

УКД 621.391, 621.396

**РАСЧЕТ И КОНСТРУКЦИЯ КОМПАКТНОГО ВОЗБУДИТЕЛЯ  
ВОЛНЫ ТИПА  $H_{11}^0$  В КРУГЛОМ ВОЛНОВОДЕ**

**В.Г. Аветисян<sup>1,2</sup>, А.А. Мартиросян<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Ереванский НИИ Средств связи

<sup>2</sup> Российско-Армянский университет, Институт Математики и Высоких Технологий

Примерами возбудителей моды  $H_{11}^0$  в круглом волноводе являются возбудители с диаметрально расположенным возбуждающим штырём в круглом волноводе с возбуждающей щелью на стенке круглого волновода, либо переход с диэлектрической вставкой, либо плавный переход от прямоугольного волновода с модой  $H_{10}^0$  к круглому с модой  $H_{11}^0$ . Приведённые возбудители по согласованию в полосе частот и технологичности их конструкции часто не удовлетворяют требованию относительной простоты изготовления возбудителя с приемлемыми электрическими параметрами. При стыковке прямоугольных волноводов с различными значениями волновых сопротивлений применяют ступенчатые переходы с частотными характеристиками типа полинома Чебышева или максимально плоской характеристикой. В таких переходах погонные параметры линии изменяются скачкообразно, соответственно ступенькам перехода. Непрерывное изменение погонных параметров обеспечивается в плавных переходах с отмеченными выше частотными характеристиками и в экспоненциальном плавном переходе. При прочих равных условиях, наименьшим по длине является чебышевский ступенчатый переход. Предлагаемый в статье возбудитель моды  $H_{11}^0$  основан на таком переходе. Его расчет выполняется по методике расчёта чебышевского ступенчатого перехода от одномодового прямоугольного волновода с размерами  $a, b$  (соответственно размеры широкой и узкой стенок волновода) к квадратному волноводу со стенками размером  $a$ . В конструкции же перехода отрезок прямоугольного волновода каждой ступеньки заменен овальным волноводом, имеющим диаметр  $a$  и высоту соответствующего заменяемого отрезка, а квадратный волновод заменен круглым с диаметром  $a$ . В статье приводится также простой по технологии способ изготовления предлагаемого возбудителя.

**Ключевые слова:** прямоугольный одномодовый волновод, овальный волновод, чебышевский переход, круглый волновод.

**Введение.** В [1, 2] описаны различные плавные и ступенчатые переходы от одномодового прямоугольного волновода с волной типа  $H_{10}^0$  к круглому волноводу с волной типа  $H_{11}^0$  для работы и исследования различных узлов и устройств на основе круглых волноводов. Из всех описанных переходов при одинаковых перепадах волновых сопротивлений и требованиях к согласованию наименьшими по длине являются чебышевские переходы. Однако плавные переходы трудны в изготовлении, поскольку требуют изготовления плавной формы оправки перехода, последующей ее гальванопластики с

электролитическим осаждением толстого слоя металла на оправку и процесса отделения насаженного перехода от оправки [3].

**Постановка задачи.** Целью работы является проектирование и изготовление относительно простого в технологичности выполнения и компактного возбуждателя волны типа  $H_{11}^0$  в круглом волноводе для С-диапазона.

**Проектирование и конструкция.** Приведенный ниже подход к построению возбуждателя такого типа пригоден для его реализации в любом участке СВЧ диапазона. Исходя из цели, в качестве основного узла возбуждателя был выбран чебышевский ступенчатый переход как наиболее компактный по размерам в длине при требуемых электрических параметрах перехода. В качестве возбуждателя волны  $H_{10}^0$  в прямоугольном волноводе использовался стандартный коаксиально-волноводный переход (КВП) с внутренним сечением прямоугольного волновода  $58 \text{ мм} \times 25 \text{ мм}$  с полосой частот от 3,25 до 5 ГГц [4]. Для центральной частоты  $f = 4 \text{ ГГц}$  был выбран одномодовый круглый волновод с внутренним диаметром, равным  $D=54 \text{ мм}$ . Конструкция возбуждателя волны  $H_{11}^0$  в круглом волноводе состоит из четырех последовательных секций (см. рис 1а): секция 1 - КВП с вышеуказанным внутренним сечением  $58 \text{ мм} \times 25 \text{ мм}$ , секция 2 - в виде перехода от этого сечения к овальному волноводу с высотой  $b = 25 \text{ мм}$  и диаметром овала  $D = 54 \text{ мм}$  и секция 3 - в виде трехступенчатого перехода от овального волновода с высотой  $b = 25 \text{ мм}$  к овальному волноводу с высотой  $b_k = 49,3 \text{ мм}$ , который стыковался с последующей секцией 4 на волноводе круглого сечения с внутренним диаметром  $D = 54 \text{ мм}$ .

