

УДК 621.396.677

Согласование диэлектрической линзы облучателя для двухзеркальной антенны

*Некрасов Е.Г., студент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Радиоэлектронные системы и устройства»*

*Научный руководитель: Русов Ю.С., к.т.н.
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Радиоэлектронные системы и устройства»
rusov.yu.s@gmail.com
main@rl1-11.bmstu.ru*

Введение. В настоящее время для возбуждения двухзеркальных антенн широко применяются моноимпульсные облучатели. Их конструкция может быть различна [1, 2]. Наибольшее распространение получили четырехрупорные моноимпульсные облучатели [1-4], что связано с простотой их реализации. Известны классические схемы построения моноимпульсных облучателей, содержащие суммарный и два разностных приемных канала [1, 2], и схемы, подразумевающие цифровое диаграммообразование при обработке принимаемых сигналов от каждого из четырех рупоров [4].

Для получения узкой суммарной диаграммы направленности часто используют двухзеркальные антенны. Облучатель располагают в области вершины параболического зеркала, что имеет ряд преимуществ. Например, уменьшение длины подводящих волноводов снижает потери в тракте. Для уменьшения потерь, связанных с переливанием энергии за край контррефлектора, наиболее предпочтительно использовать четырехрупорный облучатель с фокусирующей линзой [5]. Но введение линзы вызывает появление дополнительных отраженных электромагнитных волн, попадающих в приемные каналы и существенно влияющих на величину развязки передающего и приемных каналов облучателя. Уменьшение влияния диэлектрической линзы на развязку каналов облучателя представляет практический интерес при использовании облучателя с фокусирующей линзой в двухзеркальной антенной системе.

Облучатель с диэлектрической линзой. Схема построения облучателя представлена на рис. 1.

