

СВЧ-КОМПОНЕНТЫ КОМПАНИИ MITEQ

ПОРТРЕТ ФИРМЫ

Среди многих тысяч производителей ВЧ-электронных узлов и компонентов есть несколько особенно успешно развивающихся фирм, продукция которых занимает передний край технологического развития и пользуется известностью на мировом рынке. Среди них можно назвать Mini-Circuits, Analog Devices, M/A-com, Texas Instruments, Sirenza Microdevices, Peregrine-semi, SkyWorks, Synergymwave, Z-comm, EMResearch, Millitech и другие. Для изучения опыта этих фирм, а следовательно, и достижений мирового уровня, мы предполагаем опубликовать серию статей, посвящённых анализу выпускаемой ими продукции и причин, обусловивших их успехи. Открывает серию портрет фирмы MITEQ – производителя аналоговых электронных компонентов и устройств микроволнового диапазона.

Л.Белов

мущающим факторам, массогабаритных показателей, энергопотребления, надежности, себестоимости и других характеристик. Поэтому руководство MITEQ активно содействует освоению новейших теоретических и технологических достижений, развитию исследовательских, конструкторских и производственных работ, включая и производство исходных материалов, разработку оборудования для автоматизации производства и тестирования продукции по точностным и шумовым характеристикам, создает специальные лаборатории для имитации самых неблагоприятных условий климатического, радиационного и механического воздействия. По мере накопления опыта и развития технологических возможностей компания расширяет ассортимент предлагаемой на мировом рынке продукции.

В структуру MITEQ входят 15 инженерных центров и 13 вспомогательных служб и лабораторий. Основные подразделения компании:

- группа **электронных компонентов**, разрабатывающая и выпускающая пассивные компоненты (резисторы, аттенюаторы, делители и разветвители сигналов СВЧ большой мощности); высококачественные усилители малой, средней и большой мощности на диапазоны частот 2–60 ГГц; сверхширокополосные смесители и умножители частоты; сигнальные процессоры диапазона промежуточных частот; коммутационное оборудование СВЧ-диапазона. Значительно расширена номенклатура источников колебаний, включающая автогенераторы со стабилизирующими диэлектрическими резонаторами, генераторы, управляемые на-

О КОМПАНИИ

Корпорация MITEQ (аббревиатура от словосочетания Microwave Information Transmission Equipment, определяющего профиль ее деятельности – микроволновое оборудование для передачи информации) основана в 1969 году группой инженеров лаборатории Airborne Instruments Labs, в том числе А. Фаверио (нынешний президент компании), А. Кисса и Ф. Хайнеманом. Продукция MITEQ занимает заметное место в двух сегментах рынка: компоненты и интегрированные узлы микроволнового диапазона; оборудование для наземных станций спутниковой связи. Среди исходных направлений ее работ:

- малошумящие усилители СВЧ-сигналов;
- высококачественные смесители и умножители частоты микроволнового диапазона;
- синтезаторы стабильных частот;
- заказные изделия для космической аппаратуры.

Космические технологии требуют применения аппаратуры с предельными возможностями в отношении стойкости к внешним воз-

Таблица 1. Параметры усилителей

Тип усилителя	Диапазон частот, ГГц	k_p , дБ	Δk_p , дБ	$k_{ш}$, дБ	$k_{св}$	$P_{вых1 дБ}$, дБмВт	I_0 , мА	U_0 , В	Модель
СШП, ДМВ	0,04–2	15	1,5	1,2	2:1	10	50	15	AFS1-00040200-12-10P-4
СШП, СМВ1	0,1–4	36	1	1,3	2:1	10	150	15	AFS4-00100400-13-S-4
СШП, СМВ2	0,1–20	36	3	3	2,5:1	10	300	15	AFS44-00102000-30-10P-44
СШП, ММВ	0,1–26,5	35	3	4,2	2,5:1	10	275	15	AFS44-00102650-42-10P-44
ДМВ; Кр77	0,1–2	42	0,75	0,25	1,5:1	5	100	6	AFS3-00100200-09-CR-4
СМВ2, Кр77	12–18	35	1,5	1,3	2:1	10	75	6	AFS4-12001800-16-CR-4
НП, Л	6–18	26	2	2,5	2:1	0	40	6	AFS4-06001800-25-HE-4
Огр	8–18	33	2	8	–	15–20	200	6	AFD8-080180-LM
СМ	8–12	28	1	2,5	2:1	26	500	15	AFSD5-060120-30-26P
Э	0,1–20	18	2,7	6	2,5:1	10	175	15	AFSX4-00102000-60-10P
ПМ	2–18	20	2,7	7	2:1	18	375	15	AFSB-02001800-70-18P
ИМ	0,1–18	25	2,2	2,5	2:1	10	200	15	AFTL5-00101800-25
УУ	4–8	26	2,5	3	2,5:1	10	180	15	AVG4-04000800-DET-8
ММВ	0,00003–40	–	–	3	2:1	–	150	25	BT4000

