

# НОВЫЕ УСИЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ ДИАПАЗОНА Ka-band ПРОИЗВОДСТВА MASCOM

Американская корпорация MASCOM, один из мировых лидеров в производстве комплектующих и оборудования для беспроводных, спутниковых и оптоволоконных сетей, в середине июня 2018 года объявила о выпуске нового семейства усилителей мощности для диапазона Ka-band с выходной мощностью 2; 2,3; 3; 4 и 6 Вт. Новая серия предназначена для работы в диапазонах частот 27–31,5 ГГц и может быть использована в таких перспективных направлениях, как, например, наземные станции SATCOM и VSAT и в различных приложениях типа P2P интервала Ka-band (26 и 28 ГГц).

## ДИАПАЗОН ЧАСТОТ САНТИМЕТРОВЫХ ДЛИН ВОЛН — K-band

В середине июня 2018 года корпорация MASCOM объявила о выпуске нового семейства усилителей мощности для диапазона Ka-band с выходной мощностью 2; 2,3; 3; 4 и 6 Вт. Как утверждает в анонсе MASCOM, новые усилители имеют на сегодня лучшие показатели по линейности и ИМЗ среди устройств подобного класса производства других фирм.

Использование определенных частотных диапазонов в системах радиосвязи регулируется документами

Таблица 1. Диапазоны частот, выделенные регламентом IEEE для систем спутниковой связи

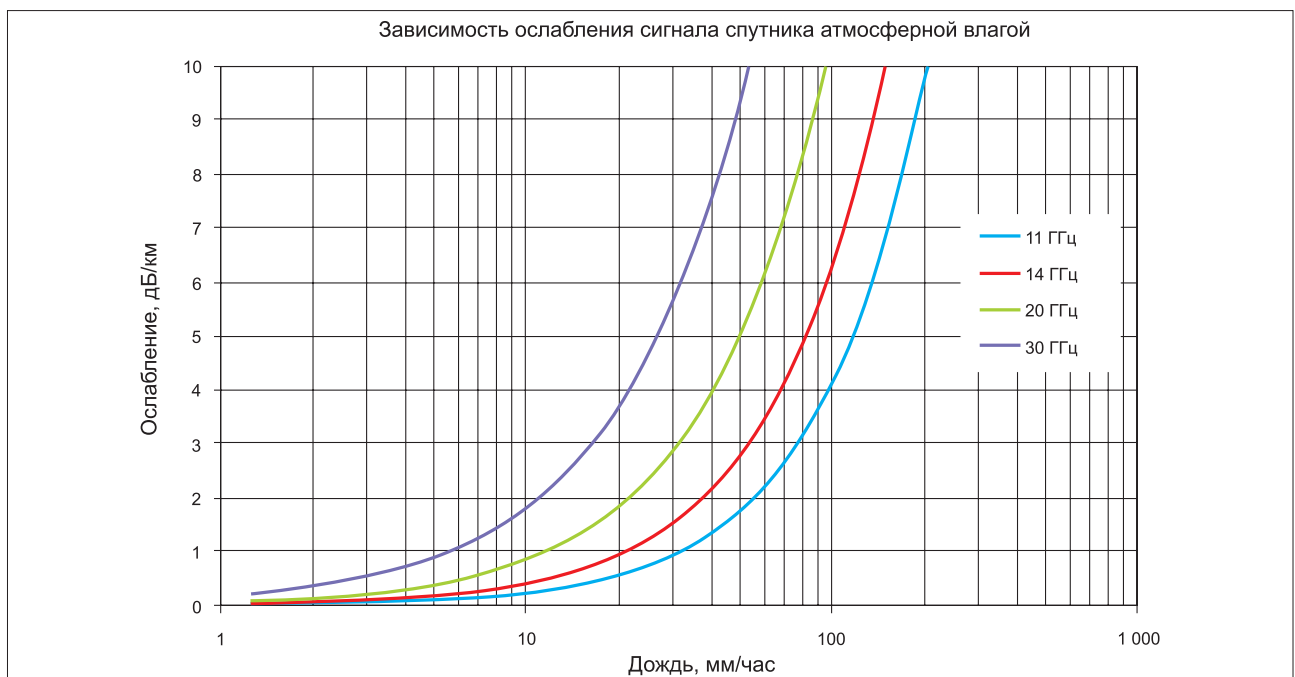
Наименование	Полоса частот, ГГц
VHF-диапазон	30–300 МГц
L-диапазон	1,0–2,0
S-диапазон	2,0–4,0
C-диапазон	4,0–7,0
X-диапазон	7,0–10,7
Ku-диапазон	10,70–12,75 и 12,75–14,80
K-диапазон	18–27
Ka-диапазон	26,5–40

Международного союза электросвязи (IEEE).

