

ШИРОКОПОЛОСНЫЕ МАЛОШУМЯЩИЕ УСИЛИТЕЛИ VHF-С-ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ

В статье представлены результаты разработки малошумящих усилителей (МШУ) с мгновенной полосой частот 0,05–6,2 ГГц.

МШУ построены по каскодной схеме на полевых транзисторах с барьером Шоттки (ПТШ) с диссипативными цепями согласования для достижения широкой полосы частот. Схемы реализованы в двух видах исполнения — кристалл и корпус для поверхностного монтажа (SMD).

Кристаллы изготовлены по технологии GaAs pHEMT с длиной затвора 0,1 мкм. Приведены экспериментальные результаты трех типов МШУ: малосигнальные параметры, выходная мощность и коэффициент шума.

ВВЕДЕНИЕ

Малошумящие усилители играют важнейшую роль в приемных модулях. Как критическому компоненту в широкополосных приемниках, МШУ необходимо иметь широкую полосу рабочих частот, низкий коэффициент шума, высокий коэффициент усиления с низкой неравномерностью по частоте. В современной радиоэлектронной аппаратуре СВЧ-диапазона широкое применение нашли МШУ на GaAs ПТШ.

В условиях жесткой конкуренции на международном рынке высокотехнологичной продукции и сильной зависимости радиоэлектронной отрасли от ЭКБ зарубежного производства, в России была запущена программа импортозамещения. АО «НПП «Исток» им. Шокина» был исполнителем в работе, целью которой явилась разработка и освоение производства МШУ VHF-С-диапазона частот.

В рамках выполненной работы создан широкий перечень МШУ, по совокупности параметров соответствующий более чем 50 зарубежным аналогам.

В статье представлена часть результатов, полученных в рамках реализованного проекта, а именно рассмотрены результаты разработки трех типов отечественных широкополосных малошумящих усилителей, действующих в диапазоне частот 50 МГц — 6,2 ГГц. Каждый тип МШУ имеет два вида реализации: первый — кристалл монолитной интегральной схемы (МИС); второй — герметизированная схема в корпусе для поверхностного монтажа (SMD-корпус).

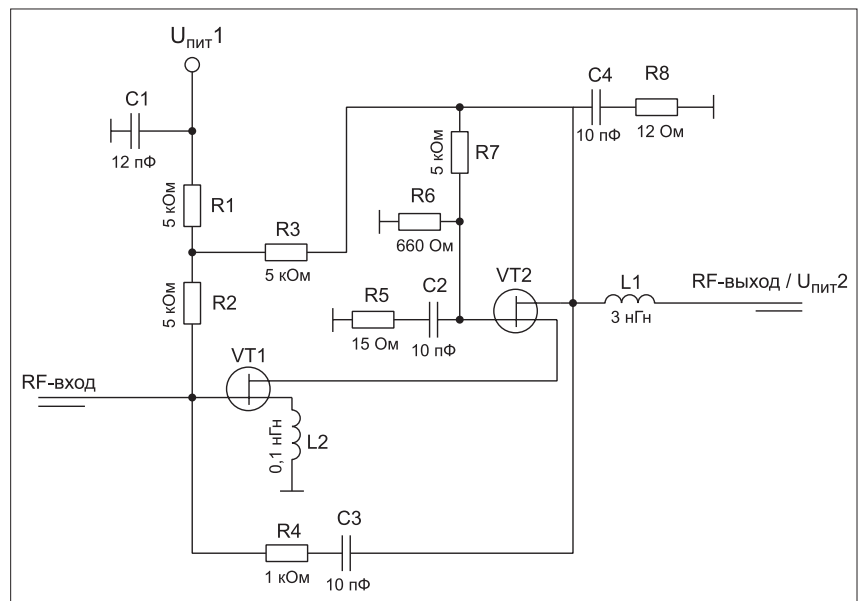
КОНСТРУКЦИЯ МАЛОШУМЯЩИХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Важным требованием к разрабатываемым усилителям стало получение

широкой мгновенной полосы частот с малой неравномерностью амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) в совокупности с малым коэффициентом шума. Малошумящие усилители реализованы в виде каскодной схемы на ПТШ с параллельной и последовательной обратными связями и диссипативными согласующими и трансформирующими цепями (рис. 1). Каскодная схема с обратными связями включения позволяет добиться высокого коэффициента усиления, широкой полосы частот и безусловной устойчивости схемы. Последовательная обратная связь повышает устойчивость схемы. Параллельная обратная связь совместно с согласующими и трансформирующими цепями обеспечивает согласование импедансов транзисторов и выравнивание АЧХ. Выбор ширины

затвора ПТШ и его рабочей точки и согласование были нацелены на получение наименьшего коэффициента шума.

