

Модифицированный микроволновый фазовращатель в объемном интегральном исполнении

В работе представлен модифицированный фазовращатель с элементами коррекции амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристик. За счет схемотехнических и конструктивных решений удастся минимизировать асимметрию потерь при различных фазовых состояниях. Так же предложено схемотехническое решение, которое позволяет уменьшить изменение фазового набега в полосе частот.

Ключевые слова: микроволновый фазовращатель, объемная интегральная схема, коррекция фазо-частотной характеристики, уменьшение фазового набега в полосе частот.

В ходе развития радиотехнических систем (радиосвязи, радиолокации, радионавигации) отчетливо прослеживается тенденция роста частоты и уменьшения мощности используемого сигнала. Применение пространной селекции сигналов, для чего используются различные виды фазированных антенных решеток (ФАР), стало одним из векторов развития радиотехники. Применение ФАР позволило улучшить такие характеристики систем, как направленность, помехозащищенность и скрытность.

Одним из элементов фазированных антенных решеток являются фазовращатели, к характеристикам которых предъявляются жесткие требования, как по электрическим, так и по массогабаритным параметрам.

На данный момент разработано множество конструкций СВЧ-фазовращателей на различных физических принципах, все они используют различные активные материалы или элементы. Широкое распространение в ФАР получили фазовращатели на коммутируемых линиях, где происходит коммутация того или иного канала с различным фазовым набегом. В качестве активных управляемых элементов обычно выступают р-і-п - диоды.

Для фазовращателей важны такие параметры, как количество различных фазовых состояний, фазовый сдвиг, стабильность фазового сдвига в полосе частот, потери на прохождение, число управляющих элементов в канале и др.

Проходные фазовращатели на коммутируемых линиях предпочтительно использовать для средних фазовых сдвигов (до 100 градусов). Как известно, чем больше значение необходимого фазового сдвига, тем больше длина используемого отрезка линии передач и соответственно, неравномерность фазовой характеристики в полосе частот. Для борьбы, с которой требуется усложнение конструкции. Многие схемотехнические решения основаны на последовательном включении дискретов с небольшими значениями фазовых состояний, что подразумевает большое число управляющих элементов при различных значениях фазы. При этом каждый отдельный р-і-п диод вносит свою амплитудную и фазовую неравномерность, дает задержку по времени прохождения сигнала.

Решение этой проблемы возможно при создании фазовращателей по принципу «ветви дерева», это возможно лишь в *составе объемной интегральной схемы*. В обычных планарных гибридных интегральных схемах обычно используется два канала.

Число управляющих элементов необходимых для создания любого ФВ по данному принципу составляет 4 на канал. Самый простой четырехканальный двухуровневый фазовращатель предлагаемого типа представлен на рисунке 1.

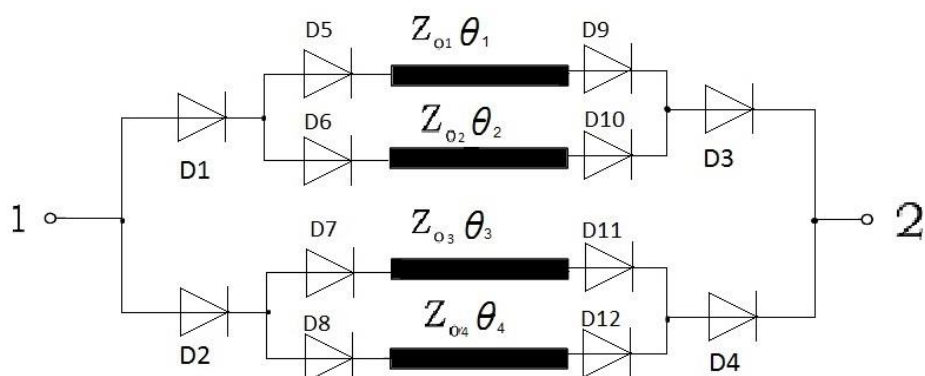


Рис. 1. Принципиальная схема предлагаемого ФВ.

Предложенная конструкция задействует четыре диода, при прохождении сигнала это дает постоянное значение вносимых потерь и неравномерностей, что позволяет, при необходимости, с легкостью рассчитывать потери и вводить в цепь корректирующее устройство для любого значения фазы.

Фазовый сдвиг, вносимый линией передач, рассчитывается по формуле 1:

$$\varphi = \frac{2 * \pi * l}{\lambda}, \quad (1)$$

где l - длина линии, λ - длина волны в ОИС.

