



УДК 621.372.88

**Ю. В. Крылов**

*АО «Информационные спутниковые системы» им. акад. М. Ф. Решетнёва»,  
г. Железногорск, Красноярский край, Россия*

## ЧАСТОТНО-ПОЛЯРИЗАЦИОННАЯ СЕЛЕКЦИЯ СИГНАЛОВ В РУПОРНЫХ ОБЛУЧАЮЩИХ СИСТЕМАХ ЗЕРКАЛЬНЫХ АНТЕНН

*Представлен принцип работы облучателя, основанный на использовании поляризационного частотно-селективного устройства, состоящего из двух объединенных между собой ортомодовых селекторов. Разработанный облучатель, спроектированный по такой схеме, позволяет обеспечивать прием и передачу сигналов с круговой поляризацией в Ka и Q-диапазонах в соответствии с современными требованиями, предъявляемыми к облучающим системам спутниковой связи по значениям КЭ и КСВН. Преимуществами такого облучателя являются малые массогабаритные показатели облучающей системы и возможность работы в широком диапазоне частот, как на прием, так и на передачу с оптимальными значениями электрических характеристик.*

*Ключевые слова: поляризационное частотно-селективное устройство, облучатель, ортомодовый селектор, частотный диапазон Ka, частотный диапазон Q.*

**Yu. V. Krylov**

*JCS «Academician M. F. Reshetnev» Information Satellite Systems»,  
Zheleznogorsk, Russia*

## FREQUENCY-POLARIZATION SELECTION SIGNALS IN THE HORN FEEDING SYSTEMS IN REFLECTOR ANTENNAS

*The operation principal of horn-reflector aerial using polarization frequency-discrimination device containing two orthomode coupler is presented. The horn-reflector aerial, designed according to this scheme allows for ensuring the transmitting and receiving signals with circular polarization over the Ka/Q-bands according to the contemporary requirements which are demanded for feed antenna of satellite communication systems in accordance with the values of axial ratio and VSWR. The advantages of this device are small dimensions and weight of the feed systems and the ability to work in a broad frequency range, both in reception and the transmission with the optimum values of the electrical characteristics.*

*Key words: polarization frequency-selective device, feed antenna, orthomode selector, Ka-frequency band, Q-frequency band.*

В современных облучающих системах зеркальных антенн спутниковой связи большое распространение получили устройства,

позволяющие выполнять частотную и поляризационную селекцию принимаемых и передаваемых сигналов. Одними из обязательных условий разработки таких устройств являются их широкополосность и малые массогабарит-

ные показатели. Для увеличения пропускной способности каналов связи к современным спутникам также предъявляется требование по использованию сигналов с ортогональной поляризацией как на прием, так и на передачу. Кроме того, разрабатываемый частотно-поляризационный селектор должен выполнять задачу разделения частотных составляющих сигнала приема и передачи без необходимости создания дополнительного облучателя под конкретный диапазон частот [1].

Существует несколько способов проектирования частотно-поляризационного селектора для разделения частот приема и передачи без необходимости использования дополнительного облучателя под конкретный диапазон частот.

### Способы частотной селекции сигналов

Первый способ разделения частот приема и передачи [2] показан на рис. 1. По схеме видно, что принятый сигнал с рупора 1 попадает на так называемый ортомодовый селектор 3, представляющий собой крестовой разветвитель, который разделяет две ортогональные моды высокочастотного сигнала, возникающие в волноводе круглого сечения. В четырех плечах ортомодового селектора устанавливаются режекторные фильтры 2 для подавления передающего спектра частот. На выходе селектора устанавливается режекторный фильтр 4 для подавления высокочастотного сигнала,

далее он подключается к поляризатору 5, таким образом, обеспечивается возможность передачи сигнала с круговой поляризацией в низкочастотном диапазоне. Режекторные фильтры 2, расположенные вдоль одной оси, попарно соединяются с двойными Т-мостами 6 и 8, на один выход которых устанавливается нагрузка, а другие подключаются к третьему двойному Т-мосту 7. За счет введения неоднородностей в последний двойной Т-мост можно добиться разности фаз  $90^\circ$  между двумя сигналами двух ортогональных мод, тем самым получить на приемных выходах сигнал высокочастотного рабочего диапазона с круговой поляризацией.

