

# HITTITE MICROWAVE –

## ПОРТРЕТ ФИРМЫ



Л. Белов

Статья продолжает серию обзоров продукции ведущих мировых производителей электронных компонентов радиочастотного и микроволнового диапазона [1, 2]. Корпорация Hittite Microwave – одна из самых динамично развивающихся фирм-производителей электронных компонентов. Ассортимент ее продукции постоянно расширяется высокими темпами. К лету 2005 года компания выпустила на рынок более 50 новых изделий, занявших в своей нише передовые позиции. Поэтому обзор технического уровня и параметров электронных компонентов производства Hittite [3] несомненно представляет интерес как для разработчиков аппаратуры, так и для организаторов производства электронных компонентов в России.

Компания Hittite Microwave основана доктором Я. Аясли (Yalcin Ayasli) в 1985 году для инновационной разработки и производства высококачественных аналоговых и цифровых интегральных микросхем и модулей радиочастотного, микроволнового и миллиметрового диапазонов военного и гражданского назначения, перекрывающих частоты от постоянного тока до 110 ГГц. Главный офис расположен в Чемсворде, шт. Массачусетс. Несколько десятков отделений и представительств корпорации находятся в США, Канаде, Европе, Южной Азии, Японии, Новой Зеландии, Китае, Тайване, Индии, Авст-

ралии. Президент – Стефан Дали (S. Daly), Председатель Совета директоров – Я. Аясли.

Продукция корпорации выполнена на основе транзисторов типа MESFET, PHEMT, MHEMT и HBT, изготавливаемых на GaAs, InGaP/GaAs, InP, SiGe. Функциональные узлы и интегральные схемы имеют бескорпусное исполнение, либо монтируются в корпуса 20 унифицированных видов для поверхностного монтажа, созданные на основе специальных пластмасс и керамики, либо представляют собой герметизированные модули с коаксиальными SMA-соединителями. Корпорация активно выполняет современные экологические требования к материалам и технологиям в соответствии с директивой RoHS (ограничение применения вредных веществ) Европейского союза и выпускает RoHS-версии многих своих изделий.

В номенклатуру компонентов Hittite разнообразного назначения входят усилители, аттенюаторы, смесители, модуляторы амплитуды и фазы, фазовращатели, умножители и делители частоты, управляемые напряжением генераторы, переключатели, датчики и другие компоненты, предназначенные для аппаратуры подвижной радиосвязи, волоконно-оптических линий связи, радиолокационной техники.

### УСИЛИТЕЛИ

В табл. 1 приведены характеристики некоторых усилителей, расположенных в порядке повышения рабочей частоты  $f$ .

Маломощные усилители (24 модели) предназначены для применения в ограниченном диапазоне частот – 0,35–36 ГГц при небольшой выходной мощности линейного режима  $P_{\text{вых.1дБ}}$  (менее 12 дБмВт на частоте 32 ГГц). Они различаются коэффициентами усиления  $k_p$  и шума  $N$ , уровнями мощности насыщения  $P_{\text{вых.нас}}$  и недопустимых ис-

Таблица 1. Параметры радиочастотных усилителей

Модель	Особенность	$f$ , ГГц	$k_p$ , дБ	$P_{\text{вых.1дБ}}$ , дБмВт	$P_{\text{вых.нас.1}}$ , дБмВт	$P_{\text{вых.1P3}}$ , дБмВт	$N$ , дБ	$E_p$ , В	$I_p$ , мА
HMC-C008	М, К, Н	1,8–2,2	42	42	45	50	6	14	6500
HMC374	МШ, Н	0,2–3	15	22	25	36	1,7	5	90
HMC326MS8G	Р	3–4,5	21	23,5	26	36	5	5	130
HMC471MS8G	ШП, М, Сдв	0–5	20	21–10	-	34–22	3,2	6–12	90
HMC397	ШП, Кс, Б	0–10	15	15–10	13	30–22	4,5	5	56
HMC489LP5	М, Н	12–16	13	29–31	30–32	32–34	9	7	1300
HMC516	МШ	7–17	21	13–16	15–17	20	1,8	3	85
HMC451	М, Л, Н	5–20	22	20	24	36	6,5	5	127
HMC-C004	ШП, К, РП	0,01–20	16–13	23–20	25–22	33–26	3	12	195
HMC465LP5	ШП, Мод, Кс	0–20	16–13	24–20	25–23	32–34	2,5	8	160
HMC498LC4	Л, М	17–24	22	25	25,5	36	4	5	250
HMC342	Л, МШ	13–25	20	5	8	13	3,5	3	65
HMC342	МШ, ММ	13–25	21	5	8	13	3,5	3	36
HMC517LC4	МШ, Н, Кс	17–26	19	13	16	24	2,5	3	65
HMC499	Л, ММВ, Кс	21–32	16	24	25	33	5	5	200
HMC263	МШ, ММВ, ММ	24–36	23–20	3–8	5–10	10–17	2,1	3	58

Примечание. МШ – маломощный; ММВ – миллиметрового диапазона волн; М – мощный; ШП – широкополосный; Р – регулируемый; Л – с широким диапазоном линейности; СШП – сверхширокополосный; К – с коаксиальными соединителями; Сдв – дсдвоенный; Н – новая модель; Кс – каскадируемый; РП – регулятор напряжения питания; Мод – встроен импульсный модулятор; ММ – микроминиатюрный; Б – усилительный блок.

