

УДК 621.396.67

И. Н. Ростокин, Е. В. Федосеева, Е. А. Ростокина

Электромагнитное моделирование двухмодового многочастотного облучателя зеркальной антенны с компенсацией боковых лепестков диаграммы направленности

Рассмотрены вопросы построения антенной системы многочастотного пассивного радиолокационного измерительного комплекса с компенсацией боковых лепестков диаграммы направленности. Приведены результаты экспериментальных исследований направленных свойств многочастотного двухмодового облучателя. Представлены результаты электромагнитного моделирования характеристик прохождения сигналов в предлагаемом многочастотном облучателе.

Ключевые слова: пассивная радиолокация, двухмодовый облучатель, диаграмма направленности.

Структурная схема многочастотного двухмодового облучателя

Основным требованием к антенне каждого частотного канала пассивной радиолокационной системы является формирование двух выходных сигналов: основного измерительного и дополнительного сигнала компенсации. Уровень последнего в основном определяется адекватным основному каналу приемом радишумового излучения через область рассеяния диаграммы направленности (ДН) основного антенного канала. Реализация двухканального приема с указанными характеристиками возможна при работе в двухмодовом режиме – на модах H_{11} и E_{01} круглого волновода с последующим разделением мод в приемном питающем волноводе антенны (модовом разделителе) [1, 2].

Модовый разделитель каждого частотного диапазона, структурная схема которого приведена на рис. 1, выполнен на основе круглого волновода, к которому подключены три волновода – выходы антенны. В совокупности с круглым волноводом первый и второй антенные каналы ($A1$ ОСН ГОР и $A2$ ОСН ВЕРТ) образуют выход антенны, осуществляющей прием на волне H_{11} на двух ортогональных поляризациях. Третий антенный канал ($A3$) принимает сигнал на волне E_{01} .

Антенный облучатель работает следующим образом. Широкополосный или шумовой сигнал подается в круглый волновод, в котором возбуждаются волны H_{11} и E_{01} . Трансформатор типов волн $H_{11} \rightarrow H_{10}$ представляет собой

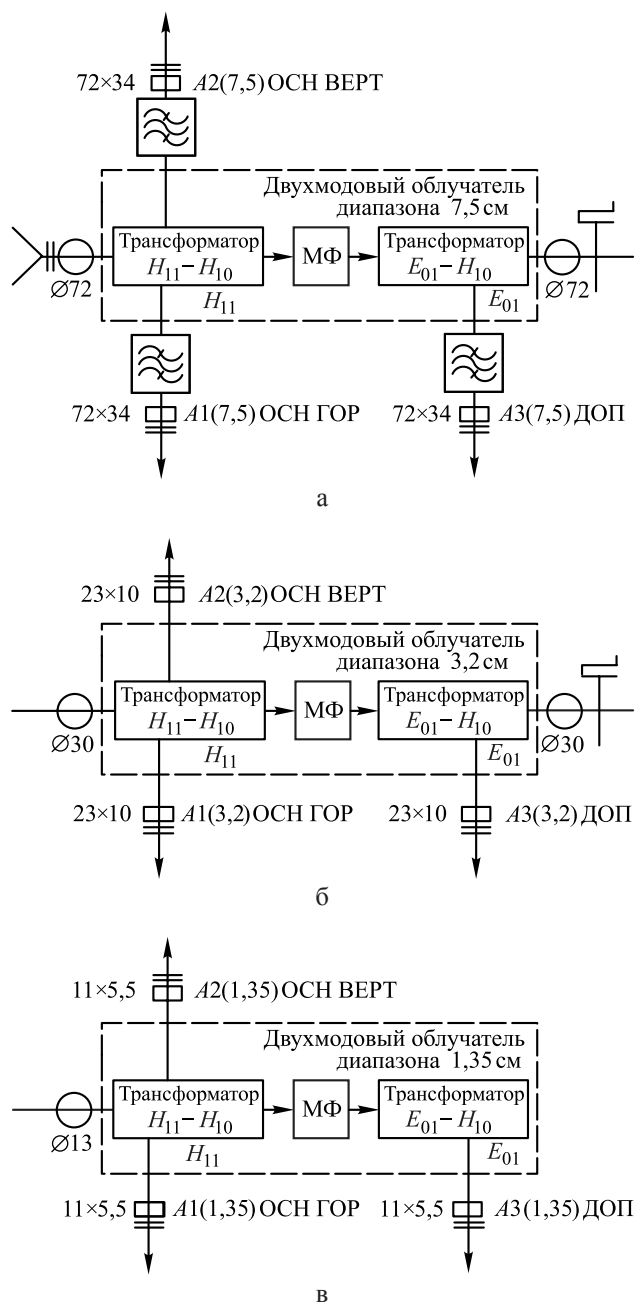


Рис. 1. Структурная схема многоволнового двухмодового облучателя; МФ – модовый фильтр



