КИРИЛЛ КОВАЛЬ, k.koval@tellur-el.ru

УСИЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ ОТ КОМПАНИИ AmpliVisions ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ НА ЭМС

В статье предлагается справочный материал по усилителям мощности компании AmpliVisions. Приведены основные параметры усилителей, позволяющие создать представление о продукции компании. Публикация представляет интерес и может быть полезна специалистам соответствующего профиля.

ВВЕДЕНИЕ

Быстрый рост числа источников электромагнитного излучения в окружающей действительности, расширение полос рабочих частот и увеличение их мощности значительно повышает риск неблагоприятного воздействия одних радиоэлектронных устройств на другие. Эти изменения в электромагнитной обстановке, связанные с появлением новых видов систем широкополосного радиодоступа, мобильной связи, RFID-устройств и беспроводных сетей, оказывают серьезное влияние на работу радиотехнических средств.

Устойчивость работы радиотехнической аппаратуры различного вида и назначения в сложной электромагнитной обстановке определяется в процессе тестирования данных устройств на электромагнитную совместимость (ЭМС).

В зависимости от назначения устройств и места их эксплуатации испытания на ЭМС проводятся по различным стандартам, определяющим условия тестирования.

В числе используемых методов можно выделить испытания на устойчивость к излучаемым электромагнитным полям заданного уровня напряженности. В составе испытательного оборудования для создания электромагнитного поля требуемой напряженности присутствуют генераторы тестовых сигналов, усилители мощности и излучающие антенны.

Усилитель мощности необходим для создания излучающей антенной электромагнитного поля заданного уровня напряженности.

В испытаниях на ЭМС применяются усилители мощности, действующие в полосе частот 10 кГц — 40 ГГц (в зависимости от стандарта испытаний и требований к тестируемому изделию).

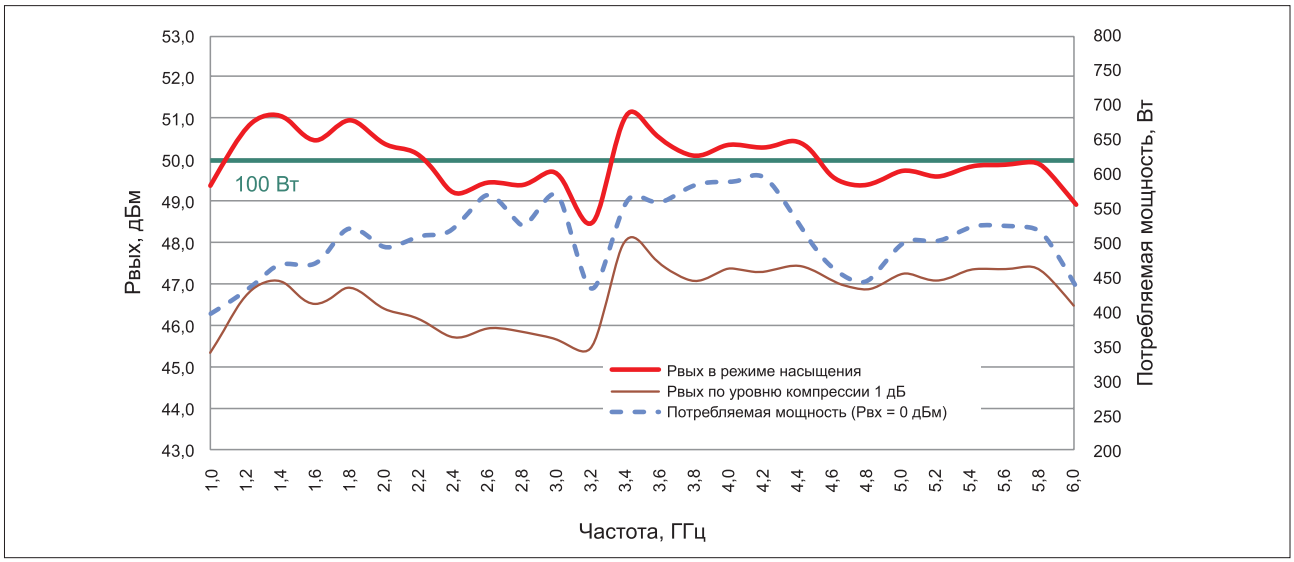
В частности, стандарт ГОСТ IEC 61000–4-3–2016, описывающий методы испытаний и измерений при проверке на устойчивость к излучаемому радиочастотному электромагнитному полю, определяет несколько испытательных уровней, каждому из которых соответствует определенная напряженность испытательного поля [1], обеспечиваемая в плоскости установки испытуемого объекта при размещении излучающей антенны на определенном расстоянии от него. Как правило, для этого используют электрическое поле с уровнем напряженности 10–30 В/м в требуемой полосе частот в диапазоне 80 МГц — 6 ГГц.

