

УДК 621.372.632

А.В. Дроздов, Н.Б. Дроботун, Г.Г. Гошин, Е.В. Хорошилов

Монолитная интегральная схема двойного балансного смесителя диапазона частот 5–26 ГГц

Представлены результаты разработки и экспериментального исследования широкополосного балансного смесителя диапазона частот 5–26 ГГц. Смеситель реализован на основе монолитной интегральной технологии с использованием подложки из арсенида галлия (GaAs). Приведены результаты моделирования симметрирующих трансформаторов и топологии смесителя в целом. Представлено сравнение характеристик разработанного смесителя с зарубежными аналогами.

Ключевые слова: широкополосный смеситель, МИС, симметрирующий трансформатор, диоды Шоттки.

doi: 10.21293/1818-0442-2017-20-1-23-25

Двойные балансные смесители, выполненные по технологии монолитных интегральных схем (МИС), находят широкое применение в современной технике. Причиной такого широкого распространения является их миниатюрность, но при этом возникают трудности при реализации планарных широкополосных симметрирующих трансформаторов. Большинство МИС смесителей работают в относительно узких диапазонах рабочих частот, меньше октавы, и этого достаточно для применения в различных телекоммуникационных системах. Для измерительной техники ситуация несколько другая, требуются широкополосные компоненты, в частности смесители с диапазоном рабочих частот от 2 октав и более.

Принципиальная схема двойного балансного смесителя приведена на рис. 1 [1]. Она состоит из входного симметрирующего трансформатора, диодного моста, выходного симметрирующего трансформатора и цепи вывода сигнала промежуточной частоты (ПЧ).

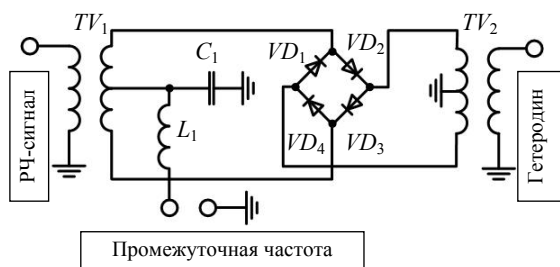


Рис. 1. Принципиальная схема двойного балансного смесителя

Из представленной схемы можно увидеть, что по большей части полосу рабочих частот ограничивают симметрирующие трансформаторы, поэтому разработка планарного широкополосного симметрирующего трансформатора является актуальной задачей. Существует целый ряд методов реализации симметрирующих трансформаторов в планарном исполнении для применения в МИС, но одними из самых оптимальных являются мосты Маршанда [2]. Мост Маршанда состоит из двух связанных линий, при этом входная линия разомкнута на конце, а вторичные линии короткозамкнуты (рис. 2).

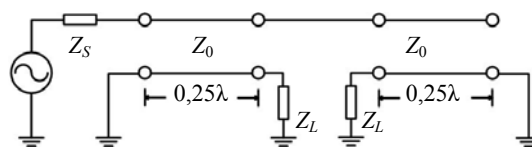


Рис. 2. Структурная схема моста Маршанда

Компактных размеров моста Маршанда можно добиться путем сворачивания связанной линии в спираль. Использование в качестве симметрирующего трансформатора моста Маршанда позволяет добиться рабочего диапазона частот в 2 октавы (4 раза) [3]. В данной работе полоса частот входного трансформатора имеет ширину более 2 октав. Сравнение результатов моделирования S-параметров канонического и модифицированного симметрирующих трансформаторов показано на рис. 3 и 4.

