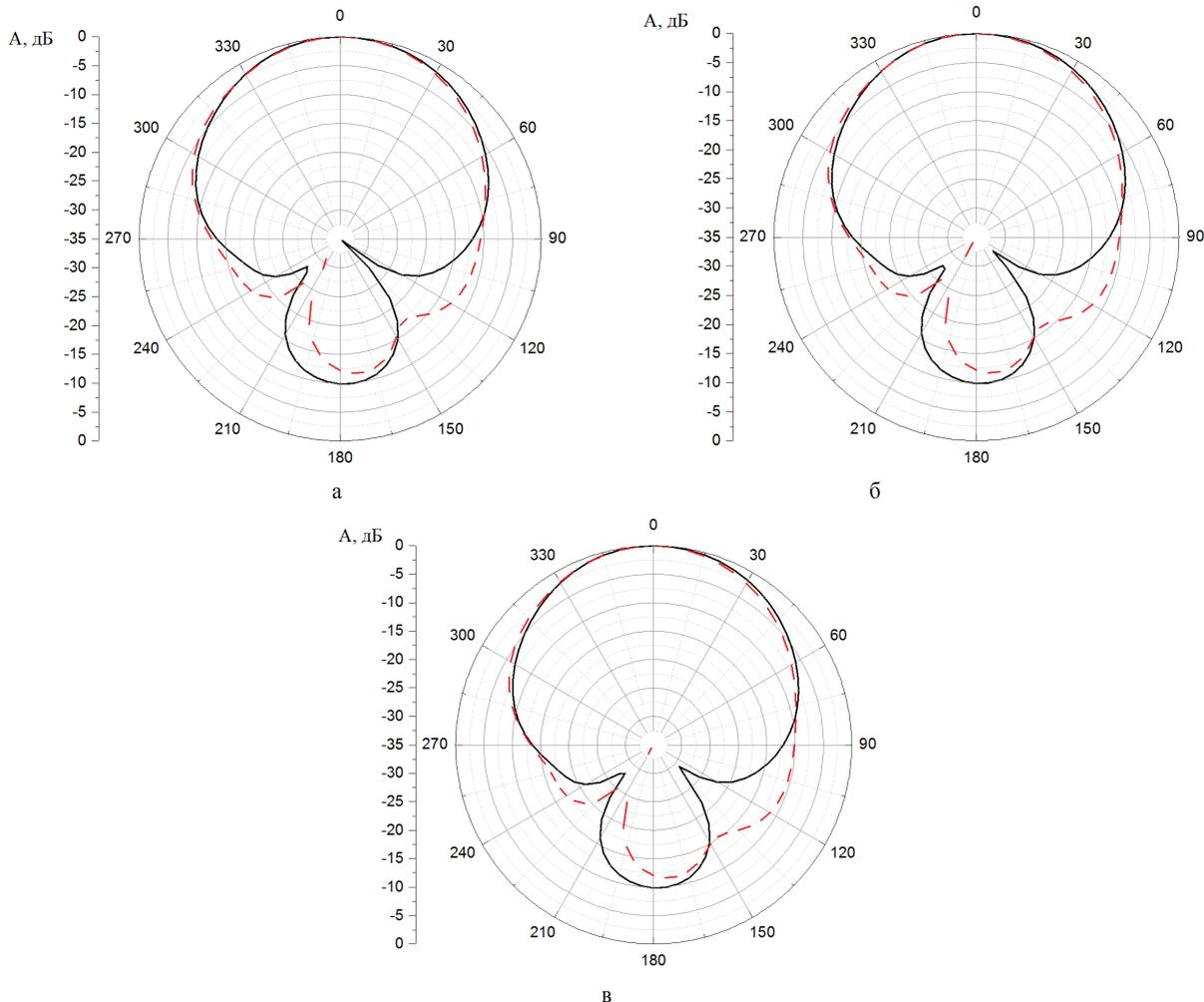


Рис. 3. Экспериментальные ДН макета кольцевой щелевой антенны, запитываемой по входу 1, на частотах: а – $F_1 - 15$ МГц, б – F_1 , в – $F_1 + 15$ МГц, — — — — вертикальная плоскость, - - - - - горизонтальная плоскость

