

Импортозамещающие разработки СВЧ МИС и субмодулей для применения в радиоэлектронной аппаратуре

М.В. Гладких

ООО «ИПК «Электрон-Маш»

Аннотация: рассмотрены результаты, полученные в ходе разработки отечественными предприятиями широкополосных и сверхширокополосных усилителей. Приведён перечень разработанных устройств, их назначение и основные технические параметры.

Ключевые слова: усилители, фазовращатели, коммутаторы, ЭКБ, ШПУ

В настоящее время завершён ряд разработок СВЧ микросхем и субмодулей, предназначенных для применения в устройствах формирования, преобразования и усиления сигналов в диапазоне частот до 20 ГГц. Разработанные изделия по совокупности параметров находятся на уровне зарубежных аналогов [1,2].

Для решения задач по усилению сигнала в трактах приёмников и передатчиков разработан ряд СВЧ МИС широкополосных усилителей (ШПУ) в различных конструктивных исполнениях, в т.ч. в малогабаритных пластмассовых корпусах, аналогичных корпусам, применяемым в изделиях иностранного производства (КТ-46, КТ-47, КТ-48, 4337.6-1) с габаритными размерами до 2×2 мм², а также в виде субмодуля с обвязкой внутри корпуса. Функциональная схема модуля М421416 приведена на рисунке 1.

Усилители разработаны с использованием арсенид-галлиевой технологии с граничными частотами до 46 ГГц. Основные параметры СВЧ МИС ШПУ приведены в таблице 1. Сравнение зависимостей коэффициента усиления от частоты для ШПУ 1324УВ11 – У1324УВ15 приведено на рисунке 2.

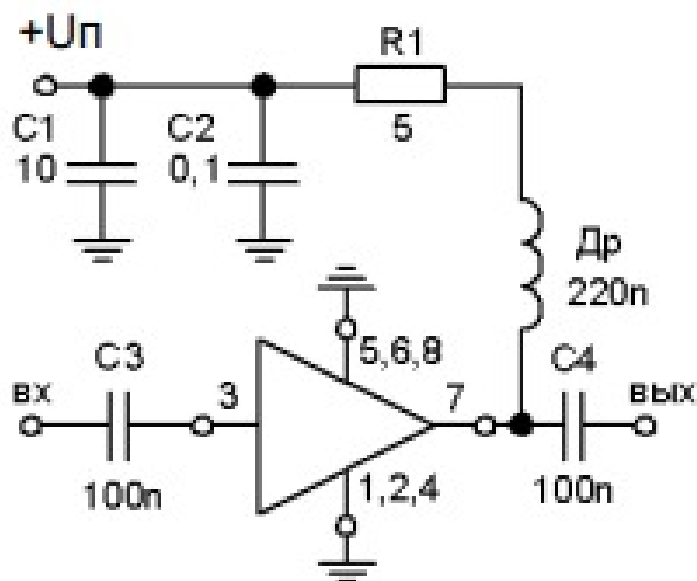


Рисунок 1. Функциональная схема модуля М421416

Таблица 1а. Параметры микросхем широкополосных усилителей

Тип изделия	$\Delta f_{\text{вх}}$, ГГц	$P_{\text{вых1дБ}}$, мВт	$K_{\text{ур}}$, дБ	$K_{\text{ш}}$	$I_{\text{п}}$, мА	ΔT , °С
1324УВ11 (М421416-01)	0,01 – 4,0	260@2 ГГц	15@2ГГц	5	180	-60...+85
1324УВ12 (М421416-02)	0,01 – 6,1	120@3 ГГц	15@2ГГц	4	120	-60...+125
1324УВ13 (М421416-03)	0,01 – 11,0	13@2 ГГц	13,5@5ГГц	4	40	-60...+125
1324УВ14 (М421416-04)	0,01 – 7,0	14@2 ГГц	23@3ГГц	4,5	60	-60...+125
1324УВ15 (М421416-05)	0,01 – 6,1	13@2 ГГц	20@2ГГц	3,5	40	-60...+125