каждый  $P_{\text{вых.ИРЗ}}$ , напряжением  $E_{\text{п}}$ , током питания  $I_{\text{п}}$ , типом корпуса\*. Среди малошумящих усилителей внимания заслуживают следующие модели:

- HMC356LP3 и HMC373LP3 с коэффициентом шума не более 1 дБ;
- HMC373LP3 и HMC491LP3 со встроенным шунтирующим электронным ключом, замыкание которого снижает коэффициент передачи до -2 дБ;
- HMC462LP5 с блокировочными разделительными конденсаторами по входу и выходу;
- HMC326MS8G с драйвером, позволяющим за 10 нс изменить коэффициент передачи с -2 дБ до 21 дБ.
- HMC374, отличающийся низким уровнем шума при высокой максимальной мощности (см. табл. 1);
- HMC310MS8G со встроенным смесителем.

**Усилительные блоки** (19 моделей) различаются числом встроенных усилительных каскадов, результирующим коэффициентом усиления (до 42 дБ для HMC-C008), наличием входа управления усилением, возможностью каскадирования. Здесь можно отметить усилители HMC469MS8G и HMC471MS8G, содержащие по два одинаковых усилителя, которые могут использоваться независимо или каскадироваться. В HMC397 понижена чувствительность к температурным изменениям (до 0,004–0,02 дБ/°C в диапазоне 0–10 ГГц).

**Усилители повышенной мощности** (35 моделей) предназначены для работы в диапазоне частот 0,4–40 ГГц при  $P_{\text{вых.1дБ}}$ , достигающей 15 Вт на частоте 2,2 ГГц (HMC-C008), 2 Вт на 12 ГГц (HMC487LP5) и 110 мВт на 40 ГГц (HMC283LM1).

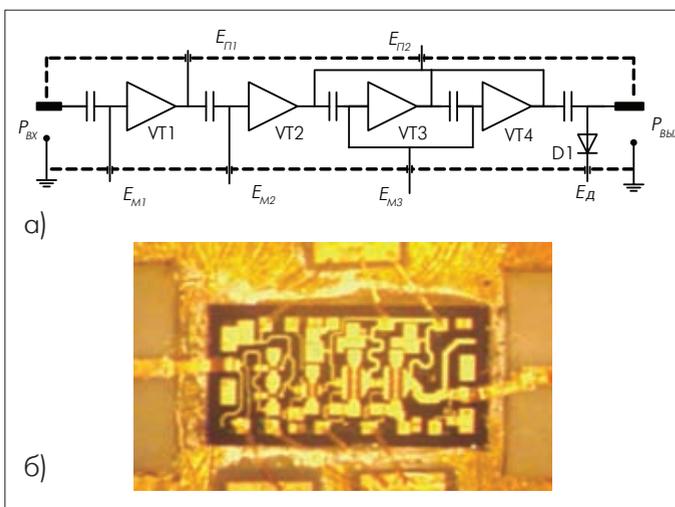


Рис. 1. Функциональная схема (а) и топология (б) усилителя HMC283

В состав усилителя HMC283 (рабочая частота 17–40 ГГц) входят (рис. 1а) четыре последовательно включенные GaAs PHEMT-транзистора – VT1–VT4, разделённые блокировочными конденсаторами, и диод D1 (выходное напряжение достигает 2 В) для контроля мощности выходного сигнала. Размер подложки усилителя 0,88x1,72 мм (рис. 1б). В линейном режиме коэффициент усиления составляет 21 дБ при коэффициенте шума 10 дБ; на частоте 39 ГГц достигнута мощность  $P_{\text{вых.нас}} = 21$  дБмВт. На рис. 2а показана его амплитудно-частотная характеристика при разных значениях температуры внешней среды, на рис. 2б – амплитудная характеристика для разных

\* Микросхемы, маркируемые HMCxxx, имеют бескорпусное исполнение размером 1,5x1,5 мм или микроминиатюрный корпус SOT26 размером 2,8x2,6 мм. В маркировку приборов поверхностного монтажа введено обозначение корпуса: например, MS8G имеет размеры 3x5 мм, LP3 – 3x3 мм, QS16 – 4,8x5,8 мм. Маркировка HMC-Сууу означает исполнение в металлическом корпусе с размерами 14x16x4,6 мм, такой прибор может поставляться с коаксиальными SMA-соединителями.

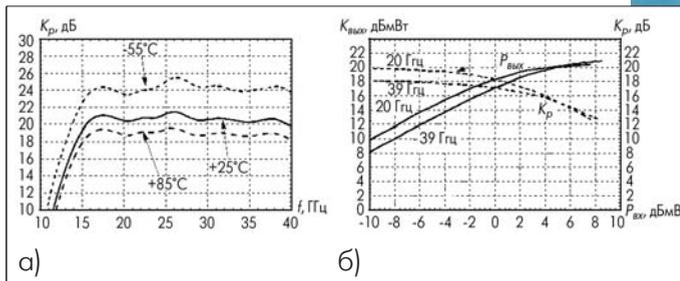


Рис. 2. Амплитудно-частотная (а) и амплитудная (б) характеристики усилителя HMC283

значений рабочей частоты. Изменением значений напряжения  $E_{\text{м1}} = E_{\text{м2}} = E_{\text{м3}}$  можно варьировать коэффициент усиления, а при подключении к выводу  $E_{\text{д}}$  резистора с сопротивлением 10 кОм – контролировать уровень выходной мощности усилителя.

