

УДК 621.391, 621.396

## ПОДВИЖНАЯ ЛИНИЯ ПЕРЕДАЧИ МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛН ДЛЯ АНТЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПО БЛИЖНЕМУ ПОЛЮ

А.А. Багдасарян

*Российско-Армянский университет, Институт Математики и Высоких Технологий*

Рассматриваются вопросы проектирования и создания подвижной линии передачи диапазона миллиметровых волн (ММВ). Работа нацелена на дальнейшее исследование линии для ее применения в автоматических измерительных комплексах (АИК) амплитудно-фазового распределения (АФР) на плоскости ближних полей антенн соответствующего диапазона. Предлагаемая подвижная линия осуществляет передачу сигнала через участок "сканируемый пробный зонд - неподвижная измерительная аппаратура" и построена на отрезках сверхразмерных волноводов, соединенных с помощью их подвижных сочленений. Она способна обеспечить протяженность сканирования пробного зонда по плоскости до расстояния в 1000 мм. С другой стороны, такая линия передачи, являясь по сути квазиоптической, может обеспечить малые ослабления сигналов ММВ и универсальность ее применения во всем диапазоне ММВ. Для достаточной стабильности (по амплитуде и фазе) передаваемого сигнала геометрическая длина подвижной линии в процессе измерений остается неизменной. Неизменность длины обеспечивается методом одновременной ромбонной компенсации изменения ее длины. Применение предлагаемой подвижной линии передачи сигналов ММВ в АИК по измерениям АФР ближнего поля антенн отмеченного диапазона позволит определить параметры остронаправленных антенн (ширина главного лепестка диаграммы направленности (ДН) в пределах  $0,1^0 \dots 1^0$ ), нашедших широкое применение в радиолокационных, радионавигационных системах и в системах связи, зондирования и пассивного радиовидения диапазона ММВ. Создание такой линии передачи с достаточно стабильными передаточными характеристиками является частью развития технологии измерений АФР ближнего поля антенн диапазона ММВ.

**Ключевые слова:** линия передачи, миллиметровые волны, антенна, ближнее поле, сверхразмерный волновод.

**Введение.** В последние годы интенсивно развиваются системы связи, радиолокации, радионавигации, зондирования и пассивного радиовидения, работающие также в диапазоне ММВ. В большинстве случаев характеристики таких систем определяются параметрами антенных устройств. Прямой перенос определения характеристик антенн методом антенных измерений по их ближнему полю, оправданным в сверхвысокочастотном (СВЧ) диапазоне [1-3], в диапазон ММВ сталкивается с принципиальными трудностями, связанными с реализацией точностей позиционирования сканируемого пробного зонда и измерением АФР ближнего поля испытываемых антенн (ИА) [4]. Возникает потребность в применении особых подходов к точному измерению АФР

ближнего поля антенн с достаточными, для точного восстановления их дальнего поля, среднеквадратическими отклонениями по амплитуде менее 1 дБ и по фазе в несколько градусов. Погрешности измерений обусловлены погрешностями амплифазометра измерительной радиоаппаратуры и нестабильностью передаточных характеристик подвижной линии передачи сигнала ММВ. Возникает необходимость в наличии линии передачи с передаточными характеристиками по амплитуде и фазе с нестабильностями в пределах отмеченных величин. Проблема состоит в том, что, в отличие от диапазона СВЧ, для диапазона ММВ не существует фазостабильных и малых по потерям коаксиальных кабелей длиной в несколько метров, на которых можно было бы построить подвижную линию передачи сигналов диапазона ММВ с отмеченными стабильными передаточными характеристиками. Создание подвижной линии передачи сигналов диапазона ММВ с вышеприведенными стабильными передаточными характеристиками является насущной и актуальной задачей развития технологии измерений АФР ближнего поля антенн диапазона ММВ.

**Целью работы** является проектирование подвижной линии передачи АИК, предназначенного для определения характеристик остронаправленных антенн ММВ (с шириной главного лепестка ДН в пределах  $0,1^0 \dots 1^0$ ) методом измерения их ближнего поля на плоскости.

