

# Усилители мощности по схеме Догерти

## Часть 2

В. Кочемасов, к. т. н.<sup>1</sup>, Т. Косичкина, к. т. н.<sup>2</sup>

УДК 621.375 | ВАК 05.27.01

В первой части статьи, опубликованной в третьем номере журнала «ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес» за 2019 год, было рассказано о принципах работы, достоинствах и недостатках, технологиях изготовления, архитектуре усилителей мощности по схеме Догерти. В данном номере рассматривается элементная база современных усилителей Догерти.

### ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА УСИЛИТЕЛЕЙ ДОГЕРТИ

Среди компонентов СВЧ-электроники, реализующих схему Догерти, можно выделить следующие виды продуктов: микросхемы усилителей (монолитные и гибридные), интегрированные модули в состав которых, помимо усилителя, могут входить делители мощности, цепи согласования и другие элементы.

Лидером производства гибридных интегральных микросхем усилителей Догерти является корейская компания RFHIC [1]. Та же компания, а также компания NXP [2] выпускают интегрированные модули. Компании Inpower [3] и Wuhan Gewei Electronic Technologies [4] также занимаются разработкой гибридных микросхем. Среди СВЧ-компонентов представляют интерес и другие электронные компоненты для усилителей Догерти: сумматоры, контроллеры амплитуды и фазы, LDMOS-транзисторы. Эти компоненты выпускаются компаниями Anaren [5], Peregrine Semiconductor (pSemi) [6], Infineon [7], Ampleon [8], RFMD (Qorvo) [9], RN2 [10].

### Микросхемы компании RFHIC

Компания RFHIC предлагает две серии микросхем гибридного типа для поверхностного монтажа. Это двухкаскадные усилители и асимметричные усилители.

Основное отличие асимметричной архитектуры от симметричной заключается в использовании усилительных элементов с различными значениями пиковой мощности для основного и вспомогательного усилителей. Соотношение мощности между основным и вспомогательным усилителем зависит от требований к местоположению второго пика КПД. Напомним, что в традиционной симметричной архитектуре используется два идентичных усилительных элемента в основном и вспомогательном усилителях, что упрощает цепи согласования. В этом случае делитель мощности на 3 дБ обычно реализуется с помощью гибридного квадратурного преобразователя. Однако недостаток симметричной архитектуры в том, что первый максимальный пик КПД достигается при уровне снижения выходной мощности, равном 6 дБ.

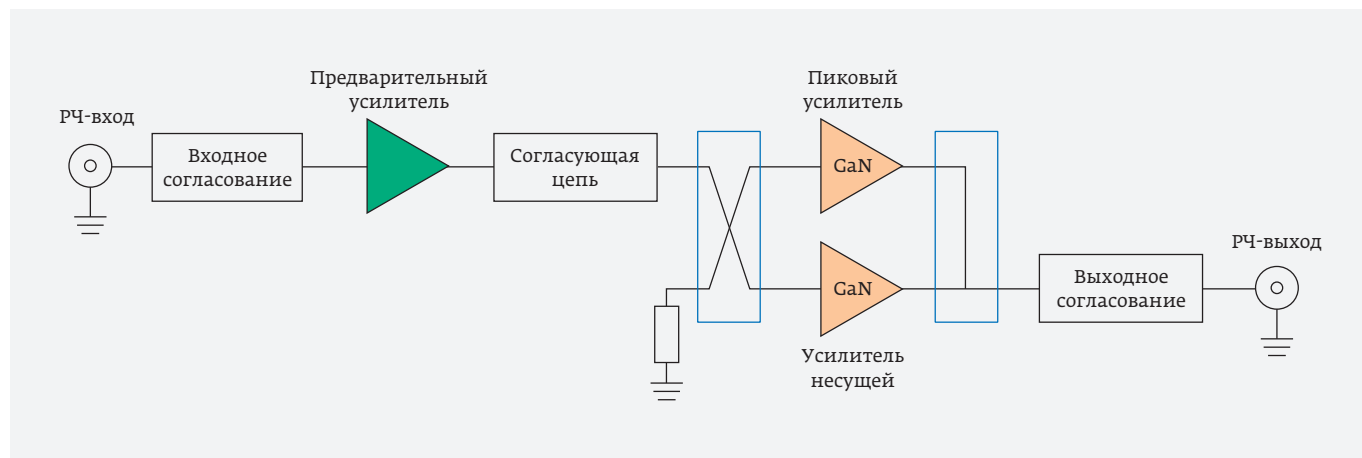


Рис. 1. Блок-схема двухкаскадного усилителя RTN07003-20D

<sup>1</sup> ООО «Радиокомп», генеральный директор, vkochemasov@radiocomp.ru.

<sup>2</sup> Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ), доцент, tkosichkina@yandex.ru.

Таблица 1. Характеристики двухкаскадных усилителей Догерти компании RFHIC

Модель	Диапазон частот, МГц	Коэффициент усиления, дБ	Выходная мощность, дБм	Пиковая мощность, дБм	Коэффициент утечки мощности в соседний канал, дБн	КПД, %	Напряжение питания, В	Ток, мА	Тип корпуса
RTH07003-20D	773–783	30	34,7	42,2	-53	38	30	230	SP-1E
RTH08003-20D	860–875	30	35,5	43	-53	43	30	240	SP-1E
RTH35003-20D	3 520–3 560	24	35,1	42,6	-53	38	30	280	SP-1E

Серия двухкаскадных усилителей компании RFHIC состоит из предусилителя и усилителя мощности. На рис. 1 [1] приведена блок-схема усилителя RTH07003-20D из этой серии. В состав микросхем данной серии входят также согласующие цепи. Микросхемы ориентированы на применение в сотах малого радиуса действия стандарта 4G/LTE. Усилители разных моделей отличаются друг от друга, в основном, диапазоном частот, остальные характеристики приблизительно одинаковы. Усилитель RTH08003-20D имеет чуть лучшие характеристики по линейности и КПД. Сравнительные характеристики усилителей этой серии приведены в табл. 1 [1], а зависимости коэффициента усиления и КПД от выходной мощности для усилителя RTH08003-20D – на рис. 2 [1].

Асимметричные усилители созданы по классической схеме и состоят из (рис. 3) [1] гибридного квадратурного преобразователя, двух усилителей, линий задержки

и схемы сложения (Doherty Combiner). Сравнительные характеристики усилителей этой серии приведены в табл. 2 [1]. Типичное значение мощности в диапазоне рабочих частот составляет 38,5 дБм (7 Вт), КПД – 45%, коэффициент усиления – от 13 до 16 дБ, неравномерность усиления по частоте – не более 2 дБ. Цифровое предискажение уменьшает коэффициент утечки мощности в соседний канал (Adjacent Channel Leakage Ratio, ACLR) (рис. 4) [1].

Микросхемы асимметричных усилителей изготовлены по усовершенствованной полупроводниковой технологии GaN с низким содержанием галлия. Данная серия имеет корпус малых размеров 28 × 19 × 4,8 мм, выполненный на основе нитрида алюминия (AlN), который обеспечивает хорошую теплоотдачу.

