



1. Разработка высокотехнологичной продукции

Акционерное общество «Микроволновые системы» было зарегистрировано в 2004 году. Цель, которую ставили перед собой акционеры – создать Предприятие, производящее широкополосные твердотельные СВЧ усилители 3-х типов. Прошли годы, и в настоящее время Предприятие АО «Микроволновые системы» самостоятельно разработало, производит и отгружает заказчикам более 200 типов модулей СВЧ, среди них:

- ▶ широкополосные мощные и предварительные усилители СВЧ, работающие в диапазоне от 0,2 до 22 ГГц;
- ▶ широкополосные мощные усилители и приемо-передающие модули СВЧ специального назначения, работающие в диапазоне от 1 до 22 ГГц;
- ▶ мощные усилители и приемо-передающие модули СВЧ, работающие в импульсном режиме, с выходной мощностью до 1 кВт;
- ▶ универсальные сверхширокополосные малошумящие усилители СВЧ, работающие в диапазоне от 1 до 18 ГГц;
- ▶ одно- и многофункциональные модули СВЧ бескорпусные (кристаллы), работающие в диапазоне от 1 до 18 ГГц в качестве МШУ, усилителей мощности и амплитудно-фазовых преобразователей.

Модули могут использоваться в наземной, морской и авиационной аппаратуре промышленного применения, измерительной технике, медицинской и научной аппаратуре.

Высокие технические параметры и надежность усилителей СВЧ обеспечены:

- ▶ передовыми схемотехническими решениями, примененными инженерами-разработчиками Предприятия;
- ▶ использованием современной тонкопленочной ГИС технологии, GaAs- и GaN-транзисторов, монолитных интегральных схем;
- ▶ современной GaAs и GaN ЭКБ, разработанной инженерами предприятия, защищенной свидетельствами на ТИМС, тщательно проверенной и испытанной на устойчивость к ВВФ в соответствии с ТУ;
- ▶ герметичной конструкцией;
- ▶ тщательной проверкой и испытаниями отгружаемых заказчикам модулей.

2. Организация производства и кадры

Для серийного выпуска Предприятием построен современный производственный цех, часть которого является «чистой зоной». В помещении цеха используются антистатические полы и мебель, мощная система вентиляции и кондиционирования. Общая площадь Предприятия 4250 м², площадь «чистой зоны» 310 м². Класс чистоты – ISO-7.

Цех оснащен современным технологическим и испытательным оборудованием. В качестве контрольно-испытательного оборудования используются разработанные инженерами Предприятия автоматизированные стенды комплексной настройки на основе современных измерительных приборов (см. фото Приложения).

Проектная мощность цеха – до 6 тыс. сложных мощных усилителей в год. В 2022 году численность работников Предприятия 150 человек, все – рабочие и специалисты высшей квалификации. На предприятии внедрены система электронного документооборота, РДМ, системы САПР.

Расширение тематики работ предприятия в различных областях микроэлектроники и радиолокации привело к созданию обособленных подразделений АО «Микроволновые системы» в нескольких городах России со следующими направлениями деятельности:

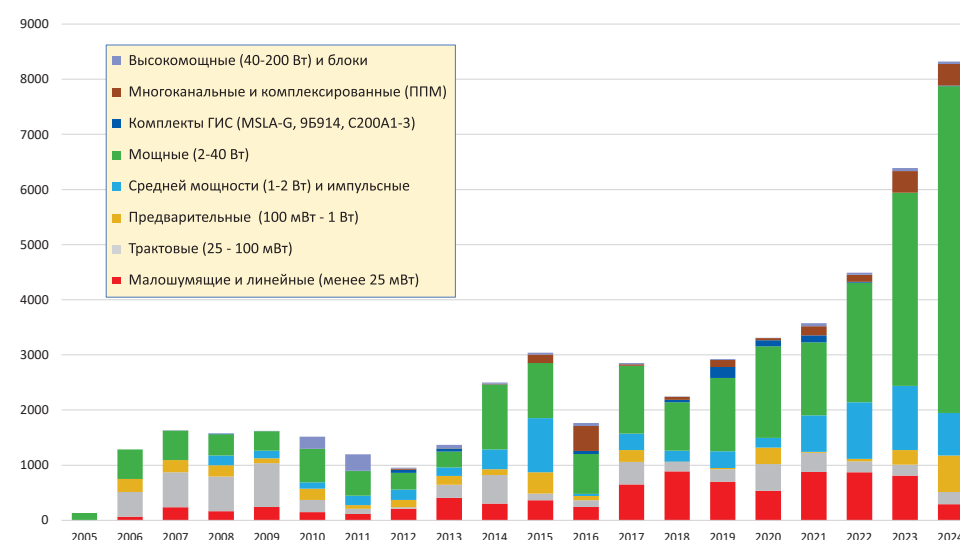
- ▶ обособленное подразделение в г. Саратов (ОПС): разработка приемо-передающих модулей для радиолокационных АФАР X- и Ku-диапазонов, мощных малогабаритных усилителей импульсного режима, модулей распределения мощности на основе многослойных печатных плат;
- ▶ в составе ОПС специализированная лаборатория синтеза сигналов: разработка устройств формирования высокочистых опорных, зондирующих и гетеродинных сигналов для радиолокационных проектов предприятия, а также по техническим заданиям других предприятий;
- ▶ обособленное подразделение в г. Нижний Новгород: дизайн-центр МИС СВЧ;

- обособленное подразделение в г. Санкт-Петербург: разработка аппаратной и программной платформ собственного специализированного вычислителя для проектов радиолокации, устройств, алгоритмов и программ первичной цифровой обработки радиолокационных сигналов, создания устройств широкополосной цифровой радиосвязи.

В конце 2024 года на предприятии трудилось, включая работников обособленных подразделений, 220 человек

Динамика выпуска изделий 2005 – 2024 г.г.

С 2005 г. по настоящее время Предприятие наращивает количественный выпуск изделий СВЧ, расширяет их номенклатуру, выполняет НИОКР по заказам предприятий промышленности.



3. Продвижение инновационной продукции на внутренний рынок

Для успешного продвижения своей продукции на внутренний рынок Предприятие проводит следующие мероприятия:

- старается поддерживать оптимальное соотношение цена/качество предлагаемой на рынок продукции путем повышения производительности труда за счет автоматизации, внедрения перспективных технологий и оборудования;
- расширяет номенклатуру производимых серийно усилителей мощности в сторону увеличения КПД и выходной мощности;
- совершенствует структуру и внутрифирменный менеджмент с целью минимизации затрат при производстве;
- регулярно публикует рекламу в профильных журналах «Электроника: наука, технология, бизнес», «Электроника СВЧ» и других, участвует в профильных выставках и научно-технических конференциях, в том числе в качестве организатора.

4. Основными заказчиками продукции является ряд отечественных предприятий-производителей сложных электронных систем

5. Краткое техническое описание продукции

Выпускаемые модули построены на базе современных арсенидгаллиевых (GaAs), нитридгаллиевых (GaN) СВЧ-транзисторов и монолитно-интегральных схем зарубежного и российского – в том числе собственной разработки – производства. Усилители имеют высокое и равно-

мерное усиление в полосе частот октава и более (типичная неравномерность ± 1 дБ при усилении 40 дБ), широкий динамический и температурный диапазоны, малые габариты и вес, а также функциональные особенности, повышающие их эксплуатационные и надежность характеристики: температурную компенсацию усиления (температурные изменения усиления не более ± 1.5 дБ в диапазоне от -50 до $+75$ градусов), возможность импульсной модуляции с фронтами 0.2 мкс, встроенный детектор выходной мощности, цифровое управление коэффициентом усиления. Параметры мощных усилителей соответствуют лучшим мировым образцам.

6. Дальнейшее развитие Предприятия АО «Микроволновые системы»

предполагает следующее:

- расширение номенклатуры выпускаемых модулей: непрерывно ведется разработка различных типов широкополосных мощных усилителей СВЧ, в том числе мощных импульсных усилителей, прямо-передающих модулей для АФАР;
- активное применение в новых разработках GaN-транзисторов и МИС для получения качественно новых электрических и надежность характеристик модулей СВЧ;
- дальнейшее внедрение автоматизированных стендов комплексной настройки: все серийно выпускаемые модули СВЧ тестируются на автоматизированных измерительных стендах, легко перенастраиваемых под новые производственные задачи;
- расширение производства миниатюрных изделий в герметичных корпусах поверхностного и фланцевого монтажа (интегральных схем);
- разработку монолитных интегральных схем и транзисторов СВЧ;
- разработку радиолокационных устройств на основе технологии АФАР.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Коллектив специалистов АО «Микроволновые системы» .





Помещение чистой зоны: 310 кв.м, класс чистоты – ISO-7.



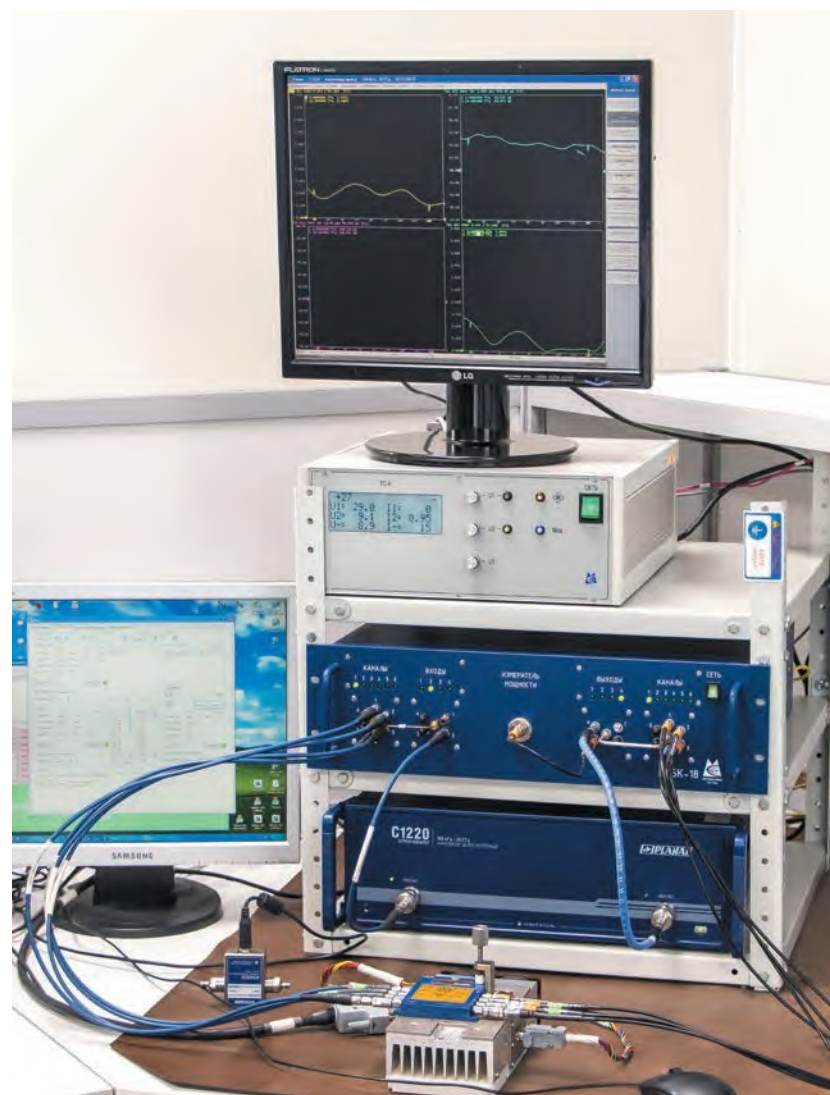
Чистая зона: участок микросварки.



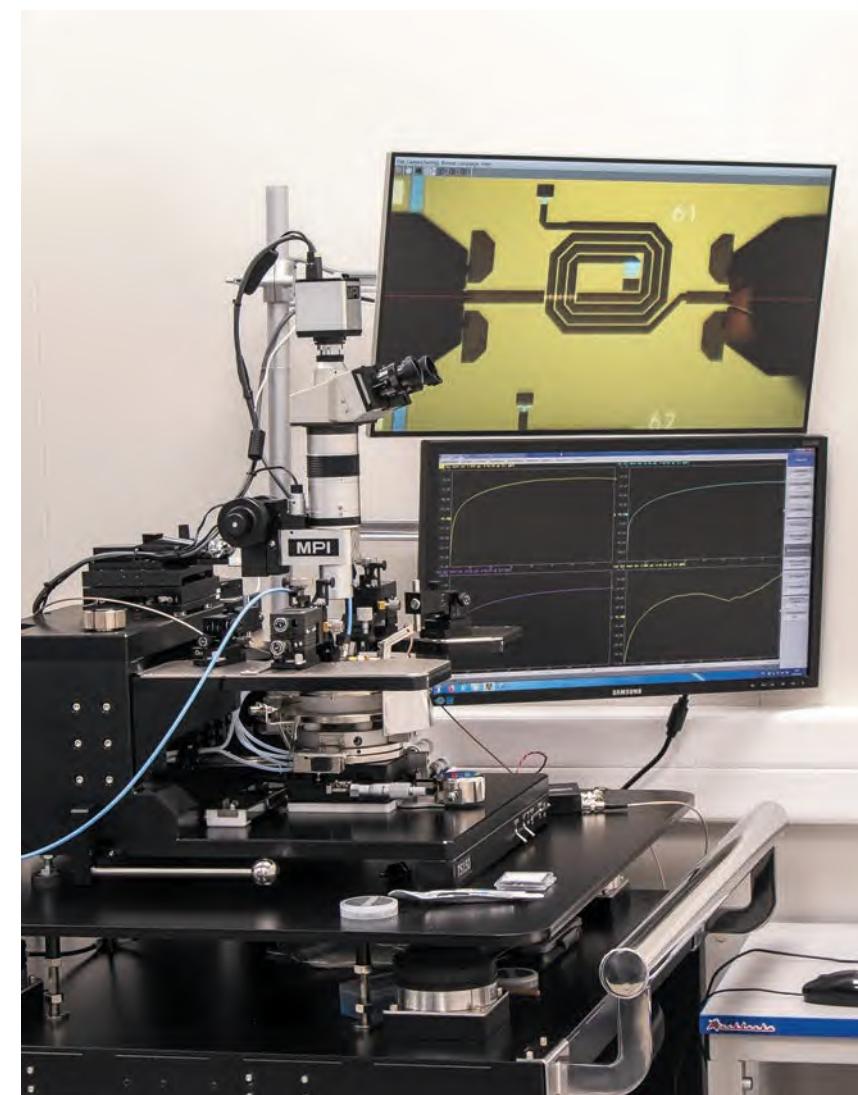
Чистая зона: участок настройки СВЧ модулей.



Автоматизированный стенд комплексной настройки мощного усилителя СВЧ с жидкостным охлаждением.



Автоматизированные измерения в диапазоне до 20 ГГц:
многоканальный (до 8-ми каналов) автоматизированный измерительный стенд на базе векторного анализатора и измерителя мощности.

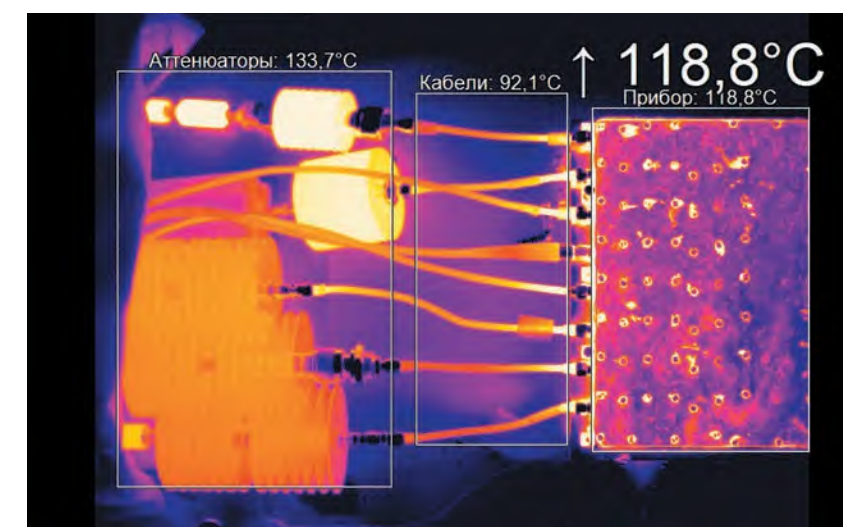


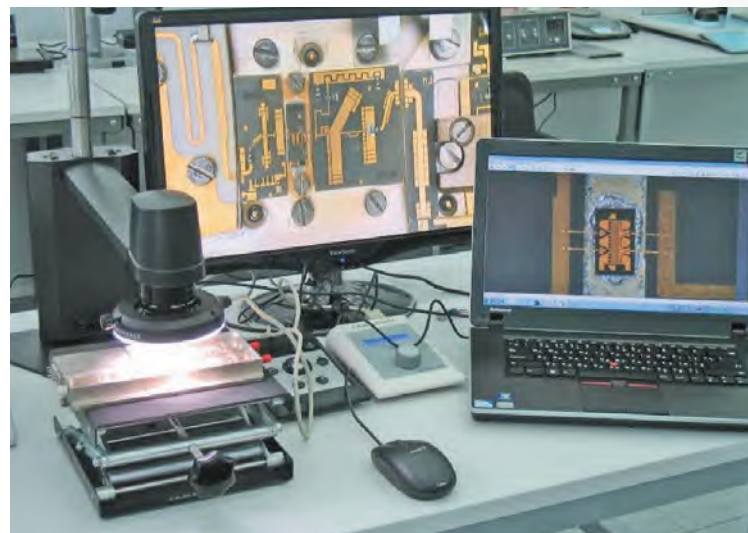
Автоматизированный измерительный стенд
проверки параметров СВЧ МИС на базе зондовой станции MPI.



Автоматизированный стенд воздушного охлаждения
с возможностью регулирования параметров потока охлаждающего воздуха.

Детальное исследование тепловых режимов
модулей СВЧ и ГИС с помощью тепловизора с высоким разрешением.



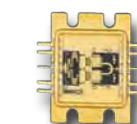
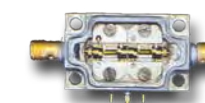
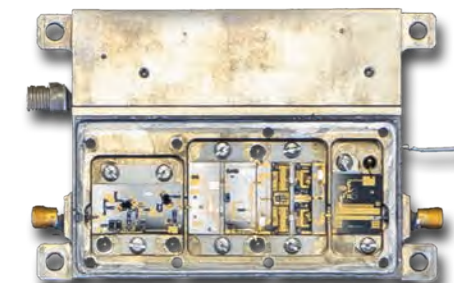
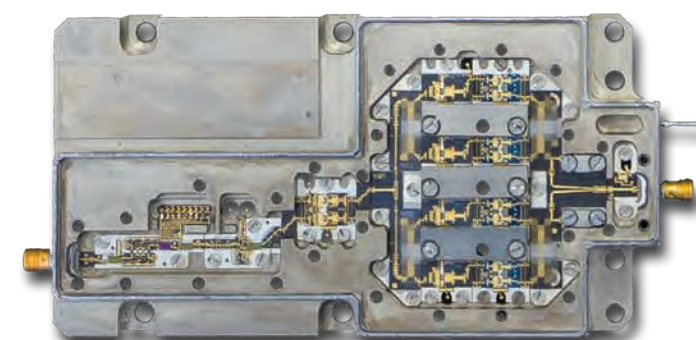
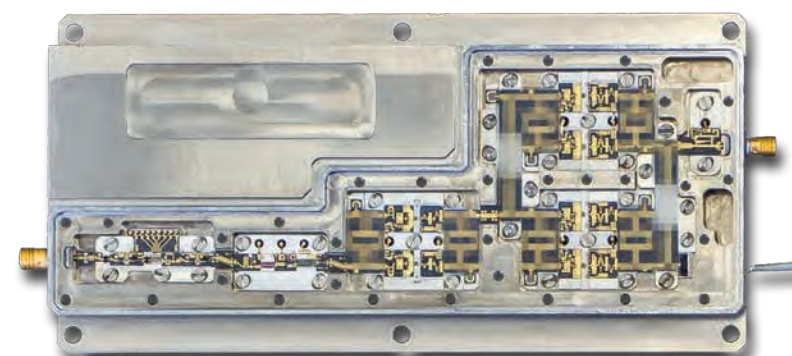
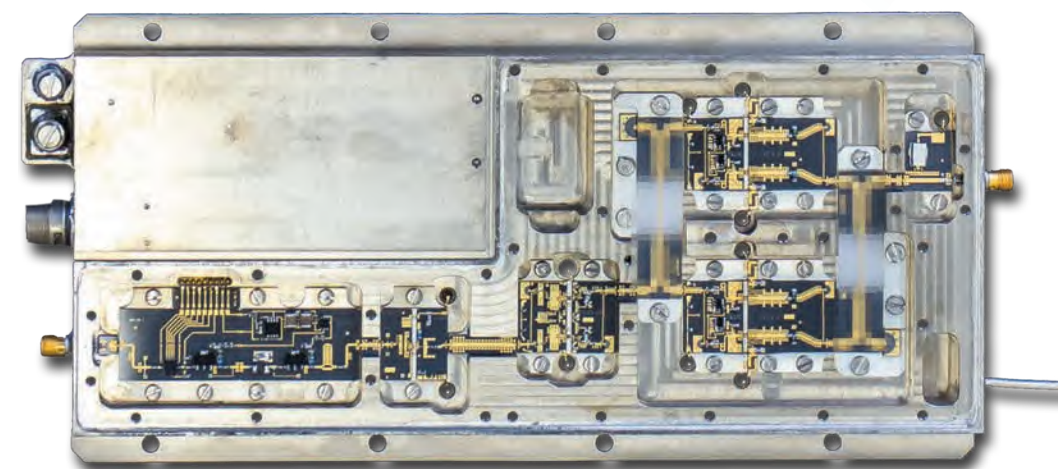


Контроль топологии

транзисторов, МИС и ГИС, разрабатываемых специалистами предприятия.



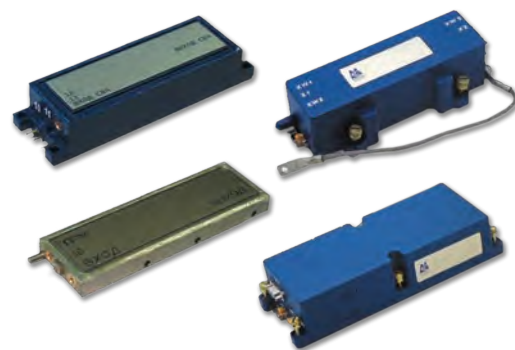
Конференции по актуальным вопросам СВЧ электроники, организатором которых является АО «Микроволновые системы», проводятся на регулярной основе.



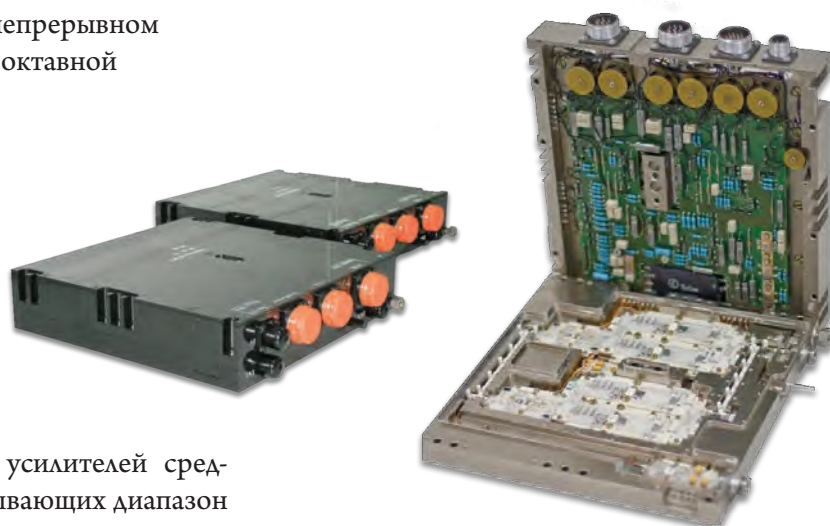
Усилители, разработанные и производимые Предприятием.

Предприятие активно участвует в НИОКР, в ходе которых разрабатывает широкую палитру СВЧ модулей. Большинство этих модулей удовлетворяет специфическим требованиям заказчиков и поставляется только им. В настоящем каталоге кратко представлены направления, по которым уже закончены и еще ведутся разработки, для того чтобы наглядно продемонстрировать **возможности АО «Микроволновые системы» по разработке и производству сложных многофункциональных СВЧ-устройств:**

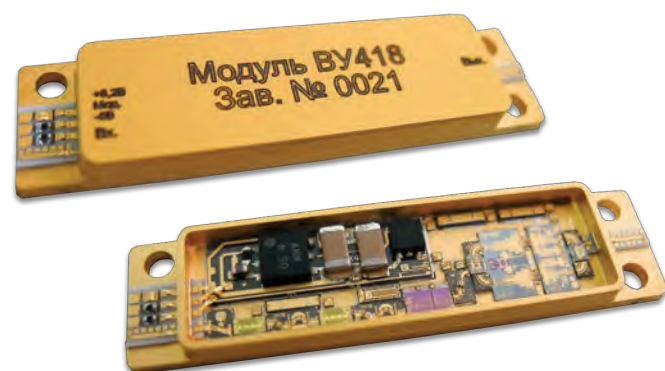
1. Комплект приемо-передающих и усилительных модулей.



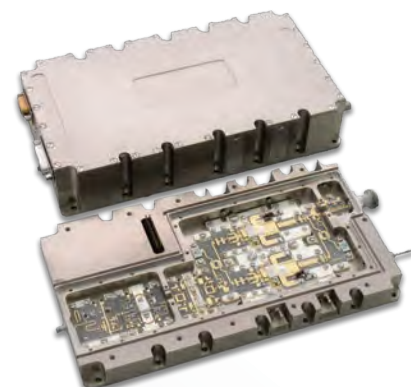
2. Мощный усилитель (в непрерывном режиме 100 – 160 Вт) с октавной полосой частот.



3. Серия универсальных усилителей средней мощности, перекрывающих диапазон 1-18 ГГц в герметичных микрокорпусах фланцевого типа.



4. Серия мощных широкополосных усилителей L-диапазона, работающих в непрерывном режиме.



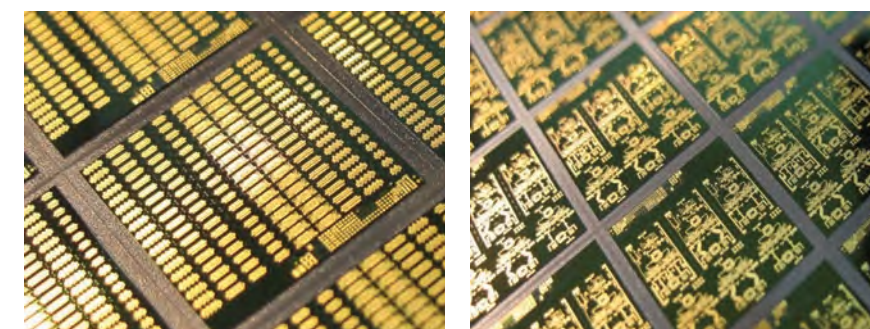
5. Мощные приемо-передающие модули, работающие в импульсном режиме, для применения в перспективных системах радиолокации.



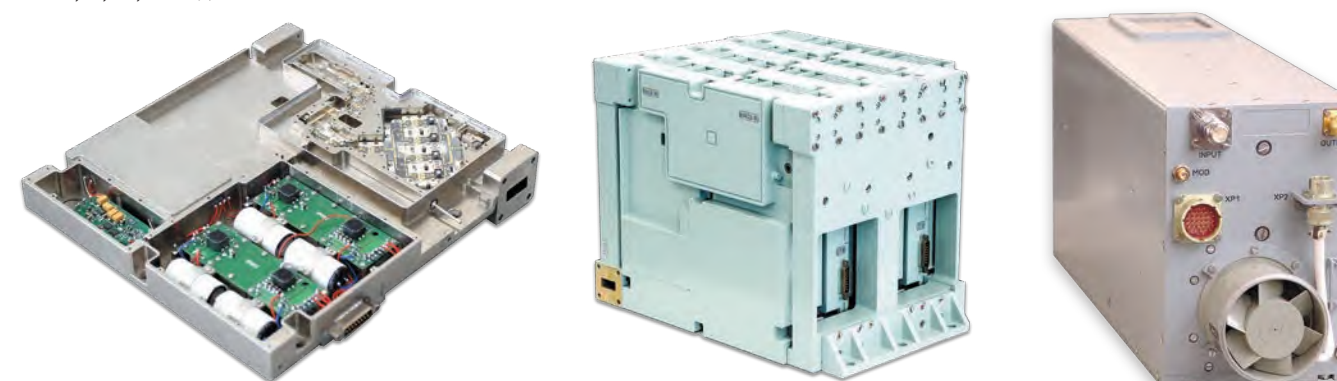
6. Серия усилителей мощности, перекрывающих диапазон 0,8-18 ГГц с однополярным питанием.



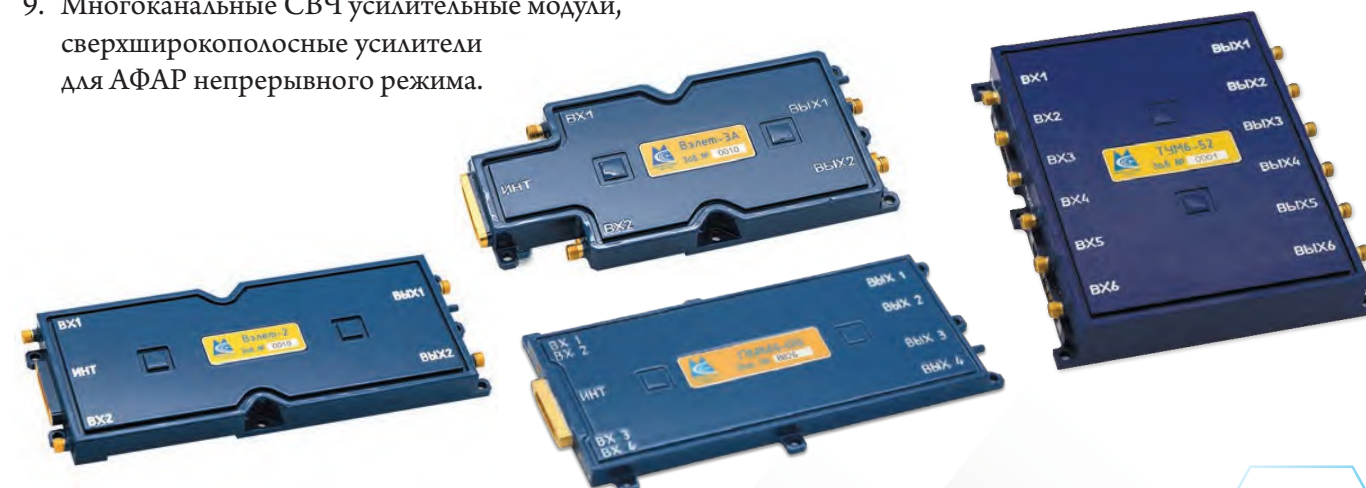
7. Разработка транзисторов и монолитных интегральных схем для применения в собственных СВЧ модулях, а также для обеспечения потребностей заказчиков.



8. Высокомощные многорежимные импульсные усилители мощности L, S, C, X – диапазонов.



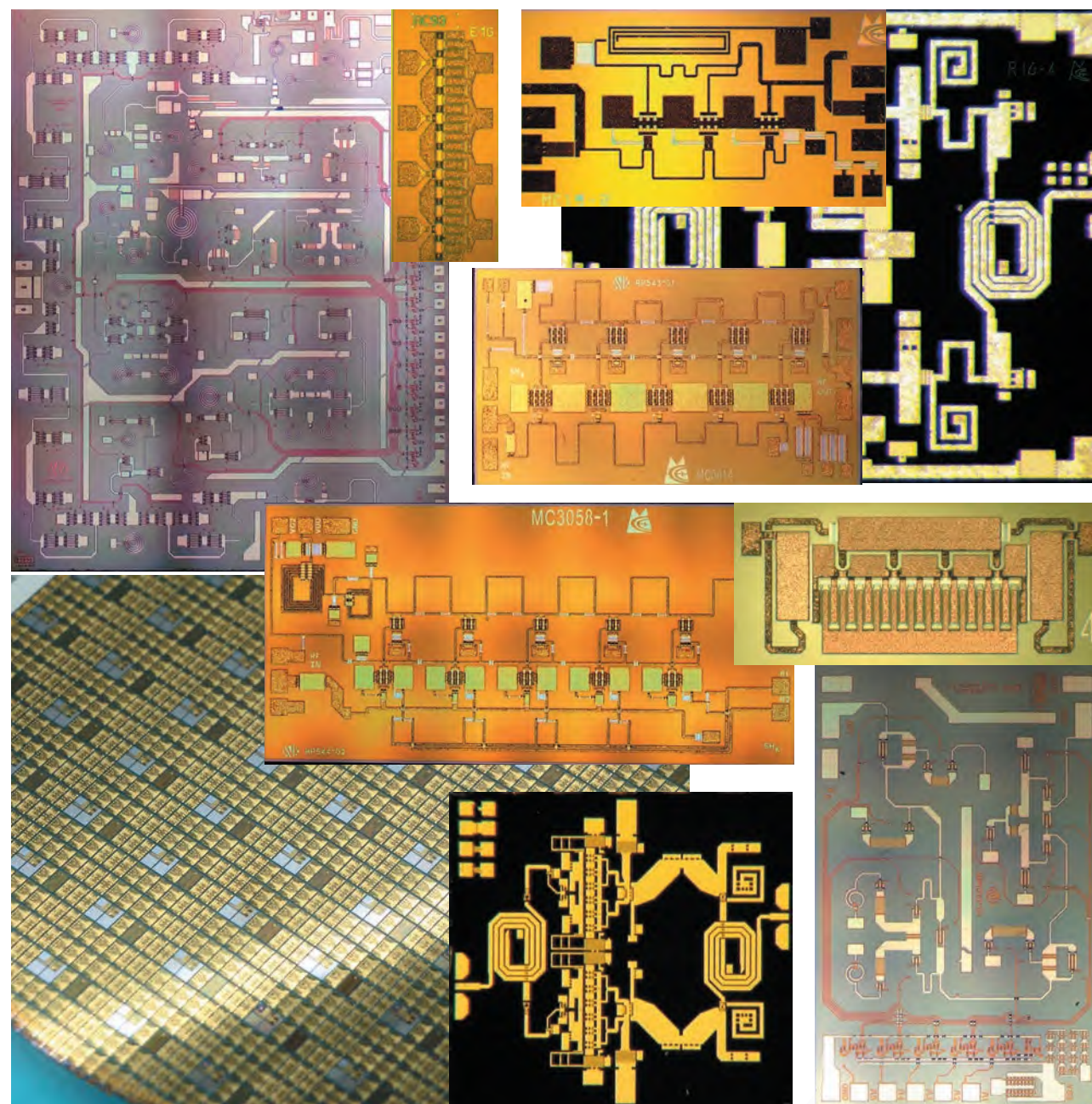
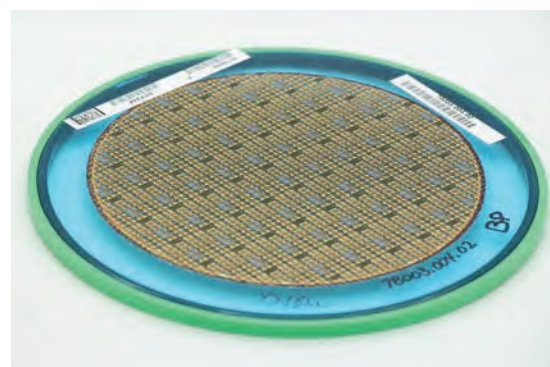
9. Многоканальные СВЧ усилительные модули, сверхширокополосные усилители для АФАР непрерывного режима.



Монолитные интегральные схемы (МИС)

Основные характеристики:

- ▶ Диапазон частот от 0 до 45 ГГц
- ▶ Узкополосные, октавные и мульти-октавные
- ▶ Используемые технологии GaAs pHEMT, GaN HEMT, PIN
- ▶ Выходная мощность от 0,01 до 10 Вт
- ▶ Встроенные цифровые аттенюаторы, фазовращатели; многофункциональные МИС; пассивные МИС
- ▶ Проектирование с целью замены снятых с производства МИС

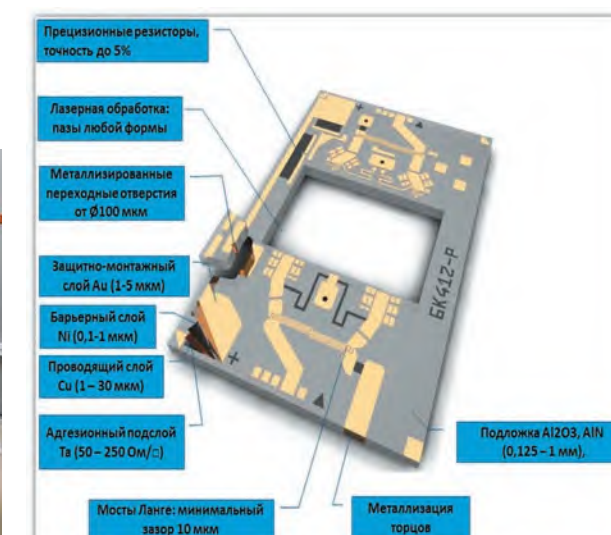


Компоненты гибридных интегральных схем СВЧ

Тонкопленочные платы на керамических подложках

Основные характеристики:

- ▶ материалы: Al_2O_3 (поликор), AlN толщина от 0,127 до 2 мм;
- ▶ металлизированные отверстия, торцевая металлизация;
- ▶ точность формирования элементов ± 5 мкм;
- ▶ минимальный зазор между элементами 15 мкм;
- ▶ Резисторы 50 и 100 Ом/квадрат.



Однослойные СВЧ конденсаторы (SLC) по спецификации потребителя

Основные характеристики:

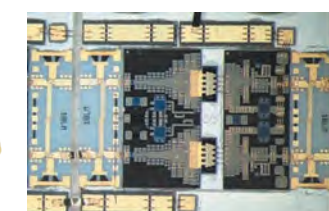
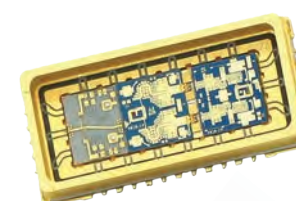
- ▶ материалы с диэлектрической постоянной от 100 до 4000
- ▶ толщина 0,2 и 0,25 мм
- ▶ односторонняя или двухсторонняя литография контактных площадок
- ▶ размеры от 0,35x0,35 до 2x2 мм
- ▶ аналоги конденсаторов ATC серий 118 и 119



Герметичные вводы – стандартные и по спецификации потребителя

Основные характеристики:

- ▶ натекание менее $1 \cdot 10^{-7}$ л мкм рт.ст./с
- ▶ материал выводов – 29НК, покрытие – Зл.3

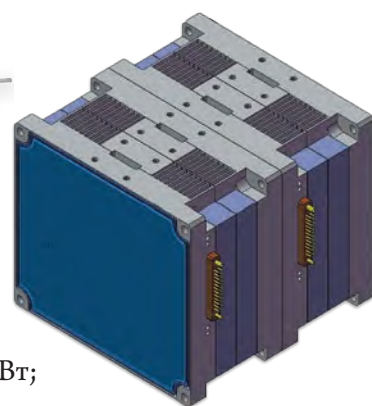


Модули СВЧ для построения радиолокационных систем

Приемо-передающие модули

Основные характеристики:

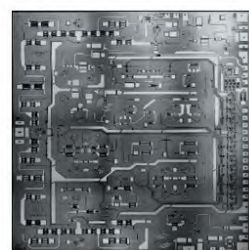
- ▶ диапазоны частот – С, Х, Ku;
- ▶ число каналов от 1 до 8;
- ▶ коммерчески-доступные компоненты и компоненты собственной разработки;
- ▶ выходная мощность от 1 до 15 Вт на канал;
- ▶ разработка по спецификации потребителя, производство, внедрение.



Импульсные усилители мощности

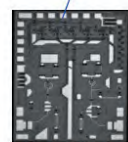
Основные характеристики:

- ▶ диапазоны частот – С, Х, Ku;
- ▶ выходная импульсная мощность от 100 до 2000 Вт;
- ▶ длительность импульса от 0,5 до 42000 мкс;
- ▶ скважность от 1,6 до 6400;
- ▶ коммерчески-доступные компоненты и компоненты собственной разработки;
- ▶ разработка по спецификации потребителя, производство.



MSP003D

Монолитная интегральная схема векторного модулятора, имеющая 3х-портовую конфигурацию и содержащая переключатели режимов «RX/TX», 6-разрядный фазовращатель, 5-разрядный аттенуатор, а также четыре буферных усилителя.



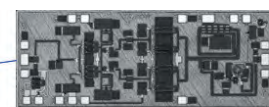
MSP012D

фазовращатель (2 бита)/аттенуатор (3 бита)



MSD109V

Дискретно-управляемый аттенуатор 0/20 дБ



MSN560V

Параметр	Значение
Рабочий диапазон частот, ГГц	8-11
Коэффициент усиления на малом сигнале, дБ	17,5
Выходная мощность при компрессии коэффициента усиления на 5 дБ, Вт	12,0
КПД по добавленной мощности, %	39



MSP504V

Параметр	Значение
Рабочий диапазон частот, ГГц	8-12
Коэффициент шума, дБ	≤ 1
Коэффициент усиления, дБ	20

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС НА ПРЕДПРИЯТИИ

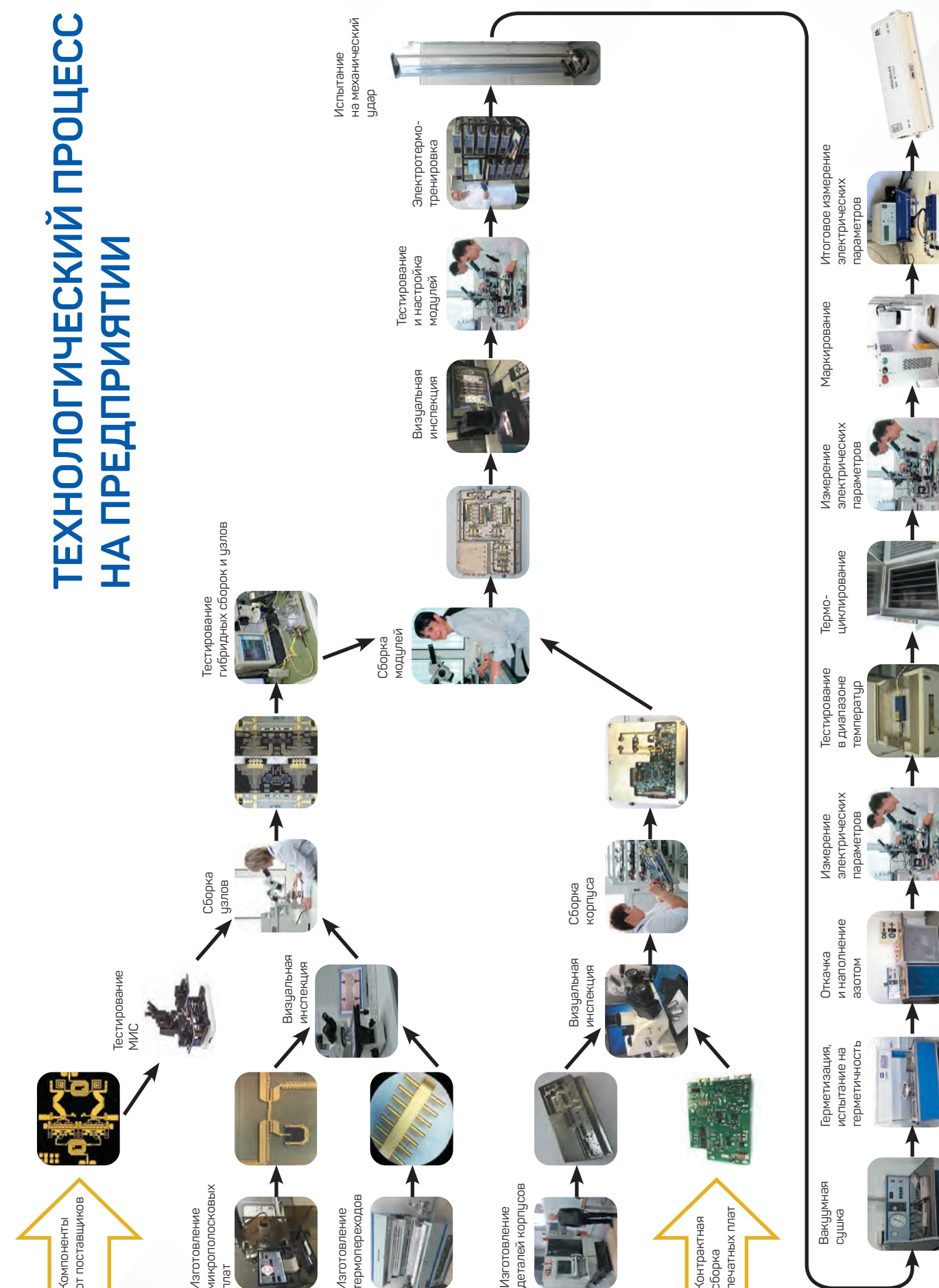


Табл.1 Усилители мощности СВЧ

Наименование усилителя	Функциональные особенности	ΔЕ, ГГц	К _у , ΔБ, тип.	ΔК _у , ΔБ, не более	Р _{ном} Вт, тип.	Р _{нас} , Вт, тип.	КСВН вх/вых, не более	Упит., В, тип.	Ипотр., А, не более	Примечание
MS0082540	• малые габариты и масса • цифровое 5-разрядное управление усилением • встроенный детектор выходной мощности • встроенный скоростной (300 нс) модулятор питания • температурная компенсация усиления • питание от одного источника питания	0,8-2,5	56	3	45	50	2,0/2,0	+27	6	
УМ1535А	• возможность скоростной (300 нс) модуляции выходной мощности и тока • встроенные стабилизаторы питания • температурная компенсация усиления • встроенный детектор выходной мощности • цифровое 5-разрядное управление усилением	0,8-2,5	56	3	45	50	2,0/2,0	+27 -9	6 0,2	
MS010625 (новинка)	• малые габариты и масса • цифровое 5-разрядное управление усилением • встроенный детектор выходной мощности • встроенный скоростной (300 нс) модулятор питания • температурная компенсация усиления • питание от одного источника питания +27 В	1-6	59	5	P _{ном} >30	40	2,5/2,5	+27	7	
УМ1535Б	• встроенные стабилизаторы питания • возможность скоростной (300 нс) модуляции выходной мощности и тока • температурная компенсация усиления • встроенный детектор выходной мощности • цифровое 5-разрядное управление усилением	2-4	55	3	P _{ном} >35	45	2,0/2,0	+27 +9	6 0,2	
MS020440	• малые габариты и масса • цифровое 5-разрядное управление усилением • встроенный детектор выходной мощности • встроенный скоростной (300 нс) модулятор питания • температурная компенсация усиления • питание от одного источника питания	2-4	56	3	P _{ном} >40	45	2,0/2,0	+27	6	
PM24-C8	• встроенные стабилизаторы питания • возможность модуляции выходной мощности и тока • температурная компенсация усиления • встроенный детектор выходной мощности	2-4	40	3	20	25	2,0/2,0	+9 -5	15 0,3	Нормированные ФЧХ
УМ1612С	• возможность скоростной (300 нс) модуляции выходной мощности и тока • встроенные стабилизаторы питания • температурная компенсация усиления • встроенный детектор выходной мощности • цифровое 5-разрядное управление усилением	2-8	50	5	P _{ном} >12	13	2,5/2,5	+27 +9 -9	2,4 0,6 0,1	

Наименование усилителя	Функциональные особенности	ΔЕ, ГГц	К _у , ΔБ, тип.	ΔК _у , ΔБ, не более	Р _{ном} Вт, тип.	Р _{нас} , Вт, тип.	КСВН вх/вых, не более	Упит., В, тип.	Ипотр., А, не более	Примечание
MS020812	• малые габариты и масса • цифровое 5-разрядное управление усилением • встроенный детектор выходной мощности • встроенный скоростной (300 нс) модулятор питания • температурная компенсация усиления • питание от одного источника питания +27 В	2-8	52	5	P _{ном} >12	13	2,5/2,5	+27	2,4	
PM412-8К	• встроенные стабилизаторы питания • возможность скоростной (300 нс) модуляции выходной мощности и тока • температурная компенсация усиления • встроенный детектор выходной мощности • цифровое 5-разрядное управление усилением	4-12	44	5	P ₂ >8	10	2,0/2,5	+9 -9	11 0,25	
PM618-4К	• встроенные стабилизаторы питания • возможность скоростной (300 нс) модуляции выходной мощности и тока • температурная компенсация усиления • встроенный детектор выходной мощности • цифровое 5-разрядное управление усилением	6-18	42	5	P ₂ >4	6	2,0/2,5	+9 -9	6,2 0,25	
PM818-1	• встроенные стабилизаторы питания • возможность скоростной (300 нс) модуляции мощности и тока • температурная компенсация усиления • встроенный детектор выходной мощности • цифровое 4-разрядное управление усилением	8-18	38	4	P ₂ >1,8	2,4	2,5/2,5	+9 -6	2,6 0,2	Нормированные ФЧХ
MS061802	• цифровое 5-разрядное управление усилением • встроенный детектор выходной мощности • встроенный скоростной (300 нс) модулятор питания • температурная компенсация усиления • питание от одного источника питания +9 В	8-18	37	5	P ₁ >1,8	2,0	2,5/2,5	+9	2,5	
Взлет-1	• один вход и два синфазных выхода • малые габариты и масса • цифровое 5-разрядное управление усилением • встроенные детекторы выходной мощности • встроенный скоростной (300 нс) модулятор питания • температурная компенсация усиления	1-4	50	5	P _{ном} >16	18	2,0/2,0	+27 +9 -9	5,0 1,0 0,3	Нормированные ФЧХ
Взлет-2	• два независимых канала усиления • малые габариты и масса • цифровое 5-разрядное управление усилением • встроенные детекторы выходной мощности • встроенный скоростной (300 нс) модулятор питания • температурная компенсация усиления	4-12	50	5	P _{ном} >16	18	2,0/2,0	+27 +9 -9	6,8 7,8 0,4	Нормированные ФЧХ
Взлет-3А	• один вход и два синфазных выхода • малые габариты и масса • цифровое 5-разрядное управление усилением • встроенные детекторы выходной мощности • встроенный скоростной (300 нс) модулятор питания • температурная компенсация усиления	6-18	50	5	P _{ном} >6	7	2,0/2,5	+27 +9 -9	3,5 3,0 0,4	Нормированные ФЧХ

Наименование усилителя	Функциональные особенности	ΔF, ГГц	Ку, дБ, тип.	ΔКу, дБ, не более	Рном Вт, тип.	Рнас, Вт, тип.	КСВН вх/вых, не более	Упит., В, тип.	Ипотр., А, не более	Примечание
УМ1710Б	• встроенные стабилизаторы питания • возможность скоростной (300 нс) модуляции выходной мощности тока • температурная компенсация усиления • встроенный детектор выходной мощности • цифровое 5-разрядное управление усилением	5-18	45	4	$P_{max} > 10$	12	2,2/2	+27 +9 -9	2,6 1,7 0,1	
MS061806 (новинка)	• малые габариты и масса • цифровое 5-разрядное управление усилением • встроенный детектор выходной мощности • встроенный скоростной (300 нс) модулятор питания • температурная компенсация усиления • питание от одного источника питания +27 В	6-18	49	5	$P_2 > 6,0$	8,0	2,0/2,5	+27	2,2	
MS061805	• малые габариты и масса • цифровое 5-разрядное управление усилением • встроенный детектор выходной мощности • встроенный скоростной (300 нс) модулятор питания • температурная компенсация усиления • питание от одного источника питания +9 В	6-18	44	5	$P_3 > 4,5$	5,2	2/2,5	+9	6,2	
MS061810	• цифровое 5-разрядное управление усилением • встроенный детектор выходной мощности • встроенный скоростной (300 нс) модулятор питания • температурная компенсация усиления • питание от одного источника питания +27 В	6-18	45	4	$P_{max} > 10$	12	2,2/2	+27	3,5	Нормированные ФЧХ
УМ1505Б	• встроенные стабилизаторы питания • возможность скоростной (300 нс) модуляции выходной мощности и тока • температурная компенсация усиления • встроенный детектор выходной мощности • цифровое 5-разрядное управление усилением	8-18	43	5	$P_3 > 5$	6	2/2,5	+9 -9	6,2 0,25	

Табл.2 Усилители СВЧ маломощные:

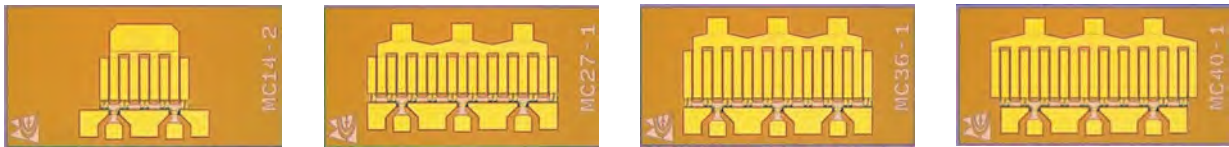
Наименование усилителя	Функциональные особенности	ΔF, ГГц	Ку, дБ, не менее	ΔКу, дБ, не более	Р _н , мВт, не менее	Рнас, мВт, не менее	КСВН вх/вых, не более	Упит., В, тип.	Ипотр., мА, не более	Кш, дБ, не более
MSLA-20180-4.0(M,G)	• встроенный стабилизатор питания • возможность модуляции (М) • возможность полоскового исполнения ГИС (G)	2-18	12	2	15	30	2,5	+7,5 (+6,0 для ГИС)	90	4,5
MSLA2-20180-4.0(M)	• встроенный стабилизатор питания • возможность модуляции (М)	2-18	24	4	15	30	2,5	+7,5	180	4,5
UVA-51A2MC	• встроенный стабилизатор питания • температурная компенсация усиления	2-18	34	4	50	100	2,0	+7,5	350	4,7

ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ КОМПОНЕНТНАЯ БАЗА

1. GaAs HEMT

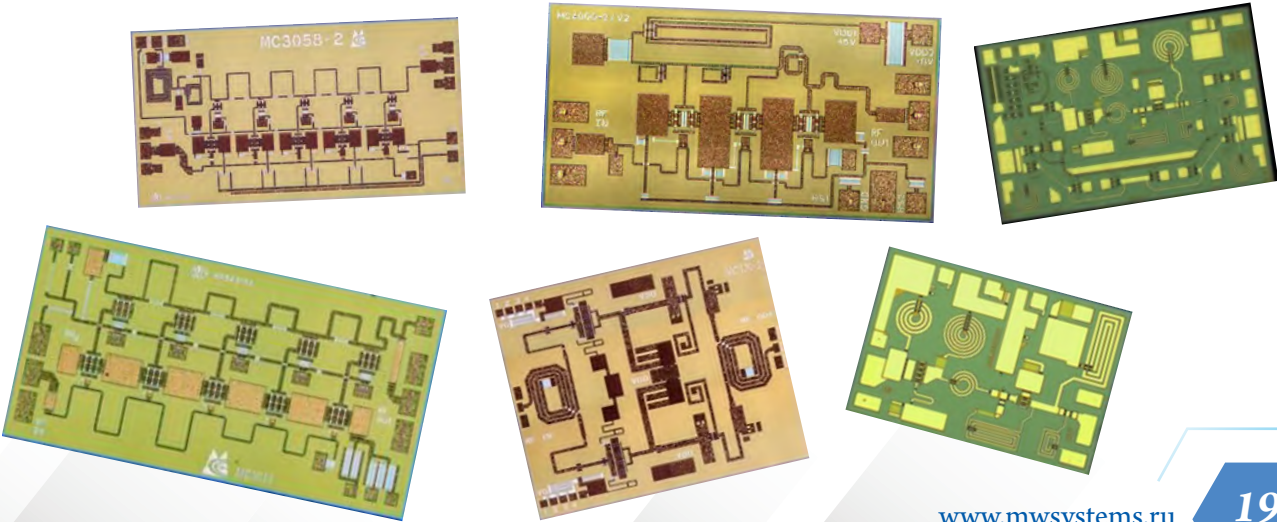
Наименование	F _{РАБ'} ГГц	P _{1дБ'} Вт	K _{УР'} дБ	U _{СИ'} В	I _{СИ.нас'} А	Аналог	Примечание
MC14-2	0 ... 18	1,1*	8,0*	8,0	0,6	TGF2120, FLK207XV, BCP080C, AM010WH2, MWT-11F, FLC167WF	производство
MC24C	0 ... 18	2,0*	7,5*	8,0	1,0	TGF2160, FLX257XV, BCP080T	производство
MC24-2C	0 ... 18	2,0*	7,5*	8,0	1,0	BCP080T, FLX257XV	производство
MC27-1	0 ... 18	2,2*	7,2*	8,0	1,2	BCP120C, AM048MX, FLC257MH-6	производство
MC27-1C	0 ... 18	2,2*	7,2*	8,0	1,2	BCP120C, AM048MX	производство
MC28C	0 ... 18	2,2*	7,0*	8,0	1,3	BCP160C, FLC257MH-6	производство
MC36-2C	0 ... 14	3,0**	7,2**	8,0	1,5	MGF2445, BCP120T, AM030WX	производство
M40C	0 ... 14	3,4**	7,0**	8,0	1,8	BCP240C, BCP160T, AM030WH2	производство

* – F_{ИЗМ} = 18 ГГц; ** – F_{ИЗМ} = 14 ГГц



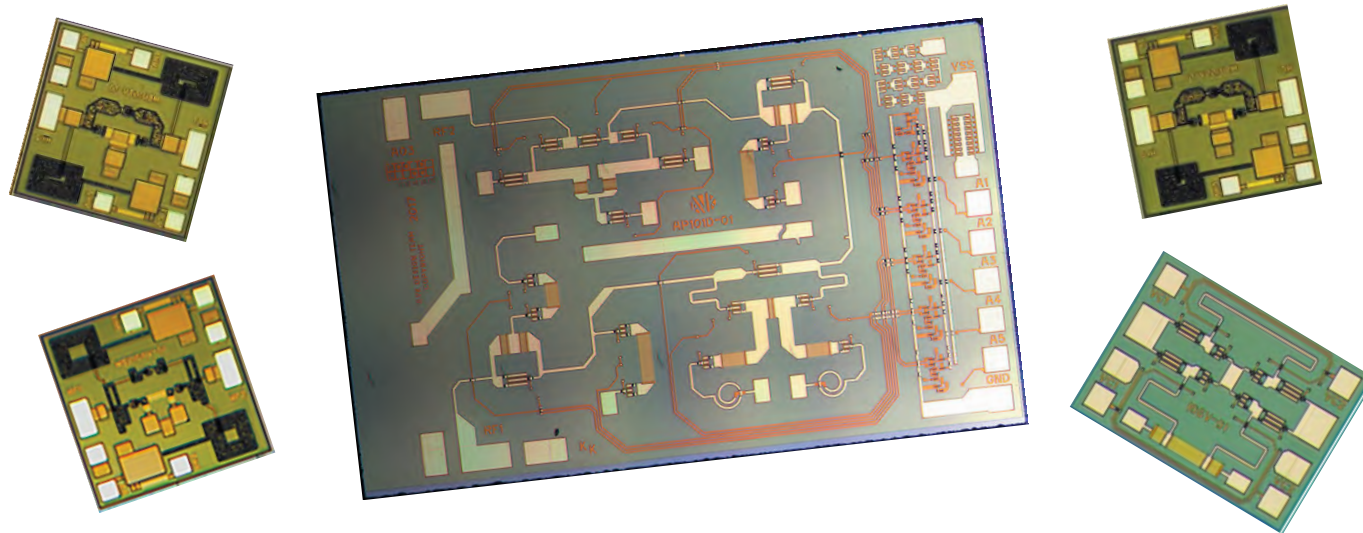
2. GaAs усилители мощности

Наименование	Диапазон частот, ГГц	P _{ВЫХ'} мВт	K _{УР'} дБ	Δ _{КУР'} дБ	K _{ш'} дБ	U _{ПИТ'} В	Аналог	Примечание
MC3058-2	2 – 20	30	14,0	3,0	5,0	8,0	AB1520AD, HMC463/462 HMC-ALD102	производство
MC4000-2	2 – 20	100	9,0	3,0	–	8,0	CMM4000-BD, TGA8310-SCC ALH435	производство
MC0014	2 – 20	200	12,0	3,0	–	8,0	CMM0014-BD, TGA1342-SCC	производство
MC120-2	5 – 18	1000	10,0	1,5	–	8,0	BW1765, NC11158C-618	производство
MSP504D	7,5 – 12,0	50	20,0	1,5	1,1	5,0	ASL1013, CMD271	производство
MSP013D	8,0 – 11,5	50	19,0	1,1	2,0	5,0	GA2612	производство



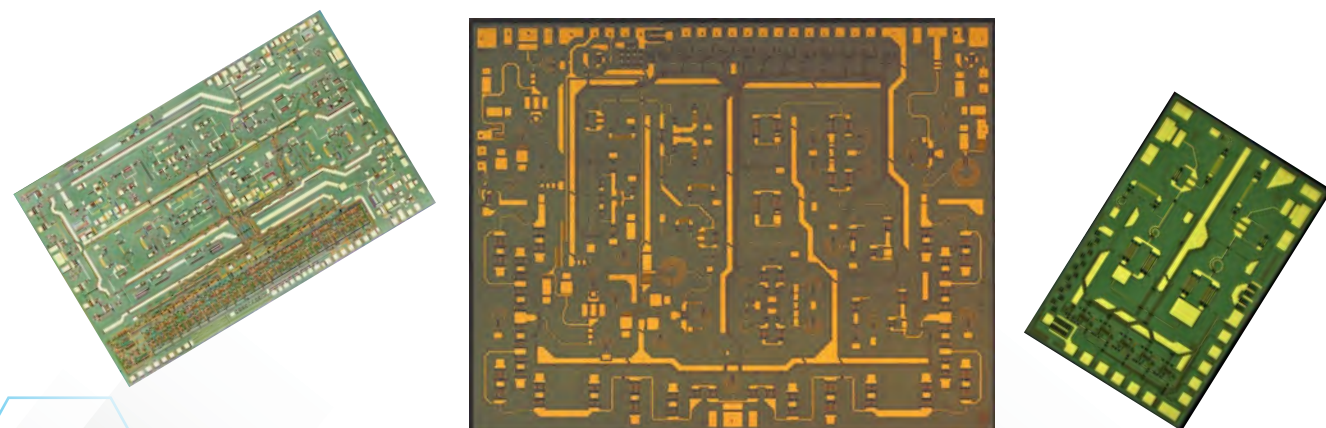
3. GaAs аттенюаторы

Наименование	Диапазон частот, ГГц	Дискрет, кол-во	Мин. дискрет, дБ	$L_{\text{НАЧ}}$, дБ	$P_{\text{ВХ.МАКС}}$, мВт	Аналог	Примечание
MSP101D	0 – 20	5	0,9	5,0	500	MAATGM00040D XA1000-BD, VWA5000055A	производство
MSP106V	2 – 20	1	20	3,0	500	NDAC05005 AP106V	разработка
MSD107V	6 – 9	1	20	0,8	500	NDAC05005	производство
MSD108V	4 – 8	1	20	1,3	500	NDAC05005	производство
MSD109V	5 – 10	1	20	0,8	500	NDAC05005	производство



4. GaAs core-chip

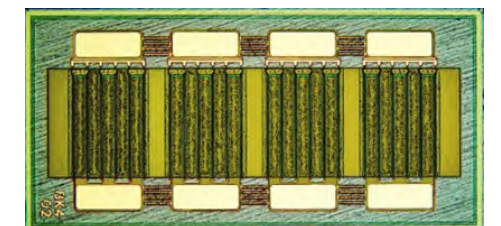
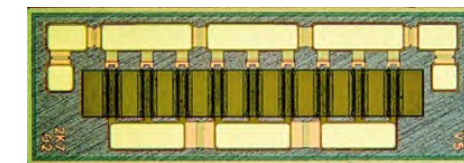
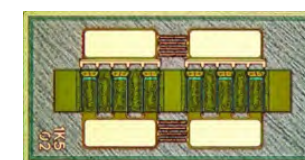
Наименование	ΔF , ГГц	$K_{\text{УР.ПРМ}} / K_{\text{УР.ПРД}}$, дБ	$P_{\text{1дБ}}$, мВт	Мин. дискрет АТТ, дБ	Мин. дискрет ФВ, град	Кол-во разрядов АТТ/ФВ	Аналог	Примечание
MSP003D	8-11	20	50	0,9	5,625	5/6	VWA5000049AA AP003D	производство
MSP010D	15,5-17	17	50	0,5	5,625	6/6	–	производство
MSP012D	8-11	–2,7	50	0,5	1,4	3/2	–	производство



5. GaN HEMT

Наименование	Диапазон рабочих частот, ГГц	$P_{\text{ЗдБ}}$, Вт	$K_{\text{УР}}$, дБ	$U_{\text{СИ}}$, В	$I_{\text{СИ.НА}}$, А	Аналог	Примечание
MC1K	0 ... 18	4,0*	9,0*	28,0	0,8	TGF2023-01 CGHV1J006D	производство
MC1K5	0 ... 18	6,0*	9,0*	28,0	1,1	D2J015DB2, JD18W303	производство
MC2K	0 ... 18	8,0*	8,0*	28,0	1,5	TGF2023-02	производство
MC2K25	0 ... 18	9,0*	9,0*	28,0	1,7	CGH60008D	производство
MC2K7	0 ... 18	12,0*	10,0*	28,0	2,0	TGF2023-2-02	производство
MC3K	0 ... 18	11,0**	9,0*	28,0	2,4	TGF2023-02 TGF2023-2-02	производство
MC4K2	0 ... 14	15,0**	8,0**	28,0	3,5	CG2H80015D	производство
MC8K4	0 ... 14	30,0**	8,0**	28,0	6,7	CGH60030D CG2H80030D	производство

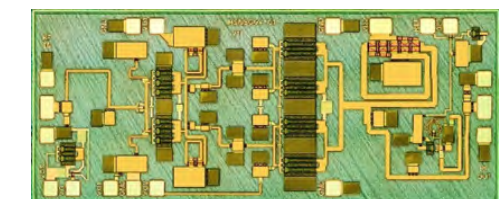
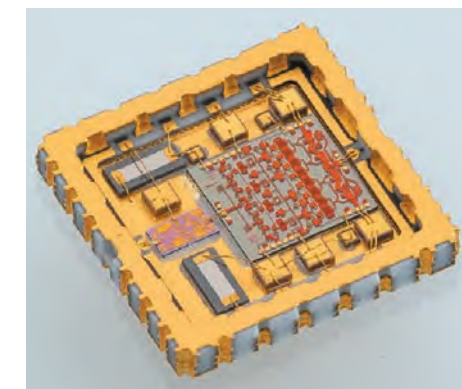
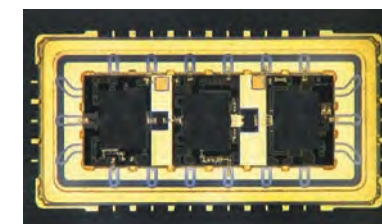
* – $F_{\text{ИЗМ}} = 18$ ГГц; ** – $F_{\text{ИЗМ}} = 14$ ГГц



6. GaAs/GaN импульсные усилители мощности

Наименование	Диапазон рабочих частот, ГГц	$P_{\text{НАС}}$, Вт	КПД, %	$K_{\text{УР.1дБ}}$, дБ	$U_{\text{СИ1}}$, В	$U_{\text{СИ2}}$, В	$I_{\text{СИ.ПОК.Э}}$, А	$T_{\text{И}}$, мкс	Q
M1603B	8,5 ... 9,7	13	33	20,0	28,0	–	0,35	100	10
MC551*	7,8 ... 10,5	20	30	45,0	5,0	25,0	2,1	100	10
MSN560V	8,0 ... 11,0	12	36	20	24,0	–	720	100	10

* – временно не поставляются



Широкополосный мощный СВЧ усилитель PM24-C8 2 – 4 ГГц / 20 Ватт / 40 дБ

Усилитель PM24-C8 предназначен для усиления непрерывных, импульсных и модулированных сигналов в S-диапазоне. Усилитель построен на основе современных GaAs гетероструктурных мощных транзисторов, что обеспечивает высокую выходную мощность в октавной полосе частот, высокое и равномерное усиление, широкий динамический и температурный диапазоны, высокую линейность передаточной характеристики. Исключительные технические параметры и высокая надежность обеспечены использованием современной тонкопленочной ГИС технологии, эффективными схемами согласования и суммирования мощности, высоконадежными комплектующими ведущих мировых производителей, герметичной конструкцией. Спроектирован для различных применений, пригоден для использования в активных фазированных антенных решетках.