В свою очередь, стандарт ГОСТ РВ 6601–001–2008, описывающий требования к восприимчивости к электромагнитным помехам бортового оборудования и методики измерения, оперирует значениями напряженности 20–200 В/м в частотном диапазоне 2 МГц — 18 ГГц.

Уровень испытаний, полосу частот, а также вид и параметры модуляции сигнала выбирают в зависимости от требований к испытываемому изделию по устойчивости к радиочастотным излучениям.

ТРЕБОВАНИЯ К УСИЛИТЕЛЯМ МОЩНОСТИ, ВХОДЯЩИМ В СОСТАВ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Как правило, для комплектования испытательной лаборатории выбирают несколько усилителей, перекрывающих по рабочему диапазону частот весь диапазон, регламентированный стандартом испытаний, поскольку широкодиапазонный усили-



▲ **Рис. 1.** Выходная мощность AVBR1060U50 в режиме насыщения (Psat), мощность в точке компрессии по уровню 1 дБ (P1dB) и потребляемая мощность в зависимости от частоты

тель большой мощности весьма сложен по конструкции и, как следствие, имеет высокую стоимость.

Усилитель мощности, предусмотренный в составе испытательной установки, должен обеспечивать необходимый уровень мощности в заданной полосе частот при отсутствии искажений в выходном сигнале, вызванных переходом усилителя в режим насыщения при нарастании уровня входного сигнала. Большой диапазон входного сигнала позволит выбрать оптимальный режим работы генератора таким образом, чтобы усилитель не входил в режим насыщения. Это связано с тем, что ключевыми требованиям усилителя мощности для испытаний на ЭМС являются нормативы по линейности усилителя.

Дело в том, что высокий уровень создаваемых усилителем гармоник приведет к тому, что в заданной точке общая напряженность электрического поля превысит регламентированное значение (которое измеряется на основной частоте излучаемого антенной тестового сигнала).

Согласно требованиям ГОСТ IEC 61000–4-3–2016, уровень напряженности электрического поля, создаваемой гармониками (в плоскости однородного поля), должен быть по меньшей мере на 6 дБ ниже значения напряженности, формируемого основной составляющей тестового сигнала [1].

ОПИСАНИЕ УСИЛИТЕЛЕЙ

Компания AmpliVisions (полное наименование Chengdu AmpliVisions Co Ltd.) выпускает твердотельные усилители мощности на основе LDMOS- и GaN-технологий. Номенклатура серийных изделий широка [2] и включает усилители мощностью 3–600 Вт, работающие в диапазоне частот 20 МГц — 40 ГГц.

Использование мощных транзисторов на основе нитрида галлия позволило реализовать широкополосные усилительные схемы, обладающие большим коэффициентом усиления, хорошей неравномерностью АЧХ и высокой надежностью. Кроме того, большая плотность мощности GaN-технологии и высокий КПД позволили уменьшить габариты устройств (в том числе за счет миниатюризации конструкций теплоотвода) и энергопотребление [3].