Второй способ разделения частот приема и передачи [3] показан на рис. 2. Здесь так же, как и в первой схеме, принятый сигнал с рупора 1 попадает на ортомодовый селектор 2, который представляет собой крестовой разветвитель, разделяющий две ортогональные моды низкочастотного сигнала. К выходу данного селектора подключается поляризатор 6. Для восстановления сигнала в передающем частотном диапазоне ортомодовый селектор соединяется со вторым ортомодовым селектором 4 посредством четырех п-образных волноводных секций 3 равной длины. Между первым селектором и п-образными волноводными секциями устанавливаются фильтры нижних частот 5. На один выход второго селектора 4 устанавливается нагрузка, ко второму выходу подключается поляризатор 7.

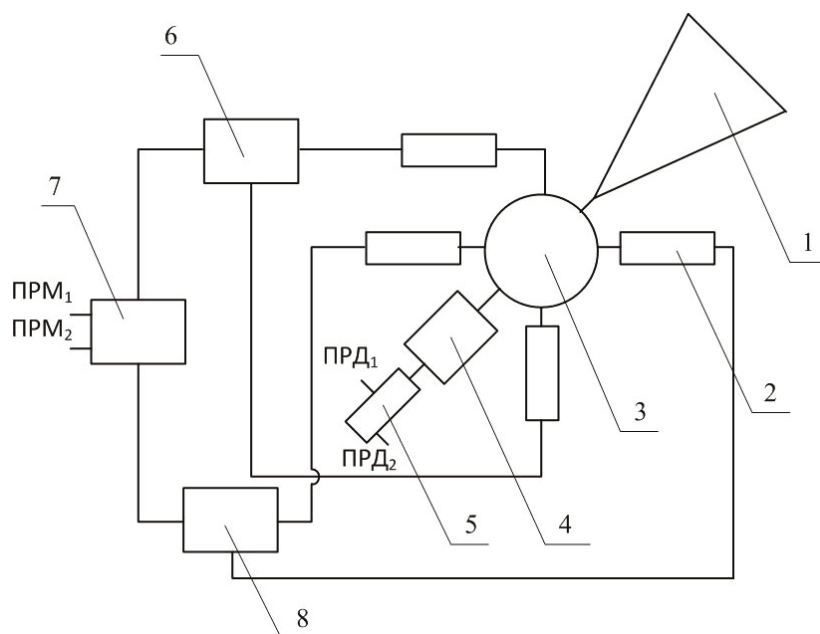


Рис. 1. Блок-схема облучателя с использованием двойных Т-мостов

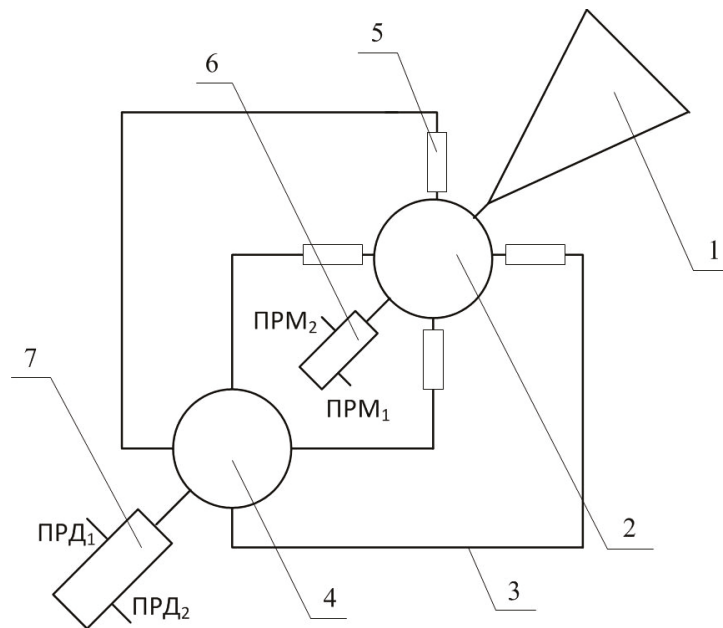


Рис. 2. Блок-схема облучателя с двумя ортомодовыми селекторами

В данной статье для решения задачи разделения сигналов с круговой поляризацией для частот приема и передачи, разнесенных на октаву в Ка-Q диапазоне, был разработан частотно-поляризационный селектор, реализованный по представленной схеме (рис. 2).

