Национальный исследовательский
Томский государственный университет

Радиофизический факультет

8-я Международная научно-практическая конференция

# Актуальные проблемы радиофизики АПР 2019

## Сборник трудов конференции

РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1-4 октября 2019 года
г. Томск

# Многофункциональные щелевые излучатели

***Буянов Юрий Иннокентьевич***
*Балзовский Евгений Владимирович*
*Шипилов Сергей Эдуардович*
*Томский государственный университет*
*E-mail: yurbuy@yandex.ru*

Показан вариант широкополосной антенны, которая может в одной конструкции совмещать до четырех антенн с различными поляризациями и рабочими частотами. Антенна выполнена в виде кольцевой щели (кольцевого магнитного тока), возбуждаемой в четырех точках через четверть периметра щели. Приведены характеристики направленности и КСВН, полученные в результате численного моделирования с использованием программного продукта 4NEC2.

**Ключевые слова**: *MIMO антенна, щелевой излучатель, магнитный ток, поляризационная характеристика, моделирование.*

Для увеличения объема и повышения качества передаваемой информации в системах связи или радиолокации используется пространственный, частотный или поляризационный разнос, позволяющий передавать сигнал одновременно по нескольким каналам. Один из способов увеличения пропускной способности заключается в использовании нескольких передающих и приемных антенн (MIMO - Multiple Input Multiple Output) [1]. В системах спутниковой связи приемный и передающий каналы также обычно разнесены по частоте и по поляризации [2]. Габариты антенны MIMO, содержащей несколько антенн с различными характеристиками, как правило превышают две длины волны, что в ряде случаев оказывается неприемлимо. В этой связи представляет интерес исследовать антенны, позволяющие одновременно и независимо излучать и принимать сигналы различной поляризации на разных частотах.

В антеннах эллиптической поляризации обычно используются излучатели электрического тока: диполи или рамки. Для получения круговой поляризации используются турникетные антенны, представляющие собой скрещенные диполи, возбуждаемые с фазовым сдвигом $\pm 90^{o}$, или комбинацию рамки и расположенного вдоль ее оси диполя [3]. Турникетная антенна кроме диполей содержит два симметрирующих устройства и сумматор. как и комбинация рамки с диполем. В диапазоне СВЧ при использовании печатных технологий реализация таких конструкций сопряжена с определенными трудностями.

Упростить конструкцию и расширить функциональные возможности позволяет использование щелевых антенн, которые можно рассматривать как аналоги излучателей магнитных токов. Предлагаемый вариант антенны основан на принципе двойственности, примененном к проволочным кольцевым излучателям, представляющим собой проволочные кольца в форме круга или квадрата с периметром равным длине волны. В соответствие принципу двойственности антенна представляет собой щель в форме квадрата, прорезанную в металлической пластине. Для упрощения модели, используемой при численном моделировании, выбрана квадратная форма щели. Вариант конструкции излучателя магнитного тока, пригодный для печатного исполнения, показан на (*рис. 1а*). Излучатель представляет собой квадратную пластину двухстороннего фольгированного диэлектрика. Внешняя и внутренняя по отношению к щели части