перпендикулярное подключение волновода (например, прямоугольного) к боковой стенке круглого волновода, в которой имеется прямоугольное окно. Его широкая стенка параллельна оси круглого волновода, а размеры ограничены поперечным сечением подключенного волновода. В таком трансформаторе осуществляется ответвление энергии, переносимой волной H_{11} , и подача ее на выход второго плеча. Структура поля волны E_{01} в перпендикулярном плече в виде прямоугольного волновода не может возбудить волну H_{10} , поскольку составляющие вектора E напряженности электрического поля параллельны узкой стенке, одинаковы по амплитуде и направлены в противоположные стороны. Режекторный фильтр, например, в виде проводящего кольца (рис. 2, б) в поперечном сечении круглого

волновода препятствует прохождению волны H_{11} и пропускает на вход трансформатора $E_{01} \rightarrow H_{10}$ только энергию, переносимую волной E_{01} . Трансформатор типов волн $E_{01} \rightarrow H_{10}$ представляет, например, перпендикулярное подключение прямоугольного волновода со стороны широкой стенки к круглому волноводу. Таким образом, на выходе трансформатора (третий канал АЗ) выделяется сигнал, пропорциональный только энергии волны E_{01} [3].

Способ возбуждения осесимметричной волны типа E_{01} в круглом волноводом от прямоугольного волновода с волной типа H_{10} заключается в следующем. Прямоугольный волновод соединяется с круглым волноводом через поперечное прямоугольное отверстие (рис. 2, б). Для лучшего возбуждения волны типа E_{01} круглый волновод с одной стороны закорачивается на расстоянии $\lambda_{2 E_{01}}/2$ от центра возбуждающего прямоугольного отверстия.

Для подавления паразитной волны низшего типа H_{11} , которая также возбуждается в области соединения круглого и прямоугольного волновода, в короткозамкнутом отрезке круглого волновода располагают тонкое металлическое кольцо. Периметр кольца выбирают близким к λ_0 , чтобы волна типа H_{11} возбуждала в нем резонансные колебания с одной вариацией тока по периметру. Такое резонансное кольцо действует на волну H_{11} подобно короткозамыкателю. Расположив кольцо на расстоянии $\lambda_{2 H_{11}}/4$ от центра щели, удастся эффективно подавить волну H_{11} в круглом волноводом. На волну типа E_{01} , силовые линии электрического поля которой радиальны и лежат в плоскости кольца, резонансное кольцо влияния практически не оказывает [4].

Кольцевой фильтр отражает волны типов H_{11} и H_{10} . Для волны типа H_{11} кольцо с периметром $(1,1 \dots 1,2)\lambda$ является резонансной системой, полностью отражающей волну. Для этой волны оно эквивалентно двум полукольцам длиной, приблизительно равной $\lambda/2$ каждое, т. е. полуволновым резонаторам, разомкнутым на концах. С увеличением толщины кольца возрастают ширина частотной полосы фильтра для волны H_{11} и отношение периметра к резонансной длине волны, также растет и отражение пропускаемых фильтром волн.