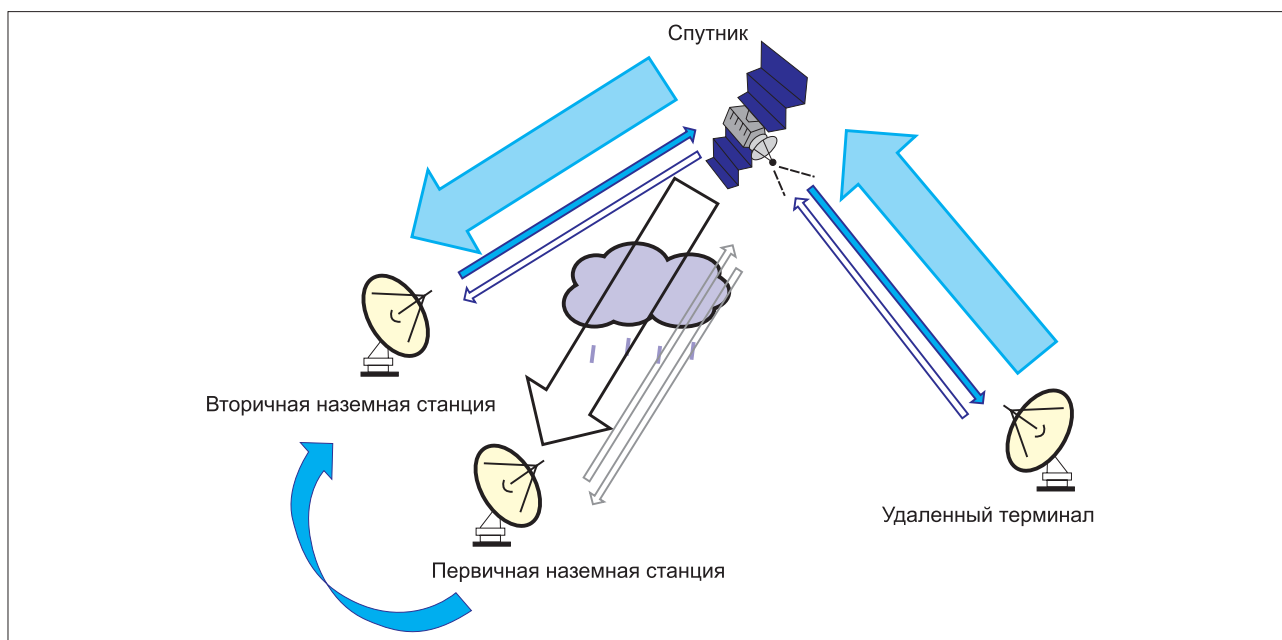
Диапазоны частот, выделенные регламентом IEEE для систем спутниковой связи, приведены в таблице 1.

Для современных систем спутниковой связи IEEE выделил, так называемый K-диапазон (K-band) в интервале частот 18–27 ГГц.

В свою очередь K-диапазон подразделяется на поддиапазон Ku-band (K under), расположенный ниже K-диапазона с границами 12–18 ГГц, и Ka-band, находящийся выше K-band с границами 26,5–40 ГГц. Следует особо подчеркнуть,



▲ Рис. 1. Зависимость ослабления сигнала спутника, вызванная атмосферной влагой, для различных частотных диапазонов



▲ Рис. 2. Схема использования нескольких приемников для компенсации «эффекта дождя» в Ka-диапазоне

что ITU строго не регламентирует границы Ka-диапазона. Этот вопрос решается в рамках дополнительных региональных законов разных стран мира [1].

