

ИССЛЕДОВАНИЕ ШИРОКОПОЛОСНОСТИ ДИСКРЕТНЫХ ФАЗОВРАЩАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ МИКРОПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ

Вагин Н.А., Ложкин А.Н., Любин М.К., Маленьких Е.С., Мительман Ю.Е.

ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,

Екатеринбург, Россия

elena.sk01@yandex.ru

Аннотация. Проведен обзор существующих конструкций дискретных фазовращателей на основе микрополосковых линий, которые способны обеспечить фазовый сдвиг 90° с погрешностью установки не более 7° и проходное ослабление не более 1,5 дБ с центральной рабочей частотой 4150 МГц. Произведено их моделирование. Выполнено сравнение топологий и полученных характеристик, сформулированы выводы относительно их широкополосности.

Ключевые слова: фазовращатель, радиоэлектронные средства, дискретный фазовый сдвиг, вносимые потери, микрополосковая линия

INVESTIGATION OF THE BROADBAND OF DISCRETE PHASE SHIFTERS BASED ON A MICROSTRIP LINE

Vagin N.A., Lozhkin A.N., Lyubin M.K., Malenkih E.S., Mitelman Y.E.

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Abstract. The review of existing designs of discrete phase shifters based on microstrip lines, which can provide a phase shift of 90° with an error of no more than 7° and an insertion loss of no more than 1.5 dB with a central operating frequency of 4150 MHz, is carried out. Their modeling has been performed. The topologies and the obtained characteristics are compared, and conclusions regarding width of their working frequency bands are formulated.

Keywords: phase shifter, radioelectronic means, discrete phase shift, insertion losses, microstrip design, phase shift

1. Введение

Применение фазовращателей (ФВ) в фазированных антенных решетках позволяет обеспечить изменение формы диаграммы направленности без изменения положения антенны, что имеет большое значение, например для радиолокации [1]. Как правило, дискретные ФВ имеют два состояния. В одном значение вносимого фазового сдвига равно 0, в другом – $\Delta\varphi$. Существует множество типов дискретных ФВ на основе микрополосковых линий, самые известные из которых: ФВ типа «нагруженная линия», типа «коммутируемая линия» и мостового типа [2], [3]. Во всех этих ФВ регулировка вносимого фазового сдвига осуществляется с помощью активных элементов с управляемым сопротивлением, в качестве которых могут применяться полупроводниковые диоды. Рабочая полоса частот таких ФВ имеет большое значение, например в системах с линейной частотной модуляцией, в которых используются широкополосные сигналы. Для анализа полосы рабочих частот указанных видов ФВ они были спроектированы на фазовый сдвиг 90° с погрешностью установки не более 7° и проходное ослабление не более 1,5 дБ с центральной рабочей частотой от 4150 МГц.

В качестве материала подложки будет использован ФЛАН-10: относительная диэлектрическая проницаемость $\varepsilon = 10$, тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta = 0,0015$, толщина подложки $h = 1$ мм [4]. Рассмотрим все три вида ФВ.