Интегрированные модули мощных усилителей по схеме Догерти, предназначенных для применения в базовых

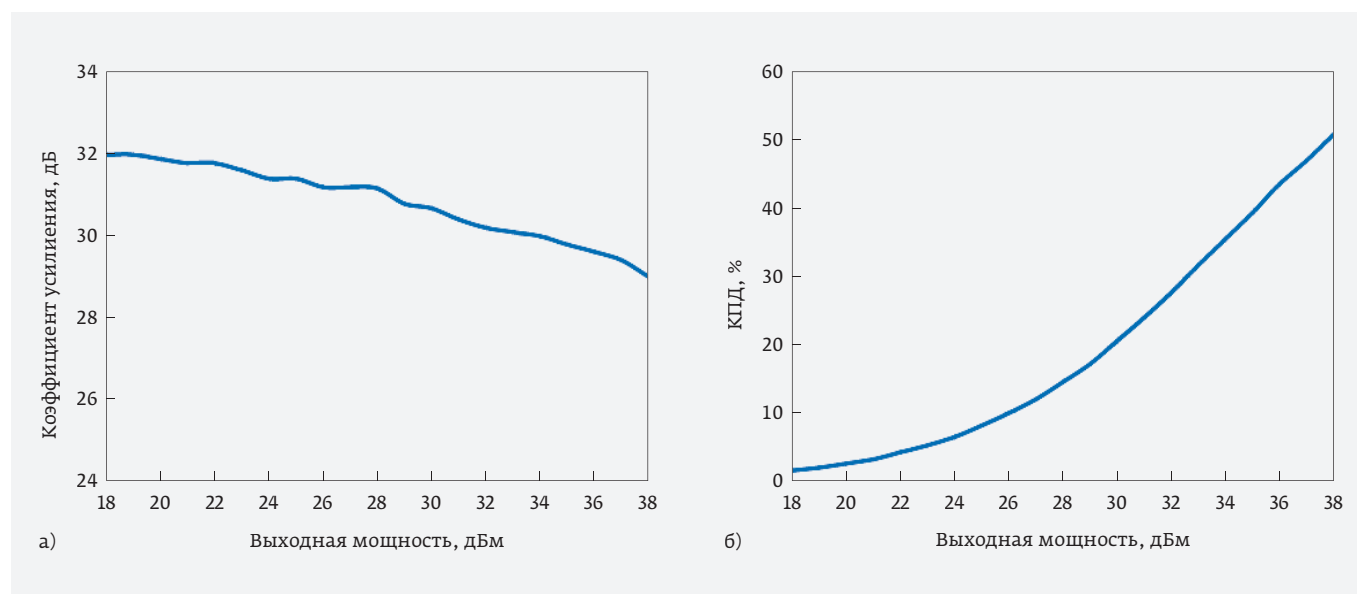
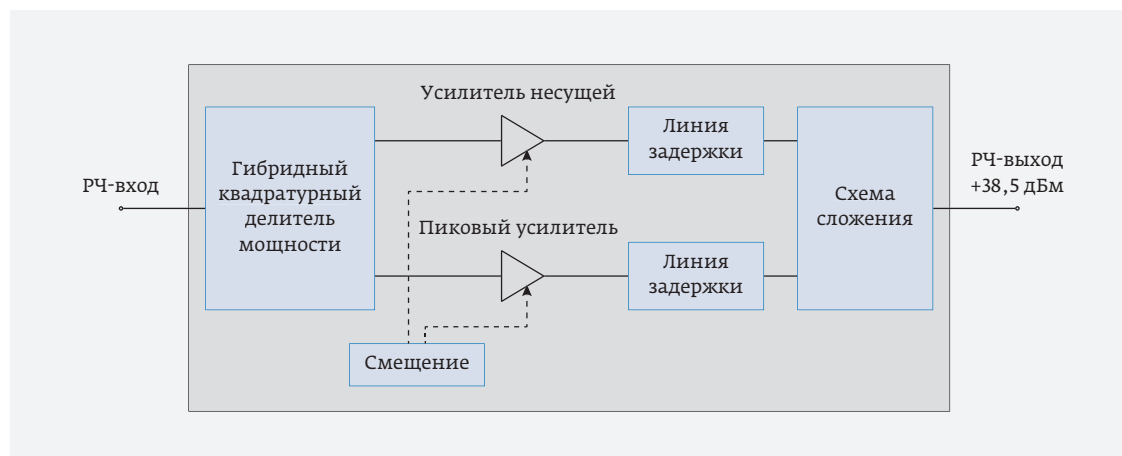


Рис. 2. Характеристики двухкаскадного усилителя RTH08003-20D: а – коэффициент усиления; б – КПД. Частота равна 865 МГц



**Рис. 3.**  
Блок-схема  
асимметричного усилителя  
компании  
RFHIC

станциях, представлены двумя сериями: усилители по технологии GaN на подложке SiC (микросхемы RTP21005-11 и RTP21010-11) и серия микросхем на базе псевдоморфных ВПЭ-транзисторов (pHEMT), выполненных по технологии GaN (RTP18080-20, RTP21028-20, RTP21056-20, RTP21080-20, RTP26056-20, RTP26080-20).

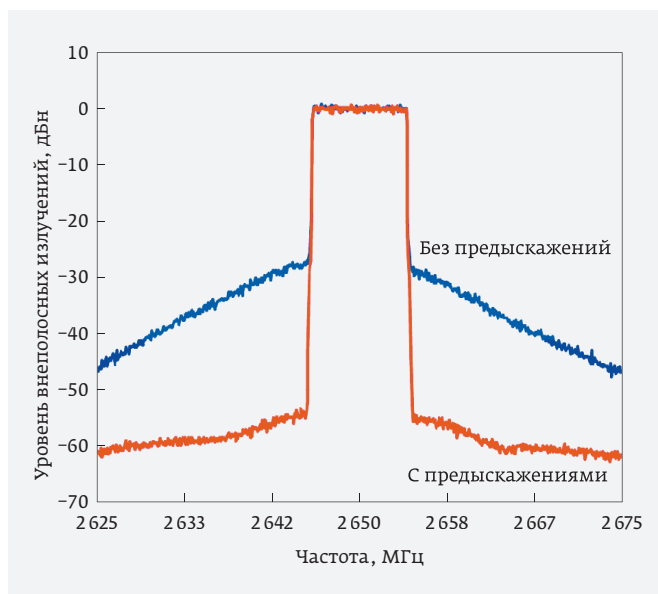
Модули усилителей с высоким коэффициентом усиления RTP18080-20, RTP21028-20, RTP21056-20, RTP21080-20, RTP26056-20 и RTP26080-20 отличаются диапазонами рабочих частот и размерами (табл. 3) [1]. В этих устройствах (рис. 5) [1] за счет использования псевдоморфных ВПЭ-транзисторов (pHEMT) обеспечиваются высокие

**Таблица 2.** Характеристики асимметричных усилителей Догерти компании RFHIC

Модель	Диапазон частот, МГц	Коэффициент усиления, дБ	Выходная мощность, дБм	Пиковая мощность, дБм	Коэффициент утечки мощности в соседний канал, дБн	КПД, %	Напряжение питания, В	Ток, мА	Тип корпуса
RTH07007-10	728-768	16	38,5	46,5	-53	45	31	500	NP-8CL
RTH18007-10	1805-1880	16	38,5	46,5	-53	45	31	500	NP-8CL
RTH20007-10	1930-1990	15	38,5	46,5	-53	45	31	500	NP-8CL
RTH21007-10	2100-2170	14	38,5	46,5	-53	45	31	500	NP-8CL
RTH23007-10	2300-2400	14	38,5	46,5	-53	45	31	500	NP-8CL
RTH26007-10	2610-2690	13	38,5	46,5	-53	45	31	500	NP-8CL

**Таблица 3.** Характеристики мощных усилителей компании RFHIC для базовых станций

Модель	Диапазон частот, МГц	Коэффициент усиления, дБ	Выходная мощность, дБм	Пиковая мощность, дБм	КПД, %	Размеры, мм
RTP18080-20	1805-1880	55	49	56,2	42	170×100×20
RTP21028-20	2110-2170	44,5	44,5	52	43	125×90×20
RTP21056-20	2110-2170	47,5	47,5	55	42	150×90×20
RTP21080-20	2110-2170	55	49	56,2	42	170×100×20
RTP26056-20	2620-2690	47,5	47,5	55	42	150×90×20
RTP26080-20	2620-2690	55	49	56,2	42	170×100×20



**Рис. 4.** Уменьшение внеполосных излучений для схемы с цифровыми предусказжаниями в RTH26007-10

значения пробивного напряжения, линейности и КПД. Во всех моделях используется технология цифровых предусказжений.

