

ДЕПАРТАМЕНТ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ
МИНИСТЕРСТВА ПРОМЫШЛЕННОСТИ И
ТОРГОВЛИ РФ

Государственная корпорация «Ростех», АО «ОПК»
АО «Российская электроника»,
АО «НПП «ПУЛЬСАР»,
Институт Радиотехники и Электроники
им. В.А. Котельникова РАН,
РТУ МИРЭА, НИЯУ МИФИ,
Институт Сверхвысокочастотной
полупроводниковой электроники РАН

**ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА.
СЛОЖНЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ
БЛОКИ РЭА**

*Материалы
XVI научно-технической конференции
посвящённой 70-летию
основания предприятия*

**18-19 октября 2023 г.
г. Москва**

УДК 621.38 : 621.3.049.77 : 621.382.049.77
ББК 32.85 + 32.852

ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА. СЛОЖНЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ БЛОКИ РЭА

Материалы научно-технической конференции

-М.: АО «НПП «Пульсар», 2023. - 169 с.

Сборник составлен по материалам докладов XVI Всероссийской научно-технической конференции "Твердотельная электроника. Сложные функциональные блоки РЭА" (г. Москва, 18-19 октября 2023 г.).

Материалы даны в авторской редакции.

Ответственные за выпуск:

Синкевич В.Ф., Каевицер Е.В., Шарапежникова Н.И.

Подписано в печать 10.10.2023
Формат 60x84¹/₁₆. Бумага офсетная № 1 - 65 гр.
Печ. л. – 13,38
Тираж 200 экз. Заказ № 94

Отпечатано в типографии АО «НПП «Пульсар»
г.Москва, Окружной проезд, д. 27

© АО «НПП «ПУЛЬСАР», 2023 г.

ЭКСТРАКЦИЯ ПАРАМЕТРОВ GaN HEMT ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ASM-HEMT С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТИМУЛЯТОРА NGSPICE

И.О. Метелкин, С.В. Миннебаев
АО «Микроволновые системы», г. Москва

Разработано программное обеспечение для восстановления параметров SPICE-моделей с использованием симулятора электрических схем Ngspice с открытым исходным кодом. Для GaN HEMT, разработанного в рамках верифицированного технологического процесса фаундри, восстановлена и интегрирована в коммерческие САПР модель ASM-HEMT. Проведен расчет и сравнение характеристик, полученных с использованием восстановленной модели и модели из состава комплекта средств проектирования, предоставляемого разработчиком технологического процесса.

Широкое применение GaN HEMT технологии для разработки РЭА приводит к необходимости наличия у разработчиков средств проектирования (PDK), обеспечивающих высокую степень достоверности прогнозирования характеристик СВЧ ИС [1]. Между тем, вследствие особенностей свойств как приборных слоёв, так и используемых подложек, полноценная характеристика GaN структур является трудоемкой задачей, требующей проведения различных видов исследований, не всегда осуществляемых на полупроводниковых фабриках [2]. В состав комплекта PDK, как правило, входят SPICE-модели с ограниченной областью применения, в ряде случаев, не отвечающих требованиям специфики разрабатываемых устройств. Таким образом, на этапах разработки СВЧ ИС, в ряде случаев, возникает необходимость разработки поставляемых фабриками средств проектирования либо разработки собственных [1]. Для отечественных предприятий решение данной задачи усложняется существующим ограничением доступа к необходимому импортному коммерческому измерительному оборудованию и программному обеспечению (ПО). В рамках данной работы разработано ПО для экстракции параметров SPICE-моделей, использующее SPICE-подобный симулятор Ngspice [3] с открытым исходным кодом, и проведена его апробация на примере GaN HEMT.

Разработанный программный модуль представляет собой библиотеку программных функций, обеспечивающих управление Ngspice с использованием интерфейса языка программирования Python для решения задач анализа влияния значений параметров SPICE-моделей элементов на характеристики электрических эквивалентных схем, включая:

- анализ состава SPICE-моделей, используемых в схеме;
- расчет характеристик эквивалентных схем с использованием указываемыми пользователем значениями параметров SPICE-моделей;
- обработка и визуализация результатов расчета и измерений.