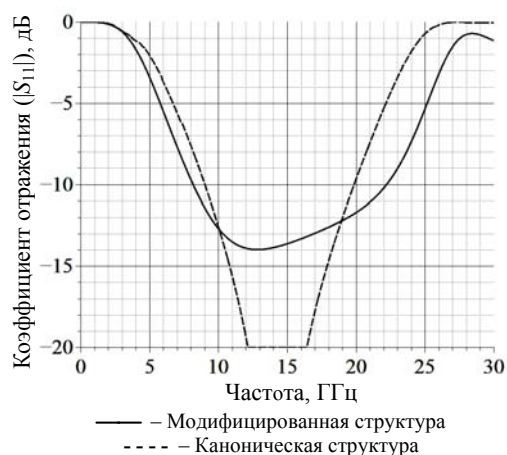


Рис. 3. Модули коэффициентов отражения симметрирующих трансформаторов

Основное отличие представленного симметрирующего трансформатора от канонического на основе моста Маршанда, заключается в различной ширине входной и выходных линий (рис. 5). Трансформатор имеет компактные размеры 1000 на 800 мкм, за счёт сворачивания плеч трансформатора в спираль.

Важными характеристиками симметрирующего трансформатора являются дисбалансы по амплитуде и фазе, показанные на рис. 6. Они определяются как разность амплитуд и фаз на выходе трансформатора; сигналы на выходе должны быть одной амплитуды,

но противоположные по фазе. Минимальное значение этих параметров позволяет улучшить уровень подавления сигналов гетеродина и радиочастотного сигнала на выходе смесителя.

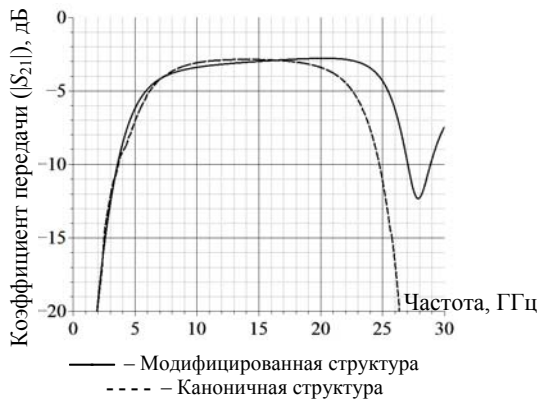


Рис. 4. Модули коэффициентов передачи симметрирующих трансформаторов

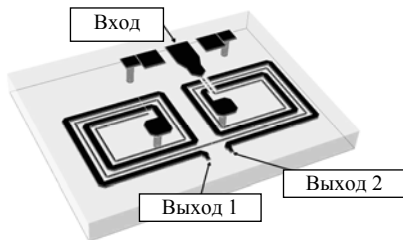


Рис. 5. Топология входного трансформатора



Рис. 6. Зависимость дисбаланса амплитуды и фазы трансформатора от частоты

Реализация выходного трансформатора является более сложной задачей из-за того, что кроме симметрирования сигнала ещё необходимо обеспечить вывод сигнала на промежуточной частоте. Ситуация усложняется ещё и тем, что через цепь вывода сигнала на промежуточной частоте необходимо обеспечить путь протекания сигналов гетеродина и радиочастотного сигнала на землю. Также желательно, чтобы мощность с входов смесителя не проходила на его выход. Это обстоятельство заставляет выбирать между высоким значением промежуточной частоты и высокой развязкой выходов радиочастотного (РЧ) сигнала – ПЧ и гетеродина – ПЧ. В итоге выходной трансформатор должен быть заземлён в

средней точке на частотах радиочастотного сигнала и гетеродина, в то же время он должен обеспечивать прохождение результата смешения сигналов на промежуточной частоте в той же средней точке выходного трансформатора.

Принципиальная схема цепи вывода сигнала промежуточной частоты представлена на рис. 7. Через конденсатор C_1 сигналы частот гетеродина и РЧ-сигнала проходят на землю, а через индуктивность L_1 сигнал промежуточной частоты поступает на выход.

