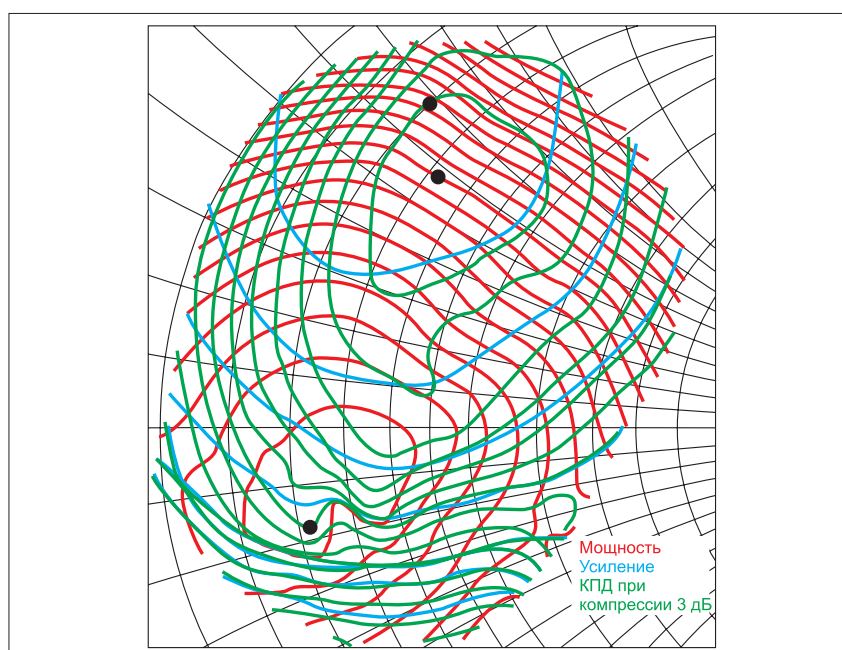


GaN-ТРАНЗИСТОР МОЩНОСТЬЮ 1,8 кВт ДЛЯ АВИАНИКИ L-ДИАПАЗОНА

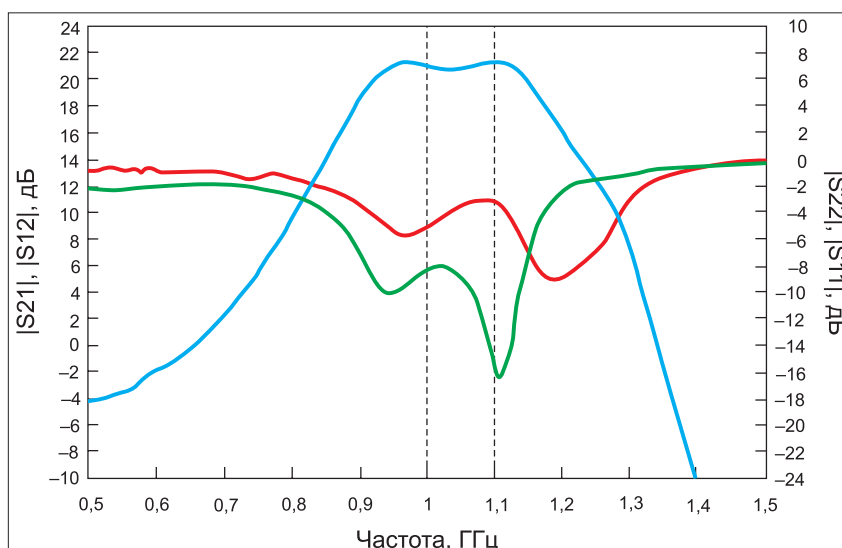
Компания Qorvo разработала новый нитрид-галлиевый (GaN) транзистор, выполненный на подложке из карбида кремния (SiC), а именно — транзистор QPD1025 мощностью 1,8 кВт специально адаптированный для применения в системах авиационной радионавигации, работающих в пределах L-диапазона.

В мире мощных усилителей гонка в увеличении уровня отдачи мощности от одного корпусированного транзистора никогда не заканчивается. Переход от усилителей, состоящих из нескольких небольших по мощности транзисторов, к одному мощному компоненту упрощает сборку и внешнюю обвеску, поскольку не требует принятия мер к суммированию мощности, что неизбежно при использовании менее мощных несогласованных устройств, а следовательно, уменьшает занимаемую площадь и объем усилителя мощности. Отвечая на требование по максимизации мощности, достигаемой от одного устройства, компания Qorvo разработала новый нитрид-галлиевый (GaN) транзистор QPD1025 мощностью 1,8 кВт, выполненный на подложке из карбида кремния (SiC) и специально адаптированный для применения в системах авиационной радионавигации, действующих в пределах L-диапазона.

