

УДК 621.396.67

**Результаты электродинамического моделирования модового разделителя двухканальной антенны СВЧ радиометрической системы**

**Федосеева Елена Валерьевна** – кандидат технических наук, доцент Муромского института (филиала) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

E-mail: elenafedoseeva@yandex.ru.

Адрес: 602264 Муром, ул. Орловская, д. 23.

*Аннотация:* Приведены результаты электродинамического моделирования модового разделителя двухканальной антенны СВЧ радиометрической системы с компенсацией фоновых шумов. Получены изображения полей волн, распространяющихся в устройстве, а также частотные зависимости  $S$  – параметров разделителя: коэффициентов передачи с входа круглого волновода на прямоугольные выходы на двух модах  $H_{11}$  и  $E_{01}$ , а также коэффициента взаимной передачи сигналов между выходами. Показана возможность реализации раздельного приема радишумовых сигналов в двухканальной антенне с малыми потерями сигналов в полосе частот от 8 ГГц до 12 ГГц.

*Ключевые слова:* модовый разделитель, двухканальная антенна СВЧ радиометрической системы с компенсацией фоновых шумов, моды круглого волновода,  $S$ -параметры волноводного устройства.

**Введение**

В СВЧ радиометрических системах зондирования окружающего пространства одна из важных задач - уменьшение влияния фоновых шумов – собственного шумового излучения окружающего антенну пространства, принимаемого через область рассеяния диаграммы направленности (ДН) антенны. Один из вариантов решения данной задачи, предложенный в [1-3], – построение двухканальной радиометрической системы, в которой на выходе антенны формируется дополнительный сигнал компенсации, обусловленный приемом шумового излучения преимущественно по области рассеяния ДН основного антенного канала. В системе реализуется разностный алгоритм выделения информационной составляющей входного сигнала, обусловленной приемом радишумового излучения исследуемой области пространства, угловой размер которой задается шириной главного лепестка ДН основного антенного канала, при применении модуляционного способа формирования выходного сигнала радиометра.

В СВЧ радиометрической системе с компенсацией фоновых шумов реализация двухканального приема с необходимыми пространственными характеристикам основана на формировании двух ДН на одной излучающей

апертуре зеркальной или рупорной антенны при осуществлении приема на двух модах круглого волновода  $H_{11}$  и  $E_{01}$  с последующим разделением соответствующих выходных сигналов в специально разработанном модовом разделителе [4].

Точность компенсации фоновых шумов в радиометрической системе определяется направленными свойствами антенны и коэффициентами передачи входных сигналов антенны на двух модах, которые зависят не только от соотношения мощностей сигналов, сформированных на модах  $H_{11}$  и  $E_{01}$ , но и от условий их прохождения модового разделителя.

В данной статье приведены результаты электродинамического моделирования модового разделителя двухканальной антенны СВЧ радиометрической системы в программе MicroWave Studio, позволяющей с высокой точностью оценить параметры волноводных устройств и получить наглядные изображения полей волн, распространяющихся в устройстве.

**Принципы функционирования и конструктивные особенности модового разделителя**

Задачи, решаемые модовым разделителем в составе двухканальной антенны следующие: ответвление волны соответствующей моды на

определенный выход с минимальными потерями, обеспечение развязки выходных каналов по двум входным модам, согласование по всем входам.

Для осуществления передачи двух мод с антенны на выходы разделителя его основа выполняется на круглом волноводе, в котором возможно распространения мод  $H_{11}$  и  $E_{01}$ , для чего должно выполняться условие

$$\lambda_{крH_{21}} < \lambda < \lambda_{крE_{01}}, \quad (1)$$

где  $\lambda_{крH_{21}}$  и  $\lambda_{крE_{01}}$  - критические длины волн  $H_{21}$  и  $E_{01}$ .

Тогда с учетом взаимосвязи критических длин волн и радиуса волновода  $R$  соотношение между радиусом волновода и средней длиной волны рабочего диапазона имеет вид

$$2.06R < \lambda < 2.613R. \quad (2)$$

Для рабочего диапазона от 8ГГц до 12ГГц радиус круглого волновода согласно (2) составил 15 мм.