**Задачей исследования** является передача сигнала с малым ослаблением от движущегося пробного зонда к неподвижной измерительной аппаратуре (или наоборот) со стабильностью по фазе в несколько градусов и по амплитуде в десятые доли децибела.

**Конструкция подвижной линии передачи ММВ неизменной геометрической длины.** Для решения поставленной задачи используется построение подвижной линии передачи, предложенное в [5] и изображенное на рис. 1.

Линия передачи содержит отрезки сверхразмерных волноводов, соединенные между собой их подвижными сочленениями. По сути, линия на сверхразмерных волноводах является линией квазиоптического характера, обеспечивающей малое ослабление сигнала ММВ [6]. Для этого размер  $a$  стенки волновода, перпендикулярной вектору электрического поля в волноводе, удовлетворяет критерию квазиоптического приближения  $ka=2\pi a/\lambda > 30$  ( $\lambda$  – длина рабочей волны) при выбранной рабочей моде  $H_{10}$ . Уголки линии выбраны в соответствии с рекомендациями, приведенными в [7]. Линия содержит фильтры для подавления высших паразитных мод, взаимодействие которых с основной модой приводит к флуктуациям амплитуды и фазы проходящего через линию сигнала. Неизменность геометрической длины подвижной линии передачи обеспечивается одновременной тромбонной компенсацией изменения длины линии в процессе сканирования пробного зонда, присоединенного к ее подвижному концу. При непрерывном перемещении зонда вместе с подвижным

волноводом линии на расстояние  $L$  волноводное колено тромбона одновременно перемещается на расстояние  $L/2$ . В итоге геометрическая длина пути волны, распространяющейся через такую линию передачи, остается неизменной (см. рис 1а).

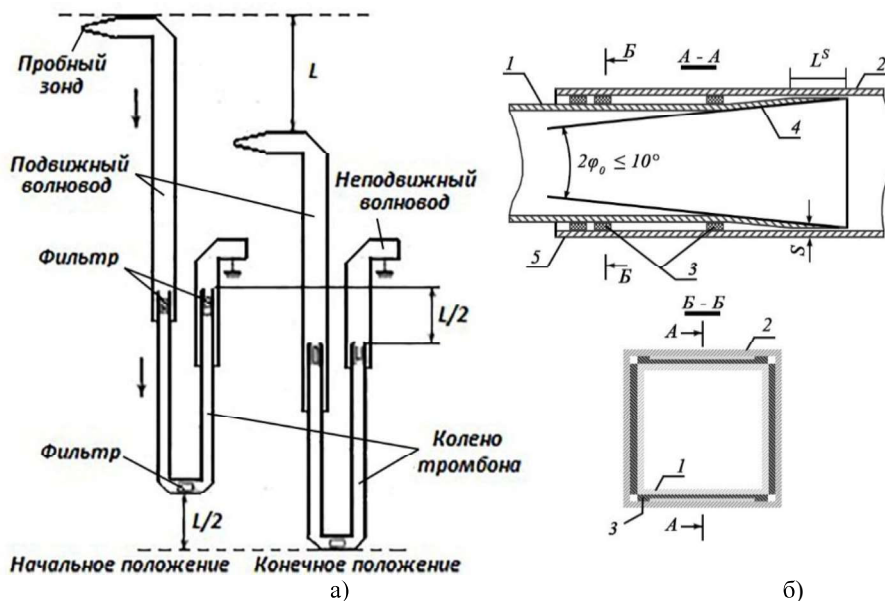


Рис. 1. Линия передачи с подвижными сочленениями полых металлических сверхразмерных волноводов:  
 а - принцип тромбонной компенсации; б - конструкция подвижного сочленения сверхразмерных волноводов

