

Монолитные СВЧ-микросхемы аттенюаторов и усилителей компании Hittite Microwave

Владимир ДЬЯКОНОВ,
д. т. н., профессор
vpydyak@yandex.ru

Американская компания Hittite Microwave [1] основана в 1985 году. Она была создана для решения актуальных задач разработки и производства монолитных СВЧ аналоговых и сверхскоростных цифровых интегральных микросхем и модулей радиочастотного, микроволнового и миллиметрового диапазонов волн военного и гражданского назначения, перекрывающих частоты от постоянного тока до 110 ГГц.

О компании Hittite Microwave

Разработки компании носят инновационный характер и широко используются во всем мире. Главный офис корпорации расположен в Чемсворде, штат Массачусетс. Компания имеет десятки отделений и представительств в США, Канаде, Японии, Новой Зеландии, Китае, Тайване, Индии, Австралии, а также в странах Европы и Южной Азии.

Монолитные и гибридно-пленочные интегральные микросхемы компании построены на основе современных интегральных микротранзисторов типа MESFET, PHEMT, MHEMT и HBT, изготавливаемых на GaAs, InGaP/GaAs, InP, SiGe. Сегодня это наиболее высокочастотные из известных транзисторов. По этому параметру они намного превосходят обычные германиевые и кремниевые транзисторы.

Функциональные узлы и интегральные микросхемы имеют бескорпусное исполнение (рис. 1) либо монтируются в миниатюрные корпуса для поверхностного монтажа более 20 унифицированных типов, созданные на основе специальных пластмасс и керамики. Некоторые изделия представляют собой герметизированные модули с коаксиальными SMA-соединителями. Корпорация придерживается современных экологических требований 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 мобильной, сотовой и спутниковой радиосвязи, волоконно-оптических линий связи и радиолокационной техники.

СВЧ-микросхемы аттенюаторов с фиксированным ослаблением

В радиоприемных устройствах и в измерительных приборах широко применяются резистивные аттенюаторы — как с фиксированным ослаблением, так и управляемым аналоговыми и цифровыми сигналами. Обычно это коаксиальные конструкции на основе Т- и П-образной структуры. Hittite Microwave, одна из немногих в мире, выпускает сверхминиатюрные резистивные СВЧ-аттенюаторы в виде интегральных микросхем с полосой частот от постоянного тока DC до 50 ГГц. При этом от коаксиальной конструкции пришлось отказаться в пользу микрополосковой конструкции, более миниатюрной и пригодной для микроэлектронного исполнения.

Для построения аттенюаторов с небольшим фиксированным ослаблением коэффициента усиления до примерно 10 дБ наиболее удобны Т-образные аттенюаторы, у которых диапазон расчетных сопротивлений резисторов меньше, чем у П-образных. Однако при большем ослаблении сопротивление резисто-

ра вертикальной части Т-образной структуры становится слишком малым для интегрального исполнения аттенюатора. Этот недостаток легко устраняется построением аттенюаторов с двумя Т-образными частями.

Микросхемы HMC650/651/652/653/654/655/656/657/658 — это линейные сверхширокополосные аттенюаторы с фиксированным ослаблением, выполненные на основе Т-образной структуры. Они рассчитаны на работу в условиях согласования со стандартным 50-омным сопротивлением генератора и нагрузки. Выпускаются с ослаблением

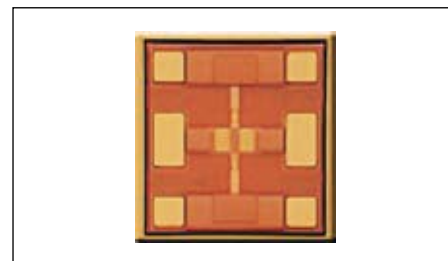


Рис. 1. Внешний вид чипа монолитной микросхемы одиночного Т-образного аттенюатора

Таблица 1. Параметры микросхем аттенюаторов с фиксированным ослаблением

Микросхема	Полоса, ГГц	Δ коэффициента усиления, дБ	Коэффициент усиления, дБ	Pin	Размеры, мм	Корпус
HMC650	DC-50	$\pm 0,2$	0,15	—	17×18	Chip
HMC651		$\pm 0,3$			23×18	Chip
HMC652		$\pm 0,2$			17×18	Chip
HMC652LP2E	DC-25	$\pm 0,5$	2	27	—	LP2
HMC653	DC-50	$\pm 0,2$			17×18	Chip
HMC653LP2E	DC-25	$\pm 0,5$	3	26	—	LP2
HMC654	DC-50	$\pm 0,2$			17×18	Chip
HMC654LP2E	DC-25	$\pm 0,5$	4	25	—	LP2
HMC655	DC-50	$\pm 0,2$			6	26
HMC655LP2	DC-25	$\pm 1,5$	—	LP2		
HMC656	DC-50	$\pm 0,1$	10	25	17×18	Chip
HMC656LP2	DC-25	$\pm 1,5$			—	LP2
HMC657	DC-50	$\pm 0,4$	15	25	17×18	Chip
HMC657LP2	DC-25	± 2			—	LP2
HMC658	DC-50	$\pm 0,5$	20	25	23×18	Chip
HMC658LP2	DC-25	± 2			—	LP2