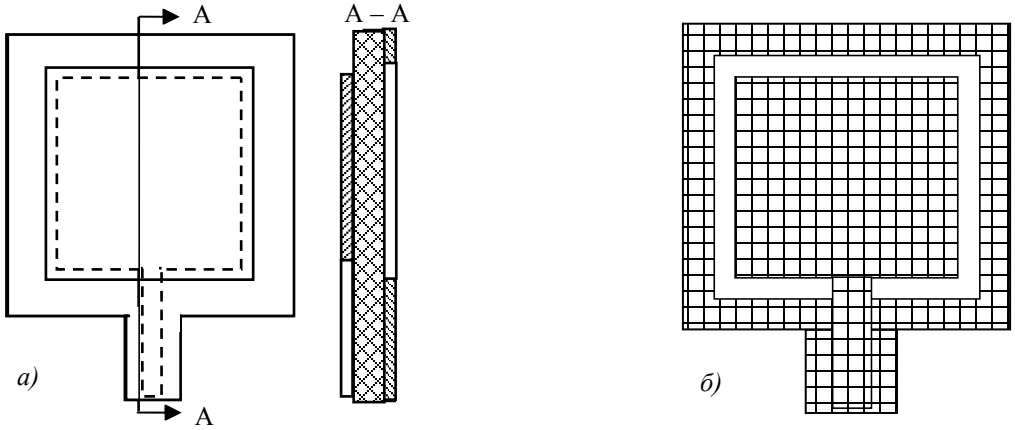
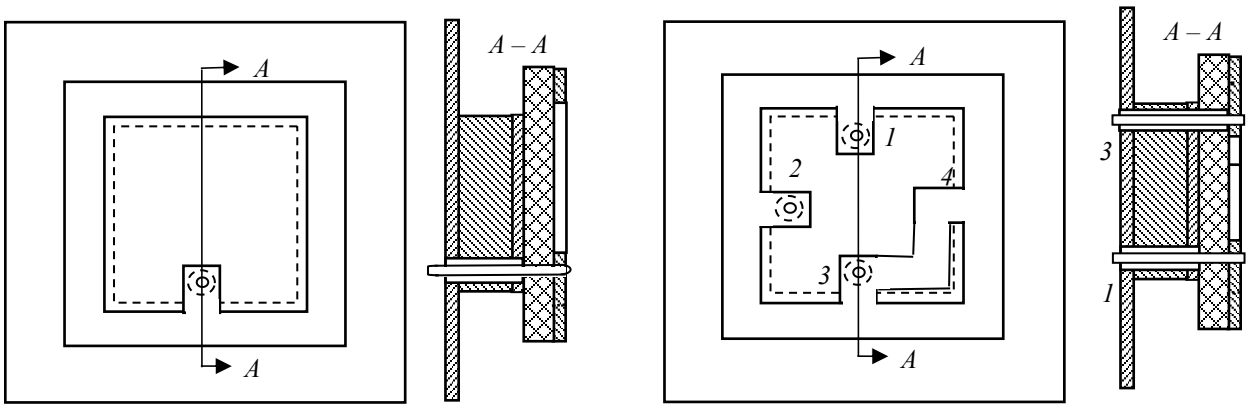



*Рис.1. Вариант конструкции щелевого излучателя (а) и его проволочная модель для программы 4NEC2 (б).*

металлической пластины размещены на разных сторонах диэлектрика. Это позволяет в широких пределах изменять волновое сопротивление щели и обеспечить согласование излучателя с микрополосковой линией, присоединенной к одной стороне квадратной щели так, чтобы полосок линии пересекал щель и соединялся с

внутренней частью металлической пластины. Аналитический расчет подобных излучателей сопряжен с серьезными трудностями, поэтому для определения характеристик антенны использовался бесплатный программный пакет 4NEC2, предназначенный для моделирования проволочных структур. На (*рис. 1б*) показана проволочная модель, используемая для моделирования щелевого излучателя.

При использовании такого излучателя в качестве самостоятельной антенны не требуется противовес или симметрирующее устройство. Если излучатель используется как элемент антенной решетки или как облучатель зеркальной антенны, его диаграмма направленности должна быть однонаправленной, т.е. иметь один главный максимум. Для этого плата излучателя располагается над металлическим экраном на расстоянии $0{,}15 \div 0.25$ длины волны. Между экраном и внутренней по отношению к щели металлической пластиной вставлен металлический цилиндр круглого или квадратного сечения. Возбуждение излучателя осуществляется отрезком полосковой линии, один конец которой соединен с внешней кромкой щели а второй конец с отрезком коаксиальной линии, выход которой образует порт антенны. Отрезок коаксиала размещен внутри отверстия, просверленного в металлической вставке (*рис. 2а*). Квадратная щель, если сформировать порты для каждой стороны квадрата, позволяет возбудить четыре различных сигнала: два противофазных сигнала вертикальной поляризации и два противофазных сигнала горизонтальной поляризации. Это расширяет функциональные возможности такого излучателя магнитного тока. Вариант конструкции излучателя с расширенными функциональными возможностями приведен на (*рис. 2б*). Такая антенна обеспечивает на разных частотах в