В качестве подвижного сочленения сверхразмерных волноводов используется конструкция, изображенная на рис. 1б. Внутренняя поверхность сверхразмерного волновода 2 (см. рис 1б, сечение А-А) большего сечения отстоит от внешней поверхности сверхразмерного внутреннего волновода 1 меньшего сечения на расстоянии 1,0...2,0 мм. Между ними на внешней поверхности внутреннего волновода 1 по периметру его поперечного сечения в пазах небольшой глубины уложены и припаяны к волноводу 1 своей фольгированной стороной односторонне фольгированные фторопластовые прокладки 3 шириной в несколько миллиметров для относительного скольжения волноводов и обеспечения их соосности. Для снижения механического усилия при взаимном перемещении волноводов сочленения и трудоемкости его изготовления прокладка 3 контактирует своей фторопластовой стороной с

внешним волноводом 2 только на краях своих длин (см. рис. 1б, сечение Б-Б). Соосность скольжения волноводов сочленения и выбор угла  $2\varphi_0 \leq 10^0$  раскрыва рупорного окончания 4 внутреннего волновода 1 обеспечивают малую величину потерь преобразования основной моды в высшие паразитные моды [7]. Малый зазор с шириной  $S \leq 0,1\lambda$  на длине  $l^S$  между внешней поверхностью рупорного окончания внутреннего волновода 1 и внутренней поверхностью волновода 2 большего сечения (см. рис. 1б, сечение А-А) обеспечивает большую емкость, обладающую значительной проводимостью на частотах диапазонов ММВ. Иначе говоря, зазор благоприятствует короткому замыканию токов проводимости отмеченного диапазона и снижает уровень возникающих паразитных мод на нерегулярности такого стыка волноводов.

В предлагаемой конструкции линии передачи сделан выбор в пользу квадратных волноводов. Такой выбор обусловлен двумя факторами:

- легкость изготовления рупорных окончаний внутренних волноводов сочленений и фильтров для подавления наиболее вероятных возбуждаемых паразитных мод;
- равнозначность по отношению к линейной поляризации возбуждаемой основной моды  $H_{10}$ .

Исходя из цели работы, интервал перемещения пробного зонда определен следующим образом. Принимая, что при максимальной длине рабочей волны  $\lambda = 10$  мм диапазона ММВ ширина ДН остронаправленной антенны составляет  $\theta_{0,5}=1^0$ , из критерия Релея  $\theta_{0,5} \approx 60^0 \lambda/D$  ( $D$  – диаметр антенны) получим  $D = 600$  мм. Практика измерений по ближнему полю остронаправленных антенн диапазона СВЧ показала, что для достаточно точного определения их характеристик в дальнем поле требуется динамический диапазон измерений по мощности в ближнем поле антенны около 40 дБ. Такой уровень спада мощности в ближнем поле антенны происходит на краях раскрыва с диаметром  $D_1 \approx 1,5D$  [1]. Таким образом, интервал перемещения пробного зонда составит, как минимум, 900 мм. Очевидно, что интервал такого перемещения пробного зонда обеспечит определение характеристик антенны такого же размера с рабочей длиной  $\lambda = 1$  мм, у которой, согласно критерию Релея,  $\theta_{0,5} = 0,1^0$ .

**Результаты проектирования подвижной линии передачи.** Проектирование линии выполнялось с учетом обеспечения перемещения пробного зонда до максимального значения в  $L_{max} = 1000$  мм. На рис. 2 спроектировано окончание внутреннего волновода при его минимальном

остаточном вхождении  $L_1$  во внешний волновод в конструкции их подвижного сочленения.

