

УДК 621.391, 621.396

СОГЛАСОВАННАЯ НАГРУЗКА И КОРОТКОЗАМЫКАТЕЛЬ ДЛЯ КРУГЛОГО ВОЛНОВОДА, ВОЗБУДИТЕЛЬ МОДЫ H_{11}^0 И ИХ ИССЛЕДОВАНИЕ

А.А. Мартироян

Российско-Армянский университет, Институт математики и высоких технологий

Исследованы конструкции согласованной нагрузки и короткозамыкателя для круглого волновода. Представлены результаты исследования параметров (по согласованию и потерям) компактного возбудителя основной моды H_{11}^0 круглого волновода в полосе частот 3,9...4,3 ГГц. Изучаемые узлы предназначаются для последующих исследований и разработки щелевых излучающих структур на основе круглых волноводов. Возбудитель моды H_{11}^0 основан на чебышевском ступенчатом переходе, являющемся наименьшим по длине из известных переходов. Расчет перехода выполнен по методике расчёта чебышевского ступенчатого перехода от одномодового (с модой H_{10}^0) прямоугольного волновода с размерами стенок a и b (соответственно внутренние размеры широкой и узкой стенок волновода) к квадратному волноводу с внутренними стенками размером a . В конструкции перехода отрезок прямоугольного волновода каждой ступеньки заменен овальным волноводом, имеющим внутренние диаметр a и высоту соответствующего заменяемого отрезка, а квадратный волновод заменен оконечным круглым волноводом с внутренним диаметром a . Согласованная нагрузка для круглого волновода представляет собой пенопластовый цилиндр с конусным окончанием. Этим окончанием нагрузка вставляется в круглый волновод возбудителя моды H_{11}^0 . В цилиндре нагрузки с другой стороны проделаны различные по длине глухие отверстия. Одинаковые по длине поглощающие ферроэпоксидные прутки вставлены в эти отверстия до их упора. Изготовленный короткозамыкатель имеет скользящие пружинящие контакты из берилловой бронзы вдоль поперечного периметра своего переднего продольного окончания, и короткозамыкатель, будучи помещенным в круглый волновод, образует с корпусом волновода дроссельное соединение.

Ключевые слова: прямоугольный одномодовый волновод, чебышевский переход, возбудитель моды H_{11}^0 , круглый волновод, согласованная нагрузка, короткозамыкатель.

Введение. Существуют различные типы конструкций короткозамыкателей (КЗ), согласованных нагрузок (СН) и возбудителей моды H_{11}^0 в круглых волноводах для работы и исследования различных узлов и устройств на основе круглых волноводов. Они достаточно широко описаны в соответствующей классической литературе, в частности в [1-4]. В данной работе исследованы КЗ и СН, изготовленные для исследования относительно простого в технологичности выполнения и компактного возбудителя моды H_{11}^0 в круглом волноводе, описанного в [5, 6]. При исследовании упомянутых узлов использованы известные методы измерений, описанные в [7-10], и стандартная измерительная аппаратура: измерительная линия Р1-18, высокочастотные генераторы сигналов Г4-80 и Г4-81, панорамный измеритель коэффициента стоячей волны по напряжению

(КСВН) и ослабления Р2-54/1. Измерения выполнялись в диапазоне частот 3,9...4,3 ГГц.

Целью работы является выявление параметров изготовленных короткозамыкателя, согласованной нагрузки и возбуждателя моды H_{11}^0 для выполнения последующих исследований и разработки щелевых излучающих структур на основе круглых волноводов.

Конструкция и параметры согласованной нагрузки. Изготовленная СН для возбуждателя моды H_{11}^0 в круглом одномодовом волноводе с внутренним диаметром 54 мм представляет собой пенопластовый цилиндр того же диаметра. Цилиндр имеет длину 130 мм и переднее конусное окончание, чьей стороной СН вставляется в возбуждатель. Фото СН представлено на рис. 1.