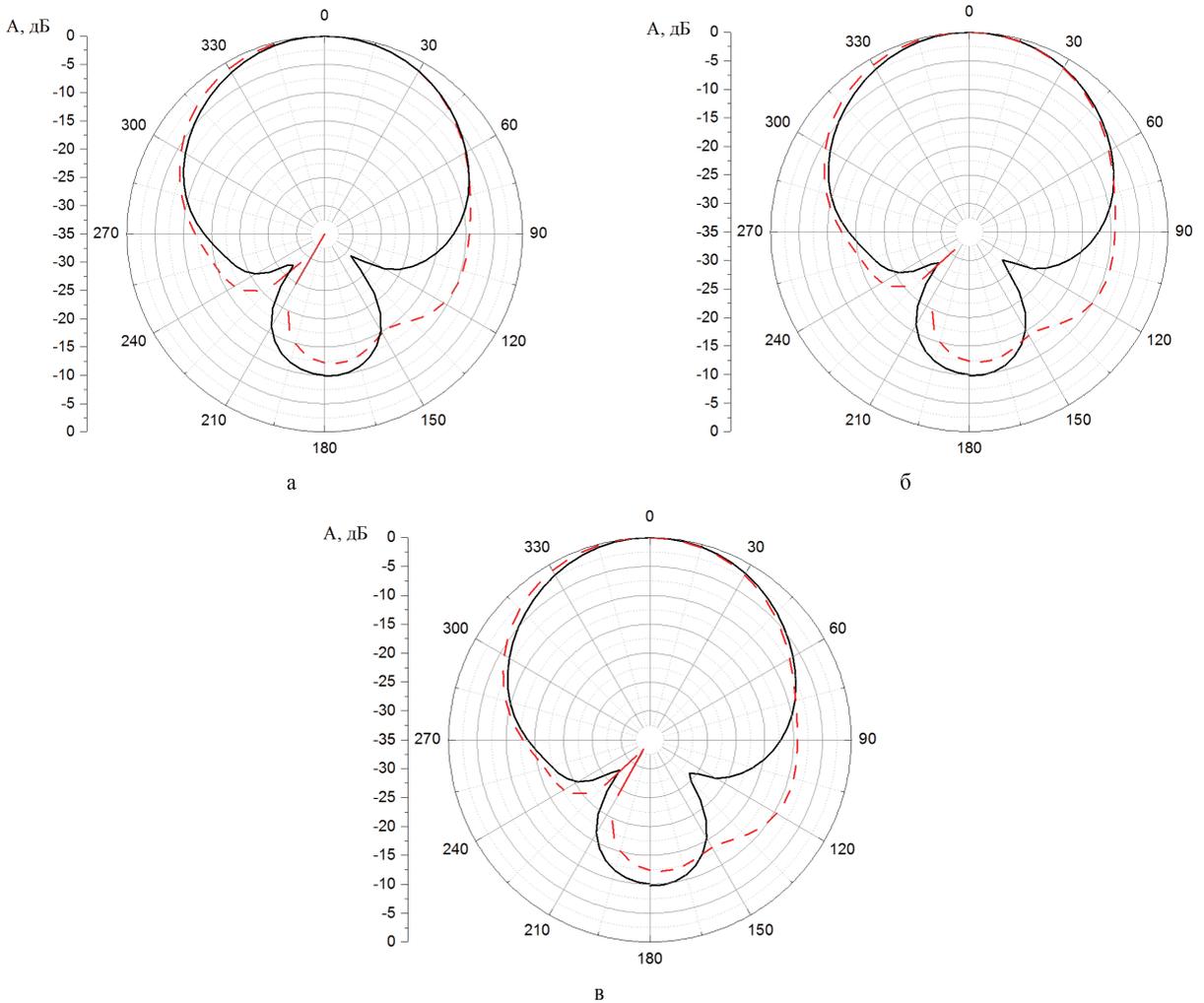


Рис. 4. Экспериментальные ДН макета кольцевой щелевой антенны, запитываемой по входу 2, на частотах: а – $F_1 - 15$ МГц, б – F_1 , в – $F_1 + 15$ МГц, — — вертикальная плоскость, - - - - горизонтальная плоскость

