

Оценка возможности применения современных СВЧ конверторных модулей для поляризационных исследований радиотеплового излучения атмосферы с осадками.

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

Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВПО "Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых"

E-mail: arostokina@yandex.ru

В докладе приводятся результаты экспериментальных исследований поляризационных свойств современных СВЧ конверторов сантиметрового диапазона длин волн, с целью построения на их основе входного СВЧ блока поляризационного СВЧ радиометра, предназначенного для дистанционного исследования радиотеплового излучения облачной атмосферы с осадками. Приведены технические характеристики и состав измерительного комплекса. Представлены результаты экспериментальных исследований.

In the report results of experimental researches of polarizing properties of modern microwaves of converters of a centimeter range of lengths of waves are resulted, with the purpose of construction on their basis of an entrance microwaves of the block polarizations the microwaves of the radiometer intended for remote research of radiothermal radiation of a cloudy atmosphere with deposits. Characteristics and structure of a measuring complex are resulted. Results of experimental researches are submitted.

1. Поляризационные свойства радиотеплового излучения атмосферы

Принято считать, что радиотепловое излучение атмосферы, обусловленное атмосферными газами, не поляризовано. Как известно, кроме газов, в микроволновом диапазоне оптически активными являются гидрометеоры. Теоретические и экспериментальные исследования показывают, что радиотепловое излучение облаков, в которых нет крупных капель и практически отсутствует рассеяние излучения, также фактически не поляризовано. При появлении крупных капель существенную роль начинают играть рассеяние излучения на этих каплях и их несферичность. Оба эти фактора приводят к поляризации радиотеплового излучения [1].

Поляризационная зависимость коэффициентов ослабления, излучения и рассеяния радиоволн является характерной особенностью распространения миллиметровых и сантиметровых волн в атмосфере при наличии гидрометеоров. Жидкокапельные облака и туманы не имеют поляризационных контрастов, поскольку размеры капель в них меньше 100 мкм, и они имеют форму шара. Деформация крупных капель при падении их в воздухе приводит к зависимости ослабления от поляризации радиоволн в атмосфере [2].

Измерение поляризационных характеристик сигналов от гидрометеоров составляет основу дистанционного определения интенсивности осадков, параметров распределения капель дождя по размерам, параметров пространственной структуры дождя.

Для исследования поляризации радиоизлучения дождя более предпочтительным является использование диапазона СМВ, на участке длин волн от 2 до 3 см [2].

Наиболее полно состояние поляризации и энергетику электромагнитного излучения описывает четырехмерный вектор-параметр Стокса $S=[I, Q, U, V]$ с размерностью интенсивности излучения. Приближение Релея – Джинса, связывающее линейной зависимостью интенсивность излучения I с его яркостной температурой T : ($I=2kT/\lambda^2$), позволяет использовать параметры Стокса с размерностью температуры $T=[T_I, T_Q, T_U, T_V]$.

$$\bar{T} = \begin{bmatrix} T_I \\ T_Q \\ T_U \\ T_V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_v + T_h \\ T_v - T_h \\ T_{+45} - T_{-45} \\ T_l - T_r \end{bmatrix} = \frac{\lambda^2}{2k} \begin{bmatrix} \langle |E_v|^2 \rangle + \langle |E_h|^2 \rangle \\ \langle |E_v|^2 \rangle - \langle |E_h|^2 \rangle \\ \langle 2 \operatorname{Re}(E_v E_h^*) \rangle \\ \langle 2 \operatorname{Im}(E_v E_h^*) \rangle \end{bmatrix},$$

где T_v – радиояркость температура, принимаемая по каналу вертикальной поляризации; T_h – радиояркость температура, принимаемая по каналу горизонтальной поляризации; $T_{\pm 45^\circ}$ – радиояркость температура, принимаемая по каналу под углом $\pm 45^\circ$; T_l – радиояркость температура, принимаемая по каналу левой круговой поляризации, T_r – радиояркость температура, принимаемая по каналу правой круговой поляризации.