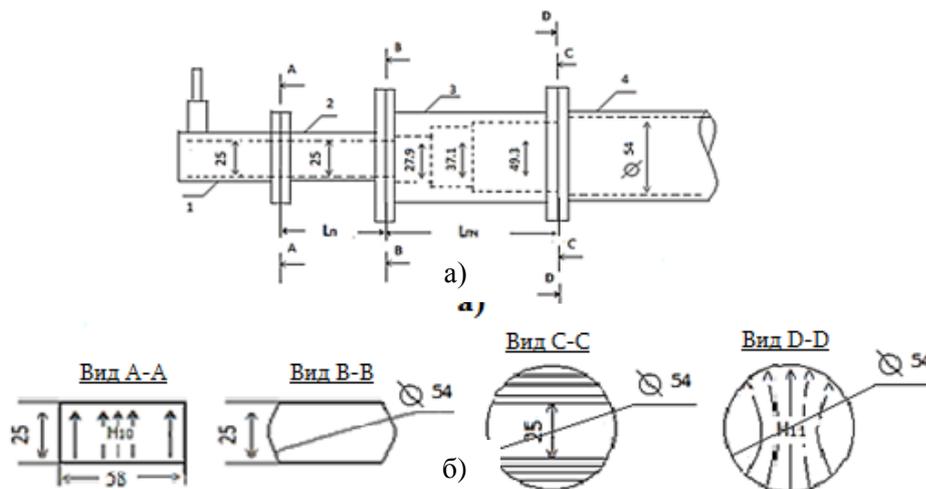


Рис. 1. Возбудитель волны  $H_{11}^0$ : а - последовательные секции возбуждателя: секция 1 - КВП; секция 2 - переход от прямоугольного волновода к овальному; секция 3 - трехступенчатый овальный чебышевский переход; секция 4 - круглый волновод; пунктирными линиями в последовательных секциях 1,2,3 и 4 показаны контуры внутренних размеров; б - виды в различных сечениях возбуждателя

Секция 2 является переходом от прямоугольного волновода с внутренним сечением  $58 \text{ мм} \times 25 \text{ мм}$  (см. вид А - А рис. 1б) с рабочей модой  $H_{10}^{\square}$  к овалному сечению с высотой  $b = 25 \text{ мм}$  и диаметром овала  $D = 54 \text{ мм}$  (см. вид В - В, рис. 1б), который был изготовлен в два этапа. Первый этап - изготовление перехода от сечения  $58 \text{ мм} \times 25 \text{ мм}$  к сечению  $a_1(\text{мм}) \times 25 \text{ мм}$  (см. рис. 2).

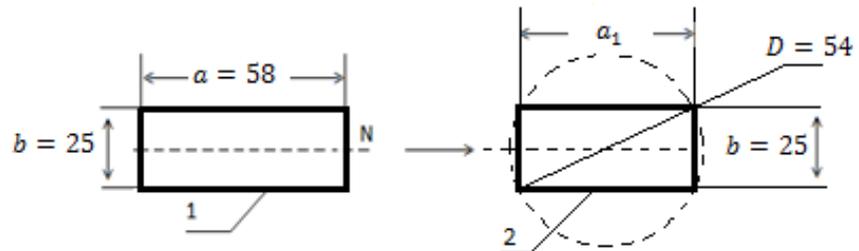


Рис. 2. Сечения перехода: 1 - входное сечение; 2 - выходное сечение

Из рис. 2 очевидно соотношение  $a_1 = \sqrt{D^2 - b^2} = 47,9 \text{ мм}$ . Эта секция была изготовлена из двух половинок, стыкующихся штифтами и винтами по срединной плоскости N. На втором этапе такой переход со стороны выходного сечения  $47,9 \text{ мм} \times 25 \text{ мм}$  фрезеровался концевой фрезой по узким стенкам до придания овалного сечения с диаметром овала  $D = 54 \text{ мм}$  (см. рис. 3). Из-за конечности диаметра фрезы (диаметр  $d=8 \text{ мм}$ ) в вершинах овала А, В, С и Е оставались маленькие ступеньки (см. рис. 4).