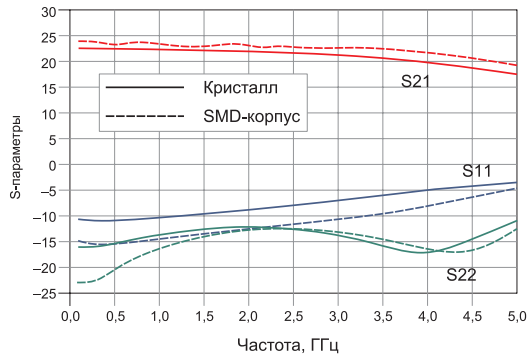
Малошумящие усилители согласованы для работы в 50-омном тракте. Монолитные интегральные схемы спроектированы и изготовлены на базе технологического процесса GaAs pHEMT с длиной затвора 0,1 мкм, реализованного в АО «НПП «Исток» им. Шокина». Все три типа МШУ выполнены как отдельные МИС, так и в герметизированном корпусе для поверхностного монтажа. Следует отметить, что первый и третий тип МШУ реализованы в двух видах герметичных корпусов: первый — металло-керамический корпус на основе высокотемпературной алюмооксидной керамики; второй — алмазный корпус на основе поликристаллической алмазной пленки (ПАП) [1].



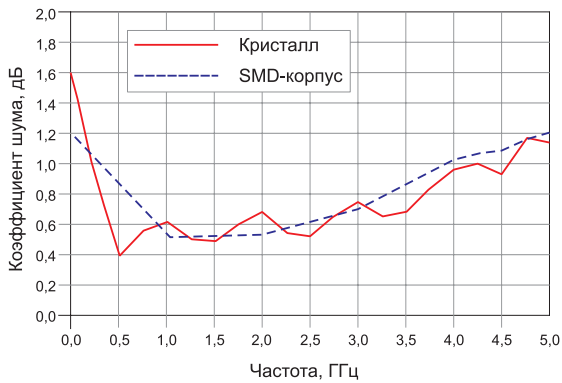
▲ Рис. 1. Принципиальная схема малошумящих усилителей



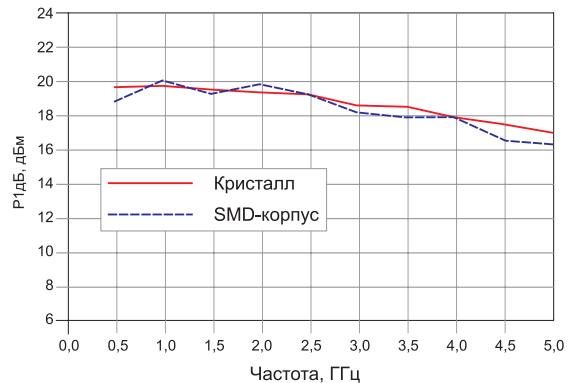
а) МШУ в корпусе SMD (вверху — корпус на основе ПАП, внизу — металлокерамический)



б) S-параметры

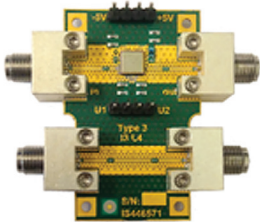


в) Коэффициент шума

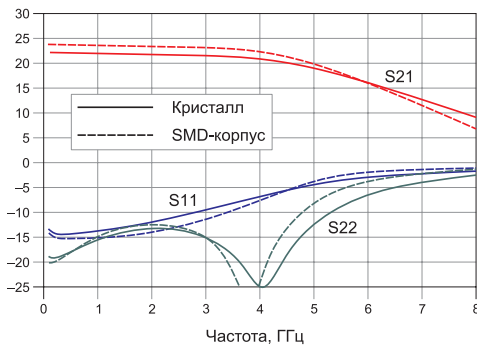


г) Выходная мощность при компрессии коэффициента усиления на 1 дБ

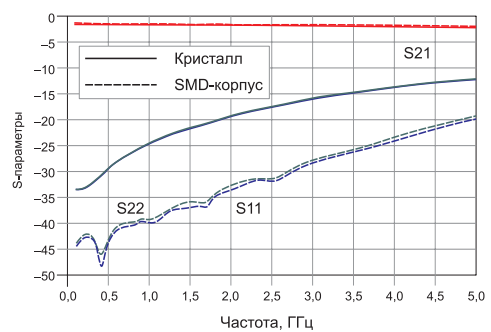
▲ Рис. 2. Параметры МШУ первого типа: М421409 (кристалл) и М421427 (SMD-корпус)