### Конструкция разработанного облучателя

На рис. 3 показана 3D-модель внешнего вида разработанного облучателя. Для выполнения требований к облучателю по значениям коэффициента усиления, коэффициента эллиптичности, формы диаграммы направленности для заданной рабочей полосы частот был использован гофрированный рупор 1.

У основания рупора располагается ортомодовый селектор 2, представляющий собой крестовой разветвитель, в плечах которого установлены фильтры нижних частот 10 для подавления приемных частотных составляющих. На выходе ортомодового селектора установлен поляризатор Q-диапазона 6, реализованный на круглом волноводе с пазом и селектора с двумя ортогональными выходами. Если облучатель работает с сигналами только одной поляризации, например, на выходе 4 поляризатора принимается сигнал с требуемой поляризацией, то на другом ортогональном выходе устанавливается нагрузка 7. Для восстановления сигнала в передающем частотном диапазоне фильтры 10 соединяются

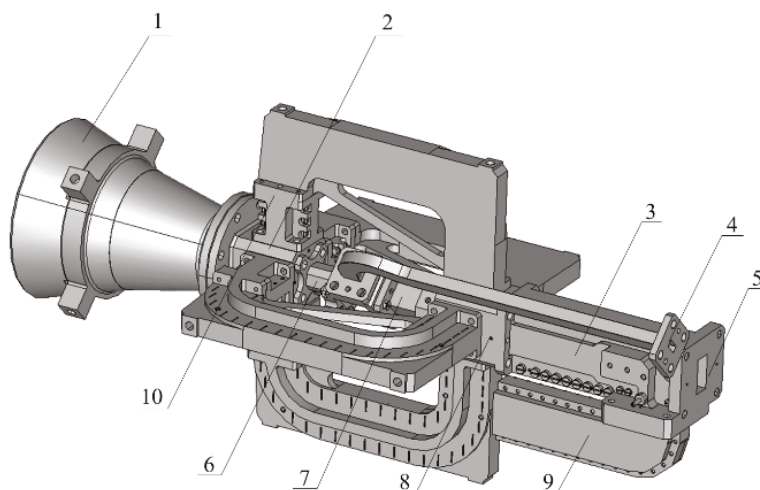


Рис. 3. Внешний вид облучателя: 1 – рупор; 2, 8 – крестовые селекторы; 3 – септум-поляризатор; 4 – выход приемного сигнала; 5 – выход передающего сигнала; 6 – поляризатор; 7, 9 – нагрузки; 10 – фильтр нижних частот