Выходы модового разделителя выполнены прямоугольными волноводами с размерами поперечного сечения 23мм на 10мм. Ориентация прямоугольных волноводов выбрана таким образом, чтобы обеспечить развязку выходов модового разделителя. Прямоугольный волновод – выход основного антенного канала с передачей сигнала, принятого на моде  $H_{11}$ , ориентирован вдоль круглого волновода по широкой стенке, а волновод – выход дополнительного антенного канала передачи сигнала, сформированного на моде  $E_{01}$ , расположен перпендикулярно продольной оси круглого волновода. Причем в прямоугольных волноводах моды круглого волновода преобразуются в основную моду прямоугольного волновода  $H_{10}$  и обеспечивается работа выходных каналов в одноволновом режиме с минимумом потери энергии волн.

Для улучшения условий развязки выходов модового разделителя на двух модах круглого

волновода между ответвлениями в прямоугольные волноводы устанавливается металлическое кольцо, выполняющее функции режекторного фильтра при отражении моды  $H_{11}$ . Размеры и положение этого кольца определяются его функциональным назначением. Так средний радиус рассчитывается из условия, что длина кольца по окружности равна длине волны  $H_{11}$  в круглом волноводе на средней частоте рабочего диапазона. Соответствующий указанному условию средний радиус кольца равен 6 мм. Для выполнения функционального назначения кольца – отражения моды  $H_{11}$  в диапазоне частот были приняты следующие размеры: внутренний радиус – 5мм, внешний радиус 7 мм. Продольное расположение кольца определяется условиями оптимальной передачи волны на выход основного канала, т.е. создания максимума суммарного поля моды  $H_{11}$ , отраженной от кольца, в центре входа прямоугольного волновода основного антенного канала. Расчеты для средней частоты рабочего диапазона показали, что расстояние от режекторного кольца до прямоугольного выхода составляет 1 мм.

На рис.1 показан состав модового разделителя, включенного непосредственно на выходе рупорной антенны, и указаны волны, распространяющиеся в нем.

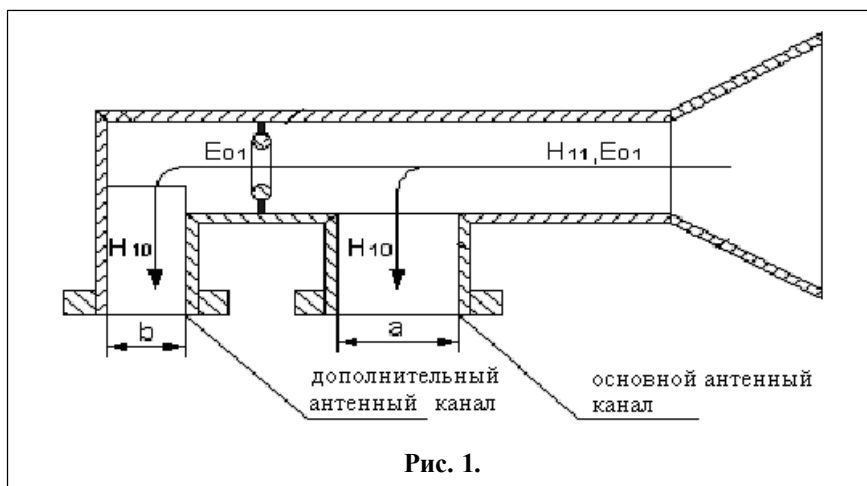


Рис. 1.

Для анализа численных значений параметров, характеризующих прохождение волн в модовом разделителе, было выполнено электродинамическое моделирование в программе MicroWave Studio.

**Электродинамическое моделирование модового разделителя двухканальной антенны**  
 В соответствии с размерами компонентов модового разделителя, определенными из условий их функционального назначения, была построена модель разделителя в программе MicroWave Studio. Внешний вид модели устройства показан на рис.2. Порт 1 в модели присвоен входу круглого волновода и определен режим его работы на трех модах: две моды  $H_{11}$  с перпендикулярной поляризацией и мода  $E_{01}$ . Порт 2 соответствует выходу прямоугольного волновода основного антенного канала, на который передается сигнал, переносимый модой  $H_{11}$  круглого волновода. Порт 3 присвоен выходу прямоугольного волновода дополнительного антенного канала, на который передается сигнал, переносимый модой  $E_{01}$  круглого волновода.

