

Проектирование МИС ГУН Ка-диапазона по технологии UMS PH15 в САПР Keysight ADS с использованием доступа к внутренним данным модели рHEMT в составе PDK

Представлен подход к проектированию МИС ГУН СВЧ, основанный на расчете управляемой составляющей тока внутреннего стока и управляющего напряжения внутренний затвор - внутренний сток модели рHEMT в составе PDK техпроцесса PH15 компании UMS для САПР Keysight ADS. Основным достоинством подхода являются возможность обеспечения фазирования проектируемого автогенератора с целью снижения фазовых шумов, а также возможность расчета фактора регенерации.

Ключевые слова: ГУН, проектирование МИС СВЧ, фазовый шум

При проектировании монолитных интегральных схем (МИС) ГУН СВЧ является важным иметь возможность моделирования не только основных внешних характеристик (зависимостей частоты, выходной мощности и фазовых шумов от напряжений питания, и управления и т.д.), требования к которым задаются в ТЗ, но и ряда характеристик, относящихся к внутренним частям моделей генераторных транзисторов. К таким наиболее важным с точки зрения процесса проектирования ГУН характеристикам, в первую очередь, относятся временная зависимость управляемой составляющей тока внутреннего стока (коллектора) и частотные характеристики управляющего сопротивления - передаточного сопротивления от управляемого генератора тока внутреннего стока (коллектора) на управляющую по напряжению ветвь внутренний затвор (база) – внутренний исток (эмиттер) [1,2].

Однако фирмы-производители МИС СВЧ, как правило, не включают состав PDK компоненты, позволяющие выполнять такой расчет, – в качестве моделей транзисторов используются компоненты, включающие, в том числе, RLC-модель выводов, но не имеющие доступа к внутренним напряжениям и токам.

Тем не менее, в сопроводительной документации по техпроцессу обычно приводится полное математическое описание моделей транзисторов в составе PDK. Опираясь на это описание, в используемой САПР можно создать специальные схемные компоненты, при помощи которых становится возможным расчет характеристик управляемой составляющей тока внутреннего стока и управляющего сопротивления.

В данной работе приводятся основанные на изложенном выше подходе результаты моделирования МИС автогенератора (АГ) с частотой 40 ГГц в САПР Keysight ADS с использованием PDK техпроцесса PH15 франко-германской компании UMS (технология рHEMT 150нм).

На рис. 1 и рис. 2 приведены предложенные схемы компонентов в САПР ADS, обеспечивающих доступ к внутренним токам и напряжениям модели рHEMT в составе используемого PDK. Они выполнены по принципу нейтрализации пассивных элементов модели выводов и нейтрализации управляемого источника тока путем включения

аналогичного дополнительного управляемого источника в противофазе, с последующим включением независимого источника тока для получения характеристик управляющего сопротивления. При расчете управляющего сопротивления также предусмотрена опция нейтрализации наклона выходных характеристик в пологой области с целью возможности оценки его влияния на запас по самовозбуждению.

