

ПРЕИМУЩЕСТВА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО АНАЛИЗА В ПРОЕКТИРОВАНИИ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ К-ДИАПАЗОНА ДЛЯ СИСТЕМ НАВИГАЦИИ

Спутниковая связь К/Ка-диапазона может обеспечить постоянный и надежный доступ к информации, что заставляет такие компании, как Facebook, Amazon, Inmarsat и SpaceX, инвестировать в развитие применения этой области спектра для мировых широкополосных сервисов. SpaceX, к примеру, планирует запустить 4425 спутников для разворачивания системы связи Ка-диапазона.

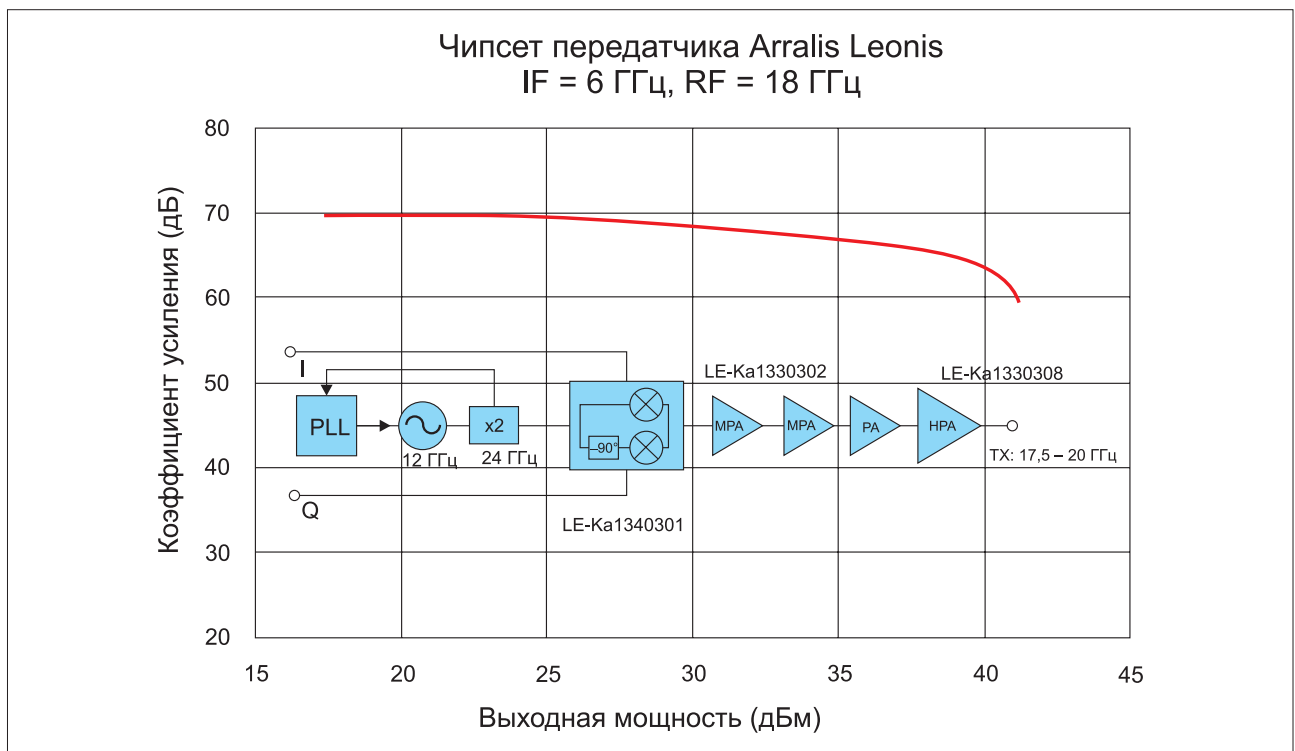
Такие системы во многом зависят от разработки эффективных усилителей высокой мощности, являющихся конечным звеном высокочастотных трактов, составленных из передовых компонентов спутникового базирования. Чипсет Leonis производства Arralis, изначально разработанный в составе программы ARTES Европейского космического агентства, предназначен для эффективного решения задач проектирования спутниковых систем К/Ка-диапазона.

Чипсет включает схемы смесителей (квадратурный и субгармонический), преобразователей вверх и вниз, переключателей, фазовращателей, малошумящих усилителей и усилителей мощности. В основе чипсета лежит монолитная интегральная схема высокой мощности LE-Ka1330308, изготовленная по сертифицированной для космической отрасли 0,25-мкм технологии нитрида галлия на карбиде кремния (GaN/SiC).