Примечание: СШП – сверхширокополосный; ДМВ – диапазона дециметровых волн; СМВ1 – диапазона длинных сантиметровых волн; СМВ2 – диапазона коротких сантиметровых волн; ММВ – диапазона миллиметровых волн; Кр77 – криогенный при азотной температуре; НП – пониженное энергопотребление; Л – повышенный диапазон линейности; Огр – усилитель-ограничитель; СМ – средней мощности (до 1 Вт); Э – эквалайзер выравнивания усиления по диапазону с кабелем; ПМ – для поверхностного монтажа; ИМ – импульсная модуляция усиления с частотой до 500 МГц; УУ – с управляемым усилением.

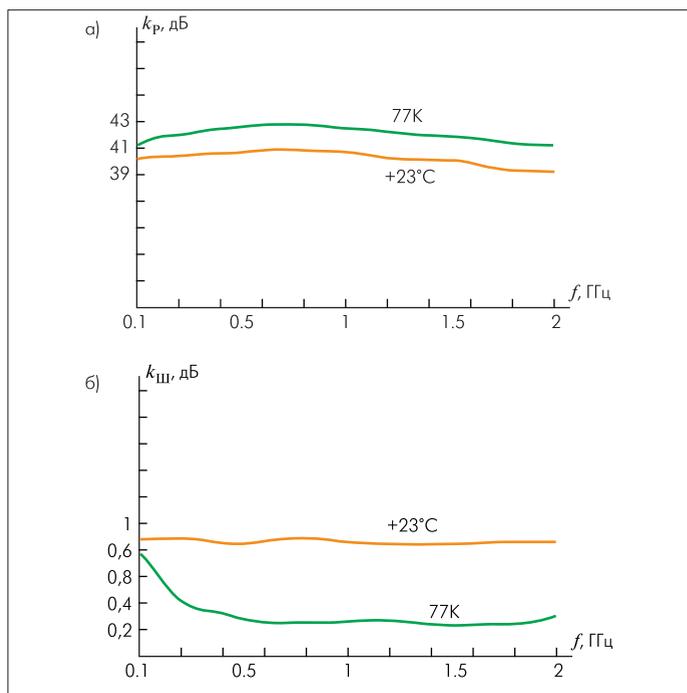


Рис. 1. Зависимость коэффициентов усиления и шума усилителя дециметрового диапазона AFS4-02001800-45-TC-5 от частоты (а) и температуры (б)

пряжением (ГУН), синтезаторы сетки дискретных частот вплоть до 60 ГГц, источники сигналов частотой до 60 ГГц с фазовой синхронизацией по опорным эталонным колебаниям;

- группа **спутникового связного оборудования**, выпускающая преобразователи полосы частот вверх и вниз С- (3,9–6,2 ГГц), Х- (5,2–10,9 ГГц) и Ku- (15,35–17,25 ГГц) диапазонов со стабилизацией частоты по источникам с кварцевой стабилизацией фиксированных частот или стабилизацией при помощи синтезаторов сетки частот с фазовой автоподстройкой. Из комплексной продукции группы можно выделить видеомодуляторы и демодуляторы сигналов с модуляцией ФМ-8 и АФМ-16; выравнители группового запаздывания; приемники сигналов системы INMARSAT; оборудование для тестирования связных устройств; быстродействующие волоконно-оптические узлы и устройства передачи сигналов.

Охватить в одном обзоре весь спектр продукции компании МПТЕQ трудно. Для оценки уровня ее производственно-технологических достижений рассмотрим разработки усилителей сигналов СВЧ и смесительных узлов, включая умножители частоты.

