



Акционерное общество
«Научно-исследовательский институт «Октава»
(АО «НИИ «Октава»)

Красный проспект, 220, корп. 36, Новосибирск, 630049, а/я 314,
ОКПО 07566791, ОГРН 1025401012944, ИНН/КПП 5402103502/540201001
e-mail: info@oktava-nsk.ru, тел. (383) 363-02-98, факс (383) 363-60-74

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы

Попова Артема Александровича на соискание

ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.5 – Физическая электроника и 2.2.14 – Антенны, СВЧ- устройства и их технологии

Тема работы: **«Построение моделей наногетероструктурных полевых транзисторов для усилительных и управляющих функциональных блоков СВЧ монолитных интегральных схем»**

Развитие современных систем беспроводной связи, РЛС с АФАР, систем управления и навигации и РЭБ немислимо без создания современных ЭКБ на основе полупроводников (ПП) группы АЗВ5 и гетероструктурных полевых транзисторов, в том числе на нитриде галлия. Системы автоматизированного проектирования (САПР) предполагают наличие разнообразных моделей активных и пассивных элементов монолитных схем СВЧ диапазона. Естественно точность моделирования и проектирования таких схем определяется в первую очередь точностью моделей гетероструктурных транзисторов (ГСПТ). Диссертационная работа Попова А.А. посвящена созданию электрических моделей полевых транзисторов малосигнальных усилительных, включенных по схеме с общим истоком, и коммутационных с общим затвором управляющих функциональных блоков СВЧ ИС. В основе этих моделей заложены методы экстракции (декомпозиции) элементов эквивалентных схем (ЭС) ГСПТ с использованием верификации элементов модели по электродинамическим расчетам тестовых структур. В основе нелинейной модели (НМ) заложена базовая нелинейная модель нитридного ГСПТ – ASM-HEMT с модификацией уравнений заложеной НМ для ГСПТ на основе ПП группы АЗВ5. Решение этой проблемы весьма актуально и востребовано промышленностью.

Цель работы было разработать методик построения линейных и нелинейных моделей HEMT-транзисторов для проектирования схем, выполняющих функции усиления и коммутации СВЧ- сигнала.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

1. Предложен новый алгоритм экстракции, применение которого позволяет получить физически обоснованные значения внешних сопротивлений в малосигнальной модели коммутационного HEMT-транзистора, включенного по схеме с общим затвором.
2. Предложена новая аналитическая методика экстракции внешних ёмкостей HEMT- транзистора, включенного по схеме с общим истоком, на основе результатов электромагнитного моделирования топологии прибора, учитывающего распределённый характер внешних элементов.
3. Впервые проведены построение, верификация и оценка модифицированной физической компактной модели ASM-HEMT для СВЧ- гетероструктурного полевого транзистора на основе GaAs.

Степень достоверности научных результатов подтверждается: применением современных методов научных исследований; значительным объёмом экспериментальных данных, полученных с помощью современного измерительного оборудования; хорошим согласием экспериментальных и расчётных данных.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

1. Предложенный алгоритм экстракции малосигнальной модели коммутационного НЕМТ-транзистора позволяет исключить из модели паразитное влияние подводящей линии и сквозного отверстия в цепи затвора.
2. Разработанная методика позволяет провести экстракцию всех внешних ёмкостей эквивалентной схемы НЕМТ-транзистора, включенного по схеме с общим истоком, без использования результатов измерений тестовых элементов при наличии верифицированной структуры для ЭМ-анализа.
3. Разработанная методика позволяет учесть распределённый характер внешних ёмкостей эквивалентной схемы НЕМТ-транзистора, включенного по схеме с общим истоком, без применения итерационных алгоритмов перебора параметров модели.
4. Реализована модифицированная физическая компактная модель ASM-НЕМТ для СВЧ-транзистора на основе GaAs, основные параметры которой имеют связь с параметрами техпроцесса.
5. Построены линейные и нелинейные модели усилительных и коммутационных GaAs рНЕМТ-транзисторов, изготовленных на различных предприятиях.

С применением разработанной модели GaAs рНЕМТ-транзистора с затвором $0,15 \times 200$ мкм выполнено проектирование и изготовлены 2-х и 3-х каскадные монолитные малошумящие усилители (МШУ) диапазона 8-12 ГГц, а также двухкаскадные буферные усилители диапазонов 7-17 и 17-24 ГГц.

С применением разработанных моделей коммутационных транзисторов с общим затвором и общим истоком были спроектированы секции цифрового ступенчатого 90° аттенюатора диапазонов 0,5-20 ГГц и 9-11 ГГц.

Результаты сравнения измеренных и расчетных характеристик МШУ и аттенюаторов подтвердили добротность разработанных моделей транзисторов в диапазоне до 24 ГГц.

Основные результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на многочисленных отечественных и международных конференциях в Крыму, Омске и Томске с 2018 по 2021 гг. Результаты опубликованы в 33 научных работах, в том числе в зарубежных журналах.

Диссертация Попова А. А. является законченной научно-квалификационной работой. Все результаты, представленные в диссертационном исследовании, получены автором лично, либо при его непосредственном участии. В работах, опубликованных в соавторстве, автором получены существенные теоретические и практические результаты.

Считаю, что по объёму выполненных исследований, новизне и значимости полученных результатов, обоснованности выводов представленная диссертационная работа удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК РФ» п.8, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор **Попов Артем Александрович** заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.5 – Физическая электроника и 2.2.14 – Антенны, СВЧ-устройства и их технологии.

Ведущий инженер АО «НИИ «Октава» к.т.н.

Раков

Раков Юрий Николаевич

Подпись Ракова Юрия Николаевича удостоверяю

Генеральный директор АО «НИИ «Октава»

Хлыстов
Хлыстов Игорь
Васильевич