Недавно компания анонсировала линейку усилителей, предназначенных для применения в системах мобильной связи с технологией 5G (табл. 4) [1]. Отличительной особенностью концепции 5G являются усовершенствованные схемы модуляции OFDM и использование многоэлементных антенных решеток (Massive MIMO). Для этой технологии характерной особенностью является



**Рис. 5.** Корпус усилителя RTP18080-20 компании RFHIC

использование диапазона частот 1,8–5 ГГц, более широкая полоса частот и малый размер сот.

Асимметричные усилители серий RTH18008R, RTH19008R, RTH21008R и RTH26008R выполнены в виде гибридных микросхем в корпусах SP-5CL размером 26,5×18 мм.

Усилители RTH35005G, RTH37005G и RTH49005G разработаны с учетом будущих требований стандартов 5G/LTE, они изготовлены с использованием усовершенствованной полупроводниковой технологии на основе нитрида галлия (GaN). Эти усилители имеют высокий КПД (40%) и обеспечивают мощность около 5 Вт в диапазоне частот от 3400 до 3600 МГц (RTH35005G), от 3600 до 3800 МГц (RTH37005G) и от 4800 до 5000 МГц (RTH49005G). Серия этих микросхем с асимметричной конфигурацией

**Таблица 4.** Характеристики мощных усилителей компании RFHIC для базовых станций мобильной связи с технологией 5G

Модель	Диапазон частот, МГц	Коэффициент усиления, дБ	Выходная мощность, дБм	Пиковая мощность, дБм	КПД, %	Напряжение питания, В	Тип корпуса
RTH18008R	1805–1880	30	39	46,5	45	31	SP-5CL (26,5×18 мм)
RTH19008R	1930–1990	30	39	46,5	45	31	SP-5CL (26,5×18 мм)
RTH21008R	2110–2180	30	39	46,5	45	31	SP-5CL (26,5×18 мм)
RTH26008R	2620–2690	29	39	46,5	45	31	SP-5CL (26,5×18 мм)
RTH35005G	3400–3600	25	37	44,5	40	31	SP-4EL (20,5×15 мм)
RTH37005G	3600–3800	25	37	44,5	40	31	SP-4EL (20,5×15 мм)
RTH49005G	4800–5000	26	37	45	38	32	SP-48L2 (20,5×15 мм)
RPAМ35008-25	3400–3600	25	39	47	41	28	PP-1S (13×17 мм)

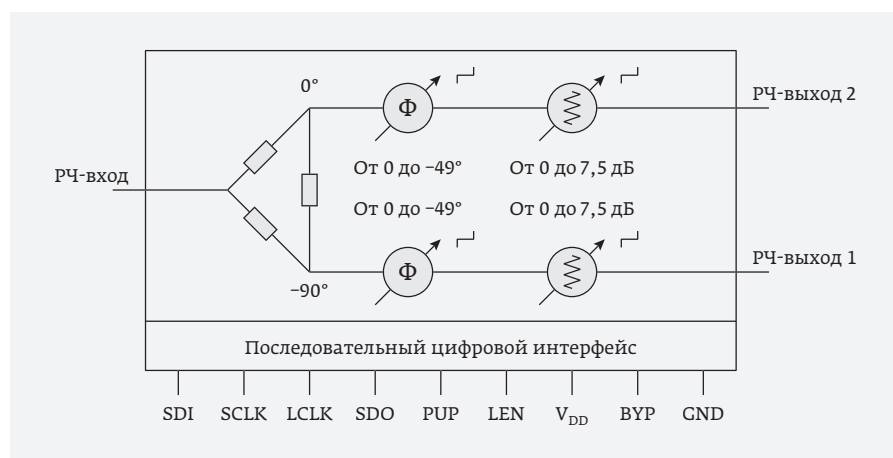


Рис. 6. Структура модулей ADAM компании NXP

Догерти представлена в корпусе с очень малым форм-фактором  $20,5 \times 15 \times 4,2$  мм, выполненном на основе нитрида алюминия.

Усилитель RPA135008-25 представляет собой полностью интегрированный двухкаскадный модуль с согласующими входным и выходным устройствами на 50 Ом, также изготовленный по технологии GaN. Выходная мощность данного усилителя может достигать 50 Вт. Это устройство компактно и требует минимального количества внешних компонентов, занимая гораздо меньшую площадь, чем традиционные решения для усилителей мощности. Его структурная схема аналогична структурной схеме других двухкаскадных усилителей компании RFHIC серии RTN (см. рис. 1).

Для построения мощных высоколинейных усилителей интерес представляют и другие серии микросхем

этой фирмы, например двухкаскадные гибридные усилители с высоким КПД на псевдоморфных ВПЭ-транзисторах (pHEMT), выполненные по технологии GaN (HT0808-15A, HT1818-15A, HT1818-15M, HT2121-15A, HT2121-15M, HT2626-15A, HT2626-15M, HT2627-15A, HT0808-30A, HT0909-30A, HT1818-30A, HT1919-30A, HT2121-30A, HT2626-30A).

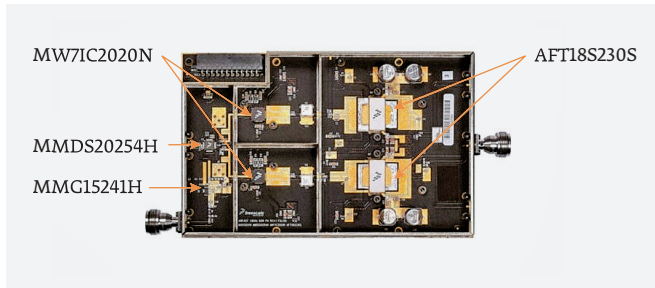
### Интегрированные модули компании NXP / Freescale

Ассортимент продукции широкополосных усилителей компании NXP (до 2015 года Freescale) включает предоконечные и оконечные каскады

усилителей Догерти, в том числе для использования в фемтосотах, и блоки основного усиления для систем беспроводной связи. Оригинальной продукцией этой компании являются усовершенствованные модули выравнивания для усилителей Догерти (Advanced Doherty Alignment Module ADAM) — это класс высокоинтегрированных схем управления, разработанный специально для оптимизации характеристик современных усилителей Догерти. Они предназначены для использования в передатчиках базовых станций вместе с мощными усилителями Догерти. В сочетании с силовыми транзисторами Airfast эти сложные изделия улучшают такие характеристики передающих устройств, как КПД, коэффициент усиления, линейность. Их основное предназначение — точное выравнивание фазы и амплитуды в усилителе несущей и пиковом усилителе для обеспечения согласованности

Таблица 5. Характеристики модулей ADAM компании NXP

Модель	Диапазон частот, МГц	Максимальная входная мощность, дБм	Шаг / максимальное значение ослабления программируемого аттенюатора, дБ	Шаг / максимальное абсолютное значение фазового сдвига, °	Напряжение питания, В	Потребляемый ток, мА	Тип корпуса
MMDS09254H	700–1000	25	0,5/7,5	7/49	5	12	HVQFN32 (6×6×0,85 мм)
MMDS20254H	1800–2200	25	0,5/7,5	7/49	5	12	HVQFN32 (6×6×0,85 мм)
MMDS25254H	2300–2700	25	0,5/7,5	7/49	5	12	HVQFN32 (6×6×0,85 мм)
MMDS36254H	3400–3800	25	0,25/7,75	6,5/45,5	5	10	HVQFN32 (6×6×0,85 мм)



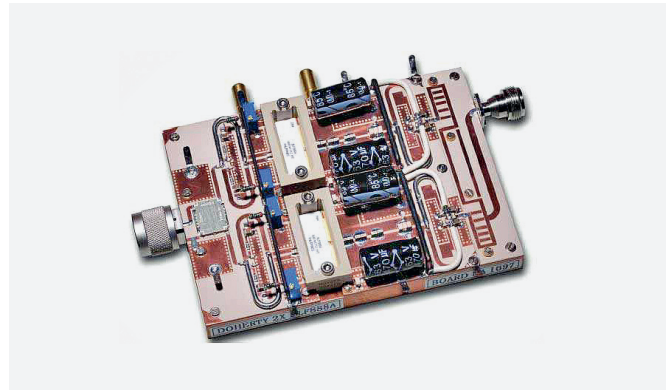
**Рис. 7.** Усилитель мощности с использованием модуля ADAM

их характеристик, в частности для асимметричных реализаций. Модули обеспечивают хорошие показатели линейности и КПД при увеличенной выходной мощности.