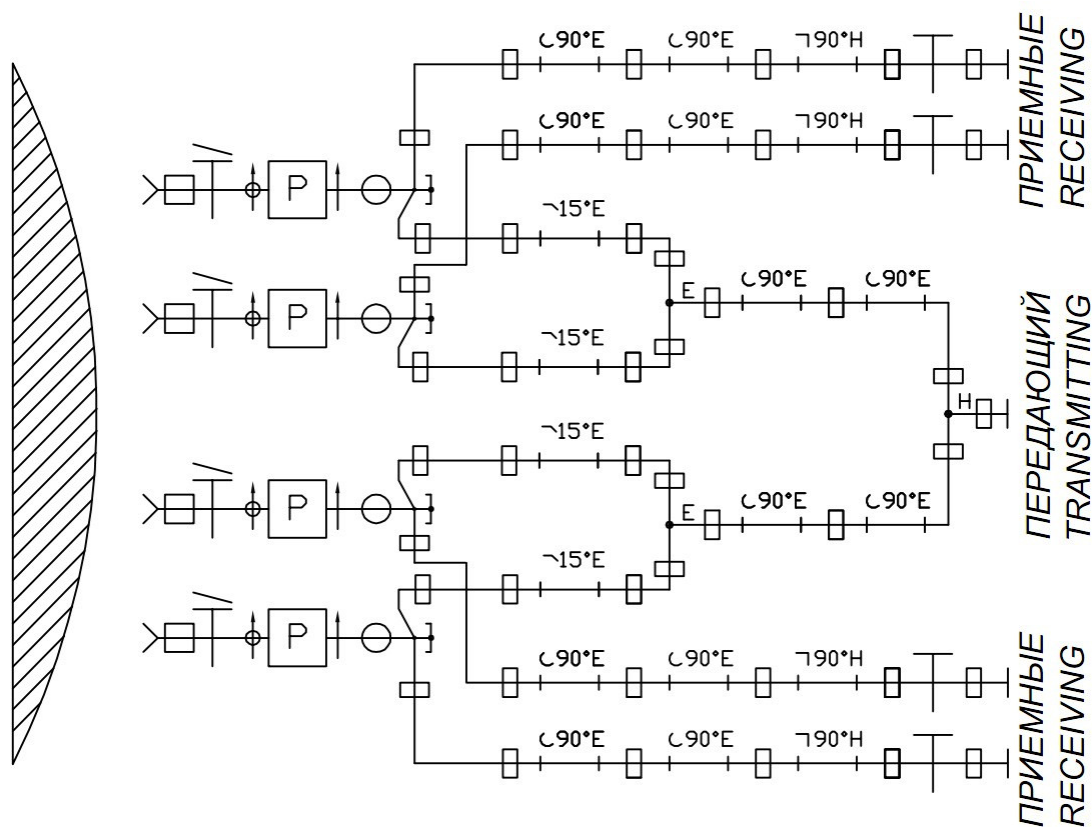


Рис. 1. Функциональная схема облучателя с линзой

Облучатель содержит четыре рупора, каждый из которых соединен с поляризатором, обеспечивающим в режиме передачи преобразование волны с линейной поляризацией поля в волну с круговой поляризацией поля и осуществляющим обратное преобразование в режиме приема. Волна с круговой поляризацией, отраженная от цели, ортогональна излученной волне. За счет этого при использовании взаимных поляризаторов волны с линейной поляризацией в передающем и приемных трактах ортогональны и разделяются селекторами поляризации. Разделение приемных и передающих каналов обеспечивается с помощью четырех селекторов поляризации. Аналогично конструкции, предложенной в [4], облучатель имеет четыре приемных канала. Передающий канал для формирования суммарной диаграммы направленности содержит три волноводных тройника.

Изготовлен макет облучателя Ка-диапазон волн. Волноводные узлы и каналы выполнены на поверхности металлических плит. С целью уменьшения потерь в волноводных каналах на каждую плиту после изготовления наносится покрытие из серебра. Диэлектрическая линза диаметром 12λ (λ – длина волны в свободном

пространстве) выполнена из фторопласта. Конструкция данного моноимпульсного облучателя показана на рис. 2.

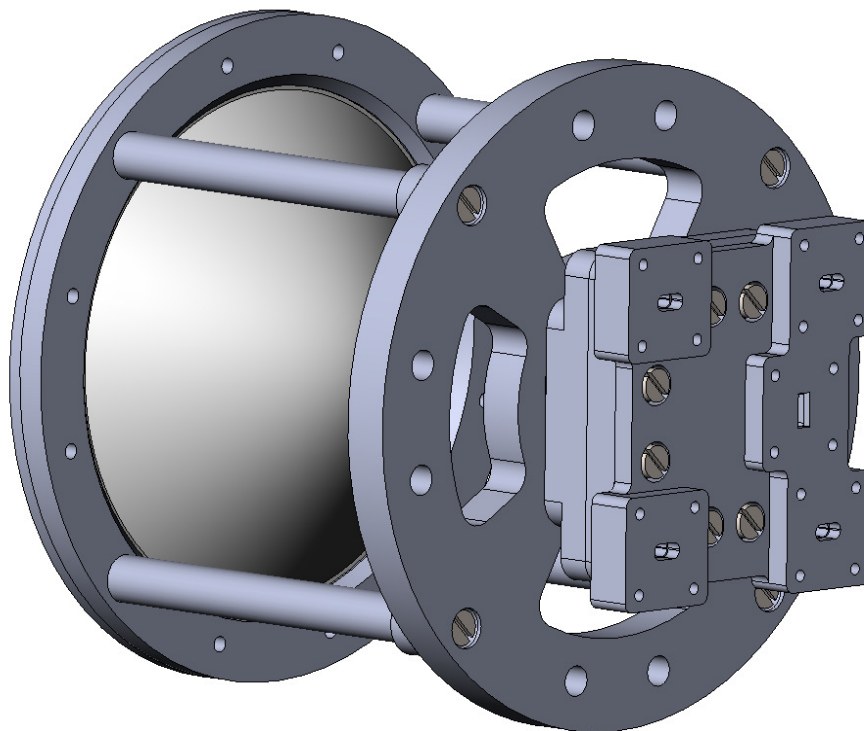


Рис. 2. Конструкция облучателя с линзой

Измеренные характеристики облучателя показали, что развязка приемного и передающего каналов при добавлении линзы в рабочей полосе $f_0 \pm 3\%$, где f_0 – средняя частота рабочего диапазона, ухудшается примерно на 5 дБ. Это проиллюстрировано на рис. 3, где приведены экспериментальные частотные зависимости развязки передающего и одного из приемных каналов изготовленного облучателя.

