

ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Մարտիրոսյան Անդրանիկ Արմենի

ՇԱՐԺԱԿԱՆ ԿԱՊԻ ՀԱՍՈՒՂՂՈՐԴՎԱԾ ԱՆՏԵՆԱՆԵՐԻ
ՄՇԱԿՈՒՄ ԵՎ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄ

Ե.12.01 - «Ռադիոտեխնիկա, ռադիոհաճախականային սարքավորումներ, համակարգեր, տեխնոլոգիաներ» մասնագիտությամբ տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

Ս Ե Ղ Մ Ա Գ Ի Ր

ԵՐԵՎԱՆ – 2018

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ АРМЕНИИ

Мартиросян Андраник Арменович

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ВСЕНАПРАВЛЕННЫХ АНТЕНН
ДЛЯ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.12.01 – “Радиотехника, радиочастотные устройства,
системы, технологии”

ЕРЕВАН – 2018

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Հայ-Ռուսական համալսարանում

Գիտական ղեկավար՝ տ.գ.դ., պրոֆեսոր Վ.Հ. Ավետիսյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ ֆ.մ.գ.դ., դոցենտ Ա.Ա. Մահակյան

տ.գ.թ., Ս.Գ. Էյրամջյան

Առաջատար կազմակերպություն՝ ՀՀ ԳԱԱ Ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի
ինստիտուտ

Ատենախոսության պաշտպանությունը տեղի կունենա 2018թ. հուլիսի 3-ին, ժամը 14⁰⁰-ին Հայաստանի Ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի (ՀԱՊՀ) «Ռադիոտեխնիկա և էլեկտրոնիկա» 046 մասնագիտական խորհրդի նիստում: Հասցե՝ 0009, Երևան, Տերյան փ., 105, 17 մասնաշենք:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀԱՊՀ գրադարանում:

Մեղմագիրը ցրված է 2018թ. հունիսի 1-ին

046 Մասնագիտական խորհրդի
գիտական քարտուղար՝ տ.գ.թ., դոցենտ



Մ.Ց. Այվազյան

Тема диссертации утверждена в Российско-Армянском университете

Научный руководитель: д.т.н., профессор В.Г. Аветисян

Официальные оппоненты: д.ф.м.н., доцент А.А. Саакян

к.т.н., С.Г. Эйрамджян

Ведущая организация: Институт радиофизики и электроники НАН РА

Защита диссертации состоится 3 июля 2018г. в 14⁰⁰ часов на заседании специализированного совета 046 «Радиотехника и электроника» Национального политехнического университета Армении (НПУА) по адресу: 0009, Ереван, ул. Теряна, 105, корпус 17.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НПУА.
Автореферат разослан 1 июня 2018г.

Ученый секретарь
специализированного совета 046
к.т.н., доцент



М.Ц. Айвазян

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Антенны с щелевыми структурами применяются в телекоммуникационных системах, системах радиолокации и радионавигации СВЧ диапазона. Широта их применения обусловлена простотой изготовления и удобством использования в ряде практических задач связи различного назначения. Например, для обеспечения связи с воздушным судном, щелевые структуры прорезаются прямо на обшивке самолета, не ухудшая его аэродинамических характеристик. Щелевые антенны применяются в качестве облучателей зеркальных антенн в виде параболоидов вращения. В составе многоэлементной линейной системы щелей они используются в качестве облучателей зеркальных параболических цилиндров и т.д.

В современных условиях интенсивного повышения обмена информацией неопределима роль сетей подвижной связи различного предназначения, будь то различного рода охранные системы, транспортные службы, скорая помощь и т.д. Огромное количество таких сетей требует наличия для базовых станций простых и недорогих антенн. Во всех случаях подвижной воздушной и наземной связи существенен вопрос всенаправленности щелевых антенн при осуществлении связи с объектом, азимутальные координаты которого могут быть в любом из направлений в пределах от 0° до 360° .

Настоящая работа посвящена разработке и исследованию излучающих всенаправленных щелевых структур на основе круглой волноводной СВЧ линии. При конструировании таких всенаправленных антенн большое внимание уделяется вопросам надежности их работы в естественных условиях (влажность, температура, ветер) и вопросу их дешевизны. Отсюда следует и актуальность решения проблемы создания таких антенн с вышеотмеченными параметрами и решения вопросов, возникающих в процессе их конструирования и изготовления.

Цель диссертационной работы – создание относительно простой и дешевой в изготовлении, надежной в работе при естественных условиях всенаправленной щелевой антенны СВЧ диапазона в сетях подвижной связи.

Методы исследования. Для решения поставленной задачи в диссертационной работе использованы методы теории электродинамики, методы расчета и техники построения СВЧ узлов и устройств, а также метод антенных измерений по дальнему полю.

Научная новизна.

1. Разработаны возбуждатель волны основной моды в круглом волноводе в виде трехступенчатого овального перехода от прямоугольного волновода с волной его основной моды и согласованная нагрузка с поглощающими прутками.
2. Предложена необычная щелевая приемо-передающая структура со спаренными щелями в поперечном сечении круглого волновода в режиме его работы на основной моде.
3. Исследованы азимутальные диаграммы направленностей одноярусных и двухярусных различных предложенных щелевых структур, отличающихся углом разноса средин спаренных щелей.
4. Предложено устройство щелевой антенны, построенной на сочетании двухярусной щелевой структуры с противоположными фронтальными щелями и двух структур со спаренными противоположными щелями с отличающимися

в парах углами разноса щелей, обладающей перепадом уровней в азимутальной диаграмме направленности менее 3 дБ.

Практическая ценность. Разработанные в диссертации щелевые антенны позволяют снизить стоимости и повысить надежность работы антенн базовых станций телекоммуникационных систем подвижной связи для оказания разного рода услуг (охрана объектов, скорая помощь, служба такси и т.д).