Значения ширины ДН по уровню половинной мощности при вертикальной и горизонтальной поляризациях измерительной антенны и значения КУ в главном направлении для антенны, запитываемой по входу 1 и по входу 2, на частотах $F_1 - 15$ МГц, F_1 и $F_1 + 15$ МГц представлены в табл. 1.

Таблица 1

Значения ширины ДН и КУ для антенны, запитываемой по входу 1 и по входу 2 на частотах $F_1 - 15$ МГц, F_1 и $F_1 + 15$ МГц

Частота, МГц	Вход 1			Вход 2		
	Ширина ДН 20°, град	20°, град	КУ, дБ	Ширина ДН 20°, град	20°, град	КУ, дБ
$F_1 - 15$	76	76	7,3	85	78	7,2
F_1	76	78	7,3	83	77	7,2
$F_1 + 15$	75	78	7,4	81	76	7,3

Экспериментальные ДН кольцевой щелевой антенны, запитываемой по входу 1, при вертикальной и горизонтальной поляризациях измерительной антенны на частотах $F_2 - 15$ МГц, F_2 и $F_2 + 15$ МГц приведены на рис. 5.

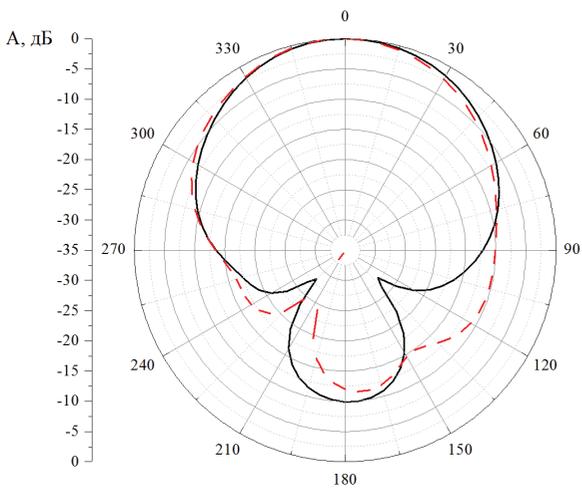
Экспериментальные ДН кольцевой щелевой антенны, запитываемой по входу 2, при вертикальной и горизонтальной поляризациях измерительной антенны на частотах $F_2 - 15$ МГц, F_2 и $F_2 + 15$ МГц приведены на рис. 6.

Значения ширины ДН по уровню половинной мощности при вертикальной и горизонтальной поляризациях измерительной антенны и значения КУ в главном направлении для антенны, запитываемой по входу 1 и по входу 2, на частотах $F_2 - 15$ МГц, F_2 и $F_2 + 15$ МГц представлены в табл. 2.

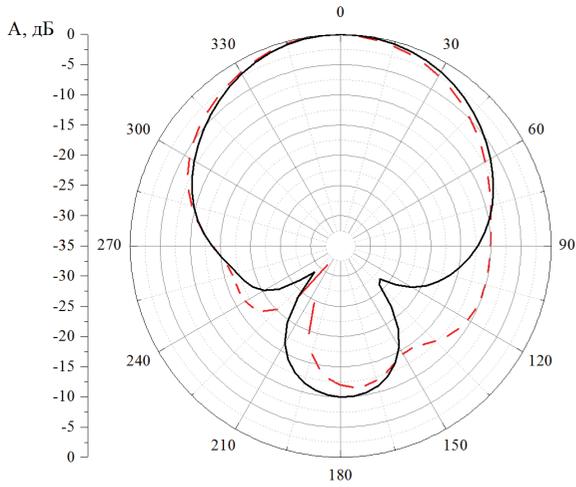
Таблица 2

Значения ширины ДН и КУ для антенны, запитываемой по входу 1 и по входу 2 на частотах $F_2 - 15$ МГц, F_2 и $F_2 + 15$ МГц