Диапазон рабочих частот двоянно-го транзистора QPD1025 составляет 1,0–1,1 ГГц. При напряжении питания 65 В каждый из транзисторов обеспечивает максимальную выходную мощность на частоте 1 ГГц не менее 900 Вт (рис. 1), что дает суммарную мощность, равную 1,8 кВт. В настоящее время QPD1025 — это самый мощный GaN-транзистор из коммерчески доступных на рынке полупроводниковых приборов данного класса и диапазона частот. Максимальная эффективность (КПД), измеренная по стоку при согласованной нагрузке (load-pull), составляет не менее 77%. Линейный коэффициент усиления, измеренный на доступной оценочной плате (QPD1025EVБ1), составляет 21 дБ (рис. 2). Транзистор QPD1025 выполнен в корпусе типа NI-1230 размером 41×10 мм, который поставляется в двух конфигурациях: с фланцами — QPD1025L и без — QPD1025 (рис. 3).



▲ Рис. 1. Нагрузочные кривые (на диаграмме Смита) для согласованной нагрузки на одиночный транзистор QPD1025, измеренные на частоте 1 ГГц с радиоимпульсом (импульс с заполнением несущей) длительностью 100 мкс при 10%-ном рабочем цикле. Максимальная мощность составляет 59,7 дБм, максимальный КПД на стоке — 77,2%, максимальное усиление — 19,6 дБ



▲ Рис. 2. S-параметры транзисторов QPD1025 в режиме малого сигнала, измеренные на оценочной плате при температуре +25 °С, демонстрирующие характеристики транзисторов за пределами рабочей полосы частот 1,0–1,1 ГГц



▲ Рис. 3. Транзистор QPD1025 выполнен в корпусе типа NI-1230 в двух конфигурациях: с фланцами (а); без фланцев (б)

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ТРАНЗИСТОРОВ QPD1025 В РАБОЧЕЙ ПОЛОСЕ ЧАСТОТ

По мере увеличения мощности, а соответственно и площади кристалла транзисторов, их импедансы становятся меньше. Зачастую это приводит к тому, что для них крайне сложно выполнить согласование с нагрузкой и, кроме того, они оказываются ограничены по полосе пропускания. В транзисторах QPD1025 эта проблема решается двумя способами. Во-первых, использование напряжения стока, равное 65 В, приводит к более высокому выходному импедансу данных транзисторов, чем у устройств аналогичной мощности и технологии, но с рабочим напряжением 50 В. Нагрузочные кривые для согласованной нагрузки, показанные на рис. 1, представляют собой очень управляемый выходной импеданс порядка 2 Ом на транзистор. Во-вторых, на входе корпуса выполнено одноступенчатое согласующее звено, которое улучшает стабильность и обеспечивает более дружественный входной импеданс. Эти меры позволяют проектировать сравнительно широкополосные платы усилителей мощности без необходимости обращения к специальным диэлектрическим подложкам и сложному согласованию, что отражается в широкополосной про-

изводительности предлагаемых транзисторов, которую мы видим на рис. 2.

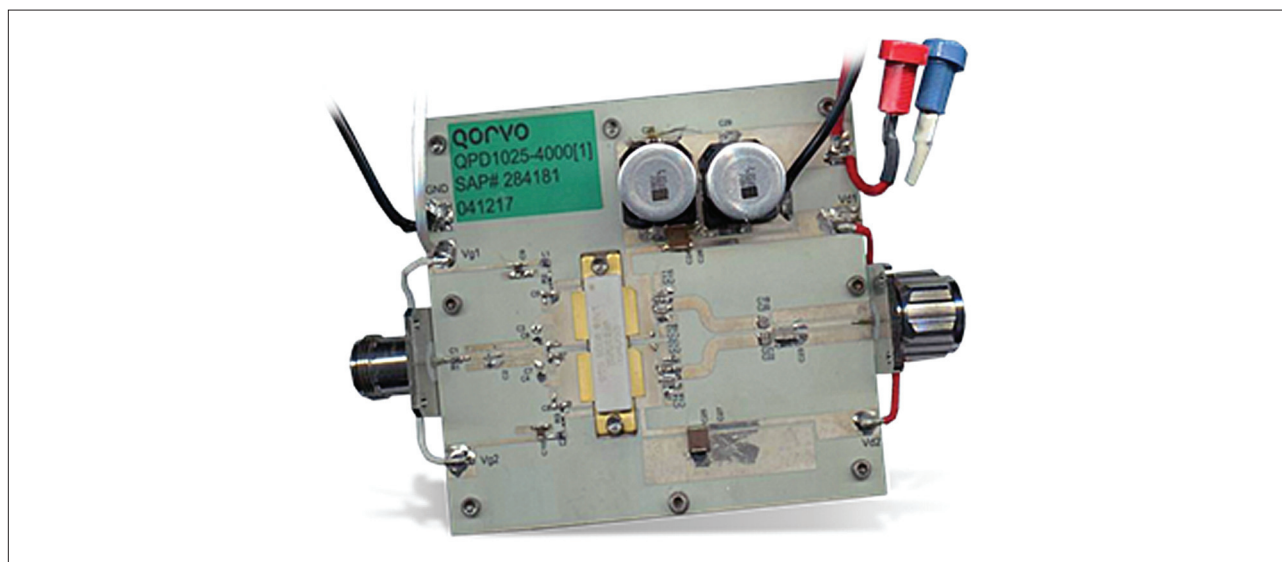
ГИБКОСТЬ СУММИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ

Двухканальная конфигурация QPD1025 позволяет использовать несколько вариантов построения усилителя мощности. На оценочной плате, показанной на рис. 4, используется синфазное суммирование, которое является наиболее компактным по занимаемой площади и характеризуется низким уровнем потерь. Сбалансированная по фазе конфигурация может быть спроектирована с помощью гибридных ответвителей соответствующего размера. Такая архитектура обеспечивает хорошую развязку между каналами и отсутствие четных гармоник. Поскольку каждый транзистор QPD1025 может быть запитан и смещен по затвору независимо, то здесь с использованием соответствующего согласования и суммирования возможна реализация симметричного усилителя Догерти.

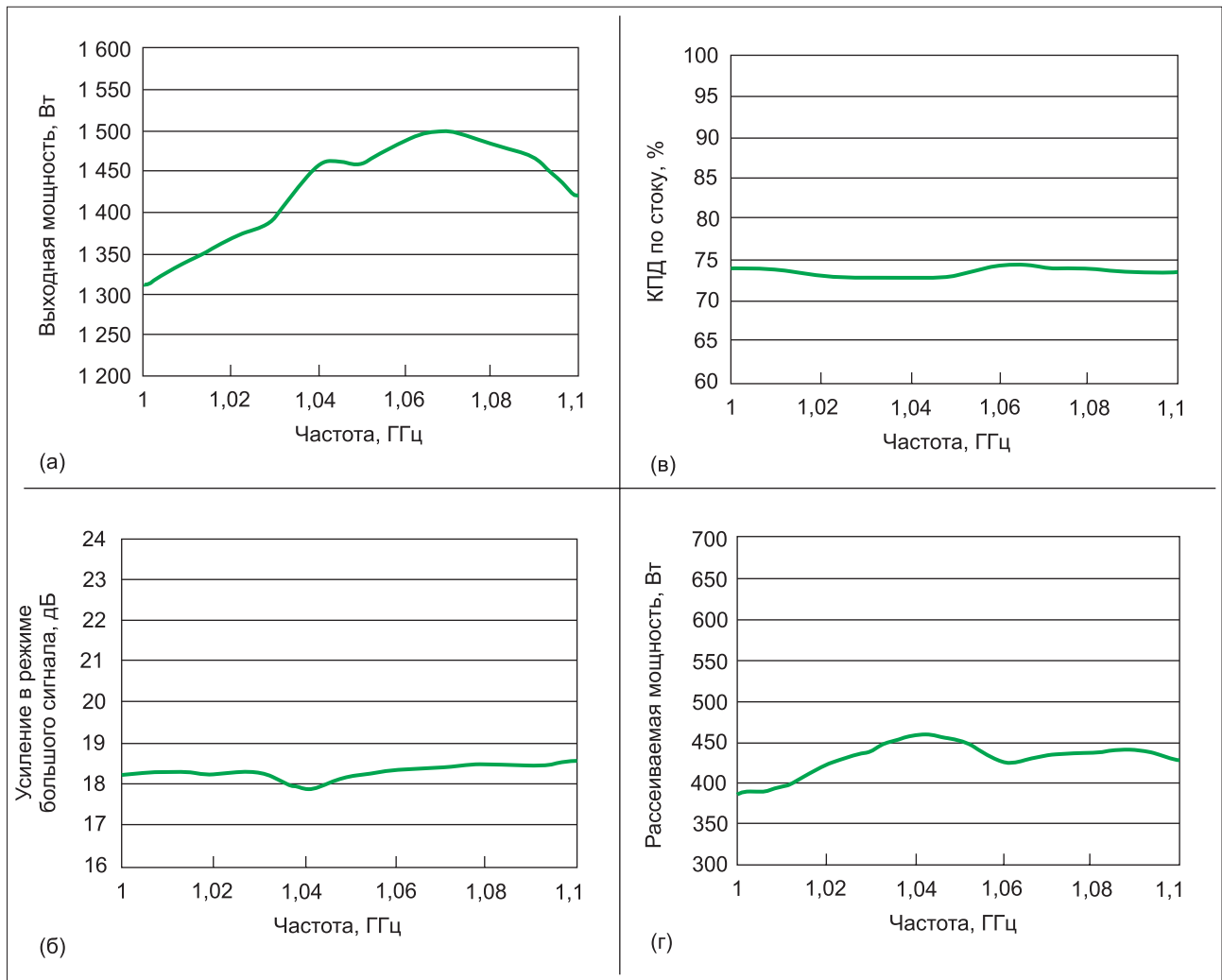
СТАБИЛЬНОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ В ЖЕСТКИХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Обеспечение стабильности функционирования всех выпускаемых транзисторных продуктов является главной задачей,