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Проектирование и построение возбудителя волны основной моды в круглом волноводе и согласованной нагрузки с ферроэпоксидными поглощающими прутками.
2. Обоснование использования явления поляризационного вырождения для построения предложенных щелевых структур со спаренными щелями в поперечном сечении круглого волновода в режиме его работы на основной моде.
3. Обоснование возможности синтеза всенаправленной азимутальной диаграммы направленности посредством применения щелевых структур со спаренными щелями.
4. Метод построения всенаправленной приемо-передающей щелевой антенны на круглом волноводе путем сочетания двухрусной щелевой структуры с противоположными фронтальными щелями и двухрусных структур со спаренными противоположными щелями с отличающимися углами разноса щелей в паре.
5. Результаты экспериментального исследования щелевых антенн на круглом волноводе, являющихся сочетанием различных щелевых структур.

Апробация диссертационной работы. Основные положения и результаты работы представлены на:

- годичной 11-ой научной конференции Российско-Армянского университета (РАУ, Ереван, декабрь 2016г.)
- совместных научных семинарах Ереванского НИИ средств связи и базовой кафедры «Телекоммуникации» Российско-Армянского университета.

Публикации. По теме диссертации опубликованы пять научных работ, в том числе один патент на изобретение.

Внедрение результатов работы. Разработанные и изготовленные устройства внедрены и используются в лабораторно-демонстрационном оборудовании Учебного Центра Ереванского НИИ средств связи для проведения учебных курсов по дисциплинам «Физические основы техники СВЧ» и «Антенно-фидерные устройства».

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой научной литературы из 62 наименований. Общий объем диссертации составляет 107 страниц, включая 71 рисунок. Диссертация написана на русском языке.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель и задачи исследования, представлена научная новизна, практическая ценность,

основные научные положения, выносимые на защиту и кратко представлено содержание диссертации.

В первой главе приведен общий подход к решению задачи излучения щели с применением принципа двойственности уравнений электродинамики. Выполнен краткий обзор по щелевым антеннам на основе коаксиальных и волноводных линий передачи. Отмечены их преимущества и недостатки. Проведен их сравнительный анализ с точки зрения применения таких антенн в сетях подвижной связи по признакам поляризации излучаемой волны и степени обеспечения всенаправленности в азимутальной плоскости. Выполнен анализ конструктивных особенностей щелевых антенных систем такого рода. На основе этого показано, что, при построении излучающих щелевых структур на простых прямоугольных волноводах, обеспечение вертикальной поляризации излучения таких структур и обеспечение одновременно их всенаправленности в азимутальной (горизонтальной) плоскости является практически трудной и дорогостоящей задачей. К примеру, представлены возможные реализации таких антенных систем с прямоугольными волноводными щелевыми структурами с одновременным совмещением обоих вышеотмеченных требований. Из приведенных конструкций очевидны и сложность в изготовлении и дороговизна таких антенных систем.

Обозначена постановка задачи, решаемой в данной диссертационной работе. Задача состоит в формировании и возбуждении относительно простых ЩС на основе волновода круглого сечения, с помощью которых можно синтезировать желаемую ДН волноводной щелевой антенны. При этом желаемая ДН должна обладать достаточной всенаправленностью в азимутальной плоскости при вертикально-поляризованном излучении волны.

Во второй главе разрабатываются вспомогательные узлы для выполнения намеченных разработок и исследований. Такими узлами являются возбудитель моды H_{11}^0 в круглом волноводе, согласованная нагрузка (СН) и короткозамыкатель (КЗ) для круглого волновода. Для этого выполнен краткий обзор возбудителей моды H_{11}^0 в круглом волноводе, их анализ и выбор типа возбудителя. В результате анализа сделан выбор в пользу возбудителя со ступенчатым переходом от прямоугольного волновода с модой H_{10} к круглому волноводу с модой H_{11}^0 . Такой выбор обусловлен компактностью перехода по длине и его надежностью.

В основе метода проектирования перехода возбудителя принято следующее приближение. Оно состоит в предположении, что в возбудителе рассчитанный чебышевский переход от прямоугольного волновода к квадратному волноводу можно заменить на овальный переход с теми же ступеньками по высоте и длине. При этом овальные волноводы в переходе имеют одинаковые диаметры, а конечный квадратный волновод рассчитанного чебышевского перехода от прямоугольного волновода к квадратному заменяется круглым волноводом. В основе принятия такого приближения лежит тот факт, что поле в областях возле вершин овальных сечений (см. вершины А, В, С, Е на рис. 1) намного меньше по сравнению с полем в средней части овального волновода. Это обстоятельство позволяло надеяться на приемлемое значение коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) возбудителя.

Для одномодового режима возбуждения круглого волновода на основной моде H_{11}^0 овальный ступенчатый переход запитывался переходом от одномодового прямоугольного волновода с модой H_{10} к овальному волноводу с высотой прямоугольного волновода и с диаметром овала, равным диаметру одномодового круглого волновода. Сам же прямоугольный волновод запитывался стандартным коаксиально-волноводным переходом (КВП). Таким образом рассчитанный на центральную частоту $f=4,1$ ГГц и изготовленный возбуждатель моды H_{11}^0 состоит из 4-х последовательных секций: КВП – секция 1 с выходным внутренним сечением 58 мм×25 мм, переходная секция 2 с длиной $L_2 \approx 88$ мм, являющаяся переходом от сечения КВП к овальному волноводу с высотой $b=25$ мм и диаметром овала $D=54$ мм, секция 3 с длиной $L_3 \approx 59$ мм, являющаяся трехступенчатым переходом от овального волновода с высотой $b=25$ мм к овальному волноводу с высотой $b_k=49,3$ мм, который стыкуется с последующей секцией 4 в виде волноводе круглого сечения с внутренним диаметром $D=54$ мм. Предложена относительно простая технология изготовления секций 2 и 3. Их фотографии приведены на рис. 1 и 2 соответственно, а на рис. 3 – фотография возбуждателя волны моды H_{11}^0 в сборке.

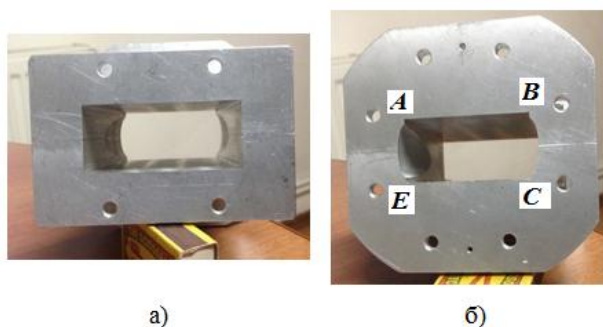


Рис. 1. Фотографии переходной секции 2: а) со стороны входного сечения; б) со стороны выходного сечения.