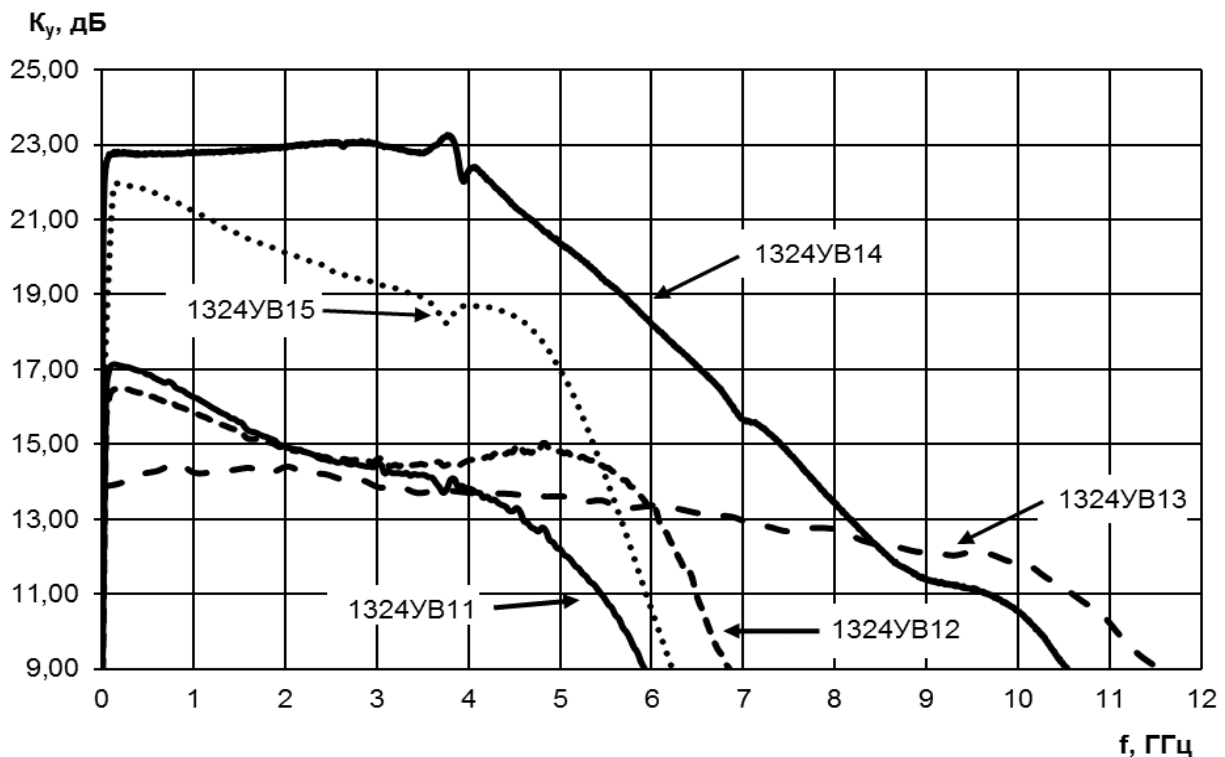


Рисунок 2. Зависимости коэффициента усиления от частоты для усилителей 1324УВ11-1324УВ15

Кроме того, разработан ряд submodule усилителей мощности серии IPF со встроенным на входе фазовращателем с диапазоном рабочих частот 1,2 – 1,4 ГГц и 2,7 – 3,1 ГГц и выходной мощностью до 5 Вт в непрерывном режиме. Модули реализованы с использованием МИС GaAs HBT усилителя и МИС GaAs pHEMT фазовращателя, собранные внутри корпуса. Конструктивное исполнение – негерметичное, в корпусе на металлическом основании. Управление фазой осуществляется цифровыми сигналами КМОП/TTL уровнями 0/+5 В или 0/+3,3 В. Для работы ФВ требуется двуполярное напряжение питания ± 5 В. По управляющим выводам и выводам питания предусмотрены цепи ESD защиты.