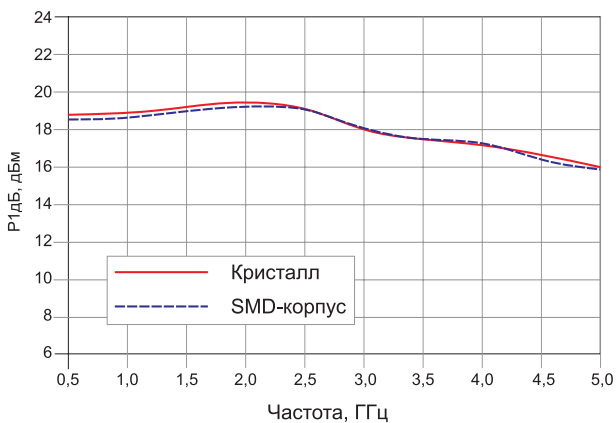
а) Фотография тестовой оснастки МШУ второго типа в корпусе SMD



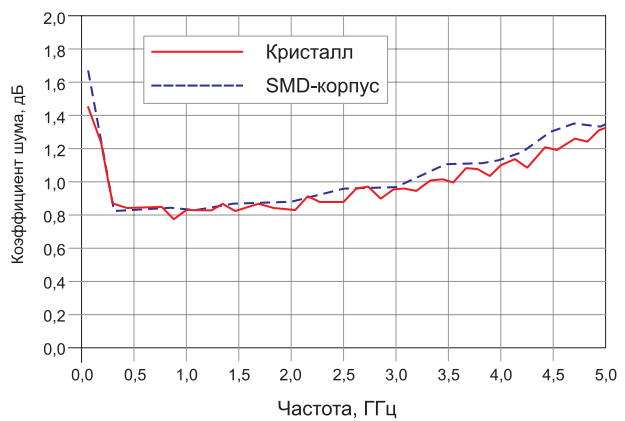
б) S-параметры



в) Режим работы МШУ на проход

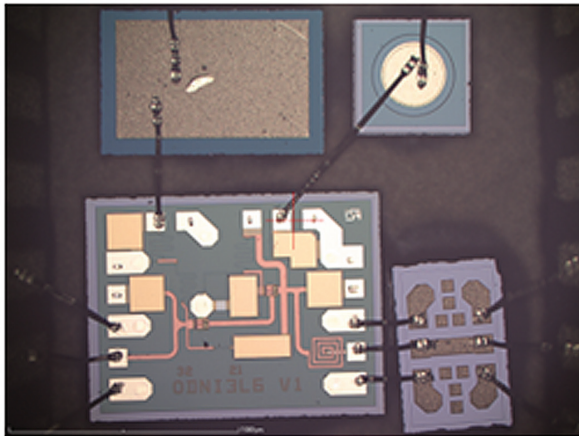


г) Коэффициент шума

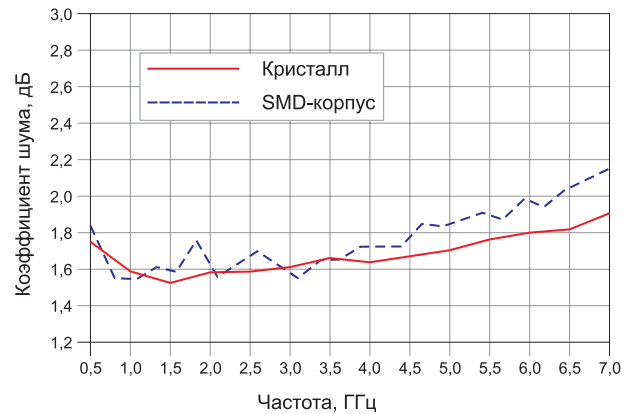


д) Выходная мощность при компрессии коэффициента усиления на 1 дБ

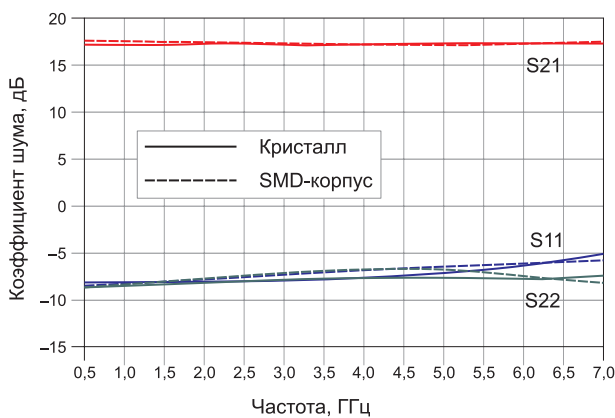
▲ Рис. 3. Параметры МШУ второго типа: М421423 (кристалл) и М421429 (SMD-корпус)



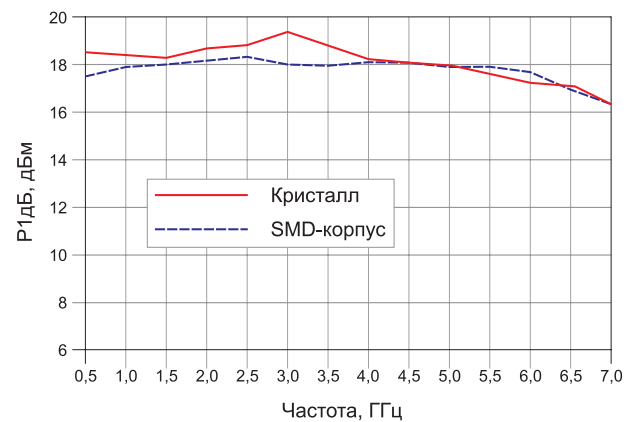
а) Фотография кристалла МШУ третьего типа в корпусе



б) S-параметры



в) Коэффициент шума



г) Выходная мощность при компрессии коэффициента усиления на 1 дБ

▲ Рис. 4. Параметры МШУ третьего типа: М421425 (кристалл) и М421431 (SMD-корпус)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты измерений электрических параметров малошумящих усилителей представлены на рис. 2–4. Измерения параметров кристаллов МШУ проводились с помощью зондовой станции. Измерения параметров МШУ в корпусе SMD проведены с помощью как зондовой станции, так и специально разработанных тестовых оснасток.