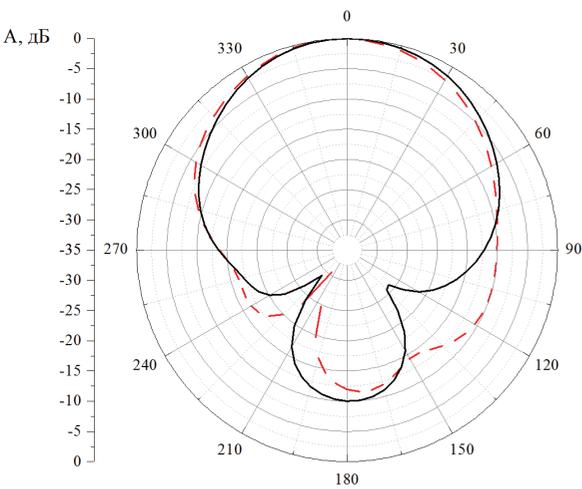
Частота, МГц	Вход 1			Вход 2		
	Ширина ДН 20°, град	20°, град	КУ, дБ	Ширина ДН 20°, град	20°, град	КУ, дБ
$F_2 - 15$	74	76	7,4	81	76	7,3
F_2	74	76	7,5	78	74	7,4
$F_2 + 15$	73	76	7,5	78	74	7,4