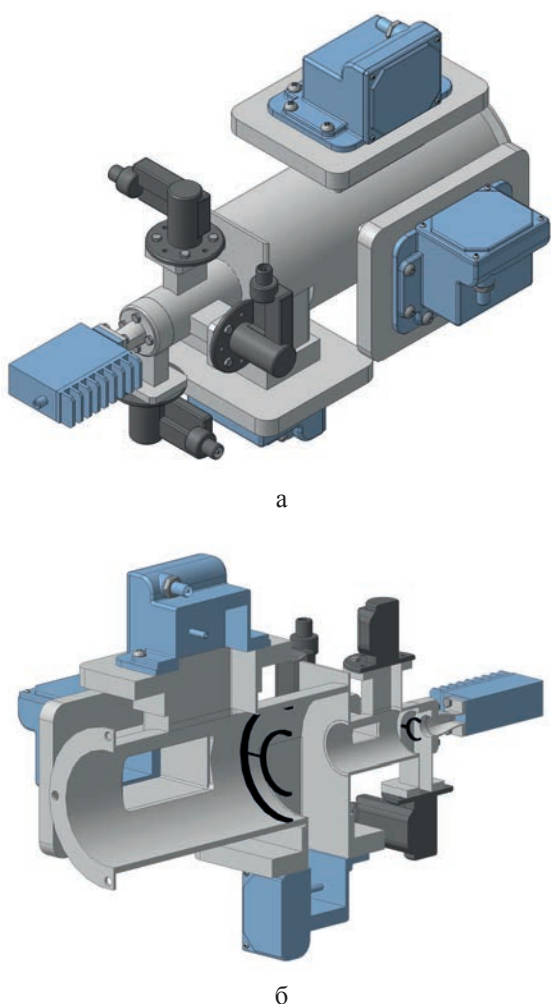


Рис. 2. Вариант практической реализации многоволнового двухмодового облучателя зеркальной антенны:
а – внешний вид; б – внутреннее строение

Кольцо пропускает волну типа E_{01} , у которой $E_{\varphi} = 0$; малый коэффициент отражения этой волны определяется прежде всего малой площадью кольца в поперечном сечении волновода [5].

Исследование направленных свойств многочастотного двухмодового облучателя

В качестве объекта исследования были выбраны двухмодовые облучатели двухканальных двухмодовых антенн. Результаты математического моделирования ДН указанных антенн для двух каналов: основного измерительного (ОСН-канал) и дополнительного формирования сигнала компенсации (ДОП-канал) – представлены на рис. 3.

Кроме численного моделирования ДН двухканальных антенн было выполнено экспериментальное исследование их направленных свойств. В экспериментах использовались полупроводниковые генераторы шума производ-

ства НПП «Исток» М31305-1 для диапазонов 7,5 и 3,2 см, М31305-4 для диапазона 1,35 см. Генерируемая шумовая мощность достигает 33 дБ относительно kT_0 . Спектральная плотность мощности шума генераторов изменялась с помощью волноводного плавного аттенюатора от 0 до –30 дБ. Результаты экспериментальных измерений ДН двухканальных антенн по радиотепловому излучению полупроводниковых генераторов шума (ГШ) на лавинно-пролетных диодах, используемых в качестве точечного излучателя, находящегося в дальней зоне антенны, соответствующих диапазонов представлены на рис. 4.

Результаты экспериментальных исследований направленных свойств двухканальных антенн показали хорошее соответствие расчетных и экспериментальных данных, что подтвердило возможность реализации требуемых характеристик направленности для фор-