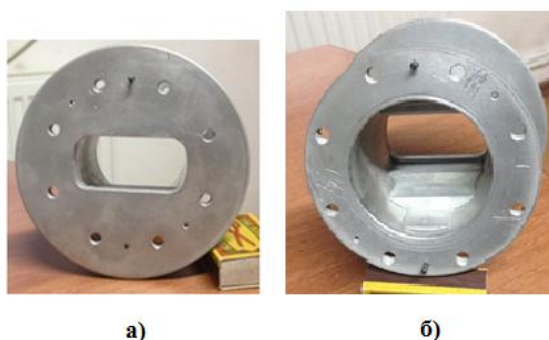


Рис. 2. Фотографии овального трехступенчатого перехода – секции 3: а) со стороны входного сечения; б) со стороны выходного сечения.

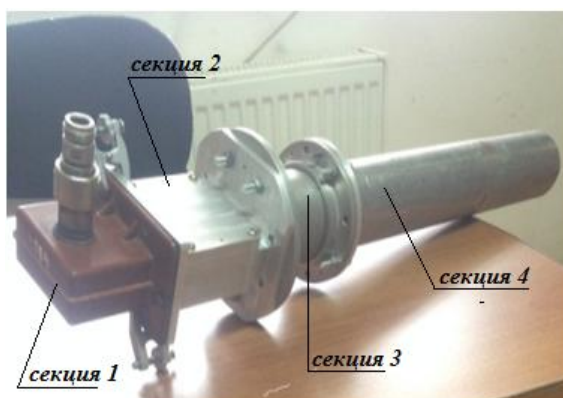


Рис. 3. Фотография возбуждателя волны моды H_{11}^0 в круглом волноводе.

Изготовленная СН для моды H_{11}^0 в одномодовом круглом волноводе представляет собой пенопластовый цилиндр того же диаметра. Цилиндр имеет длину 130 мм и переднее конусное окончанием, чьей стороной СН вставляется в круглый волновод. Фото СН представлено на рис. 4.



Рис. 4. Фото согласованной нагрузки.

Фото СН с ее задней стороны представлено на рис. 5. С этой стороны в пенопластовом цилиндре СН проделаны 7 глухих отверстий диаметром 12 мм. В эти отверстия вставлены прутки соответствующего размера из поглощающего материала – феррооксида. Они имеют одинаковую длину, равную 60 мм. Прутки вставлены в отверстия до их упора.



Рис. 5. Фото согласованной нагрузки с задней стороны.

Три поглощающих ферроэпоксидных прутка – центральные прутки, расположены в диаметральной плоскости волновода. Четыре других прутка – боковые прутки, расположены в отверстиях нагрузки таким образом, что передние торцы этих прутков (из-за разности в 30 мм глубин глухих отверстий центральных и боковых прутков) смещены относительно центральных. Смещения на длину в 30 мм вдоль оси круглого волновода равно четверти длины волны в волноводе на центральной частоте в 4,1 ГГц, что обеспечивают компенсацию отражений от прутков. СН вставляется в волновод так, что поглощающие прутки, расположенные по диаметральной линии, показанной на рис. 5, находились бы в плоскости, совпадающей с плоскостью поляризации возбуждаемой в волноводе моды H_{11}^0 .

Фото изготовленного КЗ представлено на рис. 6.



Рис. 6. Фото короткозамыкателя.

Пружинящие контакты изготовлены из листовой пластины берилловой бронзы толщиной 0,2 мм. Пачка пластин из такой листовой бронзы фрезеровалась фрезой толщиной 0,3 мм на расстояние в 10 мм через каждые 2 мм ширины одного пружинящего контакта. Затем каждая фрезерованная пластина помещалась в специально изготовленную простую форму, где с помощью ударного сближения двух половинок формы образовывался необходимый овальный изгиб контактов. Радиус изгиба контактов около 2,5 мм. После окончательной доводки пластин и контактов по размерам три такие пластины скреплялись по периметру корпуса КЗ на его передней выточке винтами М2. Корпус КЗ изготовлен из дюралюминия. Пластины с пружинящими контактами и корпус гальванически покрывались последовательно тонкими слоями (10...20 мкм) меди и покрытием «олово-висмут» для окончательной пайки пластин контактов к корпусу легкоплавким припоем. Конечная конструкция КЗ такова, что при помещении КЗ в круглый волновод возбуждителя моды H_{11}^0 , корпус КЗ (после плоскости контакта пружинящих контактов с волноводом) образует с волноводом узкий зазор (до 1 мм), представляющий отрезок разомкнутой линии вдоль длины волновода длиной в четверть волны в свободном пространстве на центральной частоте. Этот разомкнутый четвертьволновой отрезок нагружен на последующий за ним короткозамкнутый отрезок такой же длины, выполненный в

виде выточенной дроссельной канавки шириной 3 мм в поперечном сечении корпуса КЗ. Таким образом осуществляется дроссельный КЗ, который обладает лучшей способностью короткого замыкания.

Измерения КСВН СН производились известным методом подвижной нагрузки с применением коаксиальной измерительной линии Р1-18, а также на стенде с применением панорамного измерителя Р2-54/1. В диапазоне частот 3,9...4,3 ГГц он не превышал значения 1,3. Измерения КСВН КЗ производились на том же стенде, описанном для случая измерений СН, и по той же методике. Измеренные значения КСВН КЗ без дросселя в 3...4 раза были меньше КСВН КЗ с дроссельным соединением, КСВН которого был в пределах 48...60 в полосе частот 3,9...4,3 ГГц. Измеренные значения КСВН изображенного на рис. 3 сборного узла, нагруженного на изготовленной СН, не превышали значение 1,7 в отмеченной выше полосе частот. Оценка активных потерь такого сборного узла выполнялась по известной методике измерения КСВН узла, нагруженного на изготовленный КЗ. Потери узла не превышают значения 0,4 дБ. Полученные результаты оказались вполне пригодными для дальнейших разработок.