В новейших моделях, выпущенных корпорацией на рынок в октябре 2005 года, расширен диапазон частот, повышены рабочие уровни усиления и выходной мощности. Модель HMC383 рассчитана на полосу частот 12–30 ГГц; HMC486 – на 7–9 ГГц при усилении 26 дБ,  $P_{\text{вых.нас}} = 34$  дБмВт,  $P_{\text{вых.ИРЗ}} = 40$  дБмВт; HMC451LC3 в полосе 5–20 ГГц обеспечивает  $P_{\text{вых.нас}} = 21$  дБмВт и  $P_{\text{вых.ИРЗ}} = 34$  дБмВт.

**Сверхширокополосные усилители** с распределённым усилением (10 моделей) обеспечивают режим малошумящего усиления в полосе частот от 2 до 20 ГГц. Модели HMC465 и HMC463LP5 содержат цепи управления коэффициентом усиления (режим AGC). Неравномерность его амплитудно-частотной характеристики составляет  $\pm 0,25$  дБ, отклонение фазочастотной характеристики от линейности не превышает  $\pm 1^\circ$ .

Усилительные герметизированные модули обеспечивают малошумящее усиление в полосе частот 2–20 ГГц с подключением лишь входа, выхода и источника питания (рис. 3). Модуль HMC-C004 имеет встроенные стабилизатор напряжения, разделительные конденсаторы по входу и выходу. При усилении сигнала с манипуляцией фазы на  $180^\circ$  длительность фронта переключения фазы выходного сигнала не превышает 0,2 нс.

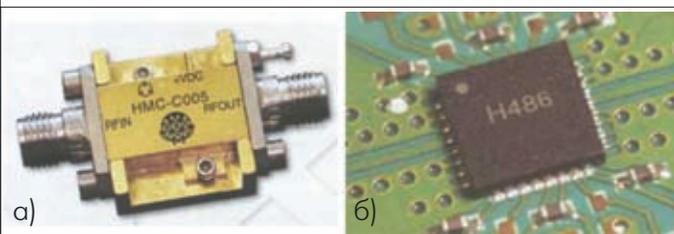


Рис. 3. Внешний вид усилительного блока HMC-C005 (а) и 2-Вт усилителя HMC486LP5 диапазона 7–9 ГГц (б)

### АТТЕНУАТОРЫ, МОДУЛЯТОРЫ И ФАЗОВРАЩАТЕЛИ

Основные параметры **аттенуаторов** – рабочая частота  $f$ , значение ослабления  $A$ ; уровни входной мощности для линейного режима  $P_{0,25дБ}$ , входной мощности недопустимых искажений  $P_{\text{ИРЗ}}$ , сигнала управления или управляющее напряжение  $e_{\text{у}}$ ; верхняя граничная частота по цепи модуляции  $F_{\text{мод}}$  (табл. 2). Корпорация предлагает восемь моделей управляемых напряжением аттенуаторов и двадцать моделей аттенуаторов с цифровым управлением. К управляемым напряжением аттенуаторам относится модель поглощающего типа с аналоговым управлением HMC346 размером 0,85x0,85x0,1 мм, к аттенуаторам с цифровым управлением – модель HMC467LP3, обеспечивающая максимальное паразитное изменение фазового сдвига  $6^\circ$ . Задержка переключения цифрового шестиразрядного GaAs-аттенуатора HMC424 не превышает 50 нс.

Таблица 2. Параметры аттенуаторов, модуляторов амплитуды и фазы

Модель	Особенность	f, ГГц	A, дБ	P <sub>0,1дБ</sub> , дБмВт	P <sub>1P3</sub> , дБмВт	e <sub>упр</sub> , В	F <sub>мод</sub> , МГц
HMC470LP3	ЦА-5, Н	0–3	1–31	20	45	ТТ/CMOS	0–6
HMC305LP4	ЦА-5, ПИ, ММ	0,7–3,8	0,5–15,5	20	52	ТТ/CMOS	0–1
HMC467LP3	ЦА-2, СШ	0–6	0,5–20	22	50	ТТ/CMOS	0–7
HMC424	ЦА-6, СШ, ММ	0–13	0,5–31,5	22	46	ТТ/CMOS	0–33
HMC346	УН, Н, СШ, ММ	0–20	1,7–32	8	25	0...-3	0–500
HMC137	ФМ2	6–11	0,25 <sup>1)</sup>	10 <sup>2)</sup>	15	0/3	0–10
HMC496LP3	ФМ4	4–7	0,25 <sup>1)</sup>	4 <sup>2)</sup>	17	0/3	0–250
HMC500LP3	ВМ	1,8–2,2	40	16 <sup>2)</sup>	33	0,5/2,5	0–150
HMC247	АФ, Н	5–18	0,25	5 <sup>3)</sup>	30	0–10	0–50
HMC538LP4	АФ, Н	6–15	0,25	-10 <sup>3)</sup>	20	0–5	0–50

Примечание. УН – управляемый напряжением аттенуатор; ЦА-л – цифровой аттенуатор с разрядностью л; ПИ – последовательный интерфейс; Н – новая модель; ФМN – фазовый модулятор на N уровней; ВМ – векторный модулятор; АФ – аналоговый фазовращатель; СШ – сверхширокополосный; ММ – микроминиатюрный; <sup>1)</sup> – паразитная амплитудная модуляция; <sup>2)</sup> – P<sub>вх,1дБ</sub>; <sup>3)</sup> – изменение фазы не более ±1,5°.