Основные особенности усилителя:

- ▶ Транзисторный класса A/AB
- ▶ Октавная мгновенная полоса
- ▶ Малые габариты и масса
- ▶ Возможность модуляции выходной мощности и тока
- ▶ Температурная компенсация усиления
- ▶ Высокая идентичность АЧХ и ФЧХ
- ▶ Встроенный детектор выходной мощности
- ▶ Тонкопленочная ГИС технология
- ▶ Высокая надежность и стойкость к ВВФ



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ при T=25°C, VDC+ = +9 В, VDC- = -5 В, 50Ω

Параметры	Значения	Мин.	Тип.	Макс.	Ед. изм.
Рабочий диапазон частот	ΔF	2.0		4.0	ГГц
Выходная мощность в непрерывном режиме	P_{sat}	22	25		Вт
Входная мощность при заданной P_{sat}	P_{in}		5		мВт
Выходная мощность при компрессии 1 дБ	P_{1dB}	18	20		Вт
Коэффициент усиления в линейном режиме	G_{ss}	38	40	42	дБ
Неравномерность АЧХ	ΔG		± 1.0	± 1.5	дБ
Изменение усиления в диапазоне -40...+70°C	ΔG_t		± 0.75	± 1.5	дБ
КСВН входа и выхода	VSWR in/out			2:1	
Уровень гармоник при мощности P_{sat}	P_{nw}		-25	-12	дБс
Фазовая неидентичность	$\Delta \phi$		± 12	± 20	градусов
Время нарастания/спада выходной мощности	T_r		100	200	нс
Напряжение питания 1	VDC+	8.6	9	10.5	В
Ток потребления по цепи питания 1	I+		13	15	А
Напряжение питания 2	VDC-	-4.7	-5	-5.5	В
Ток потребления по цепи питания 2	I-		0.2	0.3	А

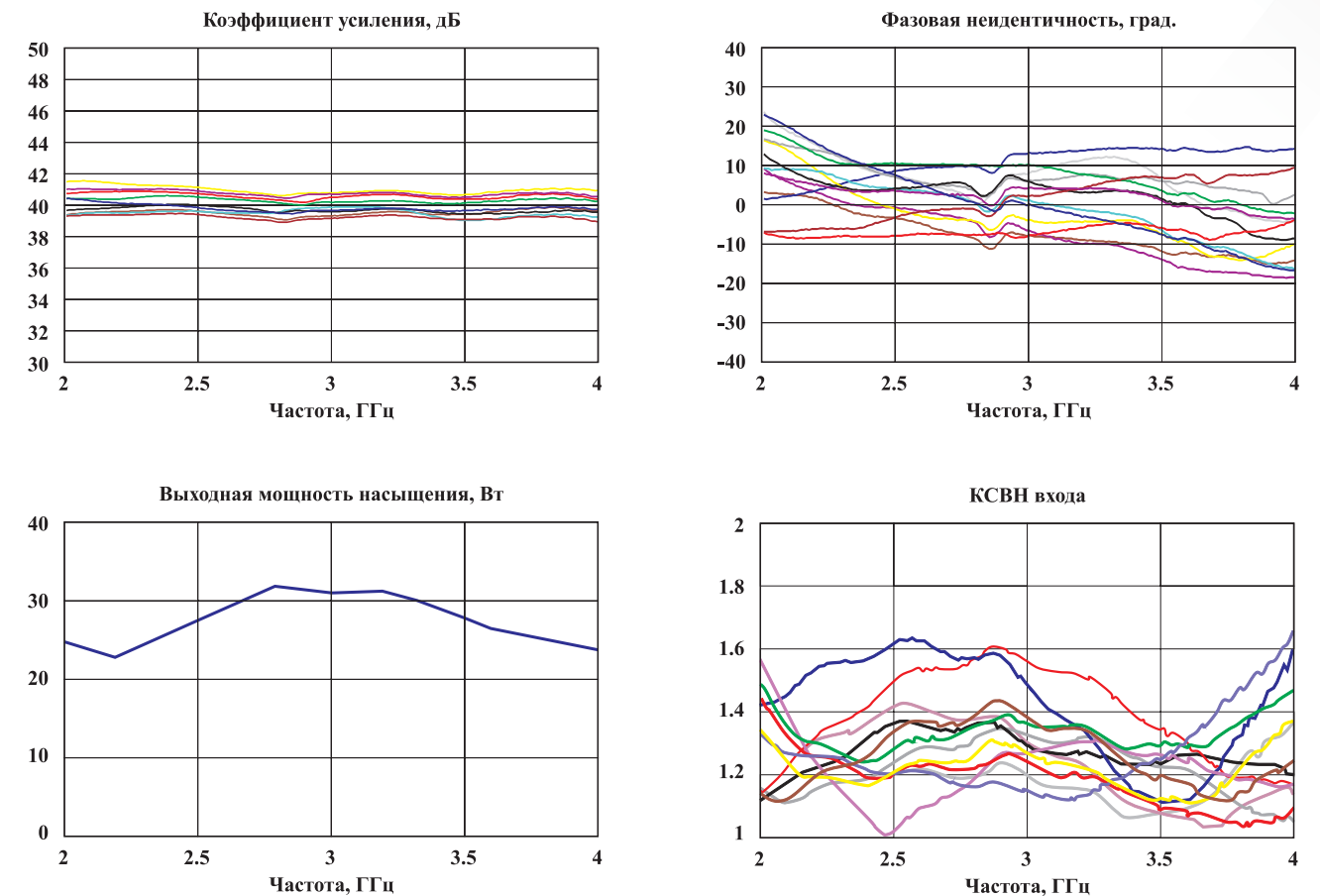
ПАРАМЕТРЫ КОНСТРУКЦИИ

Параметры	Обозн.	Ед. изм.	Огранич.
Габаритные размеры	225 x 100 x 22,5	мм	макс
Масса	0.87	кг	макс
СВЧ соединители	3.5/1.52 (CPG50-751ФВ) или SMA(f)		
Вводы питания, модуляции, контроля	Паяные контакты		
Охлаждение	Внешний теплоотвод		

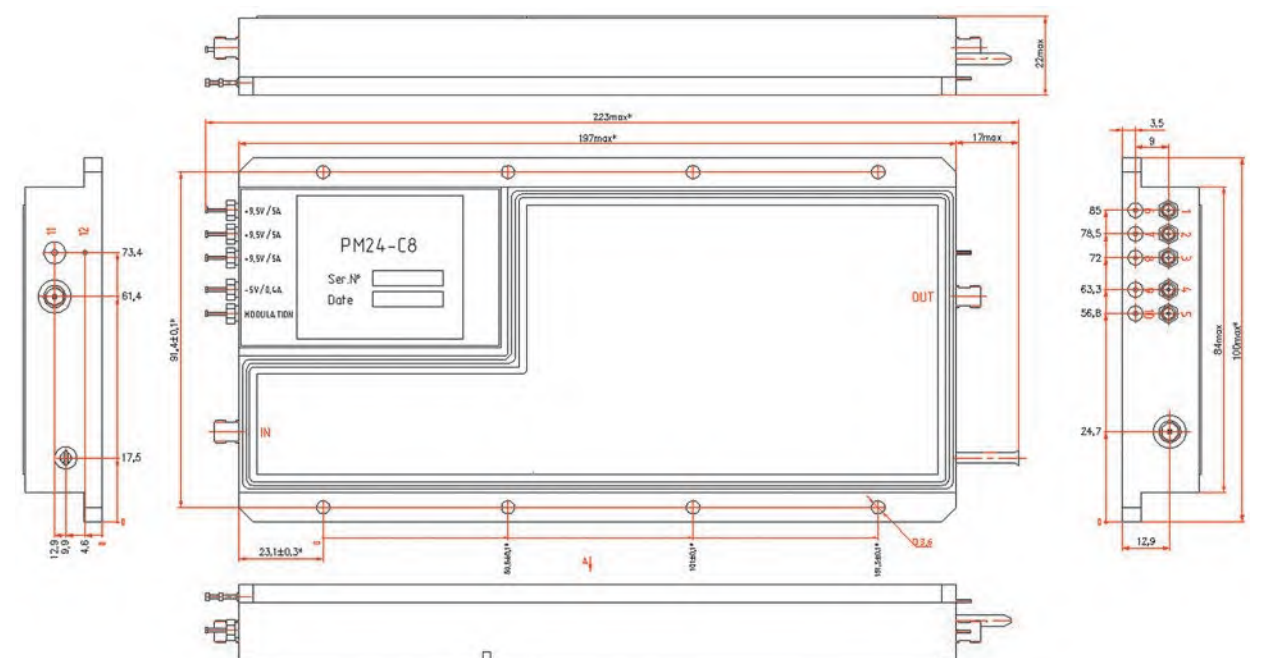
УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Параметры	Обозн.	Мин.	Тип.	Макс.	Ед. изм.
Диапазон температур эксплуатации	Tc	-40		+70	°C
Диапазон температур транспортирования	Tstg	-60		+85	°C
Относительная влажность при T=40°C	RH			95	%
Удары	SH			15	g
Случайная вибрация	VI			20	g
Пониженное давление	AL			5	мм.рт.ст

ТИПОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ



ГАБАРИТНЫЙ ЧЕРТЕЖ



Широкополосный СВЧ усилитель мощности PM618-4K 6 – 18 ГГц / 4 Ватт / 42 дБ

Усилитель PM618-4K предназначен для усиления и управления амплитудой непрерывных, импульсных и модулированных сигналов в диапазоне частот от 6 до 18 ГГц. Модуль построен на основе современных GaAs-транзисторов, монокристаллических интегральных схем, обеспечивает высокое и равномерное усиление в широкой полосе частот, широкий динамический и температурный диапазоны, высокую выходную мощность. Исключительные технические параметры и высокая надежность обеспечены использованием современной тонкопленочной ГИС технологии и технологии пассивных ИС на арсениде галлия, высоконадежными комплектующими ведущих мировых производителей, герметичной конструкцией. Усилитель спроектирован для различных промышленных применений: измерительная техника, системы связи и т.д.

Основные особенности:

- ▶ Мгновенная полоса 1,5 октавы
- ▶ Малые габариты и масса
- ▶ Цифровое 5-разрядное управление усилением (0,9 дБ ± 27,9 дБ)
- ▶ Тонкопленочная ГИС и МИС технология
- ▶ Встроенный детектор выходной мощности
- ▶ Встроенный скоростной (300 нс) модулятор питания
- ▶ Температурная компенсация усиления
- ▶ Нормированные ФЧХ
- ▶ Высокая надежность и стойкость к ВВФ



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ при T=25°C, VDC+ = +9 В, VDC- = -9 В, 50Ω

Параметры	Обозн.	PM618-4K		Ед. изм.
		Мин.	Макс.	
Рабочий диапазон частот	ΔF	6	18	ГГц
Выходная мощность в непрерывном режиме	Psat	5		Вт
Выходная мощность при компрессии 2 дБ	P2dB	4		Вт
Коэффициент усиления в линейном режиме	Gss	39	48	дБ
Неравномерность АЧХ	ΔG		5	дБ
Изменение усиления в диапазоне -60 ... +60°C	ΔG_t		±2,0	дБ
КСВН входа и выхода	VSWR in/out		<2,5	
Фазовая неидентичность	$\Delta \varphi$		±25	градусов
Напряжение питания 1	VDC+	8,6	10	В
Ток потребления по цепи питания 1	I+		6,0	А
Напряжение питания 2	VDC-	-10	-8,6	В
Ток потребления по цепи питания 2	I-		0,1	А

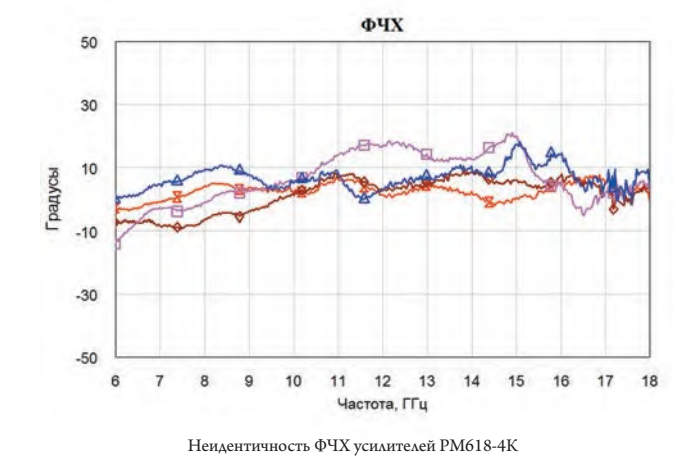
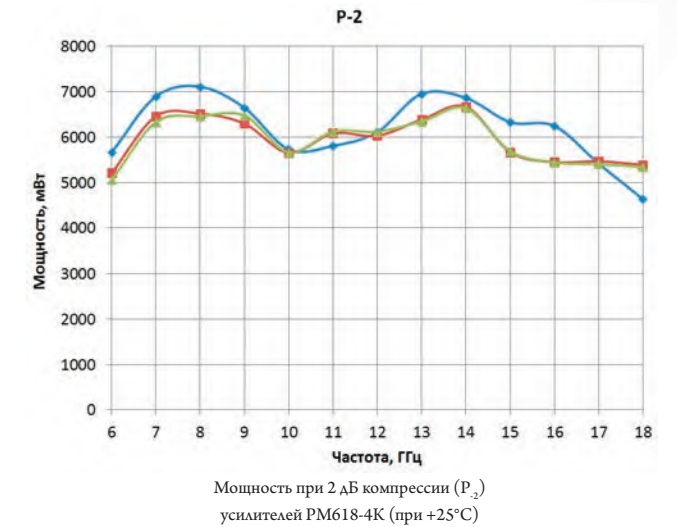
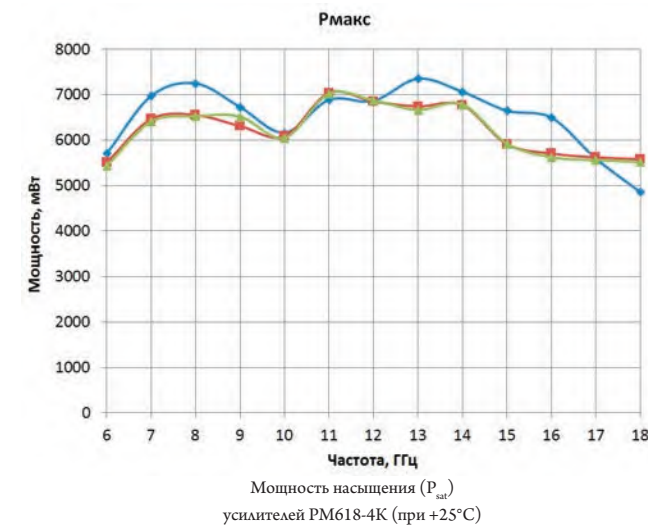
ПАРАМЕТРЫ КОНСТРУКЦИИ

Параметры	Значения	Ед. изм.	Огранич.
	PM618-4K		
Габаритные размеры	129,0 x 35,0 x 21,0	мм	макс
Масса	<0,25	кг	макс
СВЧ соединители	3,5/ 1,52 (CPГ50-751ФВ) или SMA(f)		
Входы питания, модуляции, контроля	Разъемы Harwin		
Охлаждение	Внешний теплоотвод		

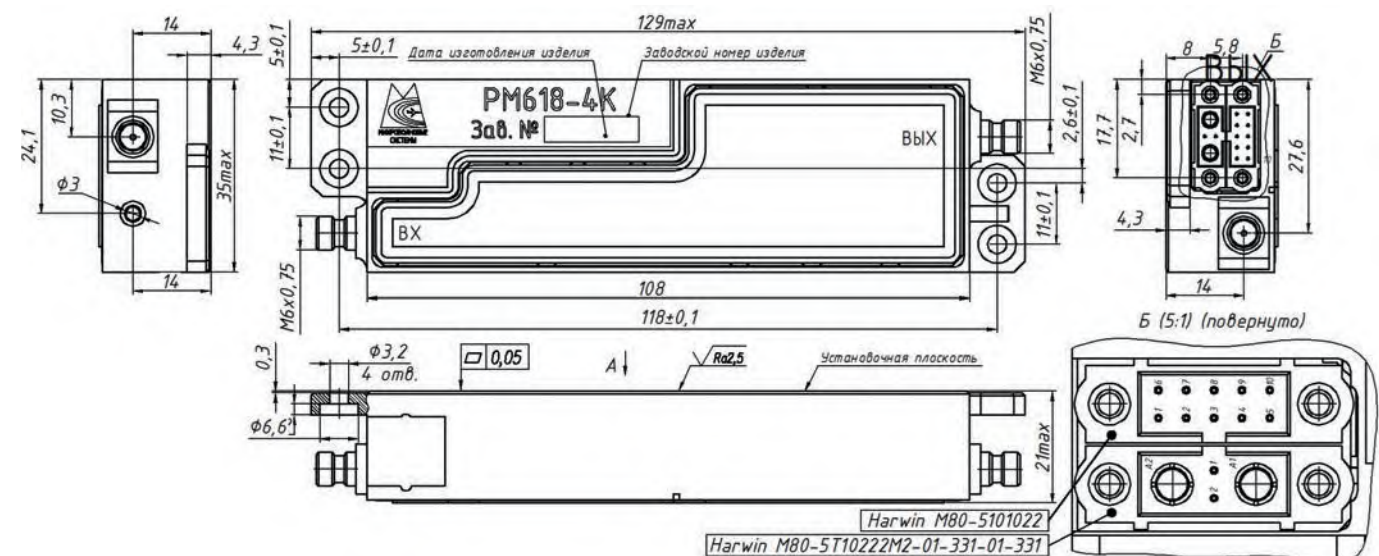
УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Параметры	Обозн.	Мин.	Тип.	Макс.	Ед. изм.
Диапазон температур эксплуатации	Tc	-60		+60	°C
Диапазон температур транспортирования	Tstg	-60		+85	°C
Относительная влажность при T=40°C	RH	98			%

ТИПОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ



ГАБАРИТНЫЙ ЧЕРТЕЖ



Широкополосный СВЧ усилитель мощности УМ1612С
2 – 8 ГГц / 12 Ватт / 50 дБ

Усилитель УМ1612С предназначен для усиления и управления амплитудой непрерывных, импульсных и модулированных сигналов в диапазоне частот от 2 до 8 ГГц. Прибор построен на основе современных GaAs и GaN транзисторов, монолитных интегральных схем, обеспечивает высокое и равномерное усиление в широкой полосе частот, широкий динамический и температурный диапазоны, высокую выходную мощность. Исключительные технические параметры и высокая надежность обеспечены использованием современной тонкопленочной ГИС технологии, высоконадежными комплектующими ведущих мировых производителей, герметичной конструкцией. Прибор предназначен для различных промышленных применений: измерительная техника, системы связи и т.д.

Основные особенности:

- ▶ Мгновенная полоса 2 октавы
- ▶ Малые габариты и масса
- ▶ Цифровое 5-разрядное управление усилением (0,9 дБ± 27,9 дБ)
- ▶ Тонкопленочная ГИС и МИС технология
- ▶ Встроенный детектор выходной мощности
- ▶ Встроенный скоростной (300 нс) модулятор питания
- ▶ Температурная компенсация усиления
- ▶ Высокая надежность и стойкость к ВВФ



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ при $T=25^{\circ}\text{C}$, $V_{DC1+}=+27\text{ В}$, $V_{DC2+}=+9\text{ В}$, $V_{DC-}=-9\text{ В}$, 50Ω

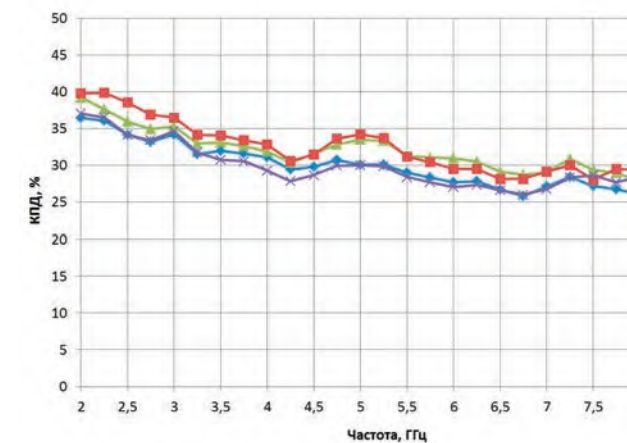
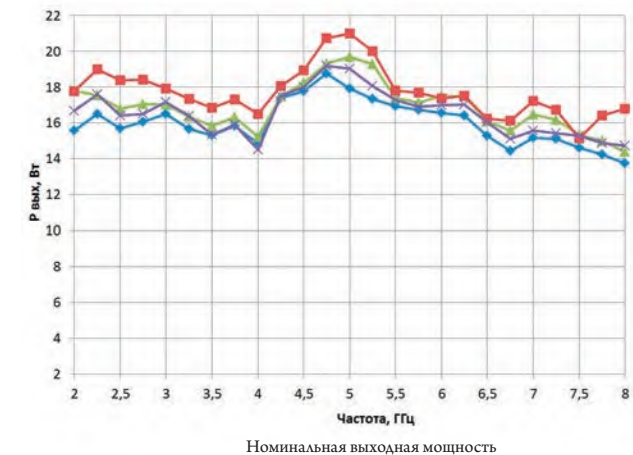
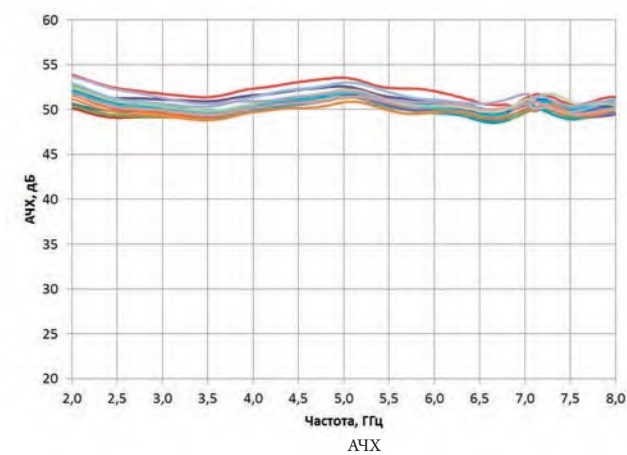
Параметры	Обозн.	УМ1612С		Ед. изм.
		Мин.	Макс.	
Рабочий диапазон частот	ΔF	2	8	Гц
Выходная мощность при $P_{вх} = 1$ мВт в непрерывном режиме	P_{sat}	12		Вт
Коэффициент усиления в линейном режиме	G_{ss}	46	56	дБ
Неравномерность АЧХ	ΔG		5,0	дБ
Изменение усиления в диапазоне $-40 \dots +60^\circ\text{C}$	ΔG_t		$\pm 1,5$	дБ
КСВН входа и выхода	VSWR in/out		<2,5	
Напряжение питания 1	VDC1+	26,0	30,0	В
Ток потребления по цепи питания 1	I+		2,4	А
Напряжение питания 2	VDC2+	8,5	10	В
Ток потребления по цепи питания 2	I+		0,6	А
Напряжение питания 3	VDC-	-10	-8.6	В
Ток потребления по цепи питания 3	I-		<0,1	А

ПАРАМЕТРЫ КОНСТРУКЦИИ

Параметры	Значения	Ед. изм.	Огранич.
	УМ1612С		
Габаритные размеры	124,0 x 50,0 x 21,0	мм	макс
Масса	<0,26	кг	макс
СВЧ соединители	3.5/1.52 (CPГ50-751ФВ) или SMA(f)		
Вводы питания, модуляции, управления	Разъемы Harwin		
Охлаждение	Внешний теплоотвод		

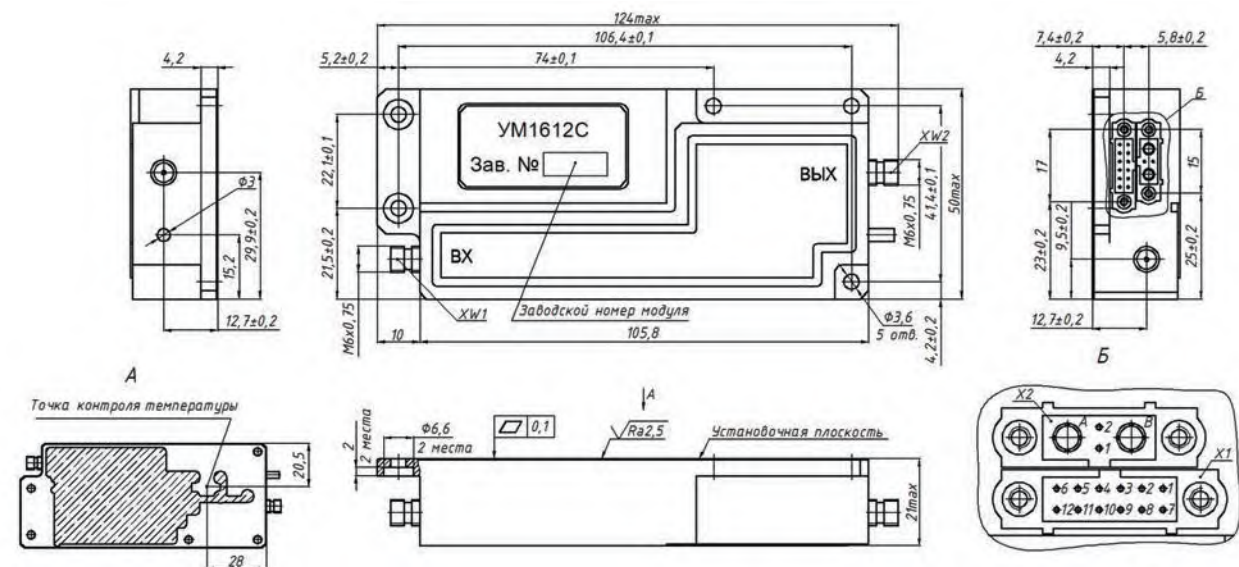
УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Параметры	Обозн.	Мин.	Тип.	Макс.	Ед. изм.
Диапазон температур эксплуатации	Tc	-60		+60	°C
Диапазон температур транспортирования	Tstg	-60		+85	°C
Относительная влажность при T=40°C	RH	98			%

ТИПОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ $T_0 = +25^\circ\text{C}$ 

КПД по добавленной мощности

ГАБАРИТНЫЙ ЧЕРТЕЖ



Широкополосный СВЧ усилитель мощности УМ1535А 0.8 – 2.5 ГГц / 40 Ватт / 54 дБ

Усилитель УМ1535А предназначен для усиления и управления амплитудой непрерывных, импульсных и модулированных сигналов в диапазонах частот от 0.8 до 2.5 ГГц. Прибор построен на основе современных транзисторов, монолитных и гибридных интегральных схем, обеспечивающих высокое и равномерное усиление в широкой полосе частот, широкий динамический и температурный диапазоны, высокую выходную мощность. Исключительные технические параметры и высокая надежность обеспечены использованием современной тонкопленочной ГИС технологии, высоконадежными комплектующими ведущих мировых производителей, герметичной конструкцией.

Основные особенности:

- ▶ Мгновенная полоса 2,5 октавная полоса
- ▶ Малые габариты и масса
- ▶ Цифровое 5-разрядное управление усилением (0.5 дБ – 15.5 дБ)
- ▶ Тонкопленочная ГИС и МИС технология
- ▶ Встроенный детектор выходной мощности
- ▶ Встроенный скоростной модулятор питания (300 нс)
- ▶ Температурная компенсация усиления
- ▶ Высокая надежность и стойкость в ВВФ



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ @ T=25°C, VDC+ =+27 В, VDC- =-9 В, Z_с=Z_л= 50Ω

Параметры	Обозн.	Мин.	Тип.	Макс.	Ед. изм.
Рабочий диапазон частот	ΔF	0.8		2.5	ГГц
Выходная мощность в непрерывном режиме при P _{вх} =1 мВт	P _{вых.ном.}	40	55		Вт
Коэффициент усиления в линейном режиме	K _р	48	54	58	дБ
Неравномерность АЧХ	ΔK _р			±1.5	дБ
Изменение коэффициента усиления в диапазоне температур от минус 40 до плюс 60 °С	ΔK _t			±2.0	дБ
КСВН входа / выхода	КСВН _{вх/вых}			2.0 / 2.0	
Ток потребления по цепи «+27 В»	I+			7.0	А
Ток потребления по цепи «-9 В»	I-			0.2	А

ПАРАМЕТРЫ КОНСТРУКЦИИ

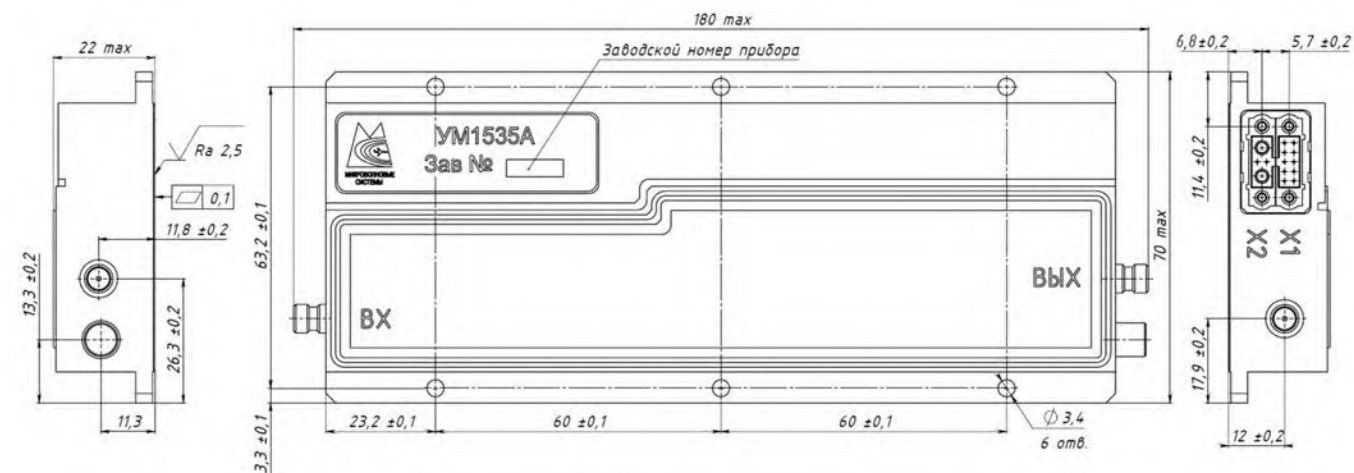
Параметры	Значения	Ед. изм.	Огранич.
Габаритные размеры	180.0 x 70.0 x 22.0	мм	Макс.
Масса	0.5	кг	Макс.
СВЧ соединители	СРГ-50-751ИрФВ		
Входы питания, модуляции, управления	X1:HWT M80-5101022		
	X2: HWT HW22Y0202N		
Охлаждение	Внешний теплоотвод		

УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Параметры	Обозн.	Мин.	Тип.	Макс.	Ед. изм.
Диапазон температур эксплуатации	Ta	-40		+60	°С
Диапазон температур транспортирования	Tstg	-60		+85	°С
Относительная влажность	RH			98	%

Параметры	Значения	Ед. изм.	Огранич.
X1 HWT M80-5101022	1	8	Ввод управления разрядом аттенюатора 8 дБ
	2	4	Ввод управления разрядом аттенюатора 4 дБ
	3	2	Ввод управления разрядом аттенюатора 2 дБ
	4	1	Ввод управления разрядом аттенюатора 1 дБ
	5	0.5	Ввод управления разрядом аттенюатора 0.5 дБ
	6	DOUT	Выход детектора контроля выходной мощности
	7, 10	G	Общий
	8	T	Датчик температуры@10 мВ/°С
	9	Mod	Модуляция
X2 HWT 22Y0202N	A	VDC+	Напряжение питания (+26 ... +30VDC+)
	B	G	Общий
	1	VDC-	Напряжение питания (-9 ... -9.5VDC-)
	2	G	Общий

ГАБАРИТНЫЙ ЧЕРТЕЖ (Все размеры в миллиметрах)



Широкополосный СВЧ усилитель мощности PM818-1 8 – 18 ГГц / 2 Ватт / 38 дБ

Усилитель PM818-1 предназначен для усиления и управления амплитудой непрерывных, импульсных и модулированных сигналов в диапазоне частот от 8 до 18 ГГц. Модуль построен на основе современных GaAs-транзисторов, монолитных и гибридных интегральных схем, обеспечивающих высокое и равномерное усиление в широкой полосе частот, широкий динамический и температурный диапазоны, высокую выходную мощность. Исключительные технические параметры и высокая надежность обеспечены использованием современной тонкопленочной ГИС технологии и технологии пассивных ИС на арсениде галлия, высоконадежными комплектующими ведущих мировых производителей, герметичной конструкцией. Усилители предназначены для применения в измерительной технике, аппаратуре ЭМС-тестирования и т.д.

Основные особенности:

- ▶ Октавная мгновенная полоса
- ▶ Малые габариты и масса
- ▶ Цифровое 4-разрядное управление усилением
- ▶ Тонкопленочная ГИС и МИС технология
- ▶ Встроенный детектор выходной мощности
- ▶ Встроенный скоростной (300 нс) модулятор питания
- ▶ Температурная компенсация усиления
- ▶ Нормированные ФЧХ
- ▶ Высокая надежность и стойкость к ВВФ



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ при T=25°C, VDC+ = +9 В, VDC- = -6 В, 50Ω

Параметры	Обозн.	PM818-1		Ед. изм.
		Мин.	Макс.	
Рабочий диапазон частот	ΔF	8	18	ГГц
Выходная мощность в режиме насыщения	P_{sat}	2,0		Вт
Выходная мощность при компрессии 2 дБ	P_{2dB}	1,8		Вт
Коэффициент усиления в линейном режиме	G_{ss}	34	43	дБ
Неравномерность АЧХ	ΔG		± 2	дБ
Изменение усиления в диапазоне -60...+60°C	ΔG_t		$\pm 1,5$	дБ
КСВН входа и выхода	VSWR in/out		<2,5	
Фазовая неидентичность	$\Delta \phi$		± 25	градусов
Напряжение питания 1	VDC+	8,6	10	В
Ток потребления по цепи питания 1	I+		2,3	А
Напряжение питания 2	VDC-	-5,7	-6,3	В
Ток потребления по цепи питания 2	I-		<0,2	А

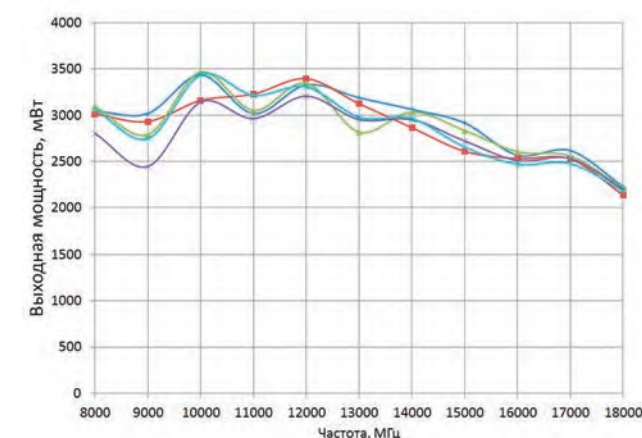
ПАРАМЕТРЫ КОНСТРУКЦИИ

Параметры	Значения	Ед. изм.	Огранич.
	PM818-1		
Габаритные размеры	91,2 x 37,8 x 17	мм	макс
Масса	<0,13	кг	макс
СВЧ соединители	3,5/1,52 (CPГ50-751ФВ) или SMA(f)		
Вводы питания, модуляции, управления	Паяные контакты		
Охлаждение	Внешний теплоотвод		

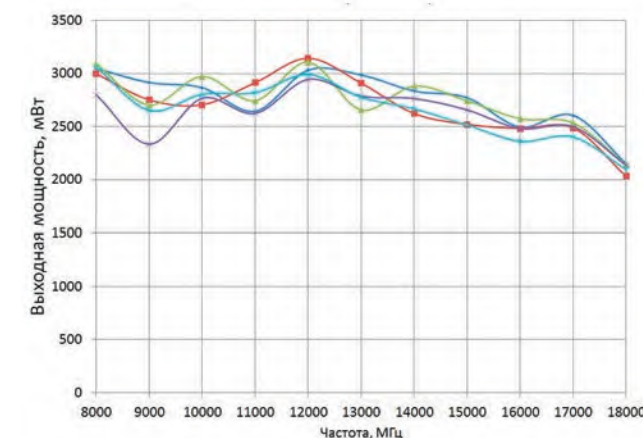
УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Параметры	Обозн.	Мин.	Тип.	Макс.	Ед. изм.
Диапазон температур эксплуатации	Tc	-60		+60	°C
Диапазон температур транспортирования	Tstg	-60		+85	°C
Относительная влажность при T=40°C	RH	98			%

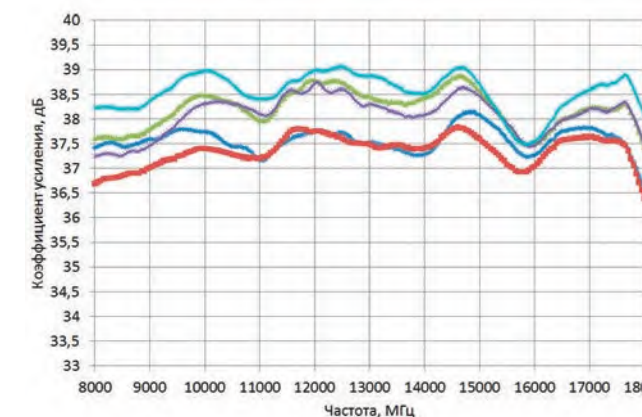
ТИПОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ



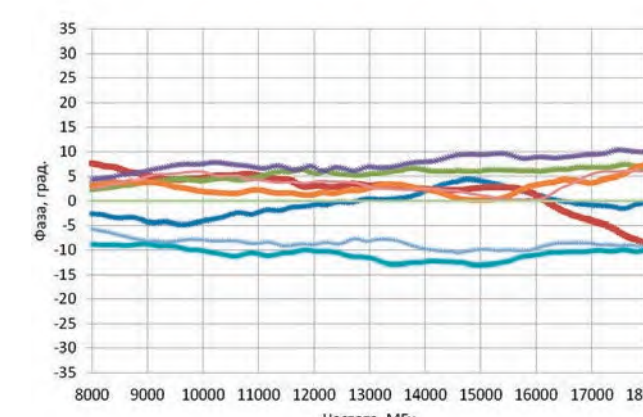
Выходная мощность P_{sat} (при +25°C)



Выходная мощность P_2 (при +25°C)

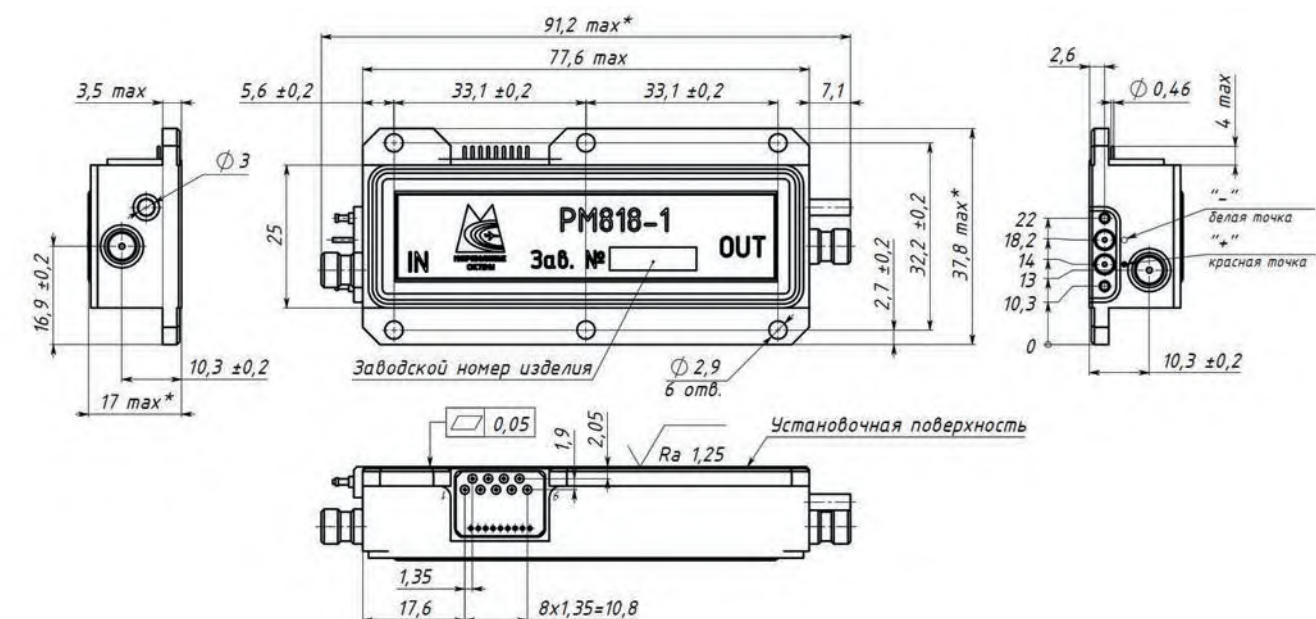


АЧХ серии усилителей PM818-1



Неидентичность ФЧХ серии усилителей PM818-1

ГАБАРИТНЫЙ ЧЕРТЕЖ



Широкополосный СВЧ усилитель мощности PM412-8К 4 – 12 ГГц / 8 Ватт / 44 дБ

Усилитель PM412-8К предназначен для усиления и управления амплитудой непрерывных, импульсных и модулированных сигналов в диапазоне частот от 4 до 12 ГГц. Модуль построен на основе современных GaAs-транзисторов, монолитных интегральных схем, обеспечивает высокое и равномерное усиление в широкой полосе частот, широкий динамический и температурный диапазоны, высокую выходную мощность. Исключительные технические параметры и высокая надежность обеспечены использованием современной тонкопленочной ГИС технологии и технологии пассивных ИС на арсениде галлия, высоконадежными комплектующими ведущих мировых производителей, герметичной конструкцией. Усилитель спроектирован для различных промышленных применений: измерительная техника, системы связи и т.д.

Основные особенности:

- ▶ Мгновенная полоса 1,5 октавы
- ▶ Малые габариты и масса
- ▶ Цифровое 5-разрядное управление усилением (0,9 дБ ± 27,9 дБ)
- ▶ Тонкопленочная ГИС и МИС технология
- ▶ Встроенный детектор выходной мощности
- ▶ Встроенный скоростной (300 нс) модулятор питания
- ▶ Температурная компенсация усиления
- ▶ Нормированные ФЧХ
- ▶ Высокая надежность и стойкость к ВВФ



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ при T=25°C, VDC+ = +9 В, VDC- = -9 В, 50Ω

Параметры	Обозн.	PM412-8К		Ед. изм.
		Мин.	Макс.	
Рабочий диапазон частот	ΔF	4	12	ГГц
Выходная мощность в непрерывном режиме	P_{sat}	10		Вт
Выходная мощность при компрессии 2 дБ	P_{2dB}	8		Вт
Коэффициент усиления в линейном режиме	G_{ss}	39	48	дБ
Неравномерность АЧХ	ΔG		5,0	дБ
Изменение усиления в диапазоне -60 ... +60°C	ΔG_t		±2,0	дБ
КСВН входа и выхода	VSWR in/out		<2,5	
Фазовая неидентичность	$\Delta \phi$		±25	градусов
Напряжение питания 1	VDC+	8,6	10	В
Ток потребления по цепи питания 1	I+		11	А
Напряжение питания 2	VDC-	-10	-8,6	В
Ток потребления по цепи питания 2	I-		0,15	А

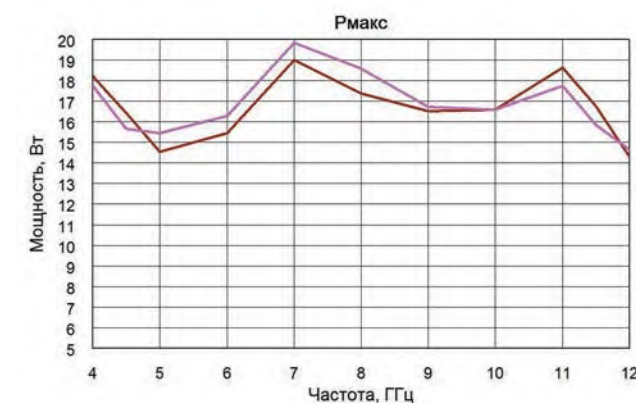
ПАРАМЕТРЫ КОНСТРУКЦИИ

Параметры	Значения	Ед. изм.	Огранич.
	PM412-8K		
Габаритные размеры	150,0 x 70,0 x 19,3	мм	макс
Масса	<0,45	кг	макс
СВЧ соединители	3,5/ 1,52 (CPГ50-751ФВ) или SMA(f)		
Входы питания, модуляции, управления	Разъемы Harwin		
Охлаждение	Внешний теплоотвод		

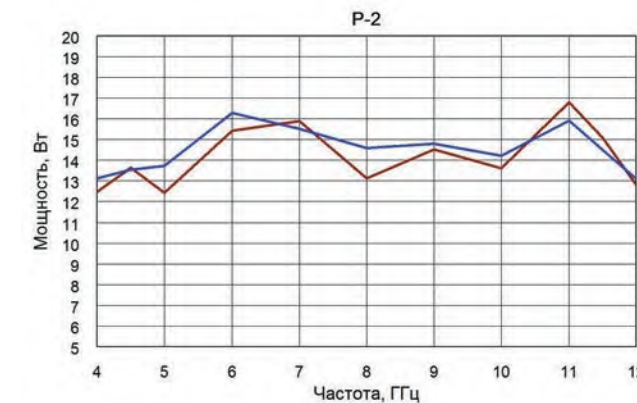
УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Параметры	Обозн.	Мин.	Тип.	Макс.	Ед. изм.
Диапазон температур эксплуатации	Tc	-60		+60	°C
Диапазон температур транспортирования	Tstg	-60		+85	°C
Относительная влажность при T=40°C	RH	98			%

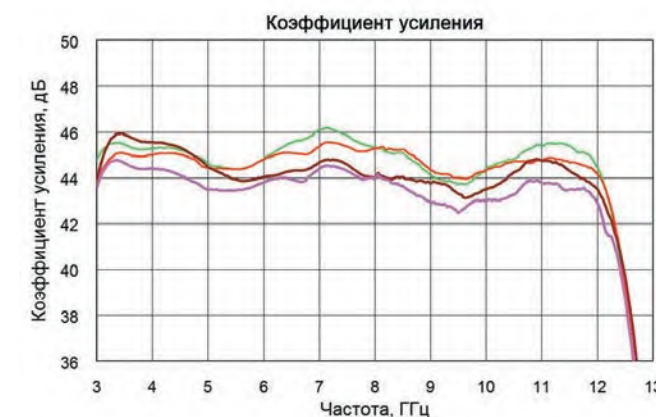
ТИПОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ



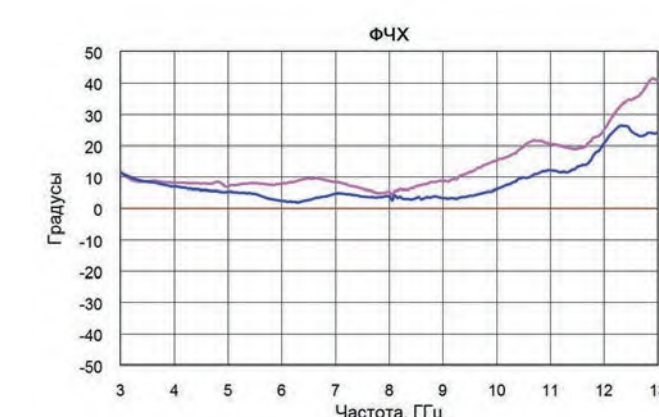
Мощность насыщения (P_{sat})
усилителей PM412-8К (при +25°C)



Мощность при 2 дБ компрессии (P_2)
усилителей PM412-8К (при +25°C)

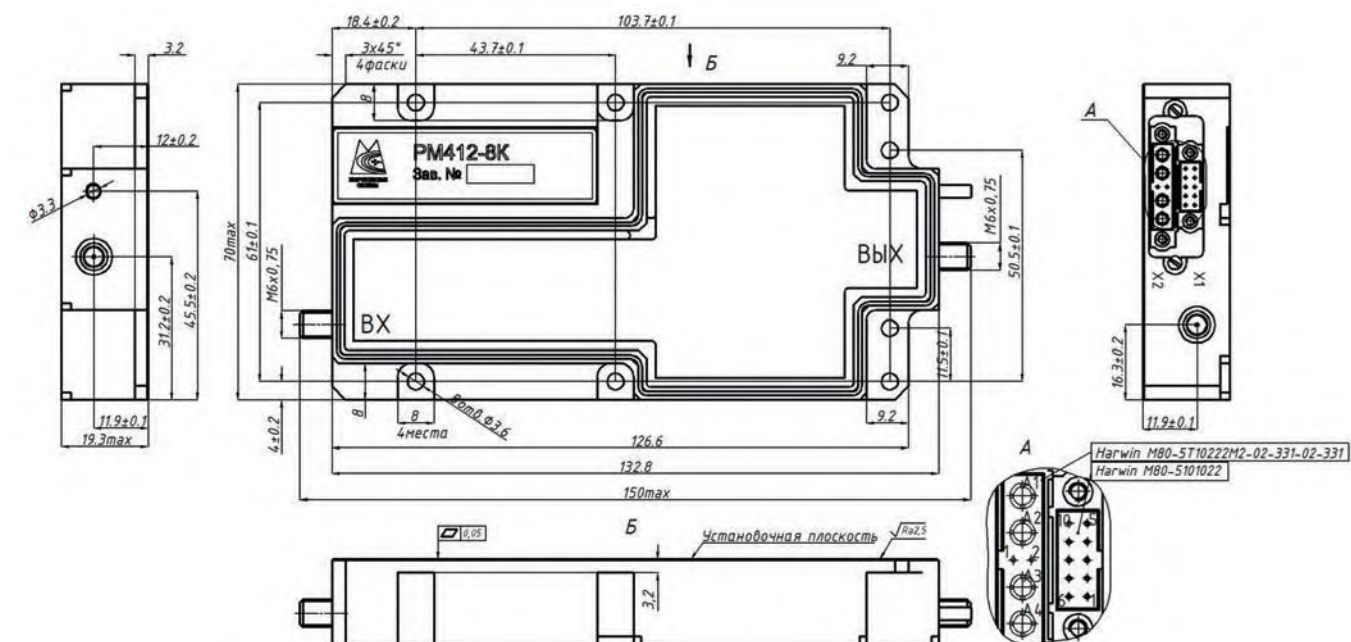


Коэффициент усиления (G_{ss}) усилителей PM412-8К



Неидентичность ФЧХ усилителей PM412-8К

ГАБАРИТНЫЙ ЧЕРТЕЖ



Широкополосный СВЧ усилитель мощности УМ1710Б 5 – 18 ГГц / 10-15 Ватт / 45 дБ

Усилитель УМ1710Б предназначен для усиления и управления амплитудой непрерывных, импульсных и модулированных сигналов в диапазоне частот от 5 до 18 ГГц. Прибор построен на основе современной GaAs и GaN технологии, обеспечивает высокое и равномерное усиление в широкой полосе частот, широкий динамический и температурный диапазоны, высокую выходную мощность. Исключительные технические параметры и высокая надежность обеспечены использованием современной тонкопленочной ГИС технологии, высоконадежными комплектующими ведущих мировых производителей, герметичной конструкцией. Прибор предназначен для различных промышленных применений: измерительная техника, системы связи и т.д.