В третьей главе на основе известных решений из электродинамики для компонент электрического и магнитного полей моды основной моды H_{11}^0 рассмотрены теоретические основы явления поляризационного вырождения распространяющейся волны этой моды в круглом волноводе. Приведены примеры использования этого явления в различных поляризационных устройствах. На основе этого обоснована возможность использования явления поляризационного вырождения для образования необычных излучающих щелевых структур (ЩС) на круглом волноводе. Они отличаются от фронтальной поперечной полуволновой щели на круглом волноводе, изображенной на рис. 7а.

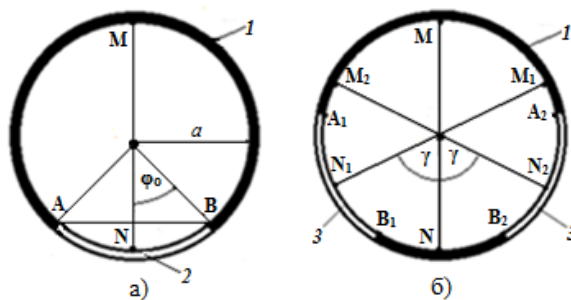


Рис. 7. а) - поперечное сечение круглого волновода по середине ширины фронтальной полуволновой щели: 1 – стенка волновода; 2 – полуволновая фронтальная щель; φ_0 – центральный угол, соответствующий половине длины полуволновой щели.

б) - поперечное сечение круглого волновода в плоскости двух прорезанных спаренных полуволновых щелей: 3 – спаренные полуволновые щели A_1B_1 и A_2B_2 .

Середина фронтальной щели пересекает максимум продольного тока проводимости, а соединяющий края щели отрезок АВ перпендикулярен диаметру NM, вдоль которого направлена поляризация исходной волны моды H_{11}^0 . Предлагаемые же излучающие ЩС являются спаренными поперечными полуволновыми щелями,

расположенными на одном ярусе в поперечном сечении круглого волновода. Их середины разнесены на угол $\pm\gamma$ от направления NM диаметральной линии волновода вдоль направления поляризации его основной моды H_{11}^0 (см. рис. 7б). Принимая известное отождествление линейно-поляризованной моды H_{11}^0 в круглом волноводе, исходная линейно-поляризованная волна моды H_{11}^0 с поляризацией вдоль диаметральной линии NM представляется как суперпозиция двух поляризационно-вырожденных синфазных волн с модами H_{11}^0 линейных поляризаций вдоль направлений диаметров N_1M_1 и N_2M_2 . Выбор поляризации этих волн, т. е. угол $\pm\gamma$, определяет мощность каждой из синфазных составляющих волн при заданной мощности исходной волны. Соответствующие им образованные спаренные щели будут излучающими с интенсивностью, зависящей от угла γ . При этом предполагалось, что и форма диаграммы направленности (ДН) пары таких щелей на одном ярусе поперечного сечения волновода будет также зависима от этого угла.

Рассмотрены конструктивные особенности образования таких одноярусных ЩС. В режиме одномодового распространения волны моды H_{11}^0 в круглом волноводе, получено условие для образования такой пары излучающих щелей в поперечном сечении волновода. Угол γ разноса середины одной из спаренных щелей от середины фронтальной щели должен удовлетворять соотношению $\gamma > 40^\circ$. Это соотношение получено из условия запаса на металлический промежуток B_1B_2 (см. рис. 7б), между спаренными щелями, откуда следует наличие некоторого превышения угла γ над центральным углом φ_0 (см. рис. 7а), соответствующему половине длины полуволновой щели.

Рассмотрено построение двухярусной ЩС такого типа, спаренные щели второго яруса которой находятся на стороне круглого волновода, противоположной расположению щелям первого яруса. В изготовленных двухярусных ЩС ярусы отстоят друг от друга на расстояние в половину рабочей длины волны в волноводе вдоль его продольной оси. Система таких ЩС предназначалась для исследования и создания щелевой антенны, обладающей достаточной всенаправленностью в азимутальной (горизонтальной) плоскости вертикально расположенного круглого волновода.

Для дальнейшего экспериментальные исследования ДН приведённых ЩС изготовлены их образцы на круглых волноводах. В качестве круглого волновода была выбрана алюминиевая труба с внутренним радиусом $a = 27$ мм и толщиной стенки 2 мм. Для волновода с таким радиусом, в полосе частот одномодового режима работы на основной моде H_{11}^0 , центральная частота равна $f_c = 4.16$ ГГц ($\lambda_c = 72$ мм). В качестве рабочей частоты была выбрана частота $f_0 = 4.1$ ГГц ($\lambda_0 = 73.2$ мм). Расчётная длина волны в волноводе на рабочей частоте оказалась равной $\Lambda_0 = 120$ мм. Ширина щелей, исходя из лёгкости их фрезерования, была выбрана $b_5 = 4$ мм, а скорректированная длина полуволновой

щели составила величину $l_5 = 30.5$ мм. На рис. 8 схематически изображен отрезок круглого волновода с изготовленными многоярусными ЩС. Отрезок представляет собой сочетание двухъярусной ЩС с фронтальными щелями и одной двухъярусной ЩС со спаренными щелями. Щели ярусов в каждой из двухъярусных ЩС находятся на противоположных сторонах волновода. Вдоль оси Z каждый ярус отстоит от предыдущего на расстоянии $\Lambda_{оп}/2$. Середина фронтальной щели первого яруса и середины металлических промежутков B_1B_2 первых ярусов двухъярусных ЩС со спаренными щелями лежат на одной прямой.