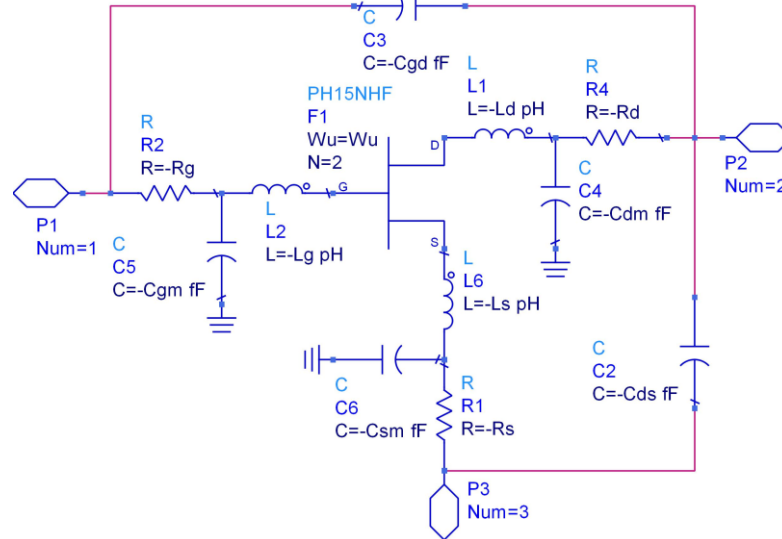


Рис. 1. Схема нейтрализации компонентов модели выводов

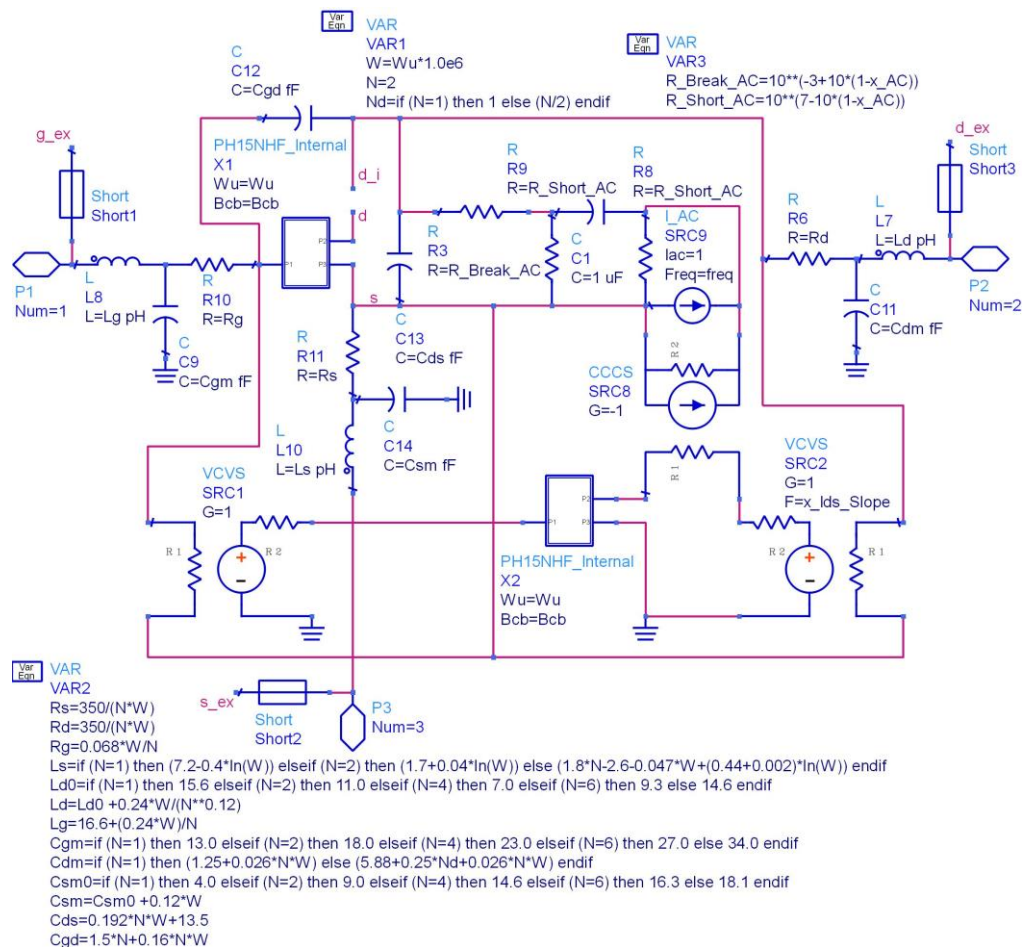


Рис. 2. Схема формирования доступа к внутренним напряжениям и токам модели рHEMT с возможностью расчета управляющего сопротивления

Топология разработанного автогенератора показана на рис. 3. Размер кристалла 1x1 мм, номиналы компонентов схемы $C1=C3=0,5$ пФ, $C2=1$ пФ, $R1=1$ кОм, $R2=120$ Ом, $R3=7$ Ом, $R4=3$ кОм. На рис. 4 приведены характеристики вещественной составляющей петлевого усиления и фазы управляющего сопротивления, полученные путем моделирования с использованием предложенного подхода. По характеристикам такого типа в процессе разработки обеспечиваются требуемый запас по самовозбуждению, выполнение фазирования автогенератора по линейной модели (точка баланса фаз должна находиться в окрестности точки максимальной крутизны ФЧХ управляющего сопротивления) и выполнение условия отсутствия самовозбуждения на паразитных модах.