Основные особенности:

- ▶ Мгновенная полоса 2 октавы
- ▶ Малые габариты и масса
- ▶ Цифровое 5-разрядное управление усилением (0,9 дБ ± 27,9 дБ)
- ▶ Тонкопленочная ГИС и МИС технология
- ▶ Встроенный детектор выходной мощности
- ▶ Встроенный скоростной (300 нс) модулятор питания
- ▶ Температурная компенсация усиления
- ▶ Высокая надежность и стойкость к ВВФ



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ при T=25°C, VDC1+ = +27 В, VDC2+ = +9 В, VDC- = -9 В, 50Ω

Параметры	Обозн.	УМ1710Б		Ед. изм.
		Мин.	Макс.	
Рабочий диапазон частот	ΔF	5	18	ГГц
Выходная мощность	P_{out}	10		Вт
Коэффициент усиления в линейном режиме	G_{ss}	42	50	дБ
Неравномерность АЧХ	ΔG		4,0	дБ
Изменение усиления в диапазоне -40 ... +60°C	ΔG_t		3,0	дБ
КСВН входа и выхода	VSWR in/out		2,2/2,0	
Напряжение питания 1	VDC1+	26,0	30,0	В
Ток потребления по цепи питания 1	I+		2,6	А
Напряжение питания 2	VDC2+	8,5	9,5	В
Ток потребления по цепи питания 2	I+		1,7	А
Напряжение питания 3	VDC-	-9,5	-8,5	В
Ток потребления по цепи питания 3	I-		0,1	А

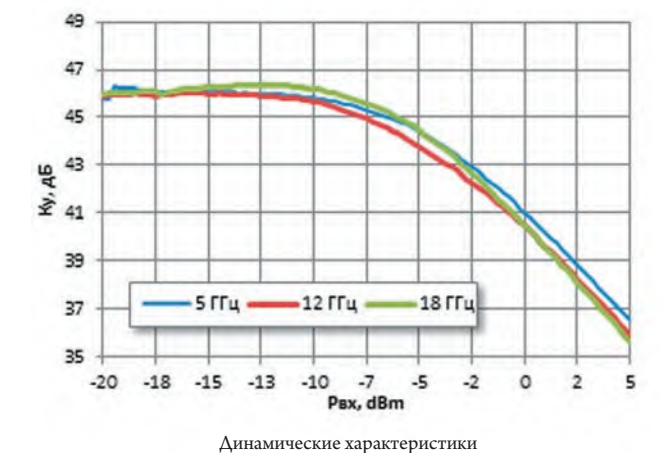
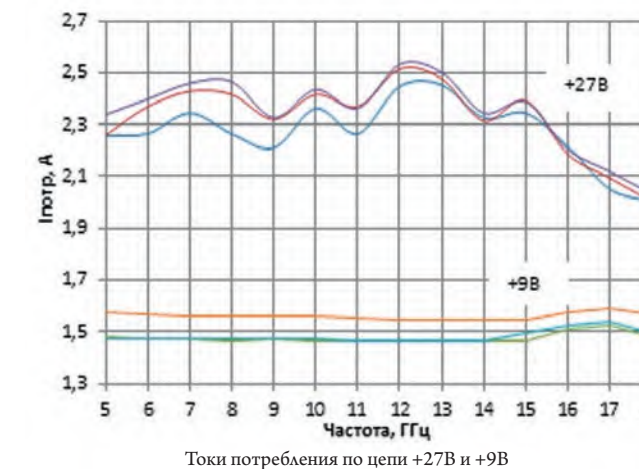
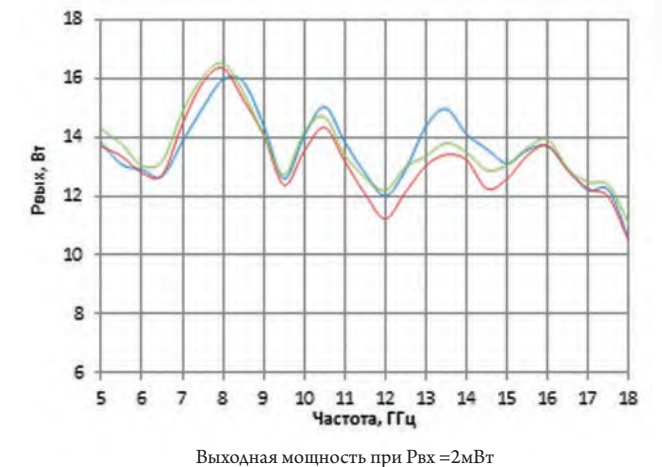
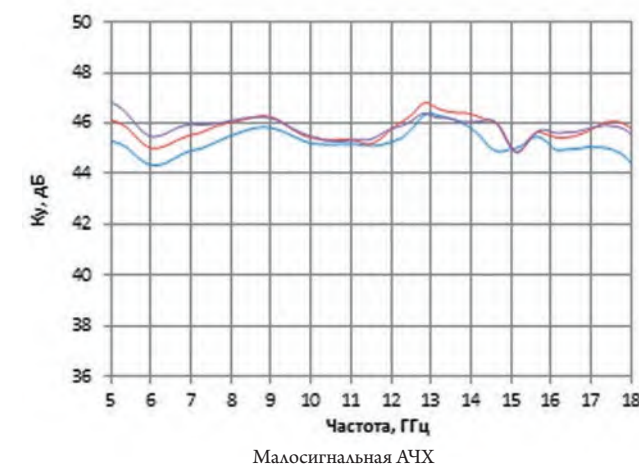
ПАРАМЕТРЫ КОНСТРУКЦИИ

Параметры	Значения	Ед. изм.	Огранич.
	УМ1710Б		
Габаритные размеры	121,0 x 64,2 x 20,0	мм	макс
Масса	0,28	кг	макс
СВЧ соединители	3,5/1,52 (СРГ50-751ФВ) или SMA(f)		
Вводы питания, модуляции, управления	Разъемы Harwin		
Охлаждение	Внешний теплоотвод		

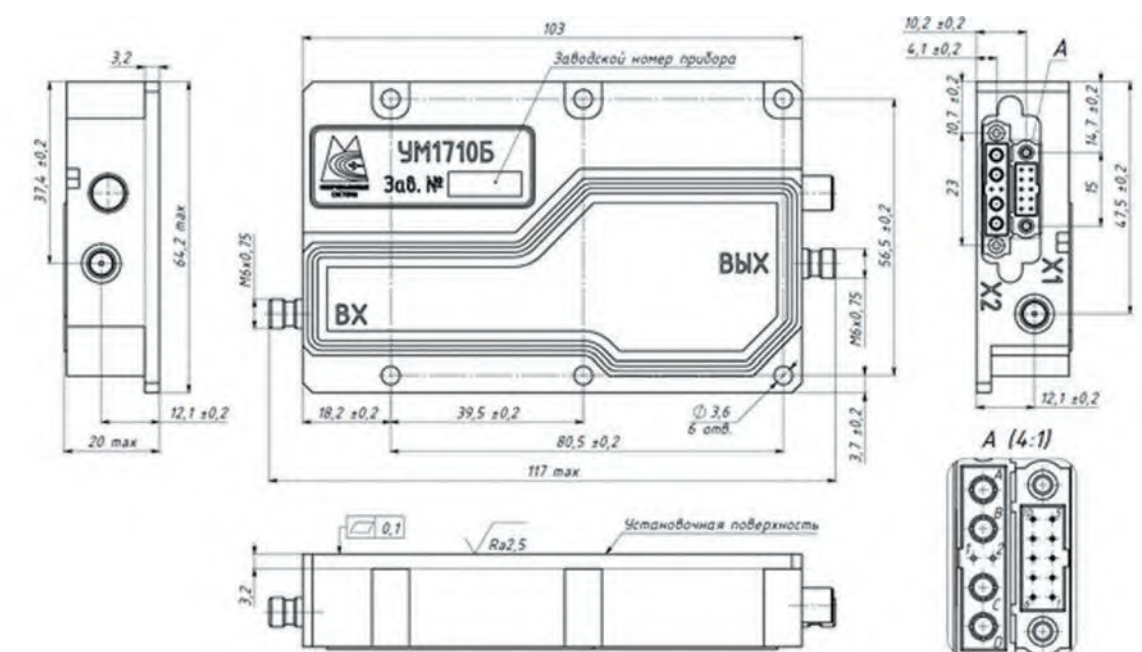
УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Параметры	Обозн.	Мин.	Тип.	Макс.	Ед. изм.
Диапазон температур эксплуатации	Tc	-40		+60	°C
Диапазон температур транспортирования	Tstg	-60		+85	°C
Относительная влажность при T=35°C	RH	98			%

ТИПОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ T₀ = +25°C



ГАБАРИТНЫЙ ЧЕРТЕЖ



Широкополосный СВЧ усилитель мощности УМ1535Б
2 – 4 ГГц / 30 Ватт / 55 дБ

Усилитель УМ1535Б предназначен для усиления и управления амплитудой непрерывных, импульсных и модулированных сигналов в диапазоне частот от 2 до 4 ГГц. Прибор построен на основе современных GaInP, GaAs и GaN транзисторов, монолитных интегральных схем, обеспечивающих высокое и равномерное усиление в широкой полосе частот, широкий динамический и температурный диапазоны, высокую выходную мощность. Исключительные технические параметры и высокая надежность обеспечены использованием современной тонкопленочной ГИС технологии, высоконадежными комплектующими ведущих мировых производителей, герметичной конструкцией. Прибор предназначен для различных промышленных применений: измерительная техника, системы связи и т.д.

Основные особенности:

- ▶ Мгновенная октавная полоса
- ▶ Малые габариты и масса
- ▶ Цифровое 5-разрядное управление усилением ($0,5 \text{ дБ} \pm 15,5 \text{ дБ}$)
- ▶ Тонкопленочная ГИС технология
- ▶ Встроенный детектор выходной мощности
- ▶ Встроенный скоростной (300 нс) модулятор питания
- ▶ Температурная компенсация усиления
- ▶ Высокая надежность и стойкость к ВВФ



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ при $T=25^{\circ}\text{C}$, $V_{DC+}=+27\text{ В}$, $V_{DC-}=-9\text{ В}$, 50Ω

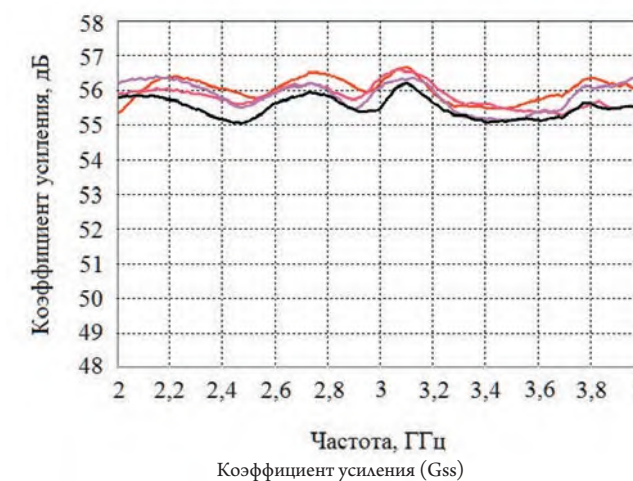
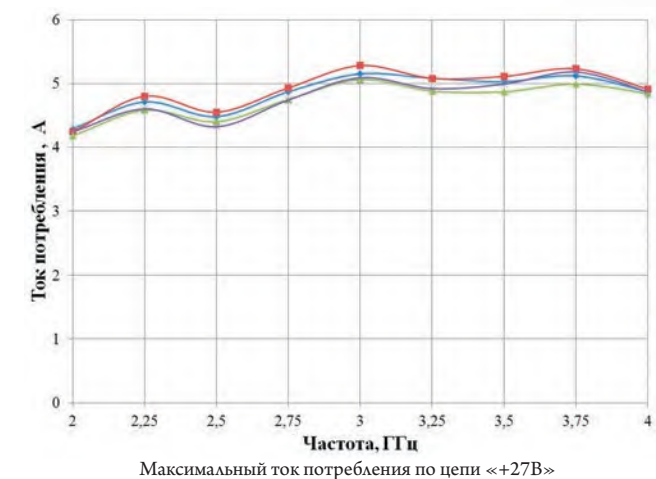
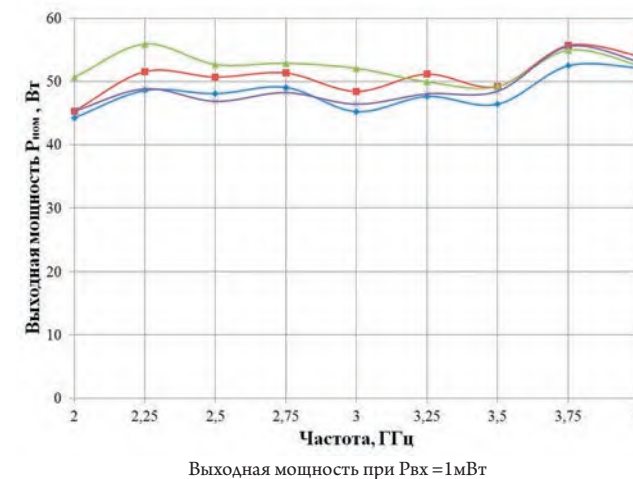
Параметры	Обозн.	УМ1535Б		Ед. изм.
		Мин.	Макс.	
Рабочий диапазон частот	ΔF	2	4	Гц
Выходная мощность в непрерывном режиме при $P_{вх}=1$ мВт	P_{out}	40	55	Вт
Коэффициент усиления в линейном режиме	G_{ss}	48	58	дБ
Неравномерность АЧХ	ΔG		3,0	дБ
Изменение усиления в диапазоне -40...+60°С	ΔG_t		4,0	дБ
КСВН входа и выхода	VSWR in/out		2,0/2,0	
Напряжение питания 1	VDC+	26,0	30,0	В
Ток потребления по цепи питания 1	I+		6,0	А
Напряжение питания 2	VDC-	-9,5	-8,5	В
Ток потребления по цепи питания 2	I-		0,2	А

ПАРАМЕТРЫ КОНСТРУКЦИИ

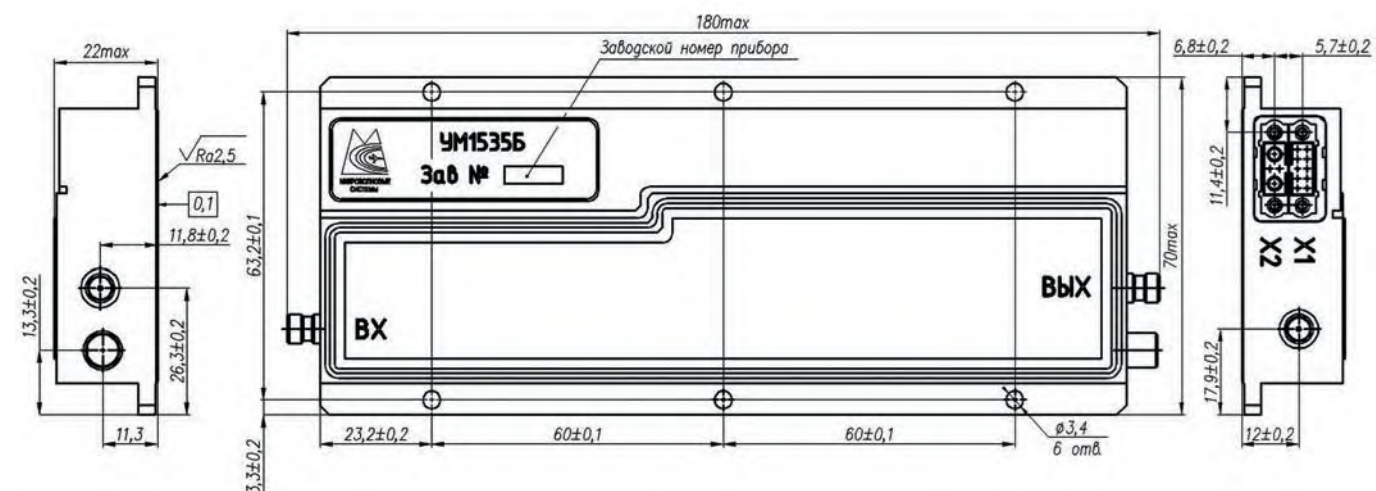
Параметры	Значения	Ед. изм.	Огранич.
	УМ1535Б		
Габаритные размеры	180,0 x 70,0 x 22,0	мм	макс
Масса	0,5	кг	макс
СВЧ соединители	3,5/1,52 (СРГ50-751ФВ) или SMA(f)		
Вводы питания, модуляции, управления	Разъемы Harwin		
Охлаждение	Внешний теплоотвод		

УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Параметры	Обозн.	Мин.	Тип.	Макс.	Ед. изм.
Диапазон температур эксплуатации	Tc	-40		+60	°C
Диапазон температур транспортирования	Tstg	-60		+85	°C
Относительная влажность при T=35°C	RH	98			%

ТИПОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ $T_0 = +25^\circ\text{C}$ 

ГАБАРИТНЫЙ ЧЕРТЕЖ



Широкополосный СВЧ усилитель мощности УМ1520Б 4 – 12 ГГц / 15-22 Ватт / 48 дБ

Усилитель УМ1520Б предназначен для усиления и управления амплитудой непрерывных, импульсных и модулированных сигналов в диапазоне частот от 4 до 12 ГГц. Прибор построен на основе современных GaAs и GaN транзисторов, монолитных интегральных схем, обеспечивает высокое и равномерное усиление в широкой полосе частот, широкий динамический и температурный диапазоны, высокую выходную мощность. Исключительные технические параметры и высокая надежность обеспечены использованием современной тонкопленочной ГИС технологии, высоконадежными комплектующими ведущих мировых производителей, герметичной конструкцией. Прибор предназначен для различных промышленных применений: измерительная техника, системы связи и т.д.

Основные особенности:

- ▶ Мгновенная полоса 1,5 октавы
- ▶ Малые габариты и масса
- ▶ Цифровое 5-разрядное управление усилением (0,9 дБ ±27,9 дБ)
- ▶ Тонкопленочная ГИС и МИС технология
- ▶ Встроенный детектор выходной мощности
- ▶ Встроенный скоростной (300 нс) модулятор питания
- ▶ Температурная компенсация усиления
- ▶ Высокая надежность и стойкость к ВВФ



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ при T=25°C, VDC1+ =+27 В, VDC2+ =+9 В, VDC- = -9 В, 50Ω

Параметры	Обозн.	УМ1520Б		Ед. изм.
		Мин.	Макс.	
Рабочий диапазон частот	ΔF	4	12	ГГц
Выходная мощность	P_{out}	22		Вт
Выходная мощность в непрерывном режиме при $R_{вх}=2$ мВт в участке диапазона 6 – 12 ГГц	P_{out}	15		Вт
Коэффициент усиления в линейном режиме	G_{ss}	45	55	дБ
Неравномерность АЧХ	ΔG		5,0	дБ
Изменение усиления в диапазоне -40... +60°C	ΔG_t		5,0	дБ
КСВН входа и выхода	VSWR in/out		2,0/2,5	
Напряжение питания 1	VDC1+	26,0	30,0	В
Ток потребления по цепи питания 1	I+		4,0	А
Напряжение питания 2	VDC2+	8,5	9,5	В
Ток потребления по цепи питания 2	I+		4,0	А
Напряжение питания 3	VDC-	-9,5	-8,5	В
Ток потребления по цепи питания 3	I-		0,15	А

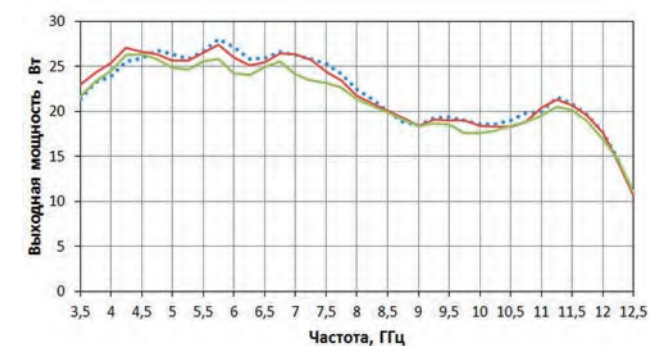
ПАРАМЕТРЫ КОНСТРУКЦИИ

Параметры	Значения	Ед. изм.	Огранич.
	УМ1520Б		
Габаритные размеры	145,0 x 65,0 x 22,0	мм	макс
Масса	0,35	кг	макс
СВЧ соединители	3,5/1,52 (CPT50-751ФВ) или SMA(f)		
Вводы питания, модуляции, управления	Разъемы Harwin		
Охлаждение	Внешний теплоотвод		

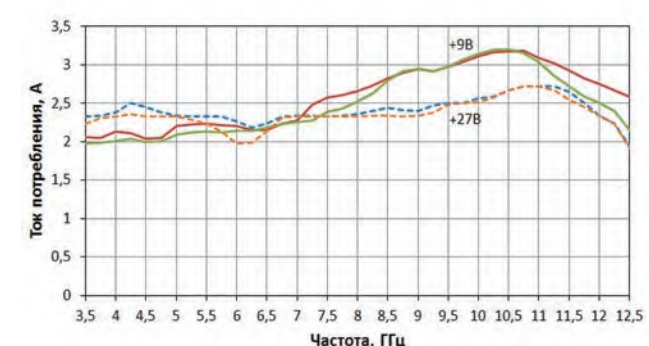
УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Параметры	Обозн.	Мин.	Тип.	Макс.	Ед. изм.
Диапазон температур эксплуатации	Tc	-40		+60	°C
Диапазон температур транспортирования	Tstg	-60		+85	°C
Относительная влажность при T=35°C	RH	98			%

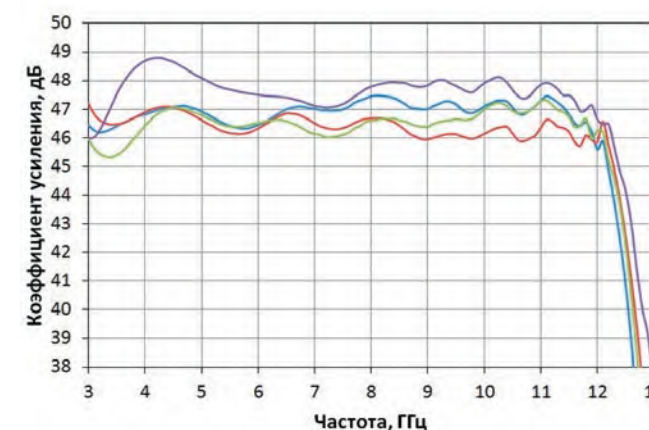
ТИПОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ T₀=+25°C



Выходная мощность при $R_{вх}=2$ мВт

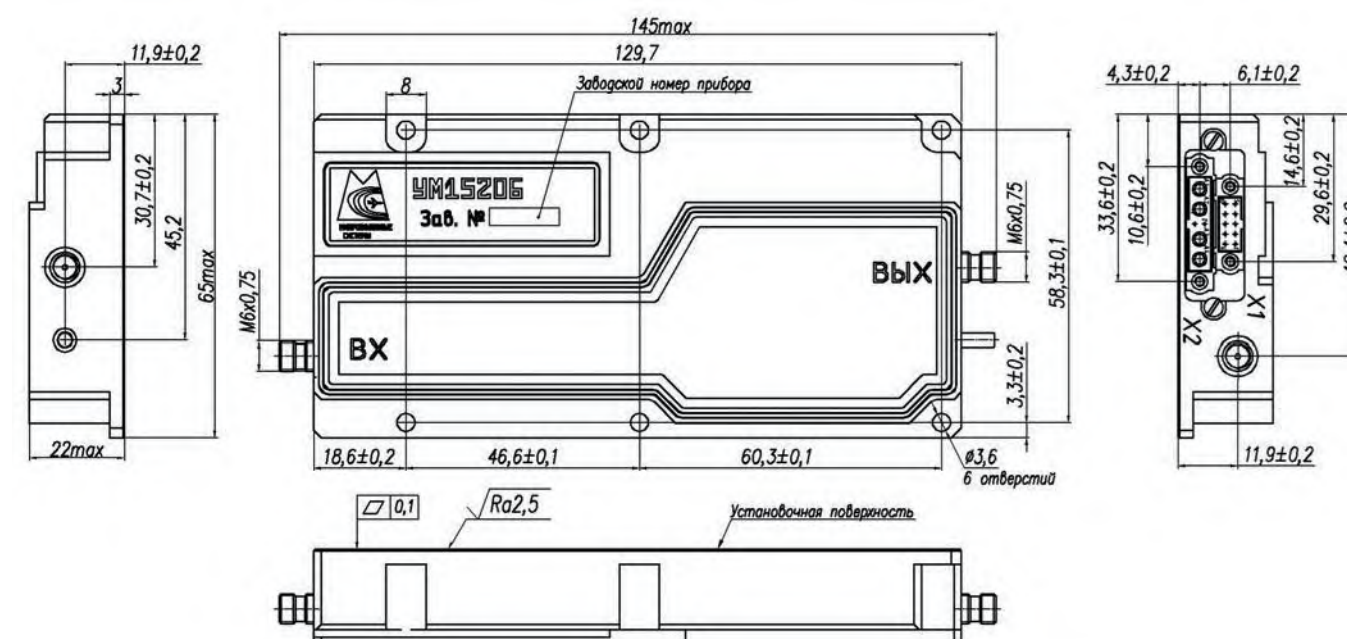


Максимальный ток потребления по цепям «+9В» и «+27В»



Коэффициент усиления (G_{ss})

ГАБАРИТНЫЙ ЧЕРТЕЖ



Широкополосный СВЧ усилитель мощности УМ1505Б 8 – 18 ГГц / 5 Ватт / 43 дБ

Усилитель УМ1505Б предназначен для усиления и управления амплитудой непрерывных, импульсных и модулированных сигналов в диапазоне частот от 8 до 18 ГГц. Прибор построен на основе современных GaAs транзисторов, монолитных интегральных схем, обеспечивает высокое и равномерное усиление в широкой полосе частот, широкий динамический и температурный диапазоны, высокую выходную мощность. Исключительные технические параметры и высокая надежность обеспечены использованием современной тонкопленочной ГИС технологии и технологии пассивных ИС на арсениде галлия, высоконадежными комплектующими ведущих мировых производителей, герметичной конструкцией. Усилитель спроектирован для различных промышленных применений: измерительная техника, системы связи и т.д.

Основные особенности:

- ▶ Мгновенная полоса 1,25 октавы
- ▶ Малые габариты и масса
- ▶ Цифровое 5-разрядное управление усилением (0,9 дБ ± 27,9 дБ)
- ▶ Тонкопленочная ГИС и МИС технология
- ▶ Встроенный детектор выходной мощности
- ▶ Встроенный скоростной (300 нс) модулятор питания
- ▶ Температурная компенсация усиления
- ▶ Высокая надежность и стойкость к ВВФ



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ при T=25°C, VDC+ = +9 В, VDC- = -9 В, 50Ω

Параметры	Обозн.	УМ1505Б		Ед. изм.
		Мин.	Макс.	
Рабочий диапазон частот	ΔF	8	18	ГГц
Выходная мощность	P_2	5		Вт
Коэффициент усиления в линейном режиме	G_{ss}	39	48	дБ
Неравномерность АЧХ	ΔG		5,0	дБ
Изменение усиления в диапазоне -40...+60°C	ΔG_t		5,0	дБ
КСВН входа и выхода	VSWR in/out		2,0/2,5	
Напряжение питания 1	VDC+	8,5	9,5	В
Ток потребления по цепи питания 1	I+		6,0	А
Напряжение питания 2	VDC-	-9,5	-8,5	В
Ток потребления по цепи питания 2	I-		0,1	А

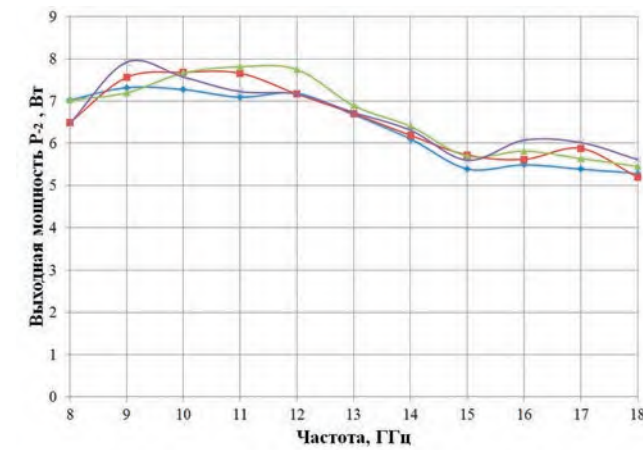
ПАРАМЕТРЫ КОНСТРУКЦИИ

Параметры	Значения	Ед. изм.	Огранич.
	УМ1505Б		
Габаритные размеры	129,0 x 35,0 x 21,0	мм	макс
Масса	0,21	кг	макс
СВЧ соединители	3,5/1,52 (СРГ50-751ФВ) или SMA(f)		
Входы питания, модуляции, управления	Разъемы Harwin		
Охлаждение	Внешний теплоотвод		

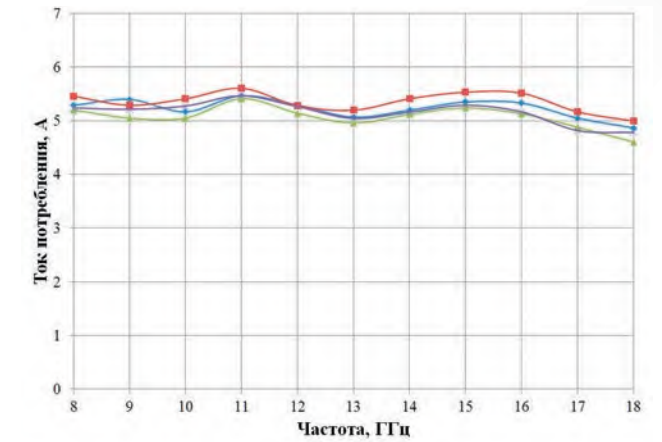
УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Параметры	Обозн.	Мин.	Тип.	Макс.	Ед. изм.
Диапазон температур эксплуатации	Tc	-40		+60	°C
Диапазон температур транспортирования	Tstg	-60		+85	°C
Относительная влажность при T=35°C	RH	98			%

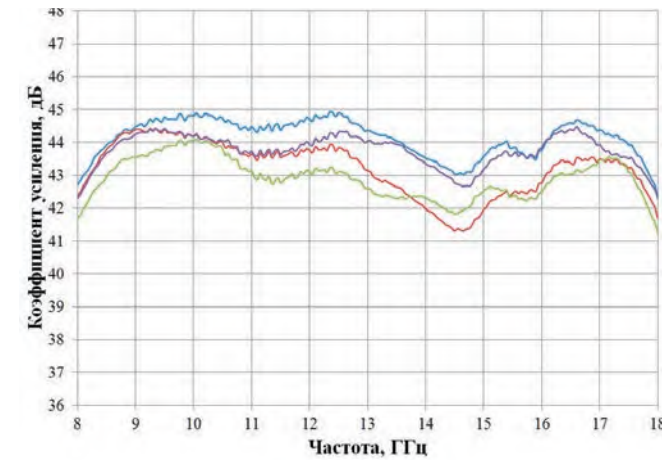
ТИПОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ T₀ = +25°C



Выходная мощность при снижении усиления на 2 дБ усилителей УМ1505Б

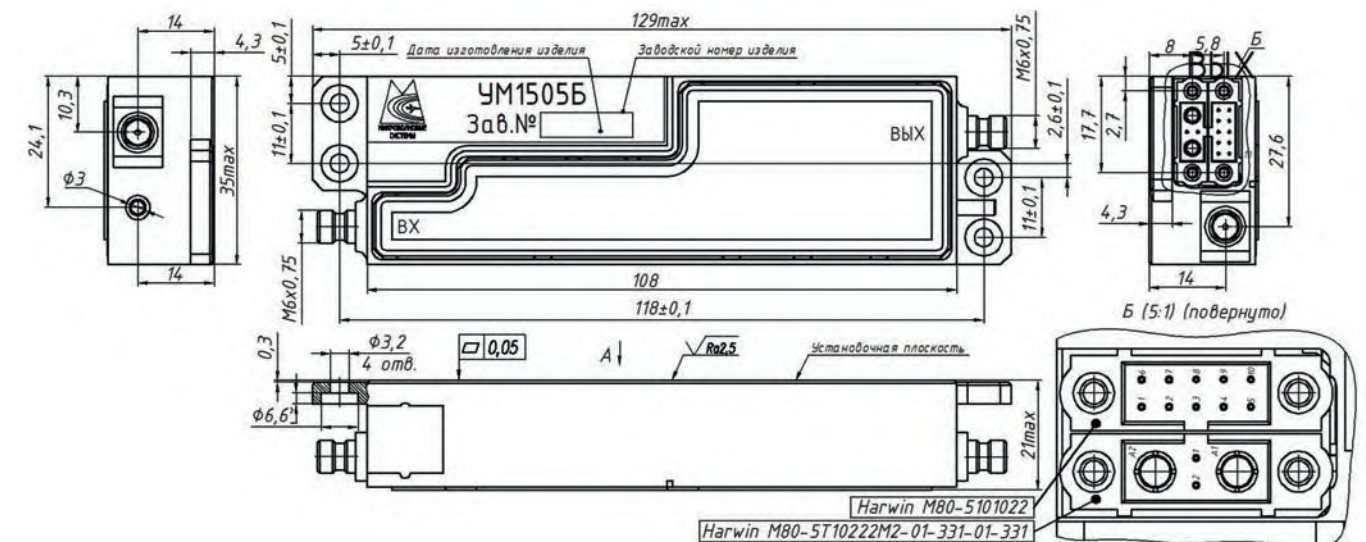


Максимальный ток потребления по цепи «+9В» усилителей УМ1505Б



Коэффициент усиления (G_{ss})

ГАБАРИТНЫЙ ЧЕРТЕЖ



Взлет-1 Широкополосный двухканальный СВЧ усилитель мощности / 1 – 4 ГГц / 16 Вт

Взлет-1 – широкополосный СВЧ усилитель мощности диапазона частот 1 – 4 ГГц с двумя синфазными выходами и выходной мощностью 16 Вт, коэффициентом усиления 50 дБ и неравномерностью коэффициента усиления ± 1.4 дБ. Взлет-1 построен на основе современной GaAs и GaN технологии и обеспечивает высокую надежность и стабильность параметров. Герметичная конструкция обеспечивает работу в условиях воздействия различных ВВФ.

Основные особенности:

- ▶ Два синфазных выхода
- ▶ Выходная мощность каждого канала более 16 Вт
- ▶ Малые габариты и масса
- ▶ Цифровое 5-разрядное управление усилением (0.9 дБ – 27.9 дБ)
- ▶ Встроенные детекторы выходной мощности
- ▶ Встроенный скоростной модулятор питания (300 нс)
- ▶ Температурная компенсация усиления
- ▶ Высокая надежность и стойкость к ВВФ



Применение:

- ▶ Телекоммуникационные системы
- ▶ Измерительное оборудование
- ▶ Широкополосная радиотелетрия
- ▶ Системы связи
- ▶ Волоконная оптика

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ при $T=25^{\circ}\text{C}$, $VDC=+27\text{ В}$, $Z_s=Z_L=50\text{ Ом}$

Параметры	Обозн.	Мин.	Тип	Макс.	Ед. изм.
Рабочий диапазон частот	BW	1		4	ГГц
Выходная мощность насыщения	P_{sat}	16	18		Вт
Выходная мощность при $P_{\text{out}} = 0\text{ dBm}$	P_{0dBm}	15	17		Вт
Коэффициент усиления в линейном режиме	Gss	45	50	55	дБ
Неравномерность АЧХ	ΔG		± 1.4	± 2.0	дБ
Изменение усиления в диапазоне $-55^{\circ}\text{C} \dots +60^{\circ}\text{C}$	ΔG_t			5	дБ
КСВН вход / выход	VSWR In/Out		1.8 / 1.8	2.0 / 2.0	
Напряжения питания по цепям 1 / 2 / 3	VDC1 / VDC2 / VDC3	26 / 8.5 / -9.5	27 / 9 / -9	30 / 9.5 / -8.5	В
Потребляемый ток @ P_{sat} по цепям 1 / 2 / 3	IDD1 / IDD2 / IDD3			5.0 / 1.0 / 0.3	А

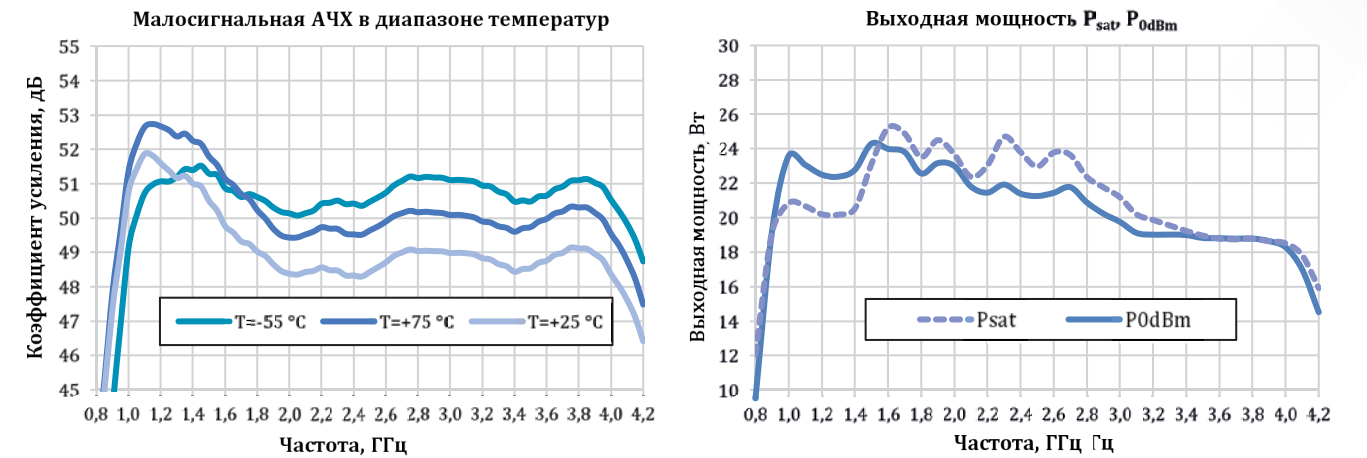
ПАРАМЕТРЫ КОНСТРУКЦИИ

Параметры	Значения	Ед. изм.	Огранич.
Габаритные размеры	129,0 x 35,0 x 21,0	мм	макс
Масса	0,21	кг	макс
СВЧ соединители	3,5/1,52 (CPГ50-751ФВ) или SMA(f)		
Входы питания, модуляции, управления	Разъемы Harwin		
Охлаждение	Внешний теплоотвод		

УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

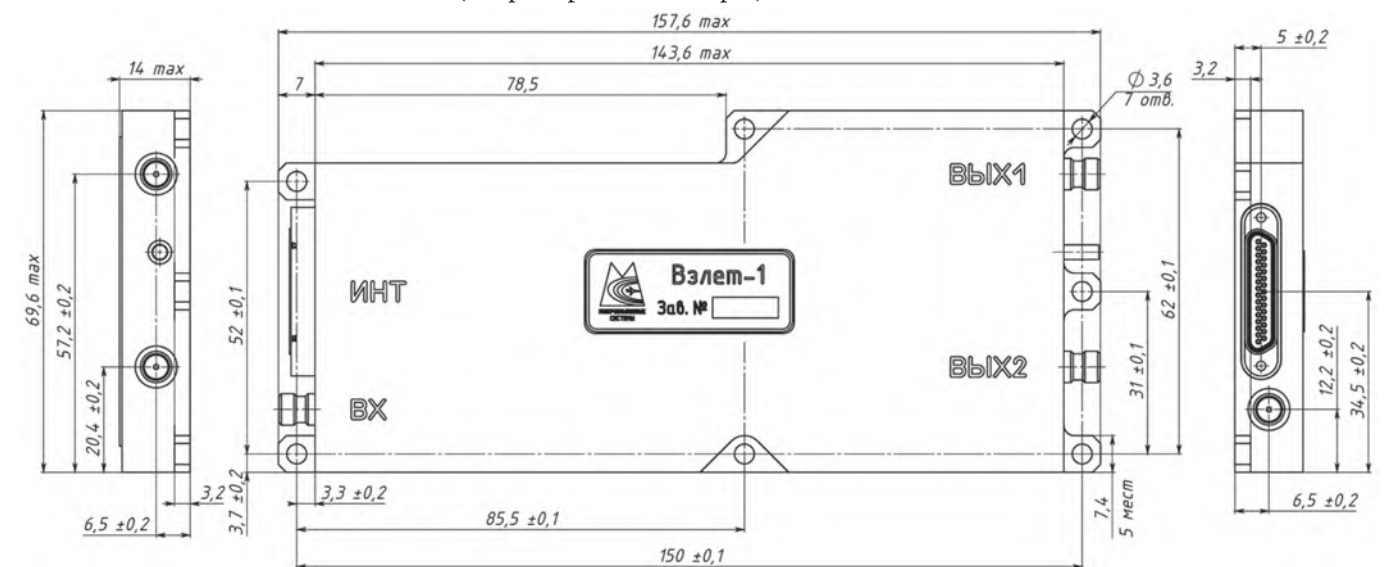
Параметры	Обозн.	Мин.	Тип.	Макс.	Ед. изм.
Температура эксплуатации	T_a	-55		+60	$^{\circ}\text{C}$
Диапазон температур транспортирования	T_c	-55		+75	$^{\circ}\text{C}$
Температура хранения	$T_{\text{хр}}$	-65		+85	$^{\circ}\text{C}$
Относительная влажность	RH			98	%

ТИПОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ $T_0=+25^{\circ}\text{C}$, $Z_s=Z_L=50\text{ Ом}$



Соединитель	Номер вывода	Обозначение	Описание
ИНТ Micro-D, MIL-PRF-83513, розетка, 31 контакт	1 ... 3, 17, 18	+27В	Напряжение питания (+26... +30VDC)
	4, 5, 19 ... 21	Общий (+27В)	Общий +27В
	6	Модуляция	Модуляция
	7	Аттенюатор 0,9 дБ	Ввод управления разрядом аттенюатора 0.9 дБ
	8	Аттенюатор 3,6 дБ	Ввод управления разрядом аттенюатора 3.6 дБ
	9	Аттенюатор 14,4 дБ	Ввод управления разрядом аттенюатора 14.4 дБ
	10, 11, 13, 22, 28	Общий	Общий
	12	-9В	Напряжение питания (-8.5... -9.5VDC)
	14, 29, 30	Общий (+9В)	Общий +9В
	15, 16, 31	+9В	Напряжение питания (+8.5... +9.5VDC)
	23	Аттенюатор 1,8 дБ	Ввод управления разрядом аттенюатора 1.8 дБ
	24	Аттенюатор 7,2 дБ	Ввод управления разрядом аттенюатора 7.2 дБ
	25	Детектор 1	Выход детектора выходной мощности 1 канала
	26	Детектор 2	Выход детектора выходной мощности 2 канала
	27	Температура	Датчик температуры @10мВ/°C

ГАБАРИТНЫЙ ЧЕРТЕЖ (Все размеры в миллиметрах)



Взлет-2 Широкополосный двухканальный СВЧ усилитель мощности / 4 – 12 ГГц / 16 Вт

Взлет-2 – двухканальный широкополосный СВЧ усилитель мощности диапазона частот 4 – 12 ГГц с выходной мощностью 16 Вт, коэффициентом усиления 50 дБ и неравномерностью коэффициента усиления ± 1.4 дБ. Взлет-2 построен на основе современной GaAs и GaN технологии и обеспечивает высокую надежность и стабильность параметров. Герметичная конструкция обеспечивает работу в условиях воздействия различных ВВФ.

Основные особенности:

- ▶ Два канала усиления
- ▶ Выходная мощность каждого канала более 16 Вт
- ▶ Малые габариты и масса
- ▶ Цифровое 5-разрядное управление усилением (0.9 дБ – 27.9 дБ)
- ▶ Встроенные детекторы выходной мощности
- ▶ Встроенный скоростной модулятор питания (300 нс)
- ▶ Температурная компенсация усиления
- ▶ Высокая надежность и стойкость к ВВФ



Применение:

- ▶ Телекоммуникационные системы
- ▶ Измерительное оборудование
- ▶ Широкополосная радиотелетрия
- ▶ Системы связи
- ▶ Волоконная оптика

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ @ T=25°C, VDC=+27 В, $Z_s=Z_L=50$ Ом

Параметры	Обозн.	Мин.	Тип	Макс.	Ед. изм.
Рабочий диапазон частот	BW	4		12	ГГц
Выходная мощность насыщения	P_{sat}	14	18		Вт
Выходная мощность при $P_{vх}=3$ dBm	P_{3dBm}	14	17		Вт
Коэффициент усиления в линейном режиме	Gss	45	50	55	дБ
Неравномерность АЧХ	ΔG		± 1.4	± 2.0	дБ
Изменение усиления в диапазоне -55...+60°C	ΔG_t			5	дБ
КСВН вход / выход	VSWR In/Out		1.7 / 1.5	2.0 / 2.0	
Напряжения питания по цепям 1 / 2 / 3	$V_{DC1} / V_{DC2} / V_{DC3}$	26 / 8,5 / -9,5	27 / 9 / -9	30 / 9,5 / -8,5	В
Потребляемый ток @ P_{sat} по цепям 1 / 2 / 3	$I_{DD1} / I_{DD2} / I_{DD3}$			6.8 / 7.8 / 0.4	А

ПАРАМЕТРЫ КОНСТРУКЦИИ

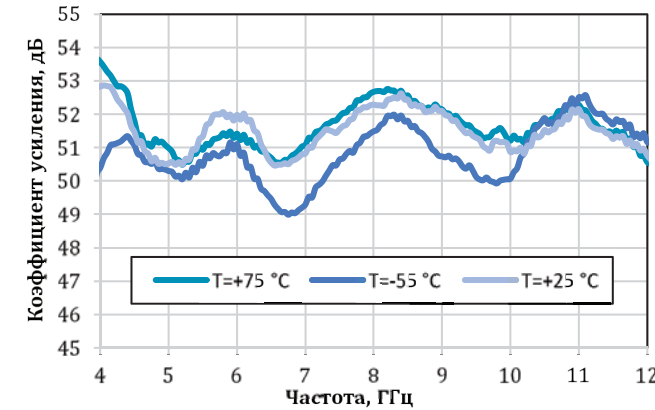
Параметры	Значения	Ед. изм.	Огранич.
Габаритные размеры	165 x 69.6 x 14	мм	макс
Масса	0.33	кг	макс
СВЧ соединители	CPFS0-751ИрФВ или SMA (f)		
Входы питания, модуляции, управления	ИНТ: Розетка 37 контактов, Micro-D, MIL-PRF-83513		
Охлаждение	Внешний теплоотвод		

УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

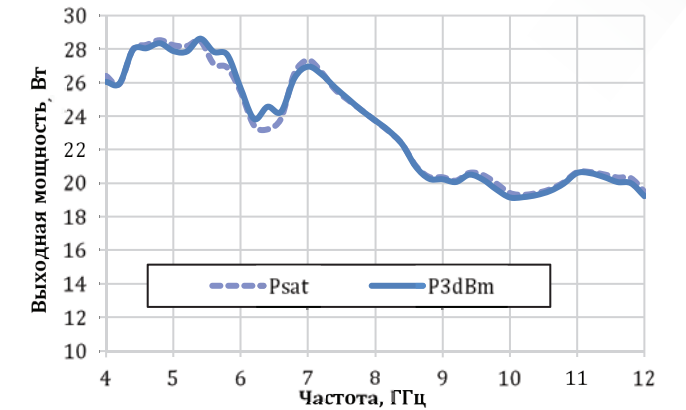
Параметры	Обозн.	Мин.	Тип.	Макс.	Ед. изм.
Температура эксплуатации	T_a	-55		+60	°C
Диапазон температур транспортирования	T_c	-55		+75	°C
Температура хранения	$T_{стк}$	-65		+85	°C
Относительная влажность	RH			98	%

ТИПОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ при $T_o=+25^\circ\text{C}$, $Z_s=Z_L=50$ Ом

Малосигнальная АЧХ в диапазоне температур

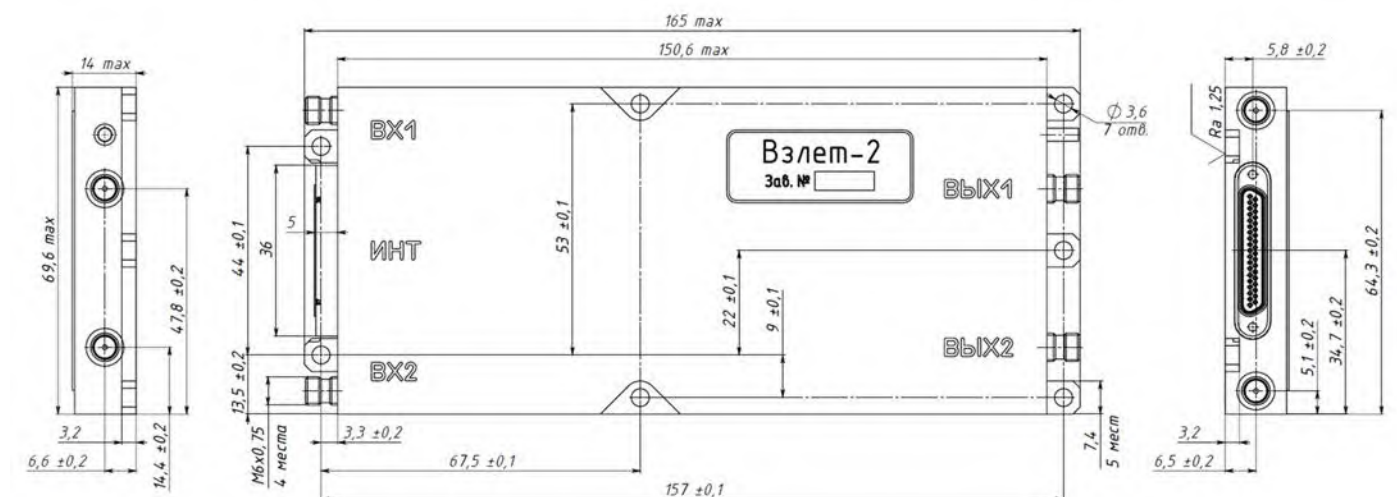


Выходная мощность P_{sat} , P_{3dBm}



Соединитель	Номер вывода	Обозначение	Описание
ИНТ Micro-D, MIL-PRF-83513, розетка, 37 контактов	1 ... 4, 20	+27В	Напряжение питания (+26 ... +30VDC)
	5 ... 9	Общий (+27В)	Общий +27В
	10, 21, 23, 30, 33, 36	Общий	Общий
	11 ... 15	Общий (+9В)	Общий +9В
	16 ... 19, 37	+9В	Напряжение питания (+8,5 ... +9,5VDC)
	22	Модуляция (1)	Модуляция 1 канала
	24	Аттенуатор 0.9 дБ	Ввод управления разрядом аттенуатора 0.9 дБ
	25	Аттенуатор 1.8 дБ	Ввод управления разрядом аттенуатора 1.8 дБ
	26	Аттенуатор 3.6 дБ	Ввод управления разрядом аттенуатора 3.6 дБ
	27	Аттенуатор 7.2 дБ	Ввод управления разрядом аттенуатора 7.2 дБ
	28	Аттенуатор 14.4 дБ	Ввод управления разрядом аттенуатора 14.4 дБ
	29	-9В	Напряжение питания (-8.5 ... -9.5VDC)
	31	Детектор 1	Выход детектора выходной мощности 1 канала
	32	Детектор 2	Выход детектора выходной мощности 2 канала
	34	Модуляция (2)	Модуляция 2 канала
	35	Температура	Датчик температуры @10мВ/°C

ГАБАРИТНЫЙ ЧЕРТЕЖ (Все размеры в миллиметрах)



Взлет-3А Широкополосный двухканальный СВЧ усилитель мощности / 6 – 18 ГГц / 6 Вт

Взлет-3А – двухканальный широкополосный СВЧ усилитель мощности диапазона частот 6 – 18 ГГц с выходной мощностью 6 Вт, коэффициентом усиления 50 дБ и неравномерностью коэффициента усиления ± 1.4 дБ. Взлет-3А построен на основе современной GaAs и GaN технологии и обеспечивает высокую надежность и стабильность параметров. Герметичная конструкция обеспечивает работу в условиях воздействия различных ВВФ.

Основные особенности:

- ▶ Два канала усиления
- ▶ Выходная мощность каждого канала более 6 Вт
- ▶ Малые габариты и масса
- ▶ Цифровое 5-разрядное управление усилением (0.9 дБ – 27.9 дБ)
- ▶ Встроенные детекторы выходной мощности
- ▶ Встроенный скоростной модулятор питания (300 нс)
- ▶ Температурная компенсация усиления
- ▶ Высокая надежность и стойкость к ВВФ



Применение:

- ▶ Телекоммуникационные системы
- ▶ Измерительное оборудование
- ▶ Широкополосная радиотелетрия
- ▶ Системы связи
- ▶ Волоконная оптика

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ при $T=25^{\circ}\text{C}$, $VDC=+27\text{ В}$, $Z_s=Z_L=50\text{ Ом}$

Параметры	Обозн.	Мин.	Тип	Макс.	Ед. изм.
Рабочий диапазон частот	BW	6		18	ГГц
Выходная мощность насыщения	P_{sat}	6	8		Вт
Выходная мощность при $P_{out} = 0\text{ dBm}$	P_{0dBm}	6	7		Вт
Коэффициент усиления в линейном режиме	Gss	45	50	55	дБ
Неравномерность АЧХ	ΔG		± 1.4	± 2.0	дБ
Изменение усиления в диапазоне $-55 \dots +60^{\circ}\text{C}$	ΔG_t			5	дБ
КСВН вход / выход	VSWR In/Out		1.6 / 2.3	2.0 / 2.5	
Напряжения питания по цепям 1 / 2 / 3	VDC1 / VDC2 / VDC3	26 / 8.5 / -9.5	27 / 9 / -9	30 / 9.5 / -8.5	В
Потребляемый ток @ P_{sat} по цепям 1 / 2 / 3	IDD1 / IDD2 / IDD3			3.5 / 3.0 / 0.4	А

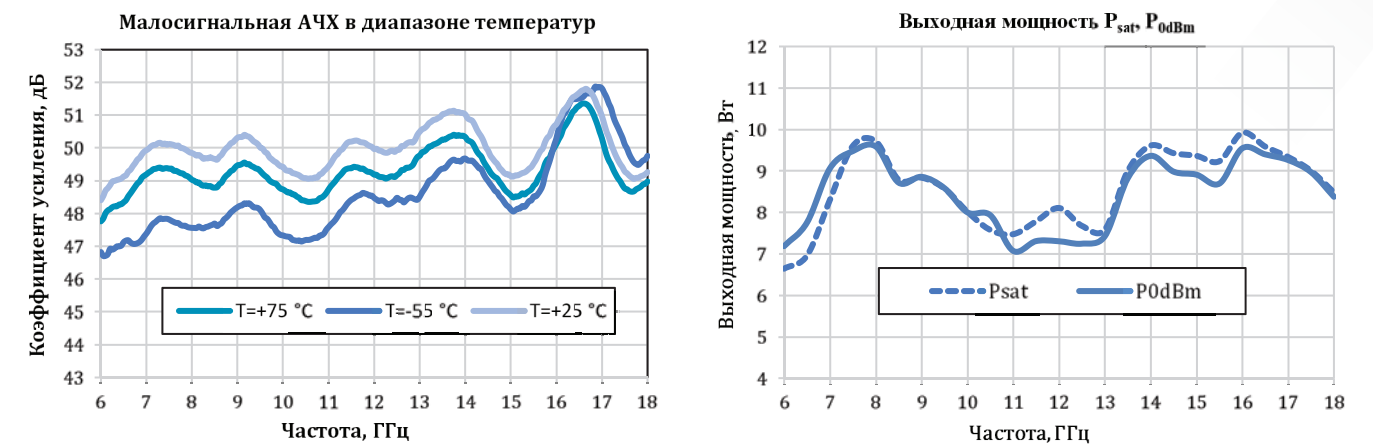
ПАРАМЕТРЫ КОНСТРУКЦИИ

Параметры	Значения	Ед. изм.	Огранич.
Габаритные размеры	149.5 x 69.6 x 14	мм	Макс.
Масса	0.28	кг	Макс.
СВЧ соединители	SMA (f)		
Входы питания, модуляции, управления	ИНТ: Розетка 31 контакт, Micro-D, MIL-PRF-83513		
Охлаждение	Внешний теплоотвод		

УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

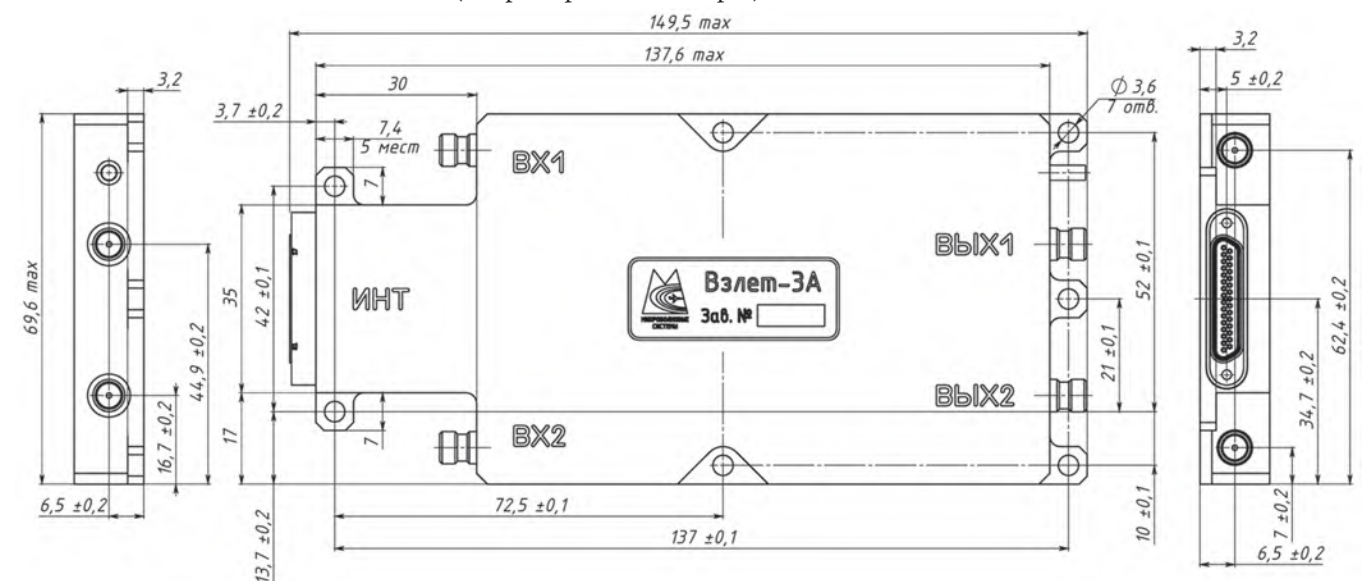
Параметры	Обозн.	Мин.	Тип.	Макс.	Ед. изм.
Температура эксплуатации	T_a	-55		+60	$^{\circ}\text{C}$
Диапазон температур транспортирования	T_c	-55		+75	$^{\circ}\text{C}$
Температура хранения	T_{stg}	-65		+85	$^{\circ}\text{C}$
Относительная влажность	RH			98	%

ТИПОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ $T_0=+25^{\circ}\text{C}$, $Z_s=Z_L=50\text{ Ом}$



Соединитель	Номер вывода	Обозначение	Описание
ИНТ Micro-D, MIL-PRF-83513, розетка, 31 контакт	1, 2, 17, 18	+27В	Напряжение питания (+26 ... +30VDC)
	3, 4, 19, 20	Общий (+27В)	Общий +27В
	5, 10, 11, 13, 21, 28	Общий	Общий
	6	Модуляция (1)	Модуляция 1 канала
	7	Аттенюатор 0,9 дБ	Ввод управления разрядом аттенюатора 0.9 дБ
	8	Аттенюатор 3,6 дБ	Ввод управления разрядом аттенюатора 3.6 дБ
	9	Аттенюатор 14,4 дБ	Ввод управления разрядом аттенюатора 14.4 дБ
	12	-9В	Напряжение питания (-8.5 ... -9.5VDC)
	14, 29, 30	Общий (+9В)	Общий +9В
	15, 16, 31	+9В	Напряжение питания (+8.5 ... +9.5VDC)
	22	Модуляция (2)	Модуляция 2 канала
	23	Аттенюатор 1,8 дБ	Ввод управления разрядом аттенюатора 1.8 дБ
	24	Аттенюатор 7,2 дБ	Ввод управления разрядом аттенюатора 7.2 дБ
	25	Детектор 1	Выход детектора выходной мощности 1 канала
	26	Детектор 2	Выход детектора выходной мощности 2 канала
	27	Температура	Датчик температуры @10мВ/°C

ГАБАРИТНЫЙ ЧЕРТЕЖ (Все размеры в миллиметрах)



Серия малошумящих СВЧ усилителей MSLA 2 – 18 ГГц / Кш 4.0 дБ / 12-24 дБ

Усилители серии MSLA предназначены для усиления непрерывных, импульсных и модулированных сигналов в диапазоне частот от 2 до 18 ГГц. Усилители построены на основе современных монокристаллических интегральных схем, что обеспечивает высокое и равномерное усиление в широкой (до декады) полосе частот, широкий динамический и температурный диапазоны, низкий коэффициент шума. Исключительные технические параметры и высокая надежность обеспечены использованием современной тонкопленочной ГИС технологии, высоконадежными комплектующими ведущих мировых производителей, герметичной конструкцией. Усилители спроектированы для различных применений: измерительная техника, оптоволоконные системы связи и т.д.