Рассмотрим случай ФВ с центральной частотой $f_0 = 2$ ГГц и фазовыми сдвигами 11.25, 22.5, 45 и 90 градусов, длины отрезков соответственно равны 4.7, 9.4, 18.7 и 37.5 миллиметра соответственно. Для реализации предложенной принципиальной схемы фазовращателя, как сказано выше, целесообразно синтезировать его в виде **объемной интегральной схемы**. На каждом «этаже» ОИС находятся по два фазовых сегмента, а коммутация энергии между слоями производится с помощью оригинальных активных межэтажных выключателей.

Иллюстративная схема ОИС для рассматриваемого случая приведена на рисунке 2.

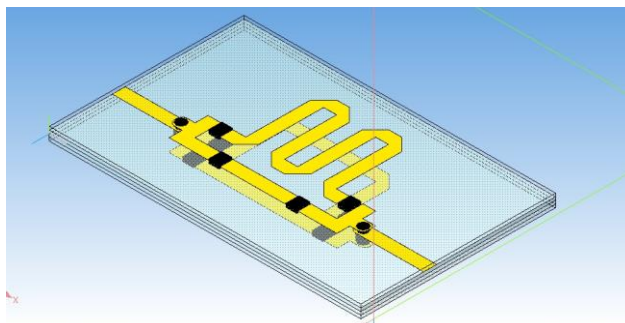


Рис. 2. Объемная конструкция предлагаемого ФВ (земля не показана). Проэмулируем работу открытого канала (рисунок 3) в программе.

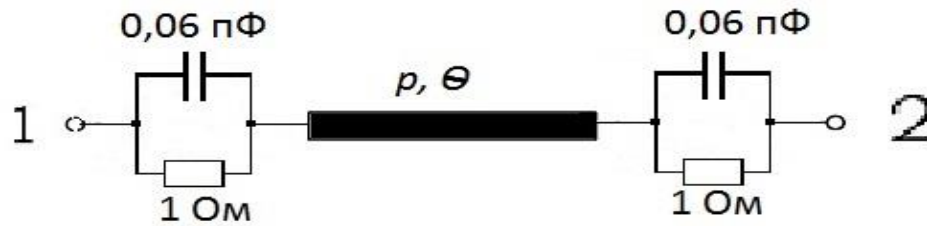


Рис. 3. Эквивалентная схема открытого канала.

Рассмотрим фазовые набеги для отрезков длиной 4.7 мм и 18.7 мм, работающих независимо, так и включенными в предложенную структуру.

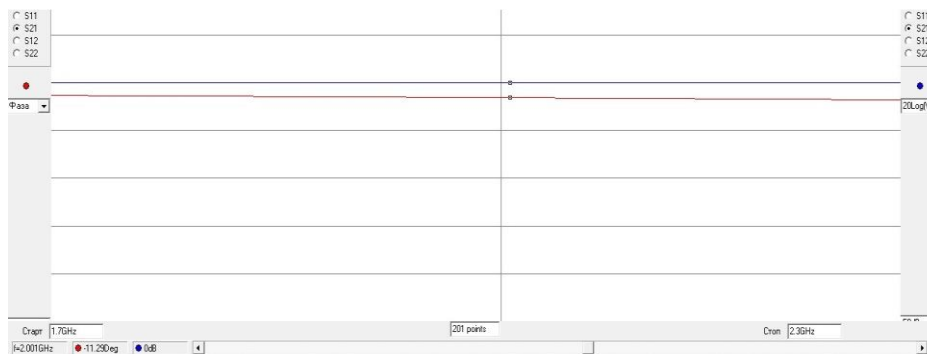


Рис. 4. Фазовая характеристика для полоска 4.7 мм в RFSimm.

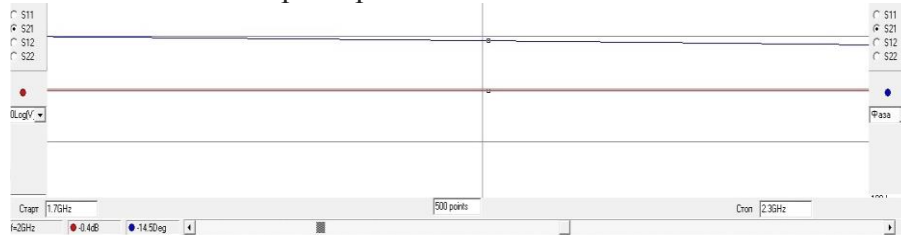


Рис. 5. Фазовая характеристика для полоска 4.7 мм в RFSimm, включенного в структуру.

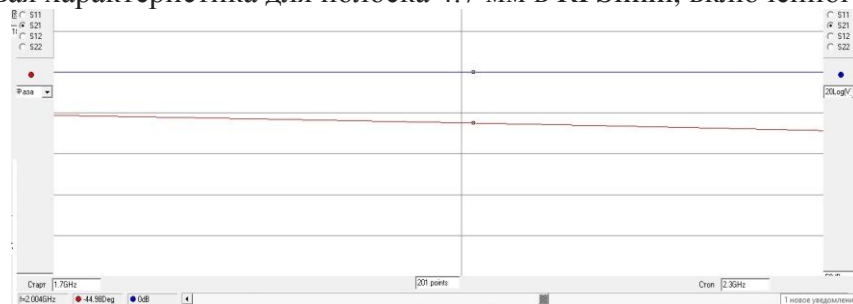


Рис. 6. Фазовая характеристика для полоска 18.7 мм в RFSimm.