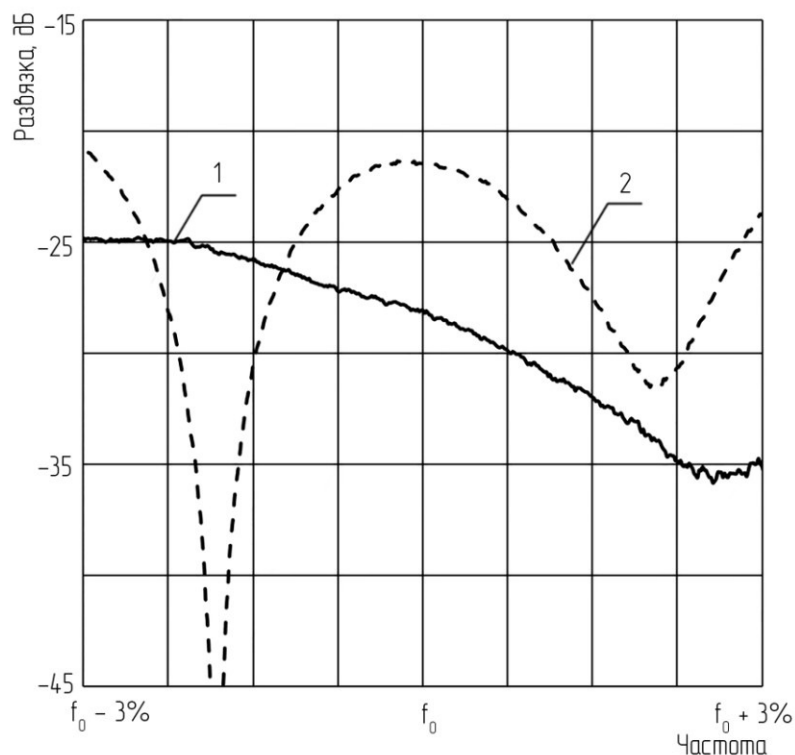


Рис. 3. Частотные зависимости развязки передающего и приемного каналов облучателя без линзы (1) и с линзой (2)

Развязка облучателя может быть улучшена путем согласования линзы со свободным пространством, например, введением согласующего слоя и созданием согласующего отверстия в линзе.

При добавлении согласующих слоев важным является выбор материала. Для устранения отражений между двумя средами с диэлектрическими проницаемостями ϵ_1 и ϵ_2 диэлектрическая проницаемость материала слоя между ними может быть определена по формуле

$$\epsilon = \sqrt{\epsilon_1 \cdot \epsilon_2} . \quad (1)$$

Толщина согласующего слоя должна соответствовать четверти длины волны в данной среде. Количество слоев будет индивидуальным для каждой линзы, так как зависит от конкретного материала линзы.

В рассматриваемом варианте линза изготовлена из фторопласта с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2,08$. Для согласования линзы одним слоем его диэлектрическая проницаемость в соответствии с формулой (1) должна быть $\epsilon = 1,44$. В промышленности серийно выпускаемых материалов с такими характеристиками нет. При реализации согласующего покрытия из доступных материалов для получения приемлемых

характеристик необходимо использовать не менее трех слоев. Результаты численного моделирования облучателя с линзой, содержащей три согласующих слоя, приведены на рис. 4.