УСИЛИТЕЛИ СВЧ-ДИАПАЗОНА

Из многочисленных моделей усилителей СВЧ-диапазона, выпускаемых компанией МПТЕQ, можно выделить несколько групп: узкополосные, октавные, многооктавные, сверхширокополосные, мощные, маломощные, особо маломощные. Параметры некоторых из них, позволяющие судить о техническом уровне продукции компании, приведены в табл. 1. В качестве основных технических параметров приняты следующие:

- коэффициент усиления по мощности k_p и его неравномерность по диапазону частот Δk_p ;
- коэффициент собственного шума $k_{ш}$;
- допустимое значение коэффициента стоячей волны $k_{св}$;
- максимальная мощность выходного сигнала $P_{вых1дБ}$, при которой сохраняется линейный режим, а усиление падает не более чем на 1 дБ по сравнению с его значением на малом сигнале;

- потребляемый ток I_0 и напряжение источника питания U_0 .

О качестве продукции компании МПТЕQ наглядно свидетельствуют параметры усилителей семейства AFS. Среди них следует отметить модель сверхширокополосного усилителя AFS44-00102000-30-10P-44, усиление которого практически не изменяется в диапазоне частот 0,1–20 ГГц и составляет 36 дБ. А усиление модели AFS4-02001800-45-TC-5 при температуре жидкого азота 77 К превышает 40 дБ, при этом его коэффициент шума чрезвычайно низкий – 0,25 дБ (рис. 1). Модели типа AFS3 и AFS4, сертифицированные для работы при температуре жидкого азота 77 К, могут использоваться и при температуре жидкого гелия 4 К, поскольку в них применены специальные материалы, введена устойчивая к таким температурам схема регулировки напряжения, использован диод защиты от обратного напряжения.

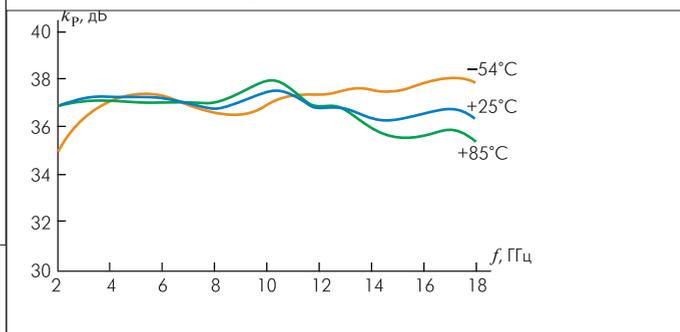


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика усилителя сантиметрового диапазона AFS4-02001800-45-TC-5 при различных значениях температуры

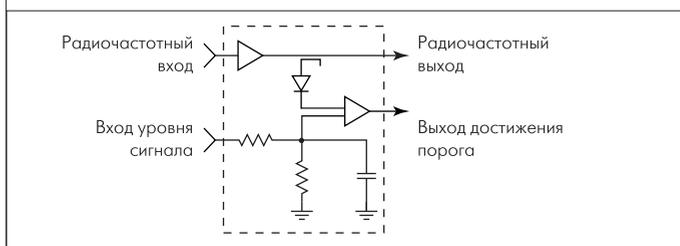


Рис. 3. Схема усилителя AVIT5-08001200-25-24P с контролем уровня выходного сигнала

Интерес представляет серия термокомпенсированных усилителей с пониженной зависимостью коэффициента усиления и уровня шума от температуры, а также серия маломощных усилителей с расширенным диапазоном линейности, входной каскад которых выполнен на транзисторе с высокой подвижностью электронов (рHEMT). Благодаря этому входная мощность P_{P3} усилителей этой

серии, при которой уровень комбинационных помех (из-за нелинейных преобразований) равен уровню основного линейно усиленного сигнала, достигает 38 дБмВт. Динамический диапазон по мощности в линейном режиме усилителей-ограничителей



Рис.4. Типичные усилители компании MITEQ

модели AFD8-080180-LM, предназначенных для усиления импульсных сигналов, еще шире – более 45 дБ. Уровень ограничения по выходной мощности равен 10 мВт, а задержка импульсной реакции после ограничения не превышает 10 нс.

Привлекает внимание и модель AFSX4-00102000-60-10P, в которой предусмотрена встроенная схема выравнивания усиления и группового запаздывания сигнала по диапазону частот с учетом падения коэффициента передачи подводящего кабеля длиной 30 м. Благодаря этому в полосе частот 1–18 ГГц неравномерность результирующего коэффициента передачи не превышает 0,5 дБ. А усилитель AVG4-04000800-DET-8 позволяет электрически изменять коэффициент передачи в пределах 0–15 дБ.