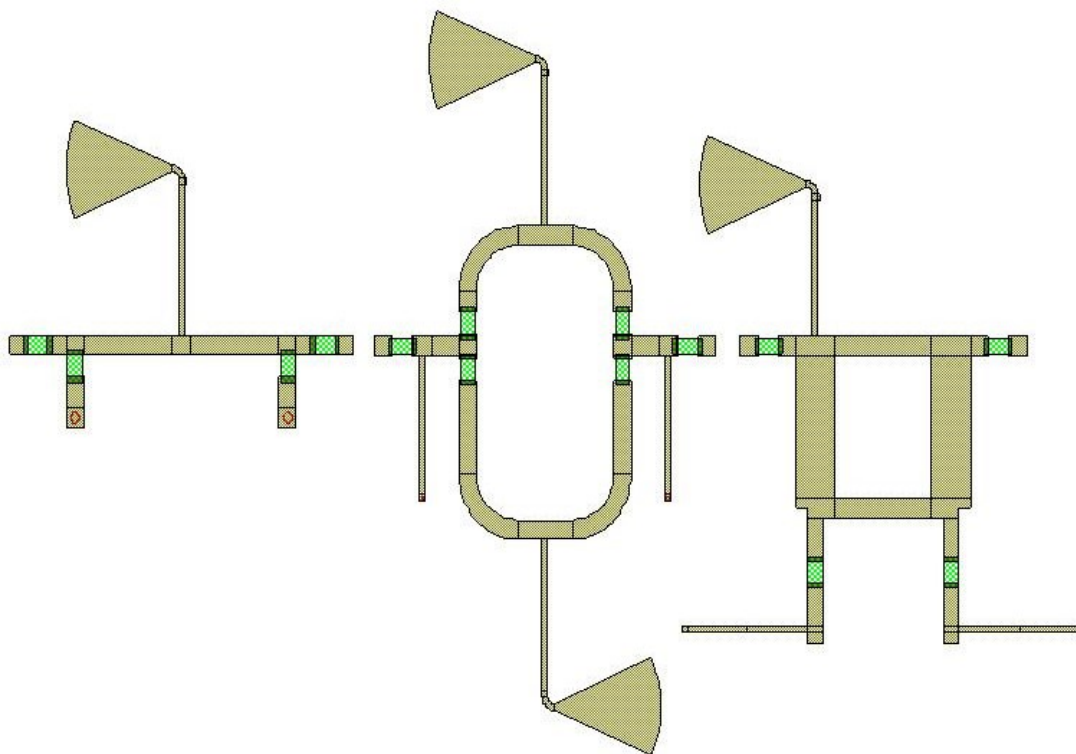
2. Основная часть

Топология рассчитанного ФВ типа «нагруженная линия» приведена на рисунке 1 (а). Основными параметрами этой схемы являются шунтирующие проводимости применяемых активных элементов, а также электрическая длина и волновое сопротивление отрезка линии передачи между ними. Подбор этих параметров производится по условиям согласования входа ФВ.

Другим вариантом является ФВ типа «коммутируемая линия», топология которого показана на рисунке 1 (б). Изменение фазы коэффициента

передачи происходит в результате изменения длины пути прохождения волны по линии передачи, которое осуществляется переключением $p-i-n$ диодов.

Принцип действия ФВ мостового типа основан на отражении электромагнитной волны от короткозамкнутых отрезков линии передачи. Его топология изображена на рисунке 1 (в). В его составе используется квадратурный мост в режиме отражения, на выходах которого включены реактивные нагрузки, определяющие фазы коэффициентов отражения. При подаче мощности на вход вся мощность делится поровну между этими выходами, и фаза коэффициента передачи на оставшемся входе сдвигается на заданную величину при переключении реактивных нагрузок.



а) нагруженная линия б) коммутируемая линия в) мостового типа
Рисунок 1 – Топологии ФВ

Расчёты всех конструкций ФВ были выполнены в соответствии с пособиями [2], [3]. Произведено их схемотехническое и электродинамическое моделирование, получены частотные зависимости вносимых фазовых сдвигов и модулей коэффициентов передачи.

Наиболее широкополосными в соответствии с полученными зависимостями (рисунок 2), являются ФВ типа «коммутируемая линия» и мостового типа. Наименьшей погрешностью вносимого фазового сдвига обладает ФВ мостового типа. Проходное ослабление, не превышающее уровня 1,5 дБ, обеспечивается фазовращателем мостового типа и фазовращателем типа «коммутируемая линия» (рисунок 3). Наименьшими вносимыми потерями во всей полосе рабочих частот обладает конструкция фазовращателя типа «коммутируемая линия».