В Ku-диапазоне работают практически все классические VSAT-сети. Для спутникового телевидения используется также C-диапазон (3,5–4,2 ГГц). Европейские спутники передают телевизионные программы в основном в Ku-диапазоне, в то время как российские и азиатские спутники функционируют в обоих частотных диапазонах. Диапазон Ku имеет практическое преимущество перед C-диапазоном. Поскольку к Ku-диапазону относятся более высокие частоты, то для приема сигналов предусмотрены параболические антенны небольших размеров с диаметром меньше 1 м. Оборудование для K-диапазона существенно дешевле оборудования C-диапазона.

Необходимо обратить внимание на то, что K-диапазон имеет существенные недостатки, связанные с поглощением излучения молекулами воды в атмосферном воздухе. На рис. 1 показана зависимость ослабления сигнала спутника, вызванная атмосферной влагой, для различных частотных диапазонов [2].

Оба диапазона (Ka и Ku) более чувствительны к резонансному поглощению сигналов спутника дождем, снегом и плотным туманом на частотах в районе 10 ГГц, где этот эффект проявляется максимально. Диапазон Ka более чувствителен к «эффекту дождя», который может вызвать потери сигнала вплоть до 10 дБ. Кроме того, налипание снега на поверхность антенны наземного приемника сигнала способно вызвать нежелательные помехи. Для компенсации данного явления применяются специаль-

ные методы, основанные на краткосрочном усилении мощности передатчика во время дождя.

Другой метод исключения эффекта дождя заключается в применении нескольких приемников, удаленных друг от друга на несколько километров (рис. 2).

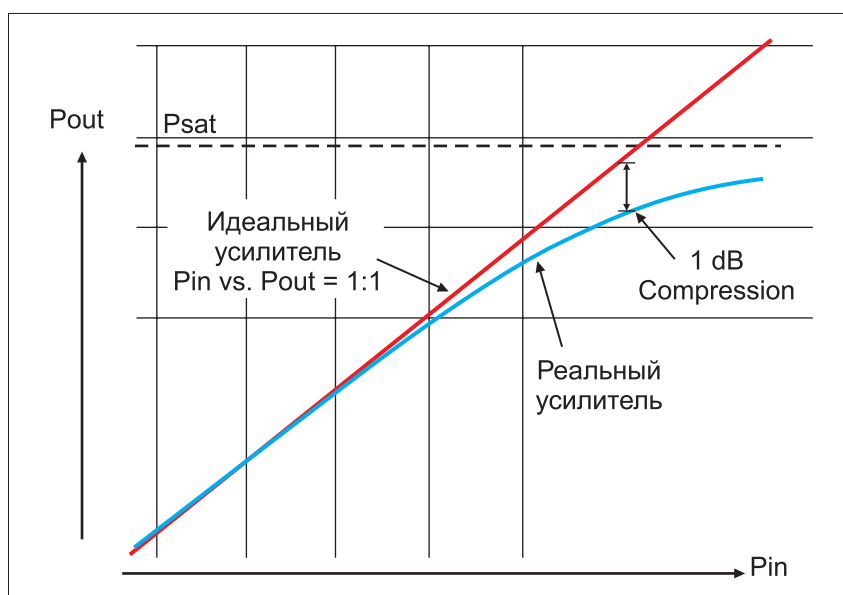
Информация со спутника принимается той наземной станцией, у которой на данный момент наблюдается наименьший уровень помех и наилучший уровень сигнала.

#### ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ СЕМЕЙСТВА МААР-011XXX

В настоящее время в серию входят следующие модели усилителей мощности

(УМ): МААР-011246, 2 W; МААР-011298, 2.3 W; МААР-011289, 3 W; МААР-011233, 4 W и МААР-011140-DIE, 6 W. Между собой модели различаются количеством каскадов, выходной мощностью, частотным диапазоном, линейностью усиления, выходной мощностью насыщения ( $P_{sat}$  — saturated power output), мощностью в однодецибелной точке компрессии, (1-dB compression point), КПД добавленной мощности (Power Added Efficiency — PAE), обратными потерями и уровнем интермодуляции третьего порядка (IM3) (рис. 3).