Основные особенности

- ▶ Мультиоктавная мгновенная полоса
- ▶ Малые габариты и масса
- ▶ Встроенный скоростной (50нс) модулятор питания
- ▶ (опция М)
- ▶ Однополярное питание
- ▶ Тонкопленочная ГИС технология
- ▶ Высокая надежность и стойкость к ВВФ
- ▶ Вариант негерметичного полоскового исполнения ГИС
- ▶ (опция G)



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ при T=25°C, 50Ω

Параметры	Обозн.	MSLA-20180-4.0 (M, G)	MSLA2-20180-4.0 (M)	Ед. изм.
Рабочий диапазон частот	ΔF	2 – 18	2 – 18	ГГц
Коэффициент шума, не более	N_f	4.5	4.5	дБ
Выходная мощность в непрерывном режиме, не менее	P_{sat}	30	30	мВт
Выходная мощность при компрессии 1 дБ, не менее	P_{1dB}	15	15	мВт
Коэффициент усиления в линейном режиме, не менее	G_{ss}	12	24	дБ
Неравномерность АЧХ, не более	ΔG	2.0	4.0	дБ
Изменение усиления в диапазоне -40...+85°C, типовое	ΔG_t	± 1.5	± 3.0	дБ
КСВН входа и выхода, не более	VSWR in/out	2.5	2.5	
Напряжение питания	VDC+	+7.1...+9.5 (+7.5 типовое, +6.0 для ГИС)	+7.1...+9.5 (+7.5 типовое)	В
Ток потребления, не более	I+	< 90	< 180	мА

ПАРАМЕТРЫ КОНСТРУКЦИИ

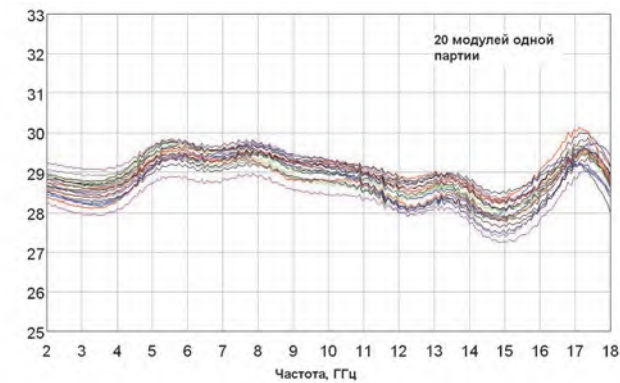
Параметры	Значения	Ед. изм.	Огранич.
Габаритные размеры	42 x 22 x 14 (корпусной) / 12 x 7.5 x 1.8 (ГИС)	мм	макс
Масса	15 (корпусной) / 1 (ГИС)	г	макс
СВЧ соединители	3.5/1.52 (корпусной) / полосковые (ГИС)		
Входы питания, модуляции, контроля	Паяные контакты (корпусной) / полосковый (ГИС)		
Охлаждение	Не требуется (корпусной) / корпус модуля (ГИС)		

УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

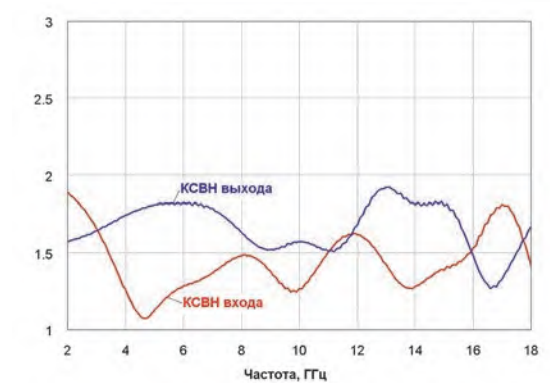
Параметры	Обозн.	Мин.	Тип.	Макс.	Ед. изм.
Диапазон температур эксплуатации	Tc	-40		+85	°C
Диапазон температур транспортирования	Tstg	-54		+85	°C
Относительная влажность при T=40°C	RH	98			%

ТИПОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

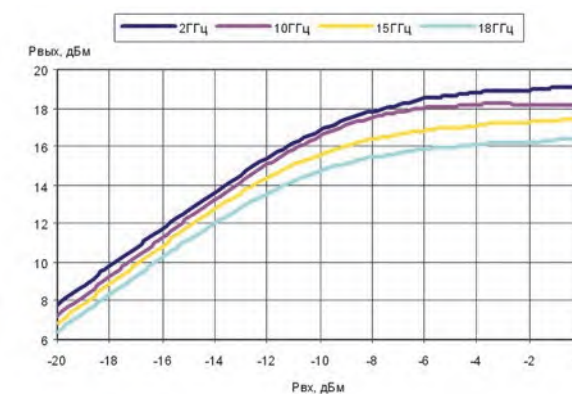
Коэффициент усиления модуля MSLA2-20180-4.0, дБ



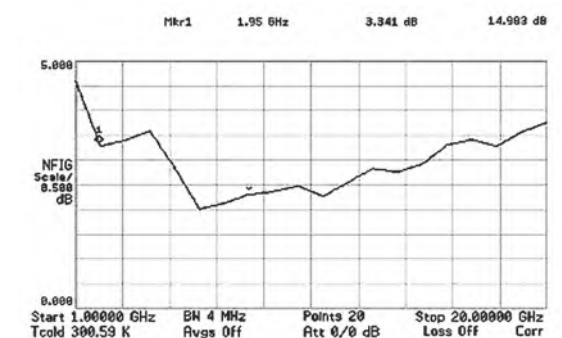
КСВН входа и выхода модуля MSLA2-20180-4.0



Динамические характеристики модуля MSLA2-20180-4.0

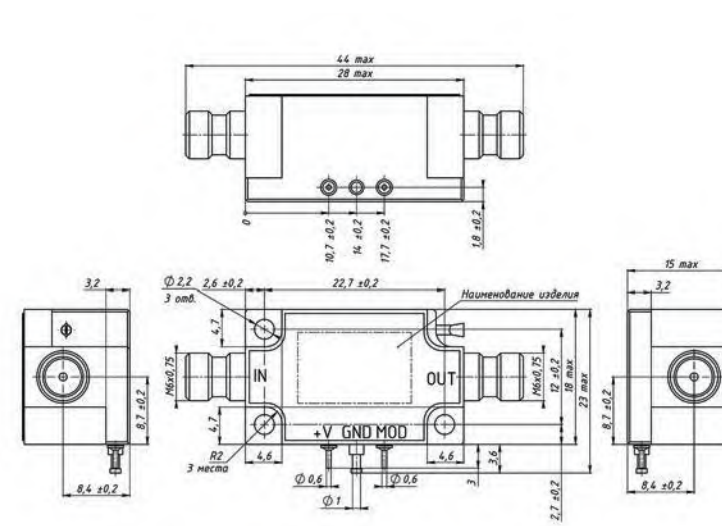


Коэффициент шума модуля MSLA2-20180-4.0, дБ

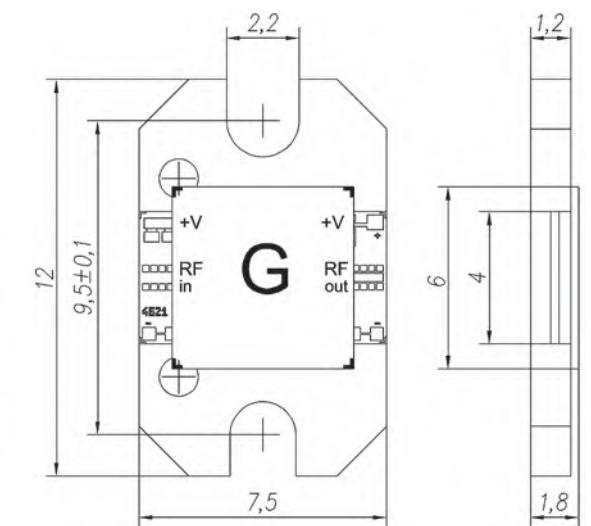


ГАБАРИТНЫЙ ЧЕРТЕЖ

Корпусный вариант



Вариант ГИС



Маломощный СВЧ усилитель UVA-51A2MC 2 – 18 ГГц / Кш < 5 дБ / 37 дБ

Усилитель UVA-51A2MC – новый универсальный широкополосный усилитель, заменяющий ранее выпускавшуюся линейку усилителей UV (UVA-51A1MC, UVM-51A1MC, UVA-51A2.1MC, UVN-32.0MC, UVN-32.1MC) знакомую нашим заказчикам на протяжении многих лет. Предназначен для усиления непрерывных, импульсных и модулированных сигналов в диапазонах частот от 2 до 18 ГГц. Усилитель построен на основе современных МИС на GaAs, обеспечивает высокое и равномерное усиление в широкой (до декады) полосе частот, широкий динамический и температурный диапазоны, малый коэффициент шума. Исключительные технические параметры и высокая надежность обеспечены использованием современной тонкопленочной ГИС технологии, применением высоконадежных комплектующих ведущих мировых производителей, герметичностью конструкции. Усилитель спроектирован для различных промышленных применений: измерительная техника, оптоволоконные системы связи и т.д.

Основные особенности:

- ▶ Мультиоктавная мгновенная полоса
- ▶ Малые габариты и масса
- ▶ Температурная компенсация усиления
- ▶ Тонкопленочная ГИС технология
- ▶ Встроенный стабилизатор питания
- ▶ Однополярное питание
- ▶ Высокая надежность и стойкость к ВВФ



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ при T=25°C, VDC+ =+7.5 В, 50Ω

Параметры	Обозначение	Мин.	Макс.	Ед. изм.
Рабочий диапазон частот	ΔF	2	18	ГГц
Коэффициент шума	NF		4.7	дБ
Выходная мощность в непрерывном режиме	P_{sat}	100		мВт
Выходная мощность при компрессии 1 дБ	P_{1dB}	50		мВт
Коэффициент усиления в линейном режиме	G_{ss}	34	40	дБ
Неравномерность АЧХ	ΔG		4.0	дБ
Изменение усиления в диапазоне -60 ... +75°C	ΔG_t		±2.0	дБ
КСВН входа и выхода	VSWR in/out		<2.0	
Напряжение питания 1	VDC+	7.1	9.5	В
Ток потребления по цепи питания 1	I+		350	мА

ПАРАМЕТРЫ КОНСТРУКЦИИ

Параметры	Значения
Габаритные размеры	81 x 22,2 x 14,5 мм
Масса	55 г
СВЧ соединители	3,5/1,52 (CPГ50-751ФВ) или SMA(f)
Ввод питания	Паяные контакты
Охлаждение	Кондуктивное, от боковых стенок корпуса на элементы блока

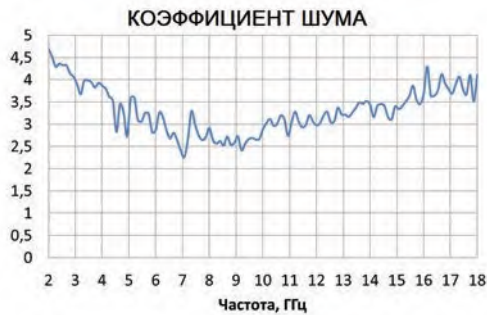
УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Параметры	Обозн.	Мин.	Макс.	Ед. изм.
Диапазон температур эксплуатации	Tc	-60	+75	°C
Диапазон температур транспортирования	Tstg	-60	+85	°C
Относительная влажность при T=35°C	RH	98		%

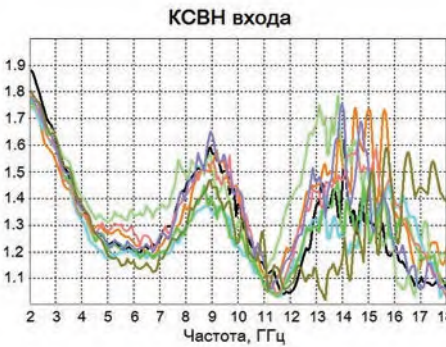
ТИПОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ T₀=+25°C



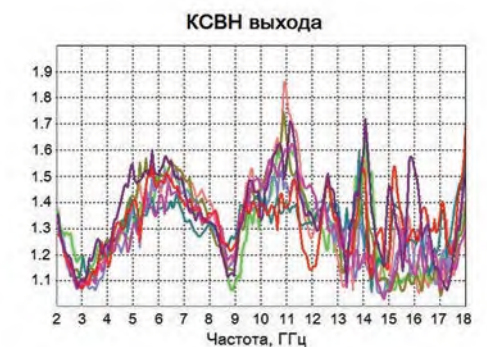
Коэффициент усиления (Gss) усилителей UVA-51A2MC



Коэффициент шума (NF) усилителей UVA-51A2MC

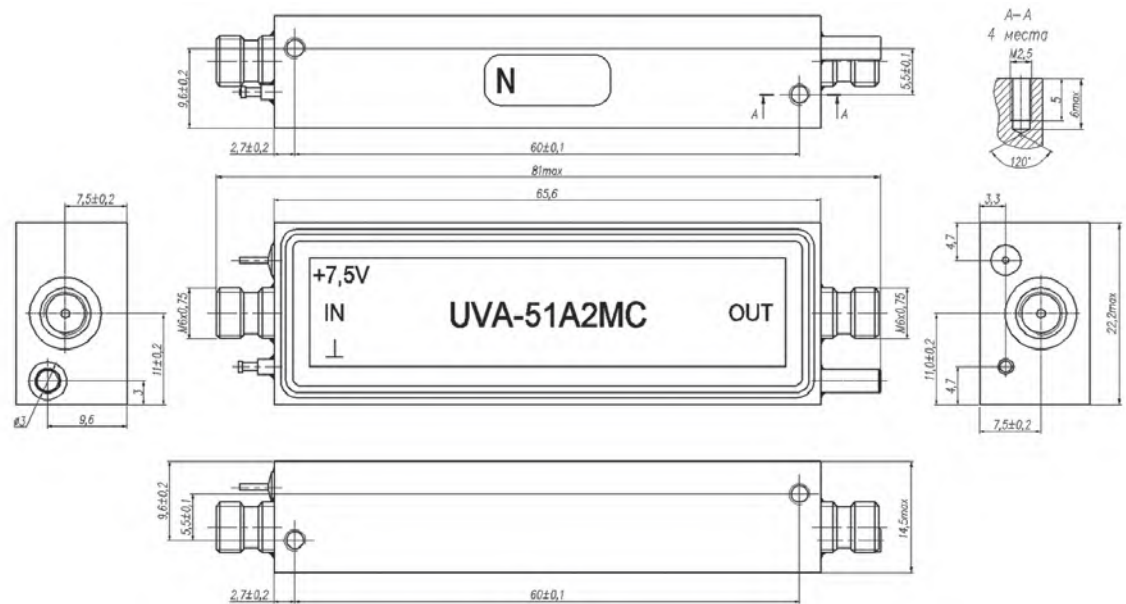


КСВН входа усилителей UVA-51A2MC



КСВН выхода усилителей UVA-51A2MC

ГАБАРИТНЫЙ ЧЕРТЕЖ



MS00802540 СВЧ усилитель мощности 0,8 – 2,5 ГГц / 40 Вт

MS00802540 – СВЧ усилитель мощности диапазона частот 0,8 – 2,5 ГГц с выходной мощностью не менее 40 Вт, коэффициентом усиления 56 дБ и неравномерностью коэффициента усиления ± 1.5 дБ. MS00802540 построен на основе современной GaN технологии и обеспечивает высокую надежность и стабильность параметров. Герметичная конструкция обеспечивает работу в условиях воздействия различных ВВФ.

Основные особенности:

- ▶ Выходная мощность 40 Вт
- ▶ Малые габариты и масса
- ▶ Цифровое 5-разрядное управление усилением (0.5дБ – 17.6дБ)
- ▶ Встроенный детектор выходной мощности
- ▶ Встроенный скоростной модулятор питания (300 нс)
- ▶ Температурная компенсация усиления
- ▶ Высокая надежность и стойкость к ВВФ

Применение:

- ▶ Телекоммуникационные системы
- ▶ Измерительное оборудование
- ▶ Широкополосная радиотелеметрия
- ▶ Системы связи
- ▶ Волоконная оптика



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ при T=25°C, VDC =+27В, Zs=ZL=50 Ом

Параметры	Обозначение	Мин.	Тип.	Макс.	Ед. изм.
Рабочий диапазон частот	BW	0.8		2.5	ГГц
Выходная мощность при P _{вх} =0 dBm	P _{0dBm}	40	55		Вт
Коэффициент усиления в линейном режиме	G _{ss}	48	56	58	дБ
Неравномерность АЧХ	ΔG		±1.0	±1.5	дБ
КСВН вход / выход	VSWR In/Out		1.3 / 1.5	2.0 / 2.0	
Напряжение питания	VDC	26	27	30	В
Потребляемый ток @ P _{sat}	I _{DD}			6	А

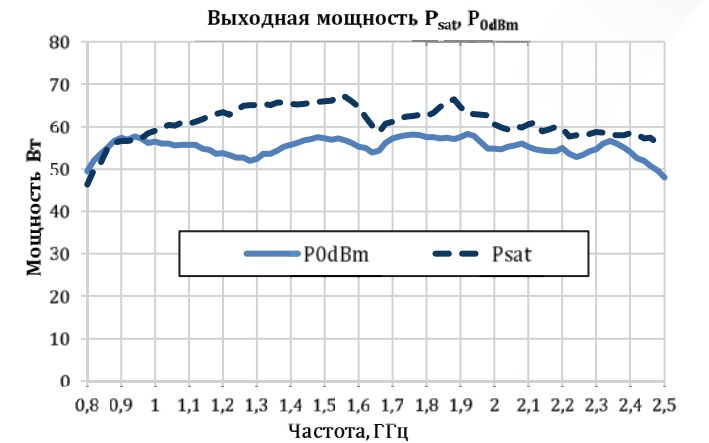
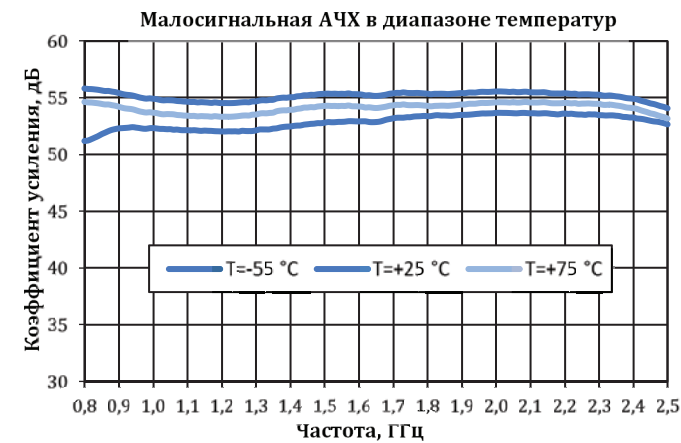
ПАРАМЕТРЫ КОНСТРУКЦИИ

Параметры	Значения	Ед. изм.	Огранич.
Габаритные размеры	187.7 x 75.4 x 23	мм	Макс.
Масса	0.62	кг	Макс.
СВЧ соединители	SMA (f)		
Вводы питания, модуляции, управления	X1: Harwin M80-5101022		
	X2 : Harwin M80-5T10222M2-01-331-01-331		
Охлаждение	Внешний теплоотвод		

УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

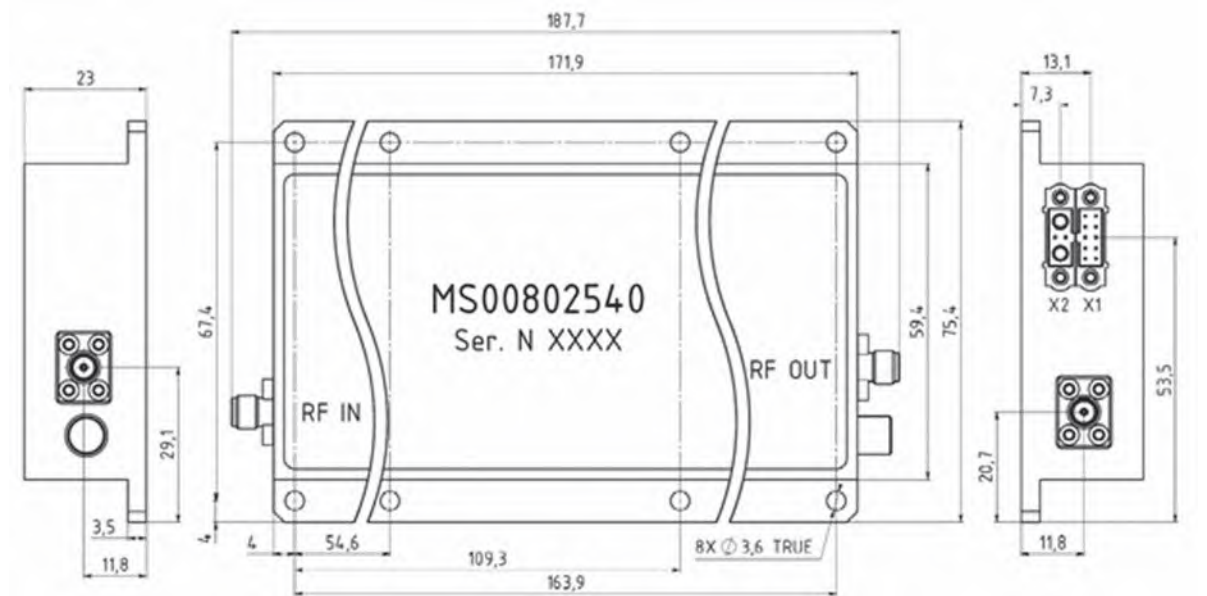
Параметры	Обозн.	Мин.	Тип.	Макс.	Ед. изм.
Температура эксплуатации	T _a	-40		+60	°C
Диапазон температур транспортирования	T _c	-55		+75	°C
Температура хранения	T _{stg}	-65		+85	°C

ТИПОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ T=25°C, Z_s=Z_L=50 Ом



ВВОДЫ ПИТАНИЯ, УПРАВЛЕНИЯ И МОДУЛЯЦИИ

Соединитель	Номер вывода	Обозначение	Описание
X1 Harwin M80-5101022	1	8	Ввод управления разрядом аттенюатора 8 dB
	2	4	Ввод управления разрядом аттенюатора 4 dB
	3	2	Ввод управления разрядом аттенюатора 2 dB
	4	1	Ввод управления разрядом аттенюатора 1 dB
	5	0.5	Ввод управления разрядом аттенюатора 0.5 dB
	6	DOUT	Выход детектора контроля выходной мощности
X2 Harwin M80-5T10222M2-01-331-01-331	7,10	G	Общий
	8	T	Датчик температуры @10мВ/°C
	9	Mod	Модуляция
	A	+27	Напряжение питания (+26... +30VDC)
	B	G(-27)	Общий
	1,2	N/C	Не используется



Широкополосный СВЧ усилитель мощности MS010625 1 – 6 ГГц / 30 Ватт / 54 дБ

Усилитель MS010625 предназначен для усиления и управления амплитудой непрерывных, импульсных и модулированных сигналов в диапазонах частот от 1 до 6 ГГц. Прибор построен на основе современных GaAs и GaN транзисторов, монолитных интегральных схем, обеспечивает высокое и равномерное усиление в широкой полосе частот, широкий динамический и температурный диапазоны, высокую выходную мощность. Исключительные технические параметры и высокая надежность обеспечены использованием современной тонкопленочной ГИС технологии, высоконадежными комплектующими ведущих мировых производителей, герметичной конструкции. Прибор предназначен для различных промышленных применений: измерительная техника, системы связи и т.д.

Основные особенности:

- ▶ Выходная мощность 30 Вт
- ▶ Малые габариты и масса
- ▶ Цифровое 5-разрядное управление усилением (1 дБ – 31 дБ)
- ▶ Встроенный детектор выходной мощности
- ▶ Встроенный скоростной модулятор питания (300 нс)
- ▶ Температурная компенсация усиления
- ▶ Высокая надежность и стойкость в ВВФ



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ @ T=25°C, VDC=+27 В, Z_s=Z_L=50 Ом

Параметры	Обозн.	Мин.	Тип	Макс.	Ед. изм.
Рабочий диапазон частот	ΔF	1		6	ГГц
Выходная мощность насыщения	P _{sat}	30	35		Вт
Выходная мощность при P _{вх} = 2 мВт (3 dBm)	P _{3dBm}	27	32		Вт
Коэффициент усиления в линейном режиме	G _{ss}	50	54	60	дБ
Неравномерность АЧХ	ΔG		±2.0	±2.5	дБ
КСВН вход / выход	VSWR In/Out		1.2 / 1.4	2.0 / 2.5	
Напряжения питания	V _{DC}	26	27	30	В
Потребляемый ток @P _{sat} по цепям 1 / 2 / 3	I _{DD}			7,5	А

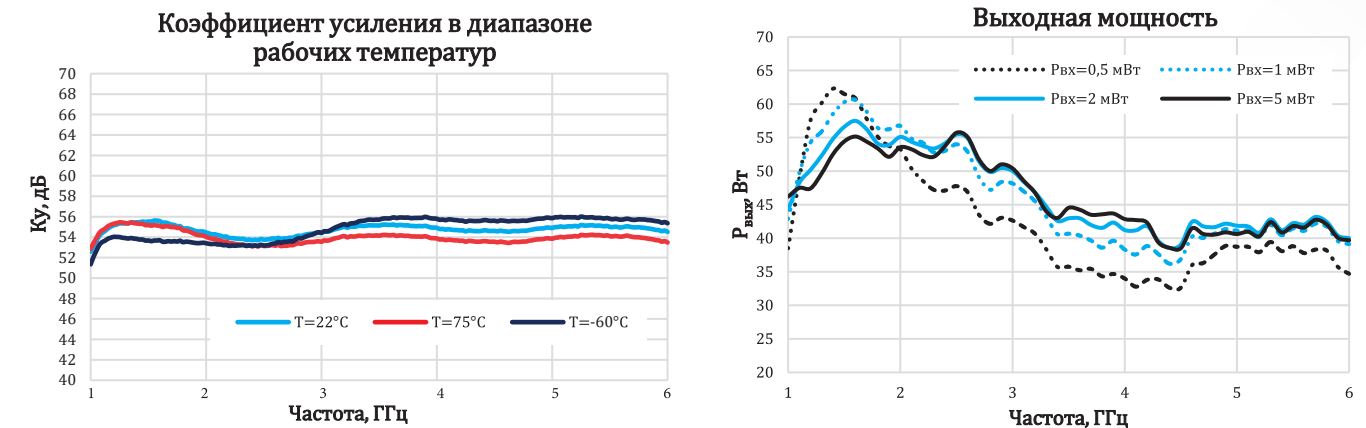
ПАРАМЕТРЫ КОНСТРУКЦИИ

Параметры	Значения	Ед. изм.	Огранич.
Габаритные размеры	147.5 x 78.6 x 24.0	мм	макс
Масса	0.45	кг	макс
СВЧ соединители	SMA (f)		
Входы питания, модуляции, управления	X1:HWT M80-5101022 X2 : HWT HW22Y0202N		
Охлаждение	Внешний теплоотвод		

УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

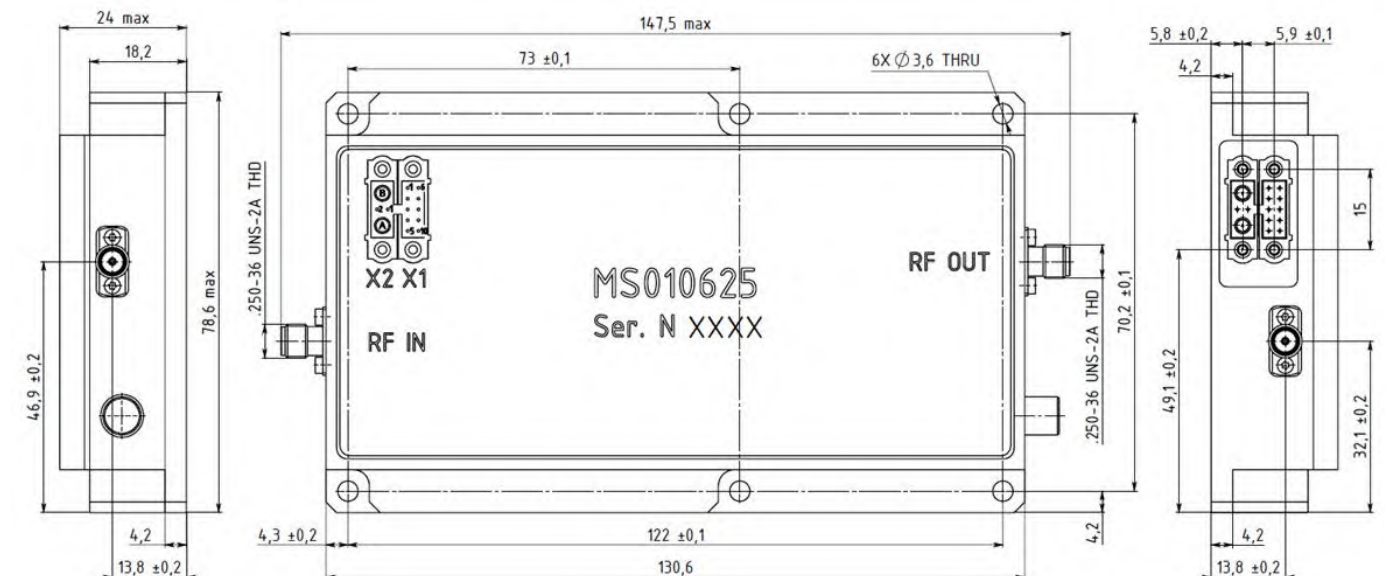
Параметры	Обозн.	Мин.	Тип.	Макс.	Ед. изм.
Температура эксплуатации	T _a	-55		+60	°C
Предельная температура эксплуатации	T _c	-55		+75	°C
Температура хранения	T _{стg}	-65		+85	°C
Относительная влажность	RH			98	%

ТИПОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ при T_o=+25°C, Z_s=Z_L=50 Ом



Соединитель	Номер вывода	Обозначение	Описание
X1 HWT M80-5101022	1	16	Ввод управления разрядом аттенюатора 16 дБ
	2	8	Ввод управления разрядом аттенюатора 8 дБ
	3	4	Ввод управления разрядом аттенюатора 4 дБ
	4	2	Ввод управления разрядом аттенюатора 2 дБ
	5	1	Ввод управления разрядом аттенюатора 1 дБ
	6	DOUT	Выход детектора контроля выходной мощности
	7,10	G	Общий
	8	T	Датчик температуры@10мВ/°C
	9	Mod	Модуляция
X2 HWT 22Y0202N	A	+27	Напряжение питания (+26 ... +30VDC)
	B	G(-27)	Общий
	1,2	N/C	Не используется

ГАБАРИТНЫЙ ЧЕРТЕЖ (Все размеры в миллиметрах)



Широкополосный СВЧ усилитель мощности MS020440 2 – 4 ГГц / 40 Ватт / 56 дБ

Усилитель MS020440 предназначен для усиления и управления амплитудой непрерывных, импульсных и модулированных сигналов в диапазонах частот от 2 до 4 ГГц. Прибор построен на основе современных GaInP, GaAs и GaN транзисторов, монолитных интегральных схем, обеспечивающих высокое и равномерное усиление в широкой полосе частот, широкий динамический и температурный диапазоны, высокую выходную мощность. Исключительные технические параметры и высокая надежность обеспечены использованием современной тонкопленочной ГИС технологии, высоконадежными комплектующими ведущих мировых производителей, герметичной конструкцией. Прибор предназначен для различных промышленных применений: измерительная техника, системы связи и т.д.

Основные особенности:

- ▶ Мгновенная октавная полоса
- ▶ Малые габариты и масса
- ▶ Цифровое 5-разрядное управление усилением (0,9 дБ±27,9 дБ)
- ▶ Тонкопленочная ГИС технология
- ▶ Встроенный детектор выходной мощности
- ▶ Встроенный скоростной (300 нс) модулятор питания
- ▶ Температурная компенсация усиления
- ▶ Питание от одного источника питания +27В



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ при T=25°C, VDC=+27В, 50Ω

Параметры	Обозначение	Мин.	Макс.	Ед. изм.
Рабочий диапазон частот	ΔF	2	4	ГГц
Выходная мощность насыщения	P_{sat}	45	48	Вт
Выходная мощность в непрерывном режиме при $P_{in}=1$ мВт (0 дБм)	P_{0dBm}	40	55	Вт
Коэффициент усиления в линейном режиме	G_{ss}	48	58	дБ
Неравномерность АЧХ	ΔG		3,0	дБ
Изменение усиления в диапазоне -55...+60°C	ΔG_t		4,0	дБ
КСВН входа и выхода	VSWR in/out		2,0/2,0	
Напряжение питания	VDC	26,0	30,0	В
Потребляемый ток	I_{DD}		6	А

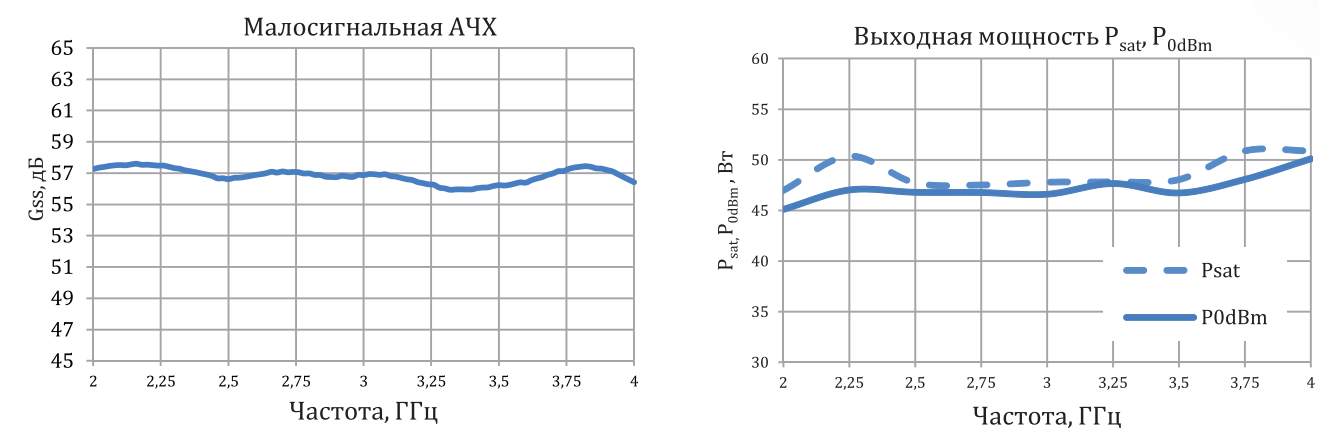
ПАРАМЕТРЫ КОНСТРУКЦИИ

Параметры	Значения
Габаритные размеры	187,7 x 75,4 x 23 мм
Масса	0,62 кг
СВЧ соединители	SMA(f)
Входы питания, модуляции, управления	Разъемы Harwin
Охлаждение	Внешний теплоотвод

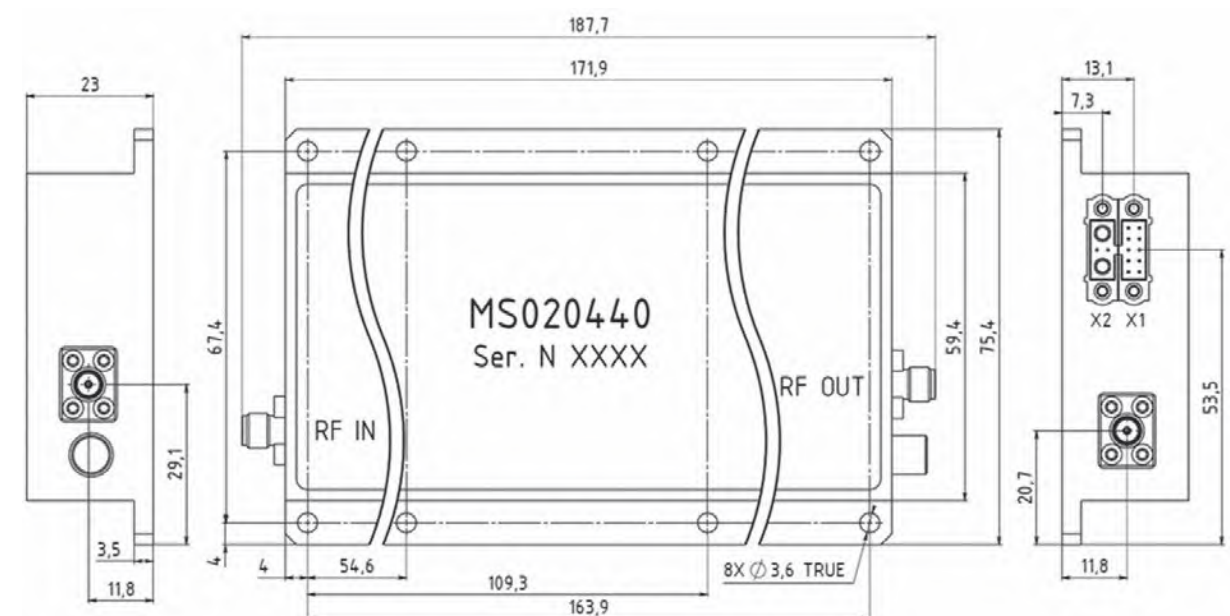
УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Параметры	Обозн.	Мин.	Макс.	Ед. изм.
Диапазон температур эксплуатации	Tc	-60	+75	°C
Диапазон температур транспортирования	Tstg	-60	+85	°C
Относительная влажность при T=40°C	RH	98		%

ТИПОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ T₀=+25°C



ГАБАРИТНЫЙ ЧЕРТЕЖ



Широкополосный СВЧ усилитель мощности MS020812
2 – 8 ГГц / 12 Ватт / 52 дБ

Усилитель MS020812 предназначен для усиления и управления амплитудой непрерывных, импульсных и модулированных сигналов в диапазонах частот от 2 до 8 ГГц. Прибор построен на основе современных GaAs и GaN транзисторов, монолитных интегральных схем, обеспечивает высокое и равномерное усиление в широкой полосе частот, широкий динамический и температурный диапазоны, высокую выходную мощность. Исключительные технические параметры и высокая надежность обеспечены использованием современной тонкопленочной ГИС технологии, высоконадежными комплектующими ведущих мировых производителей, герметичной конструкцией. Прибор предназначен для различных промышленных применений: измерительная техника, системы связи и т.д.

Основные особенности:

- ▶ Мгновенная полоса 2 октавы
- ▶ Малые габариты и масса
- ▶ Цифровое 5-разрядное управление усилением (0,9дБ ± 27,9 дБ)
- ▶ Тонкопленочная ГИС и МИС технология
- ▶ Встроенный детектор выходной мощности
- ▶ Встроенный скоростной (300 нс) модулятор питания
- ▶ Температурная компенсация усиления
- ▶ Питание от одного источника питания +27В



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ при T=25°C, VDC =+27В, 50Ω

Параметры	Обозначение	Мин.	Макс.	Ед. изм.
Рабочий диапазон частот	ΔF	2	8	ГГц
Выходная мощность при $P_{из} = 1$ мВт в непрерывном режиме	P_{sat}	12		Вт
Коэффициент усиления в линейном режиме	G_{ss}	46	56	дБ
Неравномерность АЧХ	ΔG		5,0	дБ
Изменение усиления в диапазоне -55 ... +60°C	ΔG_t		± 1,5	дБ
КСВН входа и выхода	VSWR in/out		<2,5	
Напряжение питания	VDC	26,0	30,0	В
Ток потребления по цепи питания	I_{DD}		2,4	А

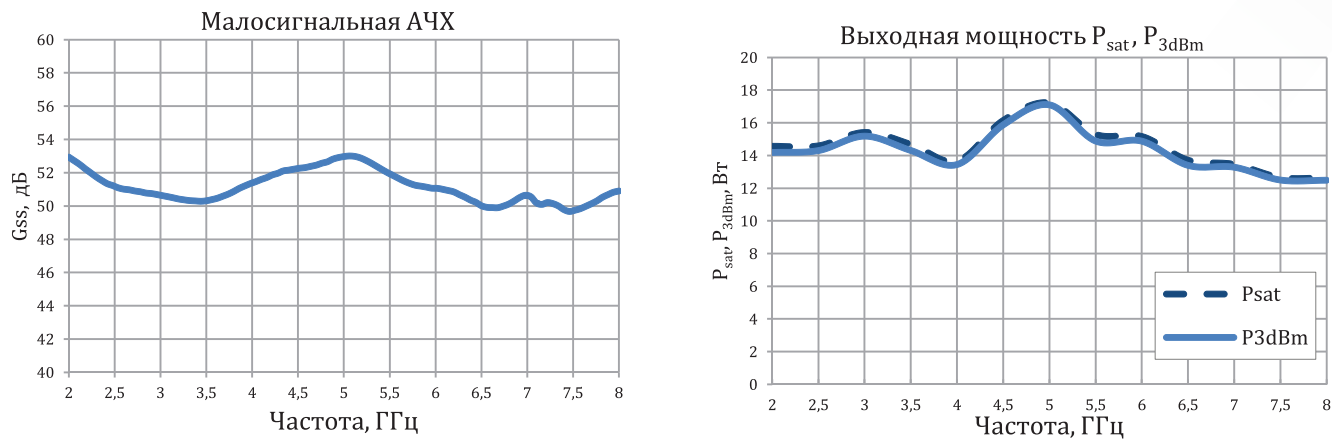
ПАРАМЕТРЫ КОНСТРУКЦИИ

Параметры	Значения
Габаритные размеры	121,9 x 66,9 x 23,2 мм
Масса	<0,32 кг
СВЧ соединители	SMA(f)
Вводы питания, модуляции, управления	Разъемы Harwin
Охлаждение	Внешний теплоотвод

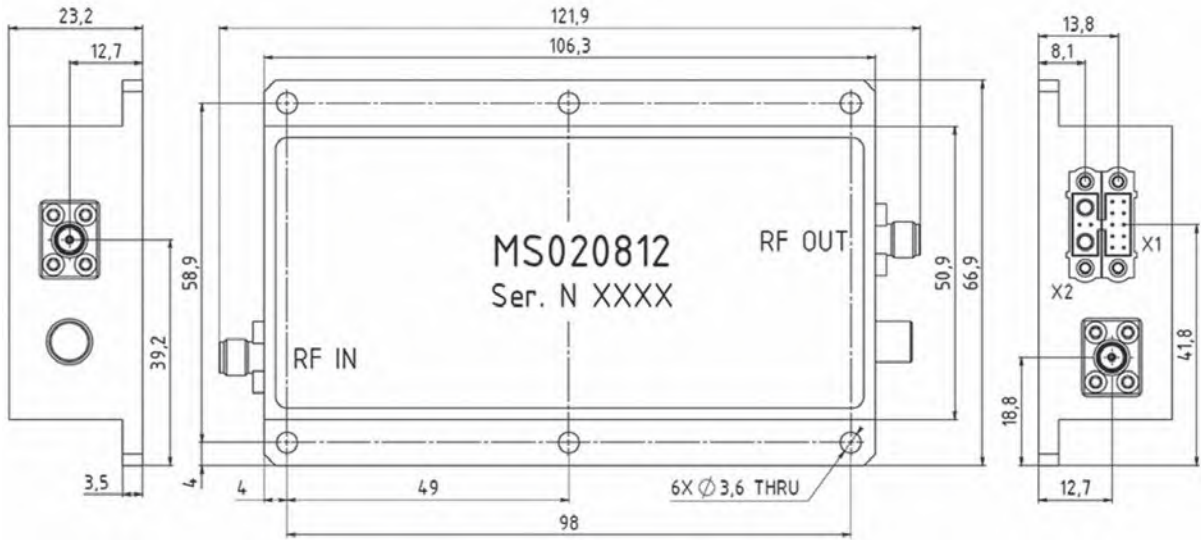
УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Параметры	Обозн.	Мин.	Макс.	Ед. изм.
Диапазон температур эксплуатации	Tc	-60	+75	°C
Диапазон температур транспортирования	Tstg	-60	+85	°C
Относительная влажность при T=40°C	RH	98		%

ТИПОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ T_о =+25°C



ГАБАРИТНЫЙ ЧЕРТЕЖ



Широкополосный СВЧ усилитель мощности MS061802 6 – 18 ГГц / 2 Ватт / 37 дБ

Усилитель MS061802 предназначен для усиления и управления амплитудой непрерывных, импульсных и модулированных сигналов в диапазоне частот от 6 до 18 ГГц. Модуль построен на основе современных GaAs-транзисторов, монолитных и гибридных интегральных схем, обеспечивающих высокое и равномерное усиление в широкой полосе частот, широкий динамический и температурный диапазоны, высокую выходную мощность. Исключительные технические параметры и высокая надежность обеспечены использованием современной тонкопленочной ГИС технологии и технологии пассивных ИС на арсениде галлия, высоконадежными комплектующими ведущих мировых производителей, герметичной конструкцией. Усилители предназначены для применения в измерительной технике, аппаратуре ЭМС-тестирования и т.д.

Основные особенности:

- ▶ Октавная мгновенная полоса
- ▶ Малые габариты и масса
- ▶ Цифровое 5-разрядное управление усилением (0,9 дБ ± 27,9 дБ)
- ▶ Тонкопленочная ГИС и МИС технология
- ▶ Встроенный детектор выходной мощности
- ▶ Встроенный скоростной (300 нс) модулятор питания
- ▶ Температурная компенсация усиления
- ▶ Питание от одного источника питания +9В



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ при T=25°C, VDC =+9В, 50Ω

Параметры	Обозначение	Мин.	Макс.	Ед. изм.
Рабочий диапазон частот	ΔF	6	18	ГГц
Выходная мощность насыщения	P_{sat}	2,0		Вт
Выходная мощность при компрессии 1 дБ	P_{1dB}	1,8		Вт
Коэффициент усиления в линейном режиме	G_{ss}	34	44	дБ
Неравномерность АЧХ	ΔG		5	дБ
Изменение усиления в диапазоне -55 ... +60°C	ΔG_t		±1,5	дБ
КСВН входа и выхода	VSWR in/out		<2,5	
Напряжение питания	VDC	8,6	10	В
Потребляемый ток	I_{DD}		2,5	А

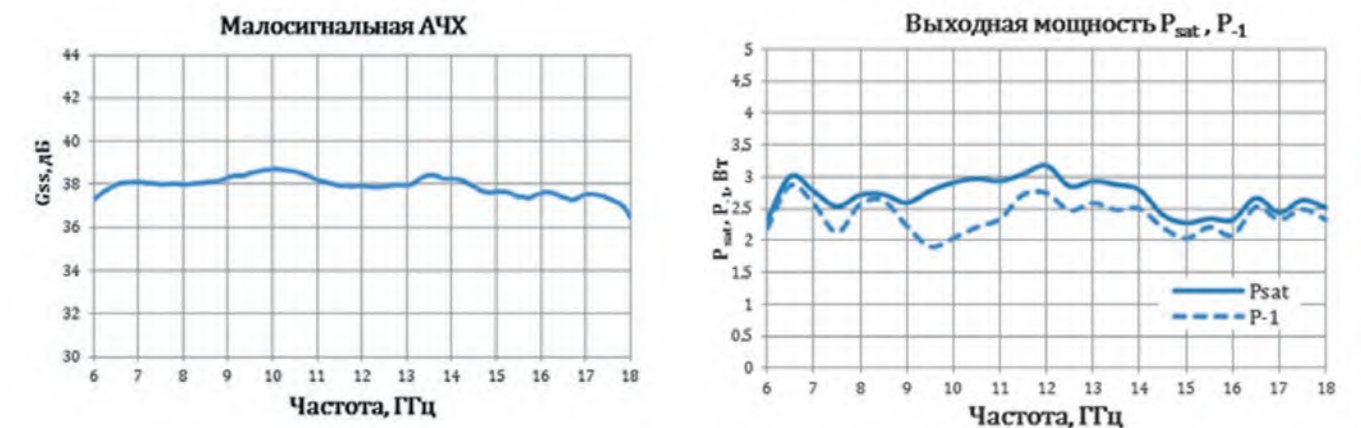
ПАРАМЕТРЫ КОНСТРУКЦИИ

Параметры	Значения
Габаритные размеры	101,8 x 54,7 x 23,1 мм
Масса	<0,18 кг
СВЧ соединители	SMA(f)
Вводы питания, модуляции, управления	Разъемы Harwin
Охлаждение	Внешний теплоотвод

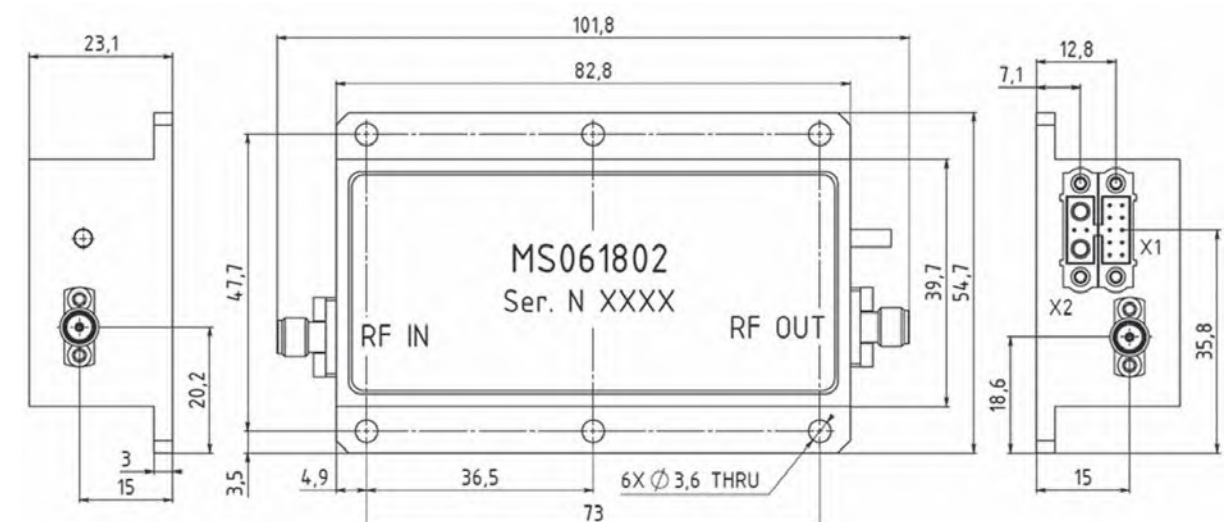
УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Параметры	Обозн.	Мин.	Макс.	Ед. изм.
Диапазон температур эксплуатации	Tc	-55	+60	°C
Диапазон температур транспортирования	Tstg	-55	+75	°C
Относительная влажность при T=40°C	RH	98		%

ТИПОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ T₀=+25°C



ГАБАРИТНЫЙ ЧЕРТЕЖ



Широкополосный СВЧ усилитель мощности MS061805 6 – 18 ГГц / 5 Ватт / 44 дБ

Усилитель MS061805 предназначен для усиления и управления амплитудой непрерывных, импульсных и модулированных сигналов в диапазонах частот от 6 до 18 ГГц. Прибор построен на основе современных GaAs транзисторов, монолитных интегральных схем, обеспечивает высокое и равномерное усиление в широкой полосе частот, широкий динамический и температурный диапазоны, высокую выходную мощность. Исключительные технические параметры и высокая надежность обеспечены использованием современной тонкопленочной ГИС технологии и технологии пассивных ИС на арсениде галлия, высоконадежными комплектующими ведущих мировых производителей, герметичной конструкцией. Усилитель спроектирован для различных промышленных применений: измерительная техника, системы связи и т.д.

Основные особенности:

- ▶ Мгновенная полоса более октавы
- ▶ Малые габариты и масса
- ▶ Цифровое 5-разрядное управление усилением ($0,9\text{ дБ} \pm 27,9\text{ дБ}$)
- ▶ Тонкопленочная ГИС и МИС технология
- ▶ Встроенный детектор выходной мощности
- ▶ Встроенный скоростной (300 нс) модулятор питания
- ▶ Температурная компенсация усиления
- ▶ Питание от одного источника питания +9В



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ при $T=25^\circ\text{C}$, $V_{DC}=+9\text{В}$, 50Ω

Параметры	Обозначение	Мин.	Макс.	Ед. изм.
Рабочий диапазон частот	ΔF	6	18	ГГц
Выходная мощность насыщения	P_{sat}	5,2		Вт
Выходная мощность при компрессии 2 дБ	P_{-2}	4,5	6,0	Вт
Коэффициент усиления в линейном режиме	G_{ss}	40	50	дБ
Неравномерность АЧХ	ΔG		5,0	дБ
Изменение усиления в диапазоне $-40 \dots +60^\circ\text{C}$	ΔG_t		5,0	дБ
КСВН входа и выхода	VSWR in/out		2,0/2,5	
Напряжение питания 1	VDC	8,6	10	В
Потребляемый ток @ P_{sat}	I_{DD}		6,0	А

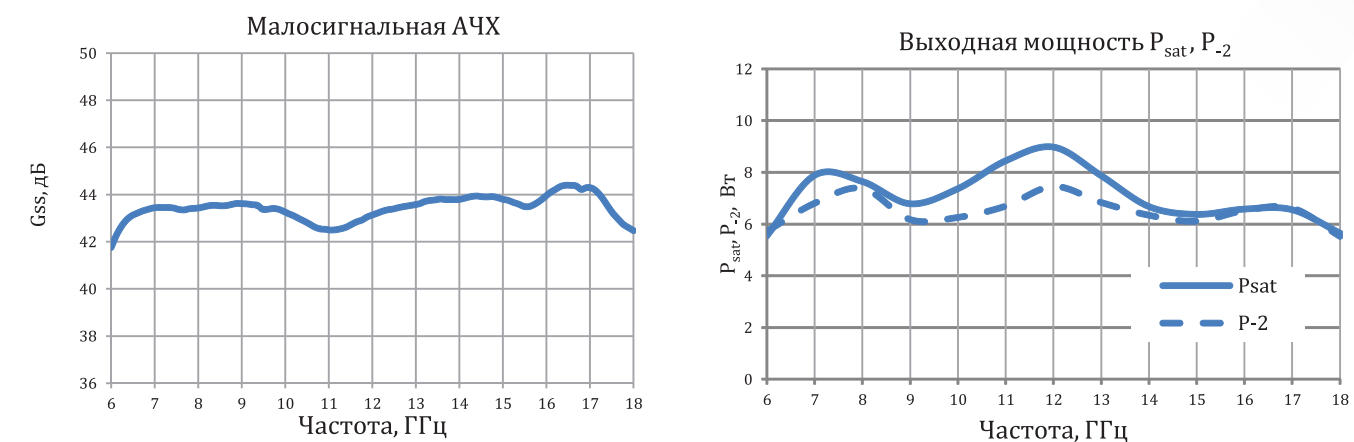
ПАРАМЕТРЫ КОНСТРУКЦИИ

Параметры	Значения
Габаритные размеры	128,9 x 51,6 x 23,1 мм
Масса	<0,25 кг
СВЧ соединители	SMA(f)
Входы питания, модуляции, управления	Разъемы Harwin
Охлаждение	Внешний теплоотвод

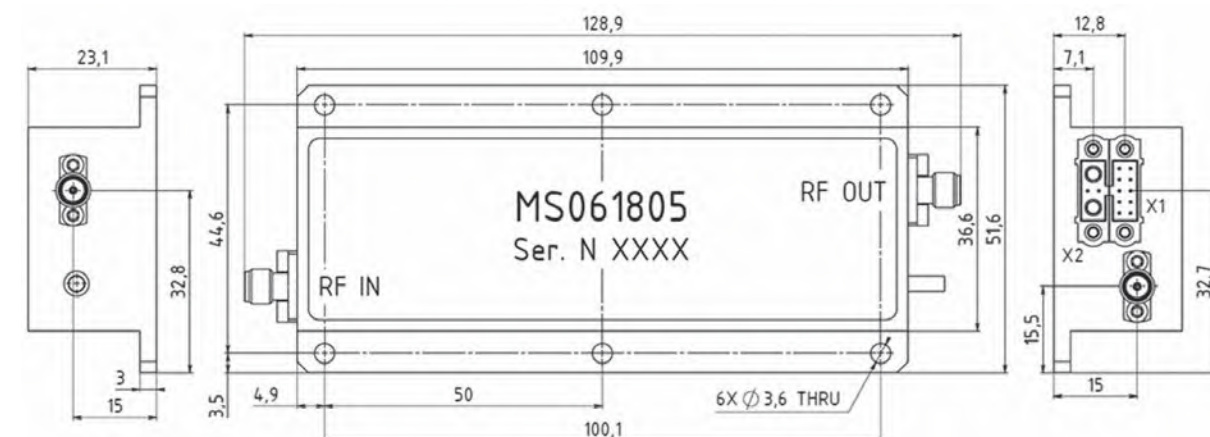
УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Параметры	Обозн.	Мин.	Макс.	Ед. изм.
Диапазон температур эксплуатации	T_c	-60	+75	$^\circ\text{C}$
Диапазон температур транспортирования	T_{stg}	-60	+85	$^\circ\text{C}$
Относительная влажность при $T=35^\circ\text{C}$	RH	98		%

ТИПОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ $T_0=+25^\circ\text{C}$



ГАБАРИТНЫЙ ЧЕРТЕЖ



MS061806 (new) Широкополосный СВЧ усилитель мощности / 6 – 18 ГГц / 8 Вт

MS061806 – широкополосный СВЧ усилитель мощности диапазона частот 6 – 18 ГГц с типовой выходной мощностью 8 Вт, коэффициентом усиления 49 дБ и неравномерностью коэффициента усиления ± 1.1 дБ. MS061806 построен на основе современной GaN технологии и обеспечивает высокую надежность и стабильность параметров. Герметичная конструкция обеспечивает работу в условиях воздействия различных ВВФ.

