

Разработка двойного балансного смесителя частот диапазона 6-18 ГГц на арсенид-галлиевой технологии

С.П. Руцкой, И.Л. Хеглунд, Б.В. Калинин

ООО «Микровейв АйСи», г. Санкт-Петербург

Аннотация: В данной статье представлены результаты разработки и экспериментального исследования двойного балансного пассивного смесителя частот. Микросхема исследуемого смесителя выполнена с использованием 0.25-микронной рНЕМТ GaAs-технологии. Смеситель работает в полосе частот 6-18 ГГц. Потери преобразования во всём рабочем диапазоне составили не более 11 дБ. Размер устройства составил 1.3 мм × 0.75 мм.

Ключевые слова: GaAs, рНЕМТ, двойной балансный смеситель, диод Шоттки, мост Маршанда

1. Введение

Пассивный СВЧ-смеситель, используемый в качестве устройства модуляции и демодуляции сигналов, является неотъемлемой частью многих современных приёмопередающих систем. Важная роль данного типа устройств определяет совокупность требований, предъявляемых к СВЧ-смесителям: низкие потери преобразования, небольшая мощность гетеродина, широкая рабочая полоса частот, высокая развязка между портами и малые габариты микросхемы. В последние годы наблюдается повышенный интерес исследователей к разработке и совершенствованию схемотехнических решений СВЧ-смесителей, которые бы соответствовали всем требованиям развития коммуникационных систем [1] - [3].

Кольцевой двойной балансный смеситель стал одним из лучших выборов для большинства приёмопередающих систем. Главной особенностью данной схемы является использование диодного кольца и двух симметрирующих трансформаторов, что обеспечивает подавление паразитных гармоник, отличный уровень развязки, а также более высокий и равномерный коэффициент преобразования [4].

В данной статье представлен результат разработки и экспериментального исследования монолитной интегральной схемы двойного балансного смесителя. Описываемое устройство работает в диапазоне частот 6-18 ГГц. Потери преобразования составили не более 11.5 дБ, а развязка между портами составила не менее 20 дБ. Рабочий диапазон промежуточной частоты (IF) составил 0-6 ГГц.

2. Разработка схемы смесителя

За основу схемотехнического решения была взята традиционная структура двойного балансного смесителя с диодным кольцом [4], представленная на рисунке 1. Основным элементом схемы является диодный мост, составленный из четырех диодов Шоттки. Два трансформатора подают дифференциальные сигналы на диоды. Сигнал промежуточной частоты выводится с одного из трансформаторов. Учитывая тот факт, что мощность сигнала LO всегда выше, то, как правило, сигнал IF выводится с RF-трансформатора.

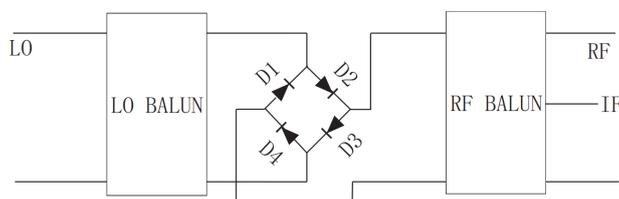


Рисунок 1. Схема двойного балансного смесителя

В качестве согласующего трансформатора при проектировании балансных смесителей чаще всего используется мост Маршанда [5]. Данная структура обеспечивает достаточно широкую полосу пропускания, малые вносимые потери, а также хороший баланс амплитуды и фазы. Наиболее типичная топология моста Маршанда приведена на рисунке 2.

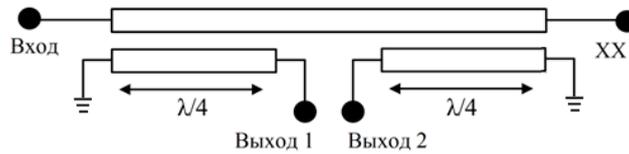


Рисунок 2. Классическая схема моста Маршанда

На практике часто применяют модифицированный вариант моста Маршанда с использованием трёхпроводной линии, что позволяет добиться повышения коэффициента связи и получения более широкой рабочей полосы. Именно данная конструкция моста Маршанда была выбрана в качестве симметрирующих трансформаторов в разработанном смесителе. Схема данного трансформатора приведена на рисунке 3.