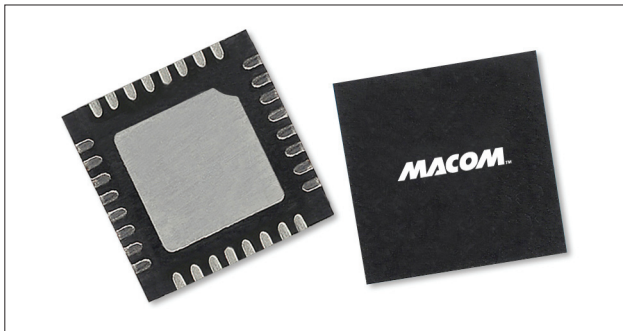
Все усилители этой серии изготовлены по арсенид-галлиевой псевдоморфной технологии (GaAs — pHEMT pseudomorphic high electron mobility transistor).



▲ Рис. 3. Параметры усилителей мощности:  $P_{sat}$ , P1dB, Linear Gain

Таблица 2. Основные технические характеристики усилителей мощности семейства МААР-011XXX

Параметр	Единицы измерения	МААР-011246, 2 W	МААР-011298, 2,3 W	МААР-011289, 3 W	МААР-011233, 4 W	МААР-011140-DIE, 6 W
Диапазон частот	Гц	27,5–31,5	27,0–31,5	28,0–30,0	28,5–31,0	27,5–30,0
Линейность усиления (Linear Gain)	дБ	24	24,5	24	25	24
Мощность в однодецибелной точке компрессии (P1dB)	дБм	32	32,5	34	34,5	37,5
Выходная мощность насыщения (PSAT)	дБм	34	34	36	36	38,5
КПД добавленной мощности (Power Added Efficiency)	%	29	26	23	27,5	23
Входные обратные потери (Input Return Loss)	дБ	10	10	10	10	12
Выходные обратные потери (Output Return Loss)	дБ	14	10	14	10	12
Интермодуляция третьего порядка (IM3 Level)	дБн	-25 @ 27 дБм	-17,5 @ 30 дБм	-18 @ 30 дБм	-27 @ 29 дБм	-24 @ 33 дБм
Ток в рабочей точке (Quiescent Current)	мА	Idq	900	н.д.	2000	3000
Ток насыщения (Current)	мА	PSAT (PIN = 15 дБм)	1450	н.д.	3000	5250
Напряжение смещения (Bias voltage)	В	Idq	6			
Максимально допустимая входная мощность	дБ		15	н.д.	14	19
Диапазон рабочих температур	°С		-40...+85			
Температура хранения	°С		-65...+150			
Корпус			AQFN 32-lead			Бескорпусная модель
Габаритные размеры	мм		5×5			3,6×3,8×0,05 (размер кристалла)
Среднее время наработки на отказ	ч	T < 160 °С	1 000 000			



▲ Рис. 4. Внешний вид усилителей мощности МААР-011246, МААР-011298, МААР-011289, МААР-011233

Основные технические характеристики усилителей мощности семейства МААР-011XXX приведены в таблице 2.

Усилитель МААР-011140-DIE выпускается в бескорпусном варианте. Остальные модели выполнены в конструктиве AQFN 32-lead (рис. 4).

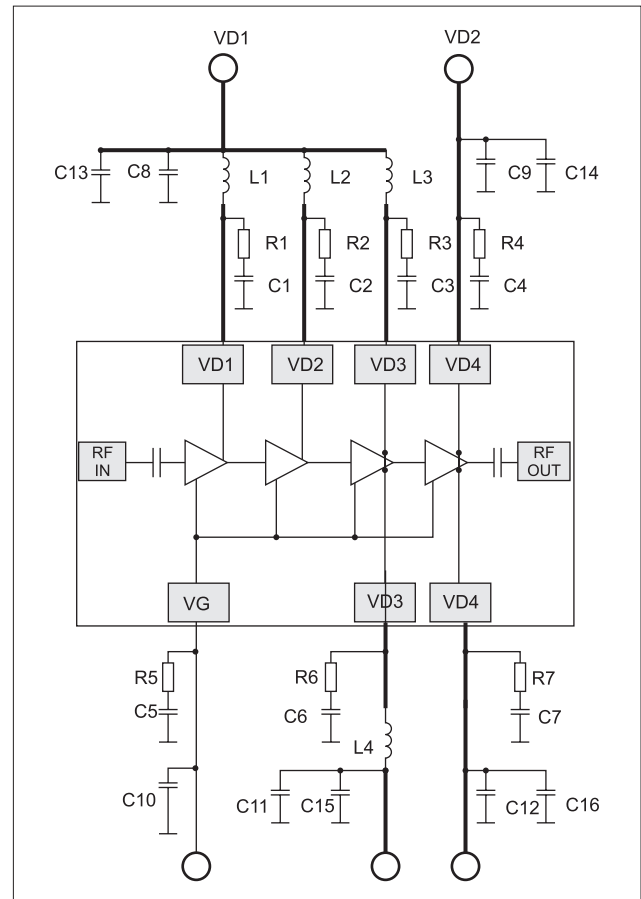
Типовая схема включения усилителя МААР-011140 показана на рис. 5.