Рис. 3. Внешний вид усилителя AVBR1060U50

Рассмотрим несколько усилителей в приложении к задаче тестирования на устойчивость к радиочастотным помехам.

Усилитель мощности **AVBR1060U50** имеет в своей основе схему на мощных нитрид-галлиевых транзисторах и выдерживает на выходе мощность в 100 Вт в полосе частот 1,0–6,0 ГГц [4]. Усилитель работает с непрерывными сигналами, а также с сигналами с импульсной модуляцией. Встроенные функции мониторинга и защиты от перегрева обеспечивают надежность работы усилителя. Графики значений выходной мощности в точке компрессии в 1 дБ и мощности в режиме ограничения в зависимости от частоты, а также потребляемого тока приведены на рис. 1. Среднее значение мощности в точке компрессии равно 44 дБ (для непрерывных входных сигналов с уровнем 0 дБм). Коэффициент усиления по мощности имеет значение в 51 дБ и отклонение от данного значения не более ±2 дБ во всем частотном диапазоне. Максимальный уровень внеполосных составляющих не превышает 60 дБ от несущей.

График измеренных значений коэффициента усиления для мощных сигналов в полосе рабочих частот приведен на рис. 2.

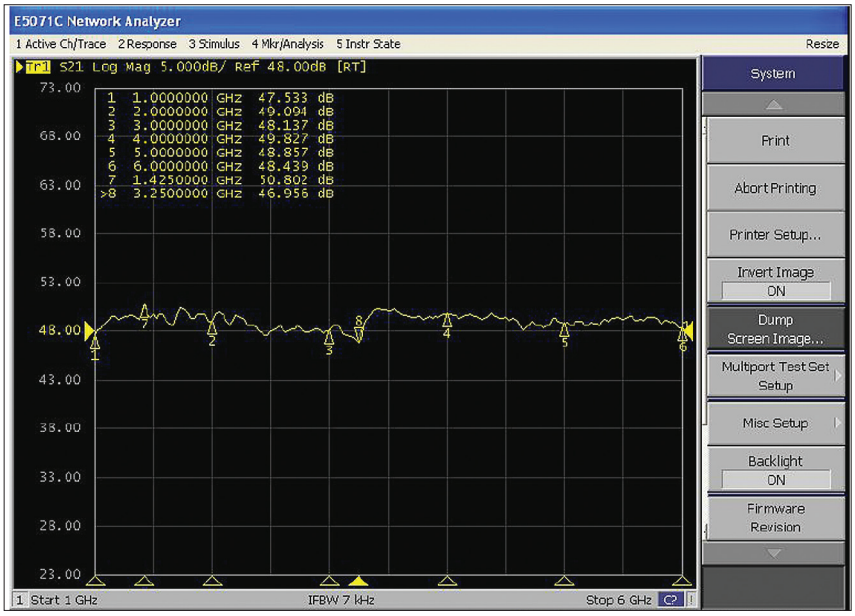


Рис. 2. Коэффициент усиления для мощных сигналов усилителя AVBR1060U50 (Рвх = 0 дБм, КСВН ≤ 1,2) в полосе рабочих частот