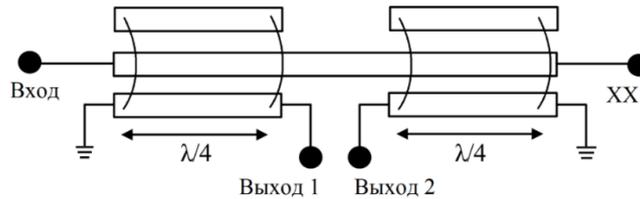


Рисунок 3. Модифицированная схема моста Маршанда

В целях экономии места на кристалле мосты Маршанда было решено свернуть в спираль. Полученная структура трансформатора представлена на рисунке 4. Порт 1 в данном случае является небалансным. На него подаётся входной СВЧ-сигнал. Порты 2 и 3 – дифференциальные выходы, используемые для подключения к диодному кольцу. Порт 4 – холостой ход. Размер свернутой структуры составил 870 мкм × 230 мкм.

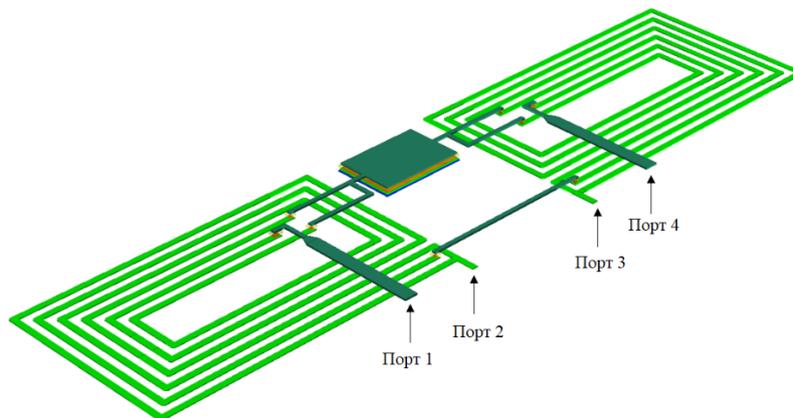
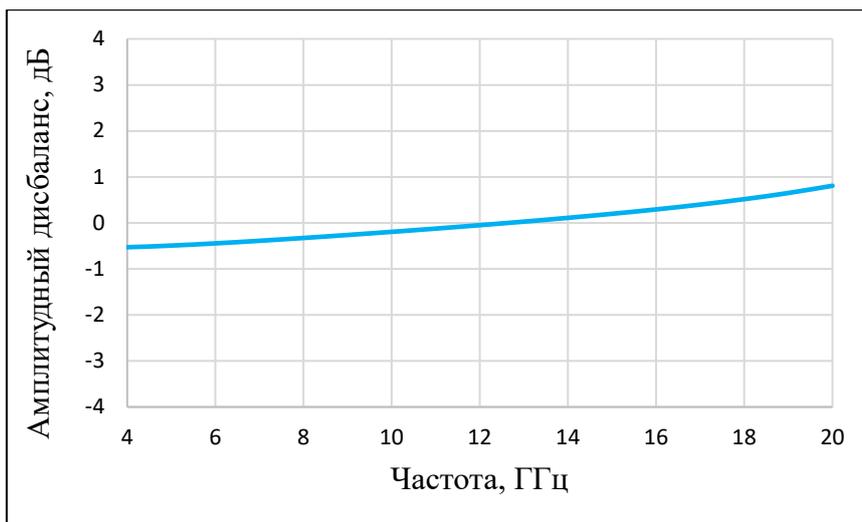
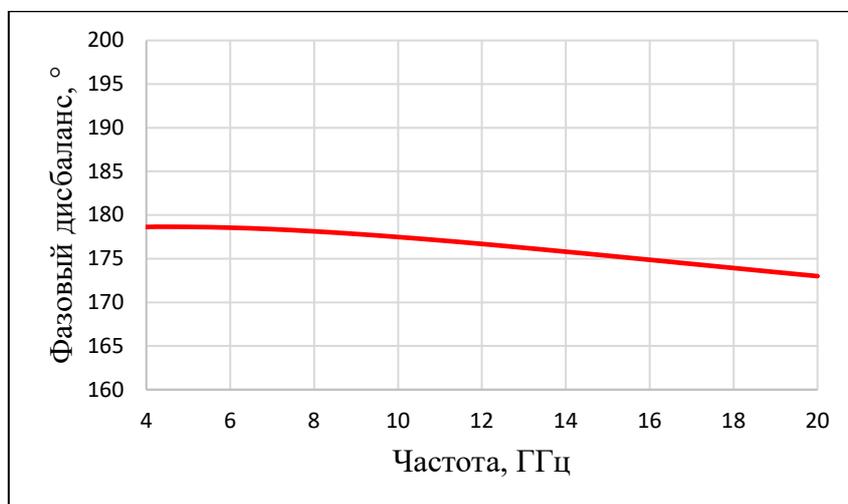