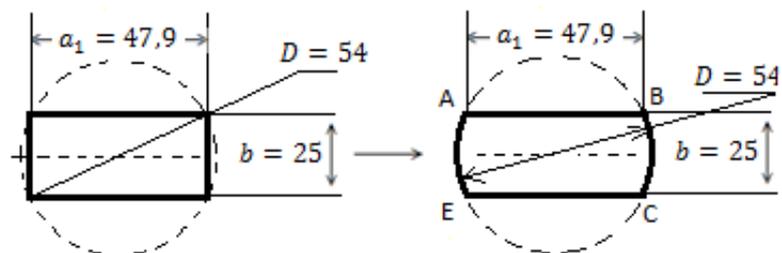


Рис. 3. Преобразование выходного прямоугольного сечения в овалное

Длина перехода  $L_n$  рассчитывалась согласно выражению [4]

$$L_{\Pi} = 0,16(\Lambda_{B1} + \Lambda_{B2}) + 0,67\Lambda_{B, \text{cp}}, \quad (1)$$

где  $\Lambda_{B1}, \Lambda_{B2}$  - длины волн в прямоугольном волноводе с широкой стенкой  $a_{\text{cp}}$ , равной  $a_{\text{cp}} = (58 + 54)/2 = 56 \text{ (мм)}$  соответственно для принятых граничных длин волн  $\lambda_{\Pi} = 64 \text{ мм}$  и  $\lambda_{-\Pi} = 75 \text{ мм}$  диапазона перекрытия последующего чебышевского перехода - секции 3;  $\Lambda_{B, \text{cp}}$  - длина волны в этом же волноводе,

соответствующая средней длине волны  $\lambda_{cp} = (\lambda_{п} + \lambda_{-п})/2$ . Рассчитанная длина оказалась равной  $L_{п} = 88 \text{ мм}$ . На рис. 4 приведены фотографии секции 2 со стороны входного и выходного сечений.

Следующая секция 3 – это трехступенчатый переход от овального волновода с высотой  $b = 25 \text{ мм}$  с диаметром овала  $D = 54 \text{ мм}$  к конечному овальному сечению с тем же диаметром овала и конечной высотой около  $b_{к} = 49,3 \text{ мм}$  (см. рис. 16, вид С-С). Схема расчета, конструкция и изготовление этой секции описаны в [5]. Трехступенчатый овальный переход рассчитывался по методике расчета чебышевского перехода от прямоугольного волновода с внутренним сечением  $54 \text{ мм} \times 25 \text{ мм}$  к квадратному волноводу с сечением  $54 \text{ мм} \times 54 \text{ мм}$ .

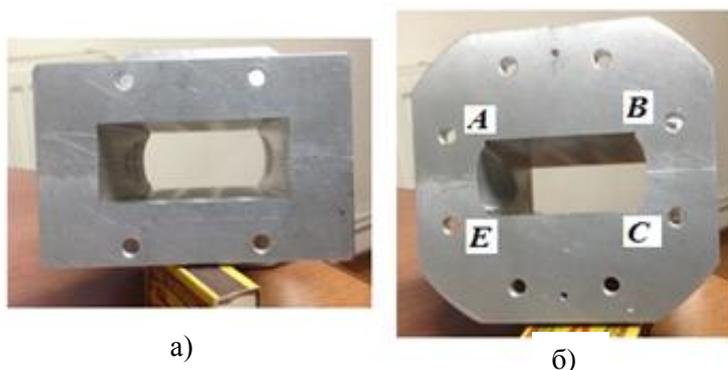


Рис. 4. Фотографии переходной секции 2: а - со стороны входного сечения; б - со стороны выходного сечения

Определение размеров и длин ступенек велось согласно [6] при близком табличном значении  $R = 2,2$  при количестве ступенек  $n = 3$  и максимальном коэффициенте отражения  $|\Gamma|_{max} = 0,005$ . Расчетные значения высот ступенек оказались следующими:  $b_1 = 27,875 \text{ мм}$ ,  $b_2 = 37,075 \text{ мм}$ ,  $b_3 = b_{к} = 49,325 \text{ мм}$  с соответствующими скорректированными их длинами  $l_1 = 19,8 \text{ мм}$ ,  $l_2 = 19,6 \text{ мм}$ ,  $l_3 = 19,4 \text{ мм}$ . Общая суммарная длина  $L_{пч}$  секции 3 равна  $58,8 \text{ мм}$ . По сути, рассчитанный выше чебышевский переход с прямоугольными волноводами в секции 3 заменяется на трехступенчатый переход с овальными волноводами одинакового диаметра, но с теми же ступеньками по высоте. Такая замена основана на предположении, что возбудитель будет обладать приемлемым значением (менее 1,4) коэффициента стоячей волны по напряжению. На рис. 5

приведены фотографии с входной и выходной сторон овального трехступенчатого перехода - секции 3.