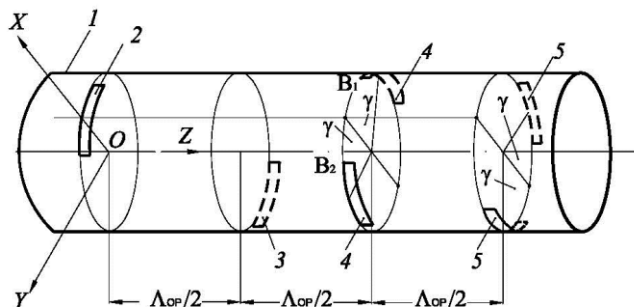
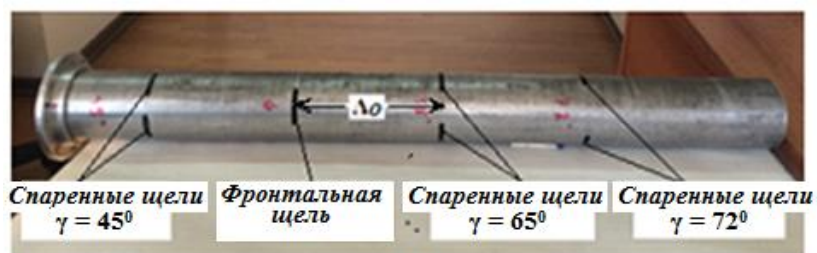
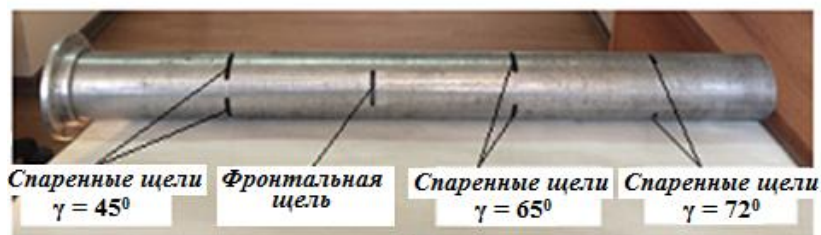


Рис. 8. Схематическое изображение отрезка круглого волновода с изготовленными ЩС: 1 – круглый волновод, 2 и 3 – фронтальные щели первого и второго ярусов, соответственно, 4 и 5 – спаренные щели третьего и четвертого ярусов, соответственно, B_1B_2 – металлический промежуток между спаренными щелями.

Два круглых волновода для экспериментального исследования содержали по восемь ярусов. В одном волноводе двухъярусная ЩС с фронтальными щелями и три двухъярусных ЩС со спаренными щелями при значениях γ равных 45° , 55° и 72° , в другом волноводе четыре двухъярусных ЩС со спаренными щелями с γ - 45° , 55° , 65° и 72° . Общая длина каждой из антенных волноводных ЩС равна $L = 60$ см. На рис. 9 представлены фотографии изготовленного круглого волновода с прорезанными щелями.



а)



б)

Рис. 9. Фото прорезанного щелями круглого волновода: а) – передняя сторона; б) – задняя сторона.

В четвертой главе для экспериментального исследования азимутальных ДН изготовленных ЩС на круглых волноводах использован стенд, реализующий метод антенных измерений по дальнему полю. Он схематически представлен на рис. 10.

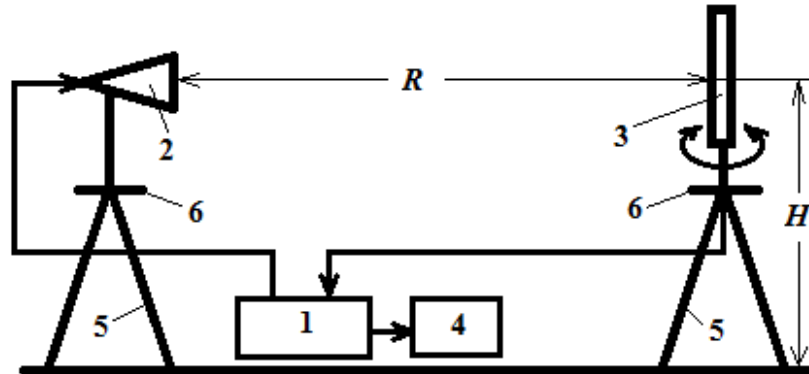


Рис. 10. Схематическое изображение стенда измерений азимутальных ДН: 1 – контрольно-измерительная аппаратура; 2 – передающая эталонная антенна; 3 – приемная исследуемая антенная ЩС; 4 – компьютер; 5 – тренога; 6 – поворотный стол.

Использована контрольно-измерительная аппаратура 1 фирмы “National Instruments” марки PXI-1075, а передающей антенной 2 являлся волноводный эталонный прямоугольный рупор П6-23А с размерами апертуры $35\text{ мм} \times 25\text{ мм}$. Высота центров антенн равна $H = 1,8$ м. Расстояние R между антеннами около 8 м. Оно удовлетворяло условию дальней зоны $R \geq R_{min} = 2L_{max}^2/\lambda$, где L_{max} – наибольший из размеров антенн. При длине $L_{max} = 50\text{ см}$ между крайними ярусами антенной ЩС на круглом волноводе и частоте измерений $f_0 = 4,1\text{ ГГц}$ ($\lambda_0 = 7,32\text{ см}$) имеем $R_{min} = 6,83\text{ м}$. Прорезанные щели антенной ЩС закрывались липкой алюминиевой фольгой и при измерениях открывались необходимые щели. На рис. 11 представлено фото измерительной площадки.



Рис. 11. Фото измерительной площадки с установленными на ней антеннами.

На последующих рисунках в полярных координатах представлены измеренные азимутальные ДН разных ЩС. На рис. 12 приведены ДН одноярусных ЩС со спаренными щелями и ЩС с одиночной фронтальной щелью.