Линейка ADAM представлена четырьмя модулями: MMDS09254H, MMDS20254H, MMDS25254H и MMDS36254H. Все микросхемы содержат 90-канальный аналого-цифровой преобразователь и ступенчатый аттенюатор и работают от одного источника питания (рис. 6) [2]. Модули подходят для основных стандартов беспроводных систем связи, таких как WCDMA, UMTS и LTE. Они применяются в диапазонах от 700 до 3800 МГц и управляются с использованием последовательного периферийного интерфейса (SPI). Основные характеристики модулей представлены в табл. 5 [2].

Особенности данных микросхем: делитель мощности с низким энергопотреблением, программируемые аттенюаторы с шагом 0,5 дБ и диапазоном регулировки от 0 до 7,5 дБ, фазовращатели с цифровой регулировкой с шагом 7° на бит и диапазоном регулировки от 0 до -49°, интерфейсы TTL/CMOS/SPI (логика 1,8 и 3,3 В), 32-контактный, 6-мм пластиковый корпус QFN для поверхностного монтажа.

На рис. 7 [2] приведен пример использования модуля ADAM в усилителе мощности базовой станции системы сотовой связи диапазона 1800 МГц. Сигнал после МШУ с большим динамическим диапазоном MMG15241H



**Рис. 8.** Демонстрационная плата Ampleon для УВЧ-диапазона

поступает на модуль MMDS20254H, в котором происходит деление мощности и выравнивание фазы и амплитуды сигнала перед его подачей на усилительные приборы MW71C2020N и AFT18S230S, включенные по схеме Догерти.

Ориентируясь на будущие стандарты 5G, компания NXP расширяет линейку усилителей мощности для рынка сотовой инфраструктуры, к которой относятся мощные LDMOS-транзисторы с напряжением питания 28 и 48 В, а также GaN-транзисторы с напряжением питания 48 В. Частота работы этих транзисторов варьируется от 450 до 5000 МГц, что позволяет поддерживать различные стандарты сотовой связи, включая 5G. Кроме того, компания выпускает серию широкополосных линейных усилителей (MMZ) на основе технологии InGaP HBT, которые могут использоваться как предварительные усилители в двухкаскадных усилителях Догерти.

### Усилители фирмы Ampleon

Компания Ampleon выпускает транзисторы, предназначенные для реализации усилителей Догерти, и интегральные СВЧ-микросхемы усилителей Догерти. Широкий ассортимент продукции охватывает диапазоны частот от

Международный научно-технический семинар  
Генерация и синтез частот и сигналов

ГСЧС 2019



МОСКВА  
6 АВГУСТА

www.sgfs.ru

Регистрация на мероприятие до 30.06.19

Подробности участия [seminar@radiocomp.ru](mailto:seminar@radiocomp.ru)

#### Основные направления семинара:

- Синтезаторы частот
- Малошумящие генераторы СВЧ-колебаний
- Компоненты и функциональные узлы
- Приборы и методы измерений

#### Выставочная экспозиция:

Измерительное оборудование, СВЧ-фильтры и др.



Генеральный спонсор

Фильтры ООО «Радиокомп»

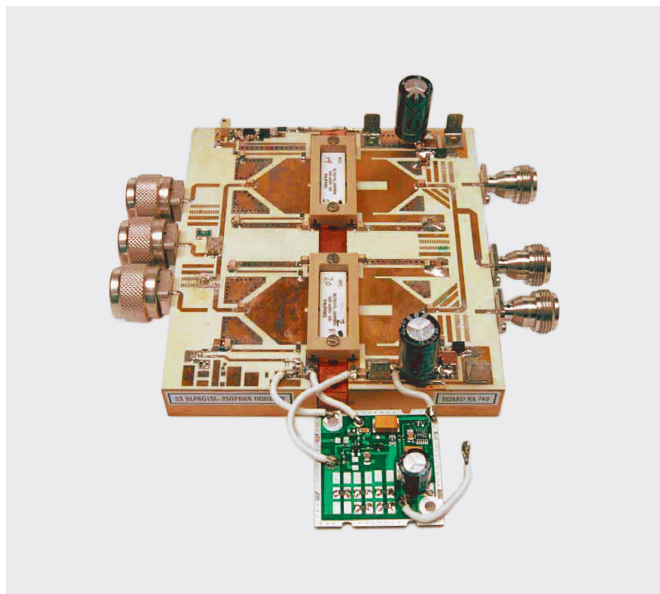


Рис. 9. Фотография усилителя мощности на основе транзисторов BLF6G15L-250PBRN

450 МГц до 3,8 ГГц и средние уровни мощности от 2 до 80 Вт. Эти устройства применимы для большинства приложений сотовой связи: от пикосот до макросот. В них используется технология цифровых предскажений. Для достижения максимального КПД Ampleon предлагает сочетание последнего поколения технологий LDMOS с концепцией Догерти.

Компания Ampleon предлагает также решения на LDMOS-транзисторах, так называемые интегрированные архитектуры Догерти (iDPA). Первая подобная конструкция представляла собой демонстрационную плату усилителя Догерти для систем цифрового телерадиовещания и была выполнена на транзисторах серии BLF888A. Ее КПД составлял приблизительно 40% в диапазоне частот 470–800 МГц.

Таблица 6. Характеристики усилителей компании Ampleon

Используемые транзисторы	Диапазон частот, МГц	Выходная мощность, дБм	Напряжение питания истока, В	КПД, %
BLF888A	470-860	53	49	40
BLF6G15L-250PBRN	1476-1511	49	32	36
BLF7G20LS-90P, BLF7G21LS-160P	1805-1880	46	28	47
BLF7G22LS-130	2110-2170	47	28	43

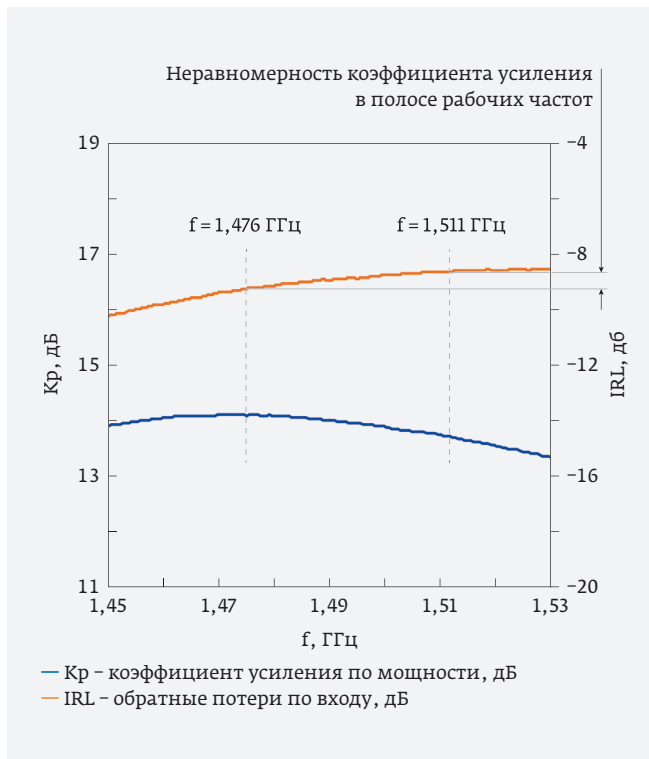


Рис. 10. Коэффициент усиления и входные обратные потери в зависимости от частоты решения на базе транзисторов BLF6G15L-250PBRN