Основные особенности:

- ▶ Выходная мощность 8 Вт
- ▶ Малые габариты и масса
- ▶ Цифровое 5-разрядное управление усилением (1 дБ – 31 дБ)
- ▶ Встроенный детектор выходной мощности
- ▶ Встроенный скоростной модулятор питания (300 нс)
- ▶ Температурная компенсация усиления
- ▶ Высокая надежность и стойкость к ВВФ

Применение:

- ▶ Телекоммуникационные системы
- ▶ Измерительное оборудование
- ▶ Широкополосная радиотелеметрия
- ▶ Системы связи
- ▶ Волоконная оптика



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ при T=25°C, VDC=+27 В, $Z_s=Z_L=50$ Ом

Параметры	Обозн.	Мин.	Тип	Макс.	Ед. изм.
Рабочий диапазон частот	BW	6		18	ГГц
Выходная мощность при $P_{\text{н}} = 3$ dBm	$P_{3\text{dBm}}$	6	8	9	Вт
Коэффициент усиления в линейном режиме	G_{ss}	44	49	54	дБ
Неравномерность АЧХ	ΔG		± 1.1	± 2.5	дБ
КСВН вход / выход	VSWR In/Out		1.9 / 2.2	2.0 / 2.5	
Напряжение питания	VDC	26	27	30	В
Потребляемый ток@ Psat	I_{DD}			2.2	А

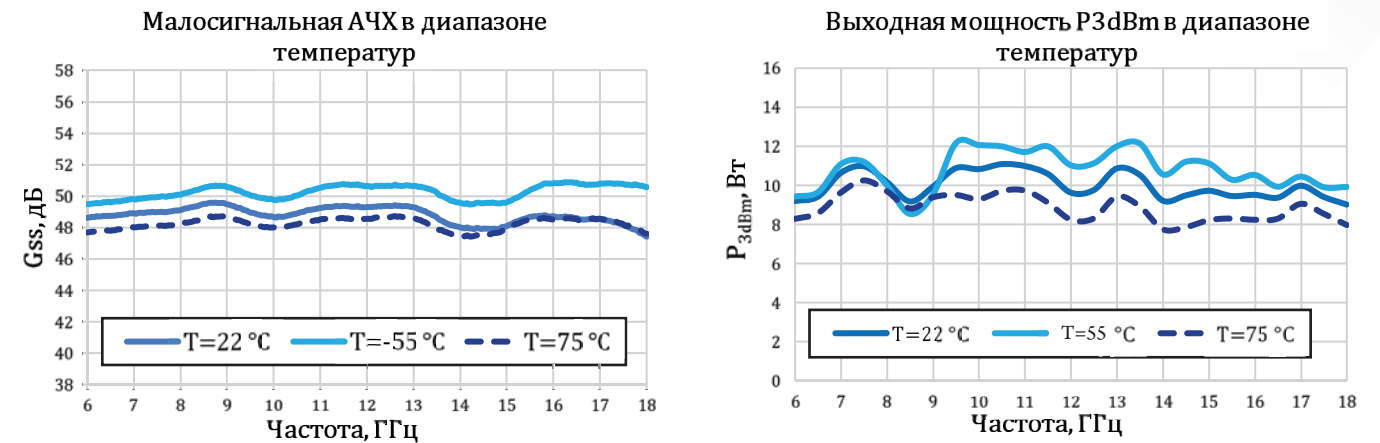
ПАРАМЕТРЫ КОНСТРУКЦИИ

Параметры	Значения	Ед. изм.	Огранич.
Габаритные размеры	98.2 x 52.2 x 22.5	мм	Макс.
Масса	0.17	кг	Макс.
СВЧ соединители	SMA (f)		
Входы питания, модуляции, управления	X1: Harwin M80-S101022		
	X2 : Harwin M80-5T10222M2-01-331-01-331		
Охлаждение	Внешний теплоотвод		

УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

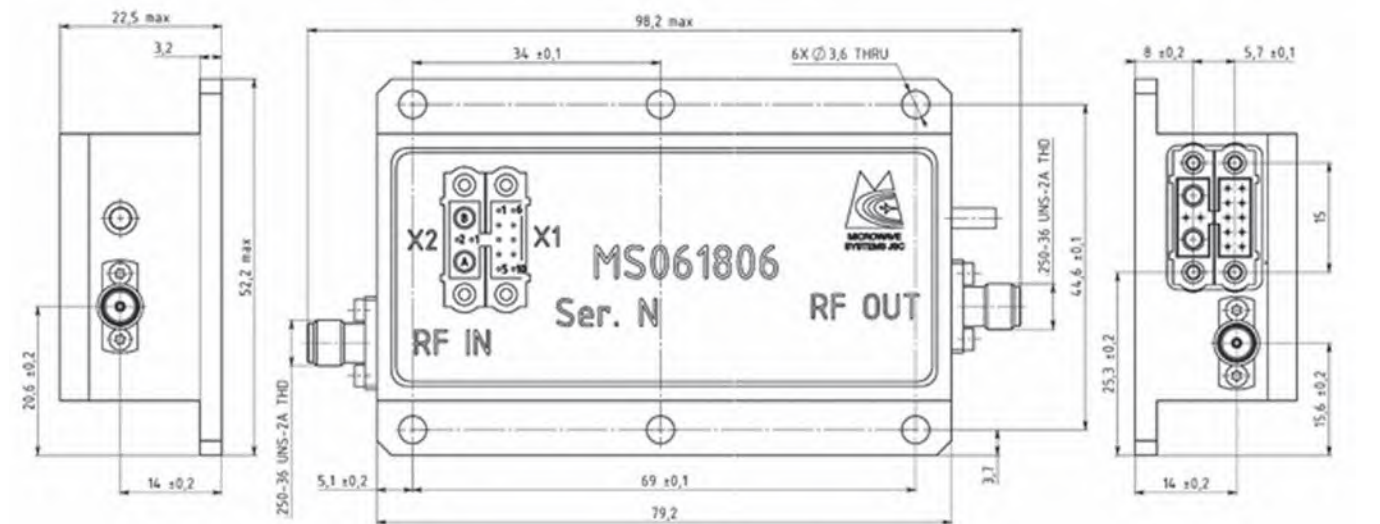
Параметры	Обозн.	Мин.	Тип.	Макс.	Ед. изм.
Температура эксплуатации	T_a	-55		+60	°C
Диапазон температур транспортирования	T_c	-55		+75	°C
Температура хранения	$T_{\text{стк}}$	-65		+85	°C
Относительная влажность	RH			98	%

ТИПОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ $T_o=+25^\circ\text{C}$, $Z_s=Z_L=50$ Ом



Соединитель	Номер вывода	Обозначение	Описание
X1 Harwin M80-S101022	1	16	Ввод управления разрядом аттенуатора 16 дБ
	2	8	Ввод управления разрядом аттенуатора 8 дБ
	3	4	Ввод управления разрядом аттенуатора 4 дБ
	4	2	Ввод управления разрядом аттенуатора 2 дБ
	5	1	Ввод управления разрядом аттенуатора 1 дБ
	6	DOUT	Выход детектора контроля выходной мощности
X2 Harwin M80-5T10222M2-01-331-01-331	7,10	G	Общий
	8	T	Датчик температуры @10мВ/°C
	9	Mod	Модуляция
	A	+27	Напряжение питания (+26... +30VDC)
	B	G(-27)	Общий
	1,2	N/C	Не используется

ГАБАРИТНЫЙ ЧЕРТЕЖ (Все размеры в миллиметрах)



Широкополосный СВЧ усилитель мощности MS061810 6 – 18 ГГц / 10-15 Ватт / 45 дБ

Усилитель MS061810 предназначен для усиления и управления амплитудой непрерывных, импульсных и модулированных сигналов в диапазонах частот от 6 до 18 ГГц. Прибор построен на основе современной GaAs и GaN технологии, обеспечивает высокое и равномерное усиление в широкой полосе частот, широкий динамический и температурный диапазоны, высокую выходную мощность. Исключительные технические параметры и высокая надежность обеспечены использованием современной тонкопленочной ГИС технологии, высоконадежными комплектующими ведущих мировых производителей, герметичной конструкцией. Прибор предназначен для различных промышленных применений: измерительная техника, системы связи и т.д.

Основные особенности:

- ▶ Мгновенная полоса 2 октавы
- ▶ Малые габариты и масса
- ▶ Цифровое 5-разрядное управление усилением (0,9дБ ± 27,9 дБ)
- ▶ Тонкопленочная ГИС и МИС технология
- ▶ Встроенный детектор выходной мощности
- ▶ Встроенный скоростной (300 нс) модулятор питания
- ▶ Температурная компенсация усиления
- ▶ Питание от одного источника питания +27В



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ при T=25°C, VDC =+27В, 50Ω

Параметры	Обозначение	Мин.	Макс.	Ед. изм.
Рабочий диапазон частот	ΔF	6	18	ГГц
Выходная мощность насыщения	P_{sat}	12	15	Вт
Выходная мощность при $P_{ax} = 3 \text{ dBm}$	P_{3dBm}	10	14	Вт
Коэффициент усиления в линейном режиме	G_{ss}	42	52	дБ
Неравномерность АЧХ	ΔG		4,0	дБ
Изменение усиления в диапазоне -55...+60°C	ΔG_t		3,0	дБ
КСВН входа и выхода	VSWR in/out		2,2/2,0	
Напряжение питания	VDC	26,0	30,0	В
Ток потребления по цепи питания @ P_{sat}	I_{DD}		3,5	А

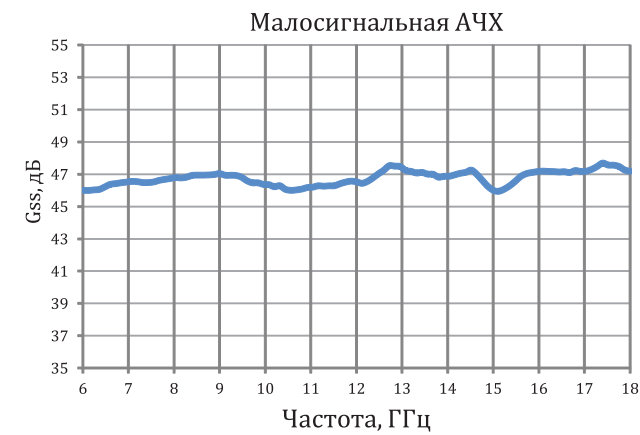
ПАРАМЕТРЫ КОНСТРУКЦИИ

Параметры	Значения
Габаритные размеры	118,9 x 77,6 x 22,1 мм
Масса	<0,35 кг
СВЧ соединители	SMA(f)
Вводы питания, модуляции, управления	Разъемы Harwin
Охлаждение	Внешний теплоотвод

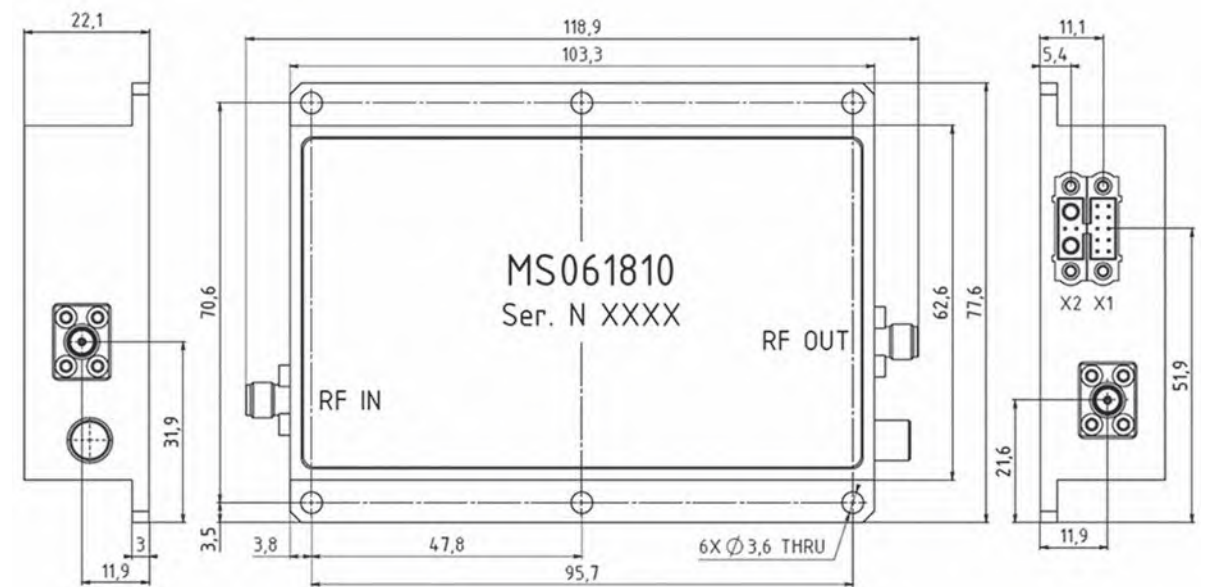
УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Параметры	Обозн.	Мин.	Макс.	Ед. изм.
Диапазон температур эксплуатации	Tc	-60	+60	°C
Диапазон температур транспортирования	Tstg	-60	+75	°C
Относительная влажность при T=35°C	RH	98		%

ТИПОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ T₀=+25°C



ГАБАРИТНЫЙ ЧЕРТЕЖ



МС0014 2,0 – 20,0 ГГц широкополосный GaAs MMIC усилитель мощности

Основные характеристики:

- Полоса рабочих частот: от 2 до 20 ГГц
- Выходная мощность: $P_{1\text{dB}}$ = 23 дБм
- Коэффициент усиления: K_y = 11 дБ
- Напряжение питания: V_{dd} = 8 В
- Размеры кристалла: 2,34 x 1,16 x 0,1 мм³

Общее описание:

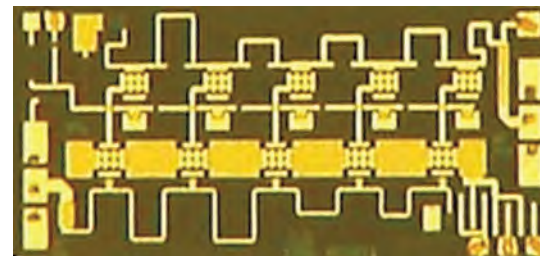
Модуль МС0014 – широкополосный GaAs усилитель средней мощности с коэффициентом усиления 11 дБ и однополярным питанием

Исполнение:

Модуль СВЧ бескорпусной (кристалл)

Обозначение модулей при заказе:

Модуль МС0014 – МКШУ.460871.044 ТУ

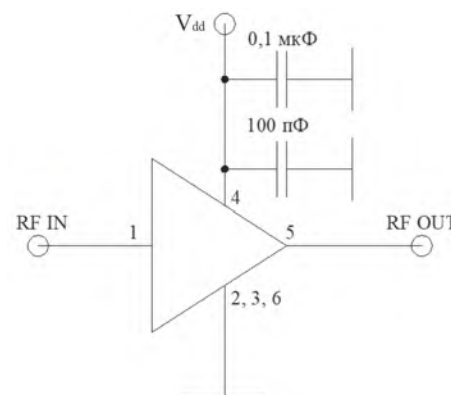


ОСНОВНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ($V_{dd} = 8 \text{ В}$, $I_{dq} = 270 \text{ мА}$, $T = 25^\circ\text{C}$)

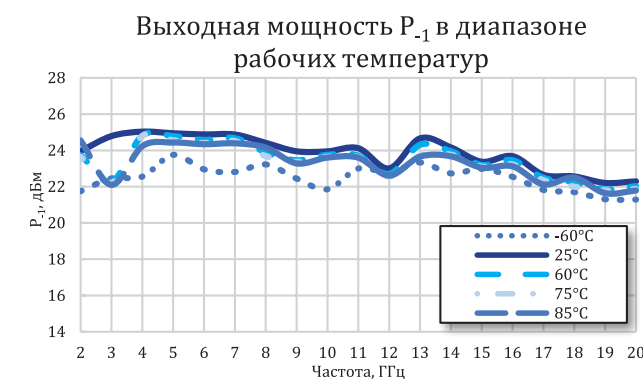
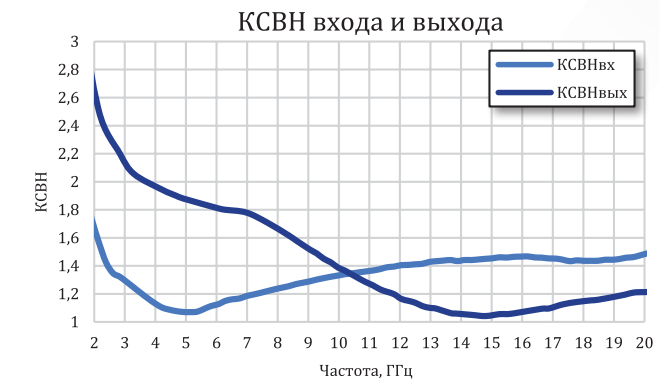
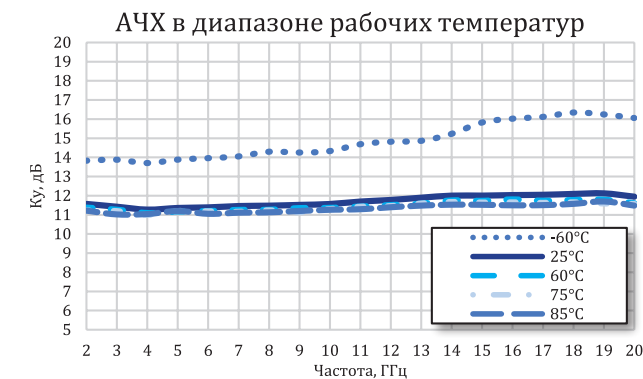
Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Значение		Примечание
			Не менее	Не более	
Диапазон рабочих частот	ΔF	ГГц	2	20	
КСВН вход / выход	КСВН	–	1,7 / 2,8	–	
Коэффициент усиления в линейном режиме	K_y	дБ	10	13	
Выходная мощность $P_{1\text{dB}}$	$P_{1\text{dB}}$	дБм	23	–	$F=2 \text{ ГГц}$
			23	–	$F=10 \text{ ГГц}$
			21	–	$F=20 \text{ ГГц}$

ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ ПАРАМЕТРЫ

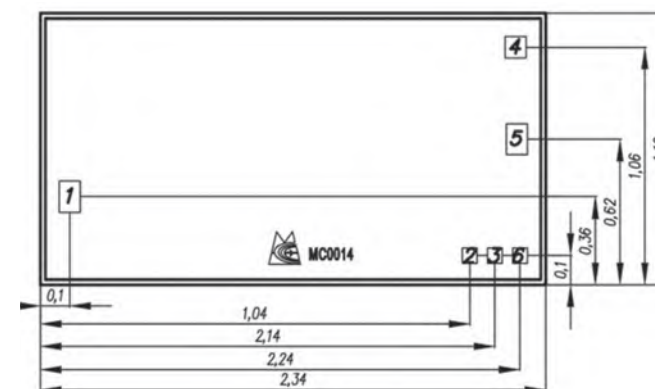
Наименование параметра	Обозначение	Значение
Напряжение питания	V_{dd}	+9 В
Максимальная входная мощность	$P_{\text{вх, макс}}$	+20 дБм
Диапазон рабочих температур	$T_{\text{раб}}$	-60... 85°C
Температура канала	$T_{\text{кан}}$	175°C
Температура хранения	$T_{\text{хран}}$	-65... 150°C



ТИПОВЫЕ ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ $V_{dd} = 8 \text{ В}$, $I_{dq} = 270 \text{ мА}$



ГАБАРИТНЫЕ И ПРИСОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ РАЗМЕРЫ



- Все размеры указаны в миллиметрах.
- Размеры контактных площадок:
 - «RF_{in}», «RF_{out}» – 0.14 × 0.1 мм²
 - «V_{dd}» – 0.1 × 0.1 мм²
 - «R1», «R2», «R3» – 0.07 × 0.07 мм²
- Обратная сторона – земля.
- Покрывание контактных площадок и обратной стороны – золото

СОЕДИНЕНИЯ ВЫВОДОВ «R1», «R2», «R3»

$U_{DD} = 8 \text{ В}$			
2	3	6	I_{dq} , мА
0	0	0	100
0	1	0	150
1	0	0	175
0	1	1	230
1	1	0	270
1	1	1	320

СОЕДИНЕНИЯ ВЫВОДОВ «R1», «R2», «R3»

Вывод	Наименование	Назначение
1	RF _{in}	Вход СВЧ сигнала
2	R1	Резистор 3.3 Ом
3	R2	Резистор 2.1 Ом
4	V _{dd}	Питание
5	RF _{out}	Выход СВЧ сигнала
6	R3	Резистор 1.2 Ом

MC120-2 5.0 – 18.0 ГГц широкополосный GaAs MMIC усилитель мощности

Основные характеристики:

- Полоса рабочих частот: от 5 до 18 ГГц
- Выходная мощность: $P_{1\text{dB}}$ = 30 дБм
- Коэффициент усиления: K_u = 10 дБ
- Напряжение питания/смещения:
 V_{dd} = 8 В; V_G = от -6 до -4 В
- Размеры кристалла: 3.68 x 3.16 x 0.1 мм³

Общее описание:

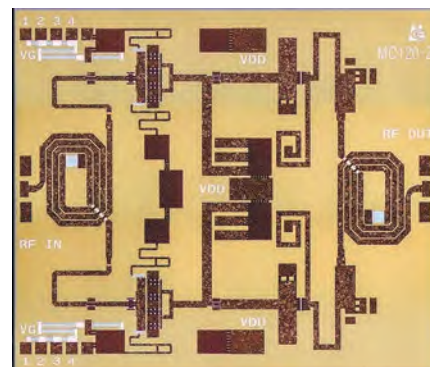
Модуль MC120-2 – широкополосный GaAs баланс-ный усилитель мощности с коэффициентом усиления 10 дБ и выходной мощностью 1 Вт

Исполнение:

Модуль СВЧ бескорпусной (кристалл)

Обозначение модулей при заказе:

Модуль MC120-2 – МКШУ.460871.044 ТУ

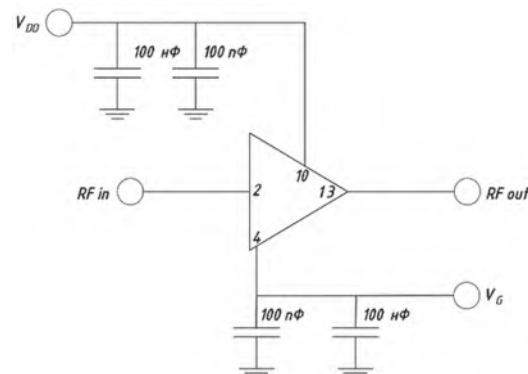


ОСНОВНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ (V_{DD} = 8 В, I_{DQ} = 485 мА, T = 25°C)

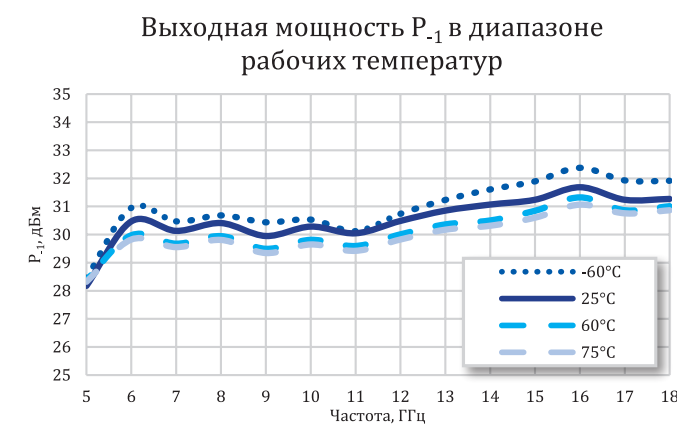
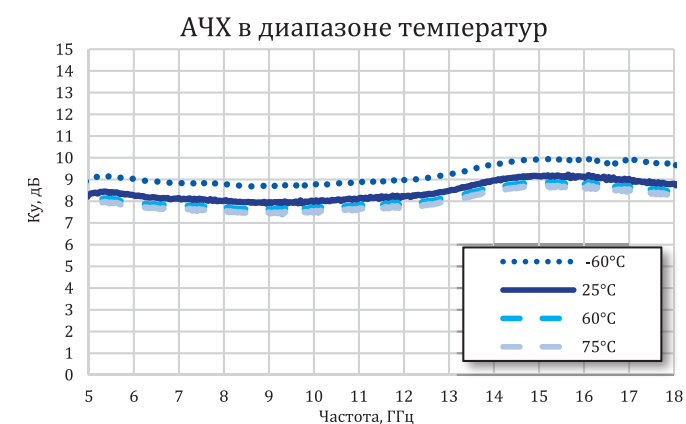
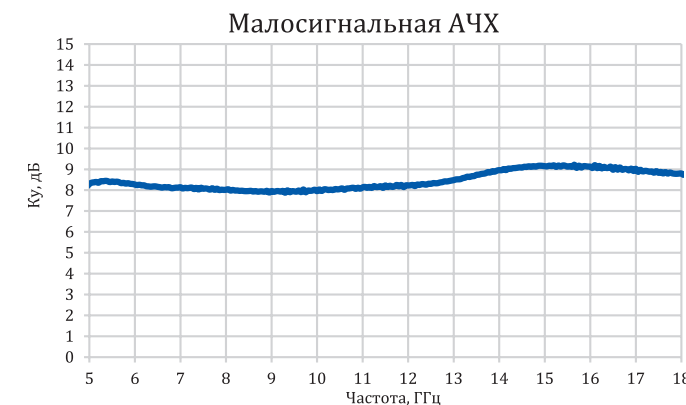
Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Значение		Примечание
			Не менее	Не более	
Диапазон рабочих частот	ΔF	ГГц	5	18	
КСВН вход / выхода	КСВН	–	–	1.7 / 1.4	
Коэффициент усиления в линейном режиме	K_u	дБ	8	12	
Выходная мощность $P_{1\text{dB}}$	$P_{1\text{dB}}$	дБм	28	–	$F=5$ ГГц
			29.5	–	$F=10$ ГГц
			31	–	$F=18$ ГГц

ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ ПАРАМЕТРЫ

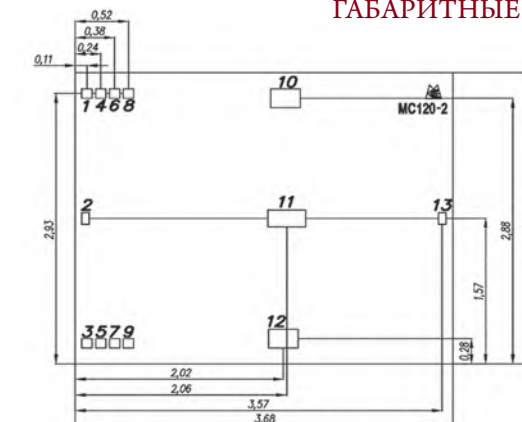
Наименование параметра	Обозначение	Значение
Напряжение питания стока	V_{dd}	+8.5 В
Напряжение смещения на затворе	V_G	минус 6 В
Максимальная входная мощность	$P_{вх. макс}$	+28 дБм
Диапазон рабочих температур	$T_{раб}$	-60...85°C
Температура канала	$T_{кан}$	175°C
Температура хранения	$T_{хран}$	-65...150°C



ТИПОВЫЕ ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ (V_{DD} = 8 В, V_G = -0.6 В, I_{DQ} = 485 мА)



ГАБАРИТНЫЕ И ПРИСОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ РАЗМЕРЫ



- Все размеры указаны в миллиметрах.
- Размеры контактных площадок:
 - $\ll RF_{in} \gg, \ll RF_{out} \gg$ – 0.07×0.13 мм²
 - $\ll V_{dd} \gg$ – 0.28×0.2 мм²
 - $\ll V_G \gg$ – 0.096×0.096 мм²
- Обратная сторона – земля.
- Покрывание контактных площадок и обратной стороны – золото

РЕЖИМЫ РАБОТЫ (V_{DD} = 8 В, V_G = -5 В)

IDQ, мА	
485	VG1
435	VG2
380	VG3
330	VG4

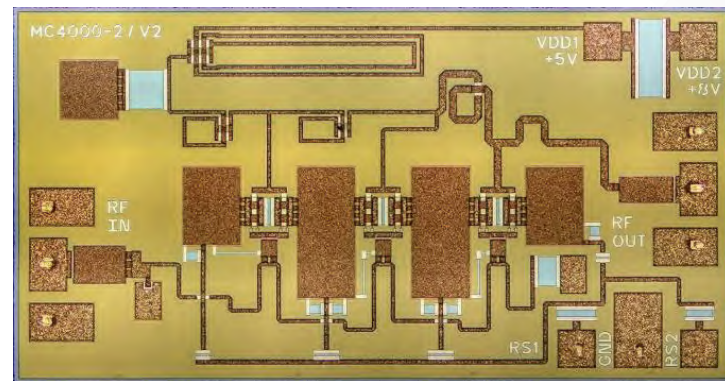
НАЗНАЧЕНИЯ ВЫВОДОВ

Вывод	Наименование	Назначение
1,4,6,8 (3,5,7,9)	VG1, VG2, VG3, VG4	Напряжение смещения на затворе
2	RF in	Вход СВЧ сигнала
10 (12), 11	VDD	Напряжение питания стока
13	RF out	Выход СВЧ сигнала

МС4000-2 2.0 – 18.0 Широкополосный GaAs усилитель мощности

Основные характеристики:

- ▶ **Полоса рабочих частот:**
от 2 до 18 ГГц
- ▶ **Выходная мощность:**
 $P_{-1} = 21$ дБм
 $P_{\text{МАКС}} = 23,5$ дБм
- ▶ **Коэффициент усиления:**
 $K_y = 9,5$ дБ
- ▶ **Напряжение питания:**
 $V_{dd} = 5$ В / 8 В
- ▶ **Размеры кристалла:**
 $1,89 \times 1 \times 0,1$ мм³



Общее описание:

МС4000-2 – широкополосный GaAs усилитель мощности с коэффициентом усиления 9 дБ и однополярным питанием. Изделие выполнено на основе GaAs рНЕМТ процесса с топологической нормой 0.15 мкм. Защитное покрытие – нитрид кремния.

Обозначение модулей при заказе:

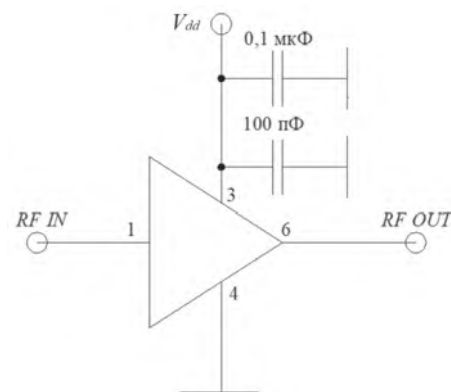
Модуль МС4000 -2

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ($V_{dd} = 5$ В, $I_{dq} = 120$ мА, $T = 25^\circ\text{C}$)

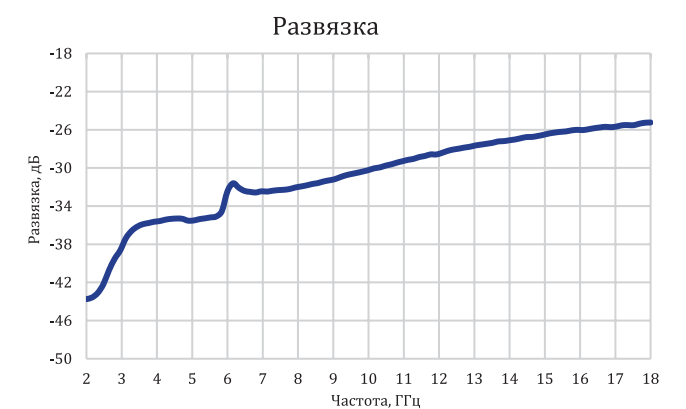
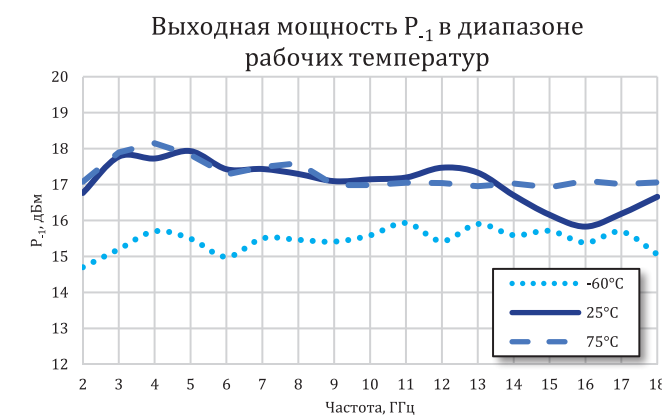
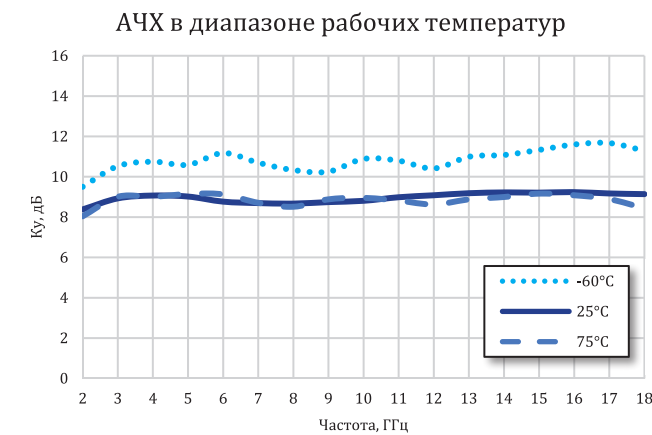
Символ	Параметр	Мин.	Тип.	Макс.	Ед.
ΔF	Рабочий диапазон частот		2 – 18		ГГц
K_y	Коэффициент усиления в линейном режиме	9	10		дБ
$P_{-1\text{дБ}}$	Выходная мощность при компрессии КУ 1 дБ		21		дБм
$P_{\text{макс}}$	Максимальная выходная мощность		23,5		дБм

ПРЕДЕЛЬНО-ДОПУСТИМЫЕ РЕЖИМЫ

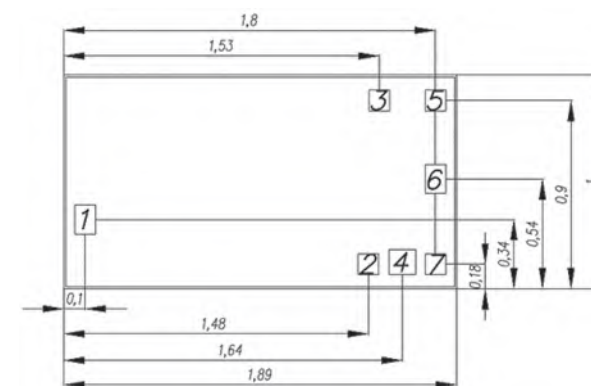
Наименование параметра	Значение
Напряжение питания	+9 В
Напряжение управления	0 ... +5.5 В
Входная мощность	100 мВт
Рабочая температура	-40 ... +85 °С
Температура канала	175 °С
Температура хранения	-55 ... +125 °С



ТИПОВЫЕ ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ($V_{dd}=5$ В, $I_{dq}= 120$ мА, RS1 – замкнут, RS2 – разомкнут)



РАСПОЛОЖЕНИЕ ВЫВОДОВ



- Все размеры указаны в миллиметрах.
- Размеры контактных площадок:
 - «RF_{in}», «RF_{out}» – 0.14 × 0.1 мм²
 - «V_{dd1}», «V_{dd2}», «RS1», «RS2» – 0.1 × 0.1 мм²
 - «GND» – 0.12 × 0.13 мм²
- Обратная сторона – земля
- Покрытие контактных площадок и обратной стороны – золото

НАЗНАЧЕНИЕ КОНТАКТНЫХ ПЛОЩАДОК

№	Обознач.	V [В]	Описание
1	RFIN	–	Вход СВЧ сигнала
2	RS1	–	Резистор 10,5 Ом
3	VDD1	+ 5	Питание +5 В
4	GND	–	Общий
5	VDD2	+ 8	Питание +8 В
6	RFOUT	–	Выход СВЧ сигнала
7	RS2	–	Резистор 14,5 Ом

МС3058-2 2,0 – 20,0 ГГц широкополосный GaAs усилитель мощности

Основные характеристики:

- Полоса рабочих частот: от 2 до 20 ГГц
- Коэффициент усиления: $K_y = 15$ дБ
- Выходная мощность P_{-1dB} : $P_{-1} = 16$ дБм
- Коэффициент шума КШ: $KШ \leq 5,4$ дБ
- Напряжение питания: $V_{dd} = 5$ В
- Размеры кристалла: $3,14 \times 1,55 \times 0,1$ мм³

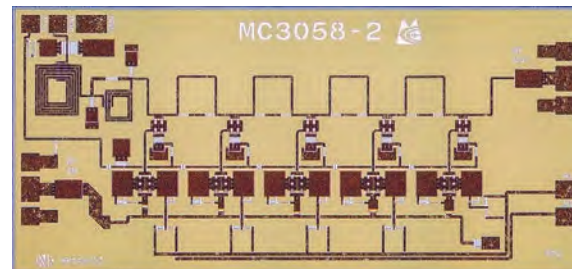
Общее описание:

МС3058-2 широкополосный GaAs усилитель мощности с коэффициентом усиления 14 дБ, положительным наклоном АЧХ и однополярным питанием.

Исполнение:

Модуль СВЧ бескорпусной (кристалл)

Обозначение модулей при заказе:
Модуль МС3058-2 – МКШУ.460871.044 ТУ

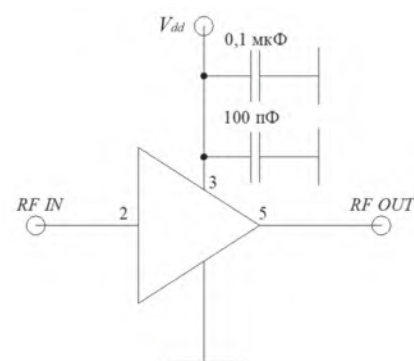


ОСНОВНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ($V_{dd} = 5$ В, $I_{dq} = 95$ мА, $T = 25^\circ\text{C}$)

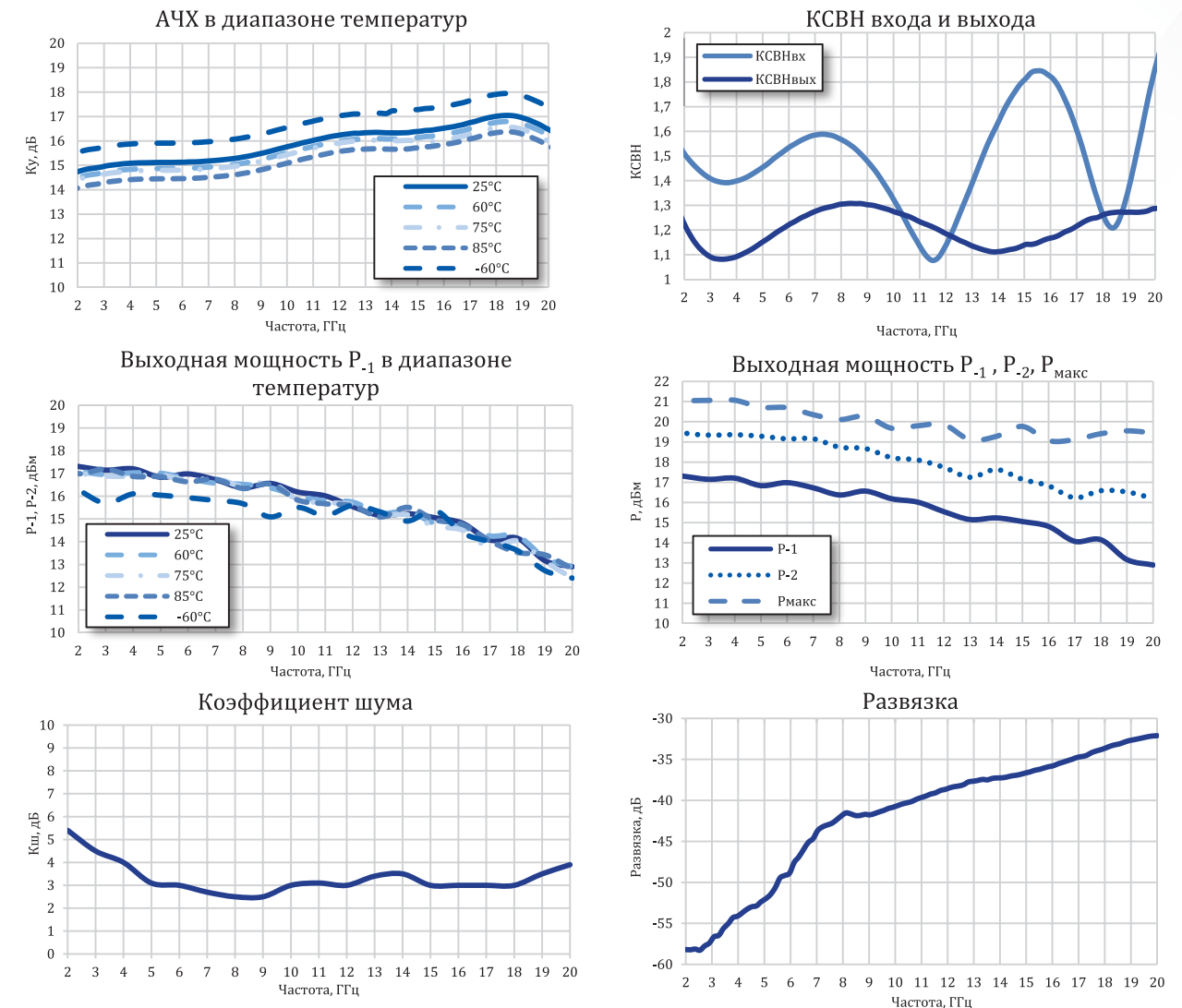
Наименование параметра	Обозначение	Единицы измерения	Значение		Примечание
			Не менее	Не более	
Диапазон рабочих частот	ΔF	ГГц	2	20	
КСВН вход / выход	КСВН	–	–	1,5 / 1,85	
Коэффициент усиления в линейном режиме	K_y	дБ	14	17	
Выходная мощность P-1	P_{-1}	дБм	17	–	$F = 2$ ГГц
			16	–	$F = 10$ ГГц
			13	–	$F = 20$ ГГц
Коэффициент шума	$K_{ш}$	дБ	–	5,4	$F = 2$ ГГц
			–	3	$F = 10$ ГГц
			–	3,9	$F = 20$ ГГц

ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ ПАРАМЕТРЫ

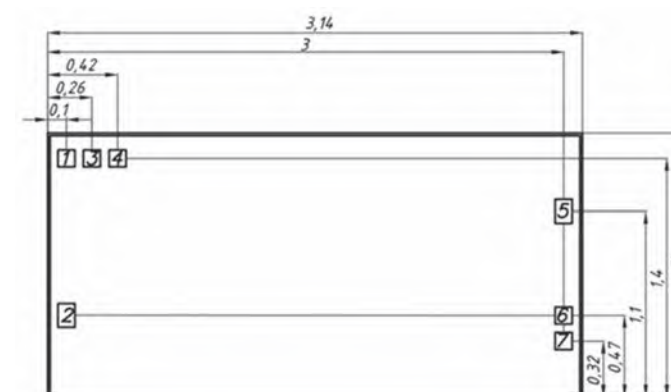
Наименование параметра	Обозначение	Значение
Напряжение питания	V_{dd}	+9 В
Максимальная входная мощность	$P_{вх}$	+20 дБм
Диапазон рабочих температур	$T_{раб}$	-60... 85°C
Температура канала	$T_{кан}$	175°C
Температура хранения	$T_{хран}$	-65... 150°C



ТИПОВЫЕ ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ($V_{dd} = 5$ В, V_g – не подключено, R1, R2 – не подключены, $I_{dq} = 95$ мА)



РАСПОЛОЖЕНИЕ ВЫВОДОВ МС3058-2



- Все размеры указаны в миллиметрах.
- Размеры контактных площадок:
 - «RF_{in}», «RF_{out}» – $0,14 \times 0,1$ мм²
 - «V_g», «V_{dd}», «GND» – $0,1 \times 0,1$ мм²
 - «R1», «R2» – $0,1 \times 0,1$ мм²

НАЗНАЧЕНИЯ ВЫВОДОВ МС3058-2

Вывод	Наименование	Назначение
1	V_g	Дополнительное внешнее напряжение смещения
2	RF _{in}	Вход СВЧ сигнала
3	V_d	Питание +5 В
4	GND	Электрически связанная с обратной стороной земля МИС
5	RF _{out}	Выход СВЧ сигнала
6	R ₁	Резистор R ₁ 50 Ом
7	R ₂	Резистор R ₂ 50 Ом

- Обратная сторона – земля.
- Покрываете контактных площадок и обратной стороны – золото

MSD109V 5.0 – 10.0 ГГц однобитный 20 дБ GaAs PIN-диодный аттенюатор

Основные характеристики:

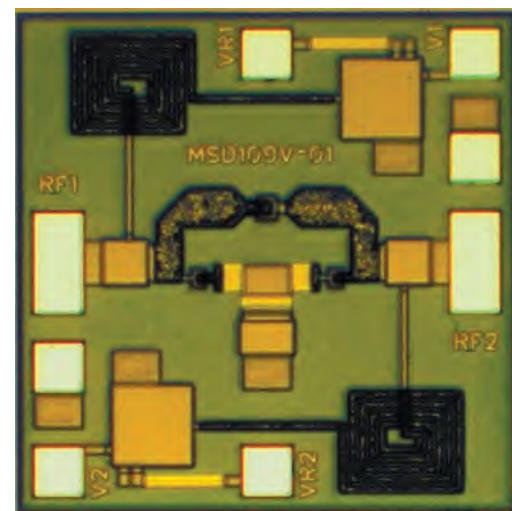
- ▶ Полоса рабочих частот: от 5,0 до 10,0 ГГц
- ▶ Начальные потери $L_{нач}$: $L_{нач} \leq 1,1$ дБ
- ▶ Вносимое ослабление $L_{атт}$: $L_{атт} = 20,0$ дБ
- ▶ Входная мощность $P_{-1дБ}$: $P_{-1дБ} = 20$ дБм
- ▶ Уровень сигналов ТТА: $U_{УТР} = 0/3,3$ В
- ▶ Размеры кристалла: $1,0 \times 1,0 \times 0,1$ мм₃

Общее описание:

Модуль MSD109V – однобитный 20-децибелльный GaAs p-i-n-диодный аттенюатор с вносимыми потерями 1,1 дБ и TTL-управлением

Исполнение:

Модуль СВЧ бескорпусной (кристалл)

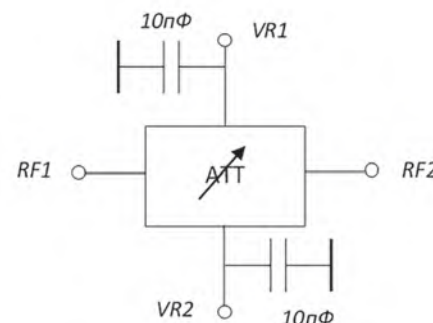


ОСНОВНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ (T=25°C)

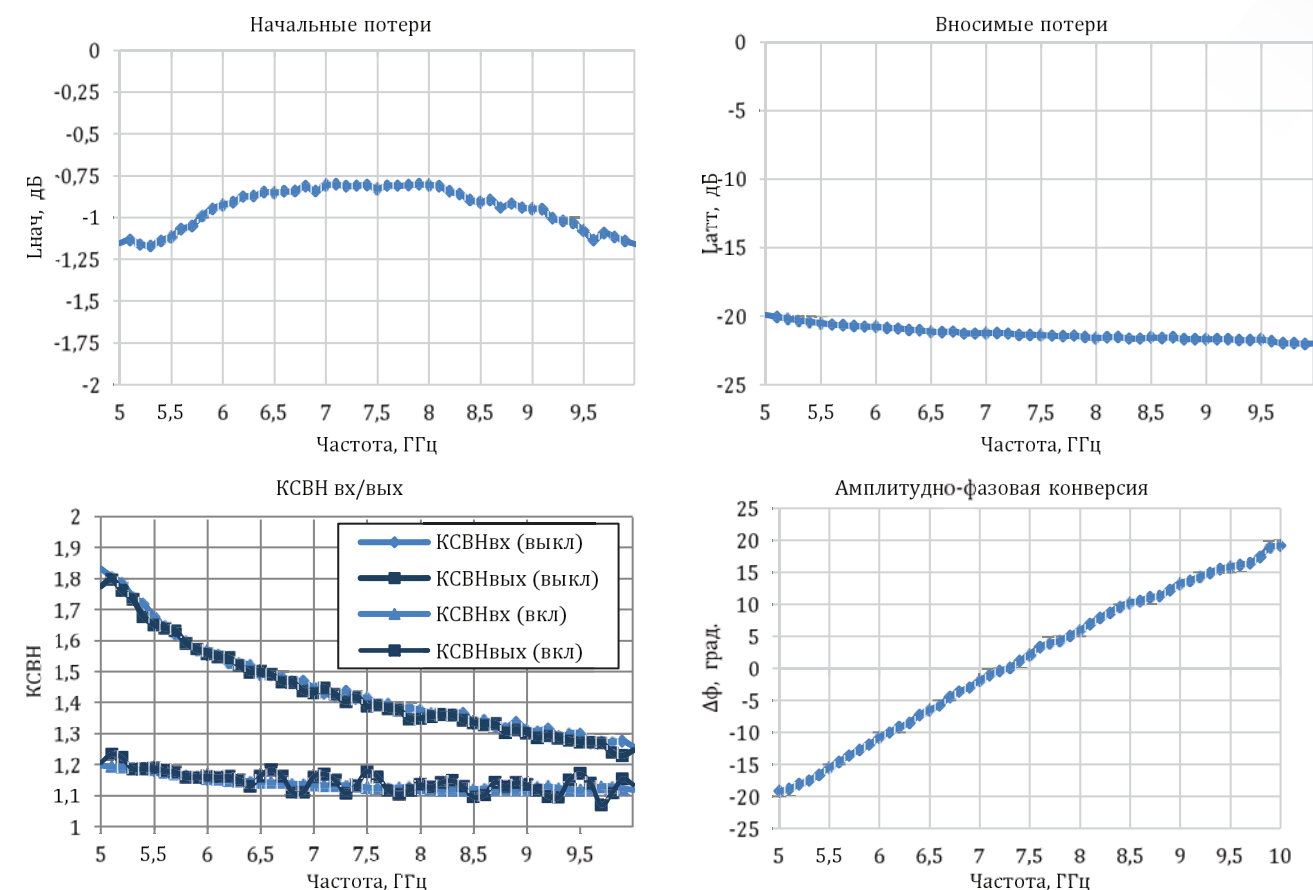
Наименование параметра	Обозначение	Единицы измерения	Значение		Примечание
			Не менее	Не более	
Диапазон рабочих частот	ΔF	ГГц	5	10	
Начальные потери	$L_{нач}$	дБ	–	1,1	
Вносимое ослабление	$L_{атт}$	дБ	–	20,0	
Входная мощность P-1дБ	P_{-1}	дБм	20	–	
КСВН вход / выход	КСВН	–	–	1,8 / 1,8	
Ошибка вносимого ослабления	$L_{атт}$	дБ	минус 0,8	0,8	
Паразитная амплитудно-фазовая конверсия	$\Delta \Phi$	град	минус 20	20	

ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ ПАРАМЕТРЫ

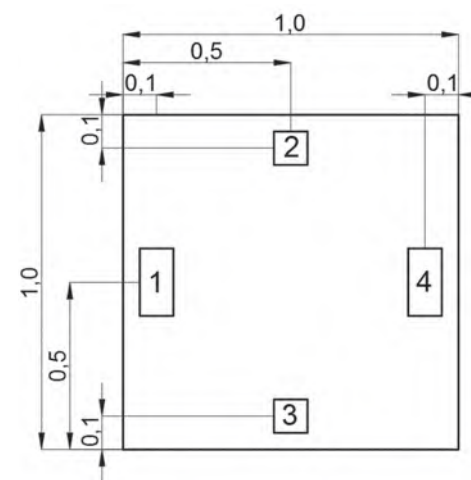
Наименование параметра	Обозначение	Значение
Максимальная входная мощность	$P_{вх.макс}$	+27 дБм
Диапазон рабочих температур	Траб	-60 ... 85°C
Температура хранения	Тхран	-65 ... 150°C



ТИПОВЫЕ ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ



ГАБАРИТНЫЕ И ПРИСОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ РАЗМЕРЫ



- Все размеры указаны в миллиметрах.
- Размеры контактных площадок:
□ «RF1», «RF2» – $0,2 \times 0,1$ мм²
□ «VR1», «VR2» – $0,1 \times 0,1$ мм²
- Обратная сторона – земля.
- Покрытие контактных площадок и обратной стороны – золото

УПРАВЛЕНИЕ СОСТОЯНИЕМ

VR1 [В]	VR2	Состояние
0 ... 0,4	3,0 ... 5,0	$L_{нач}$
3,0 ... 5,0	0 ... 0,4	$L_{атт}$

НАЗНАЧЕНИЕ ВЫВОДОВ

Вывод	Наименование	Назначение
1	RF1	Вход/Выход СВЧ сигнала
2	VR1	Управление состоянием
3	VR2	Управление состоянием
4	RF2	Вход/Выход СВЧ сигнала

СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫЙ ТРАНЗИСТОРНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ДИАПАЗОНА 6-18 ГГц С ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТЬЮ 6 Вт

Радченко А.В. \ar@mwsystems.ru\

Опубликовано в материалах 20 Крымской конференции

«СВЧ техника и телекоммуникационные технологии», Севастополь, Вебер, 2011 г.

Аннотация – В докладе изложены результаты разработки и экспериментального исследования сверхширокополосного транзисторного усилителя диапазона 6-18 ГГц с выходной мощностью в непрерывном режиме более 6 Вт. Приведены экспериментальные характеристики изготовленных образцов усилителей с различными транзисторами, рассматриваются особенности их построения, конструкция и технология сборки.

I. Введение

В данном докладе рассматривается сверхширокополосный транзисторный усилитель диапазона частот 6-18 ГГц и выходной мощностью в линейном режиме более 6 Вт. Усилитель обладает уникальными характеристиками и не имеет аналогов в отечественном производстве. Главной проблемой при разработке усилителя стало создание мощного выходного каскада шириной менее 28 мм для возможности его размещения в корпусе усилителя шириной 35 мм.

Выходные усилительные ячейки, как и в [1], выполнены по квазимонолитной технологии [2]. В докладе приведены результаты измерений характеристик усилителей с коммерческидоступными транзисторами фирмы Excelics, а также с транзисторами собственной разработки.

Особенностями разработанного усилителя являются: цифровое 5-разрядное управление, температурная компенсация усиления, детектор выходной мощности, скоростной модулятор питания (100 нс), встроенный датчик температуры и входной ограничитель мощности.

II. Основная часть

Для получения выходной мощности более 6 Вт в диапазоне 6-18 ГГц был спроектирован выходной усилительный каскад (рис. 1), построенный по схеме суммирования трех балансных усилителей с предварительными каскадами, обеспечивающих мощность не менее 2,2 Вт в линейном режиме.

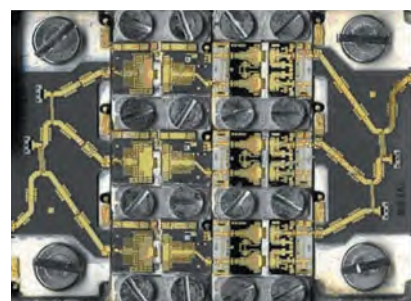


Рис. 1. Выходной усилительный каскад.

Fig. 1. Output amplifier chain

Для суммирования мощности использовался специально разработанный трехканальный цепочечный сумматор/делитель мощности на мостах Ланге, фазовый сдвиг у которого между плечами подобран таким образом, чтобы максимально компенсировать отраженные сигналы и в середине диапазона соответствующий 60 градусам.

В балансных схемах использовались квадратурные мосты Ланге выполненные на отдельных подложках из поликора толщиной 250 мкм, ширина зазора 12 мкм и толщиной металлизации 5 мкм. Для упрощения монтажа мосты изготовлены с интегральными перемычками [3] с расположенным под ними диэлектриком-полиимидом, обеспечивающим эффективную защиту от замыкания и механических воздействий (рис. 2).

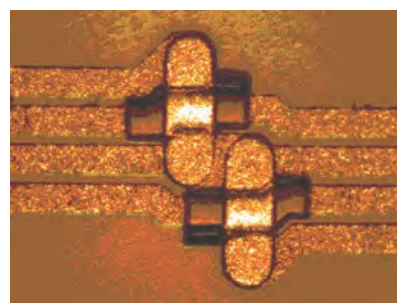


Рис. 2. Интегральные перемычки мостов Ланге с защитным диэлектриком.

Fig. 2. Integral interconnects of Lange coupler with protective isolator

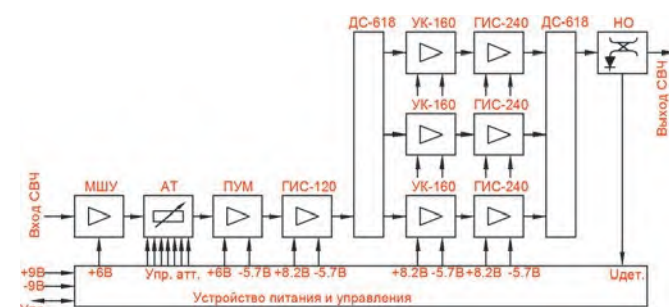


Рис. 3 Структурная схема усилителя.

Fig. 3. Block diagram of the amplifier

На рис. 3 показана структурная схема разработанного усилителя, включающая в себя:

- ▶ входной малошумящий усилительный каскад (МШУ);
- ▶ балансный электрически управляемый аттенуатор на р-и-п диодах для плавной компенсации температурного дрейфа коэффициента усиления в диапазоне температур от -60 до +75°C и цифровой 5-разрядный аттенуатор (АТ);
- ▶ предварительный усилитель мощности, корректор АЧХ и ФЧХ усилительного тракта (ПУМ);
- ▶ предварительный усилительный каскад (ГИС-120), построенный по квазимонолитной технологии с использованием GaAs р-HEMT транзисторов с затвором 0,3 x 1200 мкм, обеспечивающий выходную мощность в линейном режиме не менее 1 Вт и усиление около 7-8 дБ;
- ▶ трехканальный цепочечный сумматор/делитель мощности на мостах Ланге (ДС-618) с минимальным зазором между проводниками 13 мкм;
- ▶ предвыходной усилительный каскад (УК-160) реализованный по гибридной технологии с использованием одного GaAs р-HEMT транзистора с затвором 0,3 x 1600 мкм, обеспечивающий выходную мощность не менее 1 Вт в линейном режиме и усиление около 7-8 дБ;
- ▶ выходной квазимонолитный балансный каскад (ГИС-240) выполненный на двух GaAs р-HEMT транзисторах с затвором 0,3 x 2400 мкм;
- ▶ направленный детектор выходной мощности (НО);
- ▶ стабилизаторы питания, быстродействующий модулятор питания; буферные ТТЛ-логические элементы управления цифровым аттенуатором, схему управления аттенуатором термокомпенсации, датчик температуры, устройство защиты (Устройство питания и управления).

Фотография конструкции разработанного усилителя, а также усилителя мощности 2 Вт диапазона 8-18 ГГц (для сравнения габаритов), рассмотренного в [1], показана на рис. 4.



Рис. 4. Усилители PM618-4 и PM818-1.

Fig. 4. Amplifiers PM618-4 and PM818-1

В ходе исследовательских работ были проведены измерения выходной мощности усилителя PM618-4 с использованием GaAs р-HEMT транзисторов с затвором 0,3 x 2400 мкм собственной разработки, которые показали существенный прирост линейной мощности (около 1 Вт по всей полосе). На рис. 5 приведены результаты измерения мощности и максимального тока потребления для образца PM618-4 №1 на транзисторах собственной разработки и образца №2 на транзисторах фирмы Excelics

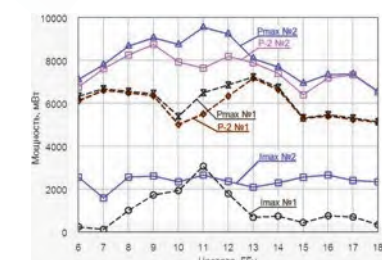


Рис. 5. Выходная мощность и максимальный ток потребления усилителей PM618-4.
Fig. 5. Output power-frequency characteristics and current consumption of PM618-4

На рис. 6 приведены типовые АЧХ трех усилителей PM618-4. Температурный дрейф АЧХ в диапазоне температур от -60°C до +75°C составляет не более 4 дБ.

