

# РАСШИРЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА МАЛОШУМЯЩЕГО УСИЛИТЕЛЯ X-ДИАПАЗОНА

► А.А.Кондукторов, А.И.Кирпиченков  
АО "Микро-ВИС"

Предложен схемотехнический и конструкторско-технологический вариант малошумящего усилителя (МШУ) X-диапазона с использованием переключателя на входе для работы в режимах большого и малого сигналов. Разработан и исследован опытный образец широкополосного малошумящего транзисторного усилителя X-диапазона, основанного на данном принципе.

## THE EXTENSION OF X-BAND LOW NOISE AMPLIFIER DYNAMIC RANGE

A.A.Konduktorov, A.I.Kirpichenkov  
JSC "Micro-WIS"

The circuitry and design-technology variants of X-band low-noise amplifier with switch use on input for operation in modes of high and small signals is offered. The prototype of the X-band low-noise wideband transistor amplifier based on this principle is developed and probed.

Создание широкополосных усилительных устройств с низким коэффициентом шума, а также широким динамическим диапазоном традиционно является одной из основных задач радиоэлектроники СВЧ.

Как известно, расширение динамического диапазона усилителя за счет применения мощных монолитных интегральных схем (МИС) усилителей и дискретных транзисторов, использования балансных схем, а также схем с защитными устройствами на входе неминуемо приводит к ухудшению коэффициента шума.

Балансные схемы построения, как правило, имеют высокие токи потребления и значительные габариты. Все это ограничивает возможность расширения динамического диапазона системы в пределах 3–6 дБ [1].

В настоящее время существует большое число МИС усилителей и дискретных транзисторов X-диапазона, каждые из которых имеют определенные преимущества и недостатки. Для выбора оптимальной конструкции сравнивались технические характеристики различных типов СВЧ-усилителей, представленные в табл. 1. В таблице приводятся основные параметры: коэффициенты усиления ( $K_y$ ), шума ( $K_{ш}$ ),

мощность на выходе при компрессии коэффициента передачи на 1 дБ ( $P_{1дБ}$ ), а также ток потребления ( $I_{потр}$ ).

МИС усилителей, как правило, имеют относительно хорошее согласование по входу-выходу в пределах заявленного диапазона рабочих частот, при этом коэффициент шума таких устройств значительно

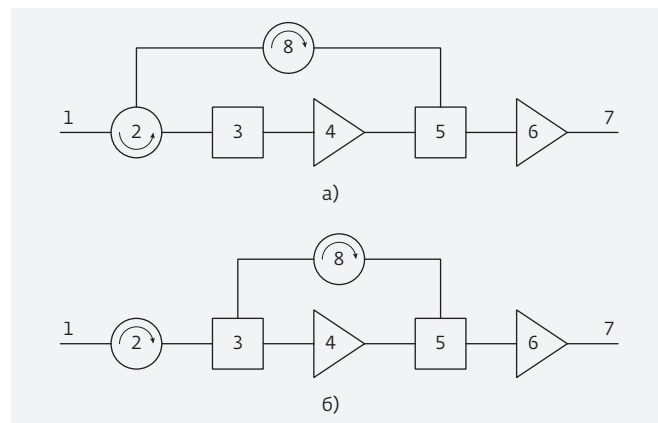


Рис.1. Структурная схема малошумящего усилителя: а – с использованием выключателя на входе; б – с использованием переключателя на входе.

**Таблица 1.** Характеристики транзисторов и МИС усилителей X-диапазона [2, 3, 4, 5]

Наименование	$K_{\gamma}$ , дБ	$K_{ш}$ , дБ	$P_{1дБ}$ , дБмВт	$I_{потр}$ , мА	Производитель
Транзистор MGF4953A	13,5	0,35	5–7	10	Mitsubishi Electric
Транзистор FPD6836P70	11	1,25	20–22	55	RFMD
МИС TGA2511	20	1,3	12	160	Triquint
МИС HMC-ALH444	16	1,7	19	55	Hittite
МИС HMC753LP4E	14	2	15	55	Hittite

больше, чем у дискретных малошумящих транзисторов. Таким образом, для создания усилителя, работающего в режимах малого сигнала, а также систем, где коэффициент шума входных цепей играет важную роль, предпочтительно использование малошумящих транзисторов на входе. Однако к их недостаткам можно отнести необходимость согласования и достаточно низкий динамический диапазон, определяющий линейность устройства при наличии помех большой мощности. Исходя из данных табл.1, наиболее предпочтительным вариантом для достижения минимальных значений коэффициента шума является транзистор MGF4953A производства Mitsubishi Electric.