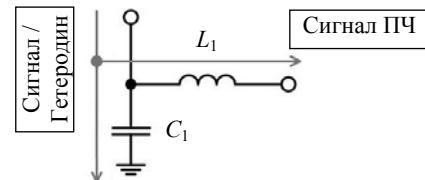


Рис. 7. Принципиальная схема цепи вывода сигнала ПЧ

Кроме схемы вывода сигнала промежуточной частоты, выходной трансформатор выполнен по принципам, аналогичным схеме входного трансформатора. Важным фактором является близкое расположение конденсатора C_1 к соединению линий вторичной обмотки. Общий вид топологии показан на рис. 8. Смеситель выполнен по технологии МИС на подложке из GaAs, в качестве диодов использованы диоды Шоттки ($VD_1 - VD_4$ на рис. 1) собственной разработки и производства АО «НПФ «Микран» [4].

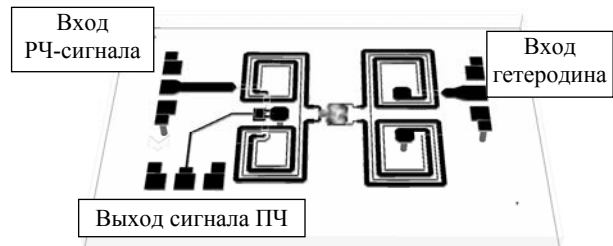


Рис. 8. Общий вид топологии МИС двойного балансного смесителя

Измерения проводились на пластине с помощью зондовой станции. Для измерений использовалась установка, состоящая из двух генераторов и спектроанализатора. В качестве генераторов использовались приборы P2M-40 компании АО «НПФ «Микран». Результат смешения сигналов с выхода смесителя подавался на анализатор спектра *PSA-50* производства компании Keysight. Управление генератором и анализатором осуществляли с помощью компьютерной программы, использующей команды *SCPI*. Сравнение результатов моделирования и измерений показано на рис. 9 и 10.

Лидерами в производстве МИС широкополосных смесителей являются компании Analog Devices и Marki Microwave. Характеристики микросхем этих производителей в сравнении с характеристиками разработанного смесителя представлены в таблице. Как можно увидеть из результатов сравнения, разработанная МИС имеет характеристики, сравнимые с зарубежными аналогами. Отличие микросхемы в

лучшей развязке в средней части диапазона частот (более 30–50 дБ), но при этом ширина полосы частот выходного сигнала меньше по сравнению с аналогами.

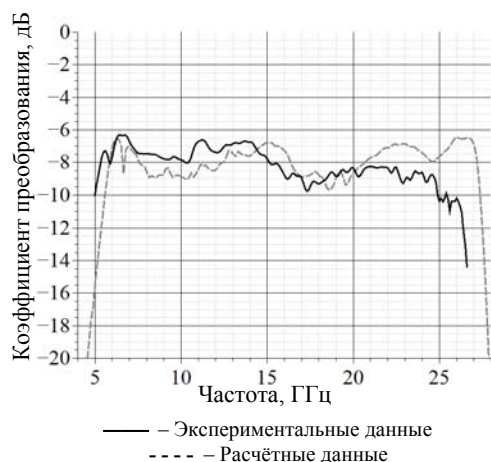


Рис. 9. Сравнение коэффициентов преобразования модели и изготовленного образца

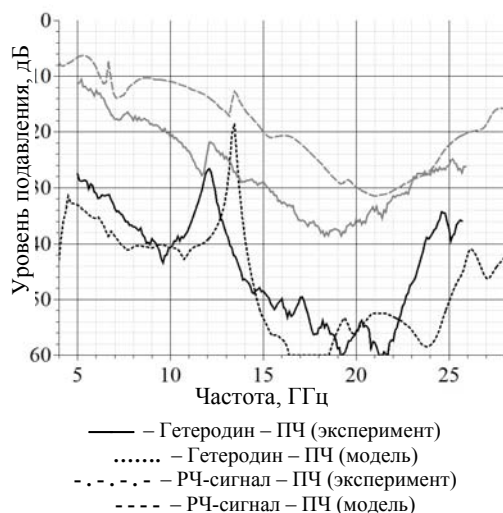


Рис. 10. Сравнение уровня подавления РЧ-сигнала и гетеродина на выходе ПЧ модели и изготовленного образца