Усилители способны обеспечить усиление свыше 36 дБ в диапазоне частот 2–18 ГГц и сохранять эти параметры в интервале температур -54...85°C, о чем свидетельствует амплитудно-частотная характеристика модели AFS4-02001800-45-TC-5 (рис.2). Усилители АВ1Т5-08001200-25-24P (рис.3) имеют встроенную схему цифрового управления уровнем выходной мощности от 0 до 24 дБмВт и сохраняют усиление около 30 дБ в полосе частот 8–12 ГГц при жестких условиях эксплуатации, характерных для военных применений.

На рис.4 приведен внешний вид типичного усилителя компании модели AFS3-08001200-22-TC-4.

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЕ СМЕСИТЕЛИ

Смесители – базовые нелинейные электронные узлы, широко используемые в качестве:

- преобразователей полосы частот вниз и вверх, включая устройства с подавлением опорного сигнала и/или зеркальной полосы без применения частотных фильтров;
- модуляторов и демодуляторов сигналов с аналоговой или цифровой модуляцией амплитуды и фазы, включая балансные, однополосные, квадратурные и многофазные устройства;
- широкополосных (нерезонансных) умножителей частоты;
- ограничителей сигналов в приемопередающих цепях.

Сам по себе смеситель без сопутствующих усилителей или вентилей представляет собой взаимный узел, т.е. для модулятора или преобразователя частоты вверх входным служит порт промежуточной частоты (IF), а выходным – радиочастотный порт (RF), тогда как для преобразователя частоты вниз или демодулятора входным будет RF-порт, а выходным – IF-порт. На опорный вход LO модуляторов и/или демодуляторов поступают колебания несущей частоты, на опорный вход преобразователей частоты вверх и/или вниз – колебания от источника гетеродинного сигнала. При использовании смесительного узла в качестве умножителя частоты объединенные IF- и LO-порты играют роль входных, а RF-порт – выходного. Для понижения в целое число раз частоты внешнего сигнала на входном или опорном порте в гармониковых и субгармониковых смесителях используется нелинейное преобразование, создающее токи

высших гармоник по отношению к частоте этого порта. Нелинейные явления в полупроводниковых узлах – достаточно сложный процесс: при малых амплитудах входного сигнала полезный нелинейный эффект может быть слабым, при чрезмерно больших амплитудах – возникают искажения передаваемой информации или эффекты ограничения сигнала.

За основные технические параметры смесителей приняты следующие:*

- диапазоны частот и мощностей по радиочастотному порту, f_{RF} и P_{RF} , и по входу опорного колебания, f_{LO} и P_{LO} , соответственно;
- коэффициент передачи сигнала между входным и выходным портами $k_{пр}$;
- глубина подавления зеркального канала k_{R1} ;
- коэффициенты обратного прохождения между портами k_{LO-RF} и k_{RF-IF} ;
- коэффициент шума $k_{ш}$;
- уровень входной $P_{вхИПЗ}$ или выходной $P_{выхИПЗ}$ мощности, при которой уровень нежелательных компонентов высшего порядка становится равным уровню полезного сигнала.

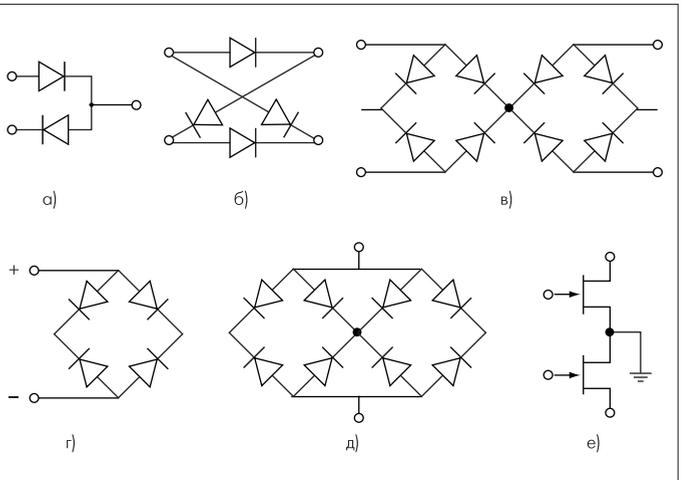


Рис.5. Схемы смесителей: с одинарной (а), двойной (б) и тройной (в) балансировкой; смесителей с управляемым смещением (г), гармониковых (д) и на полевых транзисторах (е)