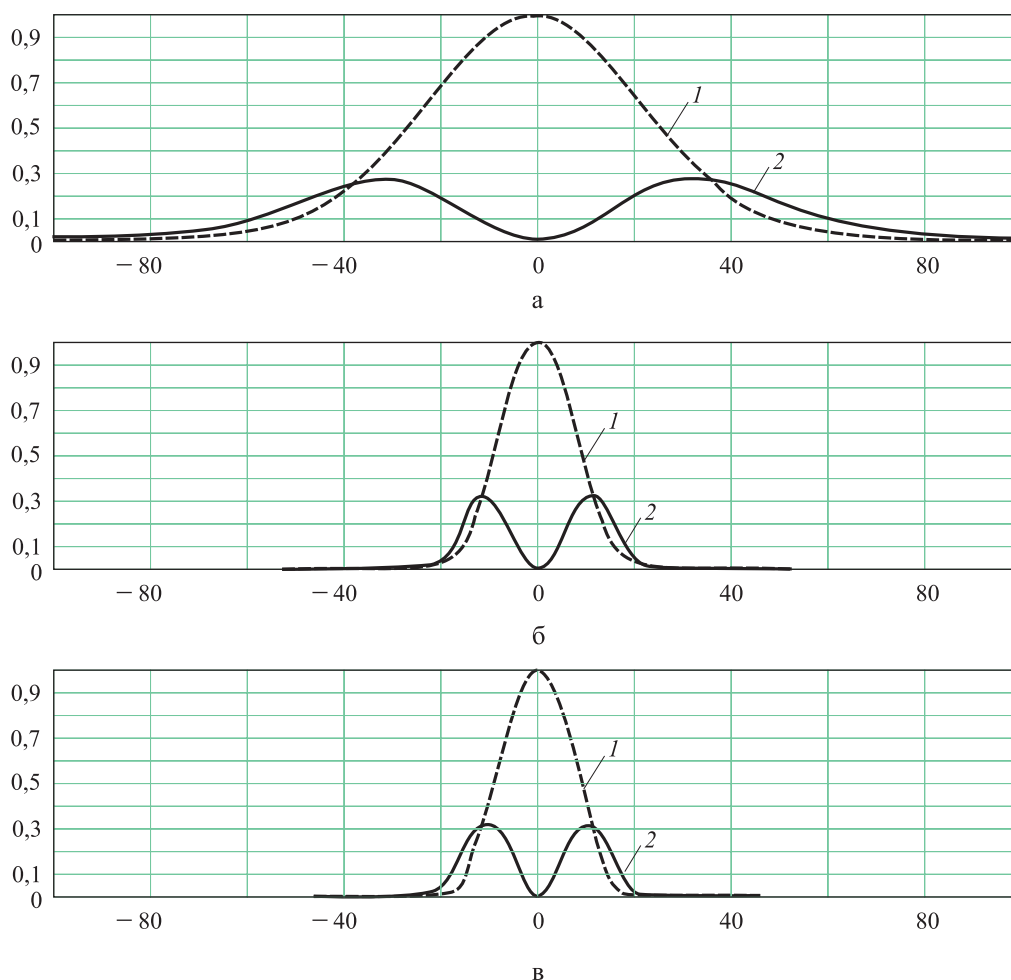
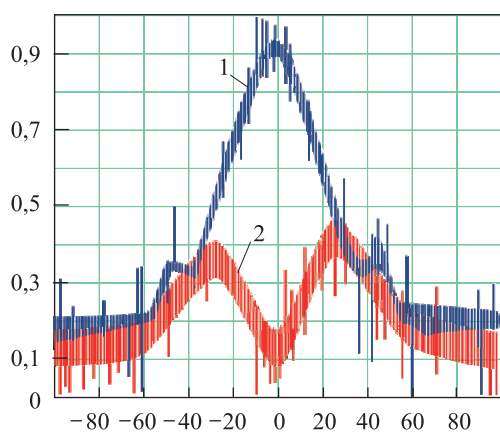
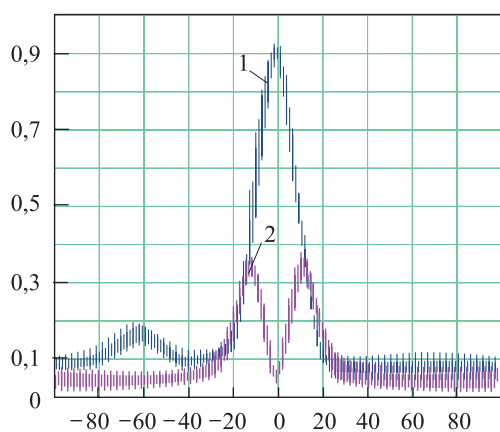


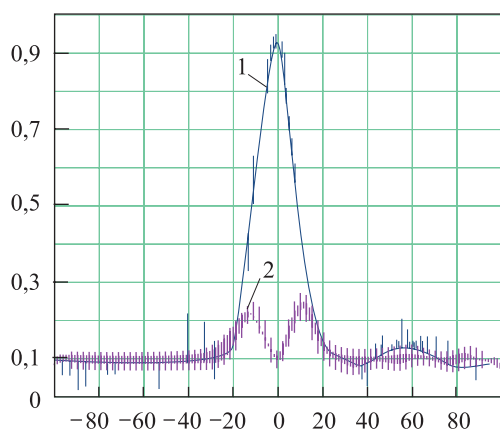
Рис. 3. Результаты математического моделирования ДН многоволнового двухмодового облучателя для диапазонов 7,5 (а), 3,2 (б) и 1,35 см (в):
1 – ОСН-канал; 2 – ДОП-канал



а



б



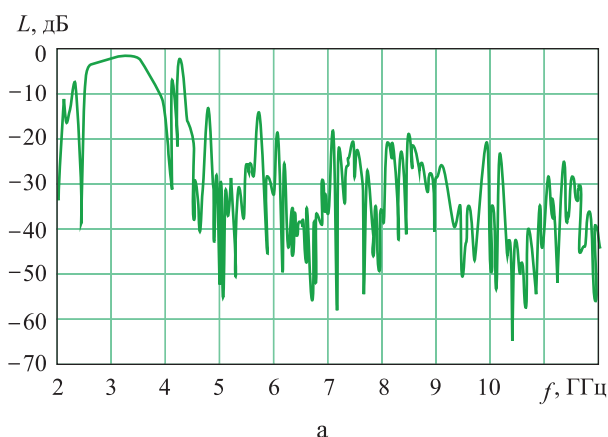
в

Рис. 4. Результаты экспериментальных исследований ДН многоволнового двухмодового облучателя для диапазонов 7,5 (а), 3,2 (б) и 1,35 см (в): 1 – ОСН-канал; 2 – ДОП-канал