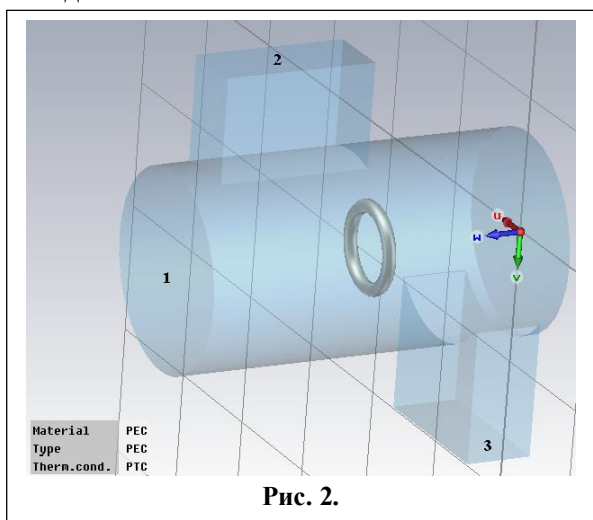


Рис. 2.

Выполненное электродинамическое моделирование позволило получить изображения полей волн, распространяющихся в разделителе. На рис. 3 показаны электрические поля волн  $H_{11}$  (а) и  $E_{01}$ (б).

Анализ представленных графических изображений полей позволяет сделать вывод о выполнении своего функционального назначения режекторным кольцом – изоляции дополнительного канала от волны  $H_{11}$ , в то время как волна  $E_{01}$  проходит его без существенных отражений.

Для численной характеристики условий прохождения волн в модовом разделителе были получены частотные зависимости S-

параметров на соответствующих модах. Так  $S2(1),1(1)$  - относительный коэффициент передачи на моде  $H_{11}$  со входа круглого волновода (порт 1) на выход прямоугольного волновода основного антенного канала (порт 2);  $S3(1),1(3)$  - относительный коэффициент передачи на моде  $E_{01}$  со входа круглого волновода (порт 1) на выход прямоугольного волновода дополнительного антенного канала (порт 3);  $S3(1), 2(1)$  - относительный коэффициент передачи между выходами прямоугольных волноводов (порт 2 и 3) – развязка между указанными выходами. Частотные зависимости S-параметров приведены на рис. 4-6.