Первый параметр Стокса позволяет оценивать интенсивность дождя. Второй параметр чувствителен к форме частиц и позволяет определять распределение капель по размерам. Третий параметр Стокса чувствителен к азимутальной асимметрии элемента объема дождя, обусловленной несферичностью капель и наличием преимущественной ориентации их осей симметрии [2].

2. Виды поляризаторов используемых в СВЧ конверторных модулях

Для обеспечения поляризационной развязки между сигналами вертикальной и горизонтальной поляризации в СВЧ конверторных модулях, применяемых в качестве СВЧ блоков радиометрических систем, необходим поляризатор.

Поляризаторы СВЧ конверторных модулей могут быть электромагнитными или механическими. Физический принцип действия электромагнитного поляризатора основан на эффекте Фарадея. Достоинство поляризатора, основанного на использовании эффекта Фарадея, состоит в отсутствии подвижных элементов и в возможности осуществлять юстировку направления поляризации плавным изменением величины тока, протекающего через катушку. Потери, вносимые такими поляризаторами, составляют обычно 0,2 - 0,3 дБ. Недостатком поляризаторов является постоянное потребление энергии.

Если необходимо с помощью однозеркальной антенны осуществить одновременный прием сигналов двух поляризаций, то для линейно поляризованных сигналов в этом случае применяют специальные устройства - фазовращатели (разделители) поляризации — Ortomode Transducer). В подобных устройствах, выполненных в виде волноводного тройника, волны вертикальной и горизонтальной поляризации поступают на вход круглого волновода, а выходят разделенными по поляризации через основной и боковой выходы, выполненные в виде волноводов с прямоугольным сечением.

В последних разработках СВЧ конверторов используют сдвоенные СВЧ - тракты, а волны горизонтальной и вертикальной поляризации принимают из кругло-входного волновода с помощью двух ортогональных емкостных штырей. Лучшие результаты получаются, если один штырь расположен от короткозамкнутого конца волновода на расстоянии $\lambda/4$, а другой - $3(\lambda/4)$, однако это удлиняет конвертор.

Часто применяются поляризаторы, в которых переключение плоскости поляризации осуществляется электромеханическим поворотом зонда, находящегося в круглом волноводе облучателя.

Для приема сигналов с лево- и правосторонней поляризацией применяются волноводные устройства, преобразовывающие круговую поляризацию в линейную. Один из вариантов такого преобразования может быть осуществлен с помощью фазирующих

диэлектрических вставок, размещенных под углом 45° в круглом волноводе с волной H_{11} .

3. Результаты экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования СВЧ конверторов проводились с целью оценки частотного диапазона и поляризационной развязки между каналами горизонтальной и вертикальной поляризации.

Исследование квазитеплого микроволнового излучения проводилось с помощью радиометрической системы подробно описанной в работе [3], которая принимала радиоизлучение на вертикальной и горизонтальной поляризации, в диапазоне длин волн 2,8 – 2,3 см.

На рис. 1 приведена запись выходного сигнала двухканального конвертора при изменении частоты генератора от 10,0 до 12,5 ГГц.

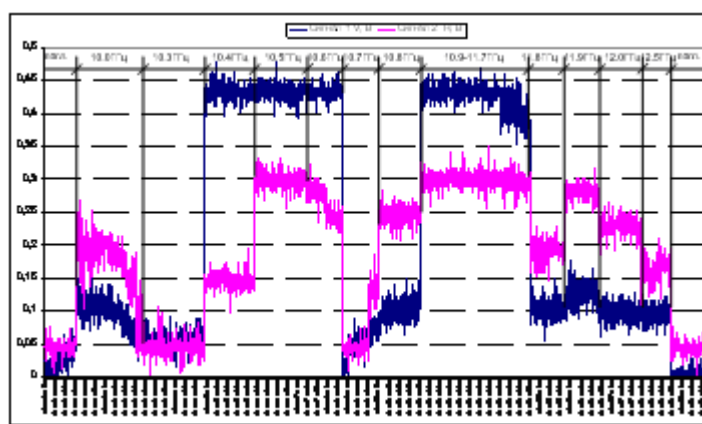


Рис. 1. Исследование рабочей полосы пропускания двухканального СВЧ конвертора

Исследования подтвердили наличие двух диапазонов уверенного приема в интервале частот 10,4 – 10,7 и 10,9-11,8 ГГц.

