

Использование импедансногласованных материалов в антенной технике

А.С. Годин, М.С. Мацаян, Е.С. Степанов

ПАО «НПО «Алмаз» ТОП «ЛЭМЗ»

Аннотация: Предложена методика использования импедансногласованных материалов для смещения рабочей частоты существующих излучателей в длинноволновый диапазон. Приведены результаты численного электродинамического моделирования и экспериментального исследования волноводного щелевого излучателя, рабочая частота которого была смещена.

Ключевые слова: импедансногласованный материал; импеданс среды; антенный излучатель; смещение рабочей полосы частот; диэлектрическая и магнитная проницаемость

1. Введение

Термин импеданс среды был введён в работе Щелкунова (Schelkunoff) [1-3]. Вопрос о распространении понятия импеданса на электромагнитные поля рассмотрен также в работе Дж. А. Стрэттона [4]. Стрэттон приводит решение задачи о согласовании импедансов сред и оказывается, что для отсутствия отражения плоской волны от границы раздела двух сред, необходимо равенство волновых сопротивлений данных сред.

Импедансногласованные материалы используются для уменьшения рабочей частоты для уже существующих патчевых излучателей. В работе Буелла (Vuell, 2005) [5], в числе прочих, рассматривается излучатель, помещаемый в прямоугольный параллелепипед из импедансногласованного материала при различных значениях относительных диэлектрических и магнитных проницаемостей.

В работе Карилайна (Karilainen, 2012) [6] рассматривается возможность уменьшения рабочего диапазона частот излучателя меандрового типа с помощью вставок из импедансногласованного материала.

В патенте Парше (Parsche, 2009) [7] импедансногласованный материал используется для уменьшения габаритов спирального излучателя на сфере. В качестве импедансногласованного материала Парше предложил использовать никель-цинковый феррит (Light Nickel Zinc (High Curie Temperature) Ferrite).

Импедансногласованные материалы на основе шпинелей и гексаферритов за рубежом производятся компаниями Skyworks Solutions Inc. и Fair-Rite Products Corp.

2. Методика использования импедансногласованных материалов и численное электродинамическое моделирование волноводного щелевого излучателя

Импедансногласованные материалы для переноса рабочих частот уже изготовленных излучателей в более длинноволновые диапазоны должны обладать следующими свойствами [8, 9]:

- 1) малыми потерями;
- 2) отношение относительных диэлектрической и магнитной проницаемостей должно лежать в интервале от $1/2$ до 2.

Эти свойства позволяют сохранять эффективность и КСВ на желаемых уровнях.

Проведем электродинамическое моделирование излучателя с использованием программного комплекса ANSYS HFSS v. 18.2 [10].

В качестве примера рассмотрим антенну, построенную на основе щелевого излучателя, возбуждаемого прямоугольным металлическим волноводом, у которого нижняя частота рабочего диапазона частот имеет значение f_0 . Рассмотрим топологию и характеристики волноводного щелевого излучателя [10-15].

Топология волноводного щелевого излучателя (ВЩИ) показана на рис. 1.

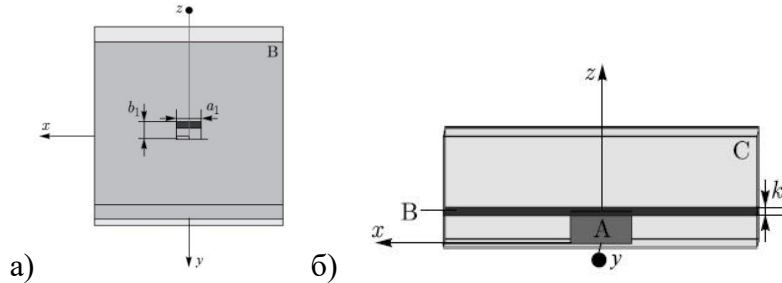


Рисунок 1. Топология волноводного щелевого излучателя.

На рис. 1 изображен ВЩИ, который находится в листе металла B . Щель имеет размеры по ширине $a_1 = \frac{7}{15}\lambda_0$, по высоте $b_1 = \frac{95}{355}\lambda_0$ (см. рис. 1 а) и по длине $k_1 = \frac{1}{150}\lambda_0$ (см. рис. 1 б), где λ_0 – длина волны в свободном пространстве для заданной f_0 – нижней частоты рабочего диапазона частот излучателя. Щель запитывается прямоугольным металлическим волноводом A , размеры которого составляют по ширине $a = \frac{7}{15}\lambda_0$, по высоте $b = \frac{1}{5}\lambda_0$ и по длине $k = \frac{7}{15}\lambda_0$ (рис. 2 а).

