

ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ ВОЛНОВОДНОГО Т-ЩЕЛЕВОГО НАПРАВЛЕННОГО ОТВЕТВИТЕЛЯ

TECHNOLOGICAL DESIGN OF THE WAVEGUIDE T-SLOT DIRECTIONAL COU- PLER: CHARACTERISTICS AND PRACTI- CAL APPLICATION

A. Suchkov

Annotation

The results of electrodynamic modeling and experimental characteristics of the waveguide directional coupler with the T-shaped coupling element are presented. Considers the issues of high-tech manufacturing unit, which allows to significantly simplify the design, to minimize the impact of manufacturing tolerances on electrical parameters, to improve weight and size and operational figure and reduce cost in the production. Shows the possibility of practical realization of some microwave devices based on T-shaped coupling element of waveguides.

Keywords: directional coupler, waveguide, T-shaped coupling element, electromagnetic simulation.

Сучков Александр Владимирович

Вед. инженер,

*АО "Научно-производственное объединение
"Лянозовский электромеханический завод",*

г. Москва

Аннотация

В работе приведены результаты электродинамического моделирования и экспериментальные характеристики волноводного направленного ответвителя с Т-образным окном связи. Рассмотрены вопросы высокотехнологичного изготовления устройства, позволяющие существенно упростить конструкцию, минимизировать влияние допусков изготовления на электрические параметры, улучшить массогабаритные и эксплуатационные показатели и снизить стоимость при производстве. Показана возможность практической реализации некоторых СВЧ-устройств на базе Т-образного элемента связи волноводов.

Ключевые слова:

Направленный ответвитель, волновод, Т-образный элемент связи, электродинамическое моделирование.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время направленные ответвители (НО) находят широкое применение в ряде задач, связанных с приемлемой конструктивной реализацией и минимизацией искажений амплитудно-фазового распределения (АФР) в волноводных диаграммообразующих схемах (ДОС) моноимпульсных антенных решеток с частотным сканированием [1], [2].

Одноэлементные НО, как правило, узкополосны, многоэлементные имеют большие габариты, а комбинированные, например, волноводно-полосковые НО [3] имеют достаточно трудоемкое конструктивно-технологическое исполнение и максимально достижимый коэффициент связи порядка 6 дБ. Поэтому их использование в составе волноводных ДОС в условиях требований, предъявляемых к современным моноимпульсным антеннам, весьма затруднительно.

В связи с необходимостью реализации коэффициентов связи НО в диапазоне от 36 дБ до 3 дБ (с целью снижения потерь мощности в ДОС и формирования требуе-

мого спадающего АФР [2]) было предложено использовать волноводный НО с Т-образным "риблетовским" окном связи [4], [5].

Конструктивно-технологическая реализация НО

Конструкция предлагаемого НО представляет собой два параллельных прямоугольных волновода, связанных с помощью двух щелей, одна из которых расположена параллельно, другая – перпендикулярно продольной оси волноводов. Щели прорезаны в общей широкой стенке волноводов (рис. 1).

Практика изготовления НО показывает, что использование стандартного волноводного проката, имеющего большой разброс сечения канала, и пайка (либо сварка) деталей, приводящая к деформациям окна связи первичного и вспомогательного волноводов, отрицательно влияют на электрические параметры и не соответствуют возможностям современных технологий. Современная технология с использованием станков с числовым программным управлением (ЧПУ) позволяет изготовить НО в виде сборки двух зеркально-симметричных фрезеро-

ванных соответствующим образом алюминиевых пластин, образующих при сборке корпус устройства (рис. 1).