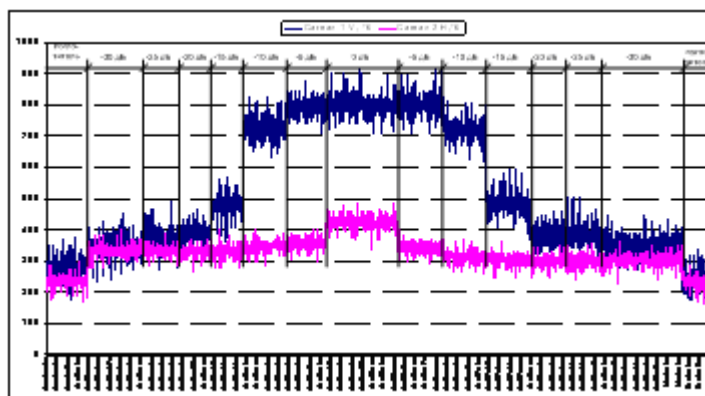


Рис. 2. Исследование поляризационной развязки между каналами двухканального СВЧ конвертора

С целью исследования поляризационной развязки между каналами горизонтальной и вертикальной поляризации было проведено измерение квазитеплого излучения полупроводникового генератора шума (ГШ), используемого в качестве точечного излучателя, находящегося в ближней зоне зеркальной антенны СВЧ радиометра, рис. 2.

Спектральная плотность мощности шума ГШ изменялась с помощью волноводного плавного аттенюатора от 0 до -30 дБ. Начало и конец записи сопровождались процедурой калибровки по поглотителю.

Выводы

В результате проведенных экспериментальных исследований современных СВЧ конверторных модулей, были получены следующие результаты:

1) двухдиапазонность СВЧ конверторов позволяет производить измерения на нескольких частотах с помощью одного прибора, изменяя частоту гетеродина путем добавления к питающему напряжению тонового сигнала;

2) наличие встроенного поляризатора позволяет производить выбор поляризации принимаемого теплового излучения путем изменения питающего напряжения СВЧ конвертора;

3) использование двухвыходного конвертора с независимыми каналами позволяет одновременно с помощью одного СВЧ конвертора принимать сигналы горизонтальной и вертикальной поляризации;

4) использование современных СВЧ конверторных модулей в качестве основы СВЧ блока радиометра, позволяет создать сравнительно не дорогой СВЧ радиометрический комплекс, предназначенный для поляризационных исследований атмосферы с осадками, обладающий достаточно высокими характеристиками.

Литература

1. Степаненко В.Д., Щукин Г.Г. и др. Радиотеплолокация в метеорологии - Л.: Гидрометеоиздат, 1987. - 283 с.
2. Козлов А.И., Логвин А.И., Сарычев В.А. Поляризация радиоволн. Кн. 3. Радиополяриметрия сложных по структуре сигналов. – М.: Радиотехника, 2008. – 688 с.: ил.
3. Ростокин И.Н., Федосеева Е.В., Ростокина Е.А. Радиометрическая система дистанционного зондирования атмосферы. Всероссийские радиофизические научные чтения-конференции памяти Н.А. Арманда. Сб. докладов III Всероссийской научной конференции (Муром, 28 июня – 1 июля 2010 г.). – Муром: Изд.-пол. центр МИ ВлГУ, 2010. С 263 - 266.