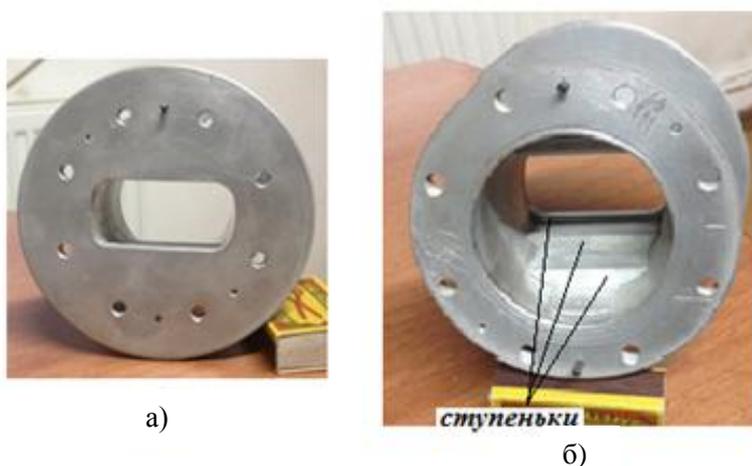


Рис. 5. Фотографии овального трехступенчатого овального перехода – секции 3:  
а - со стороны входного сечения; б - со стороны выходного сечения

Фотография сборки изготовленного возбуждителя волны типа  $H_{11}^O$  в круглом волноводе приведена на рис. 6.

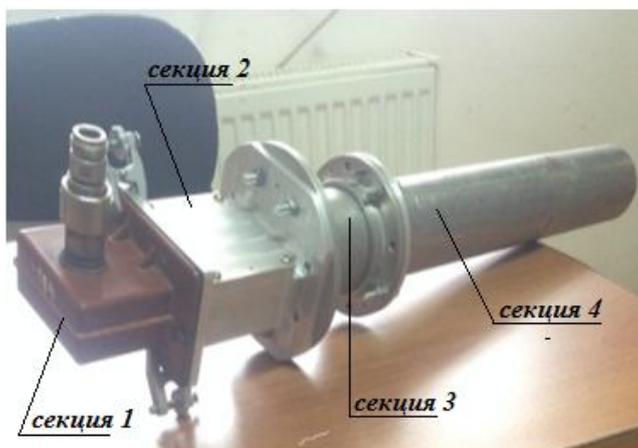


Рис. 6. Фотография возбуждителя волны типа  $H_{11}^O$  в круглом волноводе

### **Выводы**

1. Предложенные схема расчета и конструктивный подход могут быть применены при проектировании возбуждителей этого типа на других участках диапазона СВЧ.

2. Реализована компактная и технологичная в исполнении конструкция возбудителя моды  $H_{11}^0$  в круглом волноводе для С-диапазона.

### 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. Харвей А. Ф. Техника сверхвысоких частот. - Т.2.- М.: Сов. радио, 1965. – 775 с.
4. Справочник конструктора РЭА. Компоненты, механизмы, надежность / Под ред. Р.Г. Варламова. - М.: Радио и связь, 1985. - 382 с.
5. Аветисян В.Г., Мартиросян А.А. Конструкция чебышевского перехода от одномодового прямоугольного волновода к круглому волноводу с волной типа  $H_{11}^0$  // Сборник статей 11-й годичной научной конференции РАУ, декабрь 5-9, 2016. – Ереван, 2017.
6. Фельдштейн А.Л., Явич Л.Р., Смирнов В.П. Справочник по элементам волноводной техники.- М.: Советское радио, 1967. – 651 с.