Еще один вариант демонстрационной платы (рис. 8) [8] состоит из двух частей: одна печатная плата содержит широкополосные основной и пиковый усилители, а вторая – сумматор (схема сложения выходных мощностей). В каждом из усилителей используется LDMOS-транзистор BLF888A вместе с соответствующими компонентами. Усилитель Догерти, реализованный на данной демонстрационной плате, охватывает весь диапазон УВЧ. Полоса пропускания этого усилителя зависит от конструкции

Таблица 7. Сравнительные характеристики линейки сумматоров Догерти компании Anaren

Наименование	Диапазон частот, ГГц	Мощность, Вт	Вносимые потери, дБ	Потери на отражение, дБ	Разбаланс фаз, °	Разбаланс амплитуд, дБ
X3DC07E2S	0,728–0,768	200	0,15	20	90 ± 3	±0,12
X3DC07P1S	0,72–0,76	42	0,25	22	90 ± 3,5	±0,2
X3DC08E2S	0,869–0,894	200	0,15	20	90 ± 3	±0,12
X3DC09E2S	0,925–0,96	200	0,15	20	90 ± 3	±0,12
X3DC18E2S	1,805–1,88	200	0,15	20	90 ± 3	±0,12
X3DC18P1S	1,8–1,92	80	0,25	22	90 ± 3,5	±0,2
X3DC19E2S	1,93–1,99	200	0,15	20	90 ± 3	±0,12
X3DC19P1S	1,93–1,99	85	0,2	22	90 ± 3	±0,2
X3DC21E2S	2,11–2,17	200	0,15	20	90 ± 3	±0,2
X3DC21P1S	2,1–2,2	70	0,2	22	90 ± 3	±0,2
X3DC23P1S	2,3–2,4	100	0,2	22	90 ± 3	±0,2
X3DC25P1S	2,58–2,73	90	0,2	22	90 ± 3	±0,2
X3DC35P1S	3,5–3,6	40	0,2	22	90 ± 3	±0,2

сумматора. Для получения необходимой ширины полосы частот компания предлагает различные варианты демонстрационных версий.

Усилитель имеет минимальную выходную мощность в среднем 200 Вт и полосу пропускания приблизительно 50 МГц (в зависимости от центральной частоты).

Предлагается также решение на основе архитектуры Догерти на двух мощных транзисторах шестого поколения компании Ampleon BLF6G15L-250PBRN, в которых применяется усовершенствованная технология LDMOS (рис. 9) [8].

Разработка оптимизирована для использования в приложениях для базовых станций 3GPP E-UTRA LTE, работающих на частоте 1,5 ГГц. Конструкция обеспечивает высокие КПД и максимальную мощность, подобно двум параллельным усилителям класса АВ.

Устройство реализовано в виде классического усилителя Догерти, то есть на основной усилительный прибор подается смещение для работы в классе АВ, а вспомогательный усилительный прибор работает в классе С. Входная и выходная секции

внутренне согласованы, что обеспечивает высокий коэффициент усиления с хорошей равномерностью и фазовой линейностью в широком диапазоне частот (рис. 10) [8].

Помимо рассмотренных конструкций усилителей, компания Ampleon предлагает еще два варианта усилителей для различных диапазонов частот: для диапазона 2000 МГц на основе LDMOS-транзистора BLF7G22LS-130, а также для диапазона 1800 МГц на основе

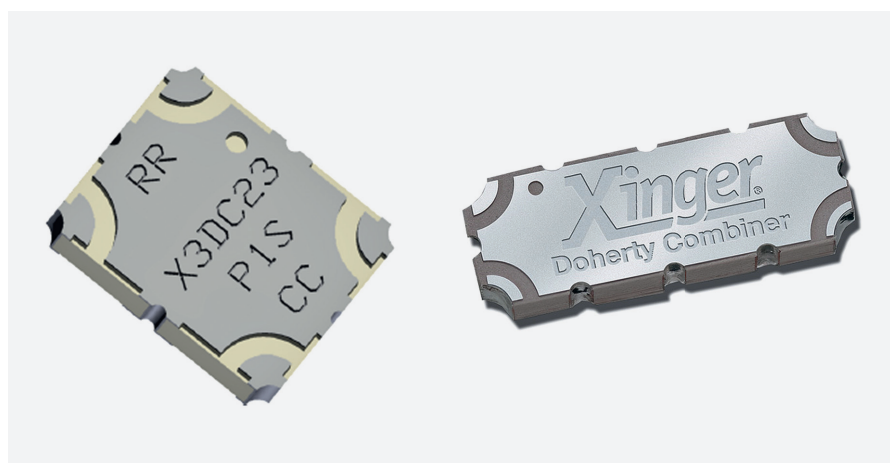
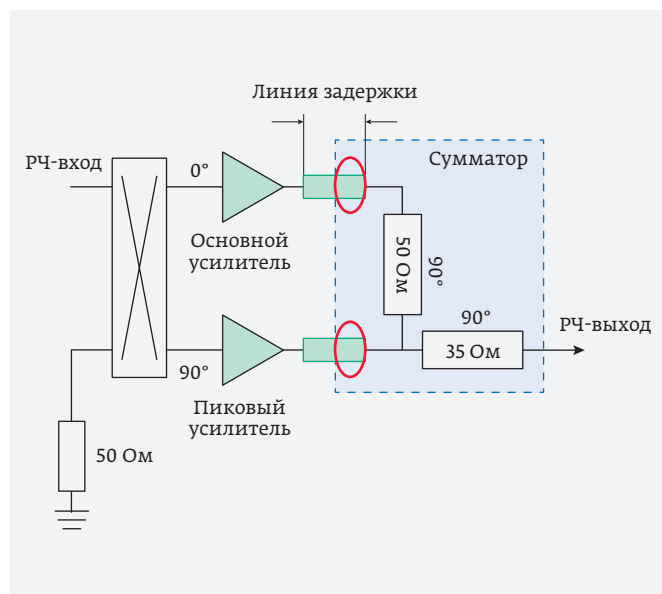


Рис. 11. Сумматоры компании Anaren





**Рис. 12.** Структурная схема включения сумматора компании Anaren

LDMOS-транзисторов BLF7G20LS-90P и BLF7G21LS-160P. Сравнительные характеристики разработок приведены в табл. 6 [8].

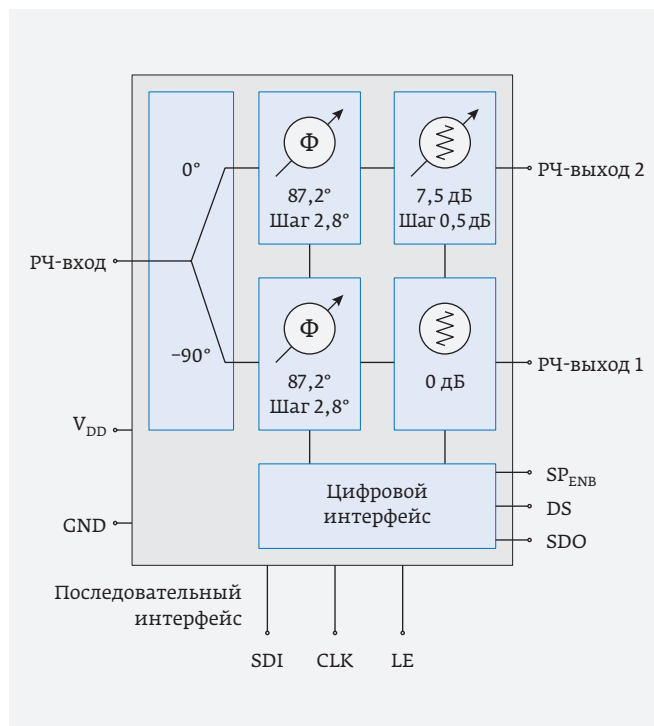
### Сумматоры компании Anaren

Компания Anaren выпускает линейку сумматоров для усилителей Догерти. Эти компоненты призваны найти широкое применение при построении усилителей Догерти для оборудования сетей сотовой связи и широкополосного радиодоступа стандартов W-CDMA, CDMA2000, LTE и WiMax.