Бинарный пассивный фазовый модулятор HMC137 обеспечивает подавление несущего колебания на 22 дБ; фазовый разбаланс в нём – не более 10°; он может использоваться на этих же частотах в качестве фазового дискриминатора.

Из числа выпускаемых компанией Hittite модуляторов отметим квадратурный фазовый модулятор HMC496LP3 с полосой пропускания по входу модуляции 0–250 МГц, в состав которого входят встроенный квадратурный трансформатор, каналные усилители-ограничители, балансные SiGe-коммутирующие диоды и выходной мост-сумматор (рис.4). При мощности опорного колебания от -3 до 6 дБмВт модулятор обеспечивает подавление несущей на 34 дБ; спектральная плотность мощности (СПМ) собственного фазового шума для отстроек свыше 100 кГц составляет -157 дБн/Гц.

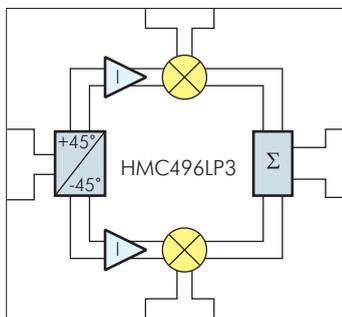


Рис. 4. Функциональная схема квадратурного фазового модулятора HMC496LP3

Векторный модулятор HMC500LP3 обеспечивает управление фазой в пределах 360° (рис.5) и амплитудой с динамическим диапазоном 40 дБ при полосе модулирующих частот 0–150 МГц. Групповое запаздывание сигнала не превышает 20 пс, СПМ при отстройках свыше 100 кГц – не более -162 дБн/Гц.

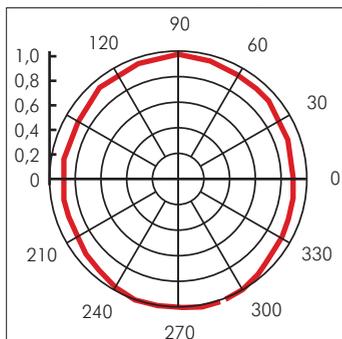


Рис. 5. Характеристика чувствительности выходной амплитуды к установке фазы выходного сигнала для векторного модулятора HMC500LP3

Аналоговые модуляторы фазы HMC538LP4/C010 позволяют изменять фазу проходящего сигнала на 450–800° за счёт вариаций управляющего напряжения с полосой частот по цели управления от нуля до 50 МГц. Модулятор фазы HMC247 обеспечивает управление фазой до 300° в полосе частот 9–21 ГГц. Он выполнен в виде плоской столбчатой конструкции размером 1,6x7 мм, пригодной для использования в прикладных задачах волоконно-оптической связи и техники фазированных антенных систем.

**УМНОЖИТЕЛИ ЧАСТОТЫ**

Корпорация предлагает 20 моделей нерезонансных умножителей с кратностью 2, 4, 8 и 16 на диапазон входных частот 0,6–18 ГГц.

не хуже -50 дБ, а четвертой -60 дБ. Уровень СПМ его собственного фазового шума менее -160 дБн/Гц и поэтому не нормируется. Активный удвоитель частоты HMC449 содержит встроенные входной и выходной усилители, благодаря чему выходная мощность достигает 10 дБмВт на частоте 33 ГГц. На основе подобной схемы построен активный умножитель частоты в восемь раз модели HMC444LP4.

Таблица 3. Параметры умножителей частоты (приведены в порядке повышения выходной частоты)

Модель	Особенность	f <sub>вых</sub> , ГГц	P <sub>вх</sub> , дБмВт	P <sub>вых</sub> , дБмВт	S <sub>ф</sub> , дБн/Гц	ПСС, дБн	E <sub>п</sub> , В	I <sub>п</sub> , мА
HMC445LP4	x16, А	9,9–11	-15...5	7	-130	-25	5	78
HMC444LP4	x8, А	9,9–11,2	-15...5	6	-136	-25	5	68
HMC204C8	x2	11–15	10–15	-6...-1	<-160	-40	б/п	–
HMC368LP4	x2, А	9–16	0–10	15	-140	-18	5	75
HMC370LP4	x4, А	14,4–16,4	-15...5	0	-140	-22	5	55
HMC448	x2, А, ММ	19–25	-4...6	12	-135	-20	5	48
HMC449	x2, А, ММ	27–33	-4...6	10	-132	-34	5	50
HMC331	x2, ММ	24–36	11–15	-3...1	<-160	-50	б/п	–

Примечание. xN – умножитель частоты в N раз; А – активный; ММ – микроминиатюрное исполнение; б/п – без источника питания.