В балансных смесителях фирмы MITEQ симметрирование (балансировка) нелинейных элементов позволяет компенсировать вредное влияние непостоянства амплитуд на входах и изменяющегося импеданса выходной нагрузки. В специальных квадратурных схемах компенсируются и нежелательные зеркальные частотные полосы комбинационных преобразований сигнала. Фирма выпускает смесители с одинарной (серия SBW – Single-Balanced Waveguide, рис.5а), двойной (серия DB – Double-Balanced, рис.5б), и тройной (серия TB – Triple-Balanced, рис.5в), балансировкой. Вид балансировки смесителя определяет чувствительность к паразитным изменениям уровня сигнала по одному или двум входным портам, а также к изменению нагрузки, подключенной к выходному порту.

Для оперативного электрического управления коэффициентом передачи смесителя разработаны смесительные узлы с управляемым смещением (серия SBB – Single-Balanced Biasable, рис.5г). Гармониковые смесители (серия SBE – Single-Balanced Even-Harmonic, рис.5д), используются в миллиметровом диапазоне длин волн, где удобнее при частоте f_{RF} до 40 ГГц подавать на вход LO ча-

* Белов Л. Преобразователи частоты. Современные ВЧ-компоненты. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2004, № 2, с.44–51.

Таблица 2. Характеристики двухполосных смесителей

Тип смесителя	Диапазон частот, ГГц		P_{LO} , дБмВт	$k_{пр}$, дБ	k_{LO-RF} , дБ	k_{RF-IF} , дБ	$P_{вхРЗ}$, дБмВт	Модель
	RF, LO	IF						
4К; ВхУ	0,5–2	0,01–0,24	13	23	-40	-30	13	DA40502LC7
ТБ	2–8	0,5–8	12	-7	-25	-30	13	TB0208LW2
ДБ	8–12	0–4	10	-6	-40	-30	15	DM0412LW2
ТБ	2–18	0,5–8	10	-7,5	-25	-20	15	TB0218LW2
4К; ВхУ	8–18	0,01–0,24	13	23	-25	-20	-3	DA40818LC7
ТБ	4–26	0,5–8	10	-10	-25	-20	15	TB0426LW1
ТБ, К	4–40	0,5–20	10	-10	-20	-30	15	TB0440LW1
У	6–18	0,01–0,5	-10–10	-9	-25	-15	15	SBB0618LR5
НТЧ	8–12	1,5–2	23	-8	-30	-20	36	DBF0812H12F
Г	4–40	0–1,5	10	-10	-20	-15	32	SBE0440LW1

Примечание: 4К – четырехканальный; ВхУ – с входным малошумящим усилителем; ТБ – с тройной балансировкой; ДБ – с двойной балансировкой; К – коаксиальный разъем; У – управляемые напряжением 12 В; НТЧ – низкая температурная чувствительность; Г – гармониковые с пониженной опорной частотой. Для всех моделей возможны варианты в комбинации с усилителями по радиочастотному порту или по промежуточной частоте.

стоту, в два или в три раза меньшую, чем f_{RF} . Смесители на полевых транзисторах с затвором Шоттки (MESFET), серия SBF (Single-Balanced MESFET, рис.5е), выполненные по запатентованной технологии, практически не чувствительны к вариациям нагрузки. Их динамический диапазон значительно больше допустимых мощностей входных и выходных сигналов.

Значения параметров некоторых моделей балансных смесителей компании приведены в табл.2. Из них можно отметить такие модели, как TB0208LW2 и TB0218LW2 с многооктавным диапазоном входных частот, DBF0812H12F с уровнем мощности $P_{вхРЗ}$ до 4 Вт, SBE0440LW1 с достаточно высокими для узлов 7-мм диапазона параметрами.