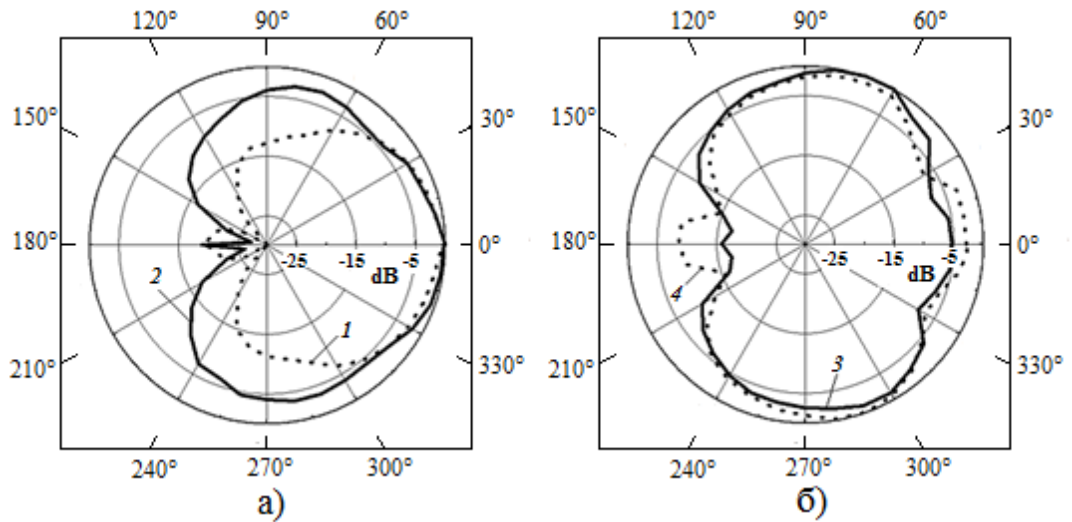


Рис.12. Азимутальные ДН одноярусных ЩС: а) с одиночной фронтальной щелью (1) и со спаренными щелями при $\gamma = 45^\circ$ (2); б) со спаренными щелями при $\gamma = 65^\circ$ (3) и при $\gamma = 72^\circ$ (4).

С изменением угла γ , при неизменной поляризации исходной моды H_{11} , изменяется как расстояние между центрами щелей в паре, так и плотности распределения токов смещения вдоль длины щели в каждой паре. В результате изменяются и амплитуды, и фазы излучаемых волн в конкретно выбранных направлениях. Как и предполагалось, это приводит к изменению интерференционной картины в дальнем поле и образованию ДН, отличающихся существенно как друг от друг, так и от ДН фронтальной щели.

На рис. 13 представлены измеренные ДН двухярусных ЩС.

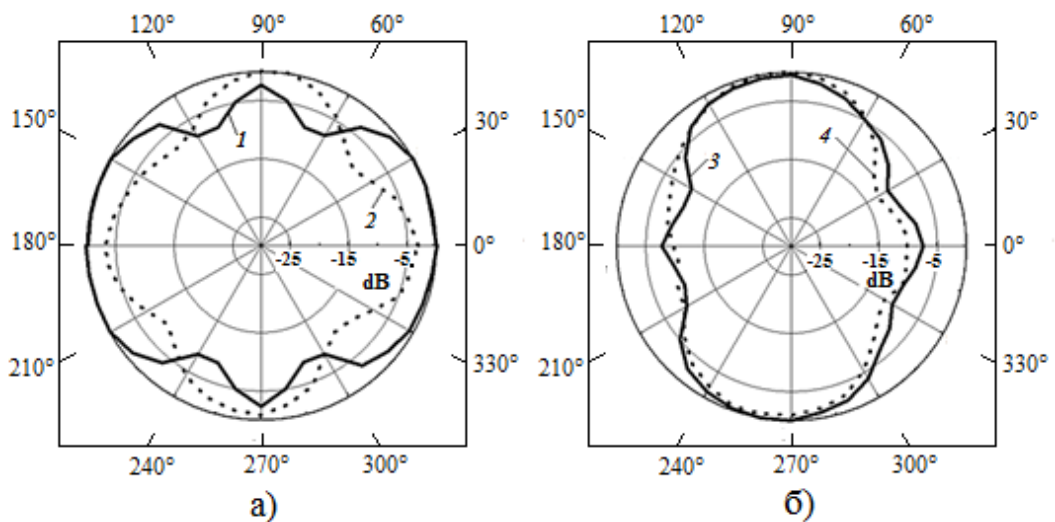


Рис. 13. Азимутальные ДН двухярусных ЩС: а) с фронтальными щелями (1),

со спаренными щелями при $\gamma = 45^\circ$ (2); б) со спаренными щелями при $\gamma = 72^\circ$ (3) и при $\gamma = 65^\circ$ (4).

Некоторая асимметрия в ДН двухярусных ЩС относительно вертикальной и горизонтальной осей, особенно ЩС со спаренными щелями, может являться следствием эллиптичности алюминиевой трубы волновода (разность диаметров до 0,7 мм) и разбросом в длине металлического промежутка B_1B_2 (до 1,0 мм). Из рассмотрения ДН двухярусной структуры фронтальных щелей (рис. 13а) следует, что неравномерность ДН в азимутальной плоскости составляет около 8 дБ (9 раз) и впадины ДН сосредоточены в районе направлений $\pm(50^\circ \dots 80^\circ)$ и $\pm(100^\circ \dots 130^\circ)$ от направления вдоль линии $180^\circ \rightarrow 0^\circ$. С другой стороны, впадины двухярусных ЩС со спаренными щелями сосредоточены в смежных областях направлений. Это различие и было использовано для возможности снижения перепадов синтезированной ДН, являющейся результатом совместного действия сочетания исследованных двухярусных структур. Подчеркнутое обстоятельство, позволяющее повысить всенаправленность антенной излучающей ЩС, стало предметом исследования ДН различных сочетаний двухярусных ЩС.

На рис. 14 представлены измеренные ДН примеров таких удачных сочетаний.