**ДЕЛИТЕЛИ ЧАСТОТЫ**

Корпорация Hittite предлагает более 30 моделей сверхширокополосных делителей частоты. Основные параметры делителей частоты от 200 МГц до 20 ГГц – частота входного сигнала f<sub>вх</sub>; значения мощности входного P<sub>вх</sub> и выходного P<sub>вых</sub> сигналов; СПМ собственного фазового шума S<sub>ф</sub> при отстройке 100 кГц; уровень обратного прохождения выходного сигнала на вход В; длительность фронта выходного сигнала τ (табл.4). Коэффициент деления частоты различных моделей составляет 2, 3, 4, 5, 8 или 16. Входной сигнал может быть гармоническим, а выходной является двухуровневым с размахом 4,5 В. Все модели делителей частоты являются активными, они содержат входной и выходной усилители и между ними двухуровневый делитель частоты. Большинство делителей частоты обеспечивают на вы-

Таблица 4. Параметры делителей частоты

Модель	Особенность	f <sub>вх</sub> , ГГц	P <sub>вх</sub> , дБмВт	P <sub>вых</sub> , дБмВт	S <sub>ф</sub> , дБн/Гц	В, дБн	τ, пс	E <sub>п</sub> , В	I <sub>п</sub> , мА
HMC364	±2, ММ, А	0...14	-20...+10	4	-145	-40	100	5	105
HMC492LP3	±2, Д, А	0...18	-20	-4	-150	-60	100	5	78
HMC437MS8G	±3, Д, А	0...7	-15	-1	-153	-50	100	5	69
HMC365	±4, Д, А	0...13	-20	5	-151	-45	100	5	110
HMC438MS8G	±5, Д, А	0...7	-15	-1	-153	-50	100	5	80
HMC494LP3	±8, Д, А	0...18	-20	-4	-150	-55	100	5	103
HMC-C007	±8, К, Н, Г	0,5...18	-20	-4	-150	-55	100	5	98
HMC394LP4	±(2-32), П	0...2,2	-20	4	-153		200	5	194

Примечание. xN – делитель частоты в N раз; Д – двухуровневый выходной сигнал; К – коаксиальные соединители; П – программируемый коэффициент деления; Н – новая модель; ММ – микроминиатюрное исполнение; А – активный; Г – герметизированный.

ходе два противофазных выходных колебания прямоугольной формы, причем их уровень практически не зависит ни от рабочей частоты, ни от температуры окружающей среды в диапазоне -40...85°C.

В программируемом делителе частоты HMC394LP4 с кратностью от 2 до 32 используется параллельная установка пяти разрядов кода коэффициента деления. Размах выходного двухуровневого сигнала между выходами  $U_{\text{вых}}(f)$  и  $\overline{U_{\text{вых}}}(f)$  составляет 800 мВ с фронтами менее 100 пс. Делители частоты кратностью до 64 встраиваются в новые изделия корпорации (частотно-фазовые детекторы, ГУН миллиметрового диапазона, источники колебаний с фазовой синхронизацией).

## СМЕСИТЕЛИ ЧАСТОТ

Корпорация представляет свыше 80 моделей смесителей и преобразователей частот, примеры характеристик которых приведены в табл.5. В субгармоническом смесителе HMC337 на порт LO подаётся опорный сигнал с частотой 8,5–13 ГГц, который усиливается встроенным усилителем; на порт RF подаётся входной сигнал с частотой 17–25 ГГц; на выходе IF смесителя выделяется компонента с разностной частотой между частотой сигнала RF и второй гармоникой колебания LO.

Таблица 5. Параметры смесителей

Модель	Особенность	$f_{\text{RF}}$ , ГГц	$f_{\text{IF}}$ , ГГц	$P_{\text{LO}}$ , дБмВт	$P_{\text{вх.ИПЗ}}$ , дБмВт	$C_{\text{RF/IF}}$ , дБ	$I_{\text{SO LO/RF}}$ , дБ
HMC296MS8	ДБ	1,1–1,7	0–0,7	3–11	24	-7	40
HMC214MS8	Б, Н	2,4–4	0–1	7	34	-10	30
HMC129LC4	ДБ, Н	4–8	0–3	15	17	-7	40
HMC219MS8	ДБ	4,5–9	0–2,5	13	21	-8,5	25
HMC256	ОБП, Н	6–10	0–3,5	15	28	-7,5	40
HMC260LC3В	ДБ, Н	14–26	0–8	13	20	-7,5	39
HMC524	ОБП, Н	22–32	0–3,5	17	20	-10	23 <sup>1)</sup>
HMC329LC3В	ДБ, Н	25–40	0–8	13	19	-10	40
HMC339	СГ	33–42	0–3	2 <sup>1)</sup>	10	-10	37

Примечание: ДБ – дважды балансный; СГ – субгармонический; ОБП – с одной боковой полосой, квадратурный; Б – балансный; Н – новая модель; <sup>1)</sup> – подавление зеркальной полосы.

Преобразователь частоты вниз диапазона 20–32 ГГц модели HMC265 выполнен также с субгармонической подкачкой. В его состав на подложке размером 1,3x1,3 мм входят усилители по входу LO и по выходу IF, собственно смеситель и блокировочные конденсаторы (рис.6). Частота опорного сигнала 10–16 ГГц, полоса пропускания по выходу промежуточной частоты 0,7–3 ГГц. Прохождение сигнала удвоенной опорной частоты на вход RF снижено до -35 дБ, а на выход IF до -55 дБ. Коэффициент передачи RF/IF составляет 3 дБ, собственный коэффициент шума преобразователя 13 дБ.

Квадратурный смеситель HMC256 может использоваться в качестве преобразователя частоты вверх с одной боковой полосой или смесителя с подавлением зеркальной полосы частот. В его состав включен широкополосный квадратурный мост-разветвитель на входе опорной частоты и смесители с двойной балансировкой. Это изделие отличается высоким уровнем подавления зеркальной полосы частот (не менее 30 дБ) и широкой полосой пропускания по промежуточной частоте (0–1,5 ГГц).