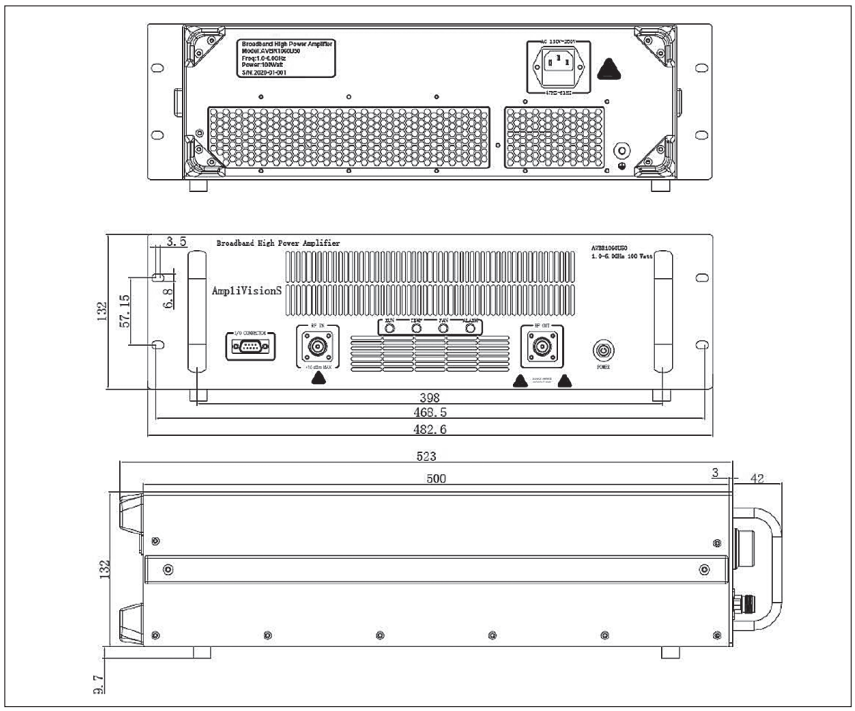


Рис. 4. Проекции усилителя AVBR1060U50

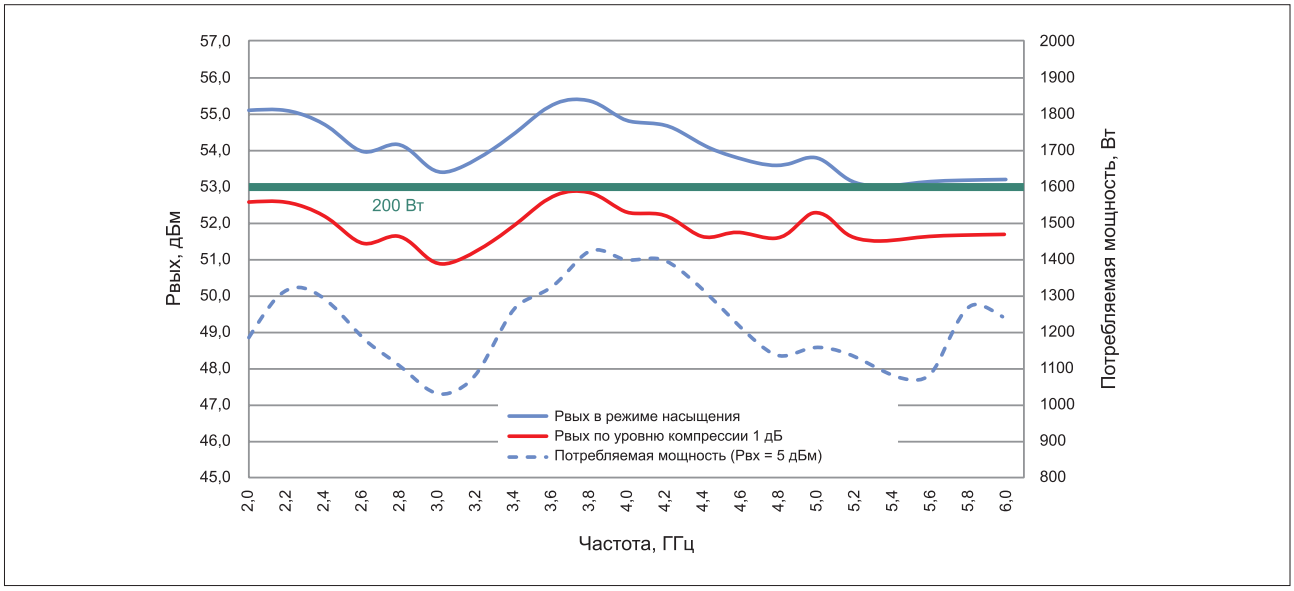


Рис. 5. Выходная мощность AVBR2060U53 в режиме ограничения (Psat), мощность в точке компрессии по уровню 1 дБ (P1dB) и потребляемая мощность в полосе рабочих частот