МШУ первого типа работает в диапазоне частот 0,05–4 ГГц. В полосе частот коэффициент усиления составляет 20 дБ, коэффициент шума не превышает 1,2 дБ на частотах 0,05–4 ГГц. Выходная мощность при компрессии 1 дБ свыше 17 дБм. Ток потребления МШУ составляет 100 мА при напряжении питания +5 В/–5 В. Габаритные размеры кристалла 1,4×1×0,1 мм. Габаритные размеры МШУ в герметичном корпусе 4×4×1,26 мм.

МШУ второго типа функционирует в диапазоне частот 0,05–4 ГГц. Особенностью данной схемы является то, что

кристалл выполнен со встроенным электронным ключом, поддерживающим возможность отключения МШУ и коммутации входа усилителя к выходу с обеспечением согласованного режима работы на линию с волновым сопротивлением 50 Ом. Управление ключом осуществляется с помощью двух выводов управления. Напряжение логической «1» равно 0 В, напряжение логического «0» равно –5 В. На рис. 3а представлена фотография МШУ в корпусе SMD, смонтированного в тестовую оснастку. Габаритные размеры кристалла 1,7×1,85×0,1 мм, МШУ в герметичном корпусе 5×5×1,26 мм. Коэффициент усиления превышает 20 дБ. При работе схемы на 50-омную линию потери на проход не более –3 дБ. Коэффициент шума не более 1,2 дБ на частотах 0,5–4 ГГц. Выходная мощность при компрессии 1 дБ составляет 17 дБм. Ток потребления достигает 90 мА при напряжении питания +5 В/–5 В.

