

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.

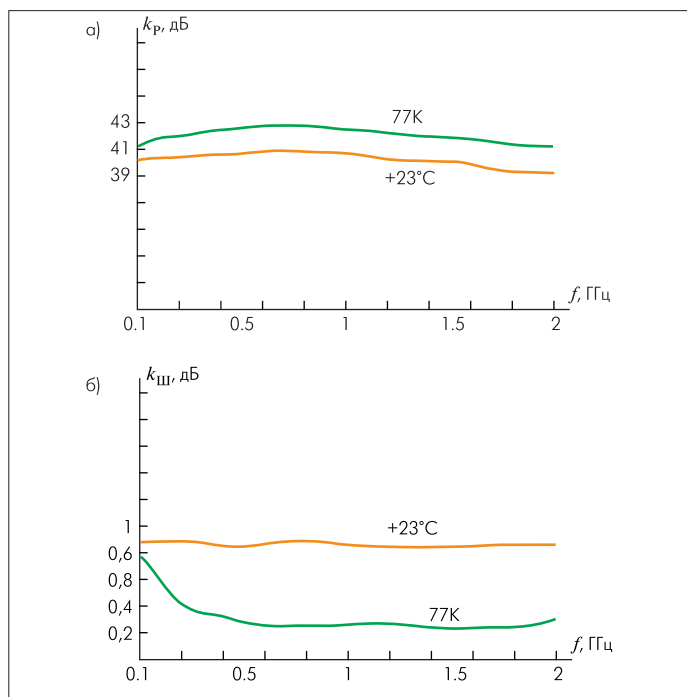


Рис. 1. Зависимость коэффициентов усиления и шума усилителя дециметрового диапазона AFS4-02001800-45-TC-5 от частоты (а) и температуры (б)

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; выравниватели 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.

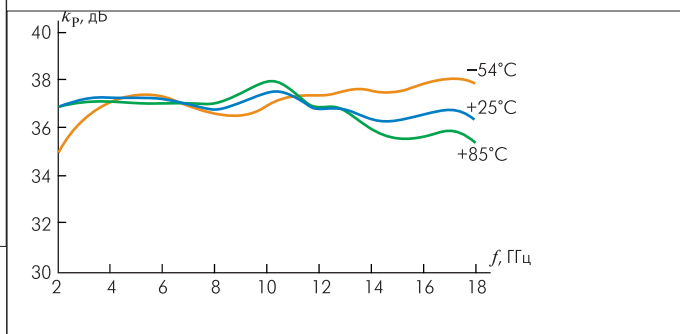


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика усилителя сантиметрового диапазона AFS4-02001800-45-TC-5 при различных значениях температуры

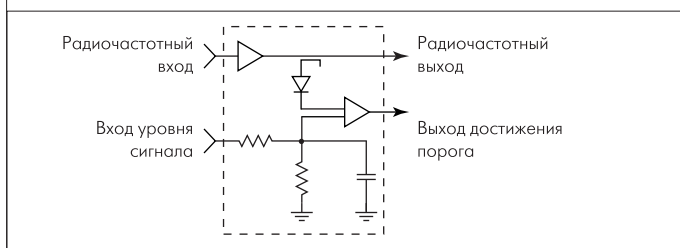


Рис. 3. Схема усилителя AVIT5-08001200-25-24P с контролем уровня выходного сигнала

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.

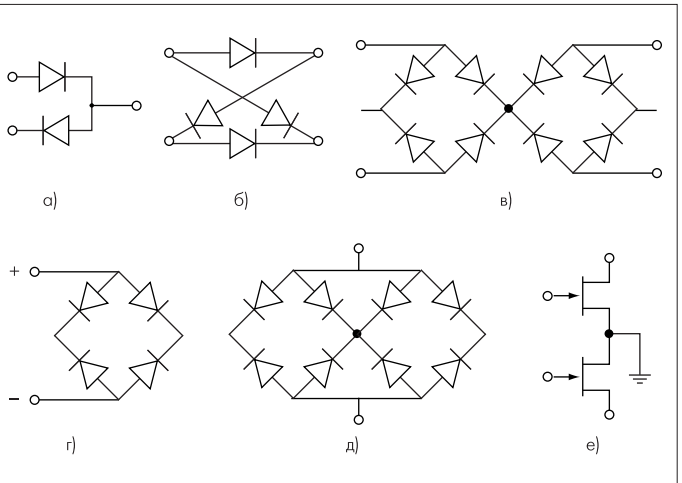


Рис.5. Схемы смесителей: с одинарной (а), двойной (б) и тройной (в) балансировкой; смесителей с управляемым смещением (г), гармониковых (д) и на полевых транзисторах (е)

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	$P_{вхIP3}$, 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 $P_{вхIP3}$ до 4 Вт, SBE0440LW1 с достаточно высокими для узлов 7-мм диапазона параметрами.