Конструкция усилителей МААР-011xxx позволяет быстро монтировать их на системной плате с использованием минимума внешних компонентов. Внешнее управление всех каскадов усилителя осуществляется с помощью одного напряжения  $V_G$ , которое регулирует напряжение смещения  $V_D$ .

Удаленное включение усилителей реализуется при подаче на входы  $V_G$  уровня -1,5 В и на входы  $V_D$  уровня 6 В. Регулировать ток в рабочей точке можно также, изменяя значения  $V_G$ , например, в диапазоне -0,9...-1 В для модели МААР-011233. Выключение усилителя происходит при подаче напряжения  $V_D$ , равного нулю.

Усилители МААР-011xxx очень устойчивы к изменениям напряжения смещения и рабочей температуры в допустимых эксплуатационных интервалах.

На рис. 6 показаны зависимости от частоты коэффициента передачи падающей волны от входа к выходу (S21) для температур -40, +25, +85 °С (МААР-011140). Видно, что во всем интервале частот 27,5–30,0 ГГц изменения темпера-



▲ Рис. 5. Типовая схема включения усилителя МААР-011140

туры в диапазоне -40...+85 °С практически не влияет на линейности АЧХ. То же самое можно сказать и о зависимости S21 от частоты для разных значений напряжений смещения. Детальные графики изменения ключевых параметров, приведенные в таблице 2, при различных режимах эксплуатации можно найти в техническом описании на усилители [3].

Например, зависимость от частоты параметра S11 (коэффициент отражения от входа), характеризующая входные обратные потери, имеет вид параболы с минимумом между 28,5 ГГц и 29 ГГц и ветвями в районе -10 и -20 дБ. Эти параметры также устойчивы к изменениям температуры и смещения.

Следует обратить внимание на то, что конструкция печатной платы, на которой монтируется микросхема усилителя в конечном устройстве, во многом определяет качество работы. Высокие частоты гигагерцевого диапазона могут вызывать различного рода наводки и искажения. Поэтому очень важное значение имеет конструкция печатной платы, размеры различных проводников и расположение на ней микросхем и внешних компонентов.

Конструкция печатной платы, рекомендованная разработчиками MACOM для МААР-011233, показана на рис. 7. Описание и точные размеры этой платы приведены в техническом описании на данную модель.

Для разработки изделий с использованием усилителей мощности МААР-011xxx предназначены отладочные комплекты, в частности, МААР-011233-SMB. Более подробные технические характеристики усилителей мощности семейства МААР-011xxx доступны на сайте производителя.

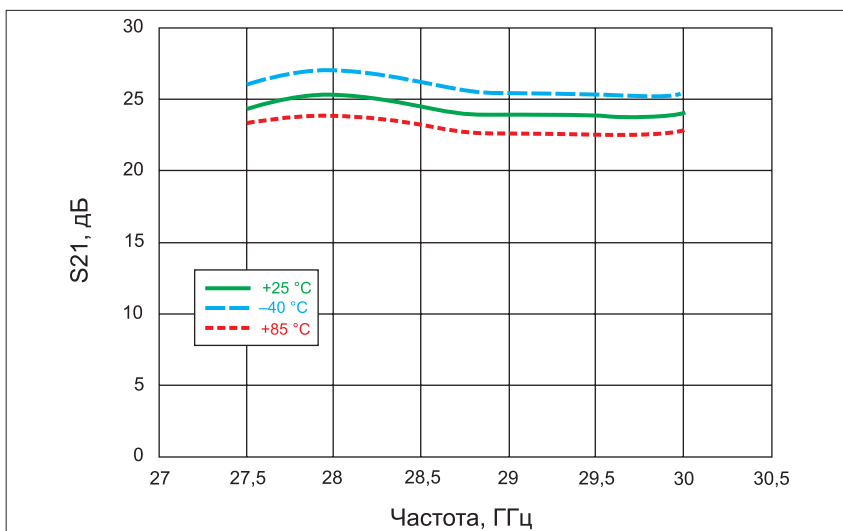
#### ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОВЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ СЕМЕЙСТВА МААР-011xxx