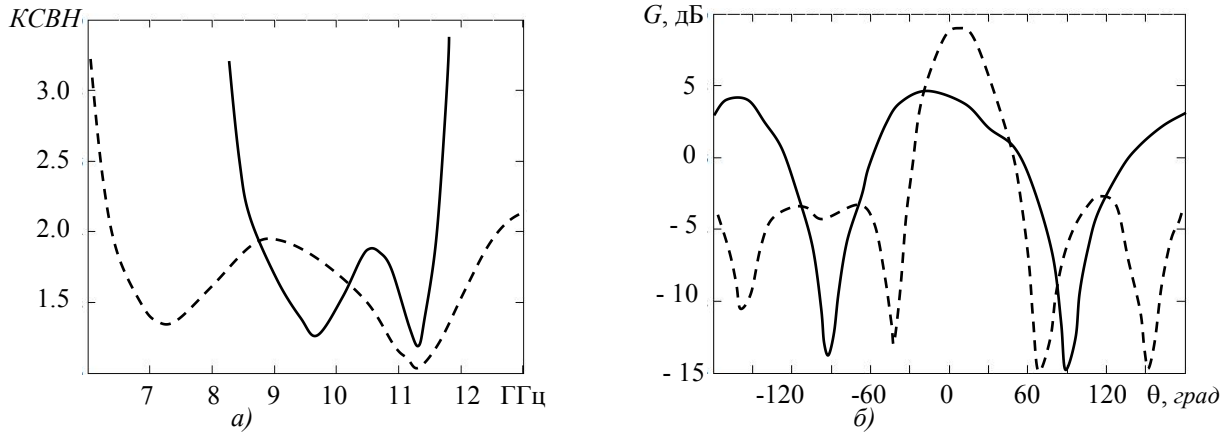



*а)* *б)*

*Рис. 2. Варианты конструкции однонаправленной антенны вертикальной поляризации (а) и многофункциональной антенны обеспечивающей прием и передачу двух сигналов с ортогональными линейно поляризованными поляризациями и сигнала круговой поляризации (б).*

пределах полосы согласования прием или передачу сигнала линейной вертикальной поляризации (порт 1), сигнала линейной горизонтальной поляризации (порт 2) и сигнала круговой поляризации (порт 3). Круговая поляризация формируется за счет того, что средняя точка внутренней кромки горизонтальной стороны квадратной щели соединена со средней точка внутренней кромки вертикальной стороны квадратной щели четвертьволновым отрезком полосковой линии.

Результаты моделирования излучателя, выполненного по (*рис. 1а*) и по (*рис. 2а*), приведены на (*рис. 3*), где представлены частотная зависимость КСВН и зависимость от направления коэффициента усиления G. При




*а)* *б)*

*Рис. 3. Частотная зависимость КСВН (а) и форма диаграммы направленности (б) на частоте 10 ГГц. Пунктирные линии соответствуют однонаправленной антенне, выполненной по рис. 2а.*

размерах квадратной пластины 15×15 мм полоса согласования излучателя, выполненного по (*рис. 1а*) превышает 20% и форма амплитудной диаграммы направленности сохраняется в интервале частот 8÷12 ГГц.

Если возбуждается горизонтальная сторона квадратной щели, то излучается поле вертикальной поляризации, при возбуждении вертикальной стороны – поле горизонтальной поляризации. Частотная зависимость КСВН однонаправленного излучателя с линейной поляризацией (*рис. 2а*) и форма его диаграмма направленности на частоте 10 ГГц показана на (*рис. 3*) пунктирной линией. Видно, что в этом случае заметно расширяется полоса согласования антенны. Это можно объяснить тем, что при наличии металлической вставки такую антенну можно рассматривать как комбинацию электрического штыря с емкостной нагрузкой и кольцевой щели, т.е. комбинацию излучателей электрического и магнитного типа, что обычно приводит к расширению полосы согласования.