На рис. 4 приведены осциллограмма тока стока и осциллограмма управляемой составляющей тока внутреннего стока, полученные с использованием предложенного подхода. Осциллограмма управляемой составляющей тока внутреннего стока позволяет при разработке ГУН контролировать такие важные позиции, как обеспечение требуемого фактора регенерации и обеспечение фазирования.

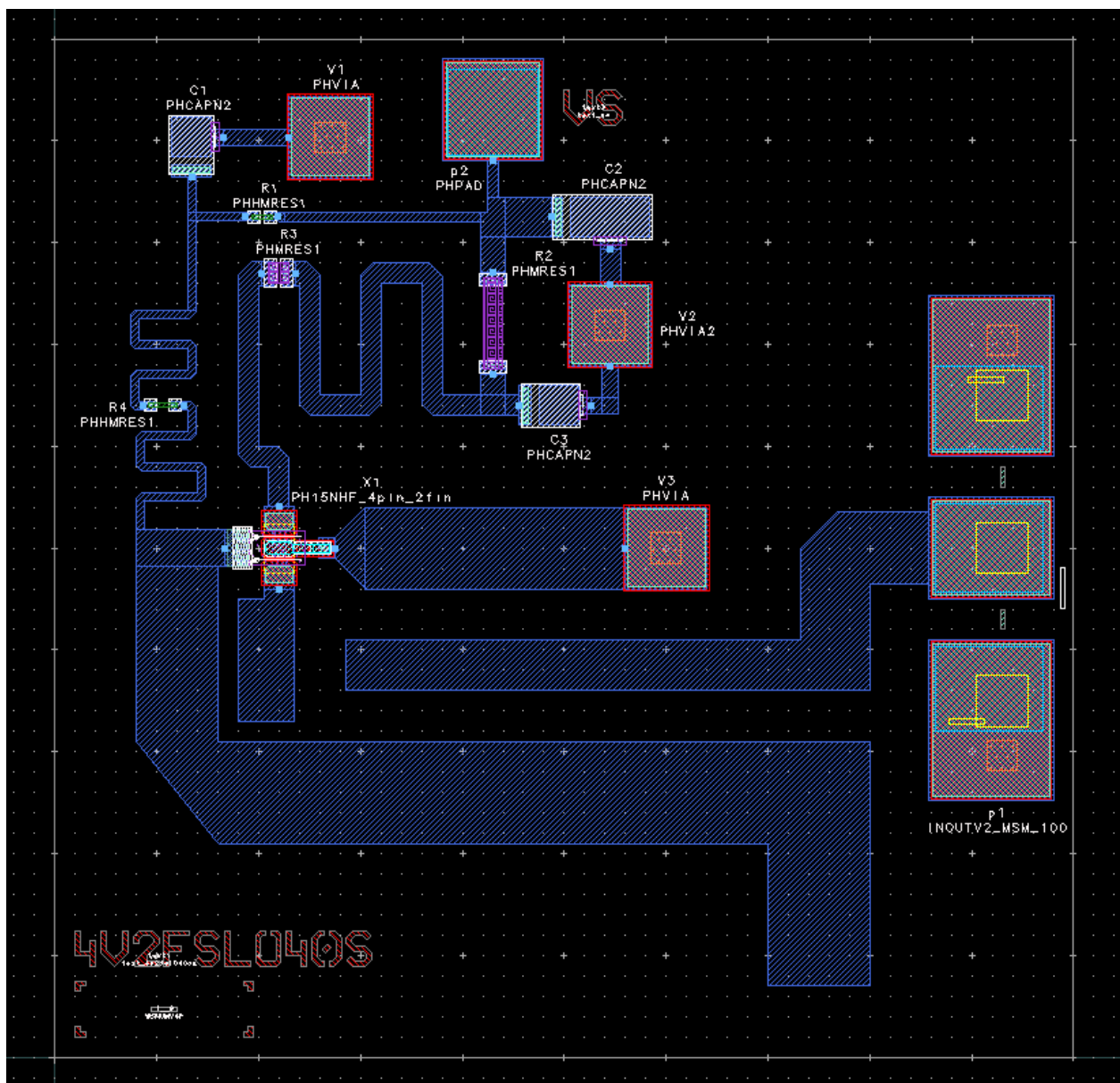