Основные параметры предлагаемой линейки сумматоров Догерти представлены в табл. 7 [5]. Сумматоры этой серии предназначены для поверхностного монтажа. Они разработаны, в частности, для приложений, в которых как для максимального, так и для низкого энергопотребления требуется жестко контролировать разбаланс фаз и амплитуд. К особенностям данных сумматоров следует также отнести малые вносимые потери, хорошую согласованность и высокую надежность. Эти устройства могут

**Таблица 8.** Характеристики контроллеров компании Peregrine Semiconductor

Модель	Частотный диапазон, МГц	Вносимые потери, дБ	Точка пересечения третьего порядка (IP <sub>3</sub> ) на входе, дБм	P <sub>0,1 дБ</sub> , дБм
PE46140	3 400–3 800	6,5	60	35
PE46130	2 300–2 700	7,2	70	35
PE46120	1 800–2 200	6,9	60	35



**Рис. 13.** Функциональная схема контроллеров фазы и амплитуды компании Peregrine Semiconductor

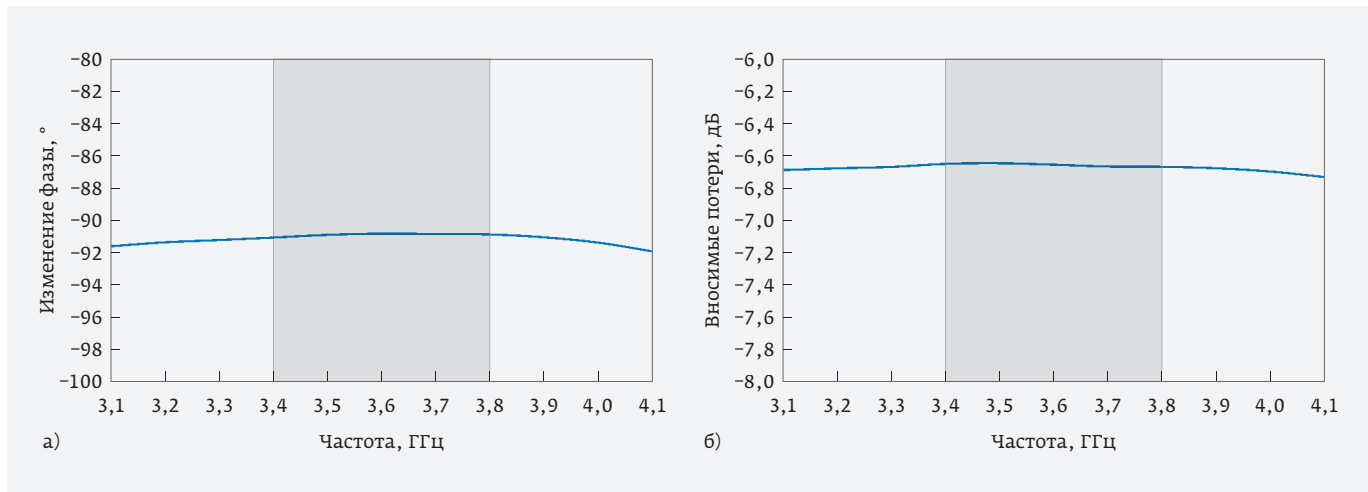
использоваться в приложениях, в которых необходимая мощность составляет от 40 до 200 Вт.

Сумматоры подвергаются строгим квалификационным испытаниям, они изготовлены с использованием материалов с коэффициентами теплового расширения, совместимыми с обычными подложками, такими как FR4, G-10, RF-35, RO4350.

Устройства выпускаются в корпусах двух видов: размером 6,35 × 5,08 мм или 14,2 × 5,1 мм (рис. 11) [5]. Конфигурация сумматоров Догерти компании Anaren приведена на рис. 12 [5].

Для оценки возможности управления мощностью сумматоры анализируются при трех возможных состояниях в условиях изменения пик-фактора.

1. При симметричном включении и средней мощности в усилителе Догерти подключен только основной



**Рис. 14.** Зависимость сдвига фазы (а) и вносимых потерь (б) от частоты для микросхемы PE46140 компании Peregrine Semiconductor

усилитель на половине его полной мощности. В таком режиме сумматор, например X3DC23PIS с номинальной выходной мощностью 100 Вт, может надежно работать с мощностью до 50 Вт в основном усилителе и 0 Вт – в пиковом.

2. Режим усиления в основном усилителе до 65% от его полной мощности и в пиковом усилителе до 30% полной мощности, выходная мощность примерно на 3 дБ выше средней. Считается, что сумматор работает при таком уровне мощности на протяжении всего срока службы компонента. В таком режиме сумматор, например X3DC23PIS, может работать с мощностью до 65 Вт в основном усилителе и 35 Вт в пиковом усилителе.
3. Сигналы с мощностью на 3 дБ и более выше средней возникают кратковременно с низкой вероятностью, они не несут термического риска для сумматоров. Имея высокое напряжение пробоя, компоненты могут безопасно выдерживать пики не менее 12 дБ по отношению к средней номинальной мощности. Например, сумматор X3DC23PIS может работать с мощностью до 100 Вт в основном усилителе и до 100 Вт в пиковом при условии очень короткой продолжительности пиковых импульсов.

Таким образом, сумматоры могут использоваться в усилителях Догерти с номинальной средней выходной мощностью. Не требуется дополнительного снижения мощности для сигналов с высоким пик-фактором.

### Контроллеры фазы и амплитуды компании Peregrine Semiconductor

Компания Peregrine Semiconductor выпускает серию контроллеров фазы и амплитуды (MPAC) – PE46120, PE46130, PE46140 (рис. 13) [6], – предназначенных для

точного управления фазой и амплитудой двух независимых ВЧ-трактов. Они оптимизируют характеристики системы, одновременно снижая затраты на производство передатчиков, использующих симметричные или асимметричные конструкции усилителей мощности для эффективной обработки сигналов с большими значениями пик-фактора.

Эти монолитные радиочастотные интегральные схемы объединяют квадратурный делитель мощности, цифровые фазовращатели и цифровой аттенюатор, а также низковольтный последовательный КМОП-интерфейс. Они могут охватывать диапазон фаз от 0 до 87,2° с шагом 2,8° и диапазон ослабления от 0 до 7,5 дБ с шагом 0,5 дБ, обеспечивая хорошую точность фазы и амплитуды (табл. 8) [6]. Характеристики микросхемы PE46140 (рис. 14) [6] демонстрируют хорошую линейность сдвига фазы и вносимых потерь во всем диапазоне рабочих частот 3,4–3,8 ГГц.

Микросхемы отличаются исключительной линейностью, высоким КПД и низким энергопотреблением по

Санкт-Петербург, Россия  
ул Матроса Железняка,  
д. 57, лит. А, пом. 126-Н  
Телефон: 7-812-3259792

Москва, Россия  
Лужнецкая набережная, 2/4,  
строение 19, офис 119  
Телефон: 7-095-7477590

**VITAL-IC**

Поставки электронных компонентов  
широкой номенклатуры  
Системы RFID: поставка и консультации

**XILINX** **Mini-Circuits**  
**ALTERA**

Таблица 9. Характеристики устройств компании Infineon

Модель	Диапазон частот, МГц	Применение	Напряжение питания, В	Коэффициент усиления, дБ	КПД, %	Выходная мощность, Вт
PTMA080304M	700–1000	GSM/ EDGE	28	30	28	15
PTMA210304M	1800–2200	WCDMA	28	29	22	30
PTMA210404FL	1800–2200	TD-SCDMA	28	27	35	40

сравнению с конкурирующими модульными решениями. Они предлагаются в корпусе типа QFN с 32 выводами размером  $6 \times 6 \times 0,85$  мм.

Все микросхемы изготовлены на основе технологии UltraCMOS компании Peregrine Semiconductor, запатентованной модификации технологии кремний-на-изоляторе (SOI) на сапфировой подложке, что обеспечивает характеристики, подобные характеристикам GaAs-устройств, но с преимуществами обычных КМОП-технологий.