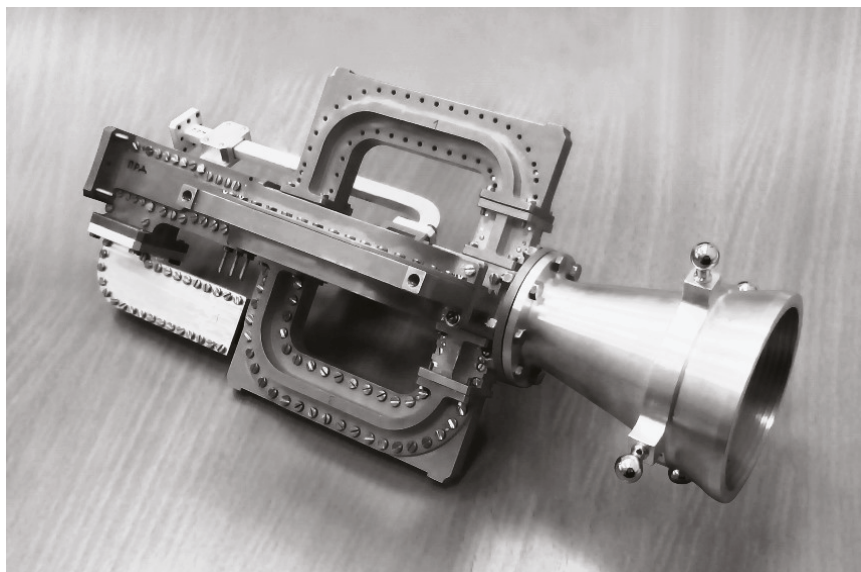


Рис. 4. Изготовленный облучатель

со вторым ортомодовым селектором 8 посредством четырех п-образных волноводных секций равной длины. Один выход селектора короткозамкнут, ко второму выходу через трансформатор с круглого на квадратное сечение присоединен септум-поляризатор 3. Если облучатель работает с сигналами только одной поляризации, например, с входа 5 передается сигнал с требуемой поляризацией, то на второй, неиспользуемый вход, устанавливается нагрузка 9.

Для того чтобы разрабатываемое частотно-селективное устройство облучателя было широкополосным, была использована схема разделения частот приема и передачи с помощью двух ортомодовых селекторов. Ортмодовый селектор, расположенный сразу после рупора, представляет собой волновод круглого сечения, к которому перпендикулярно его оси подключены четыре взаимно перпендикулярных прямоугольных волновода. Диаметр волновода круглого сечения был рассчитан исходя из расчета распространения основной волны  $H_{11}$  в передающем диапазоне частот. Выход селектора представляет собой переход на сечение меньшего диаметра для распространения основной волны  $H_{11}$  в приемном диапазоне частот и множественные изменения сечения круглого волновода для подавления паразитных составляющих высших мод, возникающих в круглом сечении волновода большего диаметра.

С помощью четырех взаимно перпендикулярных п-образных волноводов равной длины и второго ортомодового селектора, который выполняет функцию восстановления сигнала, вы-

полняется условие синфазности и ортогональности двух мод, распространяемых в круглом волноводе для возможности передачи сигнала с круговой поляризацией. К выходу переменного сечения первого селектора подключается поляризатор, реализованный на круглом волноводе с развернутым на  $45^\circ$  пазом. Оптимизируя геометрические размеры паза, можно добиться ортогональности мод с равной амплитудой и со сдвигом фаз  $90^\circ$ . Таким образом, с помощью данного поляризатора можно принять сигнал с круговой поляризацией. На выходе селектора 8 (рис. 3) расположен септум-поляризатор. Для получения разности фаз  $90^\circ$  между ортогональными компонентами электромагнитной волны у такого поляризатора используется ступенчатая металлическая перегородка.

По завершении моделирования электродинамической модели разработанного поляризационного частотно-селективного устройства и рупора, входящих в состав облучателя, изображенного на рис. 3, был изготовлен облучатель, фотография которого представлена на рис. 4.

На рис. 5 и 6 приведены рассчитанные и измеренные радиотехнические характеристики облучателя. Сплошными линиями обозначены рассчитанные значения КСВН и КЭ, штрихпунктирными – измеренные.

Как видно на рис. 5, рассчитанные и измеренные значения КСВН частотно-селективного устройства достаточно хорошо совпадают как по значению, так и по характеру частотной зависимости. Таким образом, рассчитанные и измеренные значения