Для возможности применения данного транзистора в системе, требующей большего динамического диапазона, были рассмотрены схемы, позволяющие увеличить динамический диапазон посредством использования дублирующего (или обводного) канала передачи, служащего для перенаправления мощного сигнала, поступающего на вход малошумящего транзистора, в цепи с большей линейностью.

На рис.1а приведена структурная схема усилителя X-диапазона, построенного по принципу переключения. Устройство имеет два режима работы: малошумящий и режим большого сигнала. В малошумящем режиме сигнал, поступающий на вход 1,

усиливается первым каскадом усиления 4, после чего проходит через переключатель 5 на второй усилительный каскад 6. В режиме большого сигнала сигнал, поступающий на вход 1, отражается от выключателя 3, попадая в обводной канал через циркулятор 2, после чего проходит через переключатель 5 на второй усилительный каскад 6. Вентиль 8 включен в схему в качестве согласованной нагрузки в плече циркулятора, в режиме большого сигнала вентиль также является согласующим элементом во входной цепи транзистора 5. Для контроля уровня поступающей на вход мощности на выходе 7 возможна установка детектора мощности.

На рис.1б представлена альтернативная структурная схема малошумящего усилителя. Основное отличие данной схемы заключается в том, что переключение сигнала на входе осуществляется с помощью МИС переключателя 3.

При разработке конечного устройства основное внимание было уделено узлу переключения сигнала на входе, во многом определяющего коэффициент шума усилителя за счет пересчета потерь во входной цепи. Для выбора оптимальной схемы сравнивались характеристики нескольких типов коммутационных МИС X-диапазона по величине вносимых потерь L (табл.2).

Анализ полученных данных показывает, что наименьшими вносимыми потерями из рассмотренных

**Таблица 2.** Характеристики МИС переключателей и выключателей X-диапазона [4, 5, 6]

Наименование	L, дБ	Тип	Производитель
HMC975	0,6	Переключатель отражающего типа 1 на 2	Hittite
TGS2302	0,7	Переключатель отражающего типа 1 на 2	Triquint
MA4AGSW2	0,5	Переключатель отражающего типа 1 на 2	Macom
MA4AGSW1	0,15	Выключатель отражающего типа	Macom
MA4SW110	0,45	Выключатель отражающего типа	Macom

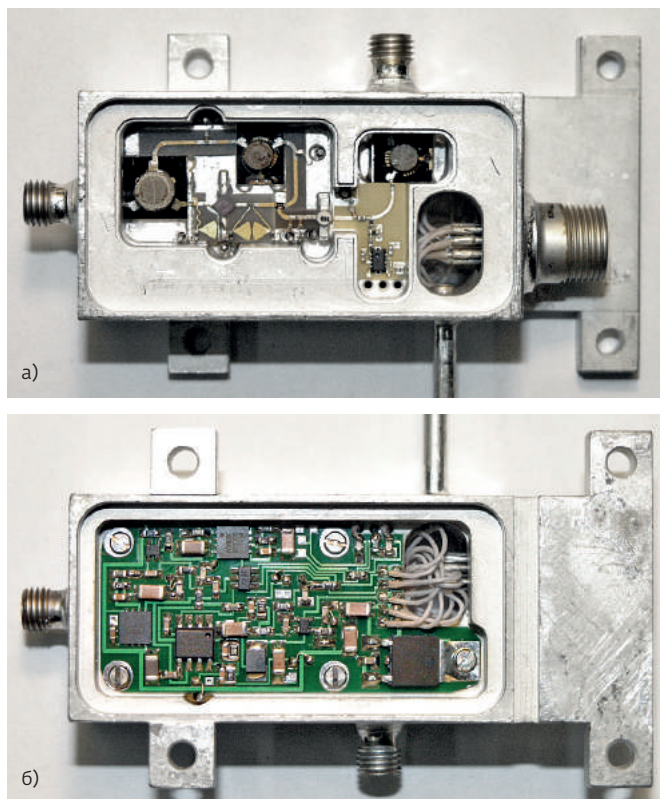


Рис.2. Внешний вид высокочастотной части модуля (а), платы питания и управления (б)

коммутационных МИС обладают СВЧ-выключатели. Таким образом, наиболее приемлемым вариантом реализации узла коммутации входной цепи усилителя является первый из описанных выше (рис.1а),