Таблица. Типичные электрические характеристики разрабатываемых МШУ и их аналогов

Параметр	MGA-665P8 [2]	МААМ-011229 [3]	SPF-5122Z [4]	HMC6395T89[5]	Тип 1. М421427	Тип 2. М421429	Тип 3. М421431
Рабочий диапазон частот, ГГц	0,5–6	0,05–4	0,05–3	0,2–4	0,05–4	0,05–4	0,5–6,2
Коэффициент усиления, дБ	> 16	> 18	> 10	> 8	> 19	> 19	> 16
Неравномерность коэффициента усиления, дБ	< 8	< 1,5	< 14	< 6	< 3	< 3	< 2
Коэффициент шума, дБ	< 1,5	< 2,1	< 1	< 3	< 1,2	< 1,2	< 2
Выходная мощность при 1 дБ компрессии, дБм	> 7	> 17	> 22	> 20	> 17	> 17	> 16
Ток потребления, мА	< 25	< 115	< 105	< 120	< 110	< 100	< 50
Напряжение питания, В	+3	+5	+5	+5	+5/–5	+5/–5	+5/–5

МШУ третьего типа работает в диапазоне частот 0,5–6,2 ГГц. На рис. 4а представлен внешний вид МШУ в сборке корпуса. Габаритные размеры кристалла 1,3×1×0,1 мм. Габаритные размеры МШУ в герметичном корпусе 4×4×1,26 мм. Результаты измерений электрических параметров МШУ показывают, что коэффициент усиления составляет 17 дБ и имеет неравномерность менее 0,5 дБ. Коэффициент шума не превышает 2 дБ. Выходная мощность при компрессии 1 дБ не менее 17 дБм. Ток потребления МШУ составляет 40 мА при напряжении питания +5 В/–5 В.

В таблице представлено сравнение типичных электрических параметров разработанных МШУ в корпусе SMD и зарубежных аналогов. Отечественные аналоги с похожими параметрами отсутствуют. Оценка характеристик аналогов проведена на основе открытой технической документации на изделия. Из таблицы видно, что по совокупности параметров разработанные МШУ имеют исключительные электрические характеристики, сравнимые с мировыми аналогами.

Изготовленные в рамках данного проекта опытные образцы МШУ прошли испытания при воздействии внешних и специальных факторов и на соответствие требованиям надежности. В результате испытаний установлено, что разработанные изделия выдерживают максимальные уровни воздействия механических и климатических факторов, соответствующих группе унифицированного исполнения 6У по ГОСТ РВ 20.39.414.1–97. После воздействия специальных факторов МШУ сохраняют значения параметров в пределах норм. Испытания на безотказность показали, что гамма-процентная наработка до отказа T_{γ} с вероятностью $\gamma = 95\%$ превышает 150 000 ч в пределах срока службы 25 лет при температуре эксплуатации не более +65 °С.

Таким образом, подтверждено экспериментально, что разработанные МШУ удовлетворяют требованиям, предъявляемым к ЭКБ для аппаратуры специального назначения, в том числе и для космического применения [6].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье представлены результаты разработки ряда широкополосных маломощных усилителей, работающих в диапазоне 0,05–6,2 ГГц. Все три типа описанных МШУ построены по каскадной схеме с диссипативными согласующими и трансформирующими цепями. МШУ имеют два вида исполнения — монолитная интегральная схема (МИС) и герметичный корпус для поверхностного монтажа (SMD). Кристаллы МШУ выполнены по технологии GaAs pHEMT 0,1 мкм, реализованной в АО «НПП «Исток» им. Шокина». Разработанные МШУ обеспечивают широкую рабочую полосу частот в совокупности с низкой неравномерностью коэффициента усиления и малым коэффициентом шума. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Темнов А. М., Дудинов К. В., Емельянов А. М. Корпуса SMD для герметизации мощных МИС диапазона до 40 ГГц // *Электронная техника. Сер. 1, СВЧ-техника*. 2018. Вып. 2 (537).
2. MGA-665P8, МШУ фирмы Broadcom. www.docs.broadcom.com/doc/AV02-0847EN
3. МААМ-011229, МШУ фирмы MACOM. www.macom.com/products/product-detail/МААМ-011229
4. SPF-5122Z, МШУ фирмы Qorvo. www.qorvo.com/products/p/SPF5122Z
5. HMC639, МШУ фирмы Analog Devices. www.analog.com/en/products/hmc639.html
6. Полевич С. А. Оценка надежности МИС СВЧ для космического применения. Материалы 28-й Международной крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». 2018. Т. 5.