Апробация разработанного модуля проведена на примере экстракции параметров модели ASM-HEMT [4], принятой в качестве стандарта моделирования коалицией по компактным моделям (Compact Modeling Coalition), для GaN HEMT из состава библиотеки верифицированного технологического процесса с проектной

нормой 0,25 мкм и топологической конфигурацией 10×150 мкм. Для этого с использованием разработанного модуля был реализован алгоритм, рекомендованный разработчиками модели и основанный на использовании результатов измерений вольт-амперных характеристик (ВАХ) в качестве исходных данных (рисунок 1).



Рис. 1

Алгоритм экстракции параметров ASM-HEMT на основе ВАХ[4]

С целью формирования исходных данных для экстракции проведены зондовые измерения и анализ ВАХ тестовых образцов GaN HEMT в импульсном режиме с длительностью импульса от 0,5 мс до 50 мс. В качестве контрольно-измерительного оборудования использовался анализатор параметров полупроводниковых приборов Keysight B1500A.

Согласно результатам измерений ВАХ, приведенным на рисунке 2, влияние импульсного режима начинает существенно сказываться при величине тока более 0,4 А, что, с учетом длительности импульса и характера изменения выходной проводимости, может объясняться эффектами саморазогрева. В этой связи в данной работе для экстракции параметров область высоких токов не использовалась.

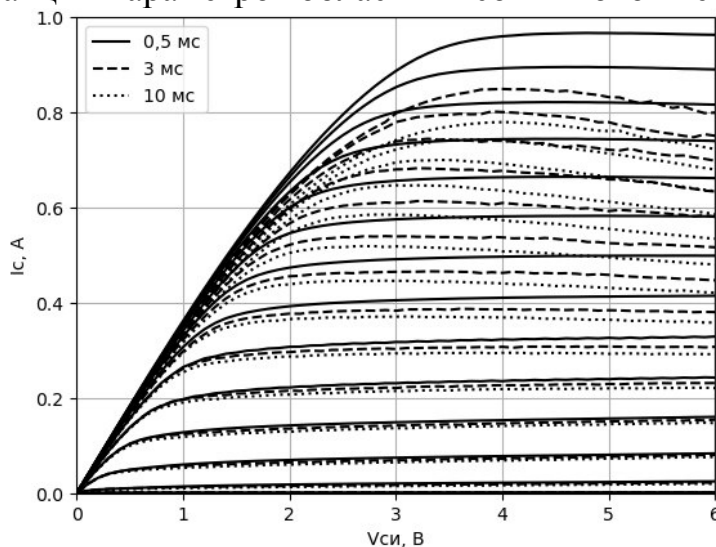


Рис. 2

Измеренные в импульсных режимах ВАХ тестовых структур GaN HEMT

После проведения экстракции полученная модель была интегрирована в коммерческий САПР и проведен расчет ВАХ, результаты которого вместе с результатами измерений приведены на рисунке 3. Наблюдаемые расхождения не превышают 10%, что позволяет сделать вывод о высокой степени соответствия результатов расчета с использованием коммерческого САПР и Ngspice.

По результатам сравнения расчетов ВАХ с использованием полученной модели и модели из состава комплекта PDK, предоставляемого разработчиком технологического процесса, установлено соответствие в области насыщения тока стока (рисунок 4).

Расхождения результатов расчета вызваны, главным образом, небольшими (не более 0,1 В) отклонениями напряжения отсечки, вызванными технологическим разбросом. Несоответствия выходных ВАХ при напряжении сток-исток менее 3 В могут объясняться влиянием сопротивления измерительного оборудования и использованием для разработки PDK характеристик, измеренных в импульсном режиме, при котором сказывается влияние ловушек в приборных слоях транзисторной структуры [2].