Наибольшие темпы роста продаж устройств диапазона Ka-band специалисты связывают с развитием спутниковых систем широкополосного доступа (ССС-ШПД), предназначенных для массового и индивидуального использования. Поэтому наиболее перспективным сегментом рынка для усилителей мощности семейства МААА011xxx являются наземные станции SATCOM и VSAT (рис. 2).

Для передачи информации в направлении спутник — Земля (Downlink — DL) в диапазоне Ka отводятся интервалы 18,3–18,8 ГГц и 19,7–20,2 ГГц. Для направления Земля — спутник (Uplink — UP) используется интервал 27,5–31 ГГц.

Диапазоны 20,2–21,2 ГГц и 30,0–31,0 ГГц предназначены соответственно для приема и передачи в основном военными и специальными спутниками связи.

Усилители мощности МААР-011 рассчитаны на работу в частотных диапазонах, в которых действует большинство спутников нового поколения, отличающихся высокой пропускной способностью (HTS — high-throughput satellite): 27,5–31 ГГц (UL) и 17,7–21,2 ГГц (DL).



▲ Рис. 6. Зависимости от частоты коэффициента передачи падающей волны от входа к выходу (S21) для температур -40, +25, +85 °C (МААР-011140)

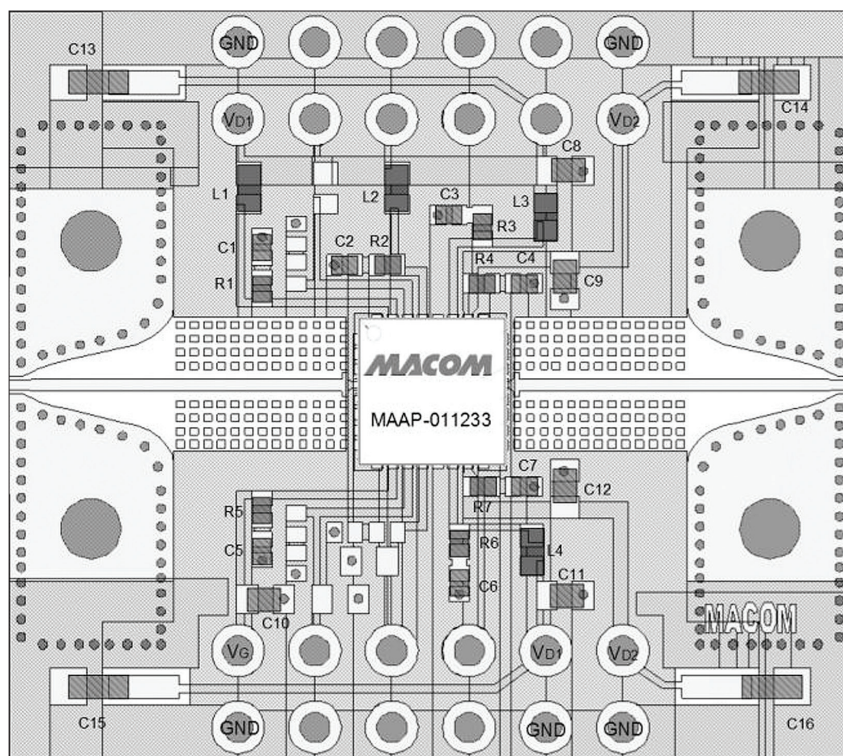
Если спутники Ka- и Ku-диапазона имеют одинаковые выходные усилители и фокусировку луча, то эквивалентная изотропно-излучаемая мощность (Equivalent Isotropically Radiated Power — EIRP) будет одинакова для обоих спутников. Однако сигналы Ka-диапазона обычно характеризуются более высокими значениями EIRP, чем Ku-диапазона, поскольку луч Ka-диапазона больше сфокусирован, что, в свою очередь, автоматически приводит к меньшему охвату на Земле.