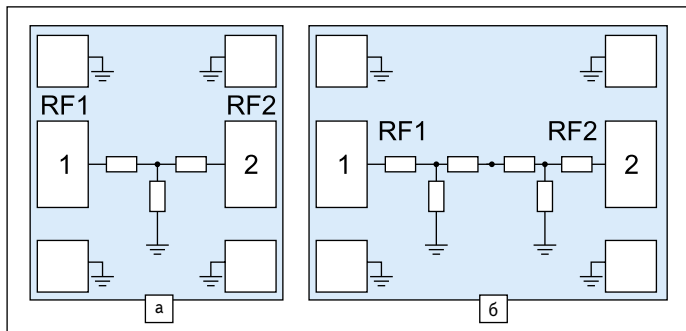


Рис. 2. Функциональная диаграмма:
а) микросхемы одиночного Т-образного аттенюатора;
б) микросхемы с двумя Т-образными аттенюаторами

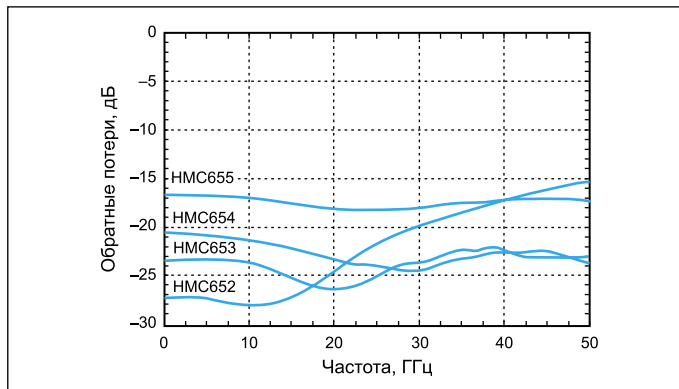


Рис. 4. Зависимость обратных потерь одноступенчатых аттенюаторов от частоты

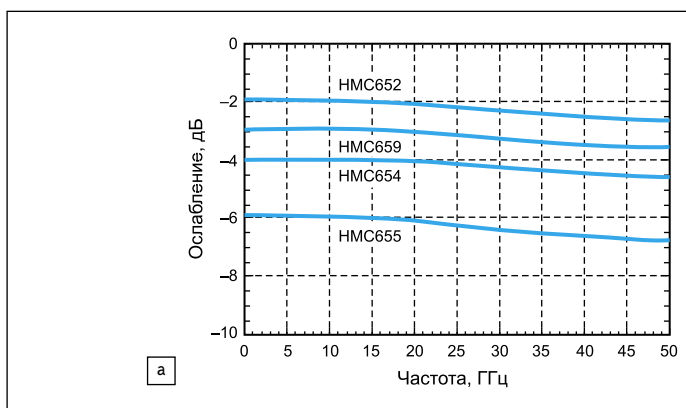


Рис. 3. Зависимость ослабления от частоты: а) одноступенчатых аттенюаторов; б) двухступенчатых аттенюаторов

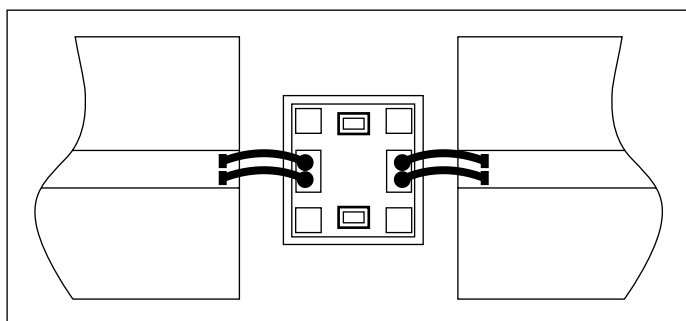


Рис. 5. Включение микросхемы аттенюатора между двумя 50-омными линиями передачи

в фирменных описаниях микросхем. Для одноступенчатых аттенюаторов они представлены на рис. 4.

Микросхемы аттенюаторов рассчитаны на включение между двумя 50-омными линиями передачи в режиме согласования импедансов. Такое включение схематично показано на рис. 5. Оно осуществляется с помощью золотых проволочек (на рис. 5 они выделены черным).

Микросхемы аттенюаторов с аналоговым управлением

Hittite Microwave выпускает ряд аттенюаторов с управляемым аналоговым напряжением ослаблением (Analog VVA). Они выполнены на основе П-образных схем с переменным горизонтальным резистором. Основные характеристики таких аттенюаторов представлены в таблице 2.

0, 2, 3, 4, 6, 10, 15 и 20 дБ. Аттенюаторы поставляются в миниатюрных корпусах LP2 или в бескорпусном исполнении в виде чипа (рис. 1).

В таблице 1 приведены параметры микросхем аттенюаторов с фиксированным ослаблением. Аттенюаторы с ослаблением 10, 15 и 20 дБ реализованы как двухступенчатые.

Микросхемы аттенюаторов с ослаблением до 10 дБ строятся как одиночные Т-образные аттенюаторы (рис. 2а). А микросхемы аттенюаторов с ослаблением 10, 15 и 20 дБ — как двухступенчатые Т-образные аттенюаторы (рис. 2б). Это позволяет ограничить номинал вертикального резистора допустимыми значениями.