Субгармонический смеситель входных частот 26–33 ГГц типа HMC404 обеспечивает подавление зеркальной полосы на 22 дБ. В нём использованы последовательно включенные усилитель и

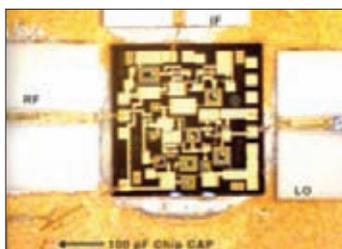


Рис. 6. Топология внутренней структуры преобразователя частоты HMC265

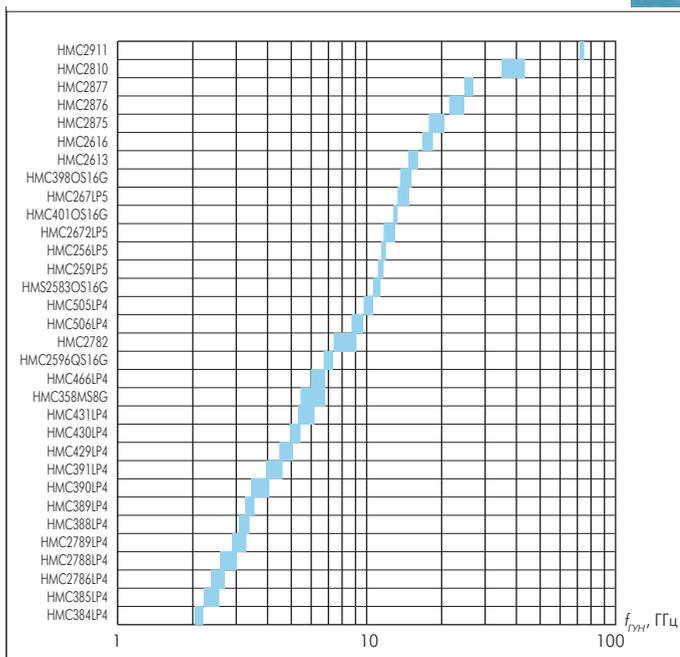


Рис.7. Линейка ГУН, перекрывающих диапазон частот от 2 до 90 ГГц

удвоитель частоты по входу опорного сигнала с частотой 13–16,5 МГц, смеситель с двойной балансировкой и квадратурный мост-сумматор по IF-порту. Полоса пропускаемых частот по IF-порту 0–3 ГГц, уровень сигнала на RF-входе для линейного режима преобразования не превышает 6 дБмВт, коэффициент шума 11 дБ.

Смесители с высокой мощностью  $P_{\text{вх.ИПЗ}}$  (до 35 дБмВт) и низким уровнем комбинационных компонент выполняются как пассивные. Подавление сигнала опорной частоты на RF-порте смесителя с двойной балансировкой HMC410MS8 составляет -40 дБ и -37 дБ на IF-порте.

Пассивный GaAs-смеситель с двойной балансировкой HMC218MS8 на диапазон 4,5–6 ГГц с полосой по IF-порту 0–1,6 ГГц, выполненный на диодах Шоттки со встроенным балансным трансформатором, может использоваться в качестве преобразователя частоты вверх или вниз, модулятора/демодулятора сигнала ФМ2, фазового компаратора. Ослабление составляющих частоты опорного сигнала на RF-порте составляет -30 дБ, коэффициент передачи – -8 дБ, коэффициент собственного шума – 8 дБ.

Пассивный широкополосный GaAs-смеситель с двойной балансировкой HMC144LC4 на диапазон 6–20 ГГц с полосой частот по IF-порту 0–3 ГГц обеспечивает изоляцию между LO/RF-портами в -35 дБ. Серия пассивных смесителей HMC260/292/329LC3В перекрывает по RF- и LO-портам полосу частот 14–32 ГГц, по IF-порту – полосу 0–8 ГГц с изоляцией RF/LO до 40 дБ.

Таблица 6. Параметры генераторов, управляемых напряжением

Модель	Особенность	$f$ , ГГц	$P_{\text{вых}}$ , дБмВт	$S_{\text{ф}}$ , дБ/Гц	$E_{\text{п}}$ , В	$I_{\text{п}}$ , мА
HMC384LP4	БУ	2,05–2,25	3,5	-112	3	35
HMC358MS8G	БУ	5,6–6,8	10	-105	5	83
HMC506LP4	БУ	7,8–8,8	14	-103	3	77
HMC513LP5	±2, ±4; Н	10,7–11,3	7	-110	3	275
HMC535LP4	ФАПЧ, Н	14,7–15,4	1	-110	5;12	340; 28
HMC398QS16G	±8	14–15	6	-110	5	260
HMC533LP4	±16, Н	24–25	11	-98	5	225

Примечание. БУ – встроенный буферный усилитель; ±N – встроенный делитель частоты в N раз; Н – новая модель.

**ГЕНЕРАТОРЫ, УПРАВЛЯЕМЫЕ НАПРЯЖЕНИЕМ**

Серийные и заказные управляемые напряжением генераторы (ГУН) перекрывают диапазон частот от 2 до 90 ГГц (рис.7). Генератор HMC384LP4 диапазона 2–2,25 ГГц содержит встроенные резонатор, варакторный диод и буферный усилитель выходного сигнала. Изменение выходной мощности в рабочей полосе частот не превышает ±0,2 дБ в диапазоне управляющих напряжений от 0 до 10 В. СПМ фазового шума составляет -112 дБ/Гц при отстройке 100 кГц; коэффициент затягивания частоты при рассогласовании нагрузки – не более 2,5 МГц; коэффициенты чувствительности к напряжению питания – 5 МГц/В, к вариациям температуры – 0,25 МГц/°С. Подобный буферизованный ГУН модели HMC506LP4 на диапазон 7,8–8,7 ГГц обеспечивает выходную мощность 14 дБмВт.