на которой фокусирует самое пристальное внимание компания Qorvo. Процесс проектирования новых транзисторов начинается с тщательного компьютерного моделирования на основе четного-нечетного анализа (even-odd mode) с линейными моделями и анализом с использованием коэффициента усиления и параметрических измерений. Стабильность рассматриваемых транзисторов подтверждается измерениями в режиме малого сигнала при температуре -40°C . В ходе тестирования на оценочной плате транзисторы QPD1025 показали абсолютную устойчивость. Стабильность в условиях большого сигнала оценивалась путем поиска следов самовозбуждения с уровнем выше, чем -60 дБн, при различных коэффициентах стоячей волны напряжения (КСВН или КСВ, в англ. терминологии — voltage standing wave ratio, VSWR) и условиях возбуждения при температуре -40°C . Как было установлено, транзисторы QPD1025 не содержат следов самовозбуждения в этих достаточно жестких условиях при КСВН до 2:1. Устойчивость устройства в значительной степени является результатом внутренних функций и не требует ничего экзотического на печатной плате, для этого достаточно иметь только последовательный RC-фильтр по входу и резисторы в линии смещения затвора.



▲ Рис. 4. Транзистор QPD1025L на оценочной плате, использующей синфазное суммирование мощности



▲ **Рис. 5.** Импульсные характеристики транзистора QPD1025 при температуре +25 °С и компрессии 3 дБ. Условия измерения: радиопульс длительностью 100 мкс при 10%-ном рабочем цикле; на оценочной плате использовалось синфазное суммирование

Также тщательно была протестирована устойчивость транзисторов QPD1025 к критическим режимам, которые могут возникать при эксплуатации. Было установлено, что транзисторы остаются работоспособным при тестировании импульсным сигналом с компрессией 3 дБ по выходу при КСВН до 10:1 и перегрузке не менее чем в 6 дБ. Тестирование проводилось при температуре окружающей среды +25 °С.

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ В СОСТАВЕ ПРИЛОЖЕНИЙ

В предлагаемой для транзистора QPD1025L оценочной плате QPD1025EVBI используется компромиссный подход по отношению мощности и эффективности, с упором на достижение эффективности. При комнатной температуре эффективность по стоку превышает 72% в диапазоне частот 1–1,1 ГГц, а мощность при этом меняется в пределах 1,3–1,5 кВт (рис. 5). Пиковая рассеиваемая мощность составляет 460 Вт, что ниже предела для условия усиления непре-

рывного сигнала (continuous wave, CW) 500 Вт, установленного в спецификации. В импульсных условиях допустимая рассеиваемая мощность увеличивается, и в этом случае для достижения большей мощности в жертву может быть принесена эффективность. Что касается коэффициента усиления усилителя, представленного на оценочной плате, то при комнатной температуре он равен 21 дБ.

В качестве подложки для платы приложения используется недорогой материал (фольгированный слоистый пластик) индустриального класса марки RO4350B производства компании Rogers. Плата установлена на никелированной алюминиевой опорной плите. Хотя для каждого транзистора QPD1025 может быть предусмотрена индивидуальная подача напряжения на стоки и затворы, на оценочной плате затворы и стоки данных устройств соединены вместе внешними проводами (рис. 4). Синфазное согласующее звено довольно компактно для этого уровня мощности и занимает площадь 9×3 мм от входного RC-фильтра до конечного

выходного согласующего конденсатора. Габаритные размеры полной платы составляют 11,3×9,7 мм.

Транзисторы в составе QPD1025 обеспечивают наилучшее сочетание мощности, эффективности и производительности, доступных сегодня для приложений, предназначенных для функционирования в диапазоне частот 1,0–1,1 ГГц. Его двухканальная конструкция обеспечивает управляемые импедансы, гибкость в архитектуре усилителя и компактную занимаемую площадь. Транзисторы QPD1025 спроектированы с гарантией стабильности, устойчивости к жестким воздействиям, которые могут иметь место при их эксплуатации, а также высокой надежности, что является основополагающими факторами, позволяющими им успешно функционировать при условии соблюдения допустимых пределов рассеиваемой мощности. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. www.qorvo.com
2. www.microwavejournal.com/articles/30462-8-kw-gan-transistor-for-l-band-avionics