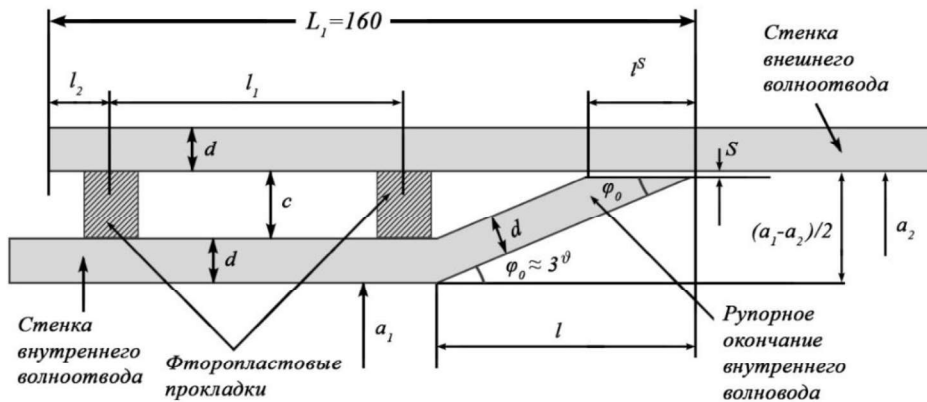


Рис. 2. Окончание внутреннего волновода

На рис. 3 на несущей каретке изображена спроектированная линия передачи с тромбоном, компенсирующим изменение ее длины.

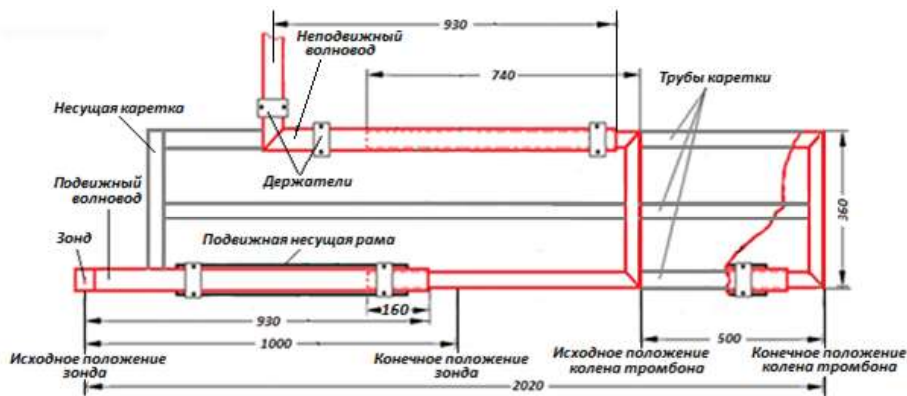


Рис. 3. Спроектированная линия передачи и ее расположение на несущей каретке

Получены следующие результаты:

1. Внутреннее сечение квадратного внешнего волновода линии передачи –  $a_1^2 = 44 \text{ мм} \times 44 \text{ мм}$ , толщина стенок –  $d = 2 \text{ мм}$ . Внутреннее сечение квадратного волновода меньшего сечения колена тромбона линии передачи -  $a_2^2 = 36 \text{ мм} \times 36 \text{ мм}$ , толщина стенок –  $d = 2 \text{ мм}$ . Минимальное значение

параметра квазиоптического приближения -  $ka_2 = 2\pi a_2/\lambda = 30$  при максимальной длине волны  $\lambda=7,5$  мм.

2. Длина перехода от зонда к сверхразмерному волноводу – 300 мм при угле раскрытия перехода  $2\beta = 8^\circ$ , меньшем достаточного угла  $2\beta = 10^\circ$ .

3. Длина  $L_1$  остаточного минимального вхождения (см. рис. 2) определялась по соотношению

$$L_1 \approx l_1 + l + l_2 = l_1 + (a_1 - a_2)/2tg\varphi_0 + l_2 = 160 \text{ мм}, \quad (1)$$

где  $l_1$ - расстояние между фторопластовыми прокладками, равное 70 мм;  $\varphi_0 = 3^\circ$  – половина угла раскрытия рупорного окончания внутреннего волновода;  $a_2 = 44$  мм и  $a_1 = 36$  мм (т.е.  $c = 2$  мм) - размеры внутренних стенок соответственно квадратных внешнего и внутреннего волноводов;  $l_2 = 15$  мм - запас на вхождение внутреннего волновода во внешний.