На рис. 3а показана зависимость коэффициента усиления от частоты (в диапазоне от 0 до 50 ГГц) для микросхем с малым (2, 3, 4 и 6 дБ) ослаблением. Аналогичные графики зависимости для микросхем с ослаблением 10, 15 и 20 дБ с двухступенчатым аттенюатором показаны на рис. 3б.

Для точной оценки поведения аттенюаторов полезна зависимость обратных потерь от частоты. Такие графики зависимости приведены

Таблица 2. Параметры аттенюаторов типа Analog VVA

Микросхема	Полоса, ГГц	Потери, дБ	Коэффициент усиления, дБ	ИЗ, дБм	Управляющее напряжение, В	Тип корпуса
HMC-VVD102	17–27	1,5	0–22	17	–4... +4	Chip
HMC-VVD104	70–86	2	0–14	–	–5... +5	
HMC-VVD106	36–50	1,5	0–22	17	0/+4	
HMC346	DC–20	2,2	0–25	10	0... –3	C8
HMC346C8	DC–8	2	0–30			G8, H
HMC346G8						LC3B
HMC346LC3B	DC–18	1,5	0–30			LP3
HMC346LP3	DC–14	2		MS8G		
HMC346MS8G	DC–8	1,5	0–32	20	0... +3	MS8
HMC473MS8	0,45–2,2	1,9	0–48			Chip
HMC712	5–30	2,5	0–30	32	0... –3	LP3C
HMC712LP3CE	5–26,5	3,5	0–28			LC4
HMC812LC4	5–30	2	0–30	28	0... +5	LP3
HMC973LP3E	0,5–6	2,5	0–26	35		Chip
HMC985	0–50	3	0–35	33		0... –3

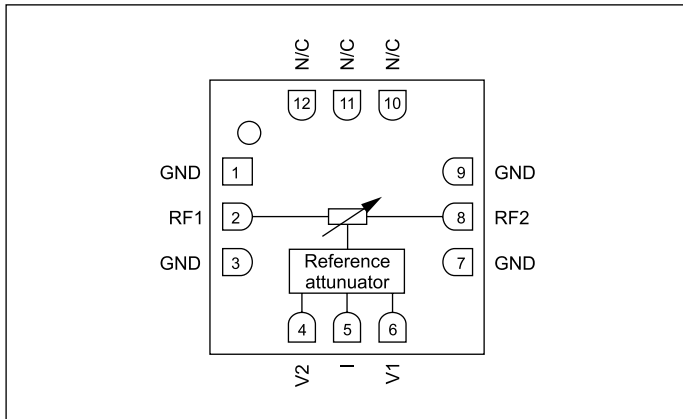


Рис. 6. Функциональная диаграмма микросхемы HMC346

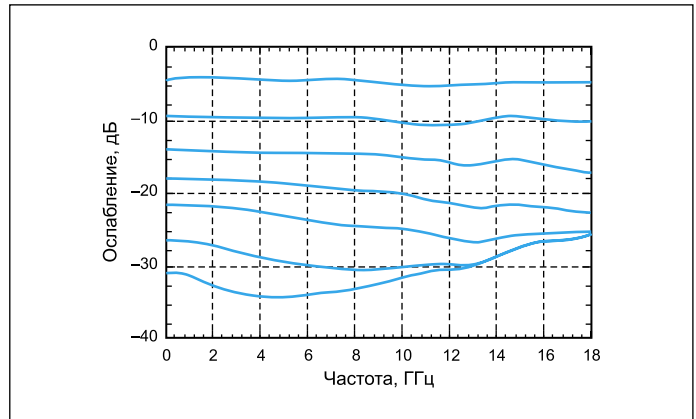


Рис. 7. Зависимость ослабления от частоты для микросхемы HMC346

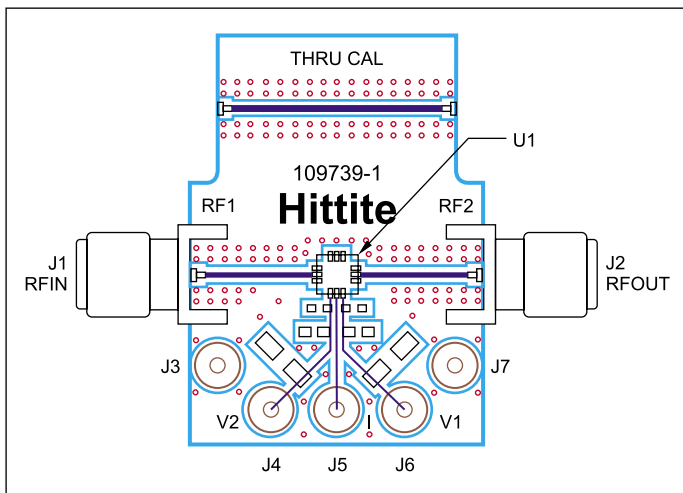


Рис. 8. Печатная плата со смонтированной в ее середине микросхемой аттенюатора с регулируемым ослаблением

Корпус микросхемы аттенюатора с регулируемым ослаблением миниатюрный и рассчитан на поверхностный монтаж. Такой корпус дает очень малую паразитную индуктивность выводов. Функциональная диаграмма микросхемы HMC346 показана на рис. 6. Микросхема содержит единственный управляемый резистор и реализует П-образную схему аттенюатора. Так реализовано большинство аттенюаторов типа Analog VVA.