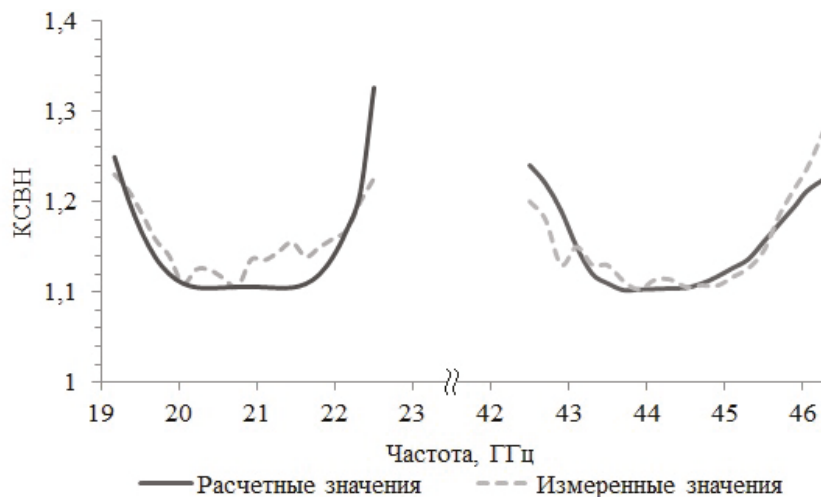


Рис. 5. КСВН селективного устройства

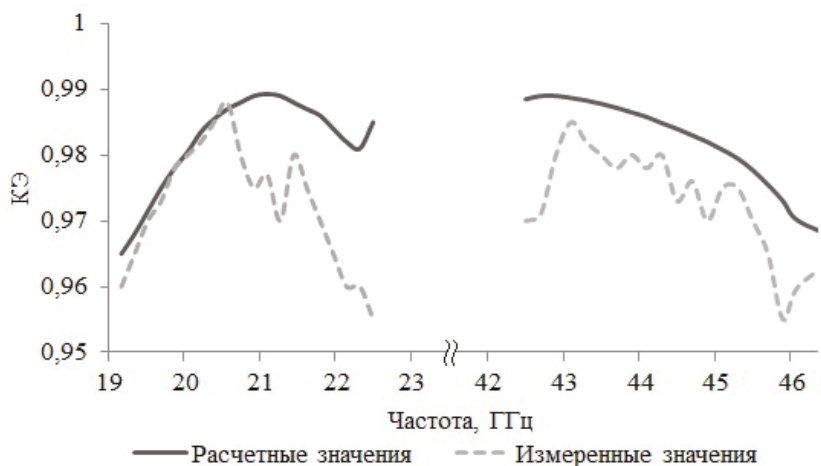


Рис. 6. График частотной зависимости КЭ селективного устройства

КСВН в диапазоне рабочих частот передачи 19–22,5 ГГц и приема 42,5–46 ГГц составили не более 1,25. На рис. 6 видно, что рассчитанные и измеренные значения КЭ частотно-селективного устройства в диапазоне рабочих частот передачи 19–22,5 ГГц и приема 42,5–46 ГГц составили не менее 0,955.

Таким образом, разработанный облучатель позволяет обеспечивать прием и передачу сигналов с круговой поляризацией в Ka- и Q-диапазонах в соответствии с современными требованиями, предъявляемыми к облучающим системам спутниковой связи по значениям КЭ и КСВН. При проектировании данного облучателя было принято нестандартное конструкторско-технологическое решение, а именно – двойное использование крестовых ортомодовых селекторов. Это позволило достичь оптимальных значений электрических характеристик в рабочих диапазонах частот без необходимости использования дополни-

тельного облучателя для разделения частот приема и передачи и тем самым решить одну из главных задач в антенной технике спутниковой связи – уменьшение массогабаритных показателей облучающей системы.

### Библиографические ссылки

1. Ignacio Izquierdo Martinez, Jorge A. Ruiz Cruz. Design of wideband orthomode transducers based on the turnstile junction for satellite communications // Universidad Autynoma de Madrid, Noviembre de 2008.
2. Jaroslav Uher. Orthomode junction assembly with associated filters for use in an antenna feed system. US Patent, Pub. No.: US 2013/0342282 A1, Dec.26, 2013.
3. Joseph G. Di Tullio, Donald J. Sommers, Windsor D. Wright, “Independently adjustable dual polarized diplexer,” US Patent, Pub. No.: 3,731,236, May. 1, 1973.

Статья поступила в редакцию  
12.04.2015 г.