Для возможности обеспечения модуляции СВЧ сигнала TTL КМОП-совместимыми логическими уровнями в модуль встроен драйвер, обеспечивающий необходимый ток по цепи смещения усилителя. Зависимости коэффициента усиления на малом сигнале и фазовой ошибки от частоты для усилителей мощности IPF0038-М и IPF0013-М приведены на рисунках 3а и 3б.

Также разработан ряд submodule усилителей мощности серии IPA для L-/S-диапазонов и выходной мощностью до 15 Вт в непрерывном режиме, согласованы в тракте 50 Ом и предназначены для раскачки выходных каскадов передающих модулей. Представляют собой гибридную схему на основе элементов GaN технологического процесса с проектной нормой 0,25 мкм, собранные в корпусе на металлическом фланце (основании) с цепями согласования. Модули отличаются диапазоном рабочих частот, коэффициентом усиления, наличием встроенного модулятора и встроенных цепей обвязки.

Основные параметры submodule приведены в таблице 2.

Помимо ряда широкополосных усилителей и СВЧ усилителей мощности разработан GaN СВЧ коммутатор «один вход-два выхода» работающий в диапазоне от 0,5 до 6,0 ГГц. Коммутатор обеспечивает вносимые потери менее 1,0 дБ, уровень изоляции менее –30 дБ при импульсной входной мощности $P_{вх} = 30$ Вт и напряжениях управления 0/–40 В. Типовые параметры коммутатора приведены в таблице 3.

Таблица 2. Параметры submodule усилителей мощности

Наименование изделия	Δf , ГГц	S_{21} , дБ	$P_{вых}$, Вт	КПД, %	$A_{ош}$, гр.	$СКО_{ош}$, гр.	КСВн, ед.
IPF0038-M	1,2 – 1,4	20	5,0	33	± 7	<3,5	<2,0
IPF0013-M	2,7 – 3,1	24	5,0	30	± 10	<5	<2,0
IPA0023-F	2,3 – 3,3	24	21	45	–	–	<2,1
IPA0024	1,0 – 9,0	26	10	35	–	–	<2,0
IPA0029-F	1,2 – 1,4	17	15	55	–	–	<2,5
IPA0034-F	1,2 – 1,4	17	30	55	–	–	<2,5
IPA0036-M	1,2 – 1,4	31	30	50	–	–	<2,5
IPA0015-M	0,9 – 1,6	16	12	50	–	–	<2,5
IPA0030-M	0,9 – 1,6	33	12	50	–	–	<2,5
IPA0031-F	2,7 – 3,1	15	15	45	–	–	<2,5
IPA0035-F	2,7 – 3,1	15	30	45	–	–	<2,5
IPA0037-M	2,7 – 3,1	30	30	45	–	–	<2,5
IPA0032-M	2,5 – 3,5	15	15	45	–	–	<2,5
IPA0033-M	2,5 – 3,5	30	12	45	–	–	<2,5