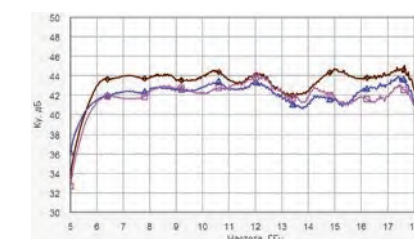


Рис. 6. АЧХ усилителей PM618-4.
Fig. 6. Amplitude-frequency characteristics

Усилитель имеет габариты 35x118x21 мм и массу не более 200 г.

Коэффициент усиления в полосе частот 6-18 ГГц составляет от 39 до 47 дБ при неравномерности не более 5 дБ. Ток потребления по цепи «+9В» менее 6 А, фазовая неидентичность составляет не более ±25 градусов, а КПД от 14 до 20 процентов.

III. Заключение

Разработан сверхширокополосный транзисторный усилитель PM618-4 диапазона 6-18 ГГц с выходной мощностью более 6 Вт на транзисторах собственной разработки, который может использоваться в качестве канального усилителя мощности активной ФАР. Показана эффективность применения трехканальных схем суммирования для построения мощных выходных усилительных каскадов.

IV. Список литературы

- [1] Кишинский А.А., Радченко А.В. Квазимонолитный транзисторный усилитель диапазона 8...18 ГГц с выходной мощностью 2 Вт. Материалы 19-й Международной Крымской конференции «СВЧ техника и телекоммуникационные технологии», 2009г, том 1, стр.53-54.
- [2] Гармаш С.В. и др. Применение технологии пассивных схем на арсениде галлия в изготовлении широкополосных усилителей мощности СВЧ. Материалы 9 Крымской микроволновой конференции, Севастополь, Вебер, 1999, стр.5-8.
- [3] Applied Thin-Film Products. Polyimide Supported Bridges and Solder Dams. <http://www.thinfilm.com/bridges.htm>

ШИРОКОПОЛОСНЫЙ ПРОГРАММИРУЕМЫЙ ДИСКРЕТНЫЙ ФАЗОВРАЩАТЕЛЬ С-ДИАПАЗОНА

Кишинский А.А., Поляков Г.Б., Радченко А.В.
Опубликовано в журнале «СВЧ электроника», №1, 2017.
ak@mwsystems.ru

Аннотация – Рассматривается конструкция модуля широкополосного дискретного фазовращателя С-диапазона с перекрытием по частоте 2:1, обеспечивающего возможность управления фазой сигнала от 0 до 354 градусов с шагом 6 градусов и минимальной паразитной амплитудной модуляцией. Показана структурная схема и конструкция модуля, рассмотрен принцип работы и калибровки фазовых состояний.

Ключевые слова: сверхвысокие частоты, дискретный векторный фазовращатель, автоматизация векторной калибровки.

I. Введение

Современные активные фазированные антенные решетки (АФАР) состоят из сотен, а иногда и тысяч прямо-передающих каналов, в состав которых входят выходные усилители мощности, малошумящие усилители, устройства защиты, аттенюаторы и фазовращатели. Фазовращатель является одним из ключевых элементов построения АФАР. В ряде применений, к нему, в числе важнейших, предъявляются требования широкой полосы рабочих частот и высокой точности установки фазовых состояний.

II. Конструкция разработанного модуля

На рис. 1 показана структурная схема разработанного модуля.

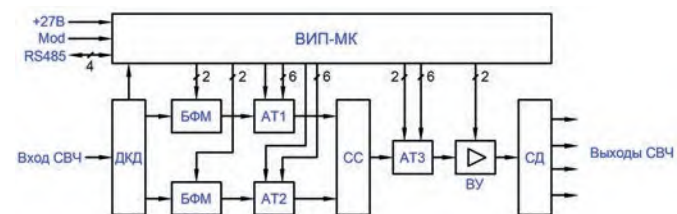


Рисунок 1. Структурная схема широкополосного дискретного фазовращателя

Фазовращатель построен по принципу векторного суммирования парциальных квадратурных сигналов с помощью цифровых аттенюаторов и двух балансных фазовых модуляторов. В состав модуля входят:

- узел контроля уровня входного сигнала и квадратурный делитель (ДКД) для исходного разделения сигнала на две парциальные составляющие со сдвигом 90 градусов;
- два балансных фазовых модулятора (БФМ), позволяющих осуществлять фазовый сдвиг сигнала 0/180 градусов;
- два фазостабильных 6-разрядных цифровых аттенюатора (АТ1 и АТ2) с минимальным дискретом 0,5 дБ и максимальным ослаблением 31 дБ, позволяющие вносить требуемое ослабление каждой парциальной составляющей сигнала;
- синфазный сумматор мощности (СС), который осуществляет суммирование парциальных составляющих сигнала;

- выходной цифровой аттенюатор (АТ3), позволяющий пользователю задавать через команды управления модулем значение общего ослабления от 0 до 16 дБ;
- выходной усилитель (ВУ), необходимый для компенсации потерь в фазовращателе;
- выходной синфазный делитель мощности (СД) с высокой развязкой (более 20 дБ) между выходными плечами и неидентичностью каналов не хуже 0,5 дБ.
- узел питания и управления (ВИП-МК), который служит для формирования напряжений питания модуля и их стабилизации. Также в узле установлен микроконтроллер, принимающий от компьютера по 4-х проводному дуплексному каналу связи RS-485 команды управления и микросхемы памяти с возможностью хранения откалиброванных фазовых состояний.

На рис. 2 показана фотография части СВЧ-отсека модуля, отвечающей за формирование фазовых состояний. Габаритные размеры модуля составляют 180 x 104 x 23 мм3. Модуль имеет герметичное исполнение в корпусе из алюминиевого сплава, а узлы выполнены по гибридно-интегральной технологии.

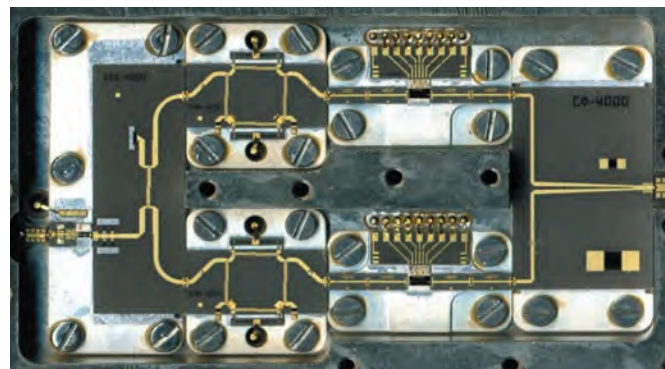


Рисунок 2. Фотография части СВЧ-отсека макета широкополосного дискретного фазовращателя, отвечающей за формирование заданного сдвига фазы

На основе этих корпусов может быть изготовлен целый ряд различных СВЧ приборов. В многовыводных корпусах поверхностного монтажа (M1601 и M1603) возможно изготовление: малошумящих усилителей, усилителей средней мощности, аттенюаторов, фазовращателей, смесителей, детекторов и др. В корпусах фланцевого типа (M1604) могут выполняться выходные одно- и многокаскадные арсенид-галлиевые и нитрид-галлиевые усилители с выходной мощностью до 20 Вт, в том числе с детектором огибающей, а в корпусе типа M1605 – многокаскадные тракты приемных и передающих устройств с выходной мощностью до 2 Вт.

Рабочий диапазон корпусов фланцевого типа – от 0 до 20 ГГц, а корпусов поверхностного монтажа – вплоть до 26,5 ГГц.

III. Принцип работы фазовращателя и методы калибровки

Фазовращатель работает по принципу векторного сложения парциальных составляющих сигнала. Исходный сигнал делится на две равные составляющие с фазовым сдвигом в 90 градусов при помощи квадратурного моста. Угол наклона – в диапазоне от 0 до 90 градусов определяется ослаблением, вносимым аттенюаторами АТ1 и АТ2, а сектор определяется текущим положением балансных фазовых модуляторов [1], осуществляющих сдвиг фазы разделенных сигналов в каждом канале либо на 0, либо на 180 градусов (см. рис. 3).

Для калибровки фазовых состояний использовался векторный анализатор цепей Agilent E5071C и специализированное программное обеспечение, разработанное в АО «Микроволновые системы». Для связи с модулем использовался канал связи RS-485 и специальные команды управления, отправляемые с компьютера. Рабочий диапазон прибора разбивался на десять частотных поддиапазонов. Калибровка производилась от 0 до 354 градусов с шагом 6 градусов. За нулевое состояние выбиралось значение нуля градусов в узлах БФМ и от 2 до 4 дБ ослабления в каждом из аттенюаторов (АТ1 и АТ2). Затем в каждом поддиапазоне производился подбор значений ослаблений аттенюаторов, при которых полученное значение сдвига фазы наиболее точно совпадает с заданным. При этом производился поиск решения с минимальным амплитудным изменением (не более 0,8 дБ) относительно принятого нулевого состояния.

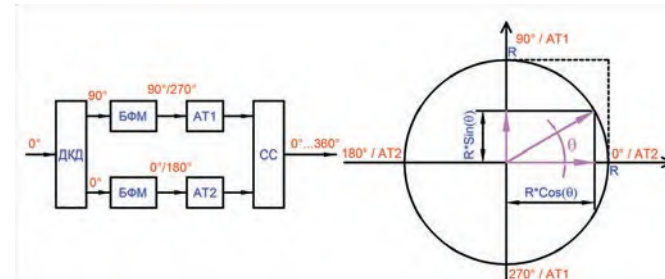


Рисунок 3. Схема векторного сложения парциальных составляющих сигнала

Алгоритм калибровки был написан таким образом, что началь-ные решения рассчитывались математически и проверялись в первую очередь: если решение оказывалось неверным, то использовался метод перебора, а также заимствования найденных решений из предыдущих шагов. Найденные откалиброванные состояния сохранялись в ПЗУ модуля. Полностью цикл калибровки всех состояний занимал не более 30 минут, а проверки сохраненных в памяти модуля – не более 1 минуты. При этом разработанное программное обеспечение позволяет сделать калибровку с различными начальными значениями ослаблений аттенюаторов и выбрать лучший результат.

Таким образом, были получены хорошие результаты по фазовым ошибкам (см. рис. 4), которые составили не более $\pm 2,7$ градуса, и значений отклонения амплитуды сигнала относительно нулевого состояния (см. рис. 5), которое составило не более 0,8 дБ во всех поддиапазонах.

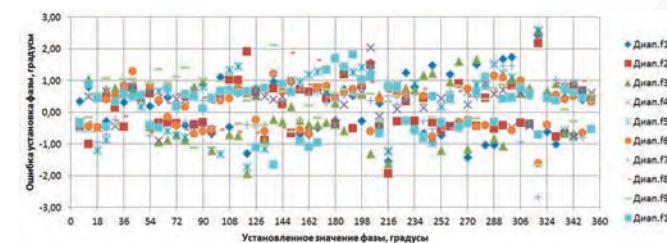


Рисунок 4. Типовая максимальная ошибка установленного значения фазы модулем относительно заданного значения

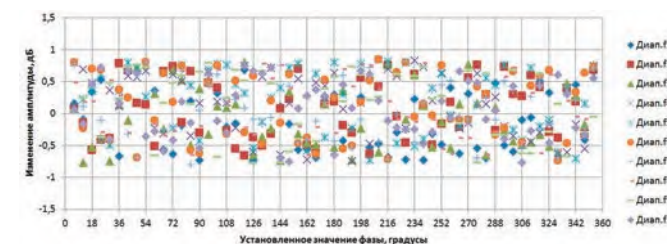


Рисунок 5. Пример установки интегрального усилителя на печатную плату (а) и изображение, полученное при помощи тепловизора (б)

IV. Заключение

В работе показана конструкция разработанного широкополосного дискретного векторного фазовращателя СВЧ-сигнала, предназначенного для управления фазой и амплитудой сигнала в С-диапазоне с перекрытием по частоте 2:1, обеспечивающего возможность установки фазы сигнала от 0 до 354 градусов с шагом 6 градусов. Фазовращатель имеет высокие показатели по точности установки фазы (максимальная ошибка не более $\pm 2,7$ градусов) и амплитудной модуляции (не более $\pm 0,8$ дБ) относительно нулевого состояния в октавной полосе частот. Модуль имеет выходную линейную мощность не менее 10 мВт, коэффициент усиления 5-7 дБ с неравномерностью не более 1 дБ.

V. Список литературы

- [1] A.E. Ashtiani, T. Gokdemir, G. Passiopoulos, A.A. Rezazadeh, S.Nam, and I.D. Robertson, "Miniaturized Low Cost 30 GHz Monolithic Balanced BPSK and Vector Modulators: Part I // Microwave J., vol. 42, no. 3, Mar. 1999, pp. 100-104.

МОЩНЫЕ СВЧ ПОЛОСОВЫЕ ОБЪЕМНО-РЕЗОНАТОРНЫЕ ФИЛЬТРЫ С МИНИМАЛЬНЫМИ ПОТЕРЯМИ

Радченко А.В., Радченко В.В.
Опубликовано в журнале «СВЧ электроника», №1, 2017.
ar@mwsystems.ru, optimizer@mail.ru

Аннотация: Разработан ряд мощных полосовых фильтров на основе двух встречно направленных гребенок прямоугольных резонаторов с лицевой связью, размещенных в запердельном волноводе, и предназначенных для установки в симметричную полосковую линию. Приведены результаты расчетов и измерений параметров изготовленных фильтров 4-х поддиапазонов частот в L- и S- диапазонах. Фильтры обеспечивают полосу пропускания полезного сигнала 1/2 октавы с потерями не хуже 0,8 дБ, подавление 2 и 3 гармоники сигнала не менее 60 дБ и способные пропускать непрерывную мощность не менее 200 Вт.

Ключевые слова: Полосовой фильтр, резонатор, лицевая связь, гармоники сигнала, СВЧ мощность.

I. Введение

Для подавления высших гармоник сигнала в усилителях мощности широко используют фильтры нижних частот (ФНЧ) на основе различного вида резонаторов. Применение ФНЧ может быть ограничено, если мощность сигнала достигает нескольких десятков ватт, так как необходим хороший отвод тепла от резонаторов фильтра, которые изолированы от теплоотводящей поверхности диэлектрическими слоями с низкой теплопроводностью.

При высоких уровнях мощности СВЧ-сигнала вплоть до не-скольких сотен ватт возможно применение встречно-стержневых фильтров (ВСФ), в которых резонаторы (стержни) заземлены на бо-ковых стенках запердельного волновода и тем самым обеспечивают необходимый отвод тепла. Одним из основных недостатков ВСФ является наличие паразитной полосы пропускания в районе третьей гармоники сигнала. Существуют решения, например, показанные в [1], позволяющие расширить полосу заграждения ВСФ, однако технологически такие фильтры сложны в изготовлении и настройке.

В данной работе предложена конструкция модернизированного ВСФ, обеспечивающая подавление до третьей гармоники сигнала включительно. Разработка фильтров выполнена с использованием усовершенствованных программ численного моделирования и параметрической оптимизации [2, 3].

II. Проектирование фильтра

Разработанная конструкция фильтра состоит из нескольких пар встречных прямоугольных резонаторов, связанных между собой сильной лицевой связью и слабой боковой связью. Резонаторы, объединенные в две гребенки, помещены в прямоугольный запердельный волновод и заземлены на противоположные стенки волновода (см. рис. 1), что обеспечивает хороший отвод тепла. Для увеличения лицевой связи резонаторов и их точной фиксации относительно друг

друга, между ними помещена диэлектрическая подложка с малой удельной диэлектрической проницаемостью (не более 2,3). Конструкция фильтра, который можно условно назвать «встречно гребенчатый фильтр» (ВГФ), похожа на показанную в [4], но отличается тем, что подложка с объемными резонаторами расположена в волноводе, а резонаторы согласованы с полосковыми выводами.

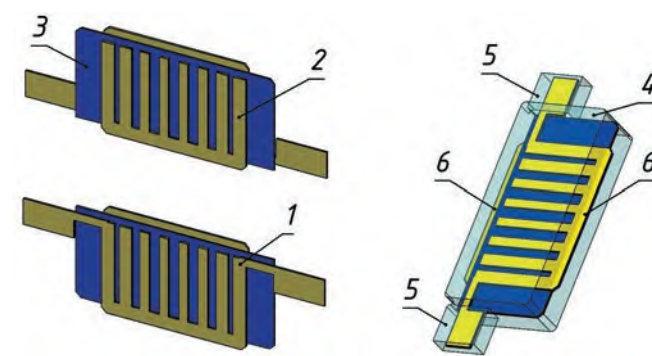
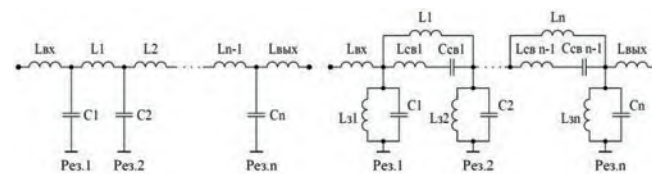


Рисунок 1. Конструкция встречно гребенчатого фильтра 1 – верхняя гребенка, 2 – нижняя гребенка, 3 – диэлектрик, 4 – запердельный волновод, 5 – симметричная линия, 6 – места заземления гребенок.

Отметим, что конструкция ВГФ представляет собой по своей сути аналог ФНЧ на сосредоточенных элементах. Пары встречных резонаторов, связанных между собой сильной лицевой связью, эквивалентны заземленным сосредоточенным емкостям, а слабая лицевая связь между соседними парами резонаторов имеет индуктивный характер. Основная разница между ФНЧ на сосредоточенных элементах и ВГФ заключается в том, что в ВГФ заземлены обе обкладки конденсаторов, образованных гребенками резонаторов, тогда как в ФНЧ заземлена только одна обкладка конденсатора. Эквивалентные схемы ФНЧ и ВГФ приведены на рис. 2а и 2б соответственно.



а) ФНЧ б) ВГФ
Рисунок 2. Эквивалентные схемы фильтров

Синтез ВГФ выполнялся в 2 этапа. На 1 этапе с использованием электростатической модели многопроводной линии с лицевой связью [1] и параметрической оптимизации было определено необходимое количество резонаторов фильтра в гребенке — 8 шт., а также требования к диэлектрической пластине.

Оказалось, что при уменьшении толщины диэлектрика или увеличении диэлектрической проницаемости геометрические размеры фильтра уменьшаются, однако это входило в противоречие с требуемой электрической прочностью фильтра и потерями. С этой точки зрения в реализованной конструкции ВГФ был выбран диэлектрический материал Rogers 5880 толщиной 0,38 мм.

На втором этапе выполнялся полный электродинамический расчет фильтра методом конечных элементов [2] и корректировались размеры фильтра, полученные на 1 этапе, с целью обеспечения минимального уровня вносимых потерь и минимального коэффициента отражения от входа фильтра в заданной полосе пропускания.

III. Результаты изготовления опытной партии фильтров

Всего было разработано и изготовлено 2 литеры ВГФ в L-диапазоне и 2 литеры в S-диапазоне с полосой пропускания полезного сигнала 1/2 октавы. ВГФ состоят из двух полукорпусов из сплава алюминия, в которые устанавливается плата-диэлектрик с напаянными на нее медными гребенками. Измерения ВГФ проводились при помощи специально разработанных контактных устройств, осуществляющих переход с коаксиальной линии на воздушную симметричную линию. Фотография фильтров (закрытого и открытого) и присоединенного контактного устройства показаны на рис. 4а. Тепловой расчет показал, что при равномерном выделении 20 Вт мощности на гребенках фильтра, выполненных из медной пластины толщиной 0,5 мм, перегрев гребенок составляет не более 27 градусов относительно места теплосъема (см. рис. 4а).

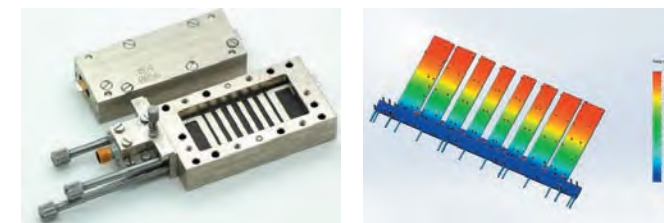


Рисунок 3. Фотография конструкции фильтра с контактным устройством а) и тепловой расчет рассеивания тепла одной гребенки фильтра на стенку волновода б)

Заграждение вторых и третьих гармоник всех литер получилось не хуже чем -80 дБ. Измеренный КСВН всех литер составил не более 1,2 в полосе пропускания. Фильтры имеют запас по полосе пропускания и заграждения не менее 10% и при правильной сборке не требуют настройки. Сравнение расчетных и измеренных характеристик фильтров приведено на рисунке 5.

Изготовленные фильтры были испытаны на воздействие СВЧ-мощности не менее 350 Вт в рабочем диапазоне частот. ВГФ выдержали воздействие и подтвердили правильность выбора конструкции и тепловой расчет.

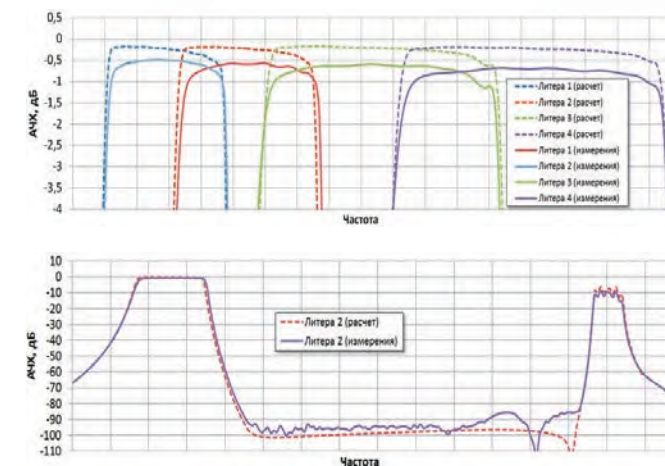


Рисунок 4. Сравнение расчетных и измеренных характеристик ВГФ 4 литер. Приведены результаты измерений без учета потерь в контактных

IV. Заключение

В работе показана конструкция мощных полосовых фильтров, названных «встречно гребенчатыми фильтрами». Фильтры выдерживают непрерывную мощность не менее 350 Вт, эффективно подавляют вторую и третью гармоники и вносят малые потери (не более 0,8 дБ). Приведены результаты расчетов и измерений параметров изготовленных фильтров 4-х поддиапазонов частот в L- и S- диапазонах.

V. Список литературы

- [1] Геворкян В. М., Перевезенцев С. А. Широкополосные полнотранспондированные фильтры для трактов высокого уровня средней мощности // Материалы 15-й Международной Крымской конференции. – Севастополь, 2015. С. 574 – 575.
- [2] Радченко В.В. Анализ и синтез СВЧ-устройств на многопроводных полосковых линиях передачи // Материалы 8-й Международной Крымской конференции. – Севастополь, 1998. С. 569 – 572.
- [3] Радченко В.В. Электромагнитное моделирование СВЧ устройств на основе базисных функций высшего порядка // Материалы 21-й Международной Крымской конференции. — Севастополь, 2011. — С. 207 – 209.
- [4] Патент РФ № 2237320/28, МПК7 Н01Р 1/203, опубл. 27.09.2004, Бюл. №27 Полоснопропускающий фильтр / Беляев Б.А., Лексиков А.А., Тюрнев В.В., Казаков А.В.

ШИРОКОПОЛОСНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ МОЩНОСТИ S-ДИАПАЗОНА С ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТЬЮ 300 Вт В НЕПРЕРЫВНОМ РЕЖИМЕ

Кищинский А.А., Суханов Д.А.
Опубликовано в журнале «СВЧ электроника», №1, 2017
ak@mwsystems.ru, sda@mwsystems.ru

Аннотация – В представляемой работе обобщаются результаты разработки и исследования параметров экспериментального образца усилителя мощности S-диапазона с октавной полосой частот и выходной мощностью 300-400 Вт в режиме усиления непрерывных колебаний. Усилитель построен по схеме 8-канального суммирования мощностей гибридно-интегральных усилительных модулей, выполненных на основе нитрид-галлиевых транзисторов в виде кристаллов. Каждый модуль имеет в нормальных климатических условиях выходную мощность 43-50 Вт при коэффициенте усиления 23 дБ и КПД по добавленной мощности 35-40%.

Ключевые слова: сверхвысокие частоты, транзисторный усилитель мощности, нитрид галлия, суммирование мощностей.

I. Введение

Освоение промышленного выпуска высоконадежных коммерчески-доступных GaN-транзисторов позволило повысить выходную мощность широкополосных усилителей мощности на порядок при разумной технической сложности изделия. Ниже рассматривается конструкция макета усилителя мощности диапазона 2-4 ГГц с октавной полосой частот и выходной мощностью 300-400 Вт в непрерывном режиме, построенного на основе схемы восьмиканального квадратурного суммирования и обсуждаются технические решения элементов его конструкции.

II. Схема и конструкция макета усилителя

На рисунке 1 показана структурная схема разработанного макета усилителя. Усилитель построен на основе восьми гибридно-интегральных усилительных модулей М2450Б, разработанных авторами для применения в качестве базового элемента мощных усилителей диапазона 2-4 ГГц нового поколения. Каждый модуль содержит два балансных усилительных каскада на кристаллах GaN-транзисторов с длиной затвора 0,5 мкм и шириной затвора 2100 мкм (в первом каскаде) и 7000 мкм (во втором каскаде). Транзисторы работают при напряжении стока 27 В. В качестве квадратурных мостов применены свернутые 3-дБ направленные ответвители [1] на подложках из поликора толщиной 0,5 мм, изготовленных по тонкопленочной технологии с увеличенной толщиной металлизации (20 мкм). Транзисторы установлены непосредственно на медное основание модуля, керамические платы припаяны к основанию через металлические прокладки из псевдосплава медь-молибден.

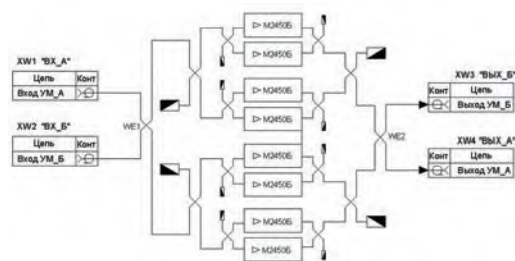


Рисунок 1. Структурная схема усилителя мощности

Модули, установленные в макет, имели следующие основные параметры в рабочем диапазоне частот от 2 до 4 ГГц в непрерывном режиме:

Линейное усиление	29 – 31 дБ
Выходная мощность	43 – 50 Вт
КПД ₃₅ –	40 %
Рабочий ток стока	4,3 – 4,9 А
Перегрев рабочей зоны кристалла GaN-транзистора1	10 – 130 градусов (расчет при Rth=4,8 град/Вт)

Усилитель имеет два входа СВЧ сигнала (XW1, XW2) и два выхода (XW3, XW4) для исследования его параметров при коммутации сигнала в две независимые нагрузки (антенны).

Конструкция макета усилителя показана на рисунке 2 (экранирующие элементы сняты). Модули М2450Б установлены в отдельных экранированных отсеках алюминиевого корпуса и закреплены винтами. С обратной стороны корпуса закреплен радиатор жидкостного охлаждения.

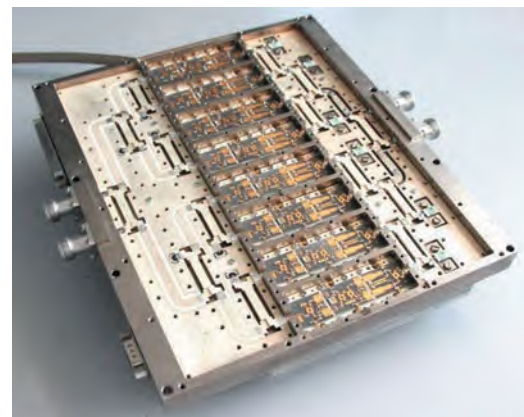


Рисунок 2. Общий вид макета усилителя

Входной сигнал с уровнем 3-5 Вт делится на 8 каналов при помощи квадратурных 3-дБ мостов, выполненных на основе секций с лицевой связью воздушной симметричной полосковой линии. Идея конструкции ответвителя заимствована из работы [2].

В качестве линии передачи была предложена и экспериментально отработана линия, конструкция которой показана на рисунке 3. Линия передачи формируется на двух сторонах диэлектрической подложки по стандартной печатной технологии с толщиной медной металлизации 70 мкм. Толщина диэлектрика (в сумме с двойной толщиной металлизации) выбирается равной зазору в секции лицевой связи квадратурного ответвителя, и задает величину зазора при монтаже пластин ответвителя.

Металлизация с обеих сторон платы соединена металлизированными переходными отверстиями.



Рисунок 3. Разрез конструкции линии передачи мощного СВЧ сигнала

Плата зажимается между корпусом и экранирующей крышкой, образуя симметричную линию. Стабильность диэлектрической постоянной диэлектрика значения не имеет, электрическое поле в диэлектрике практически отсутствует. Предложенная конструкция технологична и обладает малыми вносимыми потерями (измеренные на макетах значения погонных потерь на частоте 4 ГГц составили 0,07 дБ на 10 см длины. Это важно, поскольку в выходном тракте распространяется сигнал с мощностью более 300 Вт. Для улучшения теплоотвода в выходном тракте между корпусом и нижней металлизацией дополнительно установлены 4 столбика из нитрида алюминия сечением 2 мм², припаянные с двух сторон.

III. Параметры макета усилителя

Одним из важных параметров является «КПД суммирования» – отношение выходной мощности усилителя к арифметической сумме выходных мощностей суммируемых элементов. Основные факторы, снижающие КПД суммирования в широкой полосе частот:

- ▶ потери в выходном сумматоре (0,5 дБ);
- ▶ фазовая неидентичность модулей М2450Б
- ▶ (10-15 градусов);
- ▶ неидеальные КСВН входов сумматора.

Полученный на макете КПД суммирования в октавной полосе составил не менее 80%. Разница усредненных коэффициентов усиления в линейном режиме установленных модулей М2450Б и полученного коэффициента усиления усилителя составила в октавной полосе от 1,2 до 1,5 дБ.

Выходная мощность в режиме насыщения (компрессия усиления 8-9 дБ) составила 320-420 Вт при напряжении питания 27 В, рабочий ток усилителя в режиме насыщения составил от 32 до 39 А, КПД усилителя в режиме насыщения – от 30 до 38%. При компрессии усиления 4 дБ выходная мощность составляет около 120 Вт, рабочий ток 19-21 А, КПД от 20 до 24%. Коммутация входов XW1 и XW2 позволяет направить выходную мощность на выход XW4 или XW3, соответственно. При этом измеренные отклонения не превышают 3-4%. В изолированный выход проникает сигнал с уровнем от -17 до -35 дБ относительно мощности на рабочем выходе.

Перегрев в центральной зоне установки модулей при расходе жидкости 3 л/мин составил 8 градусов. В качестве термоинтерфейса между корпусом усилителя и радиатором применялась термопаста ARCTIC SILVER 5 с теплопроводностью 8,7 Вт/м²К. Перегрев линий передачи и пластин сумматора оценивался по характеру плавления и изменения цвета термокарандашей с различными точками плавления, которыми последовательно маркировались элементы. Максимальный перегрев в точке соединения выходного разъема составил около 75 градусов.

IV. Заключение

В октавной полосе частот S-диапазона Реализован гибридно-интегральный усилительный модуль с КПД 35-40% и выходной мощностью 43 – 50 Вт. Показана возможность 8-канального квадратурного суммирования с КПД суммирования более 80%, при этом КСВН входа и выхода усилителя не превышает 1,5, выходная мощность в непрерывном режиме составила 320-420 Вт, КПД 30-38%. При этих параметрах перегрев активной структуры кристалла GaN-транзистора составляет 110 – 130 градусов, что требует особого внимания к минимизации перегрева конструкции (жидкостное охлаждение, термоинтерфейс, медные основания модулей). Заметную роль играет нагрев элементов выходного тракта, что требует также внимания к его конструкции (элементы теплосъема, выходной соединитель, минимизация потерь в тракте)..

V. Список литературы

- [1] Кищинский А.А., Радченко В.В., Радченко А.В. Широкополосные квадратурные делители/сумматоры мощности для применения в усилителях СВЧ мощности // Материалы 19-й Международной Крымской конференции «СВЧ техника и телекоммуникационные технологии». 2013. том 1. стр.6-10.
- [2] I.Schmale. Synthesis of high-power broadside-coupled thick striplines including narrow lateral shielding // Proceedings of the 36th European Microwave Conference. 2006. p.p. 21-24.

УСИЛИТЕЛЬ СВЧ МОЩНОСТИ ДИАПАЗОНА 5 – 18 ГГц С ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТЬЮ БОЛЕЕ 10 Вт

Радченко А.В. Опубликовано в журнале «Электроника СВЧ», №1, 2019

Аннотация – В статье описана конструкция и приведены характеристики сверхширокополосного твердотельного усилителя СВЧ мощности на основе современных монолитных интегральных схем, обеспечивающего в рабочем диапазоне частот от 5 до 18 ГГц выходную мощность более 12 – 16 Вт и КПД от 14 до 20%.

Ключевые слова: сверхвысокие частоты, металлокерамический корпус, усилитель мощности, нитрид галлия, монолитная интегральная схема.

I. Введение

Необходимость уменьшения массогабаритных характеристик, снижения потребляемой мощности широкополосных радиопередающих устройств толкают разработчиков модулей СВЧ к применению в выходных каскадах усилителей мощности современных интегральных компонентов на основе технологии нитрида галлия [1]. Такое решение существенно упрощает конструкцию усилителя по сравнению с решениями на основе дискретных GaAs транзисторов [2] при одновременном улучшении основных параметров усилителя.

II. Конструкция усилителя

На рисунке 1, показана структурная схема разработанного усилителя мощности. Она включает в себя:

- ▶ входной малошумящий усилительный каскад (МШУ);
- ▶ цифровой пятиразрядный аттенуатор (АТ);
- ▶ цепь управления уровнем усиления входного МШУ для плавной компенсации температурного дрейфа коэффициента усиления в диапазоне температур от минус 40 до +75°C;
- ▶ предварительный усилитель мощности, корректор АЧХ и ФЧХ усилительного тракта (ПУМ);
- ▶ делитель и сумматор (ДС18 и СС18);
- ▶ два интегральных усилительных модуля, выполненные в металлокерамическом корпусе, которые содержат входной балансный монолитный GaAs усилительный каскад собственной разработки, коммерчески доступный GaN монолитный усилитель с распределенным усилением (УРУ) с выходной мощностью 7-10 Вт и направленный детектор выходной мощности;
- ▶ стабилизаторы питания, быстродействующий модулятор питания; буферные ТТЛ-логические элементы управления цифровым аттенуатором, схему управления аттенуатором термокомпенсации, датчик температуры, устройство защиты (Устройство питания и управления). Модуль обеспечивает в полосе рабочих частот 5 – 18 ГГц выходную мощность более 7 Вт при КПД 21-27%, малосигнальное усиление 18 – 20 дБ и КСВН входа и выхода не более 1,8. Были проведены испытания трех вариантов построения данного модуля:



Рис 1. Структурная схема усилителя

На рисунке 2 показана фотография внутренней конструкции разработанного усилителя, а на рисунке 3 его внешний вид. Корпус усилителя герметичный, элементы устройства питания и управления размещены с нижней стороны корпуса. Габаритные размеры усилителя составляют 64,2 x 117 x 20 мм³, масса 300 г.

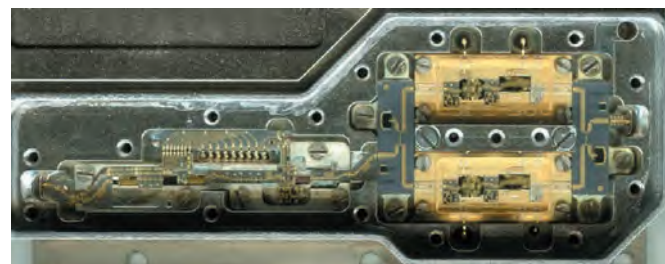


Рис 2. Конструкция усилителя



Рис 3. Внешний вид усилителя M1710B

На рисунке 4 показана фотография выходного интегрального усилительного модуля M04C, который выполнен в герметичном металлокерамическом микрокорпусе, разработанным совместно с компанией Kyocera [3].

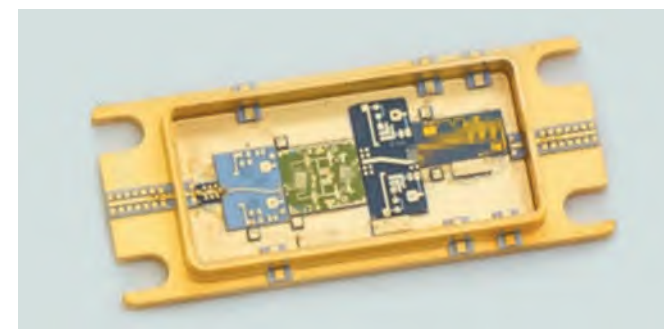


Рис. 4. Конструкция интегрального усилительного модуля

Габаритные размеры корпуса составляют 10,8 x 26 x 2,6 мм³, а масса менее 5 г. GaAs микросхема MC120 собственной разработки и выходной УРУ GaN (как показано на рисунке 4).

Модуль обеспечивает в полосе рабочих частот 5 – 18 ГГц выходную мощность более 7 Вт при КПД 21-27%, малосигнальное усиление 18 – 20 дБ и КСВН входа и выхода не более 1,8. Были проведены испытания трех вариантов построения данного модуля:

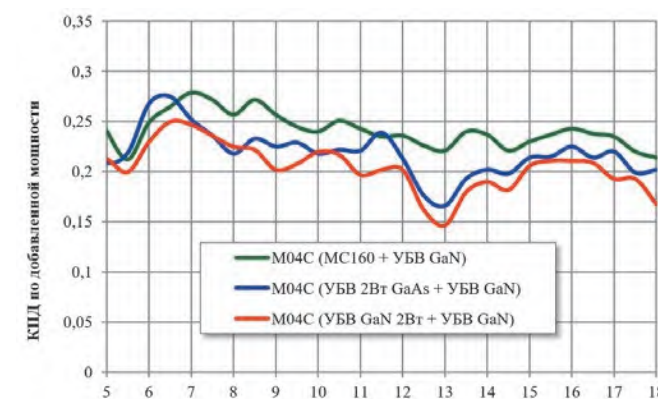


Рис 5. КПД по добавленной мощности трех вариантов исполнения модуля M03C

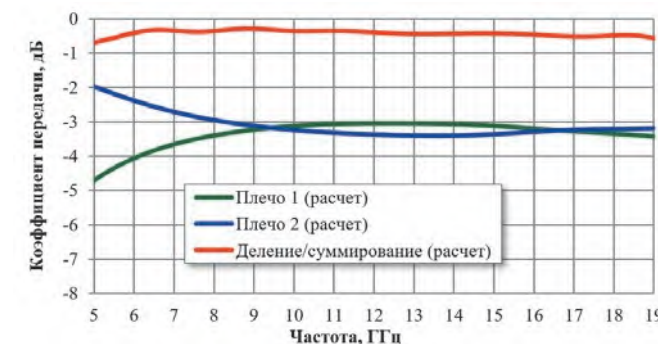


Рис 6. Расчетные параметры квадратурного сумматора, примененные в разработанном усилителе

GaAs микросхема MC120 собственной разработки и выходной УРУ GaN (как показано на рисунке 4).

2 Вт GaAs микросхема УБВ и выходной УРУ GaN.

2 Вт GaN микросхема УБВ и выходной УРУ GaN.

Исследования показали преимущество первого варианта построения. На рисунке 5 показан график КПД по добавленной мощности всех трех вариантов, из которого видно, что вариант с микросхемой MC120 не имеет провала по КПД в районе 13 ГГц, а также в среднем КПД выше на 2-3%. Модуль M04C может применяться отдельно как самостоятельное изделие, например, в многоканальных усилительных трактах.

Для суммирования мощностей двух интегральных модулей разработан квадратурный сумматор с тремя областями связи (общий вид показан на рисунке 2). Расчетные параметры сумматора приведены на рисунке 6.

Сильную связь обеспечивает центральная секция в виде моста Ланге с зазором между проводниками 13 мкм, а слабую связь обеспечивают широкие подводящие линии. Такая конструкция позволяет эффективно использовать его длину и увеличить широкополосность за счет использования областей с разным коэффициентом связи.

III. Основные характеристики усилителя

На рисунках 7 – 9 приведены типовые характеристики пяти образцов разработанного усилителя мощности. Коэффициент передачи в малосигнальном режиме составляет от 44 до 48 дБ при неравномерности около 3 дБ (рисунок 7), КСВН входа и выхода усилителя не более 2,5.

Усилитель содержит цепь управления уровнем усиления для плавной компенсации температурного дрейфа коэффициента усиления в диапазоне температур от –40 до +75 °С, которая обеспечивает «дрейф» амплитудно-частотной характеристики не более чем на 2 дБ.

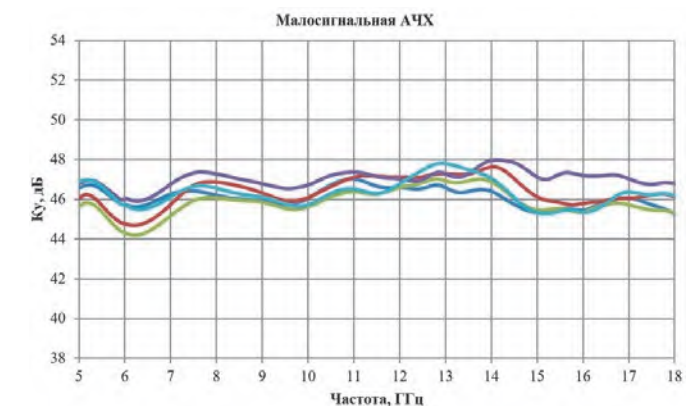


Рис 7. Малосигнальный коэффициент усиления серии усилителей (НКУ)

Токи потребления по цепям питания и КПД усилителя показаны на рисунке 8. В нормальных климатических условиях (НКУ) КПД составляет от 17 до 24 %, а при росте температуры до 75 °С не падает ниже 15 %.

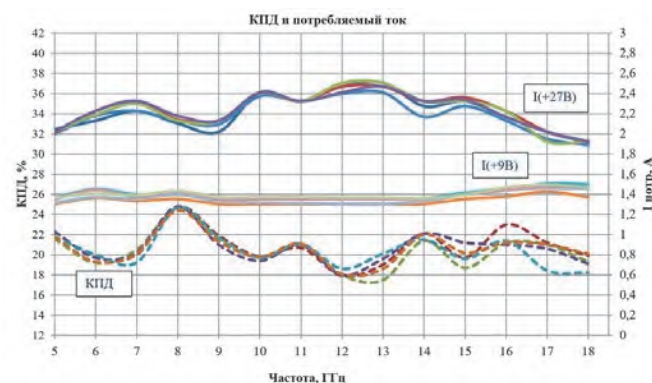


Рис 8. Токи потребления по цепям питания в режиме насыщения (НКУ)

IV. Заключение

В работе приведены результаты разработки усилителя с выходной мощностью не менее 10 Вт, работающего в диапазоне частот от 5 до 18 ГГц, который может применяться в качестве оконечного усилителя мощности в АФАР непрерывного режима. По удельным параметрам (масса на единицу выходной мощности, аппаратный КПД [1], стоимость Ватта выходной мощности) он имеет на 30-45% лучшие показатели, чем разработанный ранее GaAs усилитель сравнимой полосы частот [2].

Усилитель обеспечивает выходную мощность от 12 Вт до 16 (рисунок 9) при входной мощности 2 мВт (компрессия усиления около 7 дБ) при эффективном охлаждении корпуса. В диапазоне температур от минус 40 °С до +75 °С усилитель обеспечивает выходную мощность более 10 Вт.

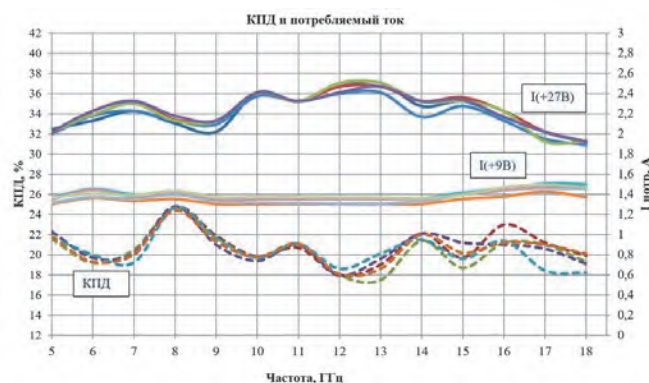


Рис 9. Типовая номинальная выходная мощность (при $P_{вх} = 2$ мВт) в НКУ (сплошные линии) и при температуре +75°С на корпусе.

Список литературы

- [1] Кищинский А.А. Сверхширокополосные твердотельные усилители мощности СВЧ диапазона: схемотехника, конструкции, технологии. Электроника и микроэлектроника СВЧ. Сборник статей VII Всероссийской конференции. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2018, С. 4-13.
- [2] Радченко А.В. Сверхширокополосный транзисторный усилитель диапазона 6 – 18 ГГц с выходной мощностью 6 Вт. Материалы 21-й Международной Крымской конференции «СВЧ техника и телекоммуникационные технологии», 2011 г, том 1, стр.131-132.
- [3] Маркинов Е.Г., Радченко А.В. Сверхширокополосные интегральные усилители мощности в корпусах поверхностного монтажа. Материалы 26-й Международной Крымской конференции «СВЧ техника и телекоммуникационные технологии», 2016 г, том 2, стр.185-189.

МЫ ВИДИМ, ЧТО МОЖЕМ РАЗГОВАРИВАТЬ С ЗАРУБЕЖНЫМИ КОМПАНИЯМИ НА РАВНЫХ

Рассказывает заместитель генерального директора, главный конструктор АО «Микроволновые системы» А. А. Кищинский
Опубликовано в журнале «Электроника», №9, 2019



Компания «Микроволновые системы» отмечает в этом году юбилей –15 лет. Это частное предприятие прочно занимает нишу разработки и производства широкополосных СВЧ-усилителей для различных диапазонов частот от 0,5–1 до 18–20 ГГц, при этом двигаясь и в другие секторы СВЧ-электроники, в том числе в область разработки АФАР гражданского применения. О том, как создавалась компания, каких успехов достигла за прошедшие годы, а также о современных мировых тенденциях в области

СВЧ и возможностях российских компаний в создании передовых решений, конкурентоспособных на глобальном рынке СВЧ-устройств, мы поговорили с одним из основателей компании, заместителем генерального директора, главным конструктором АО «Микроволновые системы» Андреем Александровичем Кищинским.

Андрей Александрович, в этом году вашей компании исполняется 15 лет. Расскажите, пожалуйста, с чего всё начиналось.

Наша компания была организована в 2004 году. В то время я работал в Центральном научноисследовательском радиотехническом институте (сегодня – АО «ЦНИРТИ имени академика А. И. Берга»), руководил направлением разработки широкополосных СВЧ-усилителей мощности. В Советском Союзе этой тематикой занималось несколько крупных организаций электронной промышленности, работало много компетентных специалистов. Но в 1990-х годах возник вакуум заказов, и большинство этих предприятий сконцентрировалось на других, более востребованных в то время направлениях. А в нашем институте эта тематика продол-

жала развиваться, мы шли в ногу со временем благодаря сотрудничеству с одним из научно-исследовательских институтов Китая.

Однако в 2004 году по определенным причинам я решил покинуть ЦНИРТИ. И как раз в этот момент Калужскому научно-исследовательскому радиотехническому институту (КНИРТИ) потребовались новые широкополосные усилители для крупного экспортного заказа. Зная, что я занимался этой тематикой много лет, с вопросом о возможности разработки и налаживания серийного производства таких приборов ко мне обратился директор КНИРТИ Евгений Сергеевич Качанов. Я согласился. Так появилось ЗАО «Микроволновые системы» – компания, изначально ориентированная на один-единственный продукт, который на тот момент даже не был разработан.



Можно назвать это авантюрой, можно – прозорливостью Евгения Сергеевича, но так или иначе через год эта разработка была завершена, прошла необходимые испытания, и на арендуемых в то время у ЦНИРТИ площадях мы начали выпуск изделий, которые успешно поставлялись в течение срока действия нашего первого пятилетнего контракта и, кстати, выпускаются нами до сих пор уже почти 15 лет, найдя свое применение в продукции других предприятий.

То есть «Микроволновые системы» сразу обладали и возможностями в области разработки, и производством?

Тогда в первую очередь мы ориентировались на производство. К созданию собственного проектного отдела, обеспечению возможности выполнять разработки на заказ мы пришли позже – в 2007 году, когда мы почувствовали интерес потенциальных заказчиков.

В конце 2007 года у нас начался новый период развития компании. Помимо создания проектного отдела, мы переехали из ЦНИРТИ на завод «Паутон», при этом расширив наши площади с 200 до 750 м². Мы готовили новые площади около полугода, а переехали всего за два дня, практически не останавливая производство.

Совсем недавно мы – не по своей воле – снова сменили место дислокации. В конце 2018 года арендовали 1100 м² здесь, в бизнес-центре «Сокол». В рекордно короткие сроки – за полгода от начала проектных работ до ввода в эксплуатацию, усилиями наших новых партнеров – ООО «Рубин» и строительных подрядчиков БЦ «Сокол» – оборудовали производственные и офисные помещения, включая 200 м² чистых комнат класса ISO 7 с инженерными системами. И с 1 июля мы здесь.

К этому моменту у нас разработано более 120 типов СВЧ-приборов, выполнены десятки ОКР, клиентская база превысила 400 предприятий, а по объемам производства мы вышли на стабильный уровень 2,5–3 тыс. сложных СВЧ-изделий в год.

Должен сказать, что, несмотря на значительные финансовые потери и несколько месяцев нервотрепки в связи с передислокацией, мы даже рады случившемуся. В бизнес-центре арендовать площади комфортно, потому что сдача помещений – это их основной бизнес. Мы никому не мешаем, и никто не мешает (а арендодатель активно помогает) нам. Сейчас мы обладаем всем необходимым – от чистых помещений до складов. Но уже на следующий день после переезда мы начали планировать расширение, и, надеюсь, в ближайшее время нам удастся нарастить мощности по выпуску СВЧ-приборов до 5–6 тыс. шт. в год.

Это связано с ростом количества заказов? Вы ожидаете, что рынок СВЧ-приборов будет расти?

У нас действительно количество заказов растет: в следующем году планами потребителей предусмотрено увеличение объема выпуска изделий более чем в два раза. Расширение производства – это уже сложившаяся необходимость, а не следствие оптимистичных ожиданий.

Но говоря про рынок в целом, я не стал бы утверждать, что он обладает устойчивым ростом. Наш бизнес в большой степени носит ситуативный характер. Мы производим широкую номенклатуру изделий, потребляемых большим количеством предприятий, и при определенных обстоятельствах суммарный объем заказов может вырастать, если, например, у некоторых заказчиков начинается модернизация оборудования, у некоторых – подходит срок капитального ремонта, у некоторых – завершаются ОКР и изделия осваиваются в серийном производстве. Но полагаться на то, что такие благоприятные условия будут всегда, мы не можем.

Нами разработано более 120 типов СВЧ-приборов, выполнены десятки ОКР, клиентская база превысила 400 предприятий

Что входит в номенклатуру изделий, которую вы производите?

Как уже говорилось, начинали мы с широкополосных СВЧ-усилителей мощности. Эти приборы остаются основными нашими продуктами, но их линейка за годы существенно расширилась. Сейчас мы перекрываем все востребованные диапазоны с октавными и сверхоктавными полосами частот от 0,5–1 до 18–20 ГГц. Среди этих изделий есть более востребованные, которые мы производим сотнями в год; есть и менее востребованные, интересные узкому кругу заказчиков. Но в целом это направление у нас очень устойчивое, оно приносит нам основной доход. Я могу сказать, что в данной области у нас нет конкурентов в России. Однако новизна этой тематики уже практически исчерпана, мы получили практически все основные технические решения и сейчас занимаемся «шлифовкой» характеристик: уменьшаем массу изделий, повышаем их КПД, снижаем себестоимость.

Параллельно мы занимаемся и другими направлениями. Одним из наиболее успешных среди них стали импульсные усилители для радиолокации. В этой области у нас есть, я бы сказал, выдающиеся приборы. В частности, нам удалось разработать импульсные усилители со второ-



енными источниками вторичного питания с очень низким уровнем вносимых фазовых и амплитудных флуктуаций. Они используются для усиления зондирующего сигнала, подаваемого, например, на распределительную систему АФАР. Сейчас мы поставляем такие приборы для двух уважаемых организаций, но их доля в объеме нашей продукции остается небольшой.

Это усилители средней мощности – десятки ватт. Но мы также движемся в направлении импульсных усилителей спектрально чистого сигнала с мощностью несколько сотен ватт и более. Одна из разработок уже завершена.

Также мы сейчас продвигаем на рынке собственный 50-Вт внутрисогласованный транзистор и гибридную интегральную схему 12-Вт драйвера к нему для радиолокационных устройств X-диапазона, разработанные нашими специалистами с применением зарубежных технологий.

Ждем, когда отечественные фабрики смогут обеспечить нужные нам надежность, качество и ценув области приборов на GaN

Мы видим хорошие перспективы в таком направлении, как разработка монолитных интегральных схем (СВЧ МИС) на арсениде и нитриде галлия, а также дискретных транзисторов на основе этих материалов для наших собственных нужд, выпускаемых на зарубежных полупроводниковых фабриках (фаундри). Мы также осваиваем выпуск однослойных керамических СВЧ-конденсаторов, гермовводов и ряда других пассивных СВЧ-компонентов для использования в собственных модулях и блоках. Разрабатываемые СВЧ дискретные элементы и ИС позволяют заменить в наших изделиях ключевые компоненты американских и европейских производителей. В дальнейшем мы планируем предлагать эти компоненты на российском рынке.

Еще одно перспективное направление – АФАР. Сейчас мы разрабатываем антенную решетку для бортового радиолокатора вертолетов патрульно-спасательной службы. Ее прототип мы уже демонстрировали в этом году на авиасалоне МАКС-2019. Вхождение на рынок АФАР даже сложнее, чем на рынок СВЧ МИС, но тем не менее мы связываем большие надежды с этим направлением, потому что идем к тому, чтобы создать антенну, которая будет сочетать в себе ряд, казалось бы, несочетаемых параметров: относительно низкую цену, высокую надежность, малое энергопотребление, воздушное охлаждение и малые габариты. Не забываем и электрические характеристики. Однако наш опыт и анализ рынка показывают, что

у потребителей электрические характеристики обладают меньшим приоритетом, чем цена, надежность и прочие перечисленные выше факторы. Мы ведем эту разработку на собственные средства и рассчитываем на ее востребованность в будущем.

Почему вы производите МИС и транзисторы на зарубежных фаундри?

Мы ждем, когда отечественные фабрики, которых, кстати, достаточно много, выйдут на промышленный уровень в области приборов на нитриде галлия, который будет способен обеспечить нужные нам надежность, качество и, что тоже немаловажно, цену. Мы постоянно следим за достижениями как российской фундаментальной науки, так и производственных предприятий, проводим испытания новых интересных решений в области СВЧ-транзисторов и ИС, консультируем производителей как потенциальные заказчики, понимающие, какие эксплуатационные параметры должны быть у прибора.

Из фабрик, транзисторы которых мы испытывали, на данный момент я могу отметить две, наиболее близко подошедшие к тому, чтобы начать разговор об обеспечении потребностей российского рынка СВЧ-электроники. Первая – АО «Светлана-Рост». Достоинство этой компании в том, что они изначально ориентированы не на продукты, а на кристалльное производство, на услуги фаундри. Действуя таким образом, они пытаются достичь и зафиксировать стабильные результаты, пусть и достаточно скромные в сравнении с зарубежными.

Вторая компания – АО «НПФ «Микран». На мой взгляд, они достигли хороших результатов как раз по электрическим параметрам благодаря долгой и кропотливой работе. Те, кто считает, что в этой области можно получить быстрый результат, ошибаются. Посмотрим, как будет развиваться у «Микрана» производство нитрид-галлиевых компонентов.

Другие компании, к сожалению, не очень активны в области продвижения собственных технологий нитрида галлия на коммерческий рынок. Возможно, в этом есть свой резон, потому что зарубежные производители СВЧ-компонентов ушли далеко вперед, российский рынок захвачен ими, несмотря на активное противодействие со стороны государства, и конкурировать с ними действительно сложно.



Но ведутся же разработки СВЧ-компонентов в нашей стране?

Ведутся. Но, на мой взгляд, бессистемно. Я часто спрашиваю у представителей компаний, которые этим занимаются: «Зачем вы делаете этот компонент? Какова ваша конечная цель? Кому, в каких объемах и по какой цене вы собираетесь его продавать?» И в ответ слышу: «Нам сказали, что будет востребован „этот диапазон“, поэтому мы разрабатываем для него». Кто и когда сказал, уже не очень помнится; как это соотносится с действительностью – никто критически не анализирует. В результате силы тратятся, получаются невостребованные приборы, а конкуренция иностранным производителям в областях параметров, которые реально нужны, не получается. Это в лучшем случае.

Кроме того, отечественные полупроводниковые СВЧ-компоненты – как, впрочем, и цифровые БИС – зачастую изготавливаются на зарубежных фабриках, поэтому их тоже, строго говоря, нельзя назвать отечественными.

Почему? Ведь сами компоненты разрабатываются у нас.

Если мы говорим об интегральных схемах, там действительно есть существенная российская интеллектуальная составляющая, по крайней мере, в схемотехнике и топологии. Что же касается СВЧ-транзисторов, по сути, это зарубежные решения. В них основную роль играют полупроводниковые структуры и технологии их получения, которые зарубежная фабрика не раскрывает и не позволяет произвольно менять разработчику. Так что, когда говорят, что транзистор разработан у нас, – это определенное лукавство.

Но есть проблема, еще более важная для отечественной СВЧ-электроники. Технологии GaAs и GaN у нас всё же движутся вперед, и есть перспектива того, что в относительно скором будущем компоненты на этих материалах будут полностью российскими. Однако СВЧ-электроника развивается таким образом, что область применения материалов AlN становится всё уже. Есть популярная картинка, которую часто показывают на презентациях: плавает маленькая рыбка, на которой написано «GaAs», за ней плавает и пытается ее съесть рыбка побольше с надписью «GaN», за ней охотится рыба «SiGe», а за ней – самая большая рыба, «CMOS», ИС на объемном кремнии. Мировой коммерческий рынок СВЧ устроен сегодня так.

Цена объемного кремния настолько ниже цены материалов AlN, а диаметры обрабатываемых пластин и степень интеграции субмикронных элементов настолько

выше, что он вытесняет их из всех сегментов применения, где может обеспечить приемлемые электрические характеристики – это практически вся техника обработки радиосигнала в интеграции на одном кристалле с АЦП, ЦАП, микропроцессорами, памятью, а сегодня и ПЛИС. Уделом нитрида и арсенида галлия, фосфида индия и всех их вариаций остаются только самые последние каскады передатчиков и первые каскады приемников, где нужны сверхмалошумящие и очень мощные компоненты.

Например, в базовых станциях сотовой связи находит применение традиционная СВЧ-электроника на арсениде или нитриде галлия. Но практически вся СВЧ-составляющая абонентских устройств 5G, высокоскоростной беспроводной Интернет, автомобильные радары – области, для которых характерны наибольшие объемы производства, стремительно мигрируют в объемный кремний либо, в некоторых случаях, в SiGe. Высокоинтегрированные ИС на кремнии захватывают сегодня все востребованные диапазоны частот, включая сантиметровой, миллиметровый до 100 ГГц и более.

Даже если говорить о нашей компании, традиционно мы работаем в таких областях, где кремний использовать нецелесообразно: физически невозможно достичь требуемых мощностей. Но в новых направлениях, таких как коммерческие АФАР, его применение уже обосновано, и мы начинаем работать над возможностью проектирования ИС на основе кремниевых технологий.

Объемный кремний вытесняет материалы AlN из всех сегментов применения, где может обеспечить приемлемые электрические характеристики

Однако простая житейская проблема заключается в том, что кремниевых субмикронных СВЧ-технологий у нас в стране нет, как нет и видимого развития в этом направлении. Да, у нас есть ряд кремниевых производств, но они ориентированы на такие изделия, как микропроцессоры, силовые приборы или низкочастотные аналоговые ИС. СВЧ-кремний – это совершенно другие технологии, которые нужно ставить, отрабатывать. Это иные транзисторные структуры, металлы, необходимость в дополнительных элементах и т. п.