Поскольку коэффициент отражения пропорционален квадрату частоты, антенные отражатели Ka-диапазона значи-

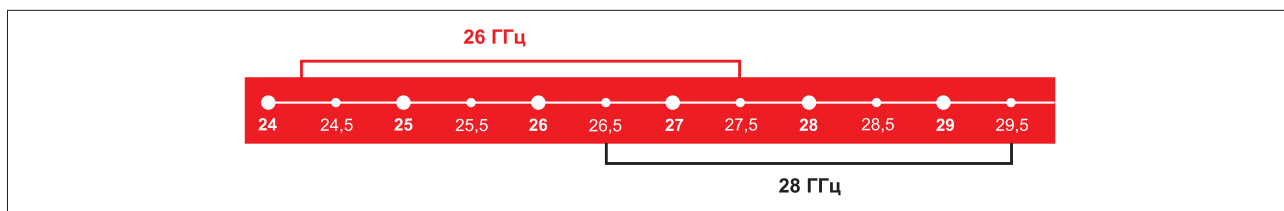
тельно меньше и дешевле отражателей Ku-диапазона.

Новое поколение спутников HTS обеспечивает значительное увеличение общей пропускной способности по сравнению с традиционными спутниками. Так, спутник ViaSat-1 имеет общую скорость передачи данных около 140 Гбит/с.

Основное отличие новых HTS-спутников K-диапазона от традиционных спутников связи (Regular FSS satellites) заключается в применении технологии множества сфокусированных лучей (spot-beam), позволяющей повторно использовать полосу частот



▲ Рис. 7. Конструкция печатной платы, рекомендованная разработчиками MACOM для усилителя мощности МААР-011233



▲ Рис. 8. Новые высокочастотные интервалы стандарта 3GPP 5G

в желаемой зоне покрытия. Базовым элементом этой технологии являются многолучевые зеркальные антенные системы (Multibeam Antenna Systems — MAS), которые позволяют формировать рабочую зону HTS-спутника с помощью узконаправленных лучей. Сегодня наиболее перспективным вариантом многолучевых зеркальных антенн считается конструкция «один рупор — один луч». При этом можно использовать три или больше многолучевых приемопередающих антенн. Например, спутник Ka-Sat, оборудованный четырьмя раскрываемыми многоканальными антеннами и ретранслятором повышенной точности, формирует 82 точечных луча на территории Европы и северного побережья Африки [4].

С помощью антенных систем MAS формируются лучи шириной диаграммы направленности 0,3–0,5°. Количество лучей в сложных системах может варьироваться от нескольких десятков до нескольких сотен. В отличие от новых спутников HTS, традиционные спутники FSS формируют один широкий луч с большой зоной охвата.

Поскольку пропускная способность спутников HTS намного выше, чем у спутников FSS, а габариты антенн и вес оборудования меньше, то спутники нового поколения позволяют снизить себестоимость передачи единицы информации в десятки раз по сравнению с традиционными спутниками, используемыми для аналогичных задач ШПД. Кроме того, нужно учитывать и более современные технологии запуска спутников HTS и уменьшение размеров компонентов.

Следует обратить внимание на такой немаловажный фактор, как повторное использование диапазона. Площадь зоны покрытия обратно пропорциональна количеству повторного использования диапазона. Так, диапазон С можно повторно применять не более пяти раз. Узкий направленный луч диапазона Ка позволяет увеличить повторное использование в десятки раз. Например, геостационарный спутник iPStar-1 (Thaicom 4) обеспечивает широкополосную связь примерно в ста зонах Азии, Индии и Австралии в различные интервалы времени [5].

Другая область возможного применения усилителей мощности МААР-011ххх связана с высокочастотными приложениями IoT и сетями 5G.