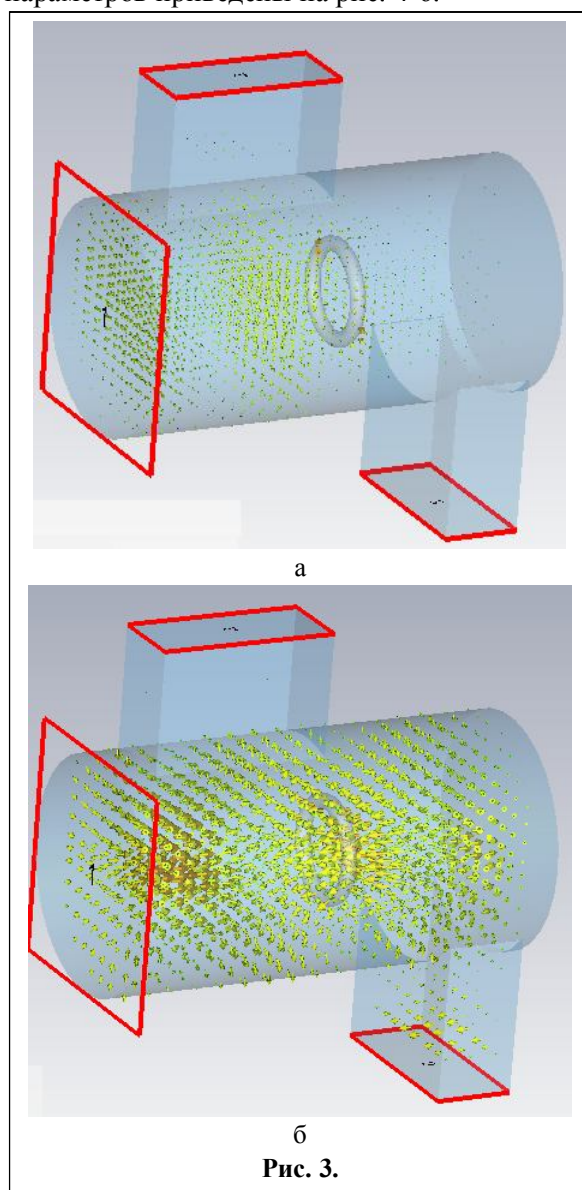
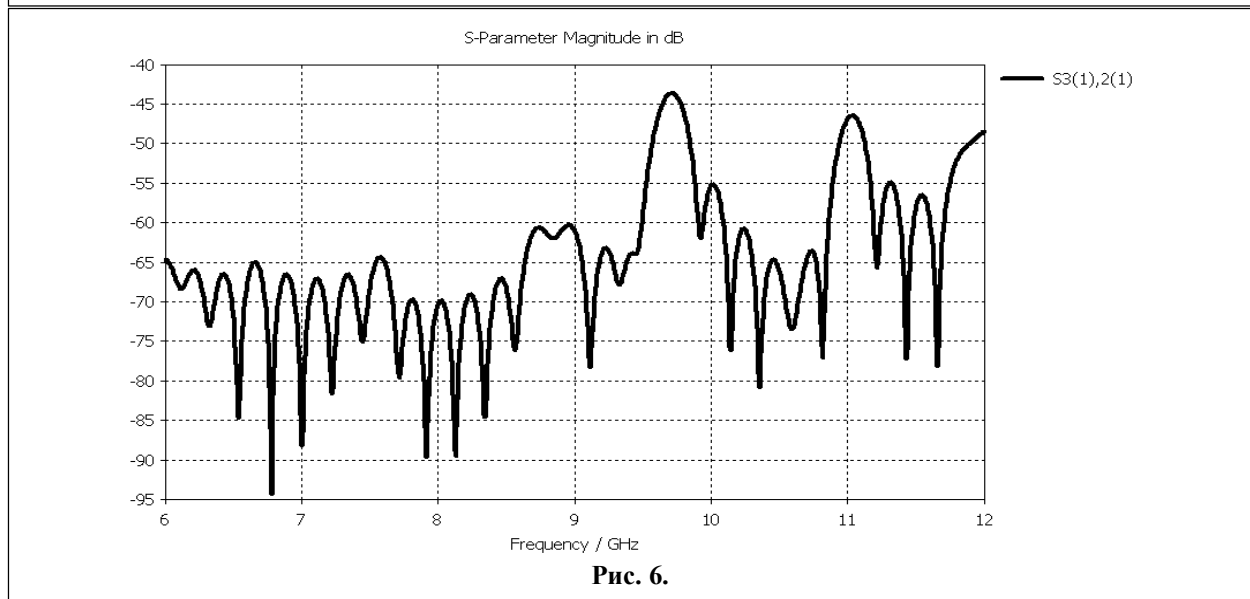