Используя тонкую настройку фазовых сдвигов основного и пикового усилителей при значениях фаз более  $36^\circ$ , можно получить различные значения КПД суммирования мощности (Power added efficiency, PAE).

### Усилители компании Infineon

В 2009 году компания Infineon представила серию двойных двухкаскадных интегрированных усилителей мощности на основе технологии LDMOS для базовых станций беспроводных сетей. Два двухкаскадных усилителя LDMOS в одном корпусе идеальны для создания компактных конструкций, занимающих мало места на плате.

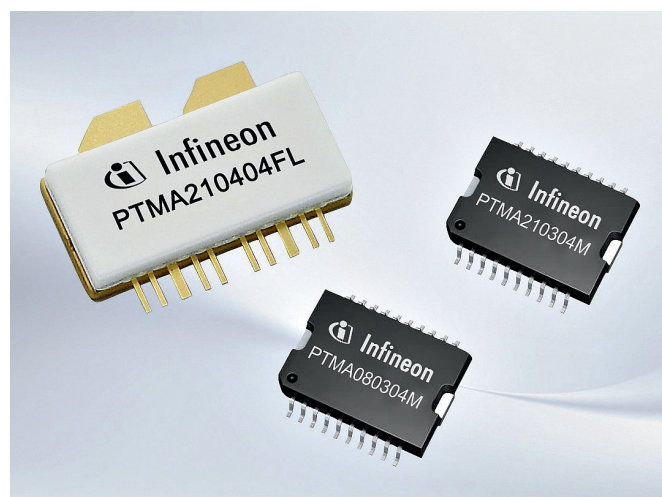


Рис. 15. Корпуса транзисторов компании Infineon

Усилители PTMA210304M и PTMA210404FL предназначены для приложений WCDMA, LTE и TD-SCDMA, их диапазон рабочих частот составляет 1800–2200 МГц, а выходная мощность – 30 и 40 Вт соответственно. Устройство PTMA080304M для приложений WCDMA, LTE и GSM/EDGE работает на частоте 700–1000 МГц и имеет выходную мощность 15 Вт (табл. 9) [7].

Благодаря уменьшенной занимаемой площади интегрированные усилители LDMOS при использовании в базовых станциях сотовой связи помогают удовлетворить требования для работы на нескольких несущих.

Чтобы сбалансировать стоимость и производительность, два устройства предлагаются в пластиковых упаковках с 20 выводами, а одно – в термоупаковке с открытой полостью (рис. 15) [7].

Сегодня компания Infineon выпускает линейку LDMOS-транзисторов (семейство PTFB), предназначенных для применения в сотовой связи (технологии WCDMA и LTE) и имеющих большой коэффициент усиления и высокий КПД, а также высокую пиковую мощность. Они охватывают широкий диапазон частот от 700 до 2700 МГц при средней выходной мощности до 87 Вт (до 480 Вт в точке 1-дБ компрессии).

Кроме того, предлагаются мощные транзисторы (модели PTFA071701GH / PTFA071701HL, PTFA072401E / PTFA072401F,

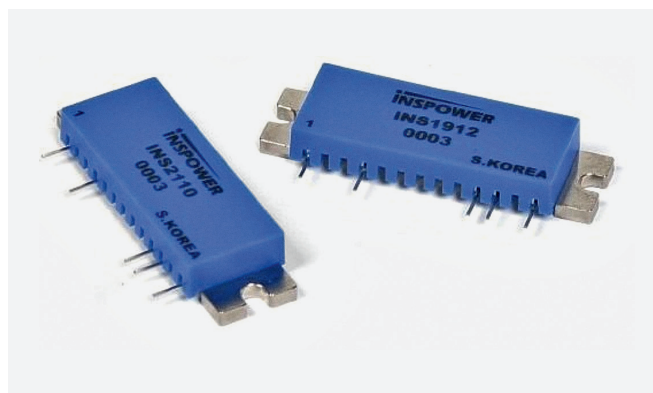


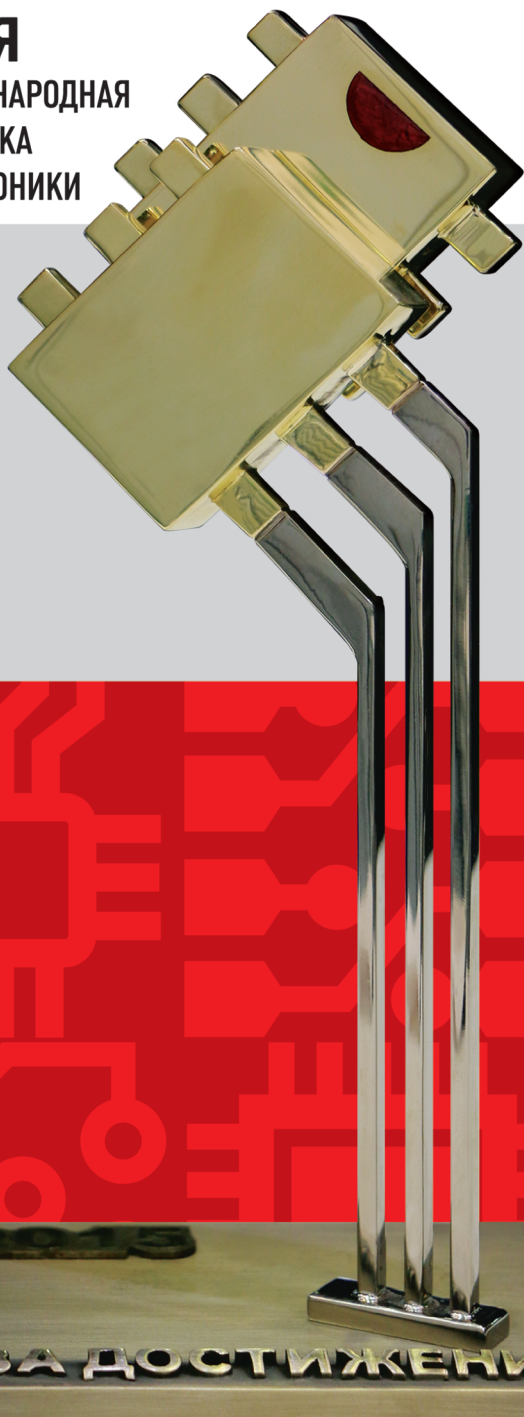
Рис. 16. Корпуса микросхем компании Inpower

# ChipEXPO-2019

КОМПОНЕНТЫ | ОБОРУДОВАНИЕ | ТЕХНОЛОГИИ

17-я  
МЕЖДУНАРОДНАЯ  
ВЫСТАВКА  
ЭЛЕКТРОНИКИ

РОССИЯ | МОСКВА  
ЭКСПОЦЕНТР



## ТЕМАТИЧЕСКИЕ ЭКСПОЗИЦИИ

- Экспозиция Департамента радиоэлектронной промышленности Минпромторга России «Участники Государственной программы «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности на 2013-2025 годы»
- Экспозиция участников конкурса на присуждение премии «Золотой Чип»
- Экспозиция «Испытания и контроль качества ЭКБ»
- Экспозиция «Новинки производителей электронных компонентов»
- Экспозиция «China electronics»
- Экспозиция предприятий Зеленограда (Корпорация развития Зеленограда)
- Экспозиция предприятий АО «Росэлектроника»

[www.chipexpo.ru](http://www.chipexpo.ru)

16.10-  
18.10



Таблица 10. Характеристики устройств компании Inpower

Модель	Частотный диапазон, МГц	Выходная мощность, Вт	Напряжение питания, В	Размер корпуса, мм	Возможная замена микросхем
INS2110	2110-2170	10	28	45×14×7	Motorola MHPA21010N, Sirenza SM07-104Y
INS1912	1930-1995	12	28	45×14×7	Motorola MHPA19010N, Sirenza XD010-24S-D2F

PTVA042502FC) для систем цифрового телерадиовещания с диапазоном рабочих частот от 470 до 860 МГц и средней выходной мощностью до 130 Вт (до 700 Вт в точке 1-дБ компрессии).