*Поступила в редакцию 27.01.2017  
Принята к опубликованию 12.05.2017.*

## ԿԼՈՐ ԱԼԻՔԱՏԱՐՈՒՄ $H_{11}^0$ ՏԻՊԻ ԱԼԻՔԻ ՀՈՏ ԳՐԳՈՒՉԻ ՀԱՇՎԱՐԿԸ ԵՎ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԸ

### Վ.Հ. Ավետիսյան, Ա.Ա. Մարտիրոսյան

Կլոր ալիքատարում  $H_{11}^0$  մոդի գրգռիչի օրինակներ են կլոր ալիքատարում տրամագծորեն տեղակայված գրգռող ցցով գրգռիչները, կլոր ալիքատարի պատի վրա գրգռող ճեղքով գրգռիչները,  $H_{10}^0$  մոդով ուղղանկյուն ալիքտարից դեպի  $H_{11}^0$  մոդով կլոր ալիքարար մեկուսիչ միջուկ պարունակող անցումը կամ սահուն անցումը: Գրգռիչները՝ ըստ հաճախականային շերտում համաձայնեցման, իրենց կառուցվածքի տեխնոլոգիականությամբ շատ հաճախ չեն բավարարում գրգռիչի հարաբերականորեն պարզ պատրաստման պահանջը՝ դրա էլեկտրական ընդունելի պարամետրերի դեպքում: Ալիքային դիմադրությունների տարբեր արժեքներով ուղղանկյուն ալիքատարների կցման համար օգտագործվում են Չեբիշևի բազմանդամի կամ մաքսիմալ հարթ տիպի հաճախականային բնութագրով աստիճանային անցումները: Նման անցումներում գծային պարամետրերը փոփոխվում են կտրուկ ձևով՝ համապատասխան անցման աստիճանների: Գծային պարամետրերի անընդհատ փոփոխությունն ապահովվում է վերը նշված հաճախականային բնութագրով սահուն անցումներում և էքսպոնենցիալ սահուն անցումներում: Այլ հավասար պայմանների դեպքում երկարությամբ ամենափոքրն է չեբիշևյան աստիճանային անցումը: Առաջադրվող  $H_{11}^0$  մոդով գրգռիչը հիմնված է այդպիսի անցման վրա: Դրա հաշվարկը կատարվում է ըստ  $a$ ,  $b$  չափի պատեր ունեցող (համապատասխան՝ ալիքատարի լայն և նեղ պատերին) միամոդ ուղղանկյուն ալիքատարից դեպի  $a$  չափի պատերով քառակուսի ալիքատար չեբիշևյան աստիճանային անցման հաշվարկային մեթոդի: Անցման կառուցվածքում ամեն մի աստիճանի ուղղանկյուն ալիքատարի հատվածը փոխարինված է ձվաձև

ալիքատարով, որի տրամագիծը հավասար է  $a$ , բարձրությունը՝ համապատասխան փոխարինվող ալիքատարային հատվածի բարձրությանը, իսկ քառակուսի ալիքատարը փոխարինված է  $a$  տրամագիծ ունեցող կլոր ալիքատարով: Ներկայացվում է նաև առաջադրվող գրգռիչի պարզ տեխնոլոգիայով պատրաստման եղանակը:

**Առանցքային բառեր.** ուղղանկյուն միամող ալիքատար, ձվաձև ալիքատար, չեբիշևյան անցում, կլոր ալիքատար:

## DESIGN AND CONSTRUCTION OF A COMPACT EXCITER OF THE $H_{11}^{\circ}$ TYPE WAVE IN A CIRCULAR WAVEGUIDE

V.H. Avetisyan, A.A. Martirosyan

Examples of the  $H_{11}^{\circ}$  mode exciter in circular waveguide are the exciters with a diametrically located exciting pin in the circular waveguide, with an exciting slot on the circular waveguide wall, the transition from a rectangular waveguide with mode  $H_{10}^{\circ}$  to circular waveguide with mode  $H_{11}^{\circ}$ , which has a dielectric insert or is smooth. The given exciters, by matching in the frequency waveband and by its construction technology, do not often meet the requirement of a relative simplicity of manufacturing of the exciter with acceptable electrical parameters. At joining the rectangular waveguides with different wave impedances, the stepwise transitions with frequency characteristics in the kind of Chebyshev polynomial or maximally flat are used. In such transitions, the line parameters change abruptly according to the transition steps. Continuous change of line parameters is ensured in smooth transitions with the above mentioned frequency characteristics and in an exponential smooth transition. Under other equal conditions, the chebyshev stepwise transition is the smallest by length. The mode  $H_{11}^{\circ}$  exciter, proposed in the paper is based on this transition. Its calculation is performed according to the calculation method of chebyshev stepwise transition from a single-moded rectangular waveguide with sizes  $a, b$  (respectively the wide and the narrow waveguide walls) to a square waveguide with the size  $a$  of walls. In the transition construction, the rectangular waveguide section of each step is replaced by an oval waveguide having the diameter  $a$  and the height, which equals to the replaced corresponding section, and the square waveguide is replaced by a circular waveguide with a diameter  $a$ . In the paper, a method for manufacturing the proposed exciter is also described, which is simple in production technology.

**Keywords:** single-moded rectangular waveguide, oval waveguide, chebyshev transition, circular waveguide.