4. Поскольку максимальное перемещение зонда равно  $L_{max} = 1000$  мм и при этом колено тромбона отходит в отношении 1:2, т.е. выходит на  $L_{max}/2 = 500$  мм из неподвижного волновода, то с учетом запаса на длину колена тромбона в  $L_3 = 80$  мм и остаточного минимального вхождения колена в неподвижный волновод величиной в  $L_1 = 160$  мм длина колена  $L_k$  будет равна (см. рис. 3)

$$L_k = L_1 + L_{max}/2 + L_3 = 740 \text{ мм}. \quad (2)$$

5. Длина внешнего неподвижного волновода  $L_{ПВ}$  с учетом того, что его уголок при начальном положении внутреннего волновода находится на расстоянии  $L_0 = 290$  мм от конца колена тромбона, а при отходе колена на  $L_{max}/2$  конец колена должен находиться в неподвижном волноводе на величину  $L_1$ , определится как

$$L_B = L_1 + L_{max}/2 + L_0 = 950 \text{ мм}. \quad (3)$$

6. Выбираем такую же длину ( $L_{НВ} = 950$  мм) подвижного волновода, соединенного с зондом.

7. В качестве механизма одновременной компенсации изменения длины линии предполагается использование пантографа [5].

8. Для подавления возникающих паразитных мод в линии передачи будут размещены фильтры типов волн, подобные описанным в [8].

### **Заключение**

Спроектированная подвижная линия передачи, ее изготовление, исследование механической точности постоянства ее длины и стабильности ее передаточных электрических характеристик послужат основой для степени применимости предлагаемой линии передачи в АИК при определении характеристик остронаправленных антенн ММВ по измерениям их ближнего поля.

### **Литература**

1. **Геруни П.М.** Автоматические измерения характеристик антенн в зоне раскрытия // Труды ВНИИРИ. - Ереван, 1983.

2. Методы измерений параметров излучающих систем в ближней зоне / Под ред. **Л.Д. Бахраха**. - Л.: Наука, 1985.
3. **Yaghjian A.D.** An overview of near-field antenna measurements // IEEE Trans. Antennas Propagat. - January 1986. - Vol. 34. – P. 30-45.
4. **Slater D.** A 550 GHz near-field antenna measurement system for the NASA submillimeter wave astronomy satellite // Antenna Measurement Techniques Association Conf. - October 1994. - P. 267-272.
5. **Avetissian V.H.** Scanner with transmission line for conventional planar antenna near-field measurements in the short millimeter waveband // IEEE Trans. Antennas Propagat. - September 2004.- Vol. 52. - P. 2500-2503.
6. **Каценеленбаум Б.З.** Квазиоптические методы формирования и передачи миллиметровых волн // УФН. – 1964. - Т. LXXXIII, вып. 1. - С. 81-105.
7. **Bled J., Bresson A., Popoular R., Wegrowe J.G.** Nouvelles techniques d'utilisation des ondes millimetriques et submillimetriques // L'Onde Electrique. - Janvier 1964. – N 442. - P. 26-35.
8. **Аветисян В.Г.** Автоматические измерительные комплексы для определения характеристик антенн методом ближнего поля в диапазоне миллиметровых волн: Автореф. дис. ... д.т.н. – Ереван, 2007. - 32 с.