Означает ли это, что нам остро нужна кремниевая СВЧ-фабрика?

Это зависит от того, по какому пути пойдет отечественная электроника, да и страна в целом.

Если предполагается, что она будет интегрирована в глобальный рынок, то, вероятно, не нужна. В России поднять даже одну крупную субмикронную фабрику, способную конкурировать с такими производствами, как TSMC, GlobalFoundries или TowerJazz, практически невозможно. Не потому что у нас нет специалистов или не хватит денег: и того и другого у нас, на мой взгляд, достаточно. Причина этого уже много раз озвучивалась и на различных отраслевых мероприятиях, и в прессе. Себестоимость продукции фабрики напрямую зависит от объемов производства. Чтобы конкурировать по цене, нужно производить десятки, а то и сотни тысяч пластин большого диаметра в год. Главный вопрос, куда будет продаваться эта продукция в таких объемах. Войти в этот рынок, занять достаточно большую его долю за разумное время, чтобы окупить многомиллиардные инвестиции, которые нужны для строительства такой фабрики, крайне сложно. А производить и поставлять в любых необходимых количествах оригинальные разработки, выпускаемые на отработанных технологиях зарубежных производителей, можно.

Если же предполагать курс на закрытость, то, видимо, такая фабрика нужна, потому что, как я говорил, в любой области применения СВЧ-электроники – от сотовых сетей до радиолокации – преимущественную долю будет занимать кремний. Без него системы будущего построить невозможно.

Но тогда, во-первых, нужно быть готовым к тому, что произведенные на такой фабрике компоненты будут существенно дороже тех, которые доступны на мировом рынке, а во-вторых – это всё равно не будет гарантировать полной независимости. Те зарубежные фабрики, услугами которых мы пользуемся сейчас, тоже зависимы от оборудования, материалов, обслуживания, услуг, предоставляемых компаниями из других государств. Замкнуть этот цикл внутри одной страны в области кремниевых СВЧ-технологий не удалось никому, даже Китаю.

На мой взгляд, целесообразно интегрироваться в мировую электронную промышленность. Наша компания пока именно так и работает. Мы пользуемся услугами различных контрактных производств по изготовлению элементов наших изделий современного уровня, включая тонкопленочные микроплаты, заказные разъемы, транзисторы. Мы включены в международную производственную кооперацию. Пока такая возможность есть. Конечно, это может прекратиться – такой риск существует. Но только так, будучи частью глобального рынка, можно конкурировать на равных с мировыми производителями, пусть и в относительно узких сегментах.

Как вы оцениваете уровень вашей компании в сравнении с глобальными игроками?

Мы второй год участвуем в выставке European Microwave Week. В прошлом году она проходила в Мадриде, в этом – в Париже. Главный результат от этого участия для меня в том, что я стал понимать: мы занимаемся тем же, чем и наши зарубежные коллеги на сравнимом техническом уровне. Мы говорим с ними на равных, перед нами стоят одни и те же технические проблемы, и способы их решения близки.

И мы не единственные. Есть еще российские компании, выпускающие СВЧ-оборудование и устройства, которые выглядят очень достойно в палитре международного рынка.

«Микроволновые системы» участвуют в этих выставках со своей продукцией? Удастся что-то поставлять на экспорт?

Мы разработали специальную серию экспортных приборов с учетом того, что может быть востребовано на зарубежных рынках – не только в Европе, но и в других регионах. Эти изделия похожи на те, которые мы продаем в России, но у них другие разъемы, источники питания и т. п. Кроме того, за рубежом нет таких жестких требований в отношении массы изделия. На российском рынке по соотношению выходной мощности широкополосных усилителей к единице массы мы можем дать фору многим известным производителям. При разработке экспортных изделий мы не ставили перед собой такую задачу.

Эту серию мы продвигаем за рубежом второй год, но не очень активно: фактически, только на наших стендах на выставках. Продажи уже были, но совсем небольшие. Пока успехом это назвать нельзя.

Тем не менее мы видим, что можем работать на зарубежных рынках. Это заметно в том числе по тому, что уже на второй выставке интерес к нам вырос, было больше переговоров. Однако запросы от зарубежных компаний больше касаются совместных разработок, чем поставок предлагаемой нами продукции. В мире достаточно много компаний – европейских, индийских, турецких, израильских и др., которым нужны специализированные разработки. И, я думаю, у нас в плане экспорта больше перспектив по созданию заказных продуктов для конкретных проектов, которые уже впоследствии найдут промышленное применение. Такие переговоры мы уже ведем.



Возвращаясь к полупроводниковым материалам, сейчас много говорится о перспективности карбида кремния. Его участь в будущем такая же, как у арсенида и нитрида галлия?

Карбид кремния – это в первую очередь не СВЧ, а силовая электроника. У нас был период, когда мы им увлекались, даже разработали несколько изделий полностью на карбид-кремниевых транзисторах, но практически сразу сняли их с производства – и не без оснований. Сегодня мировая промышленность карбид-кремниевые СВЧ-транзисторы не производит из-за непреодолимого проигрыша в КПД и частотных свойствах по сравнению с нитрид-галлиевыми приборами.

Вы уже затронули тематику СВЧ-электроники гражданского применения: сети 5G, автомобильные радары. Как вы считаете, в каких секторах гражданского рынка хорошие шансы у российских производителей СВЧ-устройств?

В гражданской электронике сейчас очень много областей, где находит применение СВЧ-техника. У нас, например, есть работы в области базовых станций для железных дорог. АФАР, которыми мы сейчас занимаемся, – тоже гражданского назначения.

Я думаю, что и у нас, и у других компаний, занимающихся СВЧ-электроникой, могло бы быть больше возможностей в области коммерческого телекоммуникационного оборудования, но для этого нужны крупные государственные проекты. Без защиты отечественных производителей конкурировать с зарубежными телекоммуникационными гигантами невозможно. Если на этом рынке появляется новый производитель, предлагающий что-то новое, опасное для крупных корпораций, у них всегда найдутся ресурсы, чтобы его подавить на ранней стадии – просто-напросто ценой. В лучшем для такой новой компании случае ее купят, в худшем – разорят. Да и те же операторы связи не станут обращать на нее внимание и в какой-то мере будут правы: у них уже всё есть от крупных проверенных поставщиков. Поэтому если что-то у некоторых компаний и получается, то это лишь отдельные специализированные решения, которые не дают серьезного развития.

Поэтому и нужны большие государственные проекты. У нас не так много успешных примеров такого рода. Можно вспомнить разве что цифровое телевидение.

Если говорить о тех же сетях 5G, в абонентский сектор войти, на мой взгляд, невозможно в принципе. Это уже пробовали – не получилось ни разу. Но в область базовых станций войти можно, если содействовать приобретению отечественного оборудования операторами. Здесь

в России достаточно компетенций, и если такой проект будет, я особых проблем не вижу.

Всё то же самое касается любых других видов связи: релейной, космической... Сейчас есть очень интересный проект по обеспечению устойчивой связью Арктики, всего северного побережья. Там из-за угла наклона орбит космическая связь практически не работает, а построение сети наземных станций нецелесообразно, поэтому обсуждаются проекты сети тропосферной связи. Для этого требуется большое количество различной аппаратуры, и вся она может быть отечественной – от активных антенн и СВЧ-оборудования до модемов.

Другая перспективная область – гражданская логистика. Здесь тоже имеется множество потенциальных приложений для отечественной СВЧ-техники, например мониторинг воздушного пространства для обеспечения безопасности полетов и отслеживания малых беспилотных летательных аппаратов, которых становится всё больше.

У российских компаний, занимающихся СВЧ-электроникой, могло бы быть больше возможностей в области коммерческого телекоммуникационного оборудования, но для этого нужны крупные государственные проекты

К этой же теме относятся и упомянутые автомобильные радары. Этим тоже можно заниматься, но здесь необходима международная кооперация, потому что это массовое производство, миллиметровый диапазон и объемный кремний, а такое сочетание нам одним не по силам. Помимо отсутствия собственных кремниевых СВЧ-фабрик, у нас, мягко говоря, не так много специалистов в области разработки устройств миллиметрового диапазона на объемном кремнии.

Неужели у российских компаний вообще нет шансов в области абонентского телекоммуникационного оборудования? Допустим, с собственными смартфонами действительно есть негативный опыт. Но, может быть, возможно войти в цепочку поставок мирового бренда со своими модулями или МИС?

В принципе, такую возможность исключить нельзя. Но это очень долгий путь. Чтобы туда войти, нужно заработать репутацию, приобрести достаточную известность. Вас должны заметить одни, другие, третьи... Это займет много лет.



Кроме того, придется конкурировать с разработчиками СВЧ-модулей и МИС из других стран, а их очень много, во много раз больше, чем у нас. В том же Китае, например, только в одной компании СЕТС-13 (HSRI), занимающейся этой тематикой, работает несколько сотен дизайнеров только СВЧ МИС. Во всей электронной промышленности России их едва наберется сотня.

У нас всё-таки исторически другая ниша: сложные уникальные изделия. Пока конкурировать в сфере потребительской техники будет очень сложно.

Для традиционной ниши российской СВЧ-электроники специалистов хватает? Испытываете ли вы острую потребность в квалифицированных кадрах?

Потребность испытываем. У нас несколько открытых вакансий, мы постоянно ищем хороших специалистов. Изначально наш коллектив составляли в основном выходцы из таких крупных организаций, как ЦНИРТИ, НПП «Исток» и др. За годы много людей сменилось. Брали выпускников и студентов старших курсов вузов, но мало кто из них оставался. Сейчас предпочитаем всё-таки брать людей с опытом.

Направление полупроводниковой СВЧ-электроники развивается очень быстро, и отстать проще простого

Из-за риска, что студент не останется на предприятии, или из-за качества подготовки?

Прежде всего из-за качества подготовки. К сожалению, ситуация такова, что если выпускник профильной специальности знает, что такое децибелы или коэффициент стоячей волны, можно считать, что вам повезло. Я почти не преувеличиваю. По крайней мере, так в центральном регионе. Подальше от центра, например, в ТУСУР, по нашим наблюдениям, подготовка лучше.

Может быть, эту ситуацию могло бы исправить сотрудничество с вузами, ведение студентов с ранних курсов, чтение лекций вашими специалистами?

Это, наверное, правильный подход, но у нас недостаточно ресурсов для этого. Все наши разработчики заняты текущими проектами. Им просто некогда читать лекции. Каждый из них выполняет в год по пять таких задач, только одну из которых обычно решает за год инженер в государственном НИИ. Число ОКР, одновременно выполняемых разработчиками, часто заметно превышает число самих разработчиков.

Но, конечно, мы не отвергаем перспективных студентов. Так, в этом году у нас будет защищать диплом студент, который пришел к нам на производство еще на втором курсе.

Помогают ли в решении такого большого объема задач средства автоматизации? Насколько, по вашему опыту, САПР позволяют ускорить разработку?

Современные твердотельные СВЧ-приборы в принципе невозможно разработать без использования САПР.

Если говорить о разработке МИС, изредка бывают случаи, когда проект, созданный в САПР, получается с первого раза. Чаше – со второго. Если же рассматривать всю цепочку от МИС до модуля или блока, ситуация существенно сложнее. Нет сегодня таких САПР СВЧ, которые реально, а не в демонстрациях производителей САПР обеспечивали бы весь процесс конструирования сложного изделия. В модуле или блоке можно промоделировать тепловой режим, устойчивость к определенным механическим воздействиям, оценить те или иные электрические параметры в условиях идеальных блок-схем. Экспериментальную отработку вопросов надежности, ЭМС, влияния элементов конструкции САПР уже не заменяет: слишком много влияющих факторов.

Кроме того, всегда нужно помнить, что САПР – это инструмент, который приносит пользу только в руках мастера. Умения пользоваться средствами САПР недостаточно: специалист по СВЧ должен не просто овладеть софтом, он должен понимать физику изделия, его окружение, где и как оно будет использоваться, критически оценивать адекватность и границы применимости моделей компонентов, влияние конструкции и технологии. Достаточно сказать, что небольшая ошибка в приклейке мощной МИС может привести к изменению ее характеристик относительно результатов расчета САПР на 50% и более. Так что «чистых» расчетчиков мы у себя не держим, каждый проходит через практику экспериментальной отработки изделий.

САПР – хороший помощник специалиста. А чтобы стать специалистом по разработке СВЧ-устройств, нужно прочитать сотни статей по своей теме за последние лет двадцать, постоянно знакомиться с новыми публикациями – а это десятки полезных книг в год, издаваемых как за рубежом, так и в нашей стране. Направление полупроводниковой СВЧ-электроники развивается очень быстро, и отстать проще простого. И, конечно же, нужно постоянно заниматься практическими проектами, вникая в их суть и понимая, как устройство работает в реальном взаимодействии с окружающими объектами.

Спасибо за интересный рассказ.

С.А.А.Кишинским беседовали
Ю.С.Ковалевский и Г.А.Логинова

МЫ СТРЕМИМСЯ РАЗРАБАТЫВАТЬ КОМПОНЕНТЫ, КОТОРЫЕ ПОЗВОЛЯТ ПОТРЕБИТЕЛЮ СОЗДАТЬ ЛУЧШЕЕ ИЗДЕЛИЕ

Рассказывает заместитель генерального директора по развитию электронной компонентной базы АО «Микроволновые системы» В. М. Миннебаев
Опубликовано в журнале «Электроника. НТБ», 2022г., № 6



Компания «Микроволновые системы» хорошо известна на отечественном рынке СВЧ-электроники прежде всего, как разработчик и производитель широкополосных и сверхширокополосных СВЧ-усилителей различных диапазонов частот от 0,5–1 ГГц до 22 ГГц. Некоторое время назад предприятие начало разрабатывать собственные СВЧ-компоненты с целью заменить в своих изделиях ключевую импортную электронную компонентную базу и компоненты, в том числе снятые с производства, и сейчас предлагает на рынке услуги по разработке СВЧ ЭКБ в качестве дизайн-центра.

О том, каким видит компания новое направление, насколько востребованы подобные услуги на российском рынке, а также об испытаниях ЭКБ и технологических линиях изготовления СВЧ-кристаллов, доступных российским дизайн-центрам, мы поговорили с заместителем генерального директора по развитию ЭКБ АО «Микроволновые системы», к. т. н. Вадимом Минхатовичем Миннебаевым.

Вадим Минхатович, какие задачи сейчас стоят перед компанией в области разработки ЭКБ?

Компания «Микроволновые системы» разрабатывает ЭКБ как дизайн-центр уже несколько лет. Предпосылкой к тому, чтобы заняться этой деятельностью, стало присутствие в плане производства модулей с длительным сроком жизни, разработанным несколько и десятилетиями назад. За это время изменившиеся технологические пределы привели к снятию с производства применявшейся в изделиях ЭКБ – возникла необходимость разработать фактические собственную ЭКБ, соответствующую по всем характеристикам выпускавшейся ранее.

Очевидно, что мало разработать ЭКБ, ее необходимо стабильно производить. И здесь нам в определенном смысле повезло: за последнее время не только выросли китайские foundry, но появились и отечественные фабрики, производящие СВЧ ЭКБ и предоставляющие PDK дизайн-центрам.

Далее, по мере развития отечественного радиоэлектронного рынка, обусловленного в том числе и санкционной политикой недружественных государств, возникла потребность в разработке компонентов не просто как составных частей собственных изделий, но и как продуктов, которые могут быть реализованы сторонним заказчиком.

Именно это направление АО «Микроволновые системы» и намерено развивать – мы стремимся стать полноценным дизайн-центром, осуществляющим весь комплекс работ по разработке кристаллов, корпусированию СВЧ-компонентов и испытаниям. Данное направление мы представили на выставке ExpoElectronica в апреле текущего года, чтобы, с одной стороны, заявить себя в качестве разработчика ЭКБ СВЧ-диапазона, а с другой – провести маркетинговые экспресс-исследования и понять, что востребовано на рынке в первую очередь.

Насколько успешным вы считаете участие в этой выставке с таким посылом?

Интерес был очень большой: впервые за много лет участия весь подготовленный к выставке рекламный материал разошелся менее, чем за полтора дня. В то же время мы увидели, что далеко не всем потенциальным заказчикам нужны те компоненты и модули, присутствующие в нашем портфеле, которые уже разработаны и поставки которых можно организовать в сжатые сроки. По итогам выставки к нам обратилось достаточно много предприятий, так что я оцениваю участие в данной выставке очень позитивно, и в настоящее время формируется портфель заказов на разработку силами нашего дизайн-центра.

Эти заказы на разработку связаны с заменой тех позиций, которые перестали поставаться в связи с новыми санкциями?

Мы не планируем заниматься прямой заменой зарубежных компонентов. Мы стремимся разрабатывать такие компоненты, которые позволят потребителю создать лучшее по своим техническим и функциональным характеристикам изделие. При этом такая ЭКБ не станет узкоспециализированной, она сможет применяться в широком спектре аппаратуры, поскольку требования к СВЧ-компонентам в определенных частотных диапазонах у различных заказчиков во многом схожи. Поэтому, даже когда компания обращается к нам из-за того, что компонент, который она применяла, оказался недоступен, мы предлагаем разработать не точный аналог, а наиболее подходящее в данном конкретном случае техническое решение.

То есть вы не занимаетесь созданием аналогов pin-to-pin?

Да, именно так. Это связано прежде всего с тем, что импортные корпуса для СВЧ ЭКБ стали сейчас недоступны, а разработанные за последние годы отечественные – отличаются от зарубежных. Стратегически мы планируем поставлять ЭКБ в отечественных корпусах, либо в бескорпусном исполнении.

Как к этому относятся разработчики аппаратуры? Ведь если им нужно заменить некий компонент, а вы предоставляете аналог в другом корпусе, им нужно вносить изменения в конструкцию изделия, топологию платы.

Они относятся к этому с пониманием, особенно с учетом сложившейся ситуации. Вообще говоря, разработчики модулей и блоков и раньше не редко сталкивались с ситуацией, когда при замене на аналог компонента, который по тем или иным причинам стал недоступен, не удавалось обойтись без внесения изменений в конструкцию аппаратуры. Это могло быть связано с различными факторами, например, с тем, что у разных производителей применяются различные технологии, не позволяющие создавать 100-процентно взаимозаменяемые компоненты.

В таких случаях выбор невелик: либо конструкцию изделия нужно изменить, либо оно вообще не будет выпускаться. Я надеюсь, что сложившаяся ситуация всё-таки приведет к тому, что мы – аппаратурщики, радисты и электронщики – начнем видеть и слышать друг друга, и разработчики аппаратуры будут полагаться на ЭКБ от производителя, а не на то, что им удастся купить «на радиорынке за три копейки», а потом требовать от электронного предприятия изготовить аналог, который будет также стоить «три копейки», и при этом обеспечивать целый сонм характеристик, которым зарубежное ЭКБ не удовлетворяет.

Мы стремимся стать полноценным дизайн-центром, осуществляющим весь комплекс работ по разработке кристаллов, корпусированию СВЧ-компонентов и испытаниям

Является ли для вас конкурентом Китай? Может ли он в условиях ограничений от западных компаний заполнить освободившуюся нишу?

За последние несколько лет Китай в вопросе разработки СВЧ ЭКБ вышел на уровень крепкого середняка, в стране существует целый ряд электронных компонентов, которые китайские инженеры спроектировали и изготавливают на своих фабриках с характеристиками, не уступающими западным аналогам. В целом, Китай продвинулся в вопросе производства СВЧ-компонентов, пожалуй, дальше нас. И с технической точки зрения составить конкуренцию отечественным дизайн-центрам и предприятиям микроэлектроники китайские производители могут.

Однако этому мешает то, что Китай остается для российского рынка «загадочной» стороной в плане тех-



нического взаимодействия, логистики, выполнения договоренностей. Порой один и тот же китайский производитель по одним вопросам отвечает мгновенно, а по другим – тянет с ответом месяцами. И здесь играет свою роль, в том числе, закрытость китайских производителей.

Понятно, что ответ на следующий вопрос сильно зависит от конкретной ситуации, особенностей задачи, но может быть, можно услышать хотя бы ориентировочные цифры. Сколько времени проходит с того момента, как заказчик обратился к вам с задачей разработки компонента, до того, как он этот компонент получит?

Действительно, здесь много зависит от сложности проекта. Если говорить об относительно простых устройствах, например, о типичном усилителе, то проектирование, как правило, занимает от трех до четырех месяцев, для сложных многофункциональных СВЧ МИС – до восьми-деяти.

Замена испытаний на моделирование может заработать только тогда, когда появятся аттестованные технологии

Следующий этап – это запуск и производство. На разных фабриках он проходит несколько по-разному, но в среднем этот этап занимает от четырех до семи месяцев. Зависит этот срок также от целого ряда факторов, включая загрузку фабрики и наличие других запускаемых проектов. Первый запуск обычно осуществляется на мультипроектной пластине (MPW – multi-project wafer), на которой размещается несколько кристаллов от разных заказчиков.

Конечно, можно ускорить процесс, заказав изготовление целой пластины уже при первом запуске, но для этого нужно быть достаточно уверенным в проекте: риски в этом случае весьма велики.

А дальше срок определяется логистикой. Если пластина изготавливается за рубежом, добавляются задержки, связанные с транспортировкой и таможенными процедурами.

Итого от начала разработки до получения первых образцов в случае нашего усилителя пройдет не менее девяти месяцев.

Но на этом история не заканчивается. Далее начинается работа, которая при создании новых изделий ЭКБ требует, пожалуй, наибольших временных затрат. Это разного рода электрические, механические и климатические испытания, в особенности – испытания на надежность,

которые занимают несколько месяцев, и то при условии, что все идет хорошо и никаких несоответствий при испытаниях не выявляется. Если же заявленные параметры при испытаниях не подтверждаются, то проект нужно корректировать, и весь процесс запускается заново.

А как сейчас обстоят дела с заменой испытаний на моделирование? Ведь это могло бы сильно сократить сроки создания ЭКБ.

Да, этот вопрос обсуждается, но пока соответствующий комплекс стандартов части ЭКБ не принят. В любом случае, такой подход может заработать только тогда, когда появятся аттестованные технологии. Допустим, несколько предприятий в России изготовили изделия по одному технологическому процессу, провели испытания, показали, что данный техпроцесс обеспечивает заданные параметры, и аттестовали его. К такому техпроцессу могут применяться расчетные модели, которые будут в достаточной мере релевантны.

Особенно это касается вопросов надежности. Механические параметры, тепловые режимы, некоторыми другими характеристиками можно смоделировать с достаточно высокой точностью, и если соответствующий стандарт будет принят, то он поможет в вопросе сокращения объема испытаний.

Однако, с моей точки зрения, такой стандарт должен быть привязан и к конкретному программному обеспечению – чтобы все участники процесса моделировали одинаково. В противном случае может возникнуть ситуация, когда в разных компаниях, у разработчиков, потребителей, контролирующих организаций расчет будет выполняться с использованием разных моделей и вычислительных методов, и результаты нельзя будет сравнивать между собой. В итоге вопрос перейдет из плоскости разработки ЭКБ в плоскость «спора программистов».

Еще одна дискуссионная тема – испытания в составе аппаратуры. На ваш взгляд, можно ли и имеет ли смысл использовать этот подход для сокращения времени разработки ЭКБ?

С моей точки зрения, этот подход безусловно имеет смысл. Согласно действующим нормам и здравому смыслу, задача испытаний заключается в подтверждении соответствия ЭКБ требованиям к внешним воздействующим факторам. Поэтому, испытав модуль/блок, вы тем самым подтверждаете, что электронные компоненты в его составе не выйдут из строя при данных воздействиях.

Касаемо испытаний, я бы затронул еще одну активно обсуждаемую тему: информационную безопасность.



Здесь, на мой взгляд, нужно понимать, что соответствующие проверки должна проходить не вся ЭКБ, а лишь та, которая так или иначе может несанкционированно передавать информацию с использованием имеющихся каналов обмена данными. Твердотельная СВЧ ЭКБ настолько малоразмерна, в ней настолько мало элементов, что просто отсутствует место для физической реализации подобных недокументированных возможностей, а любое изменение ее топологии буквально видно в микроскоп. Поэтому проверять каждый такой компонент на предмет информационной безопасности совершенно нецелесообразно. Это лишнее действие, которое не приводит ни к чему, кроме увеличения сроков разработки и удорожания изделий.

Вы сказали, что хотя ваша компания разрабатывает ЭКБ для конкретных заказчиков, область ее применения может быть достаточно широкой. Работаете ли вы с организациями, которые занимаются в том числе унификацией ЭКБ, такими как ФГБУ «ВНИИР»?

Мы завершили проведение испытаний части уже разработанной нами ЭКБ, выпустили ТУ и осуществляем производство под контролем ОТК. Следующим шагом мы планируем подтвердить результаты испытаний и привести ТУ в соответствие требованиям Минпромторга России. Эта работа как раз предполагает взаимодействие с ВНИИР. Мы ожидаем, что с несколькими такими инициативными работами мы выйдем на этот институт к концу года.

Это комплексная задача, которая придаст новый статус нашей ЭКБ и позволит применять ее в более широком спектре областей, включая те, где требования к качеству и надежности компонентов особенно высоки, например в навигационных приборах авиалайнеров и морских судов.

Из того, что вы планируете выходить на ВНИИР с уже разработанными изделиями в инициативном порядке, можно сделать вывод, что вы не пользуетесь субсидиями на разработку ЭКБ. Это так?

Да, это так. Пока мы не рассматривали для себя вопрос использования субсидий в этой области. К разработке ЭКБ для внешних заказчиков предприятие только приступает. Изначально созданы компоненты только для использования их в основной нашей продукции. Соответственно, наш путь на рынок ЭКБ начинался с того, что у нас были собственные компоненты, которые мы были готовы предложить этому рынку.

Механизм субсидий основан на противоположном подходе: сначала необходимо провести исследование рынка, выявить его потребности, а затем сформировать ТЗ на разработку востребованной рынком ЭКБ.

Опыт работы в рамках постановления Правительства РФ № 1252 в 2021 году показал, как сложно разработчикам ЭКБ предоставить необходимые документы, подтверждающие заинтересованность якорного заказчика в их разработках

Более того, для получения субсидии необходимо документально подтвердить соответствующую потребность рынка в ближайшие 7 лет. Как член экспертного совета по отбору заявок на получение субсидий по постановлению Правительства РФ от 24 июля 2021 года № 1252 могу сказать, что опыт работы в рамках постановления в 2021 году показал, как сложно разработчикам ЭКБ предоставить необходимые документы, подтверждающие заинтересованность якорного заказчика в их разработках, и тем самым убедить экспертный совет одобрить их заявку.

Не исключаю, что «Микроволновые системы» воспользуются этим механизмом в будущем. Возможно даже, что по итогам работы на выставке ExpoElectronica – 2022 у нас появятся заказчики, работающие на перспективу, и вхождение в их проекты позволит нам в том числе использовать субсидии в качестве дополнительного финансирования наших разработок.

Вообще, я считаю, что в сфере СВЧ ЭКБ нам как дизайн-центру имеет смысл делать ставку именно на перспективные проекты, а не на частные случаи замены импортного компонента на аналог. Нужно работать вдолгую. Тогда это будет эффективно с точки зрения и прикладываемых усилий, и использования субсидий, и подтверждения результата.

Почему возникают проблемы с подтверждением заинтересованности якорных заказчиков? Разве этот вопрос не должен решаться в рамках сквозных проектов?

Да, идея сквозных проектов и заключается в том, чтобы выстроить и закрепить цепочку кооперации от якорного заказчика по всем технологическим переделам. Но пока эта схема в полной мере не заработала. Нужно понимать, что это очень непростой процесс. Рассмотрим в качестве примера структуру цепочки кооперации некоего проекта из области телекоммуникационного оборудования. Допустим, есть некая компания, оказывающая услуги связи. Она выступает якорным заказчиком проекта. Но она не использует ЭКБ, она использует комплексные программно-аппаратные решения. Интеграторы, предоставляющие такие решения, используют аппаратуру. И только разработчик аппаратуры применяет в ее составе ЭКБ, хотя и это некоторое упрощение: на практике существует еще целый ряд промежуточных звеньев – блоки, субблоки, модули...



Должен существовать единый информационный ресурс, поддерживаемый государством, на котором разработчики ЭКБ могли бы свободно и самостоятельно размещать данные о своей продукции

Каждое из этих звеньев формулирует требования по-своему. Даже между соседними звеньями нужны своего рода толмачи, которые перевели бы требования заказчика на язык разработчика. И, конечно, гораздо сложнее выстроить цепочку требований, сформировать понимание на протяжении нескольких звеньев.

До недавнего времени у заказчика вообще не было стимула тратить время и силы на выстраивание таких цепочек. Ему было проще и выгоднее выбрать из того, что доступно на рынке, чем ставить задачу разработчику. Это происходило на всех переделах.

Сейчас ситуация изменилась из-за введенных ограничений на поставку в Россию как аппаратуры, так и ЭКБ производства западных стран, и выстраивание сквозных цепочек стало необходимым. Плюс к этому государство стало финансово поддерживать заказчиков, внедряющих отечественные решения – это также стимулирует их обращаться к российским разработчикам и, кроме того, позволяет преодолеть проблему высокой цены комплектующих на ранних этапах. Ведь стоимость изделий всегда тем ниже, чем больше объем выпуска, а в области ЭКБ это проявляется особенно остро. И когда российское предприятие создает новый компонент, необходимо простимулировать спрос на него, чтобы он стал выпускаться достаточно большими сериями, что позволит снизить его цену и повысить привлекательность для заказчиков. Это, в свою очередь, еще больше увеличит объем выпуска и т. д.

Резюмируя, сложившаяся ситуация с недоступностью зарубежных компонентов и меры поддержки заказчиков и производителей ЭКБ со стороны государства создают благоприятные условия для запуска процесса организации и реализации сквозных проектов, но нужно еще проделать большую работу по выстраиванию цепочек кооперации.

В свете сказанного насколько актуальной остается проблема доступности информации о разрабатываемой ЭКБ, упомянутых вами справочников, ресурсов в Интернете?

Бесспорно, она остается актуальной. Сквозные проекты, даже при их полноценной реализации, не отменяют полностью необходимость подбирать комплектующие

по справочным ресурсам. И действительно, в России существует очень острая проблема с доступом к информации о разработках в сфере ЭКБ.

Справедливости ради нужно сказать, что эта проблема есть во всех странах. Другой вопрос, что в мире на несколько порядков больше производителей ЭКБ, чем в России, поэтому в Интернете вы обязательно найдете что-то подходящее для вас.

Но у нас с информацией об ЭКБ ситуация очень сложная, о чем неустанно повторяет Павел Павлович Куцко, генеральный директор АО «НИИЭТ», а в прошлом – руководитель ФГУП «МНИИРИП», и это уже много лет обсуждается на различных площадках. В первую очередь речь идет о новых изделиях, потому что все, что было разработано десятки лет назад, было включено в те или иные справочники. По новым изделиям существует несколько баз данных – у ФГБУ «ВНИИР», у ЦКБ «Дейтон», у других организаций; периодически осуществляются рассылки по производителям с просьбой предоставить данные для этих справочников. Но эти базы, во-первых, разрознены, а во-вторых, не находятся в свободном доступе. Должен существовать единый информационный ресурс, поддерживаемый государством, на котором разработчики ЭКБ могли бы свободно и самостоятельно размещать данные о своей продукции.

Единый реестр российской радиоэлектронной продукции, поддерживаемый Минпромторгом России, тоже не полностью решает данную задачу, потому что для того, чтобы попасть в этот реестр, нужно написать несколько килограммов бумаги, и потом писать столько же каждый год, чтобы оставаться в данном реестре. С одной стороны, это безусловная защита от всякого рода мошенников, но с другой – труднопреодолимая преграда и для честных производителей. Это как начинать строительство гостиницы с глухого забора вокруг: безопасность будет на высшем уровне, но придут ли туда постояльцы? Смогут ли они найти вход?

Эта проблема видна по количеству изделий ЭКБ, которые присутствуют в реестре: их там всего пара десятков. Неоднократно обсуждался вопрос, что в данный реестр должны автоматически вноситься изделия ЭКБ, разработанные за государственный счет. Тогда и у предприятий будет дополнительный стимул обеспечивать производство разработанных изделий, а не класть эти разработки «в долгий ящик», поскольку информация о них уже будет в общем доступе. Хорошая идея была с площадкой «ЭКБ-Маркет» достаточно информативной и бесплатной для пользователей. Но по каким-то причинам она перестала поддерживаться.



Так что сейчас реально работающей, единой, актуальной и удобной для пользователей информационной площадки по ЭКБ в РФ нет.

Еще одна тема, о которой хотелось бы поговорить отдельно, – кристалльные производства. Вы сказали, что дизайн-центрам в области СВЧ есть куда обратиться за изготовлением разработанных компонентов. Можно ли считать этот вопрос решенным или все же есть те или иные сложности?

Скажу так: в России достаточное количество предприятий электронной промышленности в сфере СВЧ, но не каждое такое предприятие является тем, что в нашей отрасли принято называть фаундри. Главным отличием фаундри является наличие PDK, доступного любому дизайн-центру. На основе данного пакета дизайн-центр может разработать ЭКБ, которая соответствует технологии этой фабрики и которую без проблем можно будет на ней изготовить.

Большинство отечественных предприятий, обладающих кристалльными производствами, не предоставляют PDK и, в основном, изготавливают компоненты собственной разработки. Такой компонент разрабатывается по заказу другой компании, но интеллектуальная собственность остается в руках самого предприятия.

Среди отечественных предприятий электроники лишь единицы предоставляют PDK. Прежде всего, это АО «Микрон» – крупнейшее в стране микроэлектронное предприятие. Но для той области, в которой работают «Микроволновые системы», эта фабрика мало востребована, потому что это – кремниевое производство, а применение кремния в диапазоне выше 4-5 ГГц существенно ограничено.

В области широкозонных технологий в России дальше других продвинулось АО «Светлана-Рост». У предприятия есть ряд технологий, для которых оно предлагает PDK, и этой возможностью пользуется ряд дизайн-центров СВЧ-области, включая и нас. Есть ряд достаточно сильных предприятий, готовых оперативно откликнуться на запросы заказчиков, но только когда речь идет о производстве изделия, разрабатываемого самой компанией или как минимум в тесном сотрудничестве с ней. А фабрик, предоставляющих PDK для дизайн-центров, в СВЧ-области, пожалуй, больше и нет.

Есть еще один важный аспект. Если мы говорим о кристалльном производстве именно СВЧ-изделий, то в этой сфере существует очень много различных техпроцессов, и одной или даже несколькими фабриками сложно перекрыть их все. Поэтому, с моей точки зрения, эта инфраструктура должна быть распределенной. У нас есть производства,

которые относятся не только к электронной промышленности, но и к другим отраслям. Что-то есть у «Ростеха», что-то в «Росатоме», что-то у «Роскосмоса», даже в организациях, подведомственных Минобрнауки России, например у некоторых вузов, есть технологические линии. Если помочь предприятиям довести имеющиеся у них технологии до промышленного уровня, профинансировать приобретение недостающего оборудования и разработку PDK, можно было бы получить гораздо более целостную и полную производственную базу в масштабах страны.

В России достаточное количество предприятий электронной промышленности в сфере СВЧ, но не каждое такое предприятие является тем, что в нашей отрасли принято называть фаундри

Поддержка государства в этом направлении крайне важна, потому что современные кристалльные технологии довольно дороги, и ни коммерческие, ни даже отдельные государственные предприятия не смогут вложить достаточно средств, чтобы решить задачу запуска таких мини-фаундри.

Почему эти многочисленные производства до сих пор не разработали PDK на отработанные у них процессы? Неужели эта такая сложная задача?

Эта задача действительно непростая. На разработку PDK «с нуля» может потребоваться более двух-трех лет, и к этой работе должны быть привлечены различные специалисты – и технологи, и конструкторы, и радисты, и специалисты по САПР. Но главное то, что на решение такой задачи нужно потратить вполне ощутимые ресурсы, которые мгновенно не окупятся. Для компании инвестиции в разработку собственного PDK – это инвестиции в далекое и неочевидное будущее, если только компания изначально не предполагает зарабатывать на контрактных услугах фаундри. Поэтому, на мой взгляд, создание распределенной инфраструктуры фаундри в Российской Федерации на базе имеющихся производств следует поручить Минпромторгу, в том числе отдельно финансово поддерживая разработку PDK.

Востребованность технологий на основе материалов A³B⁵ – арсенида и нитрида галлия – будет расти

Вы упомянули об ограничениях применения кремния в области СВЧ. В чем заключаются эти ограничения и какие технологии, по вашему мнению, будут наиболее востребованы среди заказчиков услуг фаундри в данной сфере?

Объемный кремний и даже, наверное, в большей степени SiGe – довольно привлекательные материалы с точки зрения простоты техпроцесса и стоимости конечных изделий. Недавно была публикация о том, что был создан SiGe-транзистор для работы в диапазоне до 150 ГГц. И это при том, что постростовая технология SiGe мало отличается от кремниевой.

Однако на основе этих материалов невозможно получить изделия большой мощности или с малыми шумами. Поэтому востребованность технологий на основе материалов A3B5 – арсенида и нитрида галлия будет расти. Тем

более что сейчас набирает популярность технология нитрида галлия на кремнии, которая позволяет получить характеристики, такие же как у GaN/SiC, при существенно меньшей стоимости изделия. В мире эта технология уже достаточно широко применяется. Ведутся разработки и в нашей стране, причем в этом направлении работают несколько предприятий и институтов. Будем надеяться, что скоро мы увидим практические результаты этих работ.

| Спасибо за интересный рассказ.
С В. М. Миннебаевым беседовал Ю. С. Ковалевский

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АФАР РАДИОЛОКАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СВЧ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ СОБСТВЕННОЙ РАЗРАБОТКИ

А. А. Кищинский, В. Г. Чернов, А. В. Кондратенко, Д. А. Шишкин, П. С. Сорвачев, Ал. В. Редька, А. В. Бутерин,
А. С. Щербаков, В. М. Миннебаев, С. В. Миннебаев

АО «Микроволновые системы», г. Москва

Аннотация В статье представлены результаты работы АО «Микроволновые системы» в области создания радиотехнических систем и их составных частей с применением СВЧ компонентов собственной разработки. Это многофункциональные компактные решения с использованием технологии АФАР для авиационных, морских и сухопутных платформ, предназначенных для применения в интересах различных государственных служб и ведомств. Выполнение одновременной разработки компонентов и систем в АО «Микроволновые системы», а также накопление опыта и научно-технического задела позволяет уменьшить риски выполнения проектов, сократить технологические циклы разработки новых изделий, создает условия для ускоренного вывода на рынок новых изделий по принципам COTS-технологий «готовый к использованию». В материале представлены результаты разработки и испытаний ряда СВЧ монолитных интегральных схем и устройств на их основе, предназначенных для работы в СВЧ трактах радиолокационных систем, разрабатываемых на предприятии.

Ключевые слова: радиотехнические системы, активная фазированная антенная решетка (АФАР), «fabless-foundry», монолитная интегральная схема (МИС), полупроводник.

Сведения об авторах:

Кищинский Андрей Александрович
АО «Микроволновые системы»,
г. Москва, Щелковское шоссе, д. 5. стр.1
ak@mwsystems.ru

Чернов Владимир Германович
АО «Микроволновые системы»,
г. Москва, Щелковское шоссе, д. 5. стр.1
chernov@mwsystems.ru

Кондратенко Алексей Владимирович
АО «Микроволновые системы»,
г. Нижний Новгород, ул. Ковалихинская, д. 8
avk@mwsystems.ru

Шишкин Дмитрий Александрович
АО «Микроволновые системы»,
г. Москва, Щелковское шоссе, д. 5. стр.1
dash@mwsystems.ru

Сорвачев Павел Сергеевич
АО «Микроволновые системы»,
г. Нижний Новгород, ул. Ковалихинская, д. 8
sps@mwsystems.ru

Бутерин Александр Владимирович
АО «Микроволновые системы»,
г. Саратов, ул. Набережная, д. 18
buterin@mwsystems.ru

Щербаков Александр Сергеевич
АО «Микроволновые системы»,
г. Саратов, ул. Набережная, д. 18
as@mwsystems.ru

Миннебаев Вадим Минхатович
АО «Микроволновые системы»,
г. Москва, Щелковское шоссе, д. 5. стр.1
vm@mwsystems.ru

Миннебаев Станислав Вадимович
АО «Микроволновые системы»,
г. Москва, Щелковское шоссе, д. 5. стр.1
sm@mwsystems.ru

Редька Алексей Владимирович
АО «Микроволновые системы»,
г. Москва, Щелковское шоссе, д. 5. стр.1
aredka@mwsystems.ru

Введение

Мировые проблемы поставок электронных компонентов последних лет коснулись практически всех отраслей промышленности и наиболее чувствительно отразились на мировых производителях сложной наукоемкой радиоэлектронной аппаратуры – многие проекты и контракты в мире оказались под угрозой срыва или были сорваны.

Эти обстоятельства подвигли, в том числе и отечественных разработчиков радиоэлектронной аппаратуры, искать новые пути создания, как собственно электронных компонентов, так и аппаратуры на их основе с целью обеспечения выпуска конкурентоспособной и экономически целесообразной продукции.

В качестве одного из примеров возможного разрешения существующей проблемы ниже рассмотрен опыт АО «Микроволновые системы» в использовании общемировой специализации «fabless-foundry» в области создания полупроводниковых компонентов СВЧ для разработки радиолокационных систем.

Создаваемые радиолокационные системы

Радиолокационные системы обеспечивают функционирование в любое время суток при любых метеорологических условиях и в совокупности с летательными аппаратами вертолетного и самолетного типа позволяют создавать наиболее высокопроизводительные инструменты по контролю земной / морской поверхности и воздушного пространства.

Катастрофы морских и воздушных судов, аварийные ситуации происходят чаще всего в ночное время и в сложных метеорологических условиях.

Поэтому радиолокационный контроль ситуационной обстановки наиболее востребован при обеспечении поисково-спасательных операций, при решении задач контроля исключительной экономической зоны и охраны государственной границы, при борьбе с терроризмом и пиратством, при управлении трафиком в зонах интенсивного судоходства, и решении других задач.

Радиолокационный контроль земной / морской поверхности и воздушного пространства является одной из наиболее общих задач в интересах различных государственных служб и это обстоятельство послужило основанием выбора одного из направлений деятельности АО «Микроволновые системы» – создание многофункциональных радиолокационных систем для авиационной техники.

На предприятии пересмотрели устоявшийся порядок разработки радиотехнических систем и отошли от практики разработки новых систем с использованием компонентов, доступных к применению, но не в полной мере удовлетворяющих постоянно возрастающим требованиям – «вынужденного компромисса в сторону ухудшения тактико-технических характеристик создаваемых систем».

В области разработки и изготовления технически сложных и наукоемких сверхвысокочастотных радиотехнических систем этот вопрос стоит крайне остро в связи с тем, что новые свойства радиотехнических систем, в особенности радиолокационных систем с АФАР, в значительной степени обеспечиваются новыми свойствами ключевых компонентов, которые определяют не только технические характеристики, но и стоимость создаваемых систем.

Для создания систем с привлекательными показателями цена / качество и уменьшения рисков выполнения проектов новое направление деятельности АО «Микроволновые системы» развивает широкий набор компетенций, позволяющий создавать радиотехнические системы на основе компонентов СВЧ, специально разработанных для этих систем.

К современным летательным аппаратам предъявляется все больше требований, направленных на повышение эффективности применения в любое время суток, в неблагоприятных метеорологических условиях над сложным рельефом местности и над морской поверхностью, в том числе при внеаэродромном базировании. Эти требования в большей степени обеспечиваются бортовым радиоэлектронным оборудованием.

В свою очередь к бортовым радиолокационным системам также предъявляются дополнительные требования в расширении многофункциональных свойств, которые должны выполняться за счет введения новых режимов работы, функционирующих совмещенно или последовательно на разных этапах выполнения полетных заданий. Например, режимов, обеспечивающих безопасное выполнение поисковых работ в сложных условиях и исключающих ситуации, когда спасатель становится терпящим бедствие.

Целью проекта «АТЛАС» является разработка конкурентоспособных многофункциональных радиолокационных систем, которые должны стать базовыми изделиями для создания модельного ряда перспективных систем гражданского и специального назначения.

В проекте «АТЛАС» разрабатываются два типа РЛС, основные технические характеристики которых приведены в таблице 1.

Таблица 1

Основные технические характеристики РАС

Тип РАС	«АТЛАС-Х-01»	«АТЛАС-Ку-01»
Диапазон частот	X	Ku
Полоса рабочих частот, МГц	1500	500
Полоса зондирующего сигнала, МГц	60/500	60/500
Сектор сканирования, угловых градусов	120/90	120/90
Число каналов АФАР	384	256
Излучаемая импульсная мощность, Вт	400	250
Охлаждение/мощность потребления, Вт	Воздушное/2000	Жидкостное/1500

Разрабатываемые в АО «Микроволновые системы» радиолокационные системы (РАС) имеют следующие отличительные особенности:

1. Электронное сканирование по технологии АФАР, специальные способы управления лучом для обеспечения высокого темпа обзора пространства и практически одновременного совмещения различных режимов работы.

2. Сочетание режимов первичной радиолокации (работы с эхосигналами) и режимов вторичной радиолокации (работа с сигналами активного ответа) для обеспечения многофункциональности при решении задач радиолокации, навигации, связи, телеуправления.

3. Создание кодовых радиолокационных маркеров с активным ответом, предназначенных для размещения на удаленных объектах, за которыми РАС должна осуществлять траекторное слежение и с которыми РАС должна обеспечивать информационное взаимодействие.

4. Минимальные конструктивные размеры антенны для достижения малых массогабаритных характеристик совместно с синтезированным антенным раскрытием для обеспечения высокого разрешения при распознавании целей.

5. Оптимальный энергетический потенциал – использование относительно небольшой мощности излучения при относительно небольшом электропотреблении и тепловыделении, наряду с использованием накопления радиосигналов с большой базой для обеспечения требуемой дальности действия.

6. Сбалансированный конструктивный облик (минимальное количество блоков, минимально возможные габариты и масса) – для обеспечения применения проек-

тируемых РАС на различных типах летательных аппаратов вертолетного и самолетного типа.

7. Построение аппаратуры на основе оптимального набора МИС СВЧ преимущественно собственной целевой разработки.

Многофункциональные свойства РАС типа «АТЛАС» обеспечивают решение следующих задач:

обзорно-поисковых

- ▶ обнаружения, распознавания и измерения координат подвижных и неподвижных наземных и надводных объектов;
- ▶ обнаружения, измерения координат и траектории движения воздушных объектов;
- ▶ детализированного обзора земной и надводной поверхности в режимах высокого разрешения с синтезированием и инверсным синтезированием антенного раскрытия;
- ▶ автоматического обнаружения и сопровождения объектов, оснащенных кодовым радиолокационным маркером (РАМ) с активным ответом;

навигации и безопасности пилотирования

- ▶ автоматического обнаружения и сопровождения объектов, оснащенных радиолокационным маркером для сближения и посадки;
- ▶ автоматического обнаружения опасного сближения с летательными аппаратами;
- ▶ автоматического обнаружения опасного сближения на малой высоте с наземными препятствиями;
- ▶ обнаружения опасных грозовометеообразований и турбулентности;

связи

- ▶ широкополосной радиосвязи для высокоскоростной передачи добытой информации на наземный пункт управления и другие взаимодействующие объекты, оснащенные терминалами на основе РАМ.

Для иллюстрации некоторых свойств РАС, создаваемых на предприятии, на рисунке 1 представлены общие сведения по дальности обнаружения целей в различных режимах работы РАС при решении задач береговой охраны.

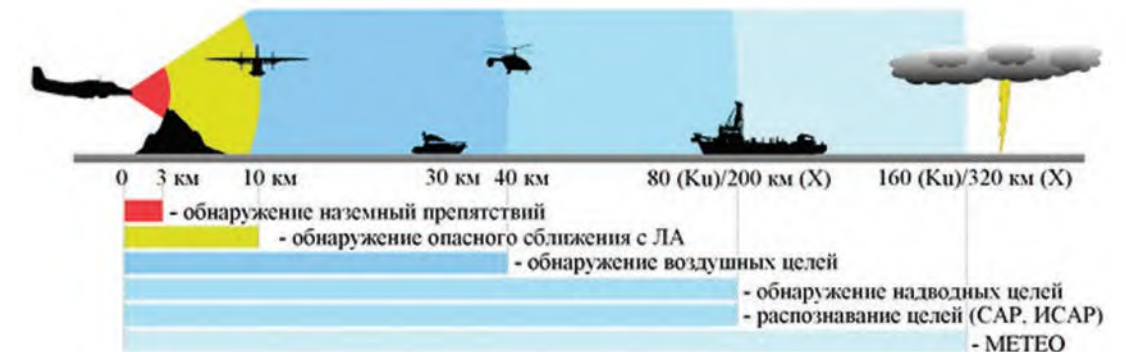


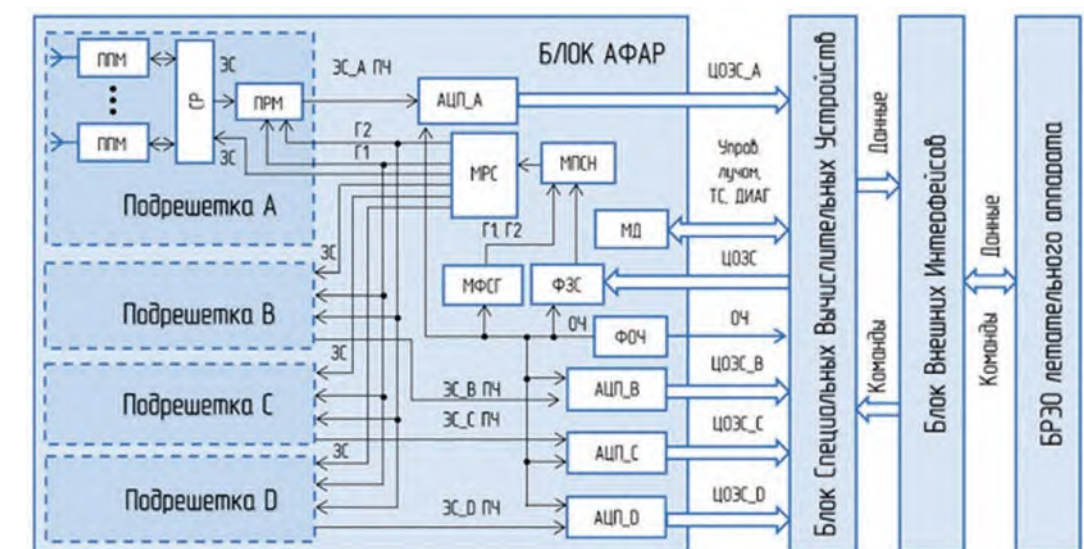
Рис. 1. Возможности РАС «АТЛАС-Х-01» и «АТЛАС-Ку-01» при решении задач береговой охраны

Цифровые технологии все больше и больше находят применение в радиолокационной технике. Линия разграничения между цифровыми и аналоговыми техническими решениями с развитием радиоэлектроники неминуемо смещается в сторону антенных излучателей, что наиболее ярко прослеживается при построении фазированных антенных решеток радиолокационных систем с цифровым диаграммообразованием на уровне элемента решетки.

Проектируемые РАС «АТЛАС-Х-01» и «АТЛАС-Ку-01» предназначены для применения в составе летательных аппаратов, поэтому ограничения массы, га-

баритных размеров, потребляемой мощности, а также стоимости систем при выборе схемы построения РАС были одними из определяющих.

Назначение и решаемые задачи создаваемых средств не выявляют ощутимых преимуществ цифрового диаграммообразования на уровне элемента решетки. АФАР проектируемых РАС строятся по схеме, состоящей из 4-х подрешеток, суммарный сигнал каждой подрешетки после понижения частоты супергетеродинным аналоговым приемником обрабатывается на промежуточной частоте собственным цифровым приемником (рис. 2).



ППМ – приемопередающий модуль; СР – система распределения; ЭС – эхосигнал; ЗС – зондирующий сигнал; ПРМ – приемник; ЭС ПЧ – эхосигнал на промежуточной частоте; Г1 и Г2 – сигналы первого и второго гетеродинов; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; МРС – модуль распределения сигналов; МФСГ – модуль формирования сигналов гетеродина; МПСН – модуль преобразования сигналов на несущую частоту; ФЧ – фильтр зондирующего сигнала; МД – модуль данных; ФОЧ – формирователь опорной частоты; ОЧ – опорная частота; ЦОЭС – цифровые отсчеты эхосигнала ТС – тактовые сигналы; ДИАГ – сигналы диагностики; ЦОЗС – цифровые отсчеты зондирующего сигнала

Рис. 2. Упрощенная структурная схема создаваемых РАС (сигнальная часть)

Разрабатываемые РЛС фактически имеют в своем составе четыре цифровых приемо-передатчика, что позволяет отрабатывать принципы цифрового диаграммообразования на уровне подрешеток АФАР. Цифровое формирование луча на уровне подрешетки, а не элемента, является компромиссным решением применения технологии цифровых АФАР, при этом габариты, масса и стоимость такие же, как у аналоговой АФАР.

В обзорных режимах сканирование пространства осуществляется последовательным просмотром одним лучом на передачу и моноимпульсной связкой лучей на прием за счет дискретного амплитудно-фазового распределения на апертуре АФАР.

Выбранный способ формирования нового положения радиолокационного луча, а также целесообразный выбор зон обзора обеспечивают необходимый темп обзора пространства и совмещение необходимых режимов работы РЛС. В режимах предупреждения столкновений в целях увеличения темпа обзора пространства значения параметров для формирования амплитудно-фазового распределения по каждому угловому положению диаграммы направленности извлекаются из памяти системы управления лучом.

Режимы обнаружения опасного сближения с наземными препятствиями и летательными аппаратами работают одновременно с любым другим режимом работы РЛС при включенном излучении, за счет чего обеспечивается постоянный контроль пространства в передней полусфере для обеспечения безопасности пилотирования летательного аппарата.



Габаритные размеры и масса блоков РЛС «АТЛАС-Х-01»

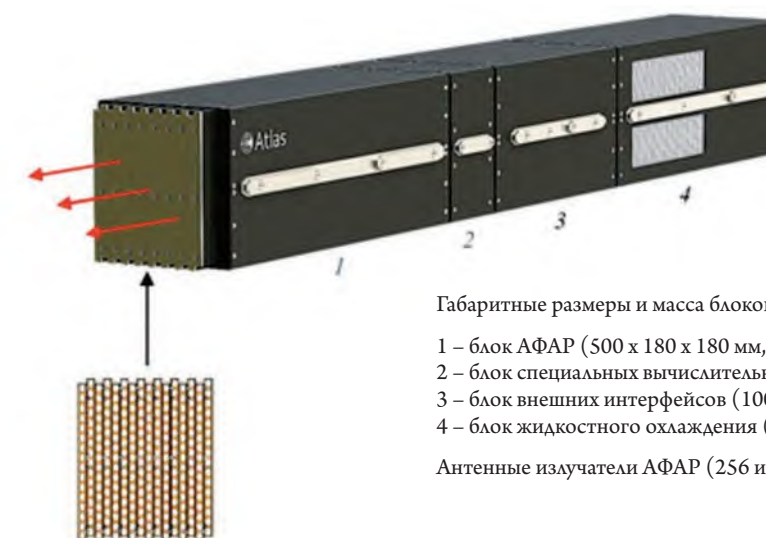
- 1 - блок АФАР 520 × 300 × 320, 30 кг
- 2 - блок специальных вычислительных устройств 180 × 180 × 300, 10 кг
- 3 - блок внешних интерфейсов 300 × 100 × 200, 3 кг
- 4 - блок широкополосного канала связи (опция) 120 × 100 × 240, 5 кг

Рис. 3. Внешний вид и состав РЛС «АТЛАС-Х-01»

Контейнерное размещение РЛС «АТЛАС-Ку-01» на внешних подвесках потребовало обеспечения возможно меньшей площади поперечного сечения конструкции, что привело к высокой степени плотности компоновки и необходимости применения жидкостного охлаждения. Блок жидкостного охлаждения представляет собой полностью автономную систему.

РЛС «АТЛАС-Ку-01» состоит из четырех блоков: блока АФАР, блока специальных вычислительных устройств, блока внешних интерфейсов и блока жидкостного охлаждения, которые соединяются между собой с помощью врубных блочных электрических разъемов и гидравлических герметичных быстроразъемных соединений.

Состав и внешний вид РЛС «АТЛАС-Ку-01» с присоединенными блоками приведен на рисунке 4. Примененный способ соединения блоков позволил исключить межблочные кабельные изделия из состава оборудования и обеспечить оперативную замену неисправных блоков при необходимости.



Габаритные размеры и масса блоков РЛС «АТЛАС-Ку-01»:

- 1 - блок АФАР (500 × 180 × 180 мм, 20 кг)
- 2 - блок специальных вычислительных устройств (300 × 180 × 180 мм, 10 кг)
- 3 - блок внешних интерфейсов (100 × 180 × 180 мм, 3 кг)
- 4 - блок жидкостного охлаждения (500 × 180 × 180 мм, 9 кг)

Антенные излучатели АФАР (256 излучателей, апертура - 150 × 180)

Рис. 4. Внешний вид и состав РЛС «АТЛАС-Ку-01»

МИС СВЧ для прямо-передающих модулей АФАР

Ключевым элементом блока АФАР РЛС является прямо-передающий модуль (ППМ) [1, 2], который в значительной степени определяет основные технические характеристики и стоимость РЛС (рис. 5).



Рис. 5. Внешний вид прямо-передающего модуля РЛС «Атлас-X-01» (а), и РЛС «Атлас-Ku-01» (б)

Поэтому в первую очередь МИС СВЧ [3, 4] для ППМ РЛС проекта «АТЛАС» являлись объектом внимания разработчиков АО «Микроволновые системы». Ниже представлены результаты разработки и испытаний новых СВЧ монолитных интегральных схем и устройств на их основе, предназначенных для работы в СВЧ трактах радиолокационных систем.

Внешний вид типовой сборки прямо-передающего канала для ППМ РЛС X-диапазона частот изображен на рисунке 6.



Рис. 6. Прямо-передающий канал для ППМ АФАР X-диапазона

Для обеспечения необходимых энергетических параметров РЛС в режиме передачи разработана и изготовлена МИС импульсного усилителя мощности X-диапазона частот MSN560V (рис. 7), электрические параметры которой приведены в таблице 2 [5]. Микросхема выполнена на основе GaN HEMT процесса с топологической нормой 0,25 мкм, размер кристалла 3,05 x 1,25 мм.

Особенностями микросхемы являются наличие встроенного направленного детектора контроля уровня выходной импульсной мощности и малая площадь кристалла (3,8 мм²), что в 5 раз меньше площади типовых GaAs МИС усилителей с аналогичной выходной мощностью.

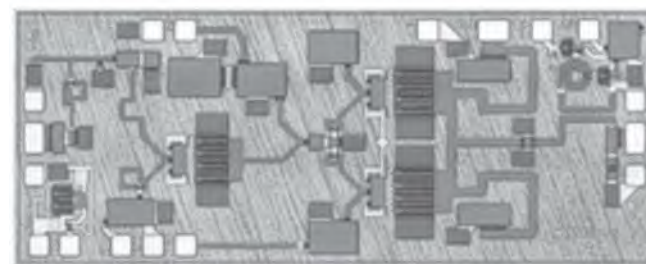


Рис. 7. МИС импульсного усилителя мощности MSN560V

Основные электрические характеристики МИС MSN560V

Параметр	Значение	
	Расчет	Измерение
Диапазон рабочих частот, ГГц	8,5-11,0	
Напряжение питания, В	24	
Линейное усиление, дБ	20,3 – 21,8	19,3 – 21,2
Выходная импульсная мощность ($\tau_{\text{и}}=100\text{мкс}$, $Q=10$, $P_{\text{вх}}=0,3\text{Вт}$), Вт	10,5 – 11,5	9,5 – 11,0
КПД, %	37 – 45	32 – 35

Таблица 2

Проектирование и электромагнитное моделирование микросхемы MSN560V были проведены в короткий срок (около 2 месяцев). Испытания образцов опытной партии подтвердили правильность расчетов при проектировании. Результаты измерений основных характеристик микросхем MSN560V, приведенные на рисунке 8 и в таблице 2, достаточно близки к расчетным значениям (пунктирная линия на рисунке 8), что свидетельствует о соответствии исходных моделей транзисторов и пассивных элементов микросхемы реальным параметрам при проведении технологических процессов.