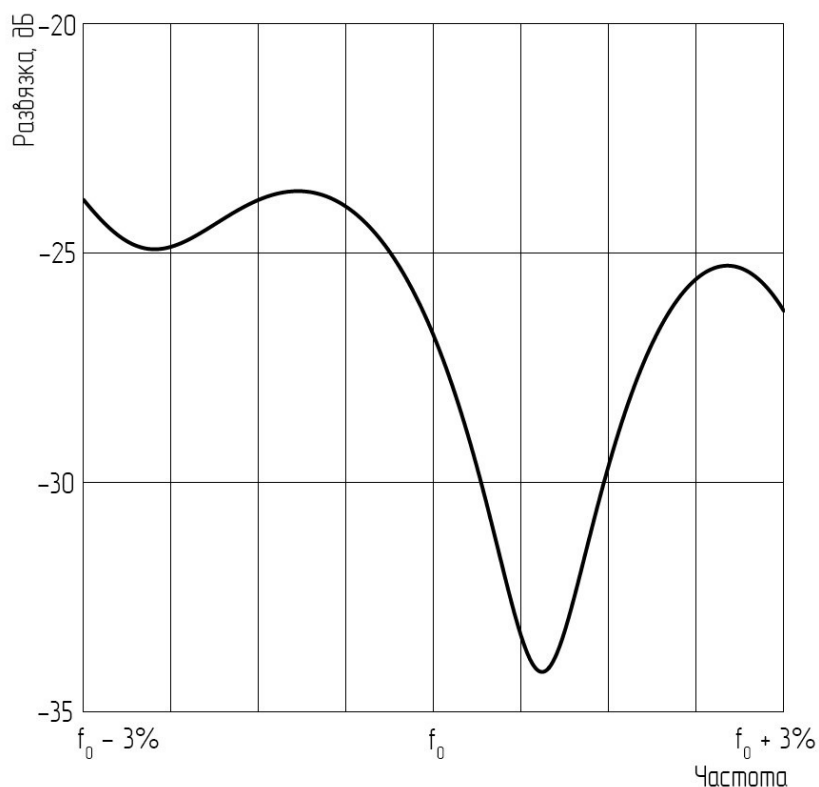


Рис. 4. Частотная зависимость развязки приемного и передающего каналов облучателя с линзой, содержащей три согласующих слоя

Создание в линзе отверстия позволяет улучшить развязку между приемным и передающим каналами облучателя. С увеличением диаметра отверстия отраженная энергия от центральной части линзы уменьшается, что улучшает развязку каналов, но качество работы линзы снижается. За критерий правильности работы линзы взято изменение уровня боковых лепестков диаграммы направленности облучателя не более чем на 5 дБ. Для наибольшего значения диаметра $1,64\lambda$ согласующего отверстия, удовлетворяющего выбранному критерию, приведены частотные характеристики развязки на рис. 5.

