

В.А.Дмитриев, А.М.Осипов

МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЧ ТРАНЗИСТОРОВ МЕТОДОМ ЭКСТРАПОЛЯЦИИ S-ПАРАМЕТРОВ

The paper deals with the engineering method of modeling SHF of the gallium arsenide field-effect Schottky transistors. The method makes it possible to produce the designed device structural model on the base of non-structural models of series transistors.

Введение

Широкое развитие технических средств связи на высоких и сверхвысоких частотах требует применения средств автоматизированного проектирования при их разработке.

Современная система автоматизированного проектирования являются сложным и дорогостоящим комплексом, зачастую состоящим не только из пакета рабочих программ, но и включающим в себя аппаратный комплекс для измерения параметров различных устройств.

Важнейшими вопросами, особенно при самостоятельной разработке СВЧ устройств, в частности МИС СВЧ усилителей, являются моделирование схем и моделирование параметров СВЧ транзисторов.

Моделирование может обеспечить первое приближение функциональных возможностей и характеристик схемы при различных входных и выходных условиях до передачи конструкции на изготовление. Так как большинство моделирующих программ включают возможности оптимизации, схемы могут быть отлажены и в некоторых случаях синтезированы на соответствие требуемым спецификациям, что значительно сокращает цикл конструирования.

В то же время процесс построения модели схемы предполагает наличие моделей исходных элементов — пассивных и активных. Сами методы анализа структуры СВЧ схем разработаны достаточно давно и базируются на серьезном математическом аппарате. Эти методы реализованы в таких системах проектирования СВЧ устройств, как Microwave Harmonica, Microwave Explorer, Success, Serenada фирмы Compact Software (Ansoft Inc), Libra (в составе HP Advanced Design System) фирмы HP EEsof, Microwave Office фирмы Applied Wave Research.

Общие вопросы построения моделей СВЧ ПТШ

Перечисленные системы позволяют проводить проектирование различных СВЧ устройств и содержат большое количество моделей исходных элементов. Однако если модели пассивных элементов после незначительных изменений можно привести в соответствие с реальными структурами, получаемыми в процессе производства СВЧ МИС, то модели активных элементов (транзисторов) основываются на импортных аналогах, изготавливаемых по другим технологиям. Поэтому возникает необходимость отдельного производства СВЧ транзистора и его исследования, после чего по измеренным параметрам четырехполюсника возможно построение модели.

При расчете и анализе транзисторных схем СВЧ наиболее часто используются два типа моделей: структурная модель, основанная на эквивалентной схеме транзистора, и бесструктурная модель, представляющая собой транзистор в виде эквивалентного четырехполюсника.

Преимуществом структурной модели является высокая информативность: эквивалентная схема позволяет установить связь между ее элементами и характеристиками транзистора.

Бесструктурная модель транзистора менее информативна, она строго справедлива лишь на одной частоте. Для определения частотной зависимости параметров транзистора надо провести измерения на разных частотах. Однако бесструктурные модели более достоверны, поскольку их параметры могут быть измерены значительно точнее, чем параметры эквивалентной схемы. СВЧ транзистор как эквивалентный четырехполюсник может быть описан, например, Y - или H -параметрами, которые обычно используются на относительно низких частотах. Но для измерения этих параметров необходимо обеспечить режимы холостого хода и короткого замыкания, трудно осуществимые на сверхвысоких частотах из-за влияния паразитных элементов схемы. Поэтому чаще для описания используются параметры матрицы рассеяния или S -параметры, измеряемые в линиях с согласованными нагрузками, что на сверхвысоких частотах реализуется наиболее просто. Расчет узлов обычно производится с использованием бесструктурной модели транзистора на S -параметрах. При необходимости бесструктурная модель может быть дополнена структурной моделью. Обе модели взаимосвязаны: по S -параметрам транзистора, измеренным на нескольких частотах, можно определить (или уточнить) элементы его эквивалентной схемы, и, наоборот, известная эквивалентная схема позволяет рассчитать S -параметры на любой частоте диапазона, в котором эта схема корректна.

Разработка структурных моделей полевых транзисторов с барьером Шотки (ПТШ) началась практически сразу же после создания транзисторов. В настоящее время известно большое количество подобных моделей, как линейных, так и нелинейных. Значительная часть моделей не является универсальными, т.е. с достаточной точностью позволяют определять лишь некоторые, наиболее важные в отношении применения параметры транзисторов. Этот подход позволяет существенно упростить используемые модели, а также методы их оптимизации.

