

РАЗРАБОТКА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МИКРОСХЕМЫ КОНВЕРТЕРА ЧАСТОТЫ Ku-ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ

И.В. Юнусов, канд. техн. наук, вед. науч. сотр.

В.В. Курикалов, мл. науч. сотр. НИИ МЭС

Е.Н. Коровкин, мл. науч. сотр. НИИ СЭС

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
(Россия, г. Томск)

DOI:10.24412/2500-1000-2024-11-3-266-271

Аннотация. Статья посвящена результатам моделирования многофункциональной микросхемы конвертера частоты, разработанного на основе технологического процесса GaAs pHEMT с топологической нормой 0,25 мкм научно-образовательного центра «Нанотехнологии» ТУСУР [1]. Диапазон рабочих частот составляет 11-14 ГГц, уровень мощности составляет от -5 до 0 дБм, коэффициент преобразования в каждый из портов ПЧ на частоту 0,1 ГГц в режиме преобразования «вниз» составляет не менее -11 дБ, напряжение питания микросхемы составляет 5 В, ток потребления не более 100 мА.

Ключевые слова: микросхема, СВЧ, конвертер, смеситель, усилитель, модель, топология.

В системах ВЧ и СВЧ традиционные смесители, также известные как одноканальные смесители, являются основополагающими для преобразования частоты. Однако эти смесители сталкиваются со значительными ограничениями, которые могут ухудшить производительность и эффективность системы. Ключевым среди этих недостатков является их восприимчивость к помехам на зеркальной частоте. При преобразовании радиочастотного сигнала в промежуточную частоту (ПЧ) традиционные смесители генерируют как суммарную, так и разностную частоты из входного сигнала и гетеродина. Этот процесс может непреднамеренно вводить нежелательную зеркальную частоту, что приводит к потенциальному перекрытию сигнала и помехам, что требует дополнительной фильтрации и усложняет конструкцию системы. Более того, традиционные смесители часто не в состоянии точно сохранять информацию о фазе и амплитуде входного сигнала, что создает проблемы в современных системах связи, которые полагаются на передовые схемы модуля-

ции, такие как квадратурная амплитудная модуляция и ортогональное частотное разделение мультиплексирования [2].

Квадратурные смесители эффективно устраняют эти ограничения, используя два смесителя с сигналами гетеродина, сдвинутыми по фазе на 90 градусов. Такая конфигурация позволяет им различать желаемый сигнал и частоту изображения, по сути, отклоняя изображение и устраняя необходимость в дополнительной фильтрации. Кроме того, квадратурные смесители поддерживают точную информацию о фазе и амплитуде, облегчая сложную обработку модуляции и повышая скорость передачи данных и эффективность использования спектра в современных технологиях связи [2].

Структурная схема разработанного конвертера частоты представлена на рисунке 1. В составе конвертера частоты присутствует буферный усилитель сигнала гетеродина, 90-градусный трансформатор в тракте гетеродина, синфазный сумматор/делитель мощности, а также два двойных балансных смесителя.