На рис. 7 показана зависимость ослабления от частоты для микросхемы HMC346. В основном эти графики имеют вид горизонтальных прямых, но при больших ослаблениях характеристики перестают быть равномерными.

Печатная плата со смонтированной в ее середине микросхемой HMC346 аттенюатора с регулируемым ослаблением показана на рис. 8. Сверху создан отрезок микрополосковой линии, подобной указанным отрезкам линий, подключающим микросхему аттенюатора. Этот отрезок используется для оценки ослабления линии без микросхемы аттенюатора, что полезно при калибровке микросхем аттенюаторов. Разъемы J1 и J2 — миниатюрные коаксиальные 50-омные, типа PCB.

Микросхемы аттенюаторов с цифровым управлением

Особое место в корпорации Hittite Microwave занимает производство управляемых аттенюаторов с цифровым управлением. Фирма выпускает свыше трех десятков таких аттенюаторов. Они представляют собой набор аттенюаторов с фиксированным ослаблением, переключаемых с помощью цифровой схемы управления. Разрядность управляющего

цифрового сигнала — от 1 до 7 бит. Она определяет диапазон изменения ослабления. Например, 6-битовая микросхема HMC424 имеет полосу рабочих частот от постоянного тока DC до 13 ГГц, обратные потери 4 дБ и регулировку ослабления от 0,5 до 31,5 дБ. Оформление микросхемы бескорпусное, питание — 5 В.

Микросхема HMC939 отличается наиболее высокими рабочими частотами — от 0,1 до 50 ГГц. Это 5-битовый цифровой аттенюатор, выполненный на основе технологии GaAs. Микросхема содержит набор аттенюаторов с ослаблением 1, 2, 4, 8, 16 дБ, в результате переключения которых можно получить ослабление до 31 дБ с разрешением в 1 дБ. Кристалл микросхемы имеет размер $2,36 \times 1,02 \times 0,1$ мм. Функциональная диаграмма микросхемы представлена на рис. 9.

Зависимость ослабления от частоты при различных уровнях цифрового сигнала управления показана на рис. 10.

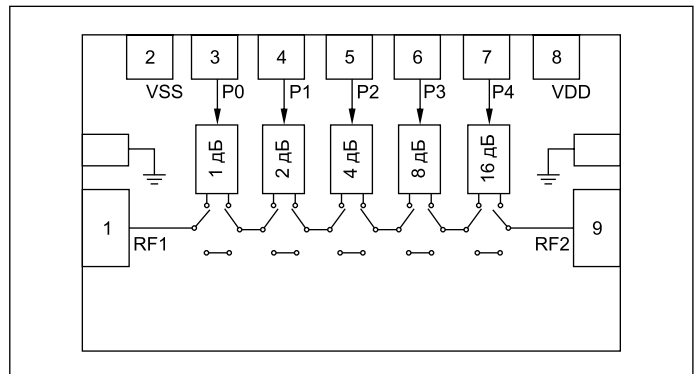


Рис. 9. Функциональная диаграмма микросхемы HMC939

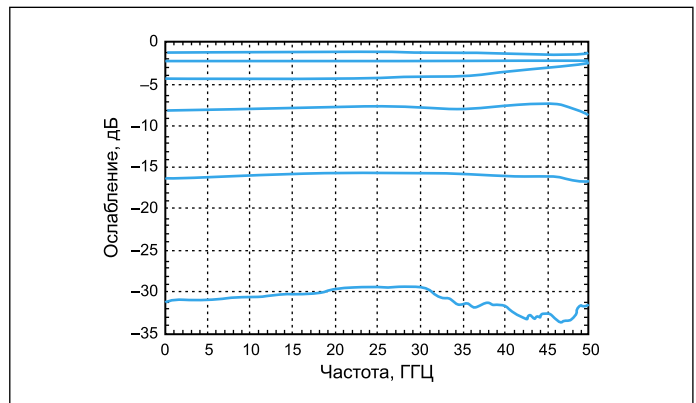


Рис. 10. Зависимость ослабления от частоты при различных уровнях цифрового сигнала управления

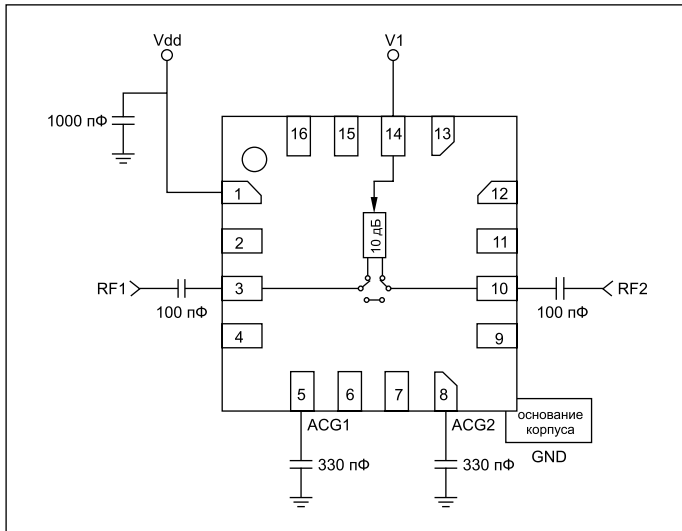


Рис. 11. Принципиальная схема включения 1-битового цифрового аттенуатора — микросхемы HMC800LP3E

Особое место среди цифровых аттенуаторов занимают 1-битовые микросхемы. Это просто коммутируемые аттенуаторы. На рис. 11 показана принципиальная схема коммутируемого аттенуатора с микросхемой HMC800LP3E. Работа такой схемы вполне очевидна.