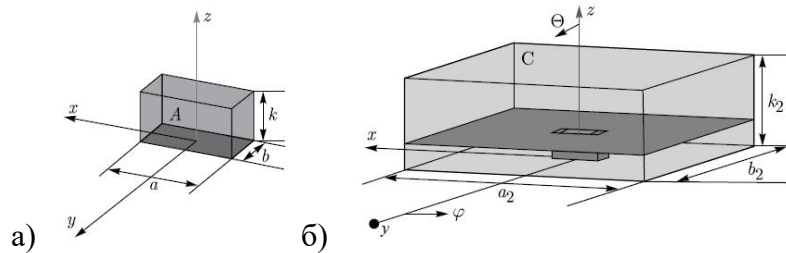


Рисунок 2. а) Прямоугольный металлический волновод A ; б) ВЩИ в вакуумной коробке C .

ВЩИ размещен в вакуумной коробке C . Его размеры будут равны: $a_2 = 2.8\lambda_0$, $b_2 = 2.8\lambda_0$ и $k_2 = 4\lambda_0$ (рис. 2 б). На внешних сторонах вакуумной коробки C устанавливается условие излучения (Radiation) [12]. Таким образом, моделируется излучение ВЩИ в открытое пространство. На рис. 3 показан полученный макет ВЩИ.



Рисунок 3. Макет волноводного щелевого излучателя.

Приведем экспериментальную и рассчитанную частотную характеристику КСВ данного ВЦИ на рис. 4 (а). На рис. 4 (б) показана экспериментальная и рассчитанная частотная характеристика коэффициента усиления K_y ВЦИ.

Рабочий диапазон частот описанного излучателя составляет $1.14f_0 - 2.5f_0$.

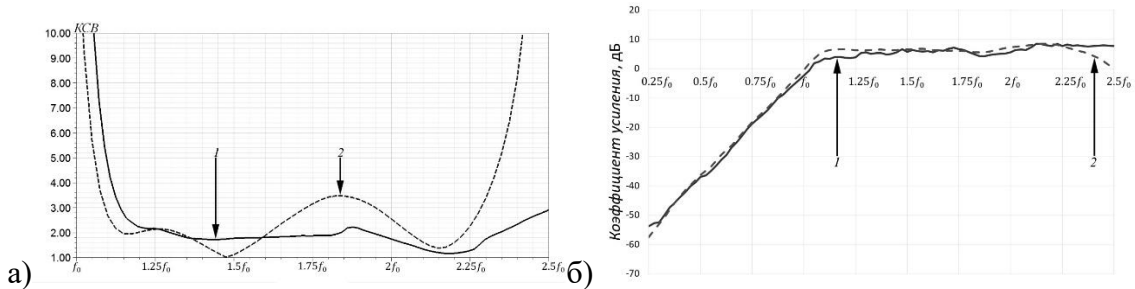


Рисунок 4. Экспериментальная (кривая 1) и рассчитанная (кривая 2) частотная характеристика КСВ (а) и коэффициента усиления K_y (б) волноводного щелевого излучателя.

3. Численное электродинамическое моделирование волноводного щелевого излучателя со смещением рабочей частоты с f_0 до $0.75f_0$

Рассмотрим топологию антенны, построенной на основе рассмотренного выше излучателя. Для этого исходный излучатель помещаем в полушар радиусом R из материала с относительными диэлектрической и магнитной проницаемостями равными 1.5. Рассмотрим вариант полученной антенны с величиной радиуса полушара $R = 0.4\lambda_0$.

На рис. 5 показана топология (а) и экспериментальный макет (б) ВЦИ с полушаром из импедансногласованного материала. Такой излучатель был назван «излучатель Година» [10, 11].