Типичные характеристики полевых транзисторов с напряжением питания 28 В моделей PTFA070551E / PTFA070551F мощностью 55 Вт – коэффициент усиления 18,5 дБ и КПД 48%. Для полевых транзисторов PTFA071701GH / PTFA071701HL мощностью 170 Вт усиление составляет 18 дБ, а КПД – 40%.

Для транзисторов PTFA072401E / PTFA072401F с напряжением питания 30 В коэффициент усиления составляет 18 дБ, а КПД – 40%.

Все продукты доступны в бессвинцовых, RoHS-совместимых, термически улучшенных упаковках с открытой полостью и фланцами с прорезями или без них.

## Модули компании Inpower

Корейская компания Inpower выпускает гибридные усилители INS2110 / INS1912, выполненные по классической схеме Догерти, предназначенные для коммуникационных приложений. Схемы согласования входов и выходов и схемы смещения интегрированы. Модуль имеет внутреннее согласование с сопротивлением 50 Ом и работает непосредственно от напряжения 28 В, что значительно упрощает интеграцию системы в конечные устройства.

Сравнительные характеристики моделей приведены в табл. 10 [3], а фотографии корпусов микросхем – на рис. 16 [3].

Основные характеристики микросхем:

- сопротивление 50 Ом, полностью интегрированное согласование;
- работа с одним источником питания: номинальное напряжение 28 В;
- высокая выходная мощность;
- не требуется схема согласования;
- соответствует RoHS;
- возможность использования для замены модуля усилителя Motorola (Freescale).


\* \* \*

Таким образом, электронные компоненты СВЧ-усилителей Догерти выпускаются многими компаниями. Ведутся разработки усилителей на основе технологий КМОП, GaAs, GaN, отдельные транзисторы выпускаются по LDMOS-технологии. Налажен выпуск гибридных интегральных микросхем, разрабатываются технологии, позволяющие выпускать монолитные микросхемы. Основные направления развития технологий в этом направлении – миниатюризация, увеличение полосы пропускания и линейности характеристик. Основные средства, помогающие достичь этого – цифровые предискажения, автоматическая регулировка режима, увеличение числа каналов, применение других режимов работы усилительных приборов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. <http://rfhic.com/eng/>
2. <https://www.nxp.com>
3. <http://inspowerkorea.sourcingmore.com>
4. [https://ru.made-in-china.com/co\\_geweimarket/company\\_info.html](https://ru.made-in-china.com/co_geweimarket/company_info.html)
5. <https://www.anaren.com>
6. <https://www.psemi.com/products>
7. <https://www.infineon.com>
8. <https://www.ampleon.com>
9. <https://www.qorvo.com>
10. <http://rn2.co.kr>

ООО  
СМП

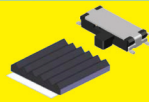


ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИН  
**www.SMD.ru**

электронные КОМПОНЕНТЫ  
**для поверхностного монтажа**

**НОВОЕ В ПРОГРАММЕ ПОСТАВОК**

- Сдвижные переключатели на 2 и 3 положения
- Керамические радиаторы для микросхем

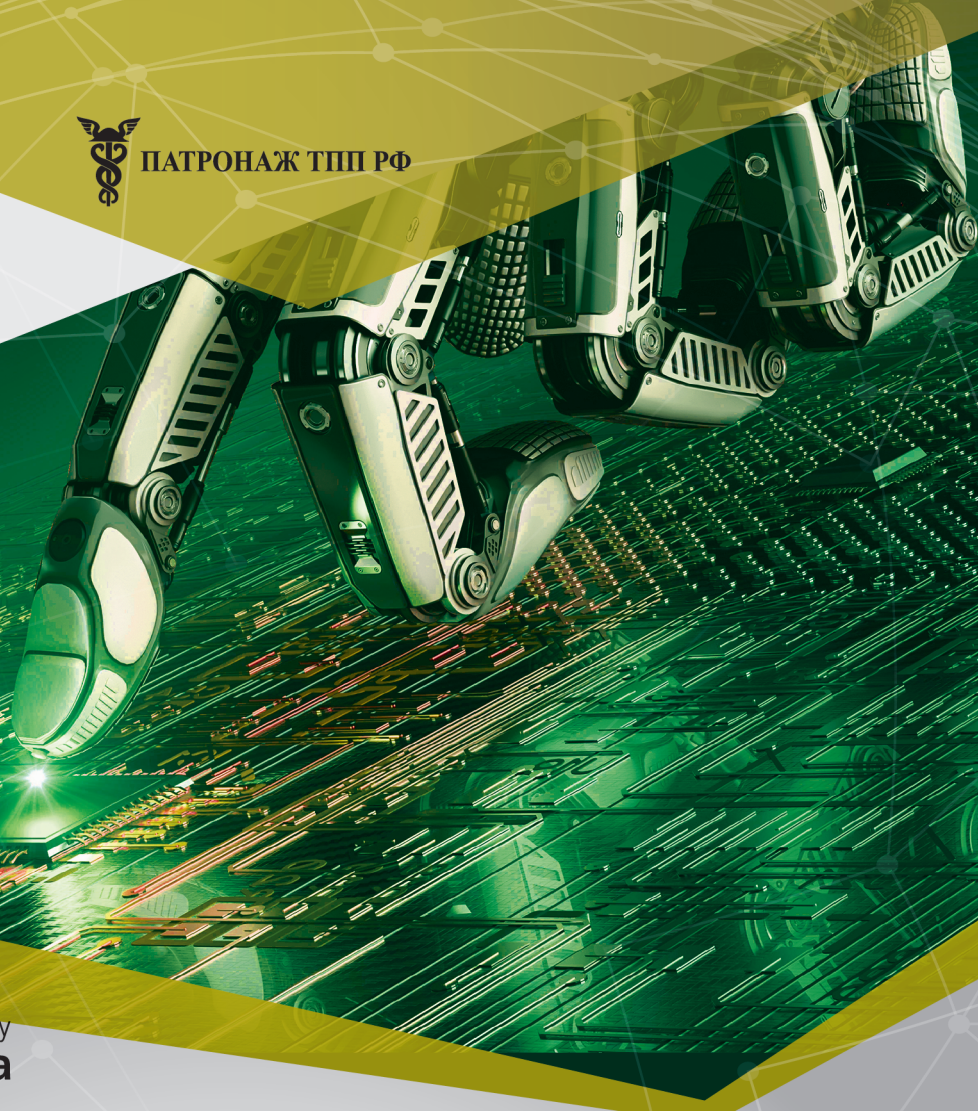


Москва, Ленинградский пр., 80 к. 32; e-mail: sale@smd.ru  
Тел.: (499) 158-7396, (495) 940-6244, (499) 943-8780



ПАТРОНАЖ ТПП РФ

**17-19**  
**СЕНТЯБРЯ 2019**  
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ**  
**КВЦ «ЭКСПОФОРУМ»**



powered by  
**productronica**

**Radelexpo**

# ХІХ МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА РАДИОЭЛЕКТРОНИКА & ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

- ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ И КОМПЛЕКТУЮЩИЕ
- ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ И ДРУГИЕ НОСИТЕЛИ СХЕМ
- СВЕТОДИОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
- РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ
- РОБОТОТЕХНИКА
- КОНСТРУКТИВЫ
- МАТЕРИАЛЫ
- ТЕХНОЛОГИИ
- ПРОМЫШЛЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТЫ
- КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ЛАБОРАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

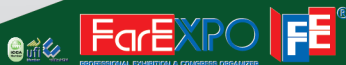
ОРГАНИЗАТОР МЕЖДУНАРОДНОГО ПАВИЛЬОНА:



ООО «Мессе Мюнхен Рус»

Messe München

ОРГАНИЗАТОР ВЫСТАВКИ:



**radelexpo.ru**

(812) 777-04-07