С этой точки зрения интересной является модель Рута (Root), эквивалентная схема которой показана на рис.1, обеспечивающая наибольшую точность расчетов. Эта модель, основанная на табличных данных, отличается от традиционных тем, что она математически генерируется непосредственно из экспериментальных данных без применения процессов оптимизации. Специалисты Hewlett Packard используют эту модель в качестве базовой [см. лит].

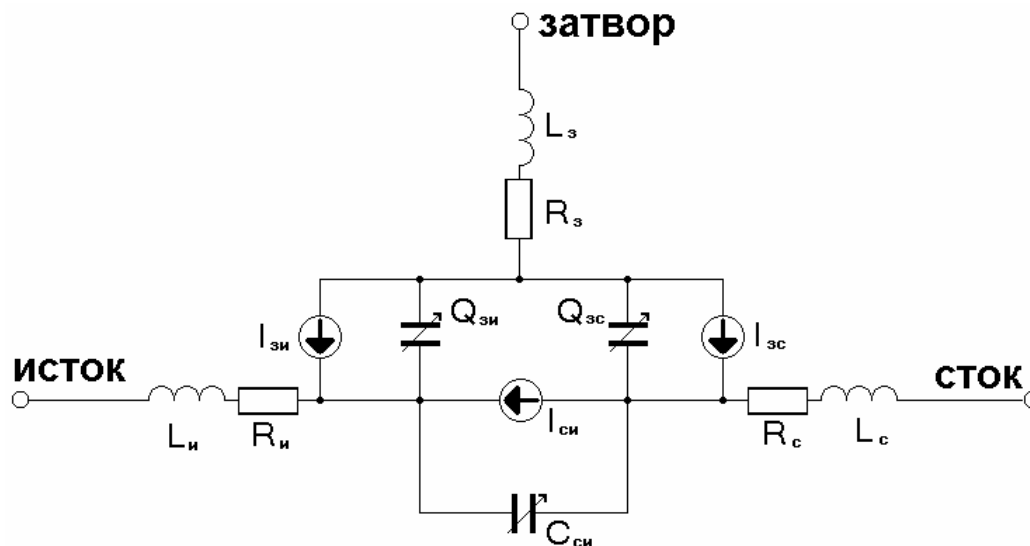


Рис.1. Эквивалентная схема модели Рута

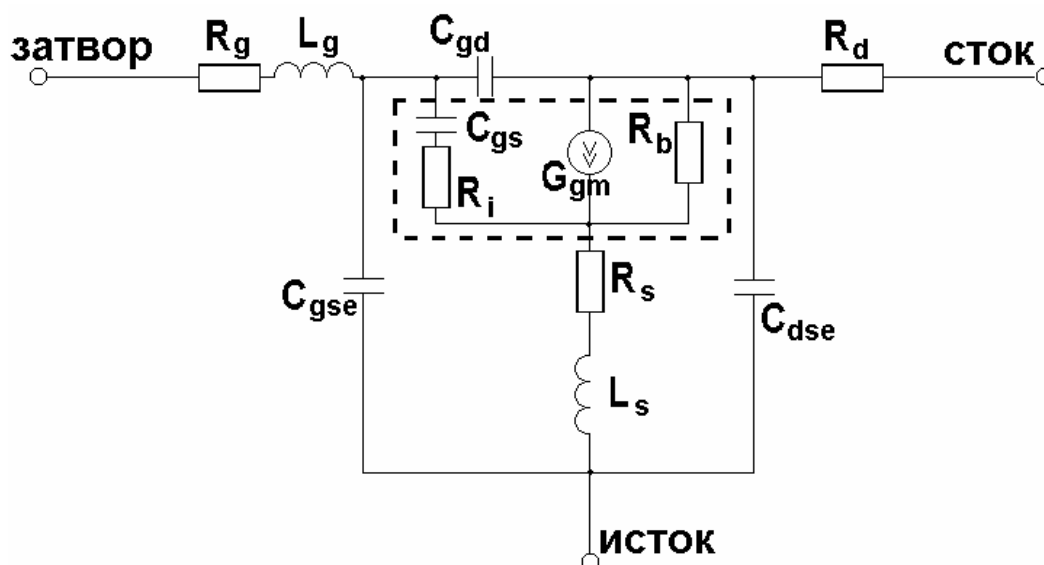


Рис.2. Эквивалентная схема СВЧ ГТШ

Обычно же усилительные свойства полевого транзистора на высоких частотах исследуется при помощи эквивалентной схемы, изображенной на рис.2. Здесь элементы схемы, обведенные пунктиром, определяются физикой работы транзистора, остальные — несовершенством технологии и конструкции прибора.