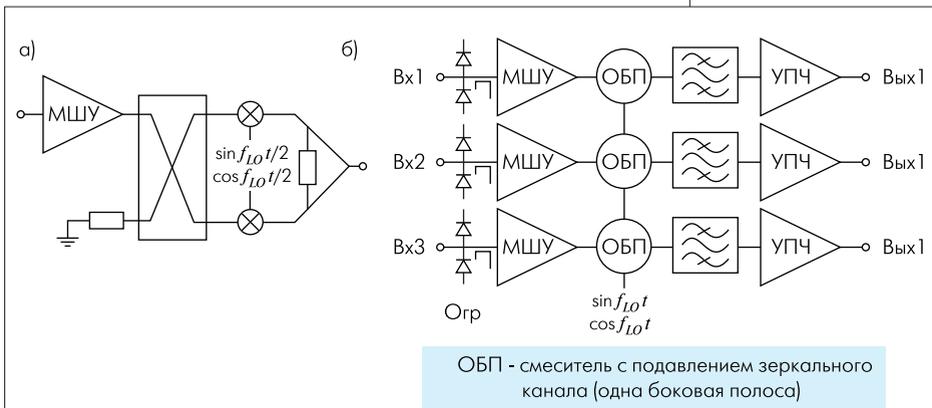


Рис.6. Схемы смесителей с подавлением зеркального канала: а) с входным малошумящим усилителем, б) трехканальный преобразователь частоты вниз с входными ограничителями, усилителями по входу и по промежуточной частоте и с встроенными частотно-разделительными цепями

Преобразователи частоты вниз и квадратурные демодуляторы с подавлением зеркальной полосы (IR – Image Rejection) без частотно-избирательных цепей (рис.6б) отличаются возможностью работы в октавной или многооктавной полосе частот входных сигналов. Зеркальная комбинационная полоса подавляется на 15–30 дБ за счет симметричной квадратурной организации (серии IR, IRF, IRB, IRE). Введение в корпус такого смесителя малошумящего усилителя (серии AR, рис.6а) позволяет в пассивных смесителях вместо потери мощности на -(8–10) дБ получить усиление на (30–35) дБ.

В смесителях с подавлением зеркальной полосы также можно управлять положением рабочей точки или точкой гармоникового эффекта MESFET-транзис-

торов. В табл.3 представлены характеристики некоторых моделей этого типа. Отметим четыре модели смесителей. IRBA0226LC1 обеспечивает подавление зеркальной полосы на 35 дБ. Смеситель IRE0618L11 отличается необычайно широким – до 26 ГГц – диапазоном входных частот, а ARB0104LC1 – высоким (36 дБ) коэффициентом передачи. SBE1015LM2 позволяет иметь пониженное до 60 дБ обратное прохождение сигнала с порта опорного колебания на вход. Он также использует гармониковый эффект с опорной частотой (на входе LO), вдвое меньшей, чем на входе RF, и третью комбинационную компоненту.

Смесители серии ARS позволяют разместить в одном корпусе несколько каналов со встроенным контролем, встроенными фильтрами и усилителями, общим опорным источником и разными значениями промежуточной частоты.

Смесители серий BMT, SMT, SDM используются в качестве фазовых модуляторов ФМ2, ФМ4, ФМN сигналов, векторных амплитудно-фазовых модуляторов и преобразователей полосы частот вверх. Для их технически корректного описания приводятся такие дополнительные параметры, как:

- погрешности установки фазы Δ_{ϕ} и амплитуды Δ_{U_i} ;
- коэффициент преобразования мощности несущего колебания $k_{пр}$;
- максимальная выходная мощность $P_{1дБ}$ по уровню падения коэффициента передачи на 1 дБ;
- уровень подавления несущего колебания $k_{нес}$;
- коэффициент ослабления гармоник модулирующей частоты k_i .

Бинарные и многофазные модуляторы, векторные модуляторы (см. рис.6а) выполняются с линейным аналоговым управлением (серии BMA, SDM, SME, SML) или с дискретным двоичным управлением (серии BMT, SMC, AVC). Компания выпускает также модели с подавлением зеркальной полосы (серии SDM), гармониковые модуляторы (серия SML) и модуляторы с встроенными схемами цифровой памяти ПЗУ (серии SMC, SME). Для коммутации фазы и амплитуды выходных сигналов используются быстродействующие p-i-n-диоды. Модели модуляторов, выполненных на диодах Шоттки (например, SME0610L11), отличаются пониженным уровнем фликкерных шумов вида $1/f$ вблизи несущей частоты.