СВЧ и сверхширокополосные усилители с фиксированным усилением

Микросхема HMC471MS8G/HMC471MS8GE — это типичный двухканальный широкополосный сдвоенный усилитель мощности, выполненный на СВЧ гетеропереходных германий-кремниевых транзисторах, технология изготовления которых хорошо проработана. Микросхема размещена в миниатюрном корпусе M28G с малоиндуктивными балочными выводами (рис. 12). Каждый канал имеет полосу частот от 0 до 5 ГГц при коэффициенте усиления 20 дБ и максимальном выходном сигнале 20 дБм. Hittite выпускает широкую номенклатуру таких микросхем с разными параметрами.

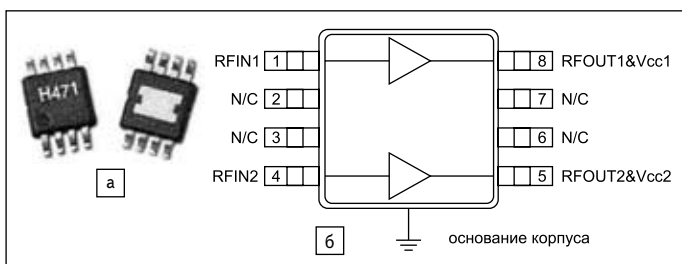


Рис. 12. Функциональная диаграмма микросхемы HMC471MS8G/HMC471MS8GE

На рис. 12 видно, что усилители обоих каналов не являются дифференциальными и имеют один вход и один выход. Фактически каждый канал этой микросхемы представляет собой составной транзистор с открытым выходом. Такое построение схемы позволяет получить предельно плоскую АЧХ с нулевой нижней граничной частотой. Но на входе и выходе присутствует постоянное напряжение смещения, задаваемое внешними цепями.

Зависимость коэффициента усиления микросхемы от частоты для трех значений температуры представлена на рис. 13. Нетрудно заметить, что температурная стабильность коэффициента усиления достаточно высока. Это следствие применения транзисторов на полупроводниковых материалах с большой шириной запрещенной зоны.

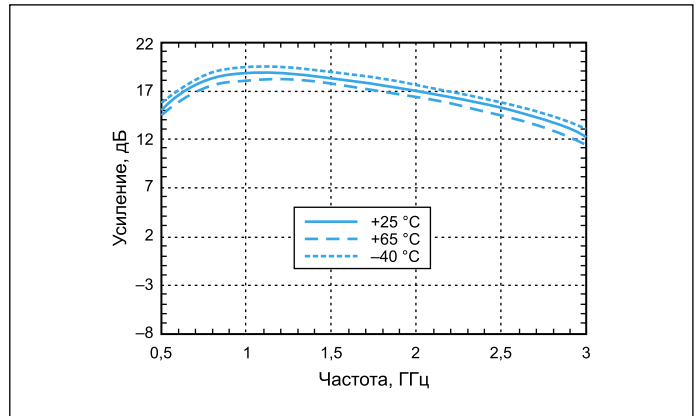


Рис. 13. Зависимость коэффициента усиления каждого канала микросхемы HMC471MS8G/HMC471MS8GE от частоты и температуры

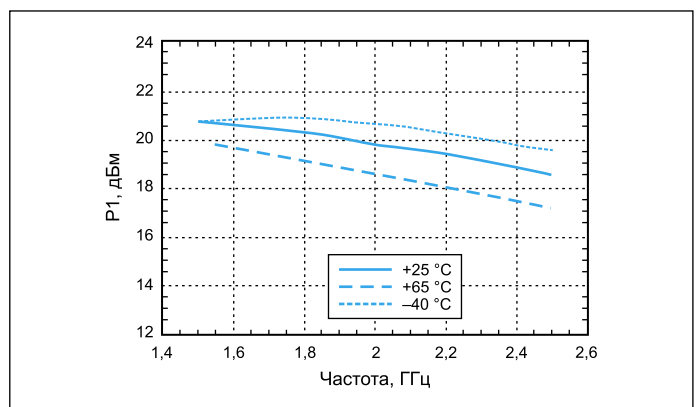


Рис. 14. Зависимость максимальной выходной мощности по первой гармонике синусоидального сигнала от частоты и температуры для микросхемы HMC471MS8G/HMC471MS8GE

На рис. 14 показана зависимость максимальной выходной мощности по первой гармонике синусоидального сигнала от частоты — также при трех значениях температуры окружающей среды.