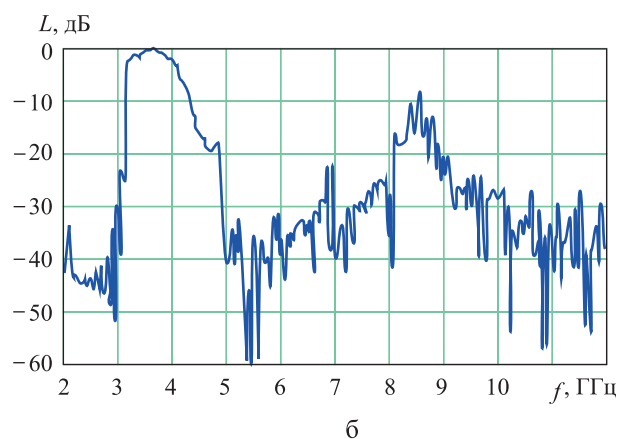
мирования сигналов компенсации адекватных помеховым составляющим входных сигналов системы в трех указанных частотных диапазонах [6].

Моделирование характеристик антенного устройства пассивной радиолокационной системы

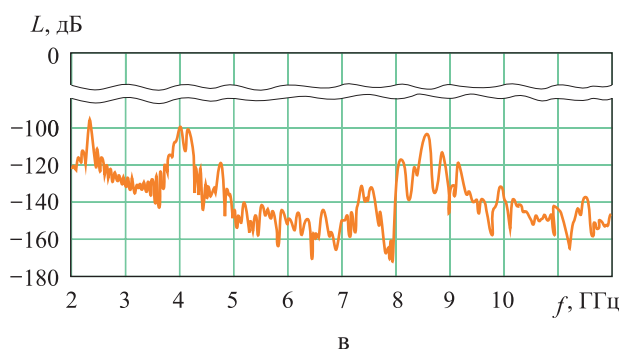
В соответствии с геометрическими размерами антенного устройства, определенными из условий его функционирования в двухмодовом режиме, в программе *Microwave Studio* была построена модель для оценки условий прохождения входных сигналов в трех последовательных секциях.



а



б



в

Рис. 5. Частотные зависимости коэффициента передачи основного (а) и дополнительного (б) каналов и коэффициента изоляции между основным и дополнительным каналами (в) первой секции антенного устройства



Характеристики антенного устройства трехдиапазонной пассивной радиолокационной системы с компенсацией влияния фонового излучения

Центральная частота диапазона, ГГц	Коэффициент передачи основных каналов, дБ	Коэффициент изоляции между основным и дополнительным каналом, дБ
Первая секция антенного устройства		
3,5	-1,5	-25
10	-35	-
22	-30	-
Вторая секция антенного устройства		
3,5	-55	-100
10	-1,0	-
22	-38	-
Третья секция антенного устройства		
3,5	-60	-
10	-55	-
22	-1,5	-80

На рис. 5 отображены результаты моделирования характеристик первой секции антенного устройства. Сводные данные по всем трем секциям представлены в таблице.

Заключение

Полученные результаты моделирования характеристик антенного устройства трехдиапазонной пассивной радиолокационной системы с компенсацией фоновых шумов подтверждают возможность реализовать частотное разделение сигналов трех диапазонов при последовательном прохождении трех секций в основных и дополнительных каналах при соосном приеме излучения на общую апертуру зеркальной антенны.

В представленном антенном устройстве трехдиапазонной пассивной радиолокационной системы решена задача компенсации влияния фоновых шумов в каждом частотном диапазоне при формировании двух выходных (основного измерительного и дополнительного компенсации) сигналов в каждой секции антенного устройства и реализации компенсационного принципа приема радиоизлучения.

Сформулированы основные требования к антенному устройству пассивной радиолока-

ционной системы с одновременным соосным приемом на общую апертуру в трех частотных диапазонах с компенсацией влияния фонового излучения окружающего пространства.