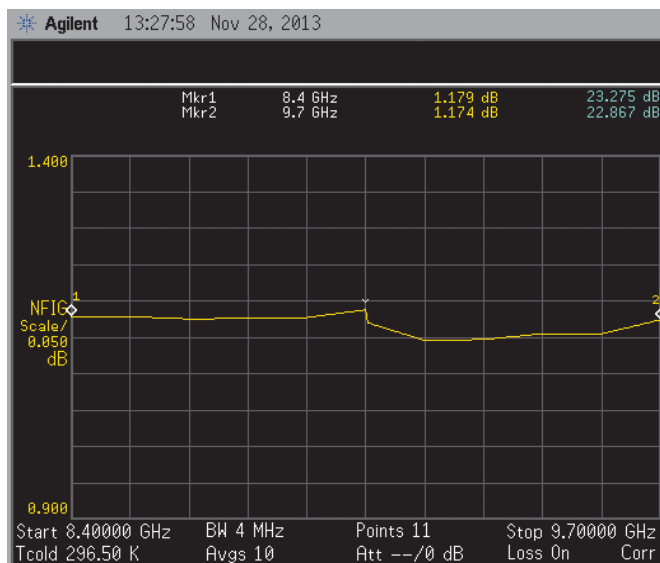


Рис.3. Коэффициент шума усилителя в маломощном режиме

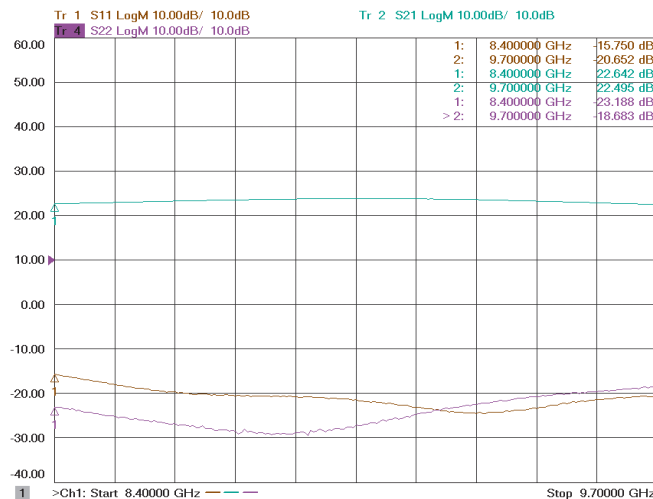


Рис.4. S-параметры усилителя в маломощном режиме

поскольку имеет наименьшее значение коэффициента шума, благодаря возможности применения **маломощных** ключей.

На основе рассмотренной схемы был создан опытный образец усилителя, представляющий собой герметичный микроблок. Габаритные размеры устройства 72×44×24 мм. Разработка топологий плат и конструкции корпуса производились параллельно с целью минимизации паразитного влияния пространства корпуса на параметры устройства, а также снижения неравномерности и нерегулярности линий передач СВЧ-тракта. Вход и выход сигналов коаксиальный (соединители радиочастотные типа СРГ50-751ФВ "розетка"). С целью минимизации

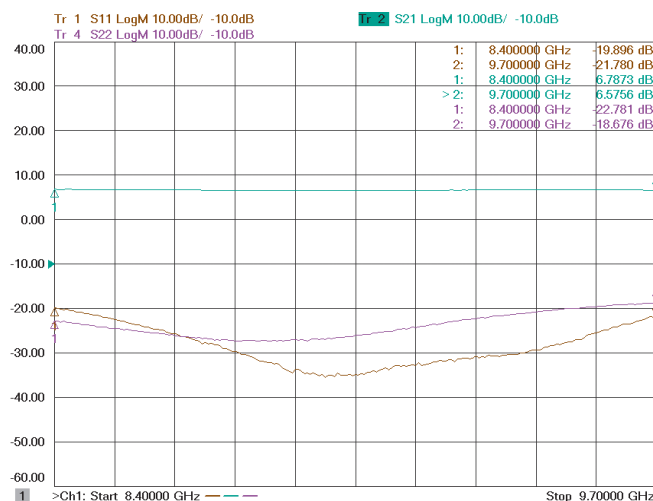
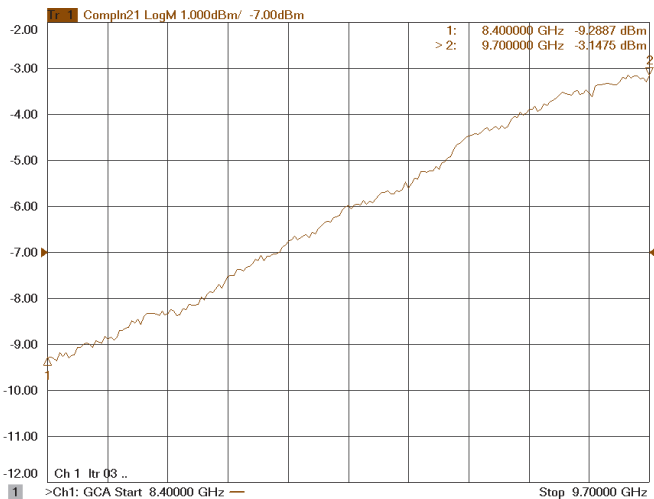