Наличие в составе микросхемы двух каналов позволяет строить широкополосные балансные усилители мощности, имеющие пониженный уровень третьей гармоники выходного сигнала и повышен-

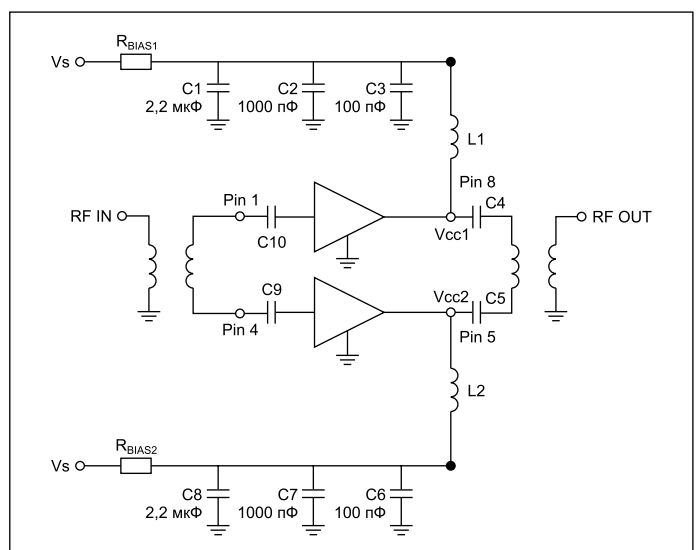


Рис. 15. Схема балансного усилителя на микросхеме HMC471MS8G/HMC471MS8GE

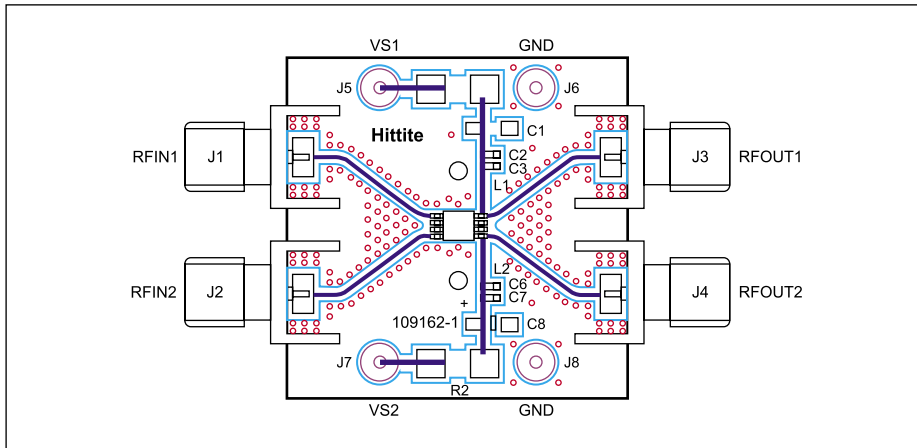


Рис. 16. Конструкция законченного балансного усилителя на микросхеме HMC471MS8G/HMC471MS8GE

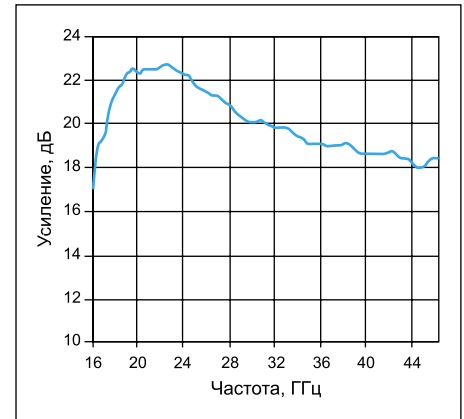


Рис. 18. Частотная зависимость коэффициента усиления усилителя-драйвера HMC-AUH256

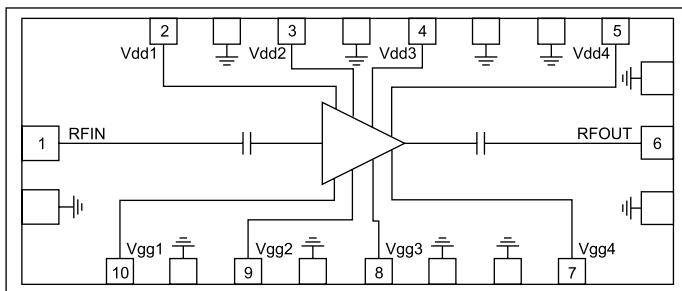


Рис. 17. Сверхвысокочастотный усилитель-драйвер HMC-AUH256

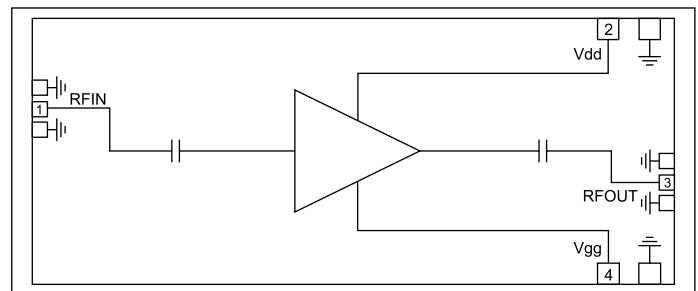


Рис. 19. Функциональная диаграмма СВЧ-микросхемы HMC-AUH320

ную мощность выходного сигнала. Типовая схема такого усилителя, рекомендуемая в фирменной документации, приведена на рис. 15.