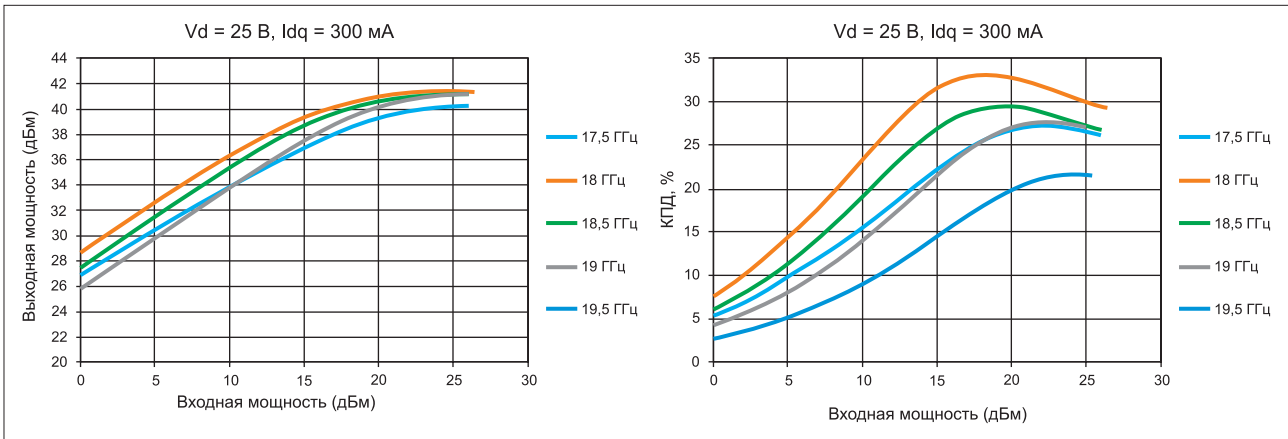
Arralis успешно разработала приемопередатчик для восходящей и нисходя-

щей передачи данных. На рис. 1 представлены архитектура передатчика с интегрированным усилителем мощности и его характеристики.

Применение нитридной технологии позволяет Arralis обеспечить более высокий КПД, удельную мощность и теплопроводность по сравнению с аналогичными компонентами на арсениде галлия (GaAs). К тому же GaN позволяет работать при более высоких температурах без потерь в эксплуатационной надежности, что особенно важно для космической от-



▲ Рис. 1. Микросхема Arralis Leonis для бюджетных систем навигации К/Ка-диапазона



▲ Рис. 2. Выходная мощность (дБм) и КПД (%) в зависимости от входной мощности в диапазоне частот 17,5–19,5 ГГц

расли. Термографические измерения показали, что кристалл обладает тепловым сопротивлением 2,62 °С/Вт, обеспечивая оценочное время работы в 5×10^7 ч.

LE-Ka1330308 предназначен для работы в диапазоне 17,5–20 ГГц и обеспечивает 10 Вт выходной мощности в режиме насыщения при КПД 25% и коэффициенте усиления 20 дБ в режиме большого сигнала, помещаясь при этом в компактный корпус 3,7×3,0 мм (рис. 2). Трехкаскадная МИС усилителя, изготовленная United Monolithic Semiconductors (UMS) по 0,25-мкм техпроцессу GH25–10 (GaN/SiC), согласована по выходу и входу на 50 Ом и включает блокирующие конденсаторы на ВЧ-портах и детектор выходной мощности для упрощения интеграции МИС в систему.

Процесс проектирования построен на применении специализированной среды NI AWR Design Environment, включа-

ющей Microwave Office для схемотехнического и топологического проектирования, электромагнитный (ЭМ) симулятор AXIEM для моделирования планарных структур (цепь питания МИС, пассивные компоненты кристалла, тестовая печатная плата) и ЭМ-симулятор Analyst™ для 3D-анализа корпуса. Программное обеспечение действует с моделями активных и пассивных компонентов, представленными фабрикой в виде библиотеки техпроцесса (PDK), разработанной при сотрудничестве NI и UMS.