Восстановление модели проектируемого транзистора методом экстраполяции

Для расчетов параметров СВЧ ГТШ на арсениде галлия нами используется программа FETCAD, позволяющая на основе физико-топологических параметров получить выходные параметры транзистора. Программа хорошо зарекомендовала себя при разработке СВЧ маломощных транзисторов частотного диапазона 1÷18 ГГц с длиной затвора 0,5÷0,8 мкм, позволяя с достаточной точностью рассчитывать СВЧ параметры приборов. Она же дает возможность рассчитывать и S -параметры транзисторов.

В ходе экспериментальных работ были проведены замеры СВЧ параметров, в том числе S -параметров, транзисторов, серийно выпускаемых ЗАО «НПП «Планета-Аргалл». Оказалось, расчетные параметры не полностью согласуются с экспериментальными, причем с ростом частоты измерения расхождение увеличивается. При более детальном анализе было выяснено, что модель, заложенная в FETCAD, корректно работает и выдает правдоподобные результаты лишь при отношении глубины канала к длине затвора $\leq 1/4$ («длинный» канал). А у серийно выпускаемых СВЧ транзисторов это отношение составляет примерно 1/2 при длине затвора 0,25-0,3 мкм.

Восстановление параметров эквивалентной схемы для СВЧ транзисторов, изготавливаемых по новой технологии, проводилось по результатам измерений S -параметров серийных приборов с различной шириной затвора. По измеренным значениям составлены частотные зависимости S -параметров от ширины затвора (рис.3,4). Это дало возможность восстанавливать параметры эквивалентных схем транзисторов с различной шириной затвора до запуска прибора в производство, т.е. восстанавливать параметры структурной модели прибора путем ее оптимизации по параметрам бесструктурной модели, полученной путем экстраполяции измеренных параметров серийных приборов. Такой подход вполне обоснован, так как серийные приборы изготавливаются по единой технологии и конструктивно единообразны.

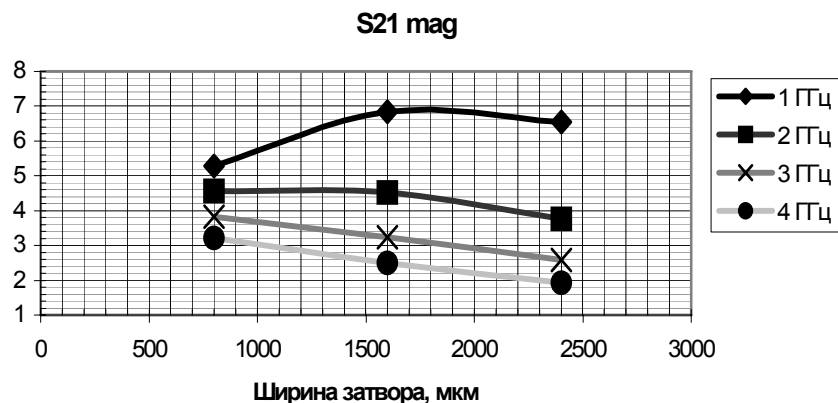


Рис.3. Частотная зависимость параметра S21 mag от ширины затвора

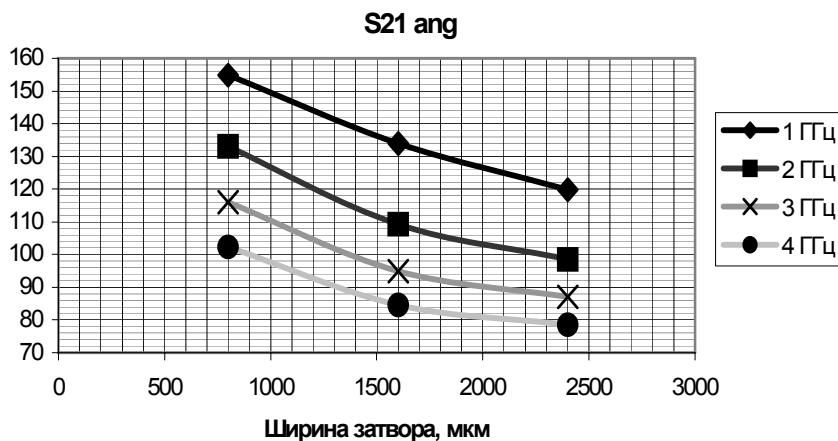


Рис.4. Частотная зависимость параметра S21 ang от ширины затвора

Выводы

Таким образом, опробован инженерный метод моделирования СВЧ транзисторов, позволяющий достаточно быстро получить структурную модель проектируемого прибора на основе бесструктурных моделей серийных транзисторов.

Необходимо отметить, что данный метод работает только для конкретной технологии изготовления СВЧ транзисторов и привязан к конкретной конструкции прибора, что ограничивает его полезность для научно-исследовательских работ, однако вполне применимо для условий серийного производства.