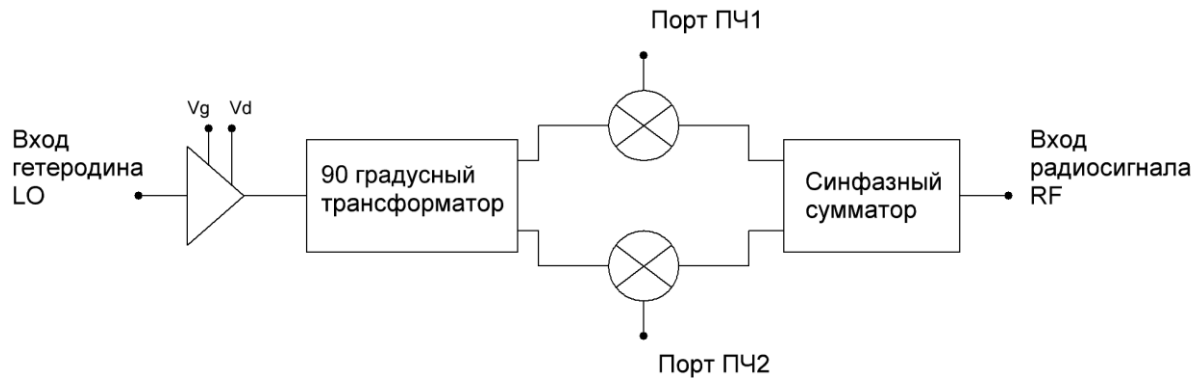


Рис. 1. Структурная схема конвертера частоты

На первом этапе разработки конвертера частоты были разработаны отдельные блоки, представленные на рисунке 1. Так, двойные балансные смесители реализованы по классической схеме [3], включающей в себя диодное кольцо и трансформаторы Маршанда [4]. Поскольку в конвертере предусмотрен буферный усилитель в тракте гетеродина, то технология

разработки и изготовления была выбрана транзисторная с топологической нормой 0,25 мкм. По этой причине при разработке смесителя в диодном кольце были использованы транзисторы в диодном включении. Топология разработанной микросхемы двойного балансного смесителя представлена на рисунке 2.

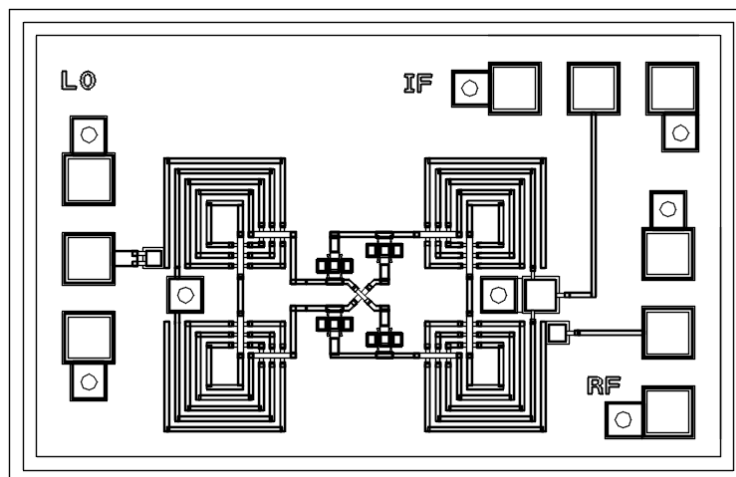


Рис. 2 Топология разработанной микросхемы двойного балансного смесителя

Габаритные размеры отдельной микросхемы двойного балансного смесителя составляют 1,4x0,9 мм, в то время как габаритные размеры функциональной части (без контактных площадок) составляют 0,9x0,6 мм. Частотные зависимости значений коэффициента преобразования и изоляции трактов представлены

на рисунках 3 и 4. Как видно из рисунков, коэффициент преобразования составляет не менее минус 8 дБ на промежуточную частоту 100 МГц, в то время как развязка трактов составляет не менее 30 дБ в диапазоне частот 11-14 ГГц.

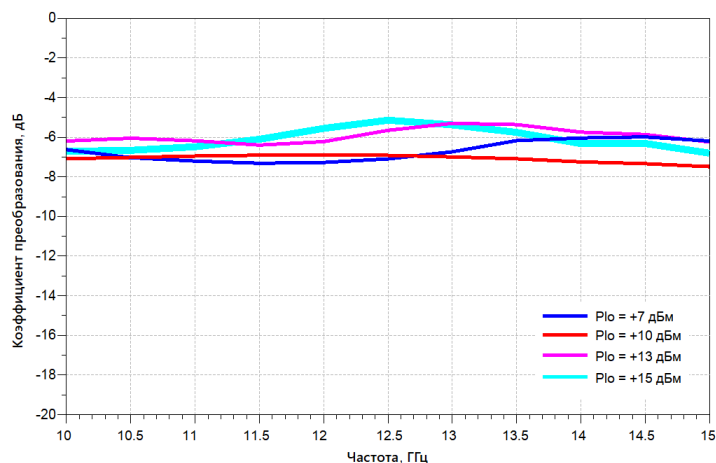


Рис. 3. Частотная зависимость коэффициента преобразования смесителя в зависимости от мощности сигнала гетеродина