Характеристики направленности многофункционального щелевого излучателя, показанного на (*рис. 2б*) приведены на (*рис. 4*). Антенна имеет три порта, при возбуждении которых формируются поля различных поляризаций. Сплошной линией (*рис. 4а*) показана диаграмма направленности, соответствующая порту 1, который формирует поле вертикальной поляризации. Пунктирная линия соответствует полю горизонтальной поляризации, формируемому при возбуждении порта 2. Характеристики направленности поля, формируемые при подаче сигнала на порт 3, приведены на (*рис. 4б*).

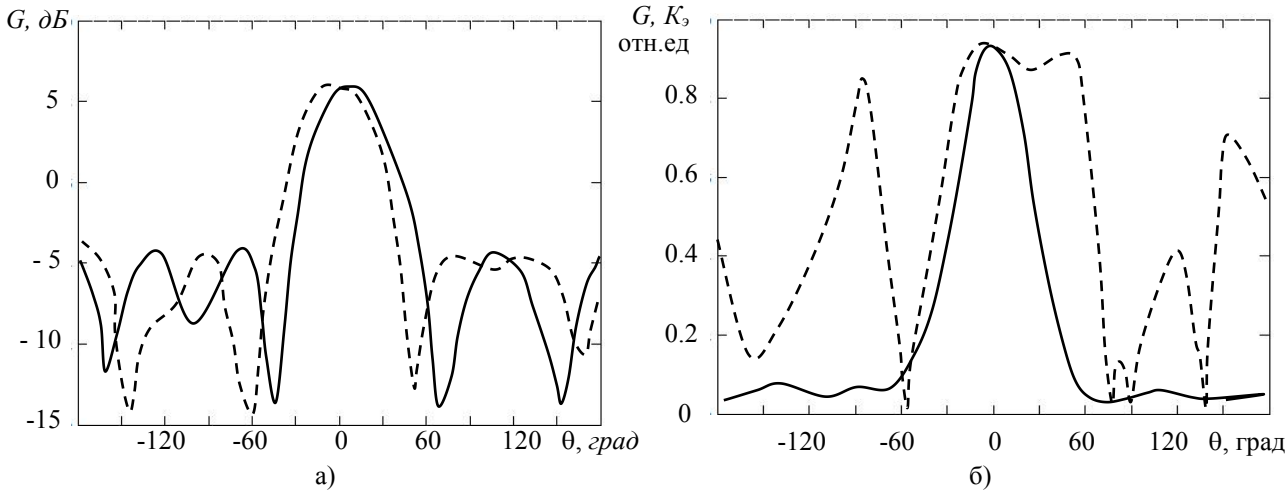



*Рис. 4. Характеристики направленности многофункционального щелевого излучателя.*
*Сплошная линия – диаграмма направленности по вертикальной поляризации (а), нормированная диаграмма направленности по круговой поляризации (б). Пунктирная линия – диаграмма направленности по горизонтальной поляризации (а), коэффициент эллиптичности (б)*

Результаты моделирования показали, что использование щелевых антенн как аналогов излучателей магнитного тока позволяет в двухкратном диапазоне частот организовать до четырех радиоканалов с различными видами поляризации и с шириной полосы пропускания не менее 500 МГц. В радиоканалах с круговой поляризацией в указанной полосе частот коэффициент эллиптичности превышает 0.8. Рассмотренный вариант излучателей магнитного тока имеет достаточно простую конструкцию и пригоден для использования в системах связи 5G и Wi-MAX.

Список публикаций:

*[1] Слюсар В.И. //Электроника: наука, технология, бизнес. – 2005. - № 8. – С. 52 - 58*

*[2] Фролов О.П., Вальд В.П.//Зеркальные антенны для земных станций спутниковой связи. Горячая Линия - Телеком, 2008.*

*[3] Буянов Ю.И., Кожемякин Е.А. // Изв. вузов. Физика.– 2010.– № 9/2– с. 62-63*