

# 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:

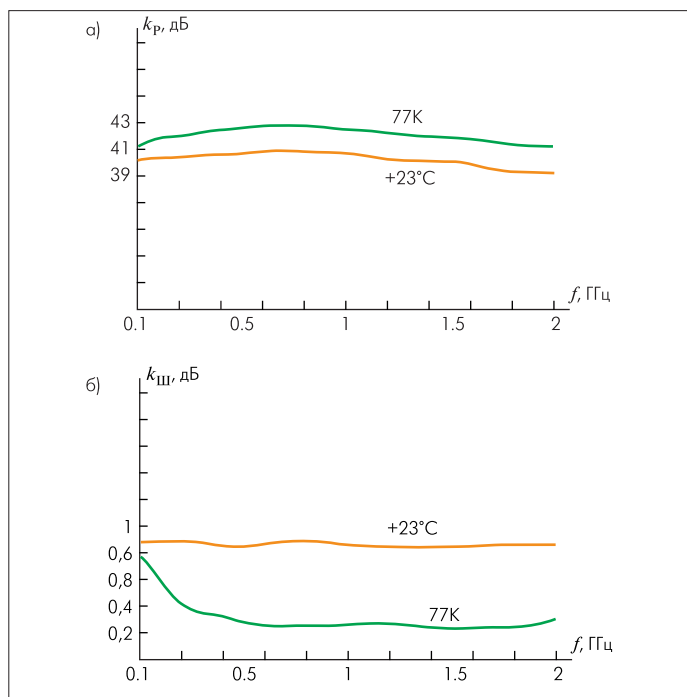
- малошумящие усилители СВЧ-сигналов;
- высококачественные смесители и умножители частоты микроволнового диапазона;
- синтезаторы стабильных частот;
- заказные изделия для космической аппаратуры.

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 | $\Delta k_p$ , 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.

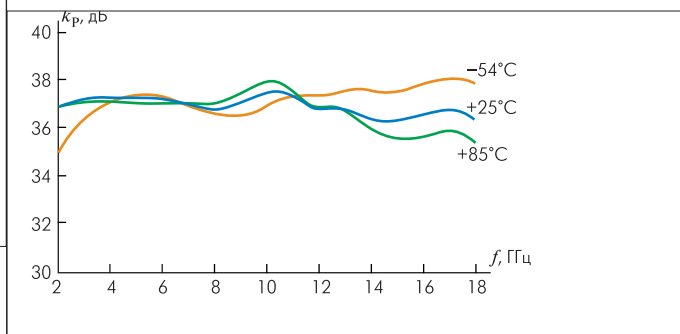
### УСИЛИТЕЛИ СВЧ-ДИАПАЗОНА

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:

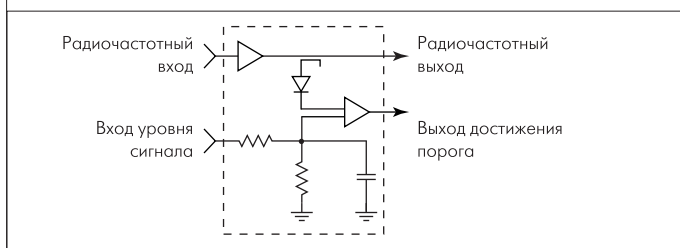
- коэффициент усиления по мощности  $k_p$  и его неравномерность по диапазону частот  $\Delta k_p$ ;
- коэффициент собственного шума  $k_{ш}$ ;
- допустимое значение коэффициента стоячей волны  $k_{св}$ ;
- максимальная мощность выходного сигнала  $P_{вых1дБ}$ , при которой сохраняется линейный режим, 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  $P_{вхИРЗ}$  или выходной  $P_{выхИРЗ}$  мощности, при которой уровень нежелательных компонентов высшего порядка становится равным уровню полезного сигнала.