ГУН миллиметрового диапазона 14–15 ГГц с встроенным делителем частоты в восемь раз модели HMC398QS16G содержит встроенный резонатор, генерирующую GaAs-структуру НВТ, варакторный диод и делитель частоты. Микросхема имеет дополнительные противофазные выходы сигнала поделённой в восемь раз частоты мощностью -6 дБмВт. Уровень СПМ фазового шума на основном выходе составляет -105 дБ/Гц при отстройке 100 кГц, а на дополнительном выходе поделённой частоты – -95 дБ/Гц при отстройке 10 кГц. На основном выходе уровень ПСС на половинной частоте составляет -20 дБн, на второй гармонике -12 дБн. ГУН типа HMC513LP5/514LP5/533LP4 перекрывают полосу частот до 24,8 ГГц и содержат встроенные делители частоты в два или в четыре раза (HMC533LP4 – в 16 раз).

**ГЕНЕРАТОРЫ С ФАЗОВОЙ СТАБИЛИЗАЦИЕЙ ЧАСТОТЫ**

Техника генерации колебаний, отвечающих высоким требованиям к чистоте спектра и фазовой стабильности, привела разработчиков корпорации к выпуску компонентов для синтезаторов частоты коле-

Таблица 7. Параметры переключателей

Модель	Особенность	$f_{\text{н}} - f_{\text{в}}$ , ГГц	$C_{\text{о}}$ , дБ	$I_{\text{со}}$ , дБ	$P_{1\text{дБ}}$ , дБмВт	$P_{\text{ПЗ}}$ , дБмВт	$\tau$ , нс
HMC484MS8G	П/П, ММ	0–3	0,4–0,9	30	40	72	15
HMC276QS24	4x2, ДК	0,7–3	6	38–30	26	37	140
HMC436MS8G	DPDT, П/Л	4,9–5,9	1,2–1	18–25	30–33	52	10
HMC231G7	НО, SPST	0–6	1,3–2	55–42	27	49	3
HMC536MS8G	П/П	0–6	0,5–0,7	27–32	29 <sup>1)</sup>	56–48	15
HMC322LP4	SP8T, НО	0–8	2,1–2,5	40–25	23	40	50
HMC427	К, ММ	0–8	1,2–1,6	48–32	26	43	2
HMC347LP3	НО, SPDT	0–14	1,5–1,9	53–38	23	43	3
HMC547	НО, Н, ММ	0–20	1,5–2	50–38	23	43	3
HMC-C011	НО, Н, КК, Г	0–20	1,8–4	46–35	23	48–45	1,5

Примечание. НО – неотражающий; SPST – два контакта, два положения; SPDT – три контакта, два положения; П/П – переключатель приём-передача; ММ – микроминиатюрный; SP8T – переключатель одной цепи на любой из 8 контактов; DPDT – две цепи SPDT; 4x2 – матрица – четыре цепи по два контакта; ДК – встроенный декодер 4:16; К – кольцевой переключатель; Н – новая модель; КК – коаксиальный соединитель; Г – герметизированное исполнение; <sup>1)</sup> – P<sub>0,1дБ</sub>.

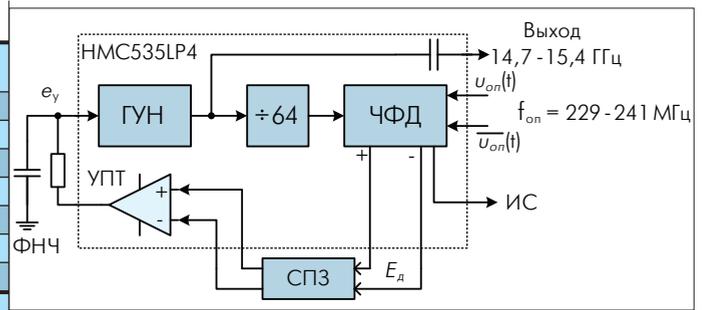


Рис.8. Функциональная схема фазосинхронизированного генератора HMC535LP4

баний миллиметрового диапазона длин волн с фазовой автоподстройкой частоты (ФАПЧ). К ним относятся рассмотренные выше микросхемы ГУН с встроенными предварительными делителями частоты, частотно-фазовые детекторы и новое для корпорации направление разработок – интегральные фазостабильные генераторы миллиметрового диапазона (Phase Locked Oscillator – PLO). Для синтезатора сетки частот с ФАПЧ в диапазоне 10–1300 МГц разработан малощумящий частотно-фазовый детектор (ЧФД) HMC439QS16G. На сигнальный и опорный входы этой микросхемы подаются колебания с частотой 10–1300 МГц и мощностью -10–10 дБмВт. Выходными являются дифференциальные сигналы генератора тока схемы подкачки заряда (СПЗ). В типовом варианте PLO на частоту 12,8 ГГц используется внешний ГУН HMC2693LP5 с встроенным предварительным делителем частоты в восемь раз, последовательно включенные предварительные делители частоты на два и на восемь HMC363/364MS8G, а также ФНЧ на микросхеме THS4031DNG и опорный генератор на частоту 100 МГц.