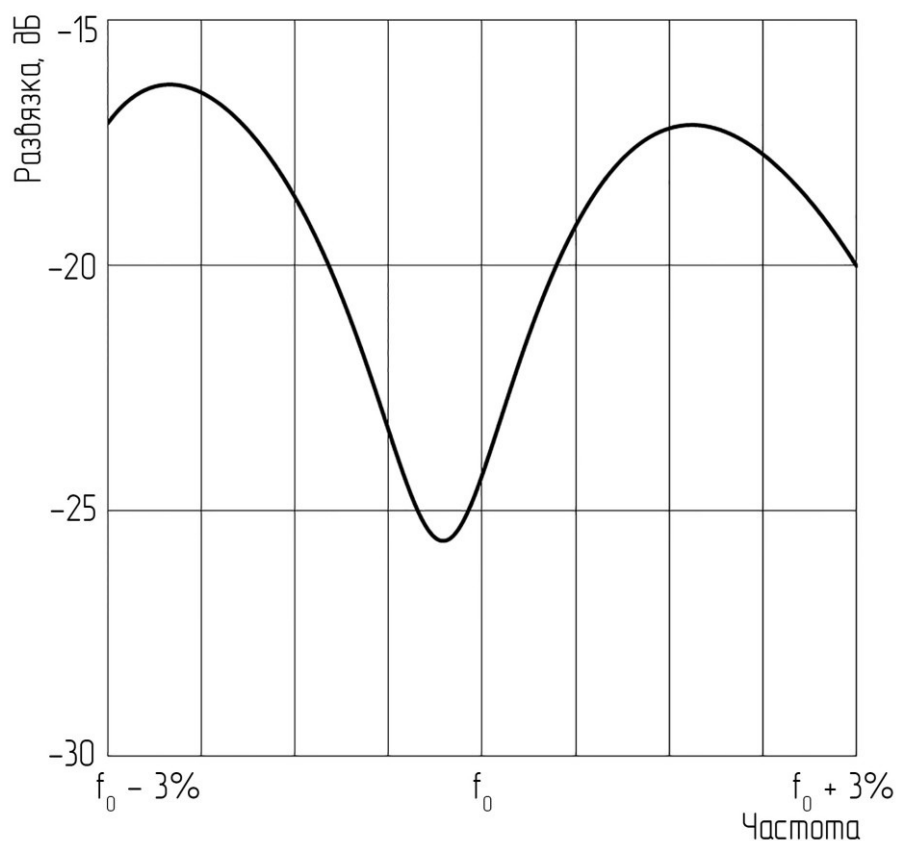


Рис. 5. Частотная характеристика развязки приемного и передающего каналов облучателя с линзой, содержащей согласующее отверстие

По отдельности рассмотренные способы согласования не обеспечивают удовлетворительное значение развязки передающего и приемных каналов. Совместное применение данных способов позволяет получить те же значения развязки, что и для облучателя без линзы. На рис. 6 показан внешний вид модели линзы, содержащей рассмотренные элементы согласования.

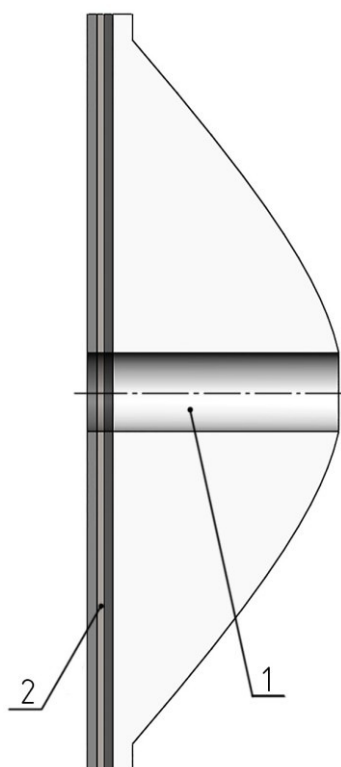


Рис. 6. Внешний вид линзы с элементами согласования: 1 – согласующее отверстие,
2 – согласующие слои

Развязка передающего и приемных каналов облучателя с линзой (см. рис. 6) показана на рис. 7.

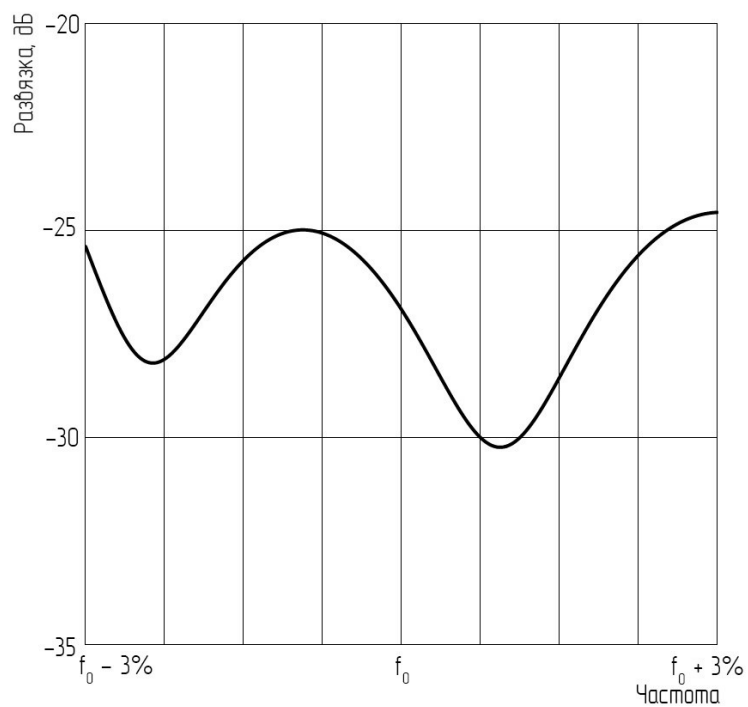


Рис. 7. Развязка приемного и передающего каналов облучателя с согласующим отверстием и согласующими слоями

При таком согласовании ширина главного лепестка изменилась на 13%, а уровень боковых лепестков возрос на 5 дБ. Сравнение диаграммы направленности облучателя с различными вариантами исполнения линзы показано на рис. 8.