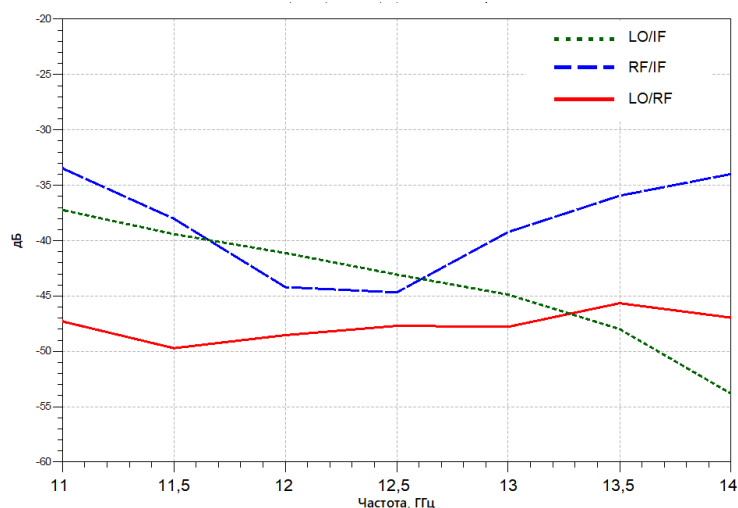


Рис. 4. Частотные зависимости развязки трактов смесителя

В составе конвертера присутствует также буферный усилитель в тракте гетеродина для возможности работы МИС конвертера от низких уровней сигнала гетеродина, порядка -5...0 дБм. Напряжение питания усилителя составляет 5 В, ток потребления покоя состав-

ляет 80 мА. Схемотехнически усилитель выполнен на двух каскадах с интегрированными цепями согласования, подачи напряжений питания и смещения [5]. На рисунке 5 представлена топология разработанного усилителя.

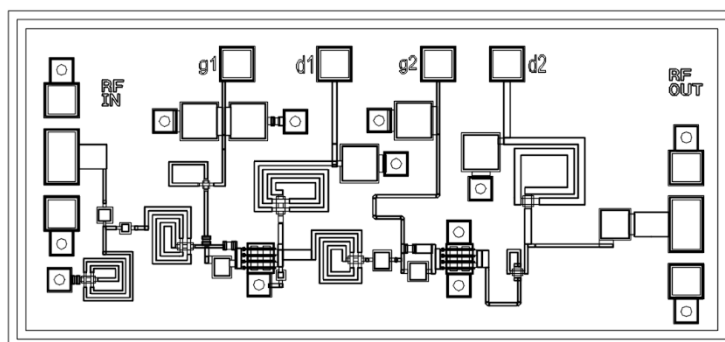


Рис. 5. Топология разработанной микросхемы буферного усилителя

Габаритные размеры микросхемы составляют 2,05x0,95 мм. На рисунках 6 и 7 представлены частотные зависимости коэффициента усиления, коэффициентов отражения по входу и выходу, а также уровень выходной мощности в точке сжатия коэффициента уси-

ления на 1 дБ. Как видно из рисунков 6 и 7, коэффициент усиления составляет порядка 18 дБ, коэффициенты отражения составляют не более -15 дБ в диапазоне частот 11-14 ГГц, а значение P1дБ по выходу составляет не менее 19 дБм в диапазоне частот 11-14 ГГц.