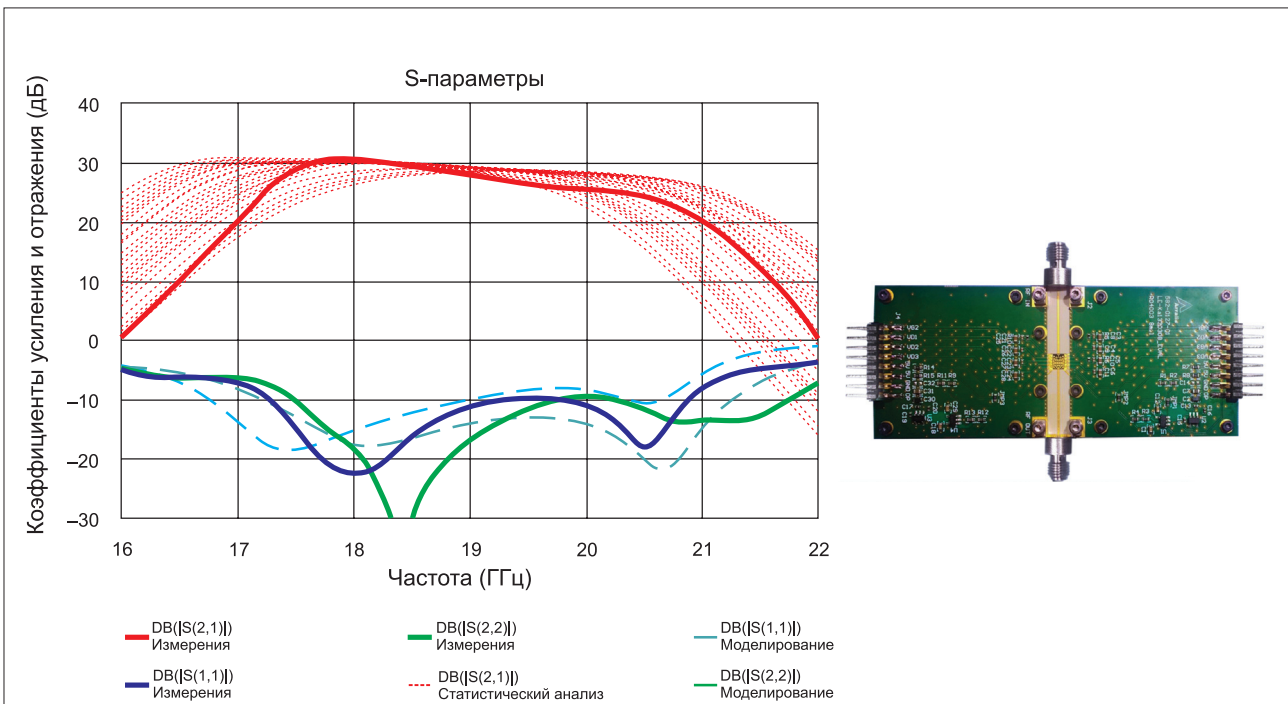
Кристалл МИС был представлен в виде верифицированной фабрикой схемной модели, позволившей разработчикам с высоким уровнем достоверности предсказать и оптимизировать ключевые характеристики.

На рис. 3 приводится сравнение между результатами моделирования и измерений параметров рассеяния устройства

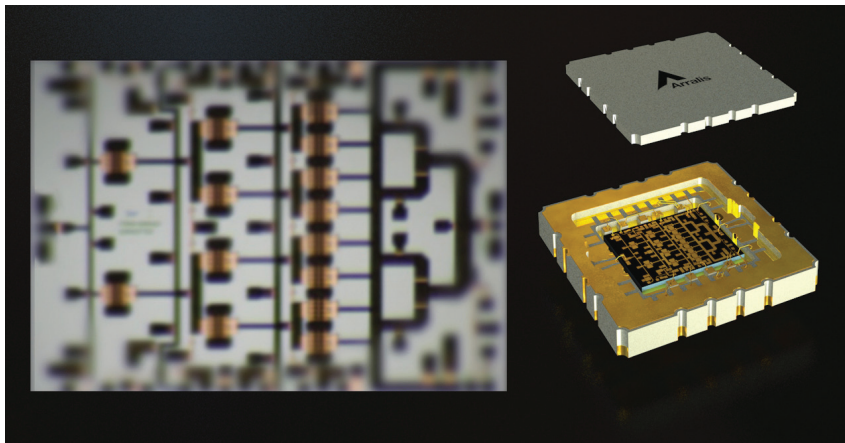
(S-параметров). На графике также представлены результаты статистического анализа вариации коэффициента усиления с учетом допусков техпроцесса. Измеренные значения коэффициента усиления находятся предсказанных симуляцией границах.