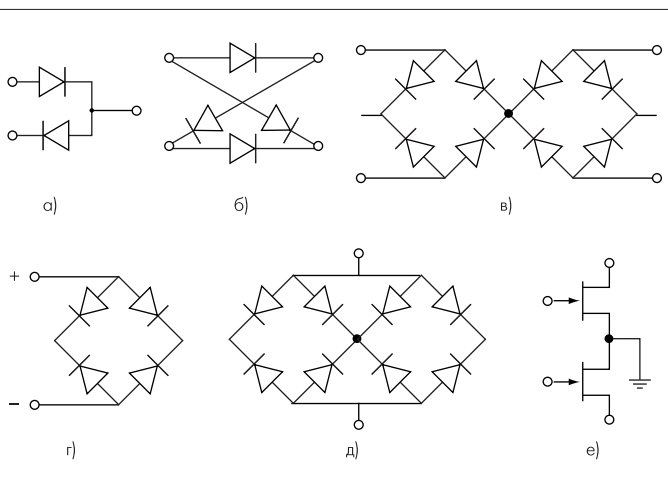


Рис.5. Схемы смесителей: с одинарной (а), двойной (б) и тройной (в) балансировкой; смесителей с управляемым смещением (г), гармониковых (д) и на полевых транзисторах (е)

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.

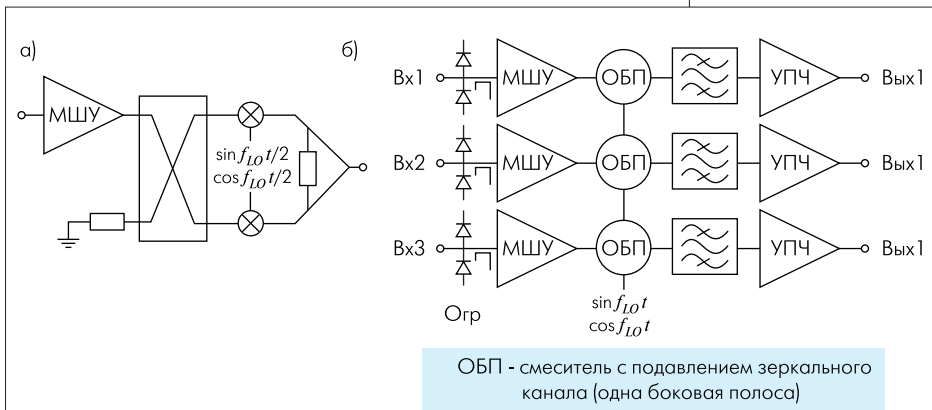


Рис.6. Схемы смесителей с подавлением зеркального канала: а) с входным малошумящим усилителем, б) трехканальный преобразователь частоты вниз с входными ограничителями, усилителями по входу и по промежуточной частоте и с встроенными частотно-разделительными цепями

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  $\Delta U_i$ ;
- 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 | $P_{вхIP3}$ , 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.



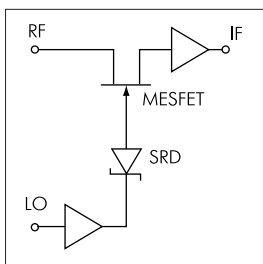
**Таблица 4. Характеристики бинарных, квадратурных, векторных модуляторов и преобразователей полосы частот вверх**

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

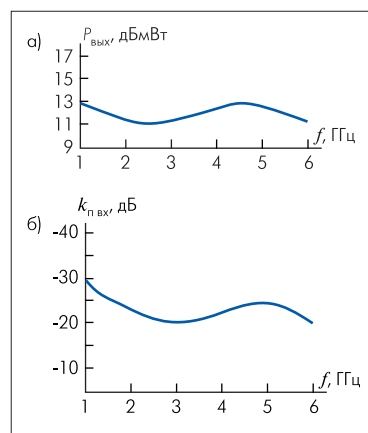
**Примечания:** СО – субоктавный диапазон частот; О – октавный диапазон частот; МО – многооктавный диапазон; Ф – встроенный фильтр; А – активный;  $\times n$  – умножитель частоты в n раз

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.