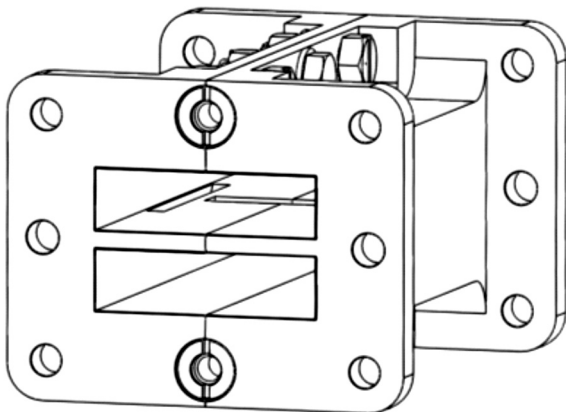


Рис. 1. Конструкция волноводного НО

Механическая стыковка пластин производится вдоль плоскости, являющейся плоскостью симметрии внутренних волноводных каналов перпендикулярной их широкой стенке.

Внутри корпуса расположена топология первичной и вспомогательной волноводных линий (с одинаковым сечением $a \times b$), связанных между собой с помощью продольной и поперечной щелей, прорезанных в общей широкой стенке толщиной t . Поперечная щель имеет ширину w_1 и смещение оси симметрии относительно центра широкой стенки (o_1), продольная – ширину w_2 и отступ оси симметрии от узкой стенки волноводных каналов (o_2). Фрезеровка волноводной топологии и поперечной щели производится на станке с ЧПУ с помощью торцевой фрезы диаметром w_1 . Продольная щель прорезается также на станке с ЧПУ с применением отработанной спец.оснастки – фрезы грибкового типа диаметром d и толщиной w_2 . Заход грибковой фрезы осуществляется с каждой из сторон общей стенки волноводных линий на глубину h (см. рис. 2).

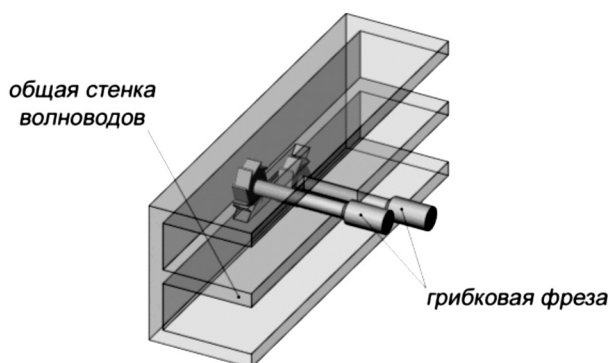


Рис. 2. Фрезеровка продольной щели НО

Расчет и моделирование характеристик НО

Конструкция НО, рассчитанная в соответствии с общепринятыми формулами, представленными, например, в [4], [5] на практике не обеспечивает приемлемого совпадения экспериментально измеряемого коэффициента связи с расчетным, требуемых уровней согласования и направленности, а также широкополосности устройства, что обусловлено проблематичностью учета в формулах всех необходимых параметров (толщина общей стенки, взаимная ориентация щелей, остаточные радиусы от грибковой фрезы на продольной щели) определяемых спецификой конструктивной реализации.

Результаты электродинамического моделирования методом конечных элементов в специализированном программном пакете показали что оптимальная конфигурация НО с точки зрения реализации требуемого диапазона переходных ослаблений, направленности, уровня согласования и широкополосности достигается при определенных соотношениях длин и ширин щелей к поперечному сечению основного и вспомогательного волноводов, а также взаимном расположении щелей на общей стенке.

По результатам электродинамического расчета характеристик НО в S - и X -диапазонах частот были изготовлены 4 экспериментальных образца с переходными ослаблениями 3 дБ, 10 дБ, 20 дБ и 30 дБ.

На рис. 3 приведены расчетные и экспериментальные (обозначены точками) зависимости амплитуд и фаз проходящей (S_{12}) и ответвленной (S_{13}) волн от длин поперечной (L_1) и продольной (L_2) щелей НО на нижней, средней и верхней частотах S -диапазона в рабочей полосе порядка 6%. L_1 и L_2 являются переменными параметрами конфигурации НО.