Рисунок 4. Структура свернутого моста Маршанда

Как видно из графиков на рисунке 5, разработанная структура обеспечивает отличные характеристики во всём требуемом диапазоне частот. Амплитудный и фазовый дисбаланс дифференциальных выходов свернутого моста Маршанда на центральной рабочей частоте составили 0.04 дБ и 177° соответственно.



(а)



(б)

Рисунок 5. Амплитудный (а) и фазовый (б) дисбаланс разработанного моста Маршанда

Диодное кольцо разработанного смесителя состоит из четырёх диодов Шоттки. Наилучший показатель коэффициента преобразования смесителя достигается при минимально возможном последовательном сопротивлении и паразитной ёмкости диода. Поскольку два этих параметра находятся в обратной зависимости друг от друга, то на практике оптимальный размер диода определяется перебором или оптимизацией средствами САПР. В данной работе использовались диоды Шоттки с двумя 20-микронными затворами.

3. Результаты моделирования и экспериментального исследования

Монолитная интегральная схема смесителя была изготовлена по 0.25-микронной рНЕМТ GaAs-технологии. Размер чипа составил 1.3 мм × 0.75 мм. Внешний вид изготовленной микросхемы представлен на рисунке 6.

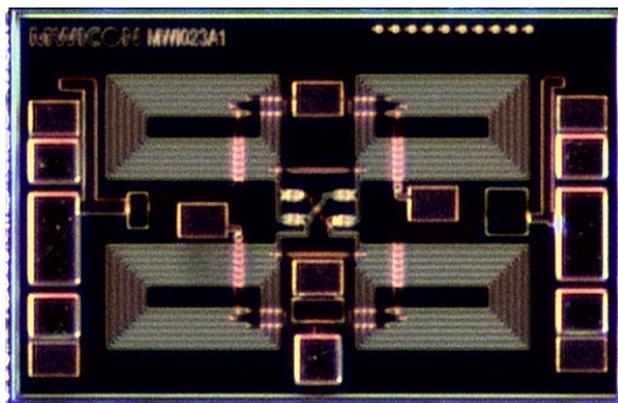


Рисунок 6. Фотография чипа смесителя

Результаты характеристик, полученные в результате расчёта и эксперимента, приведены на рисунках 7-9. Измерения и электромагнитное моделирование выполнены в режиме переноса частоты вниз при ИФ равной 100 МГц и мощности гетеродина равной 20 дБм. Экспериментальное исследование проводилось с корпусным вариантом смесителя, смонтированным на печатную плату. Потери на плате при моделировании не учитывались.

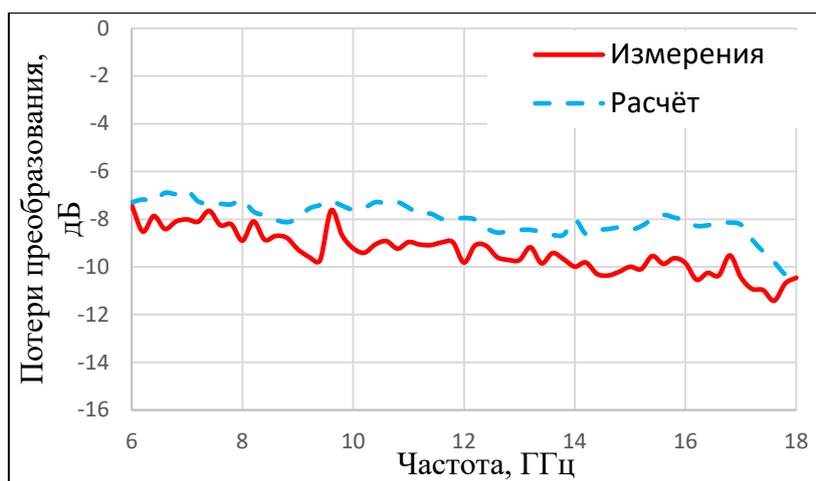


Рисунок 7. Сравнительный график расчёта и результатов измерений потерь преобразования в режимах понижения частоты