Таблица 3. Характеристики однополосных смесителей

Тип смесителя	Диапазон частот, ГГц		P_{LO} , дБмВт	$k_{пр}$, дБ	k_{RF} , дБ	k_{LO-RF} , дБ	$k_{ш}$, дБ	$P_{вхРЗ}$, дБмВт	Модель
	RF, LO	IF							
КДМ	1–2	0–0,5	10	-8	-23	-40	–	8	IR102LC2
КДМ	26–40	0–0,5	10	-12,5	-20	-20	–	2	IR2640LC2
МО, УП	2–8	0–0,5	10	-9,5	-30	-30	–	8,5	IRE0208L11
МО, УП	6–18	0–0,5	13	10,5	-35	-25	–	28	IRE0618L11
МО, УС	2–18	0,01–0,5	-10	-12,5	-20	-18	–	-12	IRB0218LC1
ПТ	6–12	0,5–1	13	-8	-20	-30	–	25	IRF0612H12
УПЧ	2–26	0,01–0,5	-10	25	-20	-25	–	25	IRBA0226LC1
МШ	2–4	0–0,5	10	30	-20	–	1,5	16	AR0204LC2
УС, МО	1–4	0–0,5	-3–3	35	-18	–	2,5	10	ARB0104LC1
ПТ	10–15	0–1	4–10	10	–	60	–	17	SBE1015LM2

Примечания: КДМ – квадратурный демодулятор; МО – многооктавный демодулятор; УП – улучшенное подавление зеркального канала; УС – управление смещением; ПТ – на полевых MESFET-транзисторах; УПЧ – с встроенным усилителем промежуточной частоты; МШ – сверхмалошумящий с встроенным МШУ.

Таблица 4. Характеристики бинарных, квадратурных, векторных модуляторов и преобразователей полосы частот вверх

Серия смесителя	Диапазон частот, ГГц		$P_{1дБ}$, дБмВт	$k_{пр}$, дБ	$\Delta\phi$, град	ΔU , дБ	$k_{нес}$, дБ	$k_{г}$, дБ	Модель
	RF	IF							
ФМ2, PIN	2–18	0–0,5	20	-4	± 10	$\pm 0,75$	-25	–	BMT0218HC10
ФМ2, ПФШ	6–18	0–0,5	5	-5	± 10	$\pm 0,75$	-20	-25	BMA0618LA1
ФМ4	10–15	0–1	8	-9	± 7	$\pm 0,75$	-33	-25	SDM1015LI3Q
ФМN	2–8	0–0,5	–	-7	–	–	-25	-30	SME0208LI1
ВМ	6–18	0–0,5	–	-10	–	–	-30	–	SME0618LI1DIQ

Примечания: ФМ2 – бинарная фазовая манипуляция; ФМ4 – квадратурная фазовая манипуляция; ФМN – многоуровневая фазовая манипуляция; PIN – на основе p-i-n-диодов; ПФШ – с подавлением фликкер-шума за счет использования диодов Шоттки; ВМ – векторный амплитудно-фазовый модулятор.

Для достижения высоких характеристик векторных модуляторов в коротковолновом сантиметровом диапазоне применяются встроенные схемы формирования квадратурных сигналов, работающие в многооктавном диапазоне несущих частот. Характеристики некоторых моделей этого типа приведены в табл.4. Можно выделить следующие приборы: бинарный фазовый модулятор BMT0218HC10 с повышенным до 20 дБмВт уровнем линейности $P_{1дБ}$; квадратурный фазовый модулятор SDM1015LI3Q с подавлением несущего колебания до -33 дБ; многоуровневый фазовый модулятор SME0208LI1, обеспечивающий в полосе до 18 ГГц подавление паразитной модуляции амплитуды до -40 дБ.

Интересные комплексные решения предлагает компания MITEQ в качестве когерентных преобразователей частоты вверх и вниз (Up/Down Conversion) миллиметрового диапазона. Значительное удобство представляет использование встроенной схемы формирования квадратурных опорных (гетеродинных) сигналов. В модели LNB-1826-30 со встроенным источником опорного сигнала LO (рис.6б) обеспечивается преобразование частоты вниз для трех частотных каналов диапазона 26–40 ГГц с усилением 35 дБ за счет встроенных малошумящих усилителей с коэффициентом шума 3 дБ, изоляцией обратного прохождения -45 дБ и с подавлением зеркального канала.

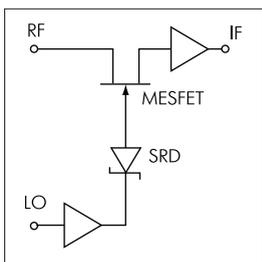


Рис.7. Схема смесителя на выборках

Схема оригинального смесителя на выборках модели SRD0218LW2 представлена на рис.7. Узел служит для пре-

образования вниз частот миллиметрового диапазона 2–18 ГГц, действующих на входе RF. В смесителе в качестве опорного на входе LO используется сигнал частотой 1 ГГц и мощностью 10 дБмВт, а его восемнадцатая гармоника, когерентная по фазе с опорным сигналом, формирует выходной сигнал разностной частоты IF диапазона 0,1–0,4 ГГц.

