

# Монолитная интегральная схема утроителя частоты на основе диодов с барьером Шоттки с диапазоном частот 21-51 ГГц

Дроздов А.В., Данилов Д.С., Дроботун Н.Б.

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)

г. Томск, 634050, Российская федерация

[dalvik@micran.ru](mailto:dalvik@micran.ru)

[danilov.ds@micran.ru](mailto:danilov.ds@micran.ru)

[nikolay.drobotun@micran.ru](mailto:nikolay.drobotun@micran.ru)

***Аннотация:** В данной статье представлены результаты разработки, моделирования и измерения широкополосного утроителя частоты, спроектированного на основе диодов с барьером Шоттки, с выходным диапазоном частот 21-51 ГГц. Микросхема утроителя реализована на основе монолитной интегральной технологии (МИС) на подложке из арсенида галлия (GaAs). Особенностью конструкции данной схемы является использование входных и выходных корректирующих и согласующих цепей, выполненных на основе фильтров смешанного типа. Входной фильтр выполнен на сосредоточенных, а выходной на смешанных элементах.*

**Ключевые слова:** утроитель, множитель частоты, диоды Шоттки, фильтры.

## 1. Введение

Устройства масштабирования СВЧ сигнала (умножители частоты) являются важным компонентом сверхширокополосных систем. Актуальность подобных устройств связана с тем, что первичные источники сигнала (генераторы на фундаментальной гармонике), как правило, имеют очень узкий диапазон перестройки частоты, и для достижения широкой полосы требуется масштабирования исходного сигнала в несколько раз [1]. Данную функцию выполняют множители частоты. Главной частью любого множителя частоты является нелинейный элемент. Традиционно в пассивных множителях в качестве нелинейного элемента используют диоды с барьером Шоттки, т.к. они имеют высокую скорость переключения, что обеспечивает работоспособность в диапазоне СВЧ [2].

Известны множители частоты на 2 и на 3, как в монолитном, так и в гибридном исполнении, такие как НМС-ХТВ110 [3], TGC1430G [4], D-

0840 [5]. В [6] предложен утроитель в монолитном исполнении для выходного диапазона частот 3-30 ГГц. К недостатку приведенной выше топологии можно отнести отсутствие фильтрующих элементов на входе и выходе схемы, и сравнительно высокие потери преобразования.

В данной работе представлено моделирование и измерения утроителя частоты с выходным диапазоном частот 21-51 ГГц, с возможностью использования дополнительного двуполярного напряжения смещения для коррекции уровня преобразования.

## 2. Электрическая схема утроителя частоты

Для достижения оптимальных параметров предлагается использовать схему с двумя встречно параллельными диодами и фильтрующими элементами на входе и выходе. Коэффициент преобразования можно корректировать с помощью двуполярного смещения, заводимого на нелинейные элементы. На рисунке 1 представлена электрическая принципиальная схема утроителя частоты.

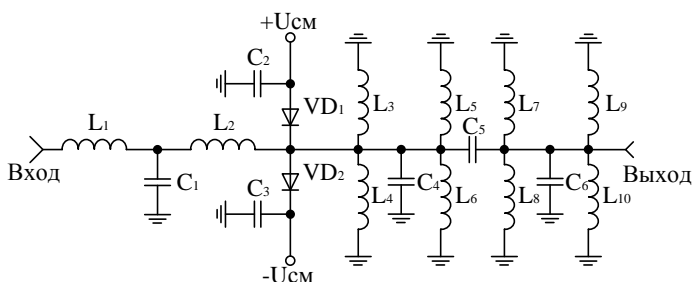


Рис. 1. Электрическая принципиальная схема утроителя частоты

МИС по указанной схеме была смоделирована с использованием серийной технологии GaAs диодов с барьером Шоттки АО «НПФ «Микран».

Пара диодов, используемая в схеме, является наиболее оптимальным решением для утроителя частоты, так как обеспечивает подавление чётных гармоник выходного сигнала [7]. Модель диода, использованная для расчётов, рассмотрена в работе [8].

## 3. Моделирование и измерение МИС утроителя

Электродинамическое моделирование топологии было проведено с помощью системы ADS, разработки компании Keysight Technologies. По схе-

ме, представленной на рис. 1, была синтезирована топология утроителя, показанная на рис. 2.

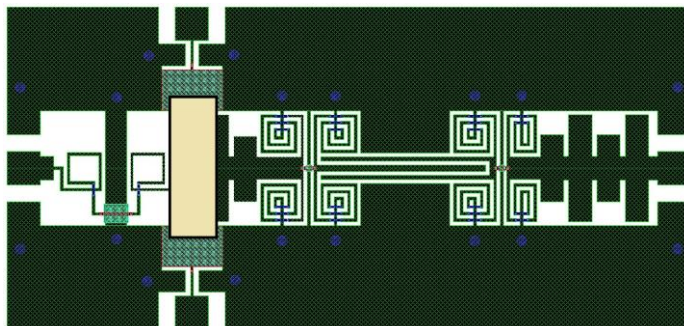


Рис. 2. Топология утроителя частоты

Как видно из рис. 2, в схему выходной корректирующей цепи МИС были введены дополнительные топологические фильтры и разделительные ёмкости топологического типа, дополнительно выполняющие роль цепей согласования. Схожие решения с топологическими ёмкостями на основе холостых либо короткозамкнутых отрезков линий были приведены в [9]. Для реализации элементов была выбрана копланарная структура топологии МИС.

Был проведен полный электродинамический расчет топологии, измерение тестового образца и сравнение результатов расчета с результатами измерений. Характеристики, такие как коэффициент преобразования и уровни подавления гармоник, измерялись при разных уровнях мощности входного сигнала (13, 15, 18 дБм) и напряжений смещения ( $\pm 0,2$  В,  $\pm 0,4$  В,  $\pm 0,1$  В). Полученные характеристики сравнивались на каждой из мощностей при разном смещении. Из графиков, полученных характеристик, была выбрана оптимальная мощность входного сигнала и напряжение смещения. Уровень мощности сигнала составил 15 дБм, напряжения смещения  $U_{CM} = \pm 0,4$  В. Изменением  $U_{CM}$  возможно корректировать коэффициент преобразования и уровень подавления гармоник в требуемых частотных точках, что существенно расширяет функционал данной МИС, позволяя управлять амплитудой выходного сигнала либо использовать преобразование на гармониках более высокого порядка (5я гармоника).

Расчётные зависимости коэффициента преобразования при различных уровнях входной мощности в зависимости от входной частоты представлены на рис. 3.

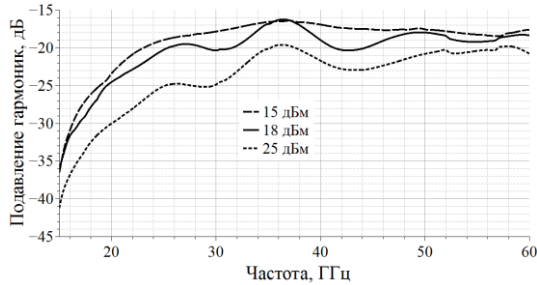


Рис. 3 Расчет коэффициента преобразования утрителя

Измерение коэффициента преобразования при разных уровнях мощности входного сигнала тестового образца представлены на рис. 4.

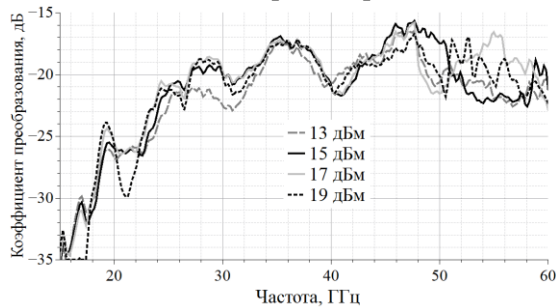


Рис. 4 Измерения коэффициента преобразования утрителя

Расчет и измерения уровня подавления 1й, 2й, 4й, 5й гармоник и коэффициент преобразования в зависимости от частоты при входной мощности +15 дБм представлены на рис. 5,6 соответственно.

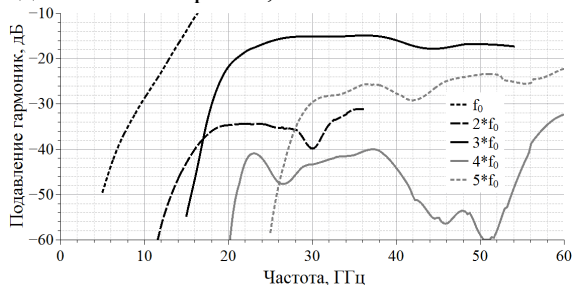


Рис. 5. Расчет уровней подавления 1й, 2й, 4й, 5й гармоник и коэффициента преобразования при входной мощности +15 дБм в зависимости от частоты

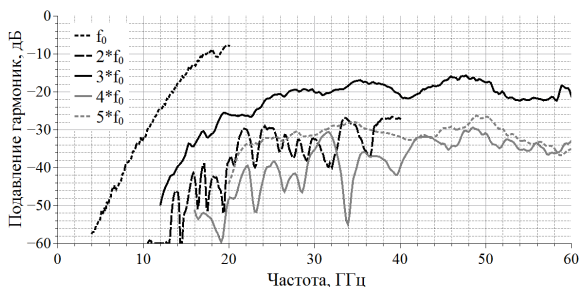


Рис. 6. Измерение уровня подавления 1й, 2й, 4й, 5й гармоник и коэффициента преобразования при входной мощности +15 дБм в зависимости от частоты

На рис.7 представлено сравнение измерений и расчета коэффициента преобразования с оптимальным уровнем входной мощности (+15 дБм) и напряжением смещения ( $U_{CM} = \pm 0,4$  В).

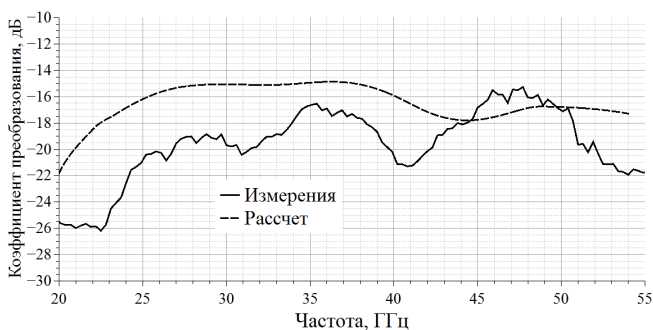


Рис. 7. Сравнение измерения и расчета коэффициента преобразования при входной мощности +15 дБм

## 4. Заключение

Проведён полный электродинамический расчёт и измерение тестовой топологии МИС утроителя с диапазоном выходных частот 21-51 ГГц. В качестве нелинейных элементов были использованы GaAs диоды с барьером Шоттки (АО «НПФ Микран»). Диоды изготовлены на основе полупроводниковой структуры, выращенной методом молекулярно – лучевой эпитаксии на полуизолирующей подложке арсенида галлия. Измеренный коэффициент преобразования утроителя – не более 22-26 дБ. Уровни подавления паразитных гармоник: для фундаментальной гармоники – не менее 10 дБ, для 2й, 4й и 5й гармоники – не менее 26 дБ.

## Источники финансирования и выражение признательности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, соглашение № 14.577.21.0279 от 26.09.2017 г., идентификатор RFMEFI57717X0279.

## Список литературы

- [1] S. A. Maas, *Microwave Mixers (SecondEd.)*, Artech House, Norwood, MA, 1993.
- [2] S. A. Maas, Y. Ryu “A Broadband, Planar, Monolithic Resistive Frequency Doubler,” *Microwave and Millimeter-Wave Monolithic Circuits Symposium*, 1994, pp. 175 – 177.
- [3] GaAs MMIC passive x3 frequency multiplier, HMC-XTB110 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.analog.com/en/products/rf-microwave/frequency-dividers-multipliers-detectors/frequency-multipliers/hmc-xtb110.html/>, свободный (дата обращения: 13.09.2017).
- [4] 20 - 40 GHz Frequency Tripler , TGC1430G [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.qorvo.com/products/p/TGC1430G> свободный (дата обращения: 14.09.2017)
5. Frequency Doublers, D-0840 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.markimicrowave.com/Assets/datasheets/D-0840.pdf>, свободный (дата обращения: 14.09.2017).
- [6] Груша А. В., Крутов А. В., Ребров А. С., Пассивный утроитель частоты на встречно-параллельных диодах с барьером Шоттки // *Материалы 27-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии – Крым-Ко2017»*, с. 59-60
- [7] M. T. Faber, J. Chramiec, and M. E. Adamski, *Microwave and Millimeter-Wave Diode Frequency Multipliers*, Artech House, Norwood, MA, USA, 1995.
- [8] Дроздов А. В. Моделирование диодов с барьером Шоттки для применения в монокристаллических интегральных схемах СВЧ / А. В. Дроздов [и др.] // *Доклады ТУСУР*. – 2018. – Т. 21, № 1. – С. 28–31.
- [9] G. E. Ponchak, L. B. Katehi, “Open- and short-circuit terminated series stubs in finite-width coplanar waveguide on silicon,” *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 45, no. 6, pp. 970-976, June 1997.