Рис. 1. Фото согласованной нагрузки

Фото СН с ее задней стороны представлено на рис. 2. С этой стороны в пенопластовом цилиндре СН проделаны семь глухих отверстий диаметром 12 мм, куда вставлены поглощающие ферроэпоксидные прутки одинаковой длины размером в 60 мм. Прутки вставлены в отверстия до их упора. 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. Смещение на длину в 30 мм вдоль оси круглого волновода равно четверти длины волны в волноводе на центральной частоте в 4,1 ГГц и обеспечивает компенсацию отражений от прутков. СН вставляется в волновод так, чтобы поглощающие прутки, расположенные по диаметральной линии, показанной на рис. 2, находились бы в плоскости, совпадающей с плоскостью поляризации, возбуждаемой в волноводе моды H_{11}^0 .

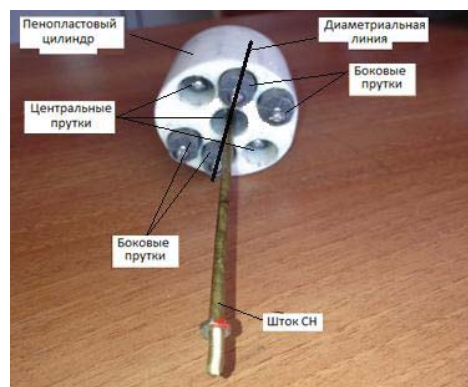


Рис. 2. Фото согласованной нагрузки с задней стороны

Измерение КСВН СН проводилось на стенде с применением измерительной линии Р1-18 методом перемещения СН в круглом волноводе возбуждителя [7, 8]. В диапазоне частот 3,9...4,3 ГГц измеренный КСВН не превышал значения 1,3.

Конструкция и параметры короткозамыкателя. Фото изготовленного КЗ представлено на рис. 3.

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 расстоянии 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 образовывалось необходимое овальное изгибление 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 последовательно покрывались гальванически тонкими слоями (10...20 мкм) меди и "олово-висмут" для окончательной пайки пластин к корпусу легкоплавким припоем. Конечная конструкция КЗ такова, что при его помещении в круглый волновод возбуждителя моды H_{11}^0 корпус КЗ после плоскости пружинящих контактов с волноводом образует с ним 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 канавки шириной 3 мм в поперечном сечении корпуса КЗ. Таким образом, осуществляется дроссельный КЗ, описанный в [2], который обладает лучшей способностью короткого замыкания.

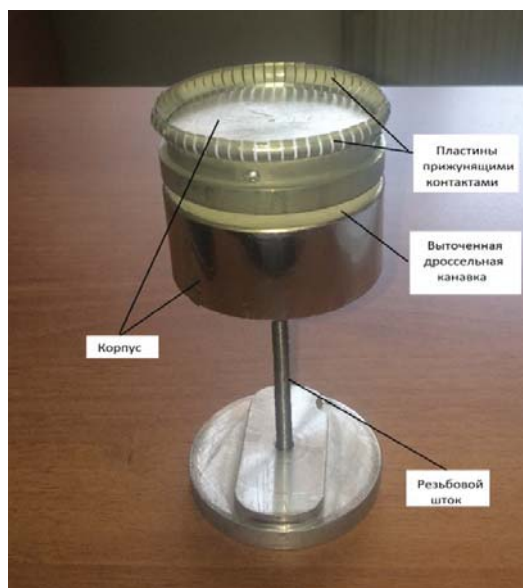


Рис. 3. Фото короткозамыкателя

Измерения КСВН КЗ проводились 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.

Возбудитель моды H_{11}^0 в круглом волноводе. Исследование возбудителя выполнялось в составе узла – переход от коаксиальной линии к прямоугольному одномодовому волноводу (внутреннее сечение 58 мм × 25 мм) возбудителя и последующий чебышевский переход возбудителя с круглым волноводом длиной 300 мм. Измерения КСВН выполнялись как на упомянутом выше стенде с применением измерительной линии, так и на стенде с применением панорамного измерителя Р2-54/1. Измеренные значения КСВН узла, нагруженного на изготовленной СН, не превышали значение 1,7 в отмеченной выше полосе частот при измерениях на стенде с измерительной линией. При измерениях на стенде с панорамным измерителем в той же полосе частот максимальный КСВН составил около 1,6.