ЧФД типа HMC440QS16G отличается наличием встроенного пятиразрядного делителя частоты сигнала ГУН с устанавливаемым кодом коэффициентом деления 2–32. Частота сигнала от ГУН может достигать 2,8 ГГц, частота сравнения – 1,3 ГГц. Размах выходного сигнала ЧФД на нагрузке 200 Ом составляет 2 В. Собственный шум ЧФД не превосходит -150 дБн/Гц при отстройках более 100 Гц.

В микросхеме HMC535LP4 интегрирован PLO диапазона 14,7–15,4 ГГц с мощностью 9 дБмВт; стабилизация фазы производится по сигналу внешнего опорного источника с частотой 229,6–240,6 МГц. В её корпус смонтированы (рис.8) все компоненты системы ФАПЧ: ГУН, предварительный делитель частоты в 64 раза, ЧФД и усилитель постоянного тока (УПТ) в цепи обратной связи. Внешняя СПЗ выполнена на шести резисторах и четырех конденсаторах, ФНЧ – на одном резисторе и одном конденсаторе, ИС – индикатор синхронизма. Делитель частоты имеет фиксированный коэффициент деления в 64 раза. УПТ отличается уникально высоким коэффициентом передачи – 69 дБ с полосой пропускания 0–400 МГц. Выходные колебания синхронизированы по 64-й гармонике опорного колебания; при этом частота опорного колебания может быть фиксирована или изменяться во времени с полосой модулирующих частот до 50 МГц. СПМ собственного фазового шума вблизи несущей частоты не превышает -110 дБ/Гц для отстроек от 100 Гц до 20 МГц и снижается при дальнейшем увеличении отстройки. Уровень ближайших к несущей частоте ПСС с отстройкой на частоту сравнения 228–240 МГц составляет -75 дБн.

**ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ**

Семейство переключателей мощности (табл.7) представлено 52 моделями, различающимися верхней рабочей частотой  $f$ , коэффициентами передачи в открытом  $C_{\text{о}}$  и изоляции  $I_{\text{со}}$  в закрытом состоянии; типом коммутатора; мощностью коммутируемого сигнала в линей-



ном режиме  $P_{1дБ}$ ; длительностью переключения  $\tau$ . Быстродействующие коммутирующие элементы выполняются на полупроводниковых структурах (GaAs-диодах или полевых транзисторах), поэтому с повышением мощности коммутируемого сигнала ухудшаются вентиляционные свойства; для оценки предельной входной мощности указывают значение мощности недопустимых искажений  $P_{IP3}$ .

Неотражающие переключатели содержат два коммутирующих узла: при размыкании цепи подключается встроенный или внешний резистор, образующий согласованную нагрузку.

Для коммутации сигнала антенны мощностью до 10 Вт (в линейном режиме) в диапазоне частот 0–3 ГГц между передатчиком и приёмником предназначен переключатель SPDT-модели HMC484MS8G. В нём используются управляющие сигналы ТТЛ-уровня, а величина  $P_{IP3} = 72$  дБмВт заметно превышает значения, достигнутые другими производителями.

Интересен переключатель HMC322 на диапазон 0–10 ГГц на восемь направлений со встроенным преобразователем уровней ТТЛ-сигналов. Размеры микросхемы 1,45x1,6x0,1 мм.

Двухполюсный переключатель DPDT модели HMC436MS8G на полосу частот 4,9–5,9 ГГц подключает одну из двух антенн либо к передатчику с мощностью до 1 Вт, либо к приёмнику.

Переключательная матрица HMC276QS24 может быть удвоена для увеличения числа каналов и содержит встроенный четырехрядный декодер управляющих сигналов.

Кольцевой переключатель HMC427LP3 на четыре направления подключает или отключает соседние направления, обеспечивая изоляцию отключённого канала 40–45 дБ при потерях во включённом состоянии 1,2 дБ. Переключатели типа SPNT с числом направлений  $N = 3–8$  на частоту до 8 ГГц рекомендуются корпорацией Hittite для коммутации набора частотных фильтров.

Наивысшая рабочая частота предлагаемых корпорацией Hittite Microwave серийных изделий составляет 40 ГГц. Заказные микросхемы выпускаются и на более высокие частоты. В частности, сообщается о разработке активных умножителей частоты с выходной частотой до 83 ГГц и новых моделей ГУН с частотой генерации до 90 ГГц. Номенклатура электронных микросхем и компонентов, выпускаемых корпорацией, достаточна для создания разнообразных приёмопередающих узлов и модемов радиочастотной, мобильной и волоконно-оптической связи, работающих на частоте до 40 ГГц. Корпорация активно разрабатывает и выпускает на рынок новые, более совершенные модели электронных компонентов. В помощь разработчикам предлагаются варианты комплексных схемотехнических решений, специализированные калькуляторы для расчёта комбинационных составляющих смесителей, оценки уровня фазового шума на выходе синтезатора с ФАПЧ. Качество электронных компонентов и их стойкость к различным воздействиям удовлетворяют самым высоким требованиям военной и космической аппаратуры.

Сегодня компоненты на частоту до 10 ГГц поставляются в РФ свободно, на диапазон 10–26 ГГц требуется разрешение Госдепартамента США (оно может быть оформлено организацией РАДИОКОМП [4]), компоненты на более высокие частоты в РФ не поставляются.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2005, №4, с.44.
2. ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2005, №6, с.38.
3. Сайт корпорации Hittite: [www.hittite.com](http://www.hittite.com)
4. [www.radiocomp.ru](http://www.radiocomp.ru)