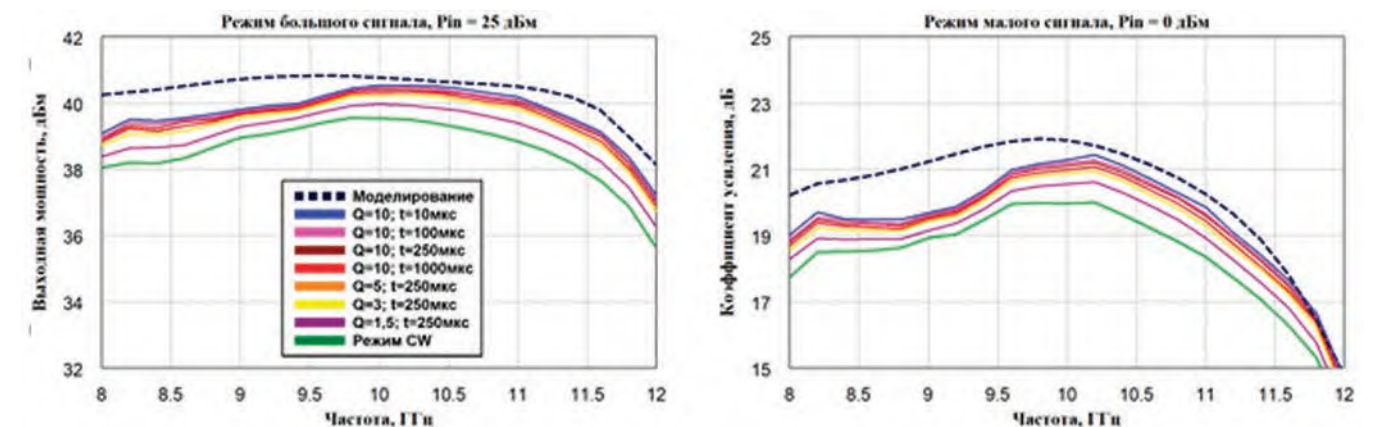


Рис. 8. Основные характеристики МИС MSN560V

В дальнейшем данное техническое решение планируется интегрировать в многофункциональную МИС оконечного модуля, включающую в себя также маломощный усилитель и переключатель «прием-передача» в едином кристалле.

Управляемые фазовращатели и аттенюаторы СВЧ тракта являются основными элементами технологии аналогового диаграммообразования АФАР. В процессе разработки СВЧ тракта было принято решение использовать в ППМ единое для режимов приема и передачи устрой-

ство – модуль управления амплитудой и фазой (МФА, в международной терминологии – core chip). Для решения этой задачи разработана и изготовлена МИС МФА MSP003D, конструкция которой показана на рисунке 9. МИС имеет 3-х портовую конфигурацию и содержит переключатели режимов «прием-передача», 6-разрядный фазовращатель, 5-разрядный аттенюатор, а также четыре буферных усилителя. Интегрированный драйвер имеет параллельную загрузку команд управления уровнями ТТЛ/КМОП. Микросхема выполнена на основе GaAs pHEMT процесса с топологической нормой 0,15 мкм.

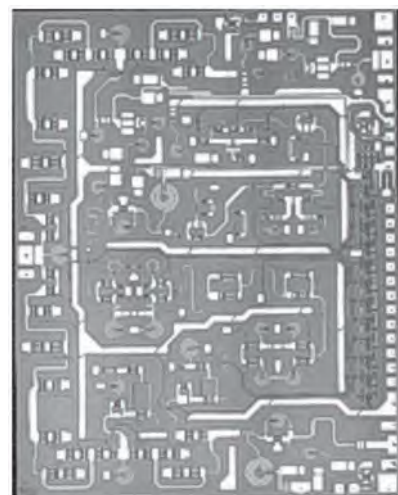


Рис. 9. МИС МФА MSP003D

МФА имеет привлекательные для применения в каналах ППМ АФАР сочетания основных параметров:

- ▶ интегрированное решение для X-диапазона;
- ▶ коэффициент усиления 19–20 дБ в режимах «прием» и «передача»;
- ▶ выходная мощность 100 мВт в режиме «передача»;
- ▶ управления положительными логическими уровнями ТТА/КМОП;
- ▶ малые среднеквадратичные ошибки установки затухания и вносимого фазового сдвига (0,5 дБ и 2 градуса, соответственно);
- ▶ схемы стабилизации затворного смещения буферных усилителей.

Размеры кристалла МИС составляют 4,0 x 5,1 мм, процент выхода годных при серийном производстве по результатам функционального контроля СВЧ параметров на пластине 82–85%.

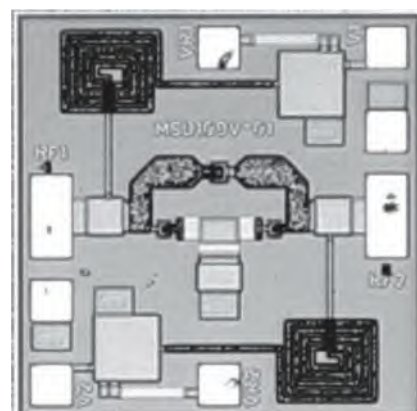


Рис. 10. МИС дискретно-управляемого аттенюатора MSD109V

В ряде случаев перед разработчиками ППМ стоит задача расширения динамического диапазона по входу приемного канала. Для ее решения были разработаны и изготовлены две микросхемы X-диапазона: дискретно-управляемый аттенюатор MSD109V и «бай-пасс»-усилитель MSP013D.

МИС MSD109V является монолитной интегральной схемой 1-разрядного аттенюатора с затуханием 20 дБ и предназначена для работы в диапазоне 7,4–11 ГГц. Микросхема выполнена на основе GaAs pin-диодного процесса с толщиной i-слоя 3 мкм. Топология МИС показана на рисунке 10, размер кристалла 1 x 1 мм.



Рис. 11. Структурная схема «байпасс» – усилителя

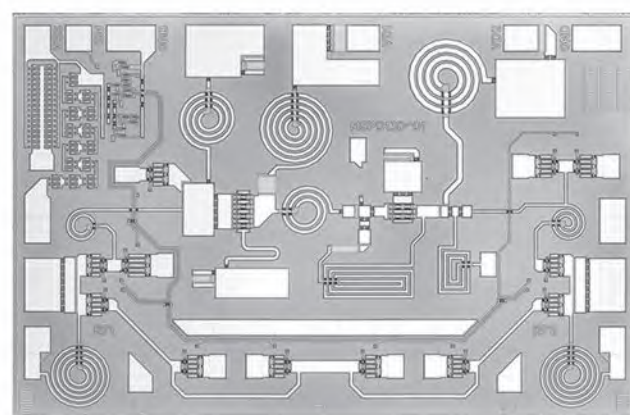


Рис. 12. МИС «байпасс» – усилителя MSP013D

К основным особенностям МИС MSD109V относится:

- ▶ диапазон рабочих частот 7,4–11,0 ГГц;
- ▶ вносимые потери 0,5–0,7 дБ в опорном состоянии;
- ▶ вносимое ослабление 20 дБ;
- ▶ уровни управления состоянием – противофазные напряжения 0/+4В с током потребления 5–6 мА;
- ▶ время включения / выключения состояния менее 20 нс.

Вторым способом расширения динамического диапазона приемного канала является применение малошумящего усилителя с переключаемым обходным (в международной терминологии – bypass) каналом (рис. 11), позволяющим передать принятый сигнал повышенной мощности в обход каскадов малошумящего усилителя. По этой схеме построена МИС малошумящего «байпасс»-усилителя MSP013D (рис. 12).

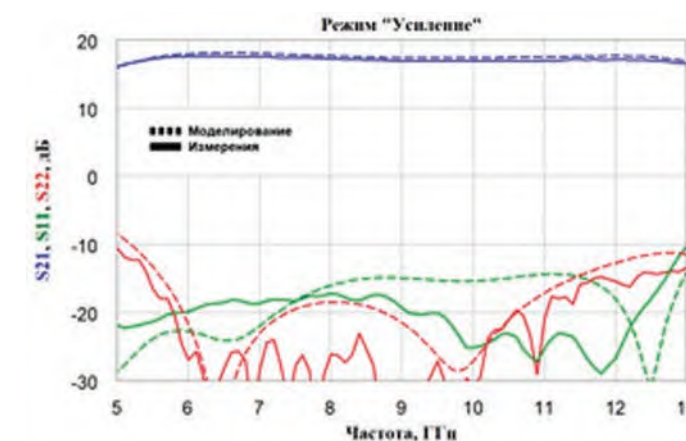
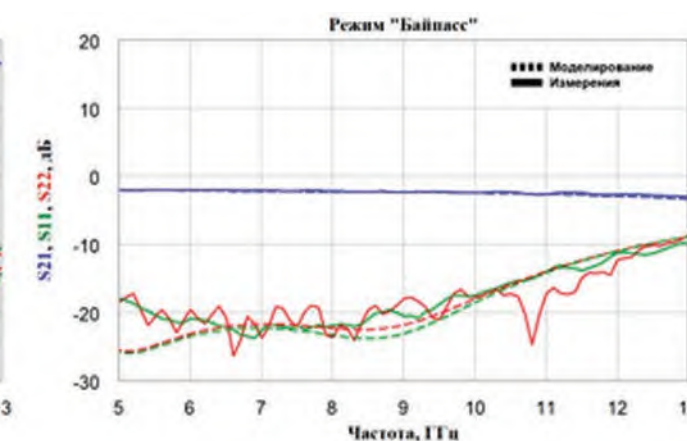
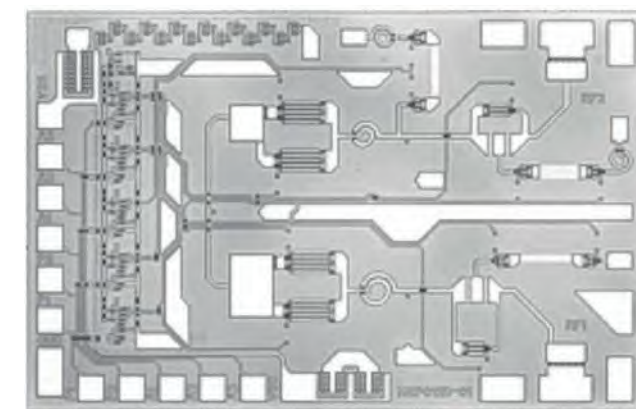


Рис. 13. Малосигнальные параметры МИС MSP013D:



Одной из новых разработок АО «Микроволновые системы», расширяющей возможности управления амплитудой и фазой сигнала в канале ППМ X-диапазона, является МИС двухпортового «проходного» фазовращателя / аттенюатора MSP012D (рис. 14).

Рис. 14. МИС фазовращателя/аттенюатора MSP012D



Основные электрические параметры МИС MSP012D представлены в таблице 3.

Таблица 3

Электрические характеристики МИС MSP012D

Параметр	Значение
Диапазон рабочих частот, ГГц	8,5 – 11,0
Напряжения управления, В	0/+5
Начальные потери, дБ	2,6 – 3,2
Вносимое затухание (3 разряда), дБ	0,5/1,0/2,0
Вносимый фазовый сдвиг (2 разряда), град	1,5/3,1
Ток потребления по цепи питания «–5 В», мА	6

В составе микросхемы применен интегрированный драйвер управления. Микросхема выполнена на основе GaAs pHEMT процесса с топологической нормой 0,15 мкм, размер кристалла 1,5 x 2,3 мм.

На рисунке 15 приведены частотные характеристики вносимого фазового сдвига МИС MSP012D при включении разрядов управления, измеренные в составе ППК, упомянутого ранее (см. рис. 6).

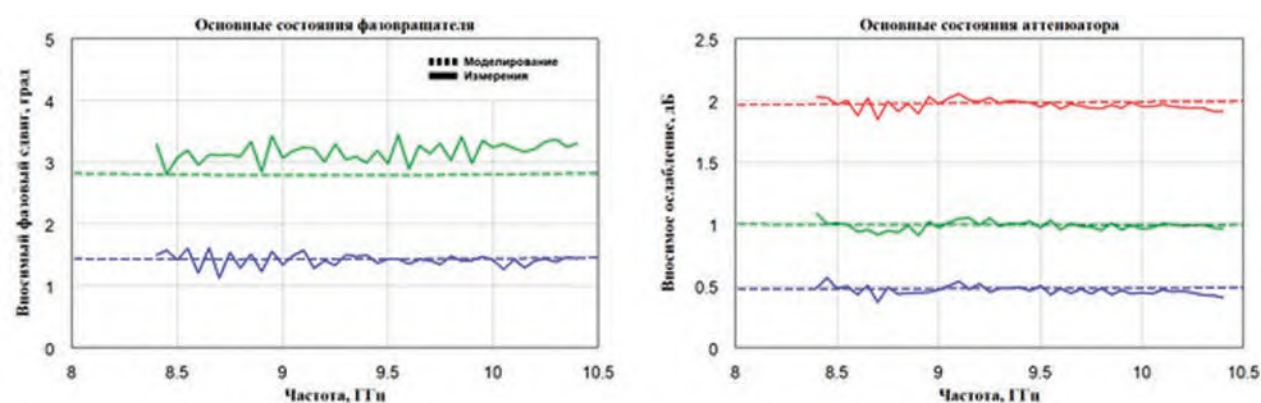


Рис. 15. Вносимый фазовый сдвиг МИС MSP012D

Для построения приемо-передающих модулей Ku-диапазона применены интегрированные решения, позволяющие строить канал ППИМ на основе двух микросхем. Это 6-разрядный МФА с последовательной загрузкой управляющих команд типа MSP010D и оконечный модуль с выходной импульсной мощностью 4 Вт типа MSN011V. Данные микросхемы разработаны и находятся в стадии изготовления образцов.

Заключение

Использование «fabless-foundry» специализации при создании СВЧ полупроводниковых приборов позволяет гармонизировать процессы одновременного проектирования ключевых компонентов и собственно радиотехнических систем, обеспечить создание финальных изделий с высокими характеристиками и оптимальным соотношением «цена / качество». Создаются условия для ускоренного вывода на рынок новых изделий.

Разработанные на предприятии «специально под систему» ключевые компоненты находят также применение при проведении модернизации серийно выпускаемых изделий с целью повышения технических характеристик или с целью замещения компонентов, с которыми возникли сложности поставок.

Накопленный на предприятии опыт разработки СВЧ полупроводниковых приборов позволяет во многих случаях с первой итерации получать компоненты с характеристиками [6], максимально соответствующими расчетным, что подтверждает правильность принятых подходов к проектированию.

Литература

1. Синани А.И., Кауфман Г.В. Антенны и радары с электронным управлением лучом. – ЗАО «Издательство «Радиотехника», 2016 г.
2. Белолипецкий А.В., Борисов О.В., Колковский Ю.В., Легай Г.В., Миннебаев В.М., Редька Ал.В., Редька Ан.В. Антенный электронный блок для спутниковой АФАР X-диапазона. – Электронная техника, сер. 2, Полупроводниковые приборы, 2017, вып.3 (246), с. 15–25.
3. Andrey Kistchinsky, Ultra-Wideband GaN Power Amplifiers – From Innovative Technology to Standart Productsю – Ultra Wideband Communications. Novel Trends – System, Architecture and Implementation, Intech, 2011, p.213–232.
4. Васильев А.Г., Колковский Ю.В., Концевой Ю.А. СВЧ транзисторы на широкозонных полупроводниках. – ЗАО «РИЦ «Техносфера», 2011 г.
5. Кондратенко А.В., Шишкин Д.А., Щербakov А.С., Миннебаев С.В. GaN МИС усилителя мощности X-диапазона с функцией контроля уровня мощности. – Тезисы докладов юбилейной научно-технической конференции АО «НПП «Исток» им. Шокина» «СВЧ-Электроника-2023», 25–26 мая 2013 г., с. 37–38.
6. Сорвачев П.С., Кондратенко А.В. GaAs МИС дискретных широкополосных фазостабилизированных аттенюаторов: примеры из практики АО «Микроволновые системы». – Сборник статей XI Всероссийской научно-технической конференции «Электроника и микроэлектроника СВЧ», Санкт-Петербург, 2022 г., с. 94–98.

GAAS МИС ДИСКРЕТНЫХ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ФАЗОСТАБИЛЬНЫХ АТТЕНУАТОРОВ: ПРИМЕРЫ ИЗ ПРАКТИКИ АО «МИКРОВОЛНОВЫЕ СИСТЕМЫ»

П.С. Сорвачев, А.В. Кондратенко

Обособленное подразделение АО «Микроволновые системы» в г. Нижний Новгород

Опубликовано в Сборнике статей XI Всероссийской научно-технической конференции «Электроника и микроэлектроника СВЧ», Санкт-Петербург, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 30 мая – 3 июня 2022г

Аннотация: в докладе представлены результаты разработки GaAs монолитных интегральных схем дискретных широкополосных фазостабильных аттенуаторов, в составе которых коммутационные элементы реализованы либо в виде транзисторов с высокой подвижностью электронов, работающих в режиме управляемого сопротивления канала, либо в виде PIN-диодов. По уровню достигнутых параметров разработанные микросхемы не уступают зарубежным продуктам и могут быть предложены широкому кругу потребителей. Обсуждаются возможности адаптации схемотехнических и топологических решений и локализации производства монолитных интегральных схем аттенуаторов на базе отечественных предприятий микроэлектронной отрасли.

Ключевые слова: монолитная интегральная схема, дискретный управляемый аттенуатор, полевой транзистор с затвором Шоттки, PIN-диод, параметры рассеяния, GaAs технологический процесс

I. Введение

Монолитные интегральные технологии уже давно заняли прочные позиции в вопросе создания ЭКБ СВЧ для современных радиоэлектронных устройств и систем. При этом, не смотря на существование большого количества участников глобального рынка микроэлектронных компонентов, достаточно часто возникает необходимость создания собственной (специализированной) ЭКБ, исходя из ряда соображений: оптимизация технических показателей комплексного проекта; решение вопросов доступности лицензируемой зарубежной номенклатуры; повышение экономической эффективности головного проекта за счет снижения себестоимости элементной базы; выполнение заказных проектов по созданию ЭКБ; и так далее.

В докладе представлены результаты разработки GaAs монолитных интегральных схем (МИС) дискретных широкополосных фазостабильных аттенуаторов как примеры из практики АО «Микроволновые системы» в интересах собственных подразделений, занимающихся разработкой и производством радиоэлектронных узлов, модулей и систем, а также для отечественных предприятий, готовых сотрудничать с АО «Микроволновые системы» как с поставщиком ЭКБ СВЧ.

II. Описание разработанных микросхем и результаты

В качестве коммутационных элементов в составе современных МИС дискретных аттенуаторов малой и средней мощности используются полевые транзисторы с затвором Шоттки, работающие в режиме управляемого сопротивления канала. В сравнении с PIN-диодами их можно характеризовать такими преимуществами как более высокое быстродействие, малая мощность потребления по цепям управления, более простая реализация драйверов (преобразователей уровней) управления, а также возможность интеграции в составе многофункциональных интегральных схем.

Примером использования коммутационных свойств полевого транзистора с затвором Шоттки является МИС MSP106V, представляющая собой 1-разрядный управляемый аттенуатор с вносимым ослаблением 20 дБ и реализованная на основе технологического процесса 0,15 мкм GaAs pHEMT. Переключение состояний схемы обеспечивают двухпозиционные коммутаторы на входе и выходе, для управления которыми используются напряжения 0/-3,3 В. Минимизация паразитной фазовой конверсии при переключении амплитудных состояний, а также согласование в широкой полосе рабочих частот реализованы за счет интеграции в каждое плечо схемы высокоомных отрезков линий определенной электрической длины. На рисунке 1 представлена топология МИС MSP106V, а также частотные зависимости вносимого ослабления и согласования в различных состояниях и ошибок управления.

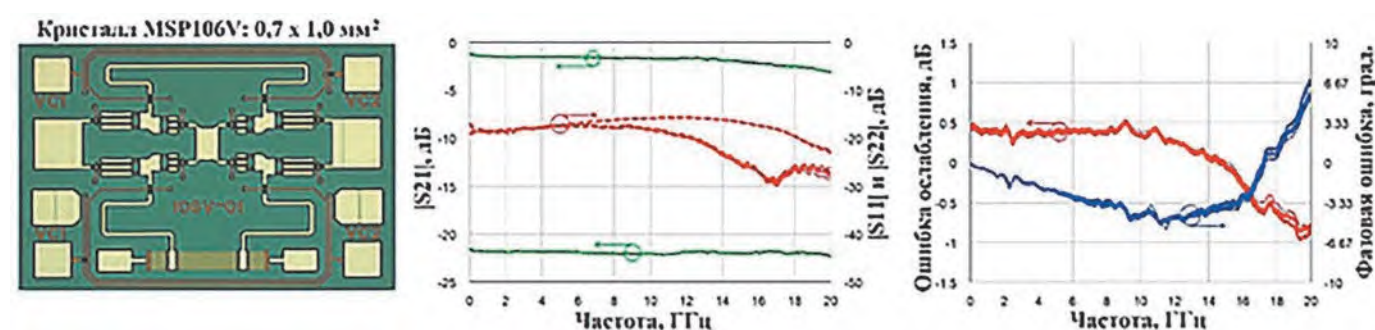


Рисунок 1. Топология кристалла и частотные характеристики MSP106V

Еще одним примером применения полевых транзисторов Шоттки в режиме управляемого сопротивления канала является МИС MSP101D, представляющая собой 5-разрядный управляемый аттенуатор (шаг ослабления 0,9 дБ) и реализованная на основе того же технологического процесса 0,15 мкм GaAs pHEMT. Микросхема содержит в своем составе пять секций с номинальным вносимым ослаблением 0,9 дБ, 1,8 дБ, 3,6 дБ, 7,2 дБ и 14,4 дБ. Для снижения вносимых потерь в опорном состоянии старшие секции («7,2 дБ» и «14,4 дБ»), вносящие основной вклад в паразитную фазовую конверсию аттенуатора, минимизации которой было уделено особое внимание в процессе проектирования, были реализованы без использования двухпозиционных коммутаторов на входе/выходе секций. Коммутационные элементы были интегрированы «внутри» секций с включением дополнительных элементов (отрезков линий или катушек индуктивности), компенсирующих фазовые набег, возникающие при переключении состояний [1].

Изначально стояла задача создать параметрический аналог широко известной МИС XA1000-BD от компании M/A-COM (США), однако в процессе проектирования была установлена возможность добиться превосходства по ряду параметров. В итоге МИС MSP101D может быть характеризована как имеющая меньшие (на 2,5 дБ) вносимые потери в опорном состоянии на верхней частоте рабочего диапазона, более широкополосная по критерию среднеквадратичного значения ошибки вносимого ослабления, а также имеющая в рабочей полосе частот меньшую (в 2 раза) паразитную фазовую конверсию при переключении состояний. На рисунке 2 представлена топология МИС MSP101D, а также частотные зависимости вносимого ослабления и согласования в различных состояниях и ошибок управления.

Для возможности использования уровней ТТЛ при управлении состояниями аттенуатора MSP101D на кристалл интегрирован 5-разрядный драйвер управления параллельного типа, секции которого построены на основе дифференциального каскада и требуют одно напряжение питания отрицательной полярности.

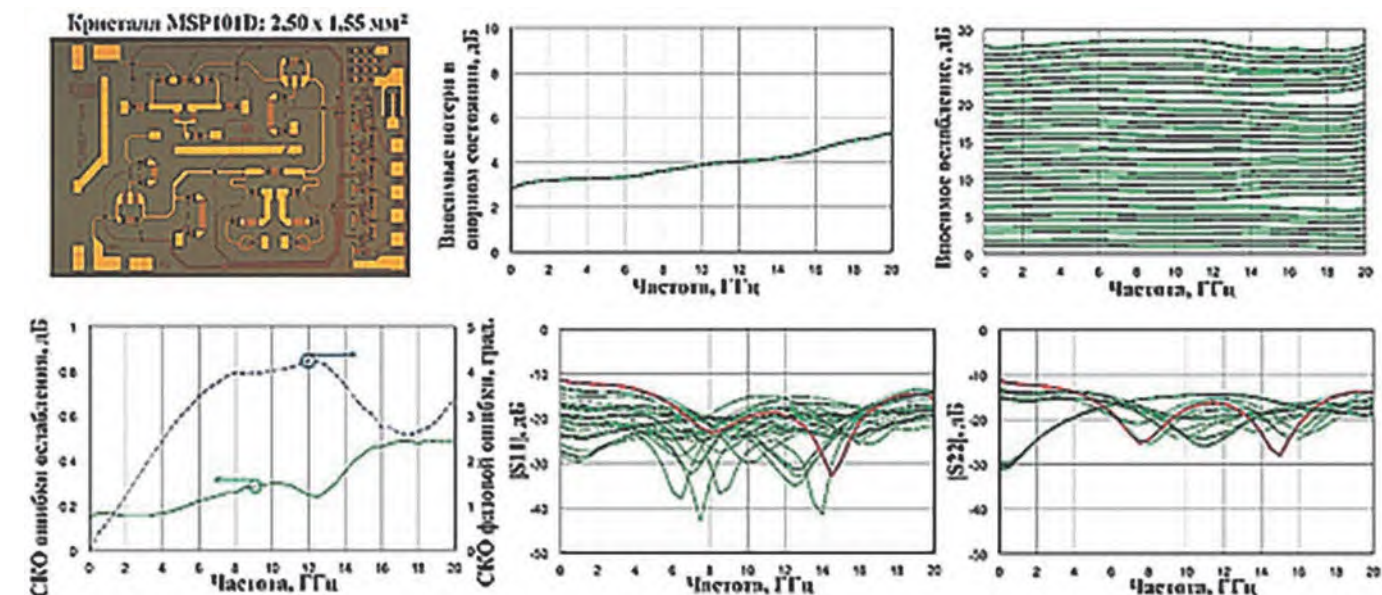


Рисунок 2. Топология кристалла и частотные характеристики MSP101D

Для тех приложений, в которых от аттенуатора требуются минимальные потери в опорном состоянии, а также не предъявляются жесткие требования к фазовой стабильности в широкой полосе частот, в качестве коммутационных элементов могут быть использованы PIN-диоды. В данном случае стоит отметить и экономический эффект – при переходе от достаточно универсальных pHEMT/HEMT технологий к диодным процессам падение стоимости услуг Foundry-партнеров может достигать 3-5 раз, что соответствующим образом сказывается на себестоимости кристаллов собственной разработки. Примером из портфолио АО «Микроволновые системы» может служить линейка 1-разрядных управляемых аттенуаторов MSD10xV с вносимым ослаблением 20 дБ, реализованных на основе GaAs PIN-диодного процесса по схеме Foundry. Узкополосные литеры MSD107V и MSD109V представляют из себя коммутируемые Т-образные секции, в то же время широкополосную литеру MSD108V оказалось более выгодным реализовать на основе

П-образной секции ослабления [2]. На рисунке 3 представлены топологии линейки МИС, а также расчетные частотные зависимости вносимого ослабления и согласования в различных состояниях и ошибок управления. Экспериментальные результаты будут получены после проведения полной характеристики образцов микросхем.

Переключение состояний аттенуаторов MSD10xV осуществляется парафазными сигналами 0...0,4 В и 3,7...5 В. В цепях управления имеются высокоомные резисторы, ограничивающие ток до значений, регламентированных основным потребителем МИС. Кроме того, на кристаллах реализованы дополнительные контактные площадки, позволяющие подавать управляющие сигналы через внешние токоограничивающие резисторы, чтобы добиться компромисса между параметрами СВЧ, потреблением тока и быстродействием в прочих приложениях.

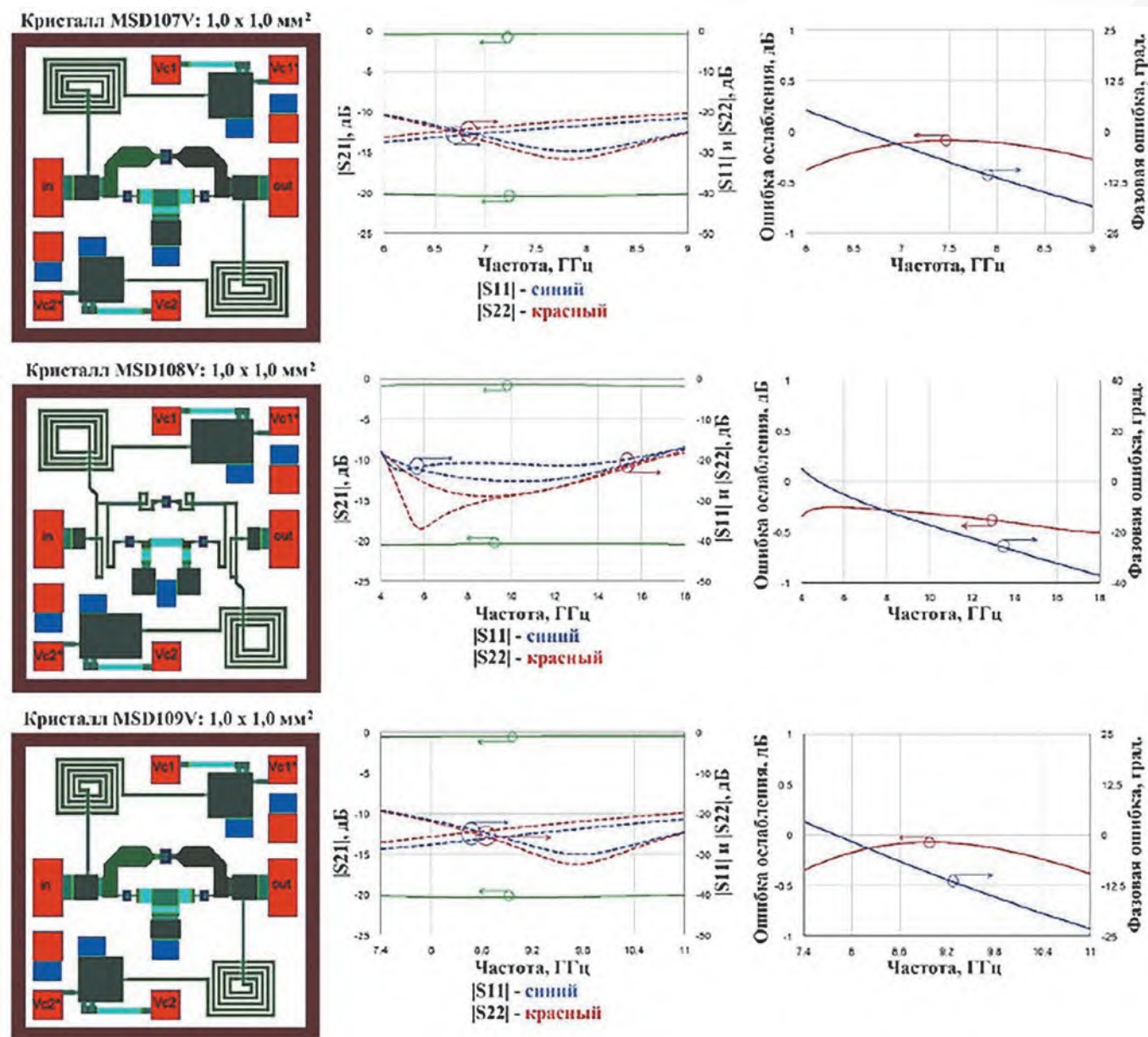


Рисунок 3. Топологии кристаллов и частотные характеристики MSD10xV

Основные параметры разработанных МИС приведены в таблице 1. По уровню достигнутых параметров микросхемы АО «Микроволновые системы» не уступают зарубежным продуктам и могут быть предложены широкому кругу потребителей.

Таблица 1. Основные параметры разработанных МИС аттенюаторов

Наименование параметра, единица измерения	Значение				
	MSP101D	MSP106V	MSD107V	MSD108V	MSD109V
Рабочий диапазон частот, ГГц	0,1-20	0,1-20	6-9	4-18	7,4-11
Вносимые потери (опорное сост.), не более, дБ	5,5	3,2	0,6	1,0	0,6
Коэффициент отражения от вх/вых, не более, дБ	-11	-15	-20	-17	-19
Входная мощность при 1дБ компрессии, дБм	21 ¹⁾	20 ²⁾	20	18	20
Разрядность схемы, бит	5	1	1	1	1
Диапазон вносимого ослабления, дБ	27,9	20	20	20	20
Шаг вносимого ослабления, дБ	0,9	20	20	20	20
Ошибка вносимого ослабления, не более, дБ	1,0	1,0	0,4	0,5	0,4
СКО ошибки вносимого ослабления, не более, дБ	0,5	–	–	–	–
Паразитная фазовая конверсия, не более, град.	14	7	19	38	23
СКО паразитной фазовой конверсии, град	4,5	–	–	–	–
Сигналы управления, В	ТТА	0/-3,3	0/5	0/5	0/5
Напряжение питания, В	-5	–	–	–	–

Примечания:¹⁾ Минимальное значение параметра в диапазоне 2-20 ГГц;
²⁾ Минимальное значение параметра в диапазоне 1-20 ГГц.

III. Заключение

Предыдущая активность АО «Микроволновые системы» в разработке МИС СВЧ для собственного применения и внешних заказчиков характеризовалась ориентацией на технологические возможности только лишь зарубежных Foundry-партнеров. Данная позиция диктовалась как ограниченностью технологических возможностей отечественных предприятий, а порой и отсутствием возможностей стабильного серийного выпуска современных мощных или многофункциональных интегральных схем, так и отсутствием экономической эффективности привлечения отечественных микроэлектронных производств в сравнении с зарубежными фабриками, а также использованием покупной ЭКБ. Однако в условиях ужесточившейся санкционной политики АО «Микроволновые системы» в своих будущих проектах планирует освоение производственных возможностей новых Foundry-партнеров, в том числе отечественных, выступая не только как потребитель услуг, но и как партнер, помогая развивать отечественную микроэлектронную отрасль.

IV. Список литературы

- [1] Ku B. et al. 6-bit CMOS digital attenuators with low phase variations for X-band phased-array systems // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. – 2010, July. – Vol. 58. – С. 1651–1663.
- [2] Inder J. Bahl. Control Components Using Si, GaAs and GaN Technologies. – Artech House, 2014.

БАЛАНСНЫЙ GAN-HEMT УСИЛИТЕЛЬ С ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТЬЮ 35 Вт В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ 1-6 ГГц С ИННОВАЦИОННЫМИ КВАДРАТУРНЫМИ МОСТАМИ

А.В. Радченко, С.В. Гармаш, А.А. Кищинский. Опубликовано в журнале «СВЧ электроника», №1, 2019

Аннотация – данная статья написана по материалам доклада (A.Radchenko, S.Garmash, A.Kishchinsky. 1-6 GHz 35W Balanced GaN-HEMT Power Amplifier with Innovative Quadrature Couplers. Proceedings of the 16th European Microwave Integrated Circuits Conference, 2021, P.265-268), опубликованном в сборнике материалов конференции.

Методы схемотехнического построения широкополосных усилителей

Развитие телекоммуникационных сетей, поддерживающих различные диапазоны и стандарты передачи информации, послужило причиной поиска технических решений для построения эффективных транзисторных усилителей мощности, перекрывающих максимально возможную непрерывную полосу частот. Расширение полосы частот приводит к значительным трудностям в согласовании транзисторов с 50-Омным трактом. Для достижения требуемых параметров в широкой полосе частот применяют различные известные [1] методы схемотехнического построения усилителей: реактивное согласование (RM), реактивно-диссипативное согласование (LM), применение отрицательной обратной связи (FB), схема бегущей волны (TWA). Схемы RM и LM позволяют реализовать высокие выходные мощность и КПД усилителя, но при этом затруднительно обеспечить хорошее согласование входа и выхода для широкой полосы частот. Схемы FB и TWA, наоборот, позволяют оптимизировать согласование, но ограничивают максимально достижимую эффективность усилителя.

Обеспечить одновременно хорошее согласование входа и выхода усилителя и высокие энергетические параметры можно при помощи балансного включения усилительных каскадов с использованием 3-дБ квадратурных направленных ответвителей. При этом полоса частот традиционных схем таких ответвителей (мост Ланге [2], шлейфный мост, tandemный мост) ограничена значениями 40-100% и для построения балансных усилителей с более широкой полосой частот требуются новые решения.

Целью настоящей работы является создание сверхширокополосного балансного гибридно-интегрального усилителя с высокой выходной мощностью и высоким КПД на основе новой конструкции компактного квадратурного 3-дБ моста. Для достижения этой цели:

- ▶ Разработана архитектура построения усилителя и рассчитаны параметры квадратурных мостов;
- ▶ Разработана методика проектирования согласующих цепей и проведено моделирование;
- ▶ Выполнено конструирование и экспериментальное исследование макетов балансных усилительных каскадов;
- ▶ Проведены измерения параметров разработанного усилителя.

Структурная схема усилителя и конструкции квадратурных ответвителей

Для достижения выходной мощности более 35 Вт и сверхширокой полосы частот (от 1 до 6 ГГц) и, одновременно, малых значений КСВН входа и выхода выбрана архитектура на основе балансной схемы суммирования (AMP3) двух балансных усилительных каскадов (AMP2), показанная на рисунке 1.

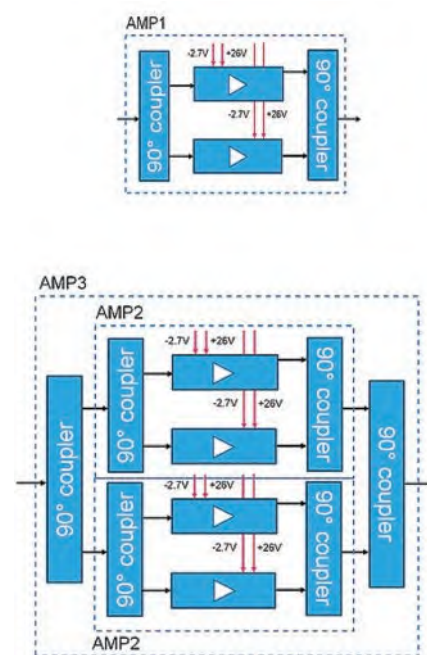


Рисунок 1 - Структурные схемы предварительного и выходных каскадов

В качестве драйвера также применен балансный усилительный каскад (AMP1) на транзисторах вдвое меньшей мощности.

Для суммирования каскадов с перекрытием по частоте более чем 2,5:1 необходимо применение сумматоров с каскадным соединением нескольких групп связанных линий с разным уровнем связи [3]. Для суммирования двух усилителей AMP2 по этому принципу был разработан квадратурный мост размерами 25×9 мм² с сильносвязанной центральной секцией в виде 6-полосковой встречно-гребневой структуры, расположенной на подвешенной подложке Al₂O₃ толщины 0,5 мм с воздушным зазором 0,5 мм – рисунок 2.

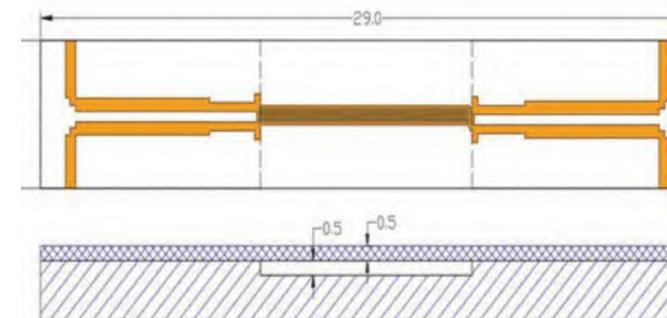


Рисунок 2 - Конструкция трехсекционного моста с подвешенной центральной частью

Применение подвешенной части позволяет выполнить связанные полоски более широкими, а также увеличить зазоры между ними. Крайние слабосвязанные секции компенсируют сильную связь центральной секции и выравнивают общую суммарную характеристику. Расчетные и измеренные характеристики (коэффициенты связи и потери) моста приведены на рисунке 3.

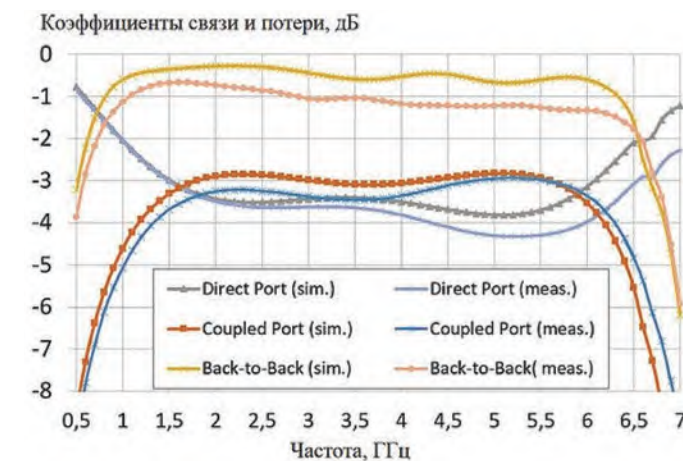


Рисунок 3 - Расчетные и измеренные (без учета потерь в разъемах) характеристики трехсекционного квадратурного моста

Такой тип моста имеет большую протяженность и оптимален для суммирования двух выходных балансных каскадов в схеме AMP3. Для суммирования внутри балансных схем AMP1 и AMP2 необходимо применение более компактного варианта, иначе размеры готового усилителя будут существенно увеличиваться по ширине. Для этого был разработан новый вариант квадратурного моста в виде многокаскадного tandemного сумматора (моста) со вставками сильной связи [4]. Конструкция разработанного ответвителя с размерами 14×8 мм² на подложке Al₂O₃ толщиной 0,5 мм показана на рисунке 4.

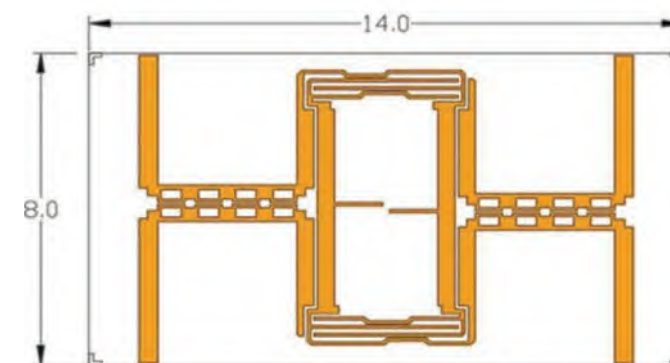


Рисунок 4 - Конструкция нового квадратурного моста

Слабосвязанные выходные секции содержат вырезы, которые представляют из себя замедляющую систему и обеспечивают уменьшение их длины [5]. Расчетные и измеренные характеристики нового моста приведены на рисунке 5.

Фотографии разработанных квадратурных мостов приведены на рисунке 6 для сравнения их размеров.

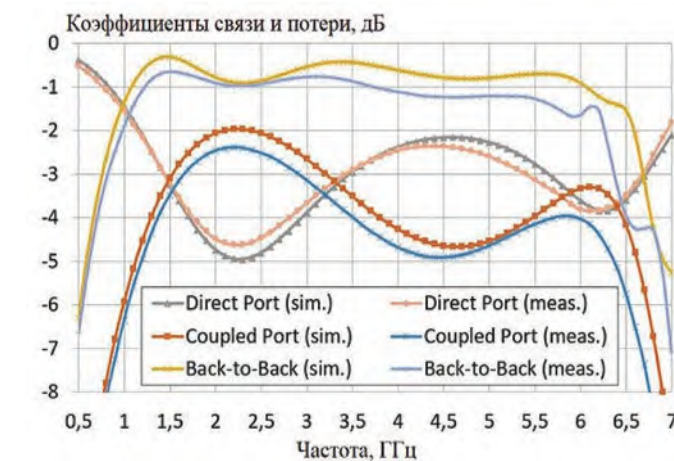


Рисунок 5 - Расчетные и измеренные (без учета потерь в разъемах) характеристики нового tandemного моста

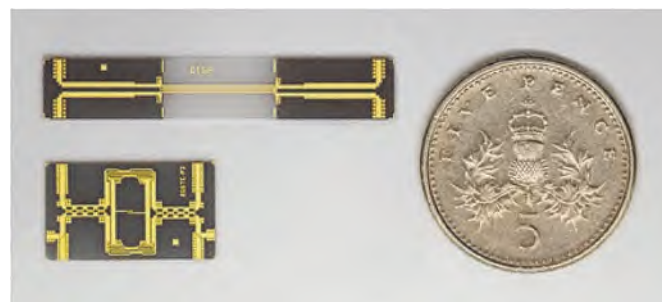


Рисунок 6 – Сравнение габаритов разработанных квадратурных мостов

Моделирование и исследование балансных усилительных каскадов

Для макетирования балансных усилителей AMP1 и AMP2 были выбраны GaN/SiC HEMT транзисторы CGH60008D и CGH60015D фирмы Wolfspeed в виде кристаллов, данные транзисторы могут быть использованы в диапазоне частот от DC до 6 GHz и имеют пробивное напряжение 120V.

Проектирование выходного и предвыходного каскада было проведено в САПР AWR Microwave Office с использованием как линейного, так и нелинейного анализа. Схемы согласования входа (IMC) и выхода (OMC) усилителей AMP1 и AMP2 имеют одинаковую структуру, приведенную на рисунке 7.

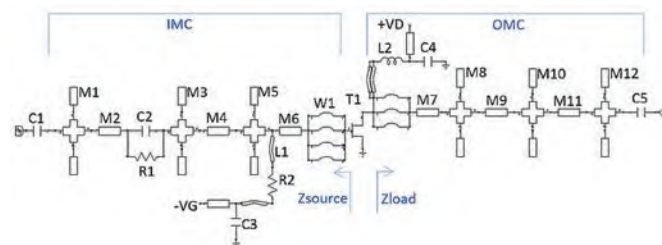


Рисунок 7 - Структурная входной и выходной схемы согласования AMP1 и AMP2.

Проектирование IMC не решает задачи согласования, а имеет целью выравнивание в широкой полосе частот амплитудно-частотной характеристики усилителя. Для обеспечения хорошего согласования с 50 Ом линией передачи, как сказано ранее, используется балансное включение двух транзисторных ячеек. Кроме распределенных элементов согласования и соединительных перемычек IMC содержит две RC цепи, выполняющие стабилизирующую функцию.

Выходная согласующая цепь синтезируется исходя из условия получения максимальной выходной мощности в режиме насыщения в рабочем диапазоне частот. Из нелинейных моделей транзисторов, предоставленных производителем, были определены паразитные параметры транзисторов и проведен Load-Pull анализ для определения требований к импедансу выходной согласующей цепи.

Для упрощения процедуры синтеза выходной цепи применен следующий подход. Транзистор был представлен в виде эквивалентной параллельной RC-цепи, которая показана на рисунке 8.

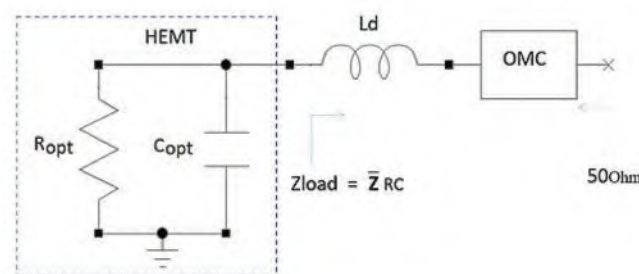


Рисунок 8 - Эквивалентная RC-цепь

Параметры R_{opt} и C_{opt} подбирались так, чтобы максимально приблизить комплексно-сопряженный импеданс этой цепи к оптимальной кривой, полученной в результате Load-Pull моделирования. Полученные значения приведены в таблице 1.

Таблица 1- Расчетные параметры эквивалентной RC-цепи

Тип транзистора	C_{opt} , пФ	R_{opt} , Ом
CGH60008D	0,6	40
CGH60015D	1,25	20

Задача проектирования выходной цепи в этом случае сводится к согласованию RC цепи с 50-омной линией передачи. Для достижения компромисса между физическими размерами, потерями и качеством согласования была выбрана трехконтурная цепь типа ФНЧ. Синтезированные импедансы реализованных согласующих цепей в сравнении с результатами Load-Pull моделирования и комплексно-сопряженными импедансами эквивалентной RC-цепи приведены на диаграмме Смита - рисунок 9а (для AMP1) и рисунок 9б (для AMP2).

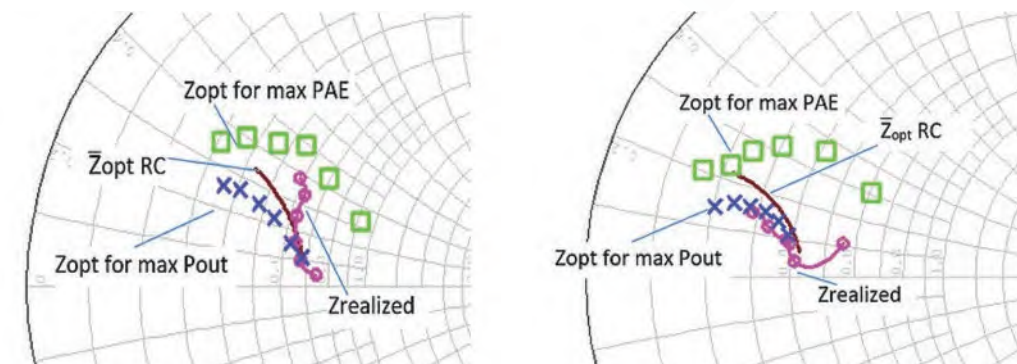


Рисунок 9 - Реализованный импеданс выходной согласующей цепи AMP1 (а) и цепи AMP2 (б)

Подача напряжения питания на сток транзистора реализована через SMD индуктивности, подача напряжения смещения на затвор – через индуктивность, выполненную в виде проволочной перемычки. Цепи питания и смещения подключены в самые низкоомные части схемы, что обеспечивает наилучшую развязку. Фотографии разработанных каскадов приведены на рисунке 10.

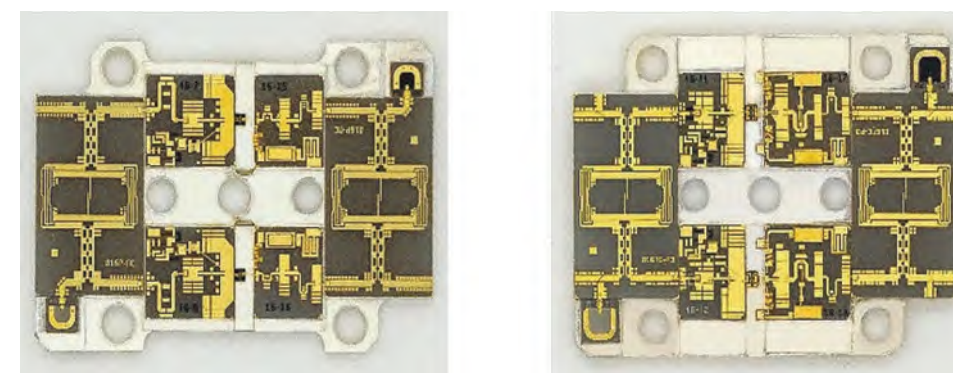


Рисунок 10 - Фотографии разработанных балансных каскадов

Микрополосковые платы согласующих цепей из керамики Al₂O₃ толщиной 0,25 мм и квадратурных мостов припаяны на медно-молибденовые основания, транзисторы приклеены эпоксидным клеем с высокой теплопроводностью. Расчетные и экспериментальные характеристики выходной мощности и КПД разработанных балансных усилителей AMP1 и AMP2 показаны на рисунках 11 и 12 и демонстрируют хорошее соответствие между собой.

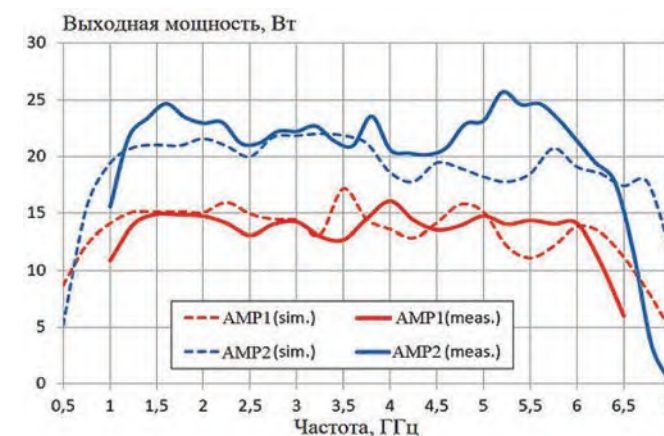


Рисунок 11 - Расчетные и экспериментальные частотные характеристики выходной мощности AMP1 и AMP2

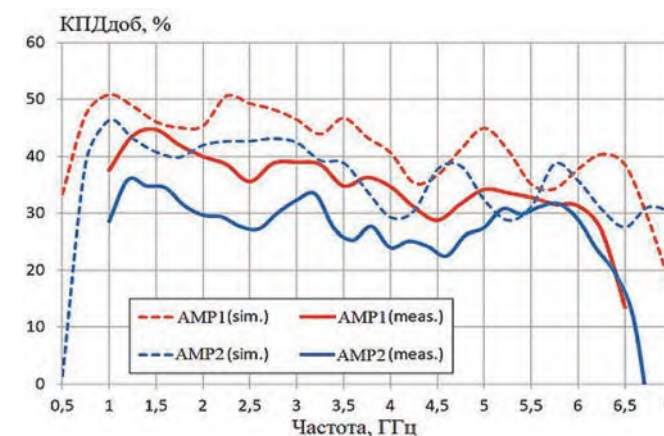


Рисунок 12 - Расчетные и экспериментальные частотные характеристики КПД AMP1 и AMP2

Реализация и измерения

На рисунке 13 показана фотография реализованного усилителя мощности, состоящего из шести каскадов, в которых содержатся: входные малошумящие каскады, цифровой аттенуатор, устройство термокомпенсации усиления, драйвер АМР1 и выходной усилительный балансный каскад АМР3. На выходе установлен направленный детектор выходной мощности.

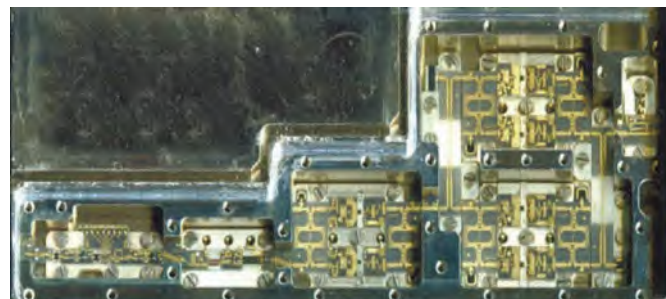


Рисунок 13. Конструкция усилителя

Измеренные характеристики прибора показаны на рисунках 14 и 15. Все измерения проведены при напряжении питания 28В.

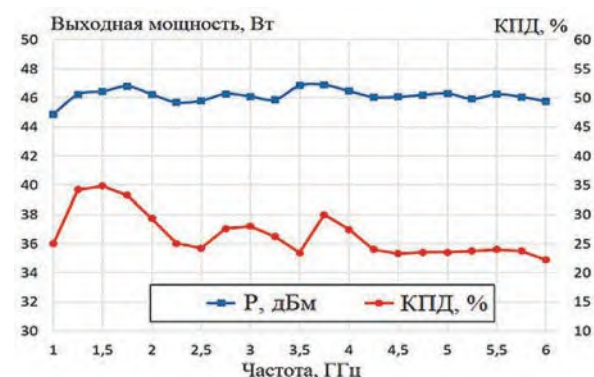


Рисунок 14 - Измеренные характеристики выходной мощности при $P_{вх} = 2\text{мВт}$ и КПД в зависимости от частоты при разных температурах

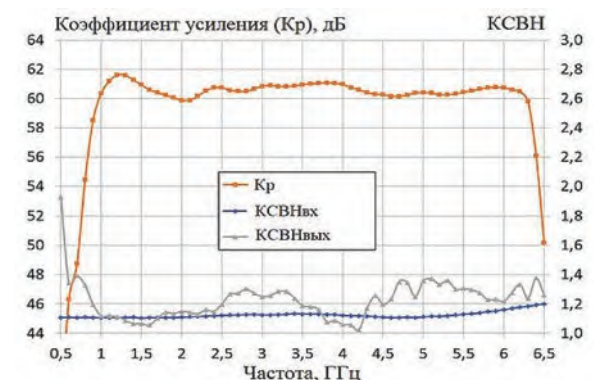


Рисунок 15 - Измеренный малосигнальный коэффициент усиления и КСВН входа и выхода в зависимости от частоты

Заключение

Применение балансной схемы построения усилителя мощности на основе новой конструкции квадратурного моста с рабочей полосой от 1 до 6 ГГц позволило реализовать в этом диапазоне недорогой и компактный усилитель, обладающий прекрасной неравномерностью усиления, выходной мощностью 36-50 Вт и КПД 24-35%. Применение дискретных GaN-транзисторов позволяет существенно сократить стоимость усилителей в сравнении с другими решениями, построенными на основе МИС СВЧ.

Список литературы

- [1] Niclas K., Multi-Octave Performance of Single-Ended Microwave Solid-State Amplifiers, IEEE Transactions on Microwave Theory and Technique, vol.MTT-32, N 8, 1984, pp. 896-908.
- [2] Lange J., Interdigitated stripline quadrature hybrid, IEEE Transactions on Microwave Theory and Technique, vol.MTT-17, 1969, pp. 1150-1151.
- [3] Matthaei G., George L., Young L., Jones E. Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures. McGraw-Hill Book Company, 1964.
- [4] Uysal, Sener. Nonuniform Line Microstrip Directional Couplers and Filters, Boston, Artech House, 1993
- [5] Радченко А.В., Радченко В.В. Микрополосковый тандемный направленный ответвитель. Патент РФ №2743248, МПК H01P5/18



Сергей Исаев, генеральный директор.

Нашим рекламным слоганом являются два простых слова: «Интеллект. Качество». В них – суть приоритетов, которыми руководствуется предприятие «Микроволновые системы» в повседневной жизни: интеллект его инженеров позволяет разрабатывать уникальные изделия, а производство их с высоким качеством – реализовать запросы самых строгих заказчиков.

Отдав на аутсорсинг все второстепенные производственные и технологические операции, мы сосредоточились на том главном, что научились делать хорошо: разработке, сборке и поставке заказчикам широкополосных СВЧ усилителей, многофункциональных модулей, МИС, ГИС, транзисторов.

Если Вы заинтересовались тем, что увидели в этом каталоге – ждем Вас в гости, может получиться хороший продукт совместной деятельности.



Андрей Кищинский, заместитель генерального директора – главный конструктор.

В основе наших разработок – многолетний опыт проектирования и опытного производства твердотельных модулей СВЧ различного назначения: широкополосных мощных усилителей СВЧ диапазона (0,3-22 ГГц), передающих модулей фазированных антенных решеток, управляющих и преобразовательных СВЧ устройств. Основное направление технической политики компании – создание современных технологичных конструкций изделий на основе высоконадежных активных СВЧ компонентов, преимущественно в виде кристаллов, оптимальное сочетание применяемых технологий, максимальная надежность и защищенность изделий от внешних воздействующих факторов, максимальное удобство применения их в аппаратуре потребителя.



Вадим Минебаев, заместитель генерального директора по развитию ЭКБ.

Разработка и производство СВЧ ЭКБ на основе GaAs и GaN и как составных частей собственных изделий, и как продуктов, реализуемых сторонним потребителям, являются одним из активно развивающихся научно-технических направлений предприятия. Многолетний опыт сотрудников в проектировании СВЧ МИС и дискретных приборов, измерении их параметров, восстановлении внутренних эквивалентных схем и создании электронных моделей с учетом знаний о технологиях изготовления различных foundry, испытаниях на воздействие ВВФ позволяет создавать высоконадежную СВЧ ЭКБ не только в виде кристаллов, но и в специализированных микрокорпусах собственной разработки.