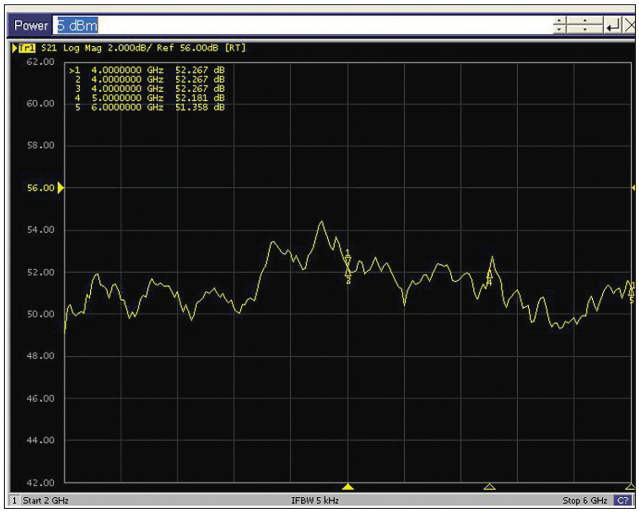


Рис. 6. Коэффициент усиления мощных сигналов усилителя AVBR2060U53 (Рвх = 5 дБм, КСВН ≤ 1,2) в полосе рабочих частот

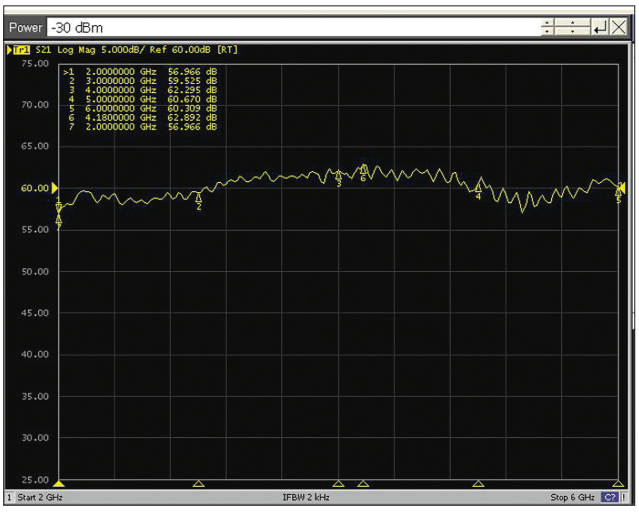


Рис. 7. Коэффициент усиления малых сигналов AVBR2060U53 (Рвх = –30 дБм, КСВН ≤ 1,2) в полосе рабочих частот

Отметим, что радиочастотный вход усилителя AVBR1060U50 имеет широкий динамический диапазон и позволяет работать с сигналами с уровнем в пределах от –50 до 10 дБм. Вход и выход усилителя обладают сопротивлением в 50 ом.

Усилитель обладает малыми уровнями второй и третьей гармоник — средние значения составляют –15/–20 дБ от уровня несущей, а также весьма хорошей линейностью. Например, точка пересечения с интермодуляционной характеристикой третьего порядка имеет значение 53 дБм (для двух тональных сигналов с уровнем 40 дБм с разнесением 10 МГц).

Питание усилителя осуществляется от сети 220 В/50 Гц, среднее значение потребляемой мощности 800 Вт. Усилитель AVBR1060U50 выполнен в форм-факторе модуля для монтажа в 19"-стойку, внешний вид усилителя приведен на рис. 3, проекции показаны на рис. 4.

Усилитель **AVBR2060U53** представляет собой усилитель класса АВ и предназначен для работы с непрерывными и импульсными сигналами в полосе частот 2,0–6,0 ГГц и имеет выходную мощность в 200 Вт [5]. Помимо задач испытаний на ЭМС, устройство рекомендовано производителем для тестирования телекоммуникационного оборудования — аппаратуры базовых станций поколений 4G и 5G.