ШИРОКОПОЛОСНЫЕ УМНОЖИТЕЛИ ЧАСТОТЫ

Умножители частоты компании MITEQ характеризуются большой шириной полосы пропускания в микроволновом диапазоне частот, разнообразными вариантами кратности и законченным конструктивным исполнением (табл.5).

Основные характеристики этих устройств – кратность умножения частоты N , значения входной $P_{вх}$ и выходной $P_{вых}$ мощности, коэффициент передачи сигнала по мощности, уровень паразитных спектральных компонент умноженной частоты на входе $k_{п.вх}$, уровень паразитных спектральных компонент входной частоты на выходе $k_{п.вых}$. Многие модели являются активными, т. е. на входе или на выходе узла умножения частоты предусмотрен встроенный широкополосный усилитель, что значительно улучшает технические характеристики каскада. В частности, за счет такого комплексного исполнения уровень внеполосных паразитных гармонических компонент на входе и выходе снижается до -50 дБ, неравномерность уровня мощности по диапазону уменьшается до 1 дБ, а коэффициент передачи по мощности повышается (рис.8). Помимо моделей, представленных в табл.5, можно отметить и умножитель MAX2M360500, в котором широкополосный сигнал миллиметрового диапазона преобразуется в сигнал субмиллиметрового диапазона 36–50 ГГц без потери мощности.

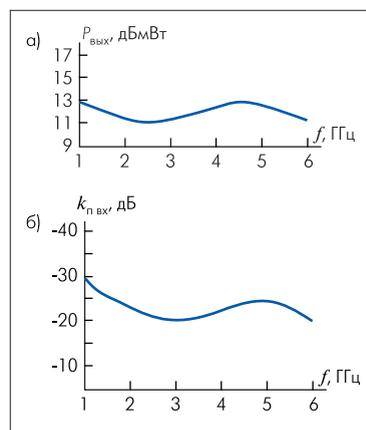


Рис.8. Частотные характеристики выходной мощности (а) и уровня паразитных спектральных компонент (б) широкополосного удвоителя частоты модели MAX2M010060 при входной мощности 10 дБмВт

Таблица 5. Параметры умножителей частоты

Тип умножителя	Входная частота, ГГц	Входная мощность, дБмВт	Выходная частота, ГГц	Выходная мощность, дБмВт	$k_{пр}$, дБ	$k_{г.вых}$, дБ	$I_0 \times U_0$, мА × В	Модель
×2; СО	13–20	8–12	26–40	-3	-10	-15	–	MAX2V260400
×2; О	1–2	3–8	2–4	-5	-10	-20	–	MAX2J020040
×2; О	2–4	16–20	4–8	5	-11	-20	–	MAX2V040080
×2; МО	0,02–0,5	3–8	0,04–1	-3	-11	-25	–	MAX2J004010
×2; МО	3–13	16–20	6–26	5	-12	-15	–	MAX2V060260
×3; МО, Ф	10,7–13,3	8–12	32–40	0	-15	-55	–	MAX3M320400
×3; СО, А	1,5–1,7	3–8	4,5–5	6	3	-15	120×12	MAX3J045050
×3; СО, А	2,3–2,8	3–8	7–8,3	6	3	-15	120×12	MAX3J070083
×4; А	1,5–1,6	3–8	6–6,5	6	3	-15	150×12	MAX4J060065
×5; А	2,7–2,9	3–8	13,5–14,5	6	3	-15	150×12	MAX5J135145
×48; А	0,09–0,11	10	4,5–5,3	10	0	-15	110×5; 500×15	MAX48M045053
×32; А	0,08–0,09	-10	2,7–2,94	10	20	-50	500×15	MAX32S027029
×3; А	3–3,8	12	9–11,4	5	-5	-15	150×15	MAX3M094114-5P
×3; А	4,6–5,4	12	13,8–16,2	0	-12	-15	150×15	MAX3M138162-0P
×2; МО	0,5–3	8–12	1–6	8	0	-20	150×15	MAX2M0106-0P

Примечания: СО – субоктавный диапазон частот; О – октавный диапазон частот; МО – многооктавный диапазон; Ф – встроенный фильтр; А – активный; $\times n$ – умножитель частоты в n раз