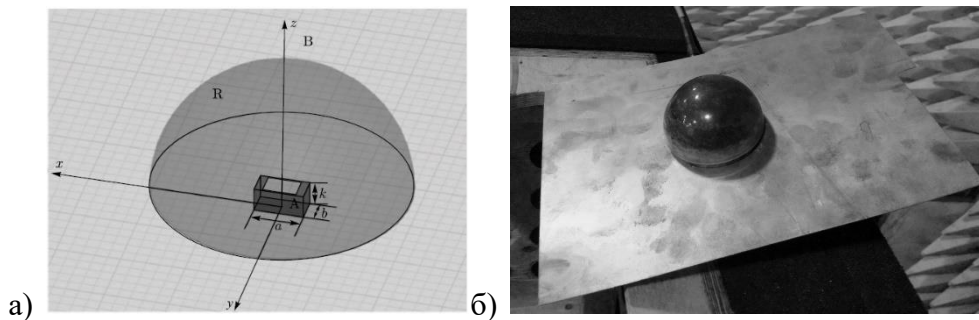


Рисунок 5. Топология (а) и экспериментальный макет (б) «излучателя Година».

«Излучатель Година» представляет собой излучатель, помещенный в полушар радиусом $R = 0.4\lambda_0$ из материала с относительными диэлектрической и магнитной проницаемостями равными 1.5. Центр полушара из импедансногласованного материала совмещен с фазовым центром щелевого излучателя. При этом рабочая частота исходного ВЦИ уменьшилась в 1.5 раза. При этом геометрические размеры волновода и щели остались прежними. Возбуждающий щель волновод также заполнен материалом с относительными диэлектрической и магнитной проницаемостями равными 1.5.

Приведем на рис. 6 полученные экспериментальные и рассчитанные частотные

характеристики КСВ и коэффициента усиления K_y «излучателя Година» для частот $0.25f_0$ до $2.5f_0$.

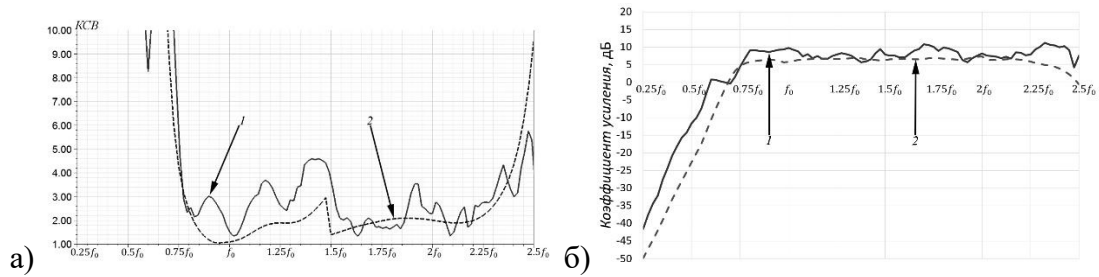


Рисунок 6. Экспериментальные (кривая 1) и рассчитанные (кривая 2) частотные характеристики КСВ (а) и коэффициента усиления K_y (б) «излучателя Година» для частот $0.25f_0$ до $2.5f_0$.

Отличия экспериментальных характеристик КСВ и K_y «излучателя Година» от рассчитанных связаны со следующими факторами:

неточность изготовления геометрических размеров «излучателя Година»;
методическая ошибка метода конечных элементов при расчете характеристики КСВ;

неточность задания значений относительной диэлектрической и магнитной проницаемостей.

Рабочий диапазон частот «излучателя Година» составляет $0.77f_0 - 2.5f_0$.

На рис. 7 приведем сравнение частотных характеристик коэффициента усиления K_y «излучателя Година» (см. рис. 5) (кривая 1) и исходного волноводного щелевого излучателя (см. рис 3) (кривая 2).

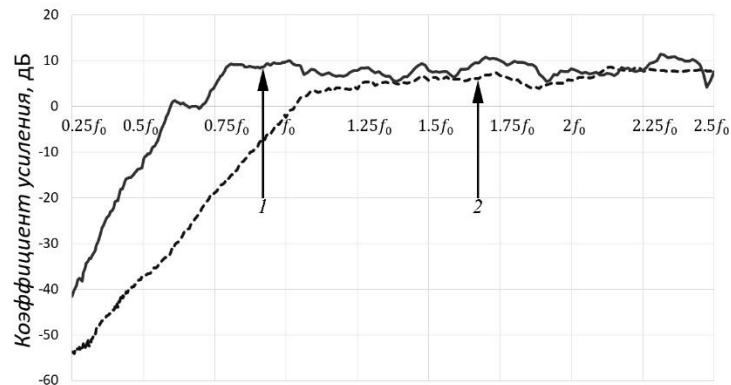


Рисунок 7. Сравнение частотных характеристик коэффициента усиления K_y «излучателя Година» (кривая 1) и исходного волноводного щелевого излучателя (кривая 2) для частот $0.25f_0$ до $2.5f_0$.