К достоинствам усилителя следует отнести значительную выходную мощность (в режиме насыщения), минимальное значение которой составляет 53 дБм во всей полосе рабочих частот (рис. 5).

Среднее значение коэффициента усиления мощных сигналов равно 49 дБ, неравномерность коэффициента усиления не превышает ±2 дБ. Графики измеренных значений коэффициента усиления мощных сигналов и коэффициента усиления малых сигналов приведено на рис. 6 и 7. Вход и выход усилителя обладают сопротивлением в 50 Ом. КСВН РЧ-входа имеет среднее значение в 1,5, КСВН РЧ-выхода равен 1,8.

Средний уровень внеполосных составляющих составляет 70 дБ от несущей.

Усилитель AVBR2060U53 имеет уровень второй и третьей гармоник в –20 и –25 дБ от несущей соответственно, а значение точки пересечения с интермодуляционной характеристикой третьего порядка равно –25 дБ от несущей.

Усилитель AVBR2060U53 выполнен в виде 5U блока для монтажа в 19"-стойку и имеет габариты 482,6×221,5×480 мм при массе в 40 кг.

Для электропитания усилителя требуется сеть 220 В/50 Гц, потребляемая мощ-

Рис. 8. Внешний вид фронтальной панели усилителя AVBR2060U53

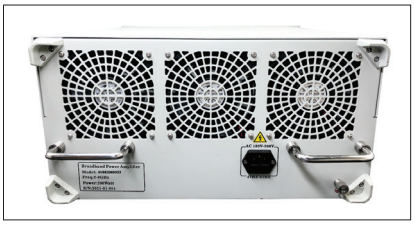


Рис. 9. Внешний вид тыльной стороны усилителя AVBR2060U53

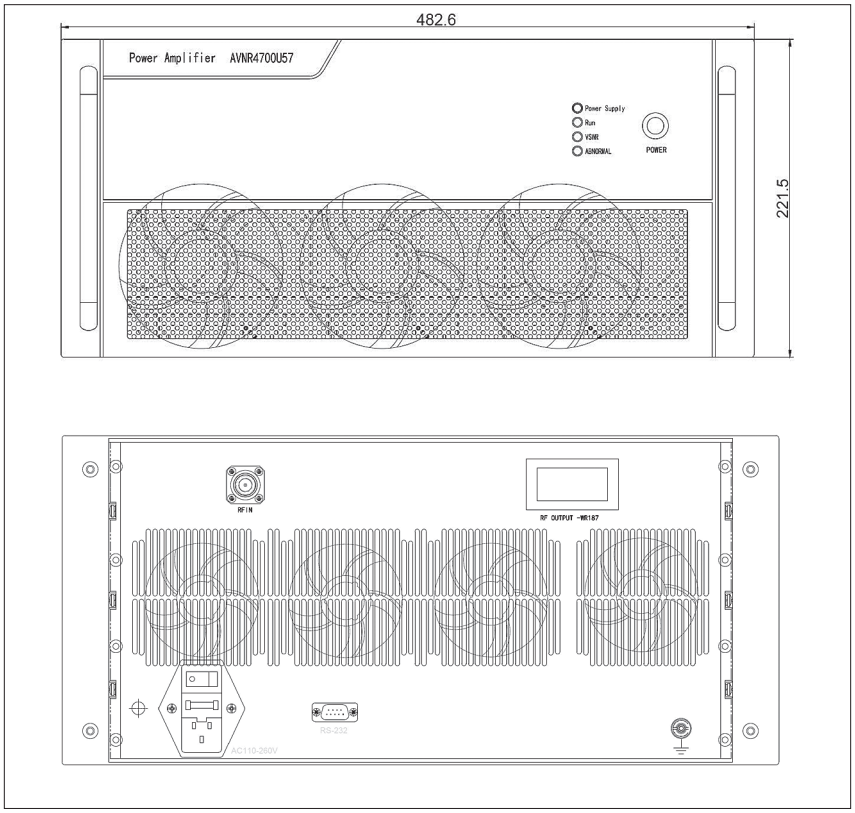


Рис. 10. Проекции усилителя AVBR6018U50

ность (в режиме насыщения) не превышает 1500 Вт.