Определена структура трехсекционного антенного устройства с формированием основного измерительного сигнала и сигнала компенсации в каждом из трех частотных диапазонов и показана необходимость установки частотных волноводных фильтров низких частот в первых двух секциях для решения задачи частотного разделения сигналов при их последовательном выделении в трех секциях антенного устройства.

Приведены результаты моделирования характеристик прохождения сигналов в антенном устройстве, полученные в программе электродинамического моделирования *Microwave Studio*.

Получены частотные зависимости коэффициентов передачи основного и дополнительного антенных каналов и коэффициента их взаимной развязки.

Обобщены результаты моделирования параметров прохождения сигналов в трех секциях антенного устройства, приведены их значения на центральных частотах диапазонов.



Список литературы

1. Федосеева Е. В., Щукин Г. Г. Вопросы метрологического обеспечения радиотеплолокационных измерений в условиях действия внешних шумовых помех. Муром: Изд.-пол. центр МИВлГУ, 2012. 104 с.
2. Федосеева Е. В., Щукин Г. Г. Погрешность абсолютных радиотеплолокационных измерений при неоднородном фоновом шуме // Научный вестник МГТУ ГА. 2012. Вып. 186. С. 43–48.
3. Патент на изобретение № 2300831. Способ снижения уровня шума антенны и двухмодовая апертурная антенна // Е. В. Федосеева, Е. А. Ростоккина, И. Н. Ростоккин. Оpubл.: 10.06.2007. Бюл. № 16. 6 с.
4. Патент на полезную модель № 98820. Радиометрическая система с компенсацией внешних помех и нестабильности коэффициента передачи системы // Е. В. Федосеева, И. Н. Ростоккин, П. А. Ечин. Оpubл.: 27.10.2010. Бюл. № 30. 2 с.
5. Патент на полезную модель № 122185. Модуляционный радиометр двухканальной радиометрической системы с программно-аппаратным модулем // Е. В. Федосеева, П. А. Ечин, И. Н. Ростоккин, А. А. Молотков, А. А. Федосеев. Оpubл.: 20.11.2012. Бюл. № 32. 2 с.
6. Ростоккин И. Н., Федосеева Е. В., Ростоккина Е. А. Радиометрическая система дистанционного зондирования атмосферы // Всероссийские радиофизические научные чтения-конференции памяти Н. А. Арманда. Сб. докладов III Всерос. науч. конф. (Муром, 28 июня – 1 июля 2010 г.). Муром: Изд.-пол. центр МИВлГУ, 2010. С. 263–266.

Поступила 24.01.17

Ростоккин Илья Николаевич – кандидат технических наук, инженер первой категории АО «Муромский завод радиоизмерительных приборов», г. Муром.

Область научных интересов: пассивная радиолокация, проектирование СВЧ-устройств, антенные системы.

Федосеева Елена Валерьевна – доктор технических наук, доцент кафедры «Радиотехника» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром.

Область научных интересов: антенны и СВЧ-устройства, математическое моделирование СВЧ-устройств, СВЧ-радиометрия.

Ростоккина Елена Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление и контроль в технических системах» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром.

Область научных интересов: дистанционное зондирование атмосферы, СВЧ-радиометрические системы, антенны СВЧ-радиометров.

Electromagnetic modelling of a dual-mode multi-frequency feed horn of a reflector antenna with compensation for radiation pattern side lobes

The article deals with constructing an antenna system for a passive multi-frequency radiometry system featuring compensation for radiation pattern side lobes. We supply results of experimentally investigating directional properties of a dual-mode multi-frequency feed horn. We also provide results of electromagnetic modelling of signal transmission characteristics in the multi-frequency feed horn that we present.

Keywords: passive radar detection, dual-mode feed horn, radiation pattern.

Rostokin Ilya Nikolaevich – Candidate of Engineering Sciences, Engineer of the first rank, Joint Stock Company “Murom Radio Instrumentation Plant”, Murom.

Science research interests: passive radar detection, microwave device design, antenna systems.



Fedoseeva Elena Valerevna – Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Department of Radio Engineering, Murom Institute (branch) of Vladimir State University, Murom.

Science research interests: antenna and microwave devices, mathematical modelling of microwave devices, microwave radiometry.

Rostokina Elena Anatolevna – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Department of Control and Monitoring in Engineering Systems, Murom Institute (branch) of Vladimir State University, Murom.

Science research interests: remote sensing of the atmosphere, microwave radiometry systems, microwave radiometer antenna.