Рис.5. S-параметры усилителя в режиме большого сигнала



**Рис.6.** Мощность на входе при компрессии коэффициента передачи на 1 дБ в маломощающем режиме

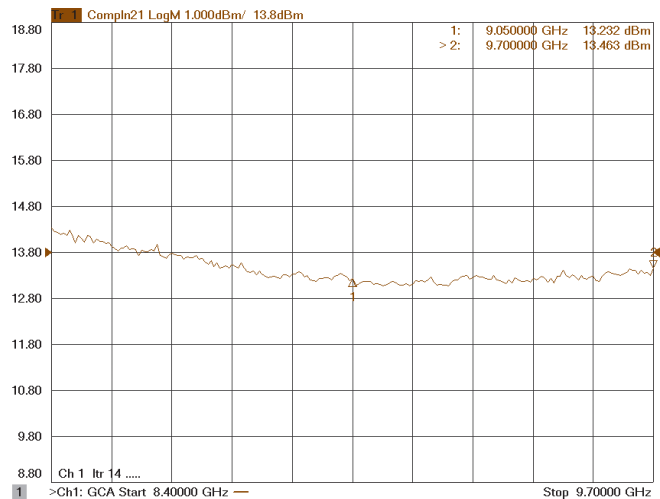
габаритных размеров модуля платы размещены с двух сторон (рис.2). Ток потребления модуля составил 150 мА.

В качестве ключа на входе первого каскада усиления применялась бескорпусная МИС MA4AGSW1 производства фирмы Masom, обладающая наименьшими потерями в рабочем диапазоне частот. Согласование входного транзистора MGF4953A по минимальному коэффициенту шума осуществлялось с помощью реактивных цепей на входе.

Результаты измерения коэффициента шума на приборе N8975A представлены на рис.3. Значение коэффициента шума не превышало 1,2 дБ во всем диапазоне рабочих частот.

Второй каскад усиления выполнен на основе транзистора FPD6836P70 производства RFMD, обладающего высокой линейностью. На выходе второго каскада установлен логарифмический детектор, позволяющий осуществлять контроль мощности, поступающей на вход усилителя. Для переключения режимов работы усилителя посредством управления переключателями применялся быстродействующий драйвер MADR-007097-000100-1 производства Masom.

Измерения S-параметров, а также линейности устройства осуществлялись на панорамном измерителе PNA-X N5242A. Результаты измерения (рис.4, 5) показали, что использование циркулятора на входе устройства, служащего для перенаправления СВЧ-тракта в режиме большого сигнала, обеспечило низкие обратные потери на входе на уровне 15-20 дБ во всех режимах работы устройства. Измеренная максимальная мощность на входе



**Рис.7.** Мощность на входе при компрессии коэффициента передачи на 1 дБ в режиме большого сигнала

усилителя при компрессии коэффициента передачи на 1 дБ в маломощающем режиме находилась в пределах от -9 до -3 дБмВт во всем диапазоне рабочих частот (рис.6), в то время как мощность, измеренная в режиме большого сигнала, составила 13-14 дБмВт (рис.7).

Таким образом, описанная выше схема маломощающего усилителя позволила расширить динамический диапазон устройства на 16 дБ в режиме работы при большом сигнале на входе при сохранении относительно небольшого коэффициента шума в маломощающем режиме. Данная схема может быть использована при построении маломощающих усилителей различных диапазонов частот при наличии соответствующей элементной базы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Петров Г. Толстой А.И.** Линейные балансные СВЧ усилители. – М.: Радио и связь, 1983.
2. Информационный ресурс фирмы Mitsubishi Electric Corporation, 2015. URL: <http://www.mitsubishielectric.com>.
3. Информационный ресурс фирмы RF Micro Devices, Inc. (RFMD), 2015. URL: <http://www.rfmd.com>.
4. Информационный ресурс фирмы TriQuint Semiconductor, 2015. URL: <http://www.triquint.com>.
5. Информационный ресурс фирмы Hittite Microwave, 2015. URL: <http://www.hittite.com>.
6. Информационный ресурс фирмы M/A-COM Technology Solutions Holdings, Inc., 2015. URL: <http://www.macom.com>.