Сравнение аналогов МИС смесителя

Наименование МИС	Характеристики МИС		
	Диапазон частот РЧ-сигнала и гетеродина, ГГц	Диапазон ПЧ, ГГц	Развязка РЧ-сигнал – ПЧ / гетеродин – ПЧ, дБ
НМС773 [5]	6–26	0–8	20 / 35
ММ1-0424s [6]	4,5–24	0–4	25 / 25
ММ1-0626h [6]	6–26	0–9	30 / 30
MD616	5–26	0–2	20 / 35

Разработанная МИС смесителя может быть использована, в зависимости от требований разработчиков, в качестве аналога зарубежных МИС смесителей.

На МИС смесителя MD616, представленной в статье, было получено свидетельство о государственной регистрации топологии № 2016630108.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, соглашение № 14.577.21.0188 от 27.10.2015 г., идентификатор RFMEFI57715X0188.

Литература

1. Шеерман Ф.И. Широкополосные монолитные смеситель и умножитель частоты, выполненные по двойной балансной схеме / Ф.И. Шеерман, А.А. Баров, Е.П. Гроо, В.Я. Гюнтер, Т.С. Петрова // 15-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2005). – Севастополь: Вебер, 2005. – Т. 1. – С. 445–446.
2. Дроздов А.В. Широкополосный симметрирующий трансформатор на основе мостов Маршанда для применения в интегральных микросхемах / А.В. Дроздов, Д.С. Данилов // Матер. докл. Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР-2015». – Томск: В-Спектр, 2013. – Т. 2. – С. 13–16.
3. Maas S. Microwave Mixers, 2nd ed. – Boston: Artech House, 1993. – 894 p.
4. Гушин В.А. СВЧ МИС на основе GaAs-pin-диодов для управления амплитудой сигнала в диапазоне частот 4–27 ГГц / В.А. Гушин, И.В. Юнусов, А.Ю. Плотникова // Доклады ТУСУРа. – 2014. – № 3 (33). – С. 70–74.
5. MMIC double balanced mixer НМС773 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.analog.com/media/en/technical/>, свободный (дата обращения: 26.09.2016).
6. MMIC Double Balanced Mixer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.markimicrowave.com/>, свободный (дата обращения: 26.09.2016).

Дроздов Алексей Викторович

Аспирант каф. СВЧКР
Тел.: +7-952-882-54-97
Эл. почта: dalvik@micran.ru

Дроботун Николай Борисович

Аспирант каф. радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга ТУСУРа
Тел.: +7-960-975-73-44
Эл. почта: nikolay.drobotun@micran.ru

Гошин Геннадий Георгиевич

Д-р физ.-мат. наук, профессор каф. сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники (СВЧКР) ТУСУРа
Тел.: +7 (382-2) 70-15-18
Эл. почта: goshingg@svch.tusur.ru

Хорошилов Евгений Владимирович

Инженер отдела элементов СВЧ тракта, департамента информационно-измерительных систем АО «НПФ «Микран», Томск
Тел.: +7-952-885-65-29
Эл. почта: horoshilov.ev@micran.ru

Drozдов A.V., Drobotun N.B., Goshin G.G., Khoroshilov E.V.

Monolithic integrated circuit of double balanced mixer of frequency range 5–26 GHz

The article presents the design process and experimental research results of a broadband balanced mixer with frequency range from 5 to 26 GHz. This mixer was designed using Micran GaAs monolithic integrated technology (MMIC). The results of simulation are presented in comparison with measured data. Obtained performance was compared to other commercially available MMICs.

Keywords: wideband mixer, MMIC, balun, Schottky diode.