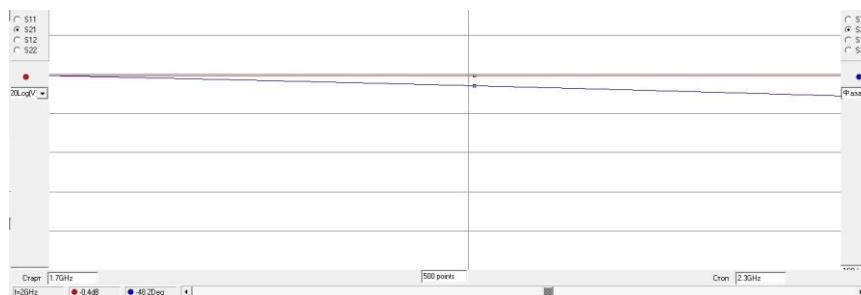


Рис. 7. Фазовая характеристика для полоска 18.7 мм в RFSim, включенного в структуру.

Как видно из эмуляции работы дискрета (в программе RFSimm), в обоих случаях неравномерность в значениях фазы на выбранную произвольно полосу частот (для примера - 1,7...2,3ГГц). 3.2 градуса, а вносимое ослабление 0.4 дБ.

Рассмотрим теперь дискреты с наибольшей фазой нашего ФВ и её набеги в той же полосе частот (1,7...2,3ГГц). Для реализации фазового набега 45 и 90 градусов на частоте 2 ГГц необходимы отрезки линий длиной 18.7 и 37.5 мм, которые имеют неравномерности 14 и 27 градусов соответственно. В данных сегментах с большим фазовым сдвигом модификация самого фазового канала будет целесообразной.

Корректировка фазовой цепи зачастую необходима еще и по причине того, что обычные линии представляют собой отрезок волновода и требуют определенного места на плате, если вместо отрезка использовать отрезок со шлейфом, то он фактически даст экономию места в два раза, так как волна проходит по шлейфу дважды.

Распространение волны происходит в диэлектрике, где фактически любая линия передач представляет собой линию задержки. Заменив некоторые элементы этого пути на сосредоточенные элементы или их шлейфные аналоги, мы получаем выигрыш во времени прохождения и некоторые дополнительные плюсы в той части, что коммутация отрезков линий требует определенной компоновки устройства, а переход к некоторым устройствам со шлейфами позволит получить новые конфигурационные возможности.

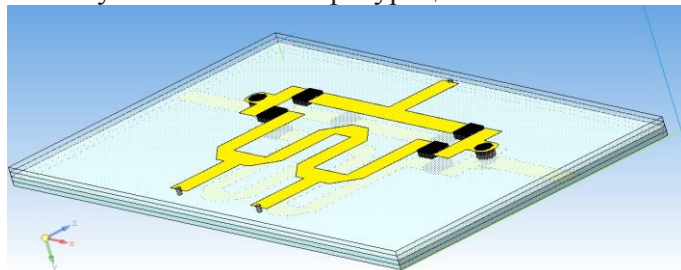


Рис. 8. Объемная конструкция предлагаемого ФВ с включением выравнивающих шлейфов.

В ходе исследований были найдены несколько вариантов включения шлейфов в середину фазосдвигающей линии передач, дающих уменьшение неравномерности фазового набега. В настоящее время разрабатывается инженерная методика расчёта выравнивающего шлейфа.

В данной работе было предложено новое схемотехническое и конструктивное решение построения фазовращателя позволяющее уменьшить асимметрию потерь при различных фазовых состояниях, синтезировать предложенный фазовращатель в объемном интегральном исполнении, использовать шлейф для уменьшения неравномерности фазового набега в полосе частот.

Библиографический список

1. СВЧ фазовращатели и переключатели. Особенности создания на p-i-n-диодах в интегральном исполнении/ Г. С. Хижа, И. Б. Вендик, Е. А. Серебрякова М.: Радио и связь, 1984 185 с.: ил., табл.
2. Бочаров Е. И., Казанцев К. С., Седышев Э. Ю. (СПбГУТ). Фазовращатель на коммутируемых линиях в объемной интегральной схеме, АПИНО 2016.
3. Дифференциальный фазовращатель СВЧ патент RU 2251765, Авторы патента: Мещанов В.П., Губин Д.С. , Креницкий А.П., Шикова Л.В.