Рис. 3. Топология автогенератора

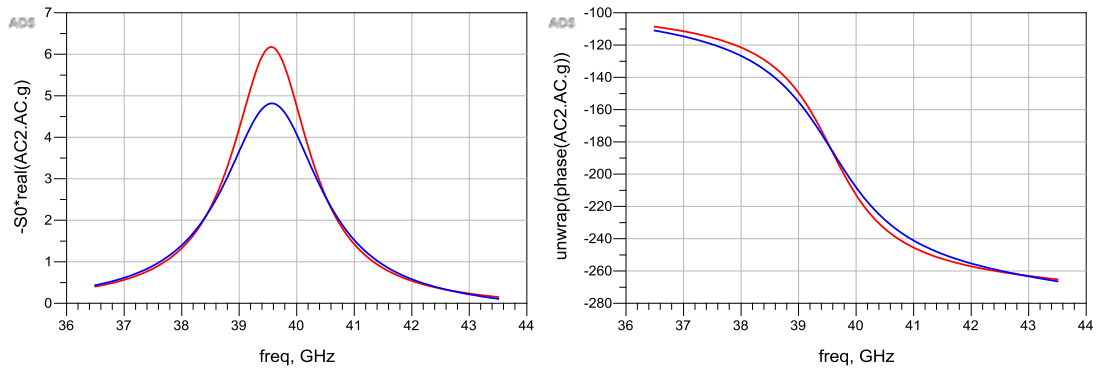


Рис. 4. Частотные характеристики вещественной части петлевого усиления (а) и фазы управляющего сопротивления (б) (Красные линии – без учета наклона выходных статических характеристик, синие – с учетом)

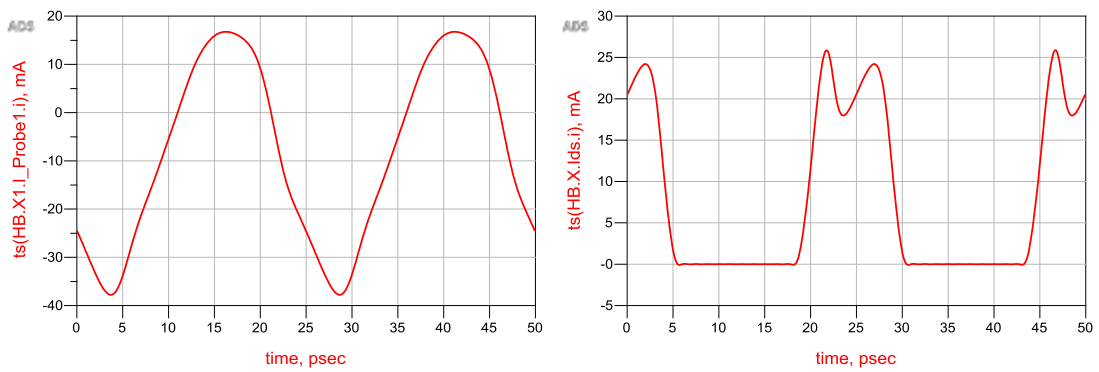


Рис. 5. Осциллограмма тока стока (а) и управляемой составляющей тока внутреннего стока (б)