На рис. 16 показана печатная плата балансного усилителя, выполненная на микросхеме HMC471MS8G/HMC471MS8GE. Усилитель строится на бескорпусных компонентах с выводами в виде тонкой золотой проволоочки.

Максимальная выходная мощность усилителя зависит от напряжения питания. Предельная максимальная мощность может достигать 1 Вт. В разделе Linear & Power фирма предлагает ряд усилителей с частотами до 86 ГГц и мощностью до 2 Вт.

Сверхвысокочастотный усилитель-драйвер HMC-AUH256 (рис. 17) имеет полосу частот от 17,5 до 41 ГГц. Эта микросхема выполнена на арсенид-галлиевых (GaAs) полевых транзисторах с барьером Шоттки в качестве затвора. Коэффициент усиления схемы — 21 дБ, максимальная выходная мощность сигнала — +20 дБм, напряжение питания — +5 В, а потребляемый ток — до 295 мА. Размеры кристалла микросхемы — 2,1×0,92×0,1 мм. Частотная зависимость коэффициента усиления показана на рис. 18.

Компания Hittite Microwave выпускает ряд широкополосных и сверхширокополосных малосигнальных усилителей с нормированным коэффициентом шума. В них также действует общая закономерность: чем шире полоса усиливаемых частот, тем меньше достижимое усиление. Максимальным усилением обладают устройства, имеющие реактивные цепи согласования импедансов (полных сопротивлений) входа и выхода с их цепями, входящими в состав усилителя. В сверхширокополосных усилителях особое внимание (наряду с собственно расширением полосы) уделено деталям организации подключения входа и выхода микросхем к их выводам и ВЧ-разъемам. Для описания таких микросхем обычно используется система S-параметров.

На рис. 19 показана функциональная диаграмма СВЧ-микросхемы HMC-AUH320 с полосой усиливаемых частот от 71 до 86 ГГц при малосигнальном коэффициенте усиления 15 дБ. Уровень максимальной выходной мощности этой микросхемы — 15 дБм. Зависимость коэффициента усиления микросхемы HMC-AUH320 от частоты

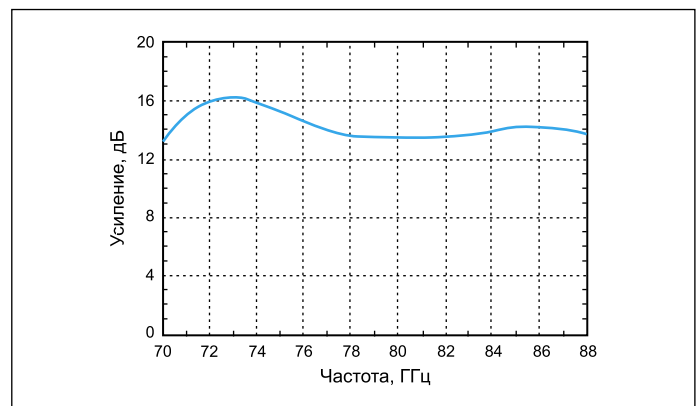


Рис. 20. Зависимость коэффициента усиления микросхемы HMC-AUH320 от частоты

показана на рис. 20. В рабочей полосе частот неравномерность этой зависимости не превышает 3 дБ.

У сверхширокополосных усилителей с полосой в единицы-десятки ГГц приходится тщательно оптимизировать конструкцию и выбор применяемых материалов. Сигнальные цепи обычно выполняются согласованными и 50- или 75-омными. Все цепи питания должны иметь цепи блокировки с помощью конденсаторов с очень малой индуктивностью выводов.

Сверхширокополосная микросхема HMC-AUH232 (рис. 21), относящаяся к классу Wideband, имеет полосу усиливаемых частот от 0 (напряжение постоянного тока) до 43 ГГц при малосигнальном коэффициенте усиления 12 дБ.

АЧХ микросхемы HMC-AUH232 показана на рис. 22а. А зависимость коэффициента шума от частоты представлена на рис. 22б.

Для контроля сверхширокополосных усилительных устройств часто используются глазковые диаграммы. Для их построения применяются сверхширокополосные цифровые запоминающие осцил-