*Поступила в редакцию 21.10.2018.  
Принята к опубликованию 17.01.2019.*

## **ԳԵՐՉԱՓ ԱԼԻՔԱՏԱՐՆԵՐԻ ՇԱՐԺԱԿԱՆ ՄԻԱԿՑՈՒՄՆԵՐՈՎ ՄԻԼԻՄԵՏՐԱՅԻՆ ԱԼԻՔՆԵՐԻ ՀԱՂՈՐԴԱԳԾԻ ՆԱԽԱԳԾՈՒՄ**

### **Հ.Ա. Բաղդասարյան**

Քննարկվում են գերչափ սնամեջ մետաղական քառակուսի ալիքատարների շարժական միակցումներով միլիմետրային ալիքների հաղորդագծի նախագծման և ստեղծման հարցերը: Աշխատանքը նախատեսված է ալեհավաքների մոտակա դաշտի չափման ավտոմատ համալիրների սկաներների հետագա հետազոտման համար: Շարժական հաղորդագիծը ծառայում է միլիմետրային ալիքների ազդանշանը փորձնական շարժական զոնդից դեպի իր ստացիոնար ռադիոչափման սարքավորումը փոխանցելու համար և ստեղծված է գերչափ սնամեջ մետաղական քառակուսի ալիքատարների հատվածների միջոցով, որոնք միացված են շարժական միակցումներով: Այն կարող է ապահովել մինչև 1000 մմ հեռավորության վրա գտնվող փորձնական զոնդի սկանավորում: Պետք է նշել նաև, որ այսպիսի հաղորդագիծը, լինելով քվադրոպտիկական, կարող է ապահովել միլիմետրային ալիքների ազդանշանի փոքր թուլացումներ, ինչպես նաև օգտագործման բազմակողմանիություն միլիմետրային ալիքների ամբողջ դիսպազոնում: Փոխանցվող ազդանշանի բավարար կայունության (ամպլիտուդով և ֆազով) համար շարժական գծի երկարությունը մնում է անփոփոխ: Երկարության կայունություն

իրականացվում է երկարության փոփոխության՝ միաժամանակ տրոմբոնային ազդագերծման մեթոդով: Առաջարկվող միլիմետրային ալիքների ազդանշանի փոխանցման համար նախատեսված հաղորդագծի օգտագործումն ավտոմատ համալիրների սկաներներում ամպլիտուդա-ֆազային բաշխման չափումներով թույլ կտա սահմանել ուղղահաղորդված անտենաների պարամետրերը, որոնք լայն տարածում են գտել ռադիոլոկացիոն, ռադիոնավիգացիոն, ինչպես նաև կապի համակարգերում: Այսպիսի հաղորդագծի ստեղծումը, բավականին կայուն փոխանցումային բնութագրով, կազմում է միլիմետրային ալիքների դիապազոնում ամպլիտուդա-ֆազային բաշխմամբ ալեհավաքների մոտակա դաշտի չափումների տեխնոլոգիաների զարգացման մի մասը:

**Առանցքային բաներ.** միլիմետրային ալիքներ, գերչափ ալիքատար, հաղորդագիծ, ալիքատարային տրոմբոն, պանտոգրաֆ:

## **MOBILE MILLIMETER WAVE TRANSMISSION LINE FOR NEAR-FIELD ANTENNA MEASUREMENTS**

**H.A. Baghdasaryan**

Issues of design and creation of the mobile line of transmission of a millimeter wave range are considered. The work is aimed at further investigation of the line for its application in automatic measuring complexes of amplitude-phase distribution on the plane of near-field antennas of the corresponding range. The proposed mobile line transmits the signal through the section "scanned probe-stationary measuring equipment" and is built on the segments of superdimensional waveguides connected by their movable joints. It is able to provide the length of the probe scanning in the plane to a distance of 1000 mm. On the other hand, such a transmission line, which is essentially quasi-optical, can provide small attenuation of the millimeter wave range signals and universality of its application in the entire range of that range. For sufficient stability (in amplitude and phase) of the transmitted signal, the geometric length of the movable line remains unchanged during the measurement process. The invariance of length is provided by the method of simultaneous trombone compensation for changes in its length. The application of the proposed mobile signal transmission line of millimeter waves and automatic measuring systems for measuring the amplitude-phase distribution of the near field of antennas of the mentioned range will allow to determine the parameters of the directional antennas (the width of the main lobe of the directional diagram within  $0.1^\circ \dots 1^\circ$ ), which are widely used in radar, radio navigation systems and in communication systems, sensing and passive radio vision of the millimeter wave range. The creation of such a transmission line with sufficiently stable transmission characteristics is part of the development of technology for measuring the amplitude-phase distribution of the near-field antennas of the millimeter wave range.

**Keywords:** transmission line, millimeter waves, antenna, near field, superdimensional waveguide.