Оценка активных потерь узла в отмеченной полосе частот выполнялась по методике с помощью измерения КСВН узла, нагруженного на изготовленный

КЗ. Согласно методике, потери α узла в децибелах вычисляются по значению измеренного КСВН - K с учетом соотношения [9, 10]

$$\alpha = 10 \lg \frac{K-1}{K+1}. \quad (1)$$

Значения КСВН в полосе частот 3,9...4,3 ГГц оказались равными $K = 22 \dots 30$. Согласно выполненным оценкам по соотношению (1), потери не превышают значения 0,4 дБ.

Выводы. Полученные результаты по определению параметров СН, КЗ и возбуждителя моды H_{11}^0 в круглом волноводе оказались вполне пригодными для дальнейших разработок щелевых излучающих структур на основе круглых волноводов.

Литература

1. Харвей А. Ф. Техника сверхвысоких частот. - Т.1.- М.: Сов. радио, 1965. – 784 с.
2. Семенов Н. А. Техническая электродинамика. - М.: Связь, 1973. – 480 с.
3. Модель А.Ф. Фильтры СВЧ в радиорелейных системах.- М.: Связь, 1967. – 352 с.
4. Справочник конструктора РЭА. Компоненты, механизмы, надежность / Под ред. Р.Г. Варламова. - М.: Радио и связь, 1985. - 382 с.
5. Аветисян В.Г., Мартirosян А.А. Конструкция чебышевского перехода от одно-модового прямоугольного волновода к круглому волноводу с волной типа H_{11}^0 // Сб. ст. 11-й год. научн. конф. РАУ, декабрь 5-9.- Ереван, 2016.- С. 127-132.
6. Аветисян В.Г., Мартirosян А.А. Расчет и конструкция компактного возбуждителя моды H_{11}^0 в круглом волноводе // Вестник ГИУА: Информационные технологии, электроника, радиотехника.- 2017.- N1.- С. 64-69.
7. Тишер Ф. Техника измерений на сверхвысоких частотах. - М.: ГИФМЛ, 1963.- 367с.
8. Стариков В.Д. Методы измерений на СВЧ с применением измерительных линий.- М.: Сов. радио, 1972.- 202с.
9. Волноводные линии передачи с малыми потерями / Под ред. В.Б. Штейншлейгера.- М.: ИЛ, 1960.- 480с.
10. Валитов Р.А, Стретенский В.Н. Радиотехнические измерения. – М.: Сов. радио, 1970.- 712с.

*Поступила в редакцию 10.10.2017.
Принято к опубликованию 21.12.2017.*

ՎԼՈՐ ԱԼԻՔՍԱՐԻ ՀԱՄԱՁԱՅՆՏՅՎԱԾ ԲԵՈՐ ԵՎ ԿԱՐՃՄԻԱԿՑԻՉԸ, H_{11}^0 ՄՈՂԻ ԳՐԳՈՒՉԸ ԵՎ ԴՐԱՆՑ ՀԵՏԱՁՈՏՈՒՄԸ

Ա.Ա. Մարտիրոսյան

Ուսումնասիրվել են կլոր ալիքատարի համաձայնեցված բեռի և կարճմիակցիչի կառուցվածքները, ներկայացվել են կլոր ալիքատարում H_{11}^0 հիմնական մոդի կոմպակտ գրգռիչի պարամետրերի հետազոտության արդյունքները (համաձայնեցմամբ և կորուստներով) 3.9 ... 4.3 ԳՀց հաճախականային շերտում: Հետազոտված հանգույցները նախատեսված են կլոր ալիքատարների վրա հիմնված ճեղքային ճառագայթող