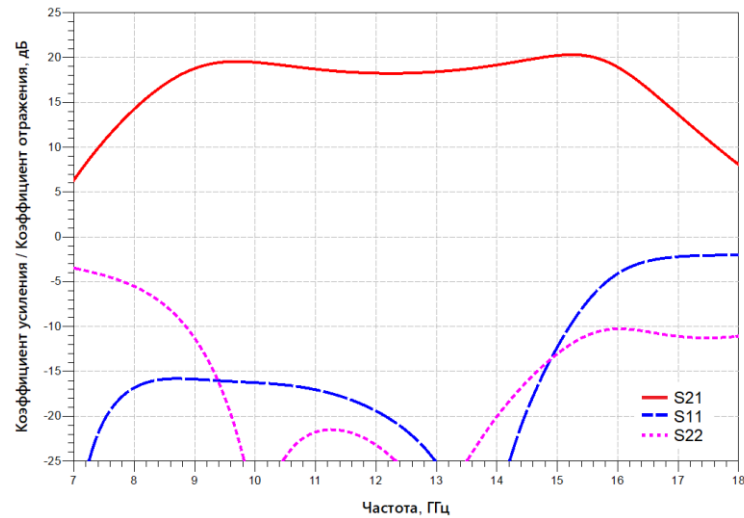


Рис. 6. Частотные зависимости S-параметров буферного усилителя

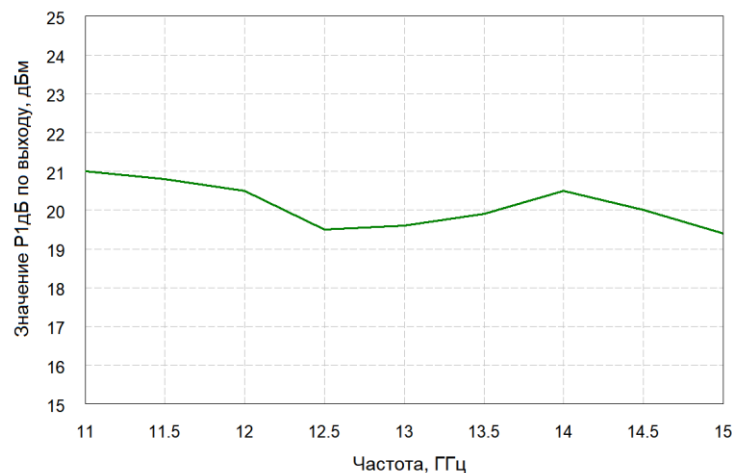


Рис. 7. Частотная зависимость значения P1дБ по выходу

Финальным этапом разработки многофункциональной МИС конвертера является интеграция отдельно разработанных функциональных блоков в единый кристалл, с последующей коррекцией согласующих цепей и номиналов элементов схем. На базе разработанного двойного балансного смесителя была разработана топология квадратурного смесителя частоты. В составе микросхемы также присутствует синфазный делитель-сумматор мощности в тракте радиосигнала, а также 90-

градусный трансформатор, выполненный на основе моста Ланге. На рисунке 8 представлена топология МИС конвертера частоты. Габаритные размеры микросхемы составляют 2,55x1,85 мм. Между буферным усилителем и трансформатором Ланге интегрирован низкоомный отрезок линии, подключенный к заземляющим отверстиям для уменьшения влияния паразитной связи между элементами на параметры схемы.