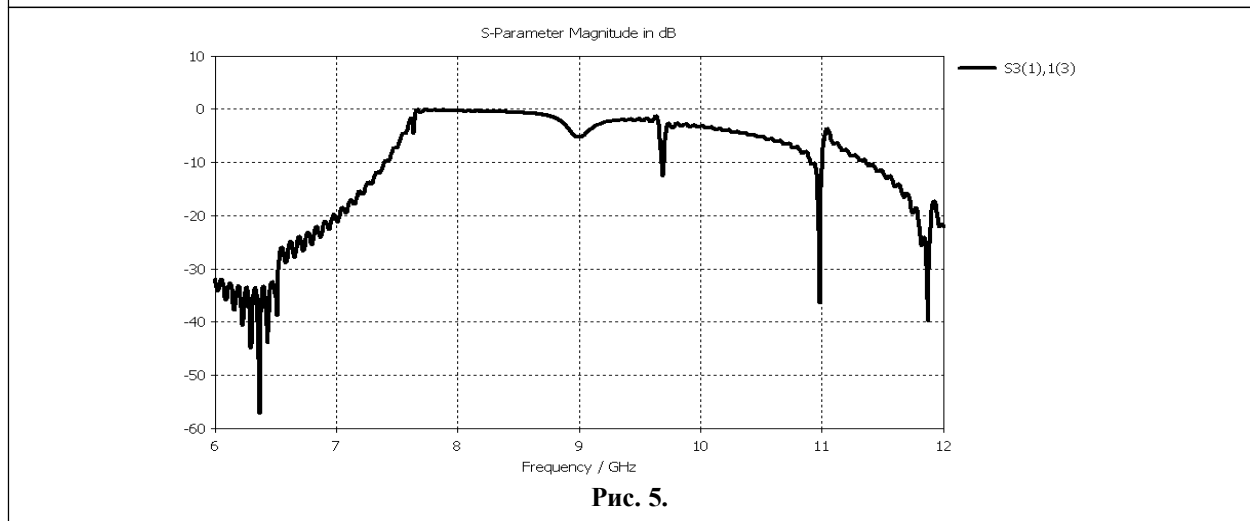
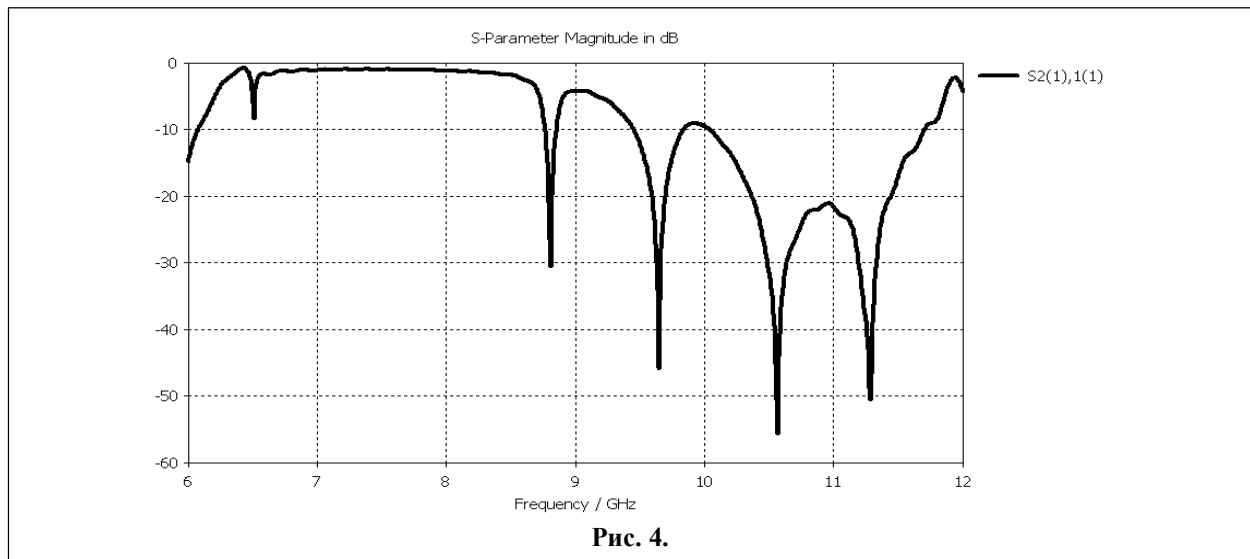