Как видно из рис. 7, частота на которой значение коэффициента усиления K_y равно нулю, сместилось с частоты f_0 на частоту $0.6f_0$. По уровню -3 дБ значение коэффициента усиления K_y сместилось с частоты $0.98f_0$ на частоту $0.57f_0$. По уровню 3 дБ значение коэффициента усиления K_y сместилось с частоты $1.09f_0$ на частоту $0.73f_0$. По уровню 5 дБ значение коэффициента усиления K_y сместилось с

частоты $1.26f_0$ на частоту $0.75f_0$. Практически во всем частотном диапазоне до $2.5f_0$ коэффициента усиления K_y «излучателя Година» больше коэффициента усиления исходного излучателя. Таким образом у «излучателя Година» по сравнению с исходным излучателем не только смещен диапазон рабочих частот, но и увеличено значение коэффициента усиления

3. Заключение

Предложена методика использования импедансногласованных материалов для смещения рабочей частоты существующих излучателей в длинноволновый диапазон. Приведены результаты численного электродинамического моделирования. Был изготовлен экспериментальный макет «излучателя Година». Основным результатом заключается в том, что полученный «излучатель Година» не только смещает рабочую полосу частот в длинноволновый диапазон, но и увеличивает значение коэффициента усиления.

Список литературы

1. Климов К.Н. Определение, параметры и области применения импедансногласованных материалов // Сборник докладов. XIII Международная научно-практическая конференция «Инновационные, информационные и коммуникационные технологии». 1-10 октября 2016 г. Россия, Сочи. С. 516-518.
2. S.A. Schelkunoff, The Impedance Concept and Its Application to Problems of Reflection, Refraction, Shielding and Power Absorption. Bell System Technical Journal, vol. 17, no. 1, pp. 17-48, January 1938.
3. H.A. Wheeler, The Radiansphere around a Small Antenna, in *Proc. IRE*, vol. 47, no. 8, pp. 1325-1331, August 1959.
4. J.A. Stratton, *Electromagnetic Theory*, Mcgraw Hill Book Company, NY and London, 1941.
5. Kevin Buell, Development of engineered magnetic materials for antenna applications, dissertation of Ph.D, University of Michigan, USA, 2005, P. 183.
6. Antti Karilainen, Magnetic materials and responses in antenna applications, Doctoral dissertations, Aalto University, Finland, 2012, P. 70.
7. Патент США № 7573431, 2009, Broadband polarized antenna including magnetodielectric material, isoimpedance loading, and associated methods, Francis Eugene Parsche.
8. Годин А.С., Климов К.Н. Излучатель Година. Патент РФ на полезную модель RU № 170118. ОБ «Изобретения. Полезные модели». 2017. №11.
9. Климов К.Н., Годин А.С. Излучатель Климова. Патент РФ на полезную модель RU № 169311. ОБ «Изобретения. Полезные модели». 2017. №8.
10. Климов К.Н., Гежа Д.С., Фирсов-Шибяев Д.О. Практическое применение электродинамического моделирования, LAP-Lambert, 2012, С. 216.
11. Годин А.С., Мацаян М.С., Гежа Д.С., Климов К.Н. Применение принципа электродинамического подобия и специальных материалов для уменьшения габаритов излучателя. // Научные технологии. М.: №4, 2016, С. 3.
12. K.N. Klimov, I.K. Epaneshnikova, A.M. Belevtsev, A.S. Godin, A.D. Drize, Synthesis of structures of electric small-sized radiators using impedance matching materials for millimeter waves, in *Proc. Millimetre Wave and Terahertz Sensors and Technology X*, vol. 10439, 2017, Warsaw, Poland.
13. Климов К.Н., Годин А.С., Гежа Д.С. Электрически малые антенны (часть 1). // Успехи современной радиоэлектроники. М.: №6, 2016, С.47.
14. Климов К.Н., Годин А.С., Гежа Д.С. Электрически малые антенны (часть 2). // Успехи современной радиоэлектроники. М.: №7, 2016, С.17.
15. Годин А.С., Климов К.Н. Использование импедансногласованных материалов для расширения полосы частот излучателей антенн. // Сборник трудов VII Всероссийская научно-техническая конференция по обмену опытом в области создания сверхширокополосных радиоэлектронных систем («СВЧ-2018»). 17-18 апреля 2018 г. Россия. Омск. С. 103-111.