կառուցվածքների հետագա ուսումնասիրությունների և մշակումների համար: H_{11}^o մոդի գրգռիչը հիմնված է չեբիշևյան աստիճանավոր անցման վրա, որը հայտնի անցումներից ամենակարճն է իր երկարությամբ: Անցման հաշվարկը կատարված է a և b պատերի չափ (համապատասխանաբար ուղղանկյուն ալիքատարի լայն և նեղ պատերի ներքին չափերը) ունեցող միամող ուղղանկյուն ալիքատարից (H_{11}^o մոդայով) դեպի a չափի ներքին պատ ունեցող քառակուսի ալիքատար՝ չեբիշևյան աստիճանավոր անցման հաշվարկման եղանակով: Անցման կառուցվածքի մեջ յուրաքանչյուր աստիճանիկի ուղղանկյուն ալիքատարի հատվածը փոխարինված է ձվաձև ալիքատարով, որն ունի a ներքին տրամագիծ և համապատասխան փոխարինվող հատվածի բարձրություն, իսկ քառակուսի ալիքատարը փոխարինված է ներքին a տրամագիծ ունեցող կլոր վերջամասային ալիքատարով: Կլոր ալիքատարի համար համաձայնեցված բեռը կոնաձև վերջամասով փրփրապլաստ գլան է: Այս վերջամասով համաձայնեցված բեռը տեղադրվում է H_{11}^o մոդի գրգռիչի կլոր ալիքատարի մեջ: Բեռի գլանում մյուս կողմից արված են տարբեր երկարությամբ խոլ անցքեր: Դրանց մեջ, մինչև անցքերի ծայրամասը, ներդրած են հավասար երկարությամբ ֆերոէպօքսիդե կլանող ձողեր: Պատրաստված կարճմիակցիչը իր առջևի երկայնական վերջամասի լայնական պարագծի երկայնքով ունի սահող զսպանակային հպակներ բերիլիումային բրոնզից: Կլոր ալիքատարի մեջ տեղադրված կարճմիակցիչը կլոր ալիքատարի պատի հետ առաջացնում է դրոսելային միացք:

Առանցքային բառեր. միամող ուղղանկյուն ալիքատար, չեբիշևյան անցում, H_{11}^o մոդի գրգռիչ, կլոր ալիքատար, համաձայնեցված բեռնվածք, կարճմիակցիչ:

A MATCHED LOAD AND A SHORTING PLUNGER FOR A CIRCULAR WAVEGUIDE, THE EXCITER OF THE H_{11}^o MODE AND THEIR RESEARCH

A.A. Martirosyan

The designs of the matched load and a shorting plunger for the circular waveguide are investigated. The results of the study of parameters (matching and losses) of a compact exciter of the basic H_{11}^o mode in the circular waveguide at 3.9...4.3 GHz frequency band are presented. The investigated units are intended for the further research and development of the slot radiating structures based on the circular waveguides. The exciter of the H_{11}^o mode is based on the Chebyshev step transition which is the shortest among the known transitions. The transition is calculated by the calculation method of the Chebyshev step transition from a single-mode (with the mode H_{10}^o) rectangular waveguide with the dimensions of the walls a and b (respectively, the inner dimensions of the wide and narrow walls of the waveguide) to a square waveguide with the inner wall size a . In the transition design, the rectangular waveguide segment of each step is replaced by an oval waveguide having an inner diameter a , and a height of the corresponding replaced segment, and the square waveguide is replaced by a terminal circular waveguide with an inner diameter a . The matched load for the circular waveguide is the plastic foam cylinder with a conical termination. The load is inserted into the circular waveguide of the H_{11}^o mode exciter by this termination. On the other side, blind holes are made in the cylinder, which are different by length. Equal-length absorbing ferroepoxy rods are inserted firmly into these holes. The produced shorting plunger has sliding beryllium bronze spring contacts along the transverse perimeter of its front longitudinal end. The shorting plunger, being placed into a circular waveguide, forms a choke coupling with the waveguide wall.

Keywords: rectangular single-mode waveguide, Chebyshev transition, H_{11}^o mode exciter, circular waveguide, matched load, shorting circuit.