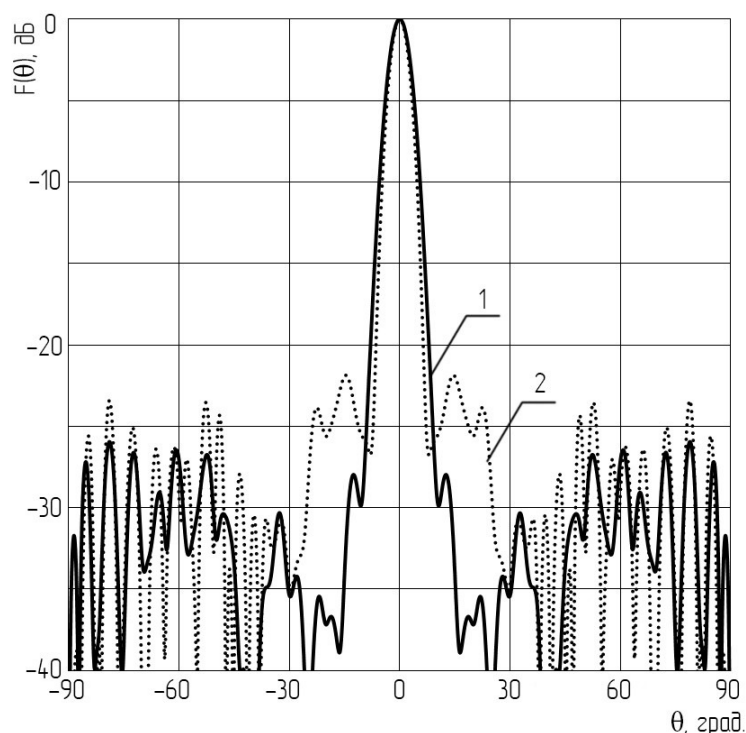


Рис. 8. Сравнение ДН облучателей с монолитной линзой (1) и линзой с согласующим отверстием и согласующими слоями (2)

Рассмотрена конструкция моноимпульсного облучателя для двухзеркальной антенной системы с четырехканальным приемом. Применение фокусирующей линзы позволяет сформировать узкую суммарную диаграмму направленности облучателя с низким уровнем боковых лепестков. Рассмотрено влияние линзы на развязку передающего и приемных каналов облучателя. Добавление согласующего отверстия и согласующих слоев улучшает развязку каналов облучателя при незначительном изменении ширины главного лепестка и уровня боковых лепестков его диаграммы направленности.

Список литературы

1. Сколник М. Справочник по радиолокации : Пер. с англ. В 4 т. Т. 4 / Под ред. К.Н. Трофимова. М.: Советское радио, 1978. 376 с.

2. Леонов А.И., Фомичев К.И. Моноимпульсная радиолокация. М.: Радио и связь, 1984. 312 с.
3. Образумов В.И., Крехтунов В.М., Шевцов О.Ю., Русов Ю.С., Голубцов М.Е. Моноимпульсная антенна: Пат. 2370863 РФ. Заявл. 04.08.2008; опубл. 20.10.2009. Бюлл. № 29.
4. Русов Ю.С., Голубцов М.Е., Овечкин В.С. Моноимпульсный облучатель для приемо-передающей системы с четырехканальным цифровым приемником // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э.Баумана. Электрон. журн. 2012. № 1. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/248250.html> (дата обращения 25.02.2014).
5. Русов Ю.С., Голубцов М.Е., Литун В.И. Моноимпульсные облучатели для возбуждения двухзеркальных антенн // Радиотехника. 2013. № 11. С. 113-117.