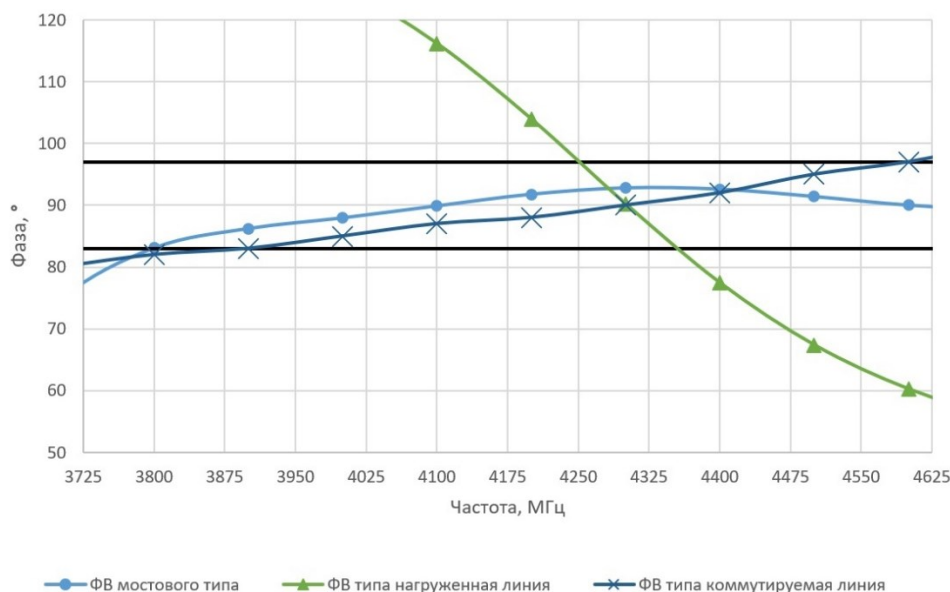


Рисунок 2 – Вносимый фазовый сдвиг фазовращателей различных типов

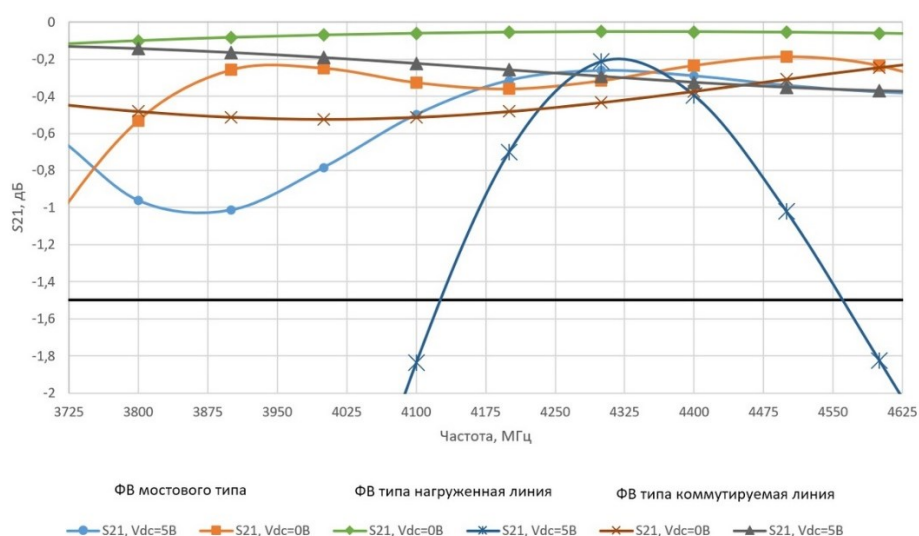


Рисунок 3 – Модули коэффициентов передачи ФВ различных типов при включенном и выключенном питании

3. Выводы

В ходе данной работы было проведено теоретическое исследование распространенных видов дискретных ФВ на основе микрополосковых линий.

Наиболее широкую полосу рабочих частот по заданным рабочим параметрам обеспечивают ФВ типа «коммутируемая линия» и мостового типа, кроме того, данные разновидности фазовращателей обладают наименьшими вносимыми потерями в полосе рабочих частот. При этом ФВ мостового типа требует меньше активных элементов для реализации и обладает меньшей погрешностью фазового сдвига.

Список использованных источников

1. Lakshmi, M. S., & Shobana, P. Design of Microwave C-Band Dual-Polarized Phase Shifter for Radar Cross Section Reduction. In 2016 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (IC-CIC) IEEE - 2016. P. 1-5).

2. Расчет и измерение характеристик устройств СВЧ и антенн : учебное пособие / Ю. Е. Мительман, Р. Р. Абдуллин, С. Г. Сычугов [и др.] ; [под общей редакцией Ю. Е. Мительмана] ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный университет. — Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2016. — 140 с. — ISBN 978-5-7996-1821-6.

3. Фазированные антенные решетки: Метод. указания к лабораторной работе / С.Т. Князев, М.П. Наймушин. Екатеринбург: УГТУ – 1987. – 35 с.

4. ФЛАН - МАТЕРИАЛ ИЗ НАПОЛНЕННЫХ ПРОСТЫХ ПОЛИЭФИРОВ // Изолит СПб URL: <https://www.izolit-spb.ru/catalog/flan/flan/> (дата обращения: 26.10.2023).