Для исключения паразитных эффектов и учета нежелательных взаимодействий между компонентами были проведены ЭМ-анализ и оптимизация на уровне подсхем и компонентов. На заключительных стадиях процесса проектирования выполнен более глубокий и масштабный ЭМ-анализ в качестве итоговой верификации и проверки учета всех возможных взаимодействий в схемах. Симулятором выбора для этих задач был AXIEM.

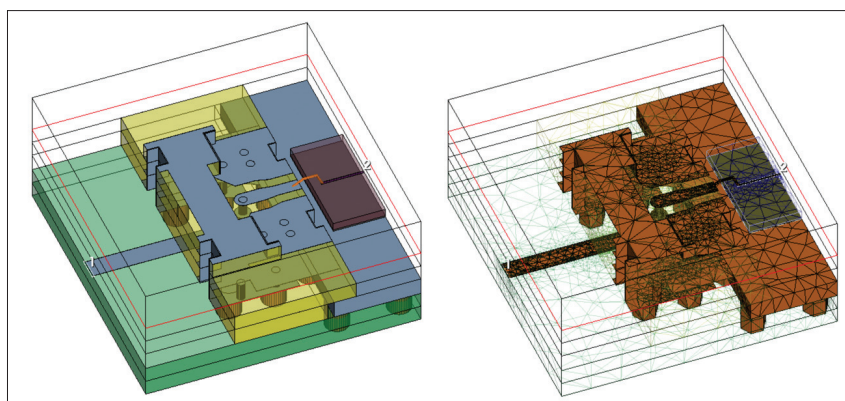
Методы моделирования, примененные фабрикой, верифицированы при помощи проработанной и выверенной



▲ Рис. 3. Результаты моделирования с учетом статистического анализа (yield) в сравнении с результатами измерений опорной платы LE-Ka1330308 (справа) в режиме малого сигнала. Жирным линиям соответствуют результаты измерений



▲ **Рис. 4.** Предлагаемый корпус (Kyocera SGMR-B1193) для усилителя мощности. Изображение предоставлено Kyocera Corporation



▲ **Рис. 5.** Моделирование переходной области в 3D-электромагнитном симуляторе по методу конечных элементов Analyst

годами процедуры оценки соответствия модели параметрам техпроцесса, обеспечивающей предоставление наиболее достоверных моделей, соответствующих семейству полупроводниковых техпроцессов фабрики. Получаемые нелинейные модели учитывают множество эффектов, включая саморазогрев транзистора и влияние ловушечных состояний. Помимо оценки электрических параметров, UMS проводит подробное изучение термаль-

ных характеристик устройства и других динамических эффектов для улучшения качества моделирования нелинейных компонентов.

Следующим этапом стала разработка корпусированной МИС; наличие корпуса значительно упрощает внедрение устройства в проектируемую систему. В данном случае выбор пал на корпус Kyocera SGMR-B1193: коммерчески доступный керамический корпус типа QFN размером 7×7 мм (рис. 4). Этот корпус герметичен

и позволяет с запасом разместить кристалл с конденсаторами развязки и одновременно сократить длину сигнальных разварок. Согласованный по коэффициенту температурного расширения радиатор из сплава молибден-медь должен обеспечить надежный отвод тепла.

На рис. 5 показана переходная область, промоделированная в ЭМ симуляторе Analyst для минимизации возвратных потерь из-за рассогласования импеданса между МИС, корпусом и тестовой платой. Анализ показывает, что переход хорошо согласован (уровень вносимых потерь 0,25 дБ), что в итоге приведет к уменьшению коэффициента усиления на 0,5 дБ и мощности на 0,25 дБ по сравнению с некорпусированным устройством.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Инженеры компании Arralis продемонстрировали успешный проект чипсета К/Ка-диапазона, включающий 10-Вт усилитель высокой мощности, для применения в системах спутниковой связи. Для проектирования МИС трехкаскадного усилителя использовался современный и рекомендованный для аэрокосмической области техпроцесс компании UMS (0,25-мкм GaN/SiC), а процесс проектирования поддерживался качественными программными моделями, верифицированными самой фабрикой, и мощным пакетом автоматизированного проектирования NI AWR Design Environment. В рамках проекта были продемонстрированы архитектуры приемопередатчиков на основе данного чипсета и интегрированного усилителя мощности. Разработчики также показали возможность интеграции кристалла в подходящий корпус средствами программного пакета NI AWR; компания предполагает начать поставки готовой продукции в начале 2020 года. ■