Рис. 3.



Передача энергии на соответствующих модах на выходы модового разделителя в области

высоких частот свыше 10 ГГц характеризуется общим понижением коэффициента передачи

на обеих модах, что позволяет сделать вывод о сохранении соотношений между сигналами основного и дополнительного каналов двухканальной антенны в достаточно широком диапазоне частот. Величина развязки между выходными каналами разделителя сохраняется на уровне не более -40 дБ во всем рассматриваемом диапазоне от 6 ГГц до 12 ГГц.

### Заключение

Результаты электродинамического моделирования модового разделителя двухканальной антенны СВЧ радиометрической системы с компенсацией фоновых шумов подтвердили возможность осуществления раздельного формирования двух сигналов, формируемых на выходе антенны при приеме на двух модах круглого волновода при реализации формирования двух ДН на одной апертуре антенны с направленными свойствами, задаваемыми алгоритмом выделения информационной составляющей входного сигнала в системе.

Поступила 21 марта 2014 г.

English

## Results of electrodynamic modeling of divider of fashions of waves of a round wave guide of the microwave oven two-channel antenna of radiometric system

**Fedoseeva Elena Valerjevna** – Candidate of Engineering, Associate Professor, Department of Radio Engineering Murom Institute (branch) “Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletov”.

*Address:* Orlovskaya st., 23. Vladimir region, Murom, 602264, Russia.

*Abstract:* The paper gives the results of electrodynamic simulation of a separator of wave modes of a circular waveguide of microwave frequency dual-channel antenna of a radiometric system with compensation of background noise. The images of wave fields spreading in a device as well as frequency profiles of S-parameters of a separator: ratios of transmission from an input of a circular waveguide to square- outputs on two modes  $\dot{I}_{11}$  and  $\dot{A}_0$ , and also a coefficient of signal inter-transmission between outputs have been received: The received results have demonstrated keeping constant correlation of transmission coefficients of modes  $\dot{I}_{11}$  è  $\dot{A}_{01}$  on the outputs of rectangular waveguides in the broad band of frequencies. The decoupling between outputs of a mode separator is high, its value is not less than -40 dBs over the range of frequencies from 7 GHz to 12 GHz. The results of simulation have proved the capability of implementation of separate generation of two signals formed in the output of an antenna when receiving at two modes of a circular waveguide in implementation of forming two radiation patterns on one aperture of an antenna with directional properties, set by the algorithm of selection of the information component of an input signal in system.

*Key words:* mode separator, microwave frequency dual-channel antenna of radiometric system with compensation of background noise, modes of a circular waveguide, S-parameters of a waveguide device.

### References

1. Falin V.V., Fedoseeva E.V., Shchukin G.G., Ermakov R.L., Shashkova E.A. The Construction of Adaptive Radiometric Systems of Remote Sounding. Trudy NIC DZA (filial GGO). 2001. Issue.3. P.222 - 238.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ гранта №14-02-97510 р\_центр\_а.*

### Литература

1. Фалин В.В., Федосеева Е.В., Щукин Г.Г., Ермаков Р.Л., Шашкова Е.А. Построение адаптивных радиометрических систем дистанционного зондирования //Труды НИЦ ДЗА (филиал ГГО). – 2001. – Вып.3. – С.222 – 238.
2. Федосеева Е.В., Ростокин И.Н. Радиометрическая система с дополнительным каналом формирования сигнала компенсации // Труды ГГО. – 2010.- Вып. 562. – С. 243-257.
3. Патент на полезную модель № 91630 оп. в бюл. №5 от 20.02.2010г. Радиометрическая система с компенсацией аддитивных внешних фоновых помех/ Федосеева Е.В.
4. Патент РФ №2300831 Способ снижения уровня шума антенны и двухмодовая апертурная антенна. // Федосеева Е.В., Ростокина Е.А., Ростокин И.Н. Опубл.: 10.06.2007 Бюл. №16.
5. Федосеева Е.В., Ростокина Е.А., Ростокин И.Н. Оценка параметров модового разделителя двухканальной зеркальной антенны радиотеплокационной системы // Радиотехника. – 2006. – №6. – С.126 – 128.

2. Fedoseeva E.V., Rostokin I.N. Radiometric System with Secondary Channel for Compensation Signal Generation. Trudy GGO. 2010. Issue. 562. P. 243-257.

3. Patent for the Useful Model № 91630 publ. in bul. №5 from 20.02.2010г. The Radiometric System with Compensation of Additive Exterior Background Noises Cancellation. Fedoseeva E.V.

4. Patent of the Russian Federation №2300831 The Method of Antenna Noise Control and the Two-Mode Aperture Antenna. Fedoseeva E.V., Rostokina E.A., Rostokin I.N. Publ.: 10.06.2007 . Bul. №16.

5. Fedoseeva E.V., Rostokina E.A., Rostokin I.N. Estimation of Mode Separator Parameters of a Two-Channel Mirror Antenna of Radio Infrared Detection System. Radiotekhnika. 2006. №6. P.126 - 128.