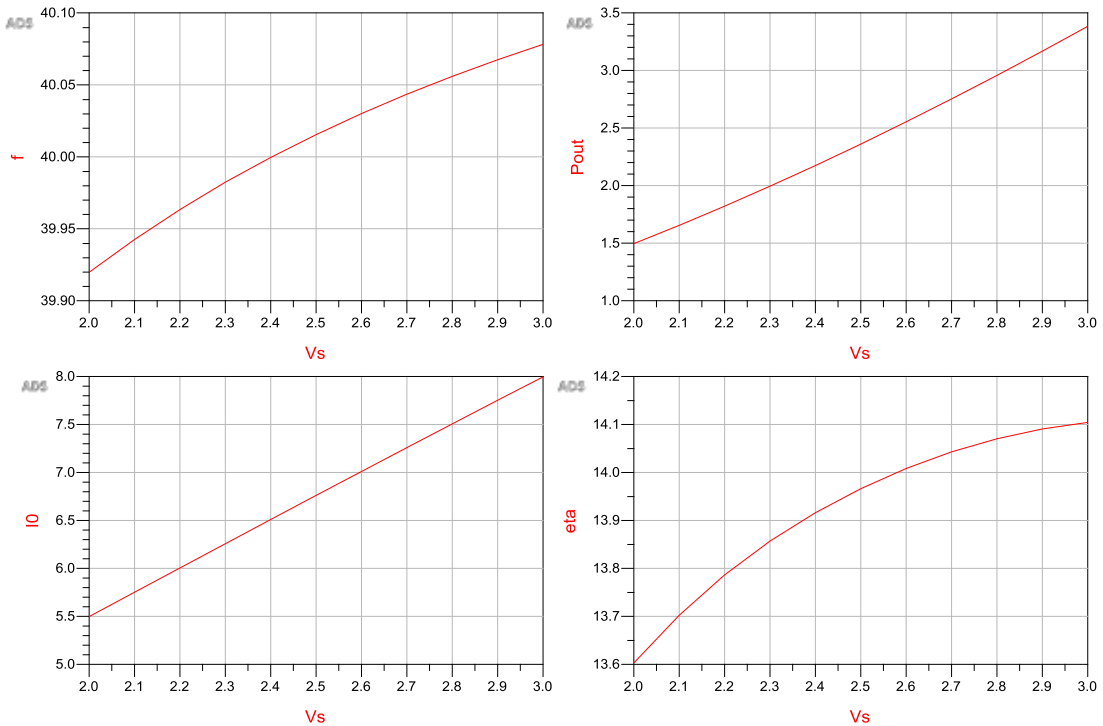


Рис. 6. Зависимости частоты (а), выходной мощности, потребляемого тока и КПД от напряжения питания

Применительно к рассматриваемому генератору осциллограмма показывает, что фазирование АГ обеспечено на достаточно хорошем уровне (основной импульс тока является симметричным и провал в импульсе расположен по центру). Обеспечение фазирования является необходимым условием минимизации коэффициента фазового шума автогенератора [3].

На рис. 6 показаны зависимости частоты, мощности в нагрузке, потребляемого тока и КПД от напряжения питания рассматриваемого автогенератора. Моделирование проводилось методом баланса гармоник с косимуляцией пассивной части топологии МИС методом моментов [4].

Описанный в работе подход может быть использован для проектирования не только интегральных, но и гибридных ГУН, в которых в виде МИС выполняется активная часть с управляемым реактансом, а в качестве основного частотнозадающего элемента используется внешний резонатор.

Заметим в заключение, что при рассматриваемом подходе к проектированию альтернативой использованию компонентов, схемы которых представлены на рис. 1-2, может служить создание собственного компонента транзистора по приводимому фабрикой описанию его модели. Такой компонент в пакете ADS может быть реализован либо с использованием компонентов SDD (Symbolically Defined Devices) [4], позволяющих задавать модели произвольных динамических систем, не содержащих распределенной нелинейности, либо посредством технологии User Compiled Models [4].

Библиографический список

1. Кулешов В.Н., Перфильев А.А. Полигармонический анализ естественных флуктуаций в СВЧ автогенераторах на биполярных транзисторах. «Вестник МЭИ», № 1, 2004 г., с. 57-63.
2. Кулешов В.Н., Болдырева Т.И., Перфильев А.А. Расчет флуктуаций амплитуды и фазы в автогенераторах, управляемых напряжением. «Электросвязь», 2005, N 6, С. 27-29.
3. Перфильев А.А. Коэффициент фазового шума автогенератора и его использование при проектировании малозумящих источников колебаний. «Радиотехника», № 10, 2013 г., с. 48-50.
4. Онлайн документация по системе автоматизированного проектирования Keysight ADS [Электронный ресурс]. URL: <http://edadocs.software.keysight.com/display/support/ADS+Product+Documentation>