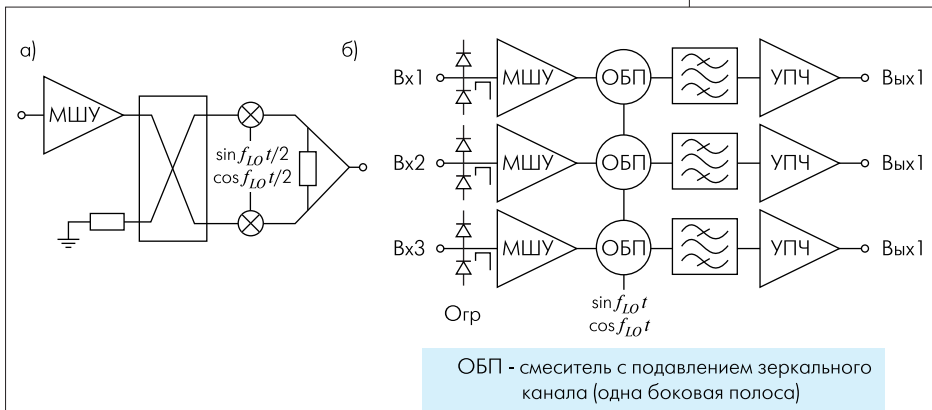


Рис.6. Схемы смесителей с подавлением зеркального канала: а) с входным малошумящим усилителем, б) трехканальный преобразователь частоты вниз с входными ограничителями, усилителями по входу и по промежуточной частоте и с встроенными частотно-разделительными цепями

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 $\Delta\varphi$ и амплитуды ΔU_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	$P_{вхIP3}$, дБмВт	Модель
	RF, LO	IF							
КДМ	1–2	0–0,5	10	-8	-23	-40	–	8	IR0102LC2
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.

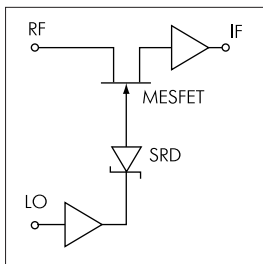


Рис.7. Схема смесителя на выборках

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

Таблица 5. Параметры умножителей частоты

Тип умножителя	Входная частота, ГГц	Входная мощность, дБмВт	Выходная частота, ГГц	Выходная мощность, дБмВт	$k_{пр}$, дБ	$k_{г\text{ вых}}$, 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

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 $k_{п\text{ вх}}$, уровень паразитных спектральных компонент входной частоты на выходе $k_{п\text{ вых}}$. 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.

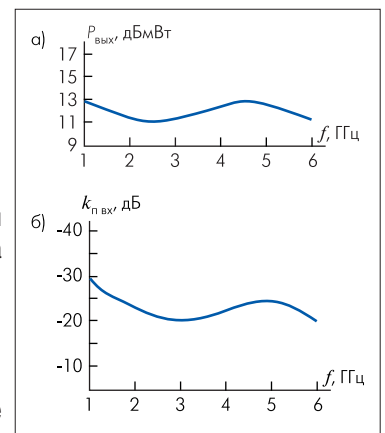


Рис.8. Частотные характеристики выходной мощности (а) и уровня паразитных спектральных компонент (б) широкополосного удвоителя частоты модели MAX2M010060 при входной мощности 10 дБмВт

Умножители частоты высокой кратности ×32 и ×48 представляют собой законченные активные блоки, содержащие каскадно-включенные удвоители и утроители частоты, полосно-пропускающие фильтры и ограничительные каскады.

Таким образом, краткий обзор усилительных и смесительных узлов фирмы MITEQ показывает ее высокий научно-технологический уровень и комплексный характер разработок, что можно рассматривать в качестве примера для предприятий, стремящихся завоевать заметное место на рынке электронной продукции микроволнового диапазона.