Значения остальных параметров постоянны: $a=62,4$ мм, $b=17$ мм, $w_1=10$ мм, $w_2=5$ мм, $o_1=0$ мм, $o_2=3,5$ мм, $t=5$ мм, $d=16$ мм, $h=3,5$ мм. Расчетные и экспериментальные результаты показали что требуемый коэффициент связи НО в основном определяется значениями L_1 и L_2 при их определенном (см. рис. 3) соотношении, при этом, КСВН основной и вспомогательной линий устройства, а также направленность в рабочей полосе частот практически не изменяются и в среднем составляют 1,05...1,1 и 25...30 дБ, соответственно.

Аналогичные теоретические и экспериментальные исследования были проведены для НО X -диапазона частот в рабочей полосе около 5%. При найденных параметрах оптимальной конфигурации НО ($a=22$ мм, $b=6$ мм, $w_1=w_2=3$ мм, $o_1=o_2=2,5$ мм, $t=2$ мм, $d=5$ мм, $h=1,1$ мм, $L_1=6,5...14$ мм, $L_2=13,3...29$ мм) его основные электрические характеристики практически аналогичны характеристикам НО S -диапазона.

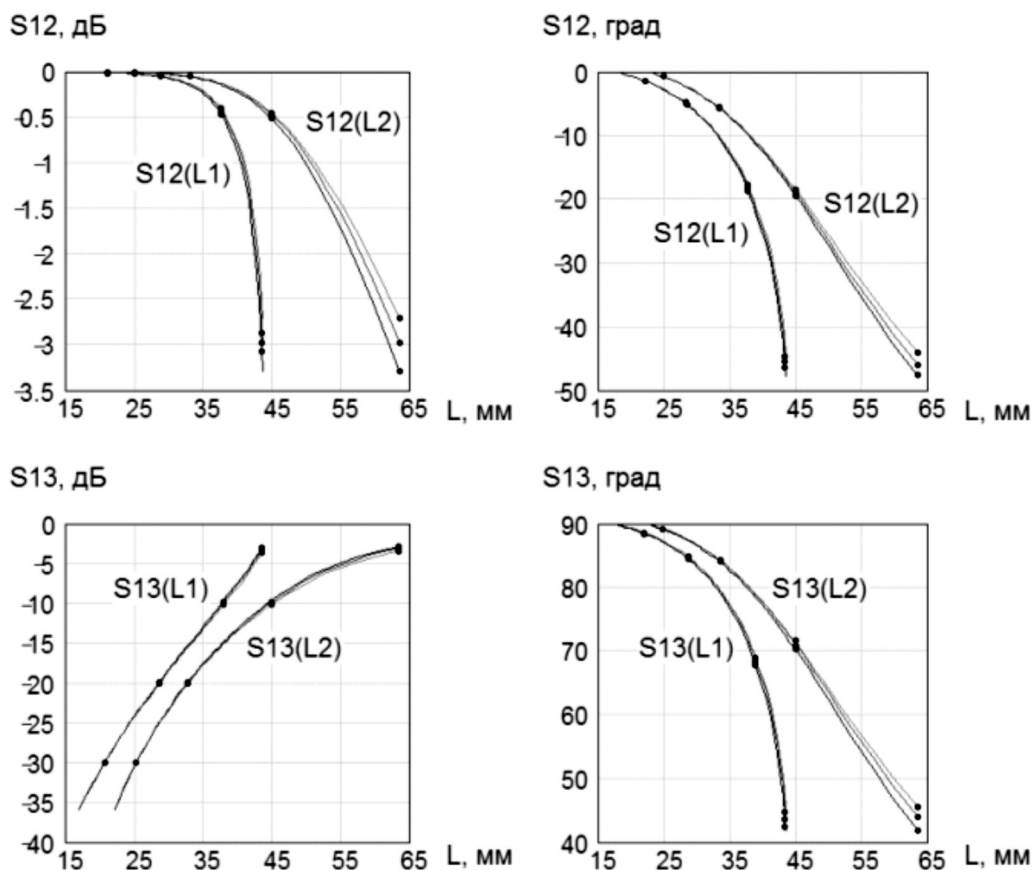


Рис. 3. Характеристики волноводного НО

Варианты практического применения НО

На базе разработанного НО X-диапазона были реализованы технологичные в изготовлении и относительно компактные СВЧ-устройства, применяемые в составе антенно-фидерных трактов: аттенуатор с коаксиальными выходами, НО с коаксиальным выходом вспомогательной линии и делитель мощности пополам с коаксиальными выходами, а также равноамплитудный 4-канальный делитель мощности. Коаксиальные выходы устройств выполнены на базе разъема N-типа, сопрягаемого с волноводом. Поглощающие нагрузки всех блоков выполнены на базе встроенного в волноводную топологию разрезного экспоненциального клина.

Разработанный НО S-диапазона был использован в качестве типового элемента распределительной системы (ДРС) моноимпульсной волноводно-щелевой антенной решетки с частотным сканированием [2]. Применение НО в составе антенны [2] позволило реализовать на практике плоскую конструкцию волноводной суммарно-разностной ДРС на базе двух фрезерованных половин. Также на основе НО S-диапазона были реализованы 16-канальные делитель и сумматор мощности, предназначенные для работы в составе волноводной распределительно-суммирующей системы твердотельного передающего устройства.

тельно-суммирующей системы твердотельного передающего устройства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализируя результаты проведенного исследования, можно сделать следующие выводы:

- ◆ конструкция волноводного НО с T-образным окном связи физически реализуема в диапазоне длин волн от 30 до 3 см;
- ◆ основным условием получения оптимальной конфигурации НО является согласование T-образного окна связи с первичной и вспомогательной волноводными линиями устройства;
- ◆ динамический диапазон изменения коэффициента связи составляет не менее 40 дБ (при максимальном коэффициенте связи не менее минус 3 дБ);
- ◆ широкополосность НО, определяемая отклонением коэффициента связи от среднего значения в пределах $\pm 0,5$ дБ (при значениях направленности не хуже 25 дБ и КСВН не более 1,1), превышает 10%;
- ◆ зависимость амплитуд и фаз прошедшей и ответвленной волн от длин щелей L1 и L2 нелинейна;
- ◆ электрическая прочность НО ограничивается

размерами поперечной и продольной щелей;

◆ влияние допусков изготовления на электрические параметры незначительно (модуль разности экспериментально измеренного коэффициента связи с расчетным составляет не более 0,2 дБ);

◆ конструкция НО, разработанная для использования в волноводной моноимпульсной ДОС, также применима и для использования в СВЧ-устройствах сложения (деления) мощности и устройствах контроля параметров СВЧ-сигналов в волноводно-фидерных трактах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по радиолокации / под ред. М. Скольника. Т. 2. Радиолокационные антенные устройства. М.: Сов. Радио, 1977. 408 с.
2. Сучков А.В. Моноимпульсная волноводно-щелевая антенная решетка с частотным сканированием // Аннотации работ 7-го межотраслевого молодежного конкурса научно-технических работ и проектов "Молодежь и будущее авиации и космонавтики". (Москва, 17 ноября 2015). Москва: МАИ. 2015. С. 176-178.
3. Немоляев А.И., Куцев И.М. "Волноводно-полосковый направленный ответвитель и его применение на СВЧ // Доклады XVII научно-технической конференции ВНИИРТ. М., ОАО "ВНИИРТ". 2007. С. 320-323.
4. Сосунов В.А., Шибяев А.А. Направленные ответвители сверхвысоких частот. Саратов. Приволжское книжное издательство. 1964. 136 с.
5. Фельдштейн А.Л., Явич Л.Р., Смирнов В.П. Справочник по элементам волноводной техники. М.: Сов. Радио, 1967. 652 с.

© А.В. Сучков, (avsu@bk.ru), Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»,



АО "Научно-производственное объединение "Лянозовский электромеханический завод", г. Москва