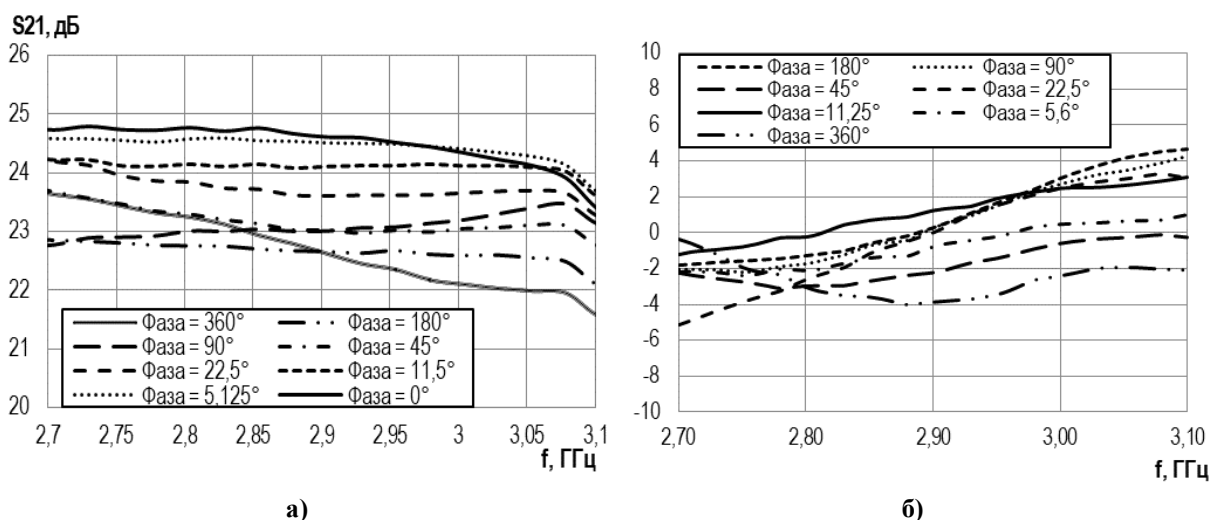


Рисунок 3. Зависимости коэффициента усиления на малом сигнале (а) и фазовой ошибки от частоты (б) для усилителей мощности IPF0038-M и IPF0013-M

Таблица 3. Типовые параметры коммутатора

Наименование	Δf , ГГц	S_{21} , дБ	S_{31} , дБ	S_{22} , дБ	S_{33} , дБ	$P_{вх}$, Вт	$t_{пер}$, нс
ISW0054-MB	0,5 – 6,0	< 1	< -30	< -14	< -1	20	50

Выводы и заключение

В заключение важно отметить, что в рамках новых завершённых работ разработан ряд изделий в корпусах с металлическим фланцем для лучшего отвода тепла, а также в пластмассовых и металлокерамических корпусах, предназначенных для поверхностного монтажа (рисунок 4), которые позволят заместить изделия иностранного производства, без переработки схемотехнических решений и печатных плат изделий, в составе которых они будут применены, за счёт соответствия габаритных и присоединительных размеров изделиям иностранного производства.

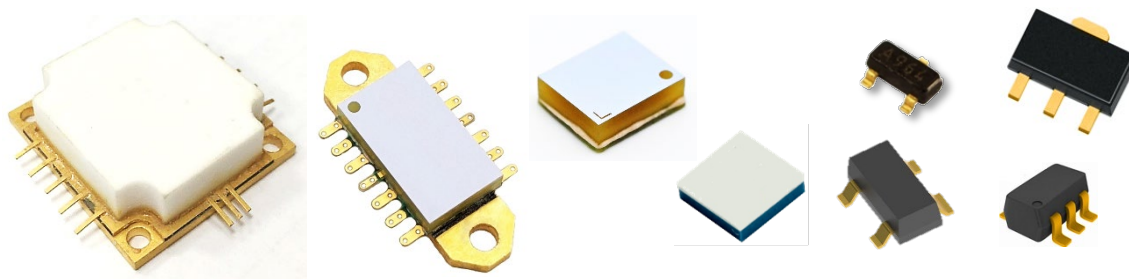


Рисунок 4. Конструктивное исполнение разрабатываемых микросхем и субмодулей.

Список литературы

1. Савченко Е.М., Будяков А.С., Вагин А.В., Пронин А.А., Киров А.В. Импортзамещающие разработки АО «НПП «Пульсар» в части СВЧ МИС и субмодулей // Твердотельная электроника. Сложные функциональные блоки РЭА. Материалы XII научно-технической конференции. Москва: МНТОРЭС им. А.С. Попова, 2014.
2. Савченко Е.М., Будяков А.С., Об основных направлениях развития СВЧ МИС и субмодулей в ОАО «НПП «Пульсар» // Твердотельная электроника. Сложные функциональные блоки РЭА. Материалы XII научно-технической конференции. Москва: МНТОРЭС им. А.С. Попова, 2015. С. 29-37
3. Будяков А.С., Савченко Е.М. Особенности разработки ИМС широкополосных делителей частоты // Электроника, микро- и нанoeлектроника. Сборник научных трудов. - Москва: НИЯУ МИФИ, 2009.