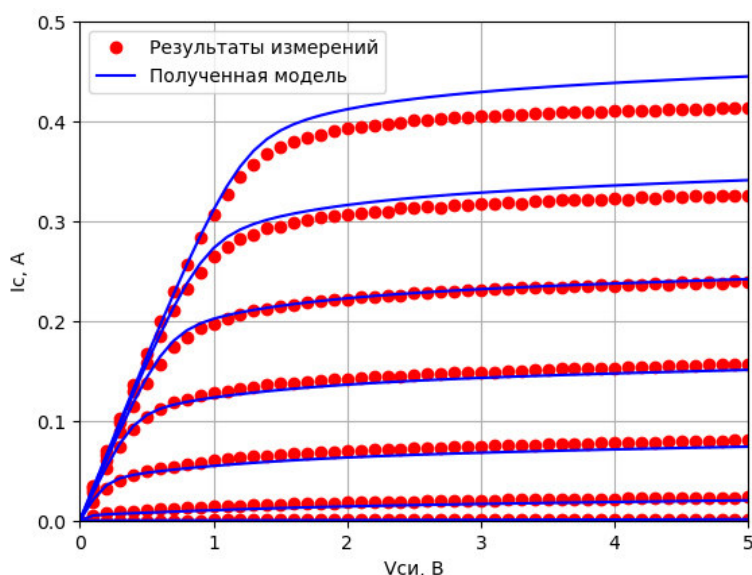


Рис. 3
Результаты расчета и измерений ВАХ

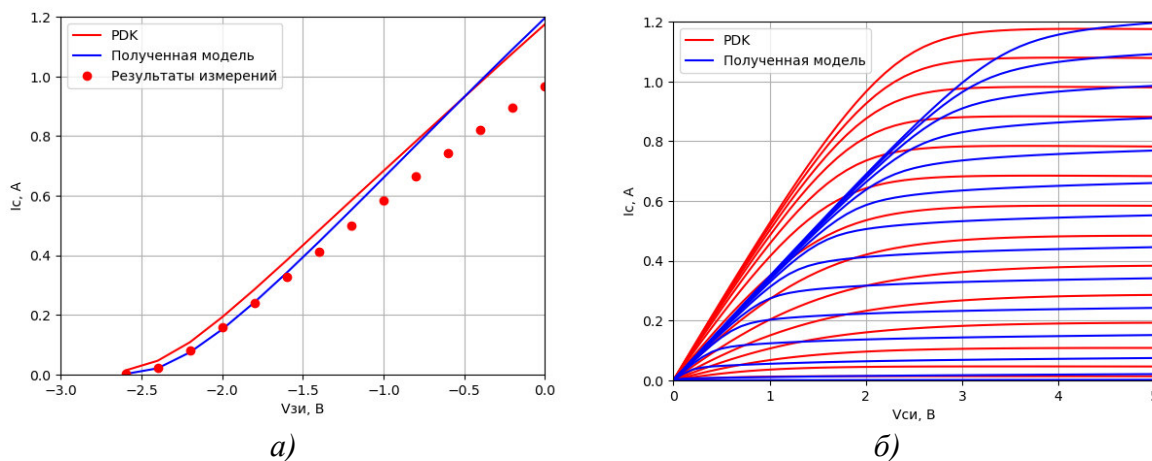


Рис. 4
Результаты расчета проходной (а) и выходной (б) ВАХ

Таким образом, в данной работе подтверждена возможность разработки SPICE-моделей GaN HEMT на основе ASM-HEMT с использованием симулятора Ngspice с открытым исходным кодом для применения при проектировании СВЧ ИС в коммерческих САПР.

1. Кондратенко А.В., Шишкин Д.А., Щербаков А.С., Миннебаев С.В. GaN МИС усилителя мощности X-диапазона с функцией контроля уровня выходной мощности // Тезисы докладов юбилейной научно-технической конференции АО «НПП «Исток» им. Шокина» «СВЧ-Электроника-2023». – 25-26 мая 2023 г. – С. 37-38.

2. Albahrani S. A., Mahajan D., Hodges J. and etc. ASM GaN: Industry Model for GaN RF and Power Devices - Part-II: Modeling of Charge Trapping // IEEE Transactions on Electron Devices, 2019, vol. 66, no. 1, pp. 87-94.

3. Vogt H., Atkinson G., Nenzi P., Warning D. NgSpice User's Manual [Электронный ресурс] URL: <https://ngspice.sourceforge.io/docs/ngspice-41-manual.pdf> (дата обращения: 08.09.2023).

4. Khandelwal S., Chauhan Y. S., Fjeldly T. A. and etc. ASM GaN: Industry standard model for gan rf and power devices—part 1: DC, CV and RF model // IEEE Transactions on Electron Devices, 2019, vol. 66, no. 1, pp. 80-86.