

**Белова Е.В.<sup>1,2</sup>, Житомирский Л.Н.<sup>1</sup>, Калинин Б.В.<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup>ООО «Планета-ИРМИС»

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
 университет «ЛЭТИ»

## Исследование малошумящего усилителя с распределенным усилением

*Рассмотрен метод проектирования малошумящего усилителя с распределенным усилением. Представлены результаты моделирования и экспериментальных исследований малошумящего усилителя с распределенным усилением, работающего в диапазоне частот 1-18 ГГц.*

**Ключевые слова:** Малошумящий усилитель, усилитель с распределённым усилением, GaAs, СВЧ МИС.

Благодаря совокупности таких полезных свойств как широкополосность, сравнительно малый коэффициент шума и большой динамический диапазон, усилители с распределенным усилением (УРУ) применяется в различных областях радиоэлектроники.

Для малошумящих УРУ, применяемых радиоэлектронной аппаратуре, наиболее важными являются такие параметры, как полоса пропускания, коэффициент усиления, неравномерность коэффициента усиления в диапазоне частот и коэффициент шума. Используемые методы анализа направлены на улучшение этих параметров.

Увеличение рабочей полосы частот может быть достигнуто применением УРУ, содержащего несколько усилительных элементов (УЭ), включенных входными и выходными контактами в искусственные длинные линии.

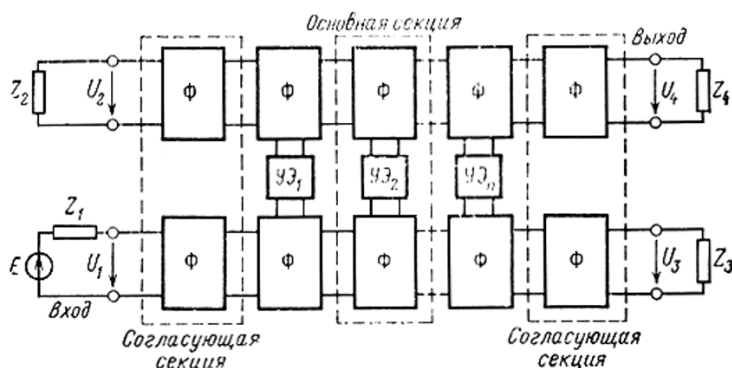


Рис.1. Обобщенная структурная схема каскада УРУ.

УРУ состоит из цепочечного соединения основных и согласующих секций (рис. 1). Усилительные элементы, число которых равно  $n$ , подключены соответственно к входной и выходной длинным линиям, состоящим из фильтров нижних частот (ФНЧ). Основная секция

представляет собой усилительный элемент с примыкающими к нему фильтрами длинных линий. Согласующие секции состоят из двух четырехполюсников, обеспечивающих согласование линии с нагрузочными сопротивлениями  $Z_{1-4}$ . При достаточно хорошем согласовании фильтров с нагрузками согласующие секции могут отсутствовать.

Секция УРУ выполнена по каскадной схеме общий исток (ОИ) – общий затвор (ОЗ). На рисунке 2 приведена упрощенная принципиальная схема УРУ. Затворы каскадов с ОИ подключены к длинной линии через разделительные конденсаторы, величина которых обеспечивает волновое сопротивление входной линии 50 Ом. Напряжение смещения на затворы транзисторов ОИ подаются с делителя напряжения, образованного резистором  $R$  и транзистором  $VT$  в диодном включении. Напряжение +6 В поступает через стоковую линию на стоки транзисторов ОЗ, а также через резистивный делитель на затворы этих транзисторов.

В классическом УРУ входная линия цепи затвора нагружена на балластное сопротивление (50 Ом), обеспечивающее согласование этой линии. Такое решение приводит к ухудшению коэффициента шума из-за потерь входного сигнала в балластном резисторе. Для ослабления этого эффекта к выходу линии затвора подключается цепь отрицательной обратной связи, состоящая из последовательно соединенных емкости и резистора (400 Ом). Отрицательная обратная связь обеспечивает согласование затворной линии, при этом потери входного сигнала на сопротивлении обратной связи значительно меньше, чем на балластном сопротивлении классического УРУ.

Так как, модель транзистора, представленная Win Semiconductor предназначена и верифицирована для усилительных режимов работы устройства (при напряжениях сток-затвор больше 1,5 В), то результаты расчеты напряжения смещения в схеме с транзистором в диодном включении (напряжение сток-затвор 0 В) не точны. Поэтому в топологии разрабатываемого УРУ была предусмотрена площадка для регулировки напряжения на затворах транзисторов ОИ.

Разработка проводилась с помощью программного обеспечения AWR Microwave Office с использованием библиотеки компонентов Win Semiconductor.

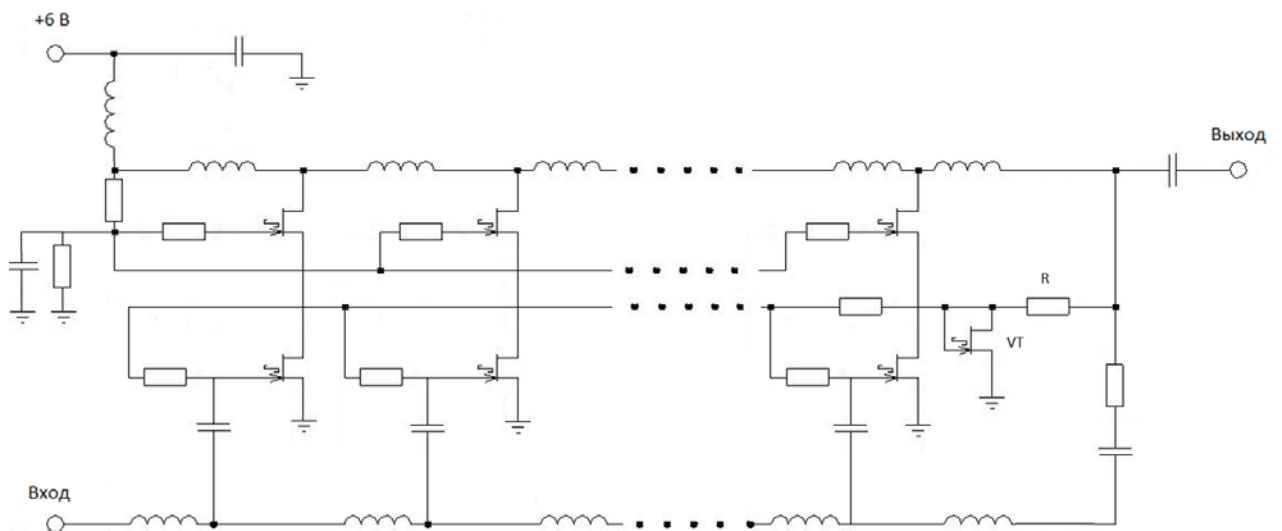


Рис. 2. Принципиальная схема разработанного УРУ.

Расчетные малосигнальные параметры представлены на рисунке 3.

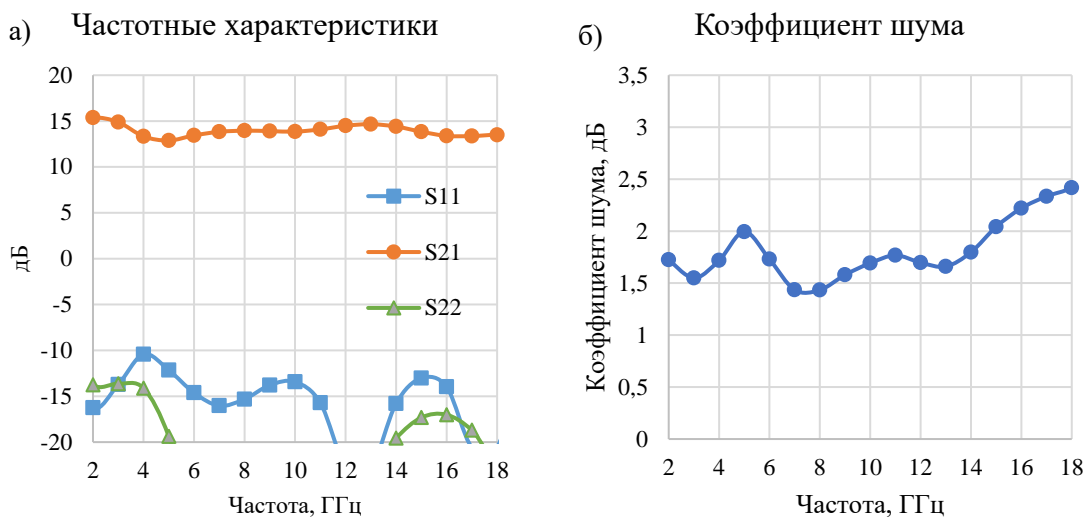


Рис. 3. Расчетные частотные зависимости параметров УРУ.

Рабочий частотный диапазон от 2 до 18 ГГц. Коэффициент усиления на частоте 6 ГГц составляет 13,5 дБ (рис. 3 а). На рисунке 3 б показана зависимость коэффициента шума от частоты входного сигнала. Минимальный коэффициент шума достигается на частоте 6 ГГц и составляет 1,4 дБ. Максимум коэффициента шума соответствует 2,5 дБ на 18 ГГц. Выходная мощность при компрессии 1 дБ на 11 ГГц составляет 12 дБм.

Разработанная МИС была изготовлена по foundry по технологии GaAs pHEMT 0,25 мкм на фабрике Win Semiconductor. На рисунке 4 изображена фотография полученной МИС размером 1,8 x 2,1 мм<sup>2</sup>.

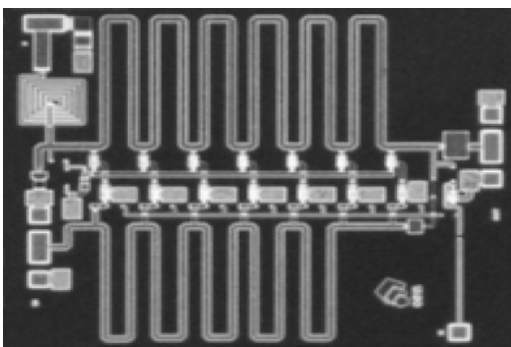


Рис.4. Фотография МИС МШУ.

Экспериментальные данные измерялись на зондовой станции Cascade Microtech Summit 12000 с помощью векторного анализатора цепей PNA-L N5230A. Малосигнальные характеристики представлены на рисунке 5.

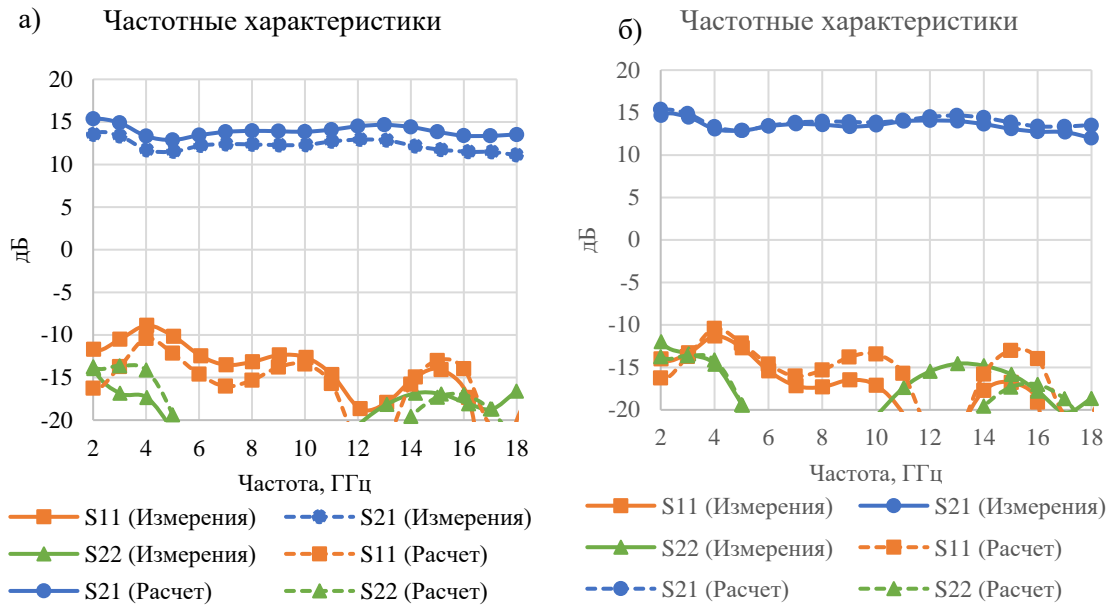


Рис. 5. а) Сравнения результатов расчета и эксперимента;  
 б) Сравнение расчета и эксперимента с увеличенным током до расчетного значения.

Наблюдаемые расхождения параметров можно объяснить несовпадающим током (рис. 5 а). Ток потребления составляет 50 мА, при расчетном значении 60 мА. Для получения частотных характеристик с расчетным значением тока (60 мА) подключили площадку для регулировки напряжения на затворах через резистор 4,7 кОм к источнику питания +6 В. Сравнение расчетных данных и результатов эксперимента отображены на рисунке 5 б. Эти измерения хорошо совпадают.

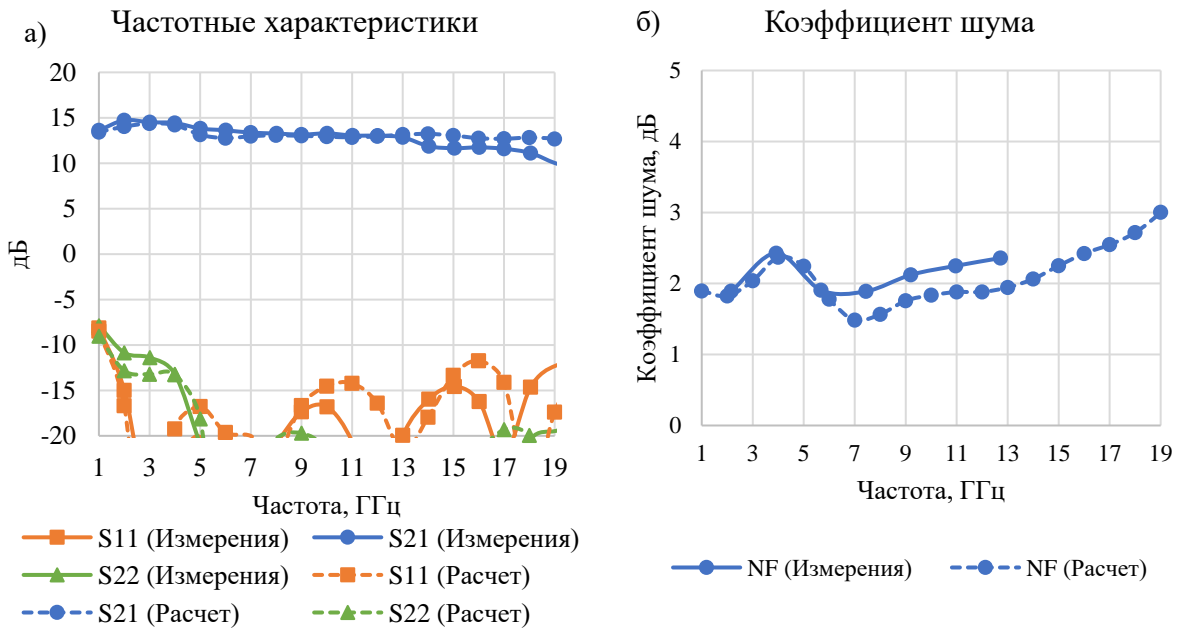


Рис. 6. График сравнения частотных характеристик моделирования и эксперимента.

Анализ результатов расчета и эксперимента первой итерации изготовления МШУ выявил большую неравномерность АЧХ (2,5 дБ в полосе 2-18 ГГц). Для устранения этого недостатка, а также для расширения рабочей полосы частот (1-18 ГГц), было решено произвести более тщательную подстройку параметров УРУ в процессе моделирования. Результаты такой корректировки были учтены во второй итерации изготовления МШУ УРУ. На рисунке 6 представлен график сравнения частотных характеристик моделирования и эксперимента для второй итерации.

В результате проделанной работы была МШУ УРУ со следующими параметрами: полоса рабочих частот 1-18 ГГц, коэффициент усиления не менее 12 дБ, неравномерность коэффициента усиления 1,6 дБ, коэффициент шума не более 2,5 дБ, минимальное значение коэффициента шума 1,4 дБ. Был продемонстрирован подход к разработке МШУ УРУ. Проведено сравнение данных моделирования и эксперимента. На основе этой информации была выполнена корректировка схемотехнического проекта. Исследование изготовленной МИС показало совпадение результатов разработки и эксперимента. Полученные данные планируется использовать для разработки устройств на другие частотные диапазоны.

#### Библиографический список

1. А.А. Кузьмин Маломощные усилители с распределенным усилением, - М: Советское радио, 1974. с.224.
2. В.С. Арыков, В.Д. Дмитриев, В.М. Кортаев, Д.А. Шишкин. GaAs МИС усилителя распределенного усиления. Сборник докладов Всероссийской конференции «Микроэлектроника СВЧ», Санкт-Петербург 4-7 июня 2012г.
3. Chia-Song Wu, Tah-Yeong Lin<sup>1</sup>, Chien-Huang Chang, Hsien-Ming Wu. 3 - 10 GHz Ultra-Wideband Low-Noise Amplifier Using Inductive-Series Peaking Technique with Cascode Common-Source Circuit. *Wireless Engineering and Technology*, 2011, 2, 257-261.
4. Arjuna Marzuki, Norhapizin K, Amiza Rasmi. GaAs pHEMT Cascode Low Noise Amplifier for Wireless Applications. *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, Vol. 1, No. 2, June 2009.