а

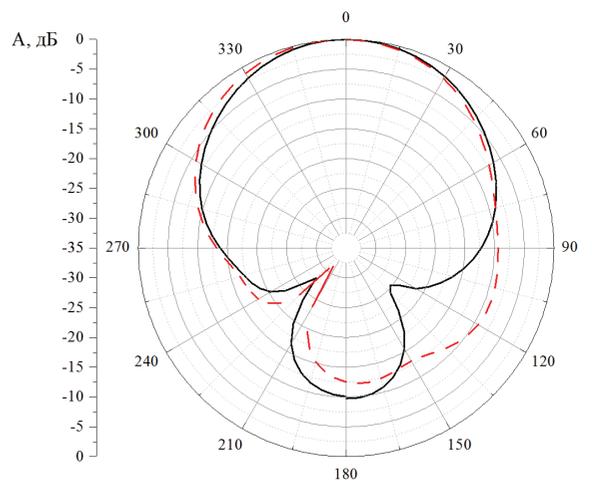


б

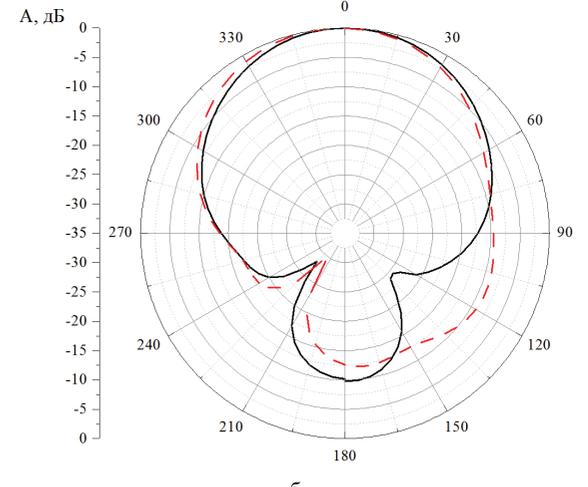


в

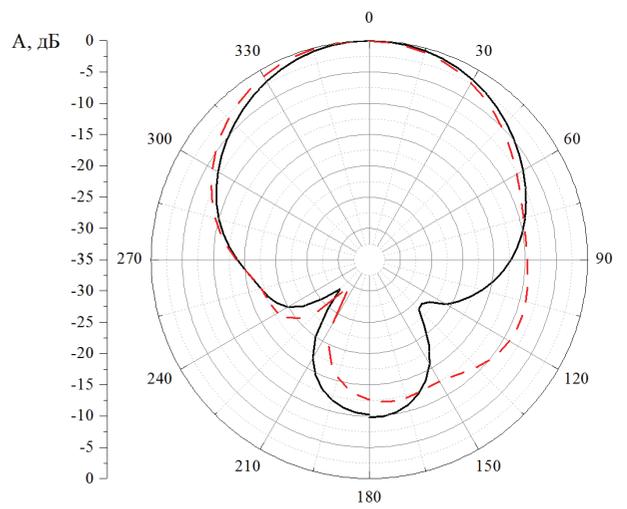
Рис. 5. Экспериментальные ДН кольцевой щелевой антенны, запитываемой по входу 1, на частотах: а – $F_2 - 15$ МГц, б – F_2 , в – $F_2 + 15$ МГц, — — вертикальная плоскость, - - - - горизонтальная плоскость



а



б



в

Рис. 6. Экспериментальные ДН кольцевой щелевой антенны, запитываемой по входу 2, на частотах: а – $F_2 - 15$ МГц, б – F_2 , в – $F_2 + 15$ МГц, — — вертикальная плоскость, - - - - горизонтальная плоскость

На рис. 7 представлен график измеренных значений КСВ кольцевой щелевой антенны по входам 1 и 2.

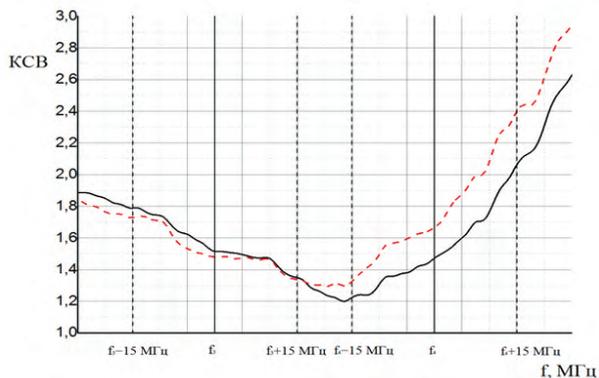


Рис. 7. КСВ кольцевой щелевой антенны:
 — вход 1, - - - - - вход 2

На рис. 8 представлен графики зависимости коэффициента развязки между входом 1 и входом 2 кольцевой щелевой антенны.

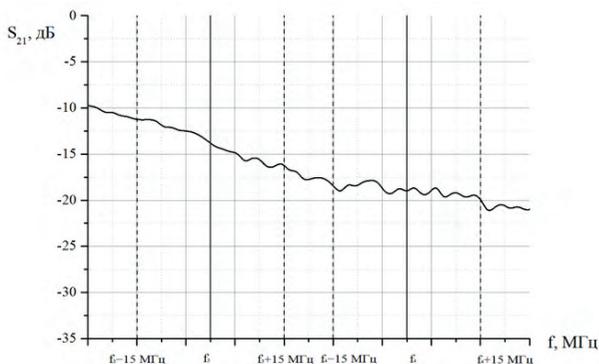


Рис. 8. Коэффициент развязки между входами 1 и 2
 кольцевой щелевой антенны

Заключение

Таким образом, результаты измерения показывают, что использование разработанной кольцевой щелевой антенны позволяет осуществлять прием/передачу сигналов в двух разных частотных диапазонах. Полученные результаты численного моделирования хорошо согласуются с результатами экспериментального исследования макета разработанной антенны. В процессе разработки антенны был проведен патентный анализ и подана заявка для проверки на патентоспособность технического решения. В результате проверки на патентоспособность был получен патент на изобретение № 2593422.

Литература

1. Марков Г. Т., Сазонов Д. М. Антенны. М.: Энергия, 1975.
2. Пат. № 2593422 РФ МПК H01Q 13/10. Кольцевая щелевая антенна / С. В.Вертей, М. И. Мигачев // Бюл. № 22. 2016.