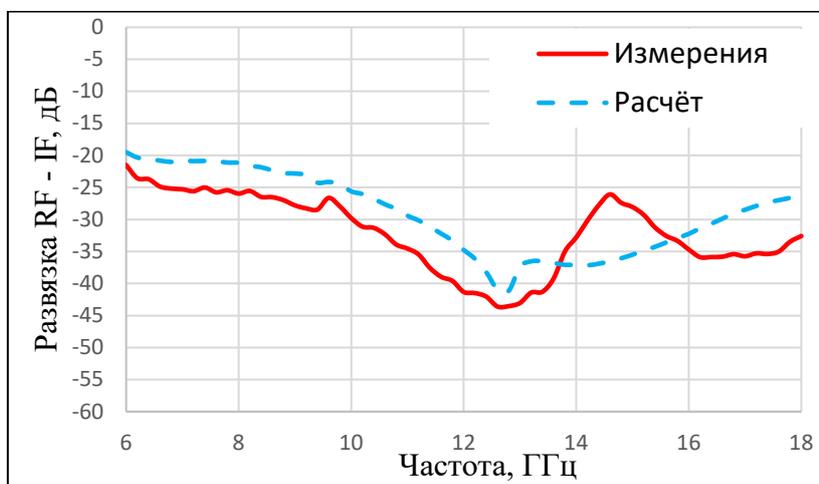


Рисунок 8. Сравнительный график расчёта и результатов измерений развязки RF - ИФ

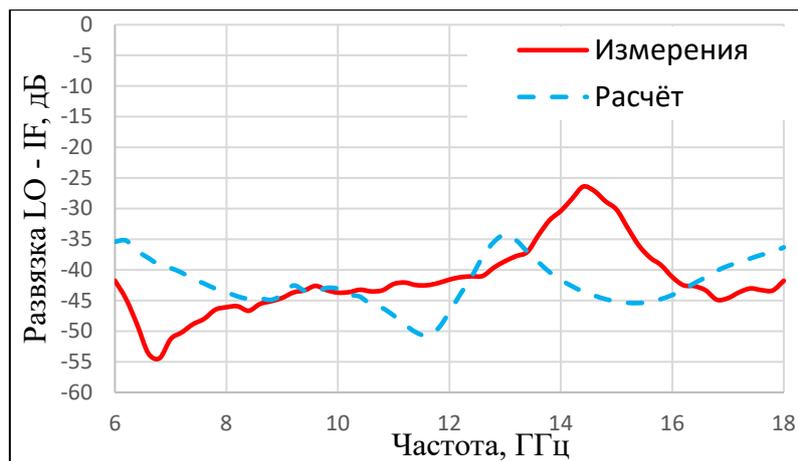


Рисунок 9. Сравнительный график расчёта и результатов измерений развязки LO - IF

Как видно из графика на рисунке 7, разница между расчётными и экспериментальными данными потерь на преобразования в худшем случае не превышает 2 дБ. Во всём частотном диапазоне устройства уровень потерь составил не более 11.5 дБ. Измеренные уровни развязки RF – IF и LO – IF, представленные на рисунках 8-9, составили не менее 21 дБ и 26 дБ соответственно. При этом наблюдалась удовлетворительная корреляция с расчётными данными.

4. Заключение

В данной работе представлены результаты расчёта и экспериментального исследования двойного балансного смесителя диапазона частот 6-18 ГГц. Его потери во всей рабочей полосе составили не более 11.5 дБ, а развязка между портами составила не менее 21 дБ.

Список литературы

1. Zhang T., Wang L., Xu R. A Design of Wide IF Bandwidth GaAs Passive Mixer with New Balun Structure // IEEE International Conference on Communication Problem-solving. – 2014. – С. 566-568.
2. Yang M., Wang L. An 18 to 40GHz double balanced MMIC mixer using GaAs technology // IEEE International Conference on Communication Problem-solving. – 2014. – С. 556-559.
3. Дроздов А.В. и др. Монолитная интегральная схема двойного балансного смесителя диапазона частот 5–26 ГГц // Доклады ТУСУРа. – 2017. – Т. 1. – №. 1. – С. 23-25.
4. Maas S. A. Microwave Mixers, 2nd ed. – Boston: Artech House, 1993.
5. Marchand N. Transmission-Line Conversion // Electronics December. – 1944.