Внешний вид усилителя приведен на рис. 8 и 9.

Усилитель **AVBR60180U50** отличается очень широким частотным диапазоном — данный твердотельный нитрид-галлиевый усилитель класса АВ функционирует в полосе частот 6–18 ГГц (рис. 10) [6].

Усилитель может работать как с импульсными, так и с непрерывными сигналами на входе, обеспечивая выходную мощность (в режиме насыщения) 100 Вт при коэффициенте усиления 50 дБ. Неравномерность коэффициента усиления для мощных сигналов составляет ±1,5 дБ. Допустимый диапазон входного сигнала находится в пределах от –10 до 5 дБм. Уровень второй и третьей гармоник составляет –12 дБ от несущей. Среднее значение уровня внеполосных составляющих равно 60 дБ от несущей.

Усилитель выпускается в корпусе 483×221×560 мм (монтажный размер 5U для размещения в 19"-стойке), вес усилителя 40 кг.

Усилитель AVBR6018U50 имеет порт управления RS-232 (9-выводной разъем D-Sub), на выходы которого выводятся сигналы Enable и Alarm (уровня TTL +3,3 В).

Основные параметры усилителей приведены в таблице.

Важно отметить, что все приведенные выше усилители не имеют экспортных ограничений и не требуют оформления экспортной лицензии на приобретение.

ВЫВОДЫ

Описанные в статье усилители мощности имеют характеристики (мощность, неравномерность АЧХ, уровень искажений и пр.), схожие с параметрами подобных приборов, разработанных ведущими мировыми производителями. Это позволяет считать усилители AmpliVisions соответствующими современным требованиям, предъявляемым к данному классу приборов. К преимуществу усилителей можно отнести и технологию, на основе которой они были созданы, — использование нитрид-галлиевых компонентов позволило реализовать приборы, обладающие высоким уровнем мощности при сравнительно компактных размерах и малом энергопотреблении. Немаловажна и возможность свободного приобретения и ввоза в РФ данных усилителей вне зависимости от их мощности и рабочего частотного диапазона. К недостаткам усилителей можно отнести отсутствие стандартных интерфейсов USB или Ethernet для дистанционного управления и мониторинга с внешнего ПК, что потребует дополнительных мер при формировании автоматизированной испытательной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ IEC 61000–4-3–2016. Часть 4–3. «Методы испытаний и измерений. Испытание на устойчивость к излучаемому радиочастотному электромагнитному полю».

2. ГОСТ РВ 6601–001–2008. «Оборудование бортовое авиационное. Общие требования к восприимчивости при воздействии электромагнитных помех и методики измерений».

3. www.amplivisions.com/

4. AVBR1060U50. 51dB Gain, 100W Psat, 1–6GHz Solid State Broadband High Power Amplifier (CW&&Pulse). Technical datasheet.

5. AVBR2060U53. 49dB Gain, 200W Psat, 2–6GHz Solid State Broadband High Power Amplifier (CW&&Pulse). Technical datasheet.

6. AVBR6018U50. 50dB Gain, 100W Psat, 6–18GHz Solid State Broadband High Power Amplifier (CW&&Pulse). Technical datasheet.

Таблица. Основные параметры усилителей

Наименование	Нижняя граница частоты, ГГц	Верхняя граница частоты, ГГц	Выходная мощность, Вт	Коэффициент усиления, дБ	Уровень гармоник (2-я/3-я), дБм	Габаритные размеры, мм
AVBR1060U50	1	6	100	51	–15/–20	483×221×560 (5U)
AVBR2060U53	2	6	200	49	–20/–25	482,6×221,5×480 (5U)
AVBR60180U50	6	18	100	50	–12/–12	483×221×560 (5U)