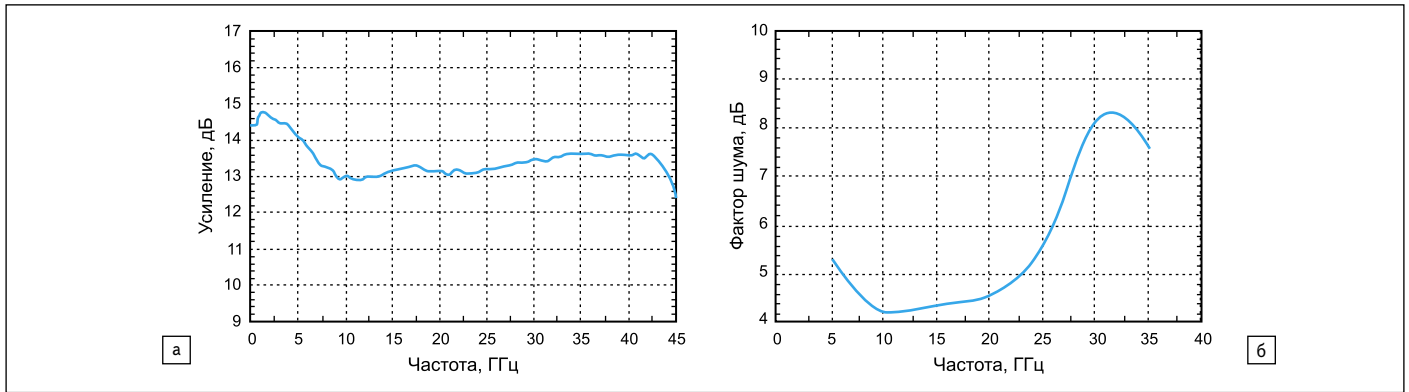


Рис. 22. Зависимость для микросхемы HMC-AUH232: а) коэффициента усиления от частоты; б) коэффициента шума от частоты

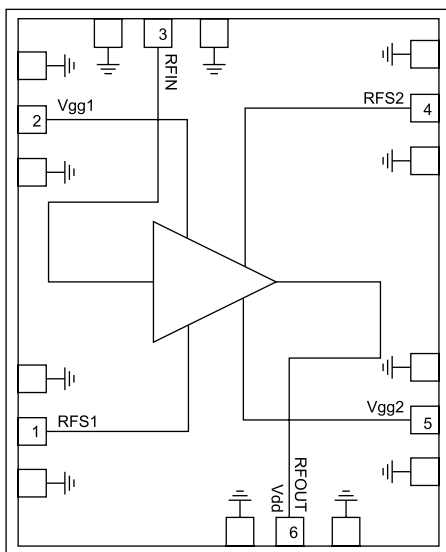


Рис. 21. Сверхширокополосная микросхема HMC-AUH232

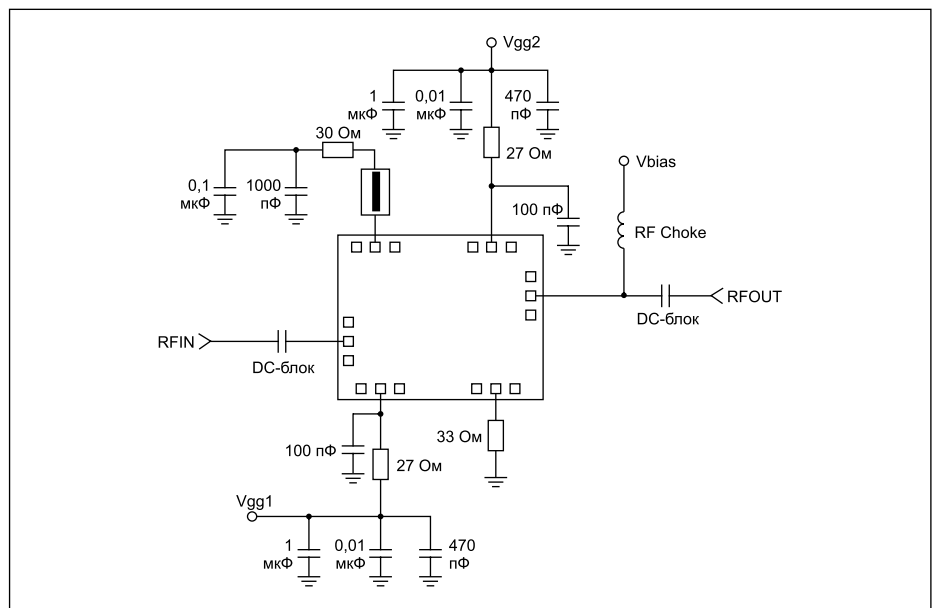


Рис. 24. Пример построения схемы сверхширокополосного усилителя на микросхеме HMC-AUH232

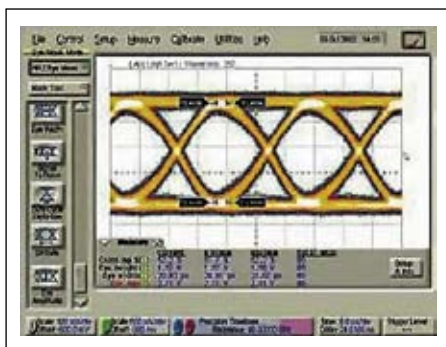


Рис. 23. Глазковая диаграмма тестирования микросхемы HMC-AUH232

логафы фирм Agilent, Tektronix или LeCroy [2]. На рис. 23 показана такая диаграмма для микросхемы HMC-AUH232. Она снята при скорости передачи сигнала 40 Гбит/с. Даже при такой сверхвысокой скорости передачи информации «глаза» диаграммы «открыты», что указывает на четкую работу микросхемы.

Пример построения схемы сверхширокополосного усилителя на микросхеме HMC-AUH232 показан на рис. 24.

В отличие от микросхем операционных усилителей, в широкополосных и сверхширокополосных микросхемах редко используются дифференциальные каскады. Они имеют более сложную схему и, соответственно, более узкую полосу усиливаемых частот. Пример построения схемы широкополосного усилителя на микросхеме с дифференциальным входом представлен на рис. 25. Полоса частот этой микросхемы — от 0,04 до 1 ГГц. