

## **ОТЗЫВ**

на автореферат диссертации **Попова Артема Александровича**

«Построение моделей наногетероструктурных полевых транзисторов для усилительных и управляющих функциональных блоков СВЧ монолитных интегральных схем»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям  
1.3.5 – «Физическая электроника» и 2.2.14 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии»

В настоящее время трудно представить процесс создания современной твердотельной СВЧ электронной компонентной базы (ЭКБ) без применения прогрессивных методов проектирования и производства, основанных на стандартных технологиях и поддерживающих принцип сквозного проектирования радиоэлектронной аппаратуры. Конструкторская составляющая стандартных технологий содержится в основном на библиотеке стандартных элементов комплексном инструменте проектирования (Process Design Kit – PDK), подключаемом к системе автоматического проектирования (САПР). Немаловажную роль в PDK играют модели библиотечных элементов, способные воспроизводить в САПР характеристики реальных элементов, изготовленных на полупроводниковой пластине. В силу естественной изменчивости технологического процесса параметры как активных, так и пассивных элементов имеют свойство варьироваться, в результате чего возникает задача актуализации параметров моделей библиотечных элементов с целью поддержания их приемлемой точности. Для эффективного решения данной задачи требуются формализованные методики и алгоритмы экстракции параметров моделей, которые достаточно просто могут быть реализованы в программных продуктах, нацеленных на повышение точности моделирования характеристик и сокращение сроков экстракции параметров. Учитывая вышесказанное, не оставляет сомнений, что тема диссертационного исследования Попова А.А. является актуальной.

В автореферате диссертации Попова А.А. отражено основное содержание диссертационной работы, а также выводы, сформулированные в ходе исследования. В частности, упоминаются подходы к аналитической экстракции параметров малосигнальных эквивалентных схем усилительных и переключающих СВЧ-транзисторов с применением электромагнитного анализа топологии. Для переключающего (коммутационного) транзистора, включенного по схеме с общим затвором, автором также предложен новый алгоритм, позволяющий определить физически обоснованные значения паразитных сопротивлений истока и стока эквивалентной схемы, при которых наблюдается минимальное отклонение рассчитанных S-параметров от экспериментально измеренных в широком диапазоне частот. Следует также отметить, что автором проведён детальный анализ уравнений относительно новой стандартизированной физической компактной модели ASM-HEMT, изначально предназначенной для нитрид-галлиевых транзисторов. Благодаря выполненному анализу были предложены поправки, позволяющие использовать данную модель для

расчёта малосигнальных и нелинейных характеристик GaAs pHEMT-транзисторов, что также подтверждено экспериментально.

В качестве замечаний следует указать на следующее:

1. Представляется излишним подробное освещение методики сдвига плоскостей калибровки. Эти методики являются давно известными, общепринятыми и необходимыми при экстракции параметров моделей СВЧ-элементов.

2. Из текста автореферата неясно, чем отличается предложенная методика построения модели ASM-HEMT от методик из официальной документации модели.

3. Работа представленной нелинейной модели транзистора показана «в точке» – при одной фиксированной ширине затвора транзистора с минимумом рассмотренных смещений. Проверка модели в нелинейном режиме освещена несколько неполно, нет данных о работе транзистора при большом сигнале ни в тракте 50 Ом, ни при переменной нагрузке.

В целом судя по автореферату в работе решены актуальные научные проблемы построения моделей СВЧ-транзисторов и повышения их точности, а приведенные замечания несколько не умаляют полноты и ценности диссертационной работы.

Диссертационная работа Попова Артема Александровича соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям по научной новизне и практической значимости по специальностям 1.3.5 – «Физическая электроника» и 2.2.14 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии», автор достоин присвоения учёной степени кандидата технических наук.

Филаретов Алексей Гелиевич

Кандидат физико-математических наук

Заместитель генерального директора по развитию

АО «Светлана-Рост»

Адрес: 194156, г. Санкт-Петербург, пр-кт. Энгельса, д. 27

Тел.: (812) 313-5451

Адрес электронной почты:

a.filaretov@svrost.ru



(подпись)

Филаретов Алексей Гелиевич

«24» апреля 2023 г.

подпись Филаретова  
Алексей Гелиевич  
Удостоверено  
АО «Светлана-Рост»  
г. Санкт-Петербург