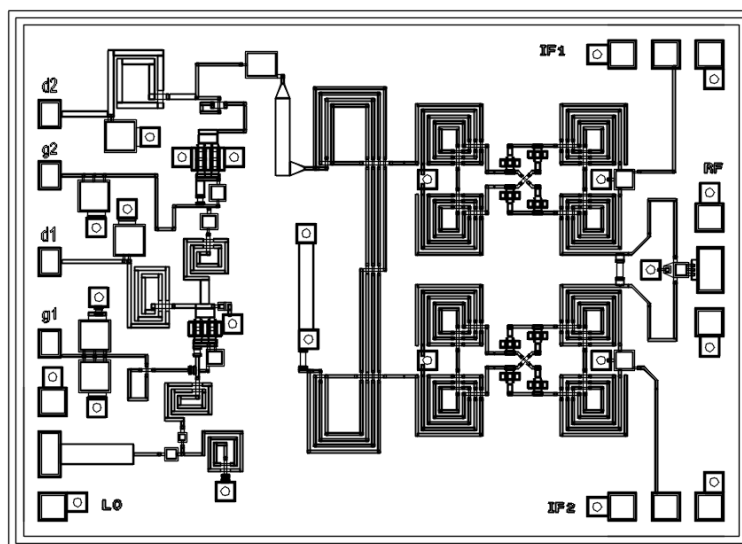


Рис. 8. Топология разработанной микросхемы конвертера частоты

В таблице 1 представлены частотные зависимости основных параметров многофункциональной микросхемы конвертера частоты.

Таблица 1. Основные электрические характеристики конвертера частоты

№	Параметр	Значение
1	Диапазон рабочих частот, ГГц	11-14
2	Коэффициент преобразования в каждый порт ПЧ, дБ	-12
3	Изоляция портов LO – RF, не менее, дБ	35
4	Изоляция портов LO – IF, не менее, дБ	30
5	Изоляция портов RF – IF, не менее, дБ	25
6	Уровень входной мощности гетеродина, дБм	-5 ... 0
7	Напряжение питания микросхемы, В	5
8	Ток потребления покоя, не более, мА	100

В результате проделанной работы были разработаны микросхемы двойного балансного смесителя, буферного усилителя, квадратурного смесителя, а также микросхема конвертера частоты диапазона 11-14 ГГц. В настоящее время топологии переданы в изготовление в НОЦ «Нанотехнологии» ФГАОУ ВО ТУСУР.

Работа выполнена при финансовой поддержке «Фонда содействия инновациям» по договору № 1ГУПКЭС18/91742 от 26.12.2023 в рамках проекта «УМНИК-23 (Проектная команда. Электроника II) / 2 СВЧ-электроника» [6].

Библиографический список

1. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники». – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tusur.ru/ru> (дата обращения 22.11.2024).
2. EverythingRF What are IQ Mixers? – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.everythingrf.com/community/what-are-iq-mixers> (дата обращения 22.11.2024).
3. Maas S.A. Microwave Mixers // Artech House. – Boston, 1986. – 357 p.
4. Хохол, Д.С. GaAs МИС широкополосного двойного балансного смесителя: доклад / Д.С. Хохол, Е.В. Дмитриченко, А.А. Баров // Научная сессия ТУСУР-2011. – Томск: В-Спектр. – Ч. 2. – С. 256-259.
5. Andries P. de Nek. Design realization and test of GaAs-based monolithic integrated X-band high-power amplifiers. – Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven. – 2002.
6. Фонд-М. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://online.fasie.ru/m/user-projects/registry> (дата обращения 27.11.2024).

DESIGN OF Ku-BAND MULTIFUNCTIONAL CONVERTER MMIC

I.V. Yunusov, *Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher*

V.V. Kurikalov, *Junior Researcher, Research Institute of MES*

E.N. Korovkin, *Junior Researcher, Research Institute of SES*

**Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics
(Russia, Tomsk)**

Abstract. *The article is devoted to the results of modeling a multifunctional frequency converter microcircuit developed on the basis of the GaAs pHEMT technological process with a topological norm of 0.25 μm by the scientific and educational center "Nanotechnology" of TUSUR [1]. The operating frequency range is 11-14 GHz, the power level is from -5 to 0 dBm, the conversion coefficient in each of the IF ports at a frequency of 0.1 GHz in the down conversion mode is at least -11 dB, the supply voltage of the microcircuit is 5 V, the consumption current is no more than 100 mA.*

Keywords: *microcircuit, microwave, converter, mixer, amplifier, model, topology.*