На последнем заседании рабочей группы 3GPP, состоявшемся весной 2018 года, были одобрены два новых высокочастотных диапазона для устройств мобильной связи поколения 5G: band n257 с интервалом 26,5–29,5 ГГц, получивший название «28 GHz», и band n258 с интервалом 24,25–27,5 ГГц, именуемый «26 GHz» (рис. 8).

Основные преимущества новых диапазонов — увеличение скоростей обмена данными и качественное улучшение спектральных характеристик. Уже сегодня можно наблюдать недостаток частотных ресурсов и перегруженность некоторых диапазонов. Вместе с тем ожидается, что в ближайшие годы объем передаваемых данных в беспроводных сетях увеличится в сотни, а в некоторых областях и в тысячи раз. Все это вызывает потребность выделения новых частотных диапазонов, увеличения скоростей передачи, уменьшения времени задержек в сети и снижение себестоимости обслуживания сетей. Особенно это относится к обмену информацией с движущимися на больших скоростях транспортными средствами. Новые частотные диапазоны 26 и 28 ГГц очевидно помогут решению подобных вопросов. Переход части абонентов в высокочастотные диапазоны будет способствовать решению все нарастающих проблем, возникающих в процессе обмена информацией между базовой станцией (base stations) и опорной сетью оператора сотовой связи (core networks). Кроме того, диапазоны 26 и 28 ГГц можно эффективно использовать в транзитных сетях (Backhaul).

Помимо отмеченных выше областей, усилители мощности МАСОМ Ка-диапазона могут найти применение и в других высокочастотных P2P-приложениях. В качестве одного из многочисленных примеров можно привести замкнутые телевизионные контуры (CCTV — Closed Circuit Television). Это современные системы видеонаблюдения, в которых оптические кабели заменены беспроводными высокочастотными линиями связи P2P [6].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно оценкам ведущих специалистов, вклад устройств, работающих в Ка-диапазоне, будет постоянно расти. Доходы корпоративных сетей передачи данных, за счет предоставляющих сервисные услуги с помощью систем HTS, будут ежегодно увеличиваться. По оценкам NSR, в 2024 году около 40% доходов будут приносить геостационарные GEO-HTS-системы и среднеорбитальные Non GEO-HTS (в 2014 году на долю таких систем приходилось менее 10%). Вероятнее всего, в дальнейшем СССР станут развиваться в направлении совместимости глобальных спутниковых систем FSS, которые в значительной степени ориентированы на видеоприложения, и небольших систем HTS, предназначенных для передачи данных.

Наибольший рост числа наземных служб СССР ожидается для систем Satcom-VSAT, в которых один спутник может обслуживать множество мелких терминалов с дешевыми антеннами, имеющими очень маленькую внутреннюю приемную сторону «тарелки» (апертуру). Ожидается, что в Ка-диапазоне, за счет многолучевой технологии и повторного использования частотного диапазона, в недалеком будущем стоимость небольших HTS спутников с пропускной способностью около 40 Гбит/с, удастся заметно снизить. Это позволит крупным корпорациям запускать собственные спутники, которые будут осуществлять ШПД на территориях, где сегодня связь либо очень слаба, либо вообще отсутствует. ■

## ЛИТЕРАТУРА

1. [www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/md/12/iturka.band/c/R12-ITURKA.BAND-C-0001!!PDF-E.pdf](http://www.itu.int/dms_pub/itu-r/md/12/iturka.band/c/R12-ITURKA.BAND-C-0001!!PDF-E.pdf)
2. [www.dsta.gov.sg/docs/default-source/dsta-about/ka-band-satellite-communications-design-analysis-and-optimisation.pdf?sfvrsn=2](http://www.dsta.gov.sg/docs/default-source/dsta-about/ka-band-satellite-communications-design-analysis-and-optimisation.pdf?sfvrsn=2)
3. [www.cdn.macom.com/datasheets/maap-011140-die.pdf](http://www.cdn.macom.com/datasheets/maap-011140-die.pdf)
4. [www.satbeams.com/satellites?norad=37258](http://www.satbeams.com/satellites?norad=37258)
5. [www.space.skyrocket.de/doc\\_sdat/ipstar-1.htm](http://www.space.skyrocket.de/doc_sdat/ipstar-1.htm)
6. [www.macom.com/products/product-detail/MAAP-011298](http://www.macom.com/products/product-detail/MAAP-011298)