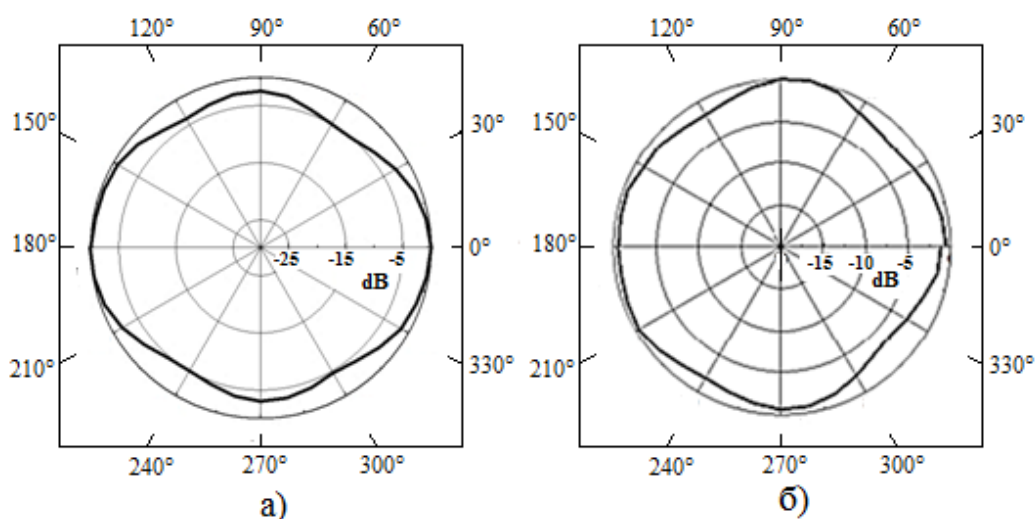


Рис. 14. Азимутальные ДН: а) – сочетание двухярусной ЩС с фронтальными щелями и двухярусной ЩС со спаренными щелями при $\gamma = 45^\circ$;
 б) – сочетание двухярусной ЩС с фронтальными щелями и двух двухярусных ЩС со спаренными щелями (у одной $\gamma = 45^\circ$, у другой $\gamma = 72^\circ$);

Как следует из рис. 14, азимутальная всенаправленность щелевой антенны по перепадам уровней ДН в интервале углов $0^\circ \dots 360^\circ$ у антенны с сочетанием а) составляет 5 дБ (отношение уровней около 3-х раз), а с сочетанием б) составляет 3 дБ (отношение уровней около 2-х раз).

Приведена теоретическая оценка коэффициента усиления G щелевой антенны в сочетании из 6-и ярусов ЩС. Она основана на известном приближенном соотношении для оценки коэффициента направленного действия D линейной щелевой структуры - $D = 3,2n$, где n – число щелей. В данном случае 6-и ярусной ЩС число n будет определяться не количеством щелей, а количеством половины

числа ярусов поперечных ЩС, т.е. имеем значение $n=3$, поскольку три противоположные щели на соответствующих ярусах участвуют в основном в обеспечении всенаправленности антенной ЩС. Учитывая, что коэффициент полезного действия при большом количестве щелей не ниже значения $\eta = 0,9$, можно ожидать значение коэффициента усиления $G = \eta D$, равное $G = 8,64$ (9,4дБ).

При рабочей частоте $f_c = 1$ ГГц ($\lambda_c = 30$ см), примыкающей к нижней границе СВЧ диапазона, когда размеры щелевой антенны являются наибольшими, оценены ее весо-габаритные параметры. Диаметр круглого волновода равен $D_B = 2a = 22,5$ см, а расстояние между ярусами равно $L_{\text{я}} = \Lambda_B/2 = 24$ см. Для 6-и ярусной щелевой антенны, учитывая добавления около 40 см до начала первого яруса антенны для нормального режима возбуждения моды H_{11}^0 и 40 см после последнего яруса для размещения на конце волновода либо КЗ, либо СН, общая длина круглого волновода составляет $L_0 = 2$ м. При достаточной толщине стенки около 2,5 мм, даже при варианте изготовления круглого волновода из алюминия (плотность $2,8$ г/см³) с такими диаметром и длиной, рассчитанный вес такой трубы не превышает 10 кг. Вертикальная установка такой щелевой антенны не представляет особых затруднений. С применением современных технологий, такую щелевую антенну можно сделать из полых круглых состыкованных пластиковых (плотность 0,97...1,4 г/см³) отрезков с металлическим хорошо проводящим внутренним покрытием. При этом следует ожидать значительное снижение стоимости конструкции такой всенаправленной простой антенной ЩС, создание которой и являлось целью настоящей работы.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

1. Выполнен сравнительный анализ щелевых СВЧ антенн по признакам поляризации излучения, степени его всенаправленности в азимутальной плоскости и конструктивных особенностей антенн при их применении в сетях подвижной связи. На основе анализа сформулирована подлежащая решению задача - разработка и исследование ЩС круглого волновода и построение на их основе СВЧ щелевой антенны, обладающей достаточной всенаправленностью ДН в азимутальной плоскости при вертикально-поляризованном излучении.
2. Для реализации намеченной задачи разработаны и изготовлены вспомогательные узлы - возбудитель основной моды H_{11}^0 в круглом волноводе, согласованная нагрузка и короткозамыкатель, обладающие приемлемыми параметрами для дальнейших исследований.
3. Рассмотрены теоретические основы явления поляризационного вырождения волны основной моды H_{11}^0 и примеры использования явления в различных СВЧ устройствах. Обосновано использование этого явления для образования необычных излучающих ЩС в виде спаренных поперечных полуволновых щелей, расположенных на одном ярусе в поперечном сечении круглого волновода. Середины каждой из спаренных щелей разнесены симметрично по

углу относительно диаметральной линии волновода вдоль направления поляризации его основной моды H_{11}^0 .

4. Рассмотрены конструктивные особенности построения двухярусных ЩС такого типа, где спаренные щели ярусов лежат на противоположных сторонах круглого волновода. Система таких ЩС предназначалась для создания простой всенаправленной щелевой антенны.
5. Экспериментально исследованы азимутальные ДН одноярусных и двухярусных ЩС с фронтальными и со спаренными щелями, а также сочетаний различных двухярусных ЩС. Предложено устройство простой щелевой СВЧ антенны, обеспечивающей 2-х разовый (3 дБ) перепад уровней азимутальной ДН в диапазоне углов $0^\circ \dots 360^\circ$. Устройство является сочетанием двухярусной ЩС с фронтальными щелями и двух двухярусных ЩС со спаренными щелями. В первой – угол разноса спаренных щелей в ярусах равен 45° , а во второй – 72° .

СПИСОК РАБОТ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ

1. В.Г. Аветисян, А.А. Мартиросян. Конструкция чебышевского перехода от одномодового прямоугольного волновода к круглому с волной типа H_{11}^0 // Сборник статей 11-ой годичной научной конференции РАУ. Ереван, декабрь 5-9, 2016г.
2. В.Г. Аветисян, А.А. Мартиросян. Расчет и конструкция возбуждителя волны типа H_{11}^0 в круглом волноводе // Вестник НПУА, Информационные технологии, электроника, радиотехника. №1, с. 64-69, 2017г.
3. А.А. Мартиросян. Согласованная нагрузка и короткозамыкатель для круглого волновода, возбуждатель моды H_{11}^0 и их исследование // Вестник НПУА, Информационные технологии, электроника, радиотехника, №2, с. 127-132, 2017г.
4. М.В. Маркосян, А.А. Мартиросян, А.К. Агаронян, В.Г. Аветисян. Исследование излучающих щелевых структур, использующих поляризационное вырождение основной моды круглого волновода // Известия НАН Армении, Физика, т. 53, №3, с. 257-267, 2018г.
5. Մ.Վ. Մարկոսյան, Ա.Ա. Մարտիրոսյան, Ա.Կ. Ահարոնյան, Վ.Հ. Ավետիսյան: Համուղորդված ճեղքային անտեննա: Հայաստանի Հանրապետություն արտոնագիր, ՄԱԴ H01Q 13/20, 16. 02. 2018թ:

ԱՄՓՈՓՈՒԿ

Շարժական կապի ցանցերում կիրառելու դեպքում կատարվել է ԳԲՀ ճեղքային անտենաների համեմատական վերլուծություն ըստ հետևյալ հատկանիշների՝ ճառագայթման բևեռացման, ազիմուտալ հարթությունում ճառագայթման համուղորդվածության աստիճանի և անտենաների կառուցվածքային առանձնահատկությունների: Վերլուծության հիման վրա ձևակերպվել է լուծման

ենթակա խնդիրը: Այն է՝ մշակել և հետազոտել կլոր ալիքատարի ճեղքային ստրուկտուրաները (ՃՍ) և դրանց հիման վրա կառուցել ԳԲՀ ճեղքային անտենա, որը կունենա ուղղորդվածության դիագրամի (ՈԻԴ) բավարար համուղղորդվածություն ազիմուտալ հարթությունում ուղղաձիգ-բևեռացված ճառագայթման դեպքում:

Նշված խնդիրը իրականացնելու համար մշակվել և պատրաստվել են օժանդակ հանգույցներ՝ կլոր ալիքատարի H_{11}^0 հիմնական մոդի գրգռիչ, համաձայնեցված բեռ և կարճամիակցիչ, որոնք ունեն ընդունելի պարամետրեր հետագա հետազոտության համար:

Քննարկվել են կլոր ալիքատարի H_{11}^0 հիմնական մոդի ալիքի բևեռացման այլասերման երևույթի տեսական հիմունքները և դրա կիրառման օրինակները տարբեր ԳԲՀ սարքերում: Հիմնավորվել է սույն երևույթի կիրառումը անսովոր ՃՍ-ների կառուցման համար, որոնք լայնական կիսաալիքային զույգավորված ճեղքեր են՝ տեղակայված կլոր ալիքատարի լայնական կտրվածքի մեկ հարկում: Չույգավորված ճեղքերից յուրաքանչյուրի կենտրոնը համաչափ տարափողված է ըստ անկյան ալիքատարի տրամագծի, որի երկայնքով ուղղված է ալիքի H_{11}^0 մոդի բևեռացումը:

Դիտարկվել են նման տեսակի երկհարկանի ՃՍ-ների ստեղծման կառուցվածքային առանձնահատկությունները: Նմանատիպ ՃՍ-ների համակարգը նախատեսված է համուղղորդված ճեղքային անտենաների ստեղծման համար:

Փորձականորեն հետազոտվել են ճակատային և զույգավորված ճեղքերով միահարկ և երկհարկ ՃՍ-ների և նաև երկհարկ ՃՍ-ների տարբեր զուգակցությունների ազիմուտալ ՈԻԴ-ները: Առաջարկվել է ԳԲՀ ճեղքային անտենային պարզ սարք, որն ապահովում է 3 դԲ-ից (2 անգամ) ոչ ավել ազիմուտալ ՈԻԴ-ի մակարդակների փոփոխություն $0^\circ \dots 360^\circ$ անկյունների տիրույթում: Այն ճակատային ճեղքերով երկհարկ ՃՍ-ի և երկու զույգավորված ճեղքերով ՃՍ-ների զուգակցությունն է: Առաջինում զույգավորված ճեղքերի տարափողման անկյունը հարկերում կազմում է 45° , իսկ երկրորդում՝ 72° :

ANDRANIK ARMEN MARTIROSYAN

DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF OMNIDIRECTIONAL ANTENNAS FOR MOBILE COMMUNICATION

SUMMARY

The comparative analysis of the microwave slotted antennas is carried out from the point of view of polarization of radiation, its omnidirectionality in the azimuth plane and the constructive features of antennas at their using in mobile communication networks. Based on the analysis, the problem to be solved is formulated. It is the development and investigation of circular waveguide slotted structures (SS) and the designing of the slotted microwave antenna, which must have the sufficient omnidirectionality of radiation pattern (RP) in the azimuth plane with vertically polarized radiation.

To realize the scheduled task, the support units are developed and manufactured - the exciter of the wave main mode H_{11}^0 in the circular waveguide, the matched load and the shorting plug, which have of acceptable parameters for further research.

The theoretical foundations of the phenomena of the polarization degeneracy of the main wave mode H_{11}^0 and the examples of using of phenomena in various microwave devices are discussed. The phenomena using is proved for the formation of unusual radiating SS in the kind of transverse half-wave paired slots, which are located on one tier in the cross-section of a circular waveguide. The centers of each of the paired slots are spaced apart by angle symmetrically with respect to the diametrical line along the polarization direction of waveguide main mode H_{11}^0 .

The constructive features of the formation of such two-tier SS are considered, where the paired slots of tiers are located on opposite sides of the circular waveguide. The system of such SS is intended to create the omnidirectional slot antennas.

Azimuthal RP of one-tier and two-tier SS with the frontal slots and with paired slots, as well as the combination of various two-tier SS are experimentally investigated. The microwave simple slotted antenna is proposed, which provides 2-time (3 dB) difference in the levels of the azimuth RP in the range of angles $0^0 \dots 360^0$. It is the combination of a two-tier SS with frontal slots with two two-tier SS with paired slots. In the first SS the separation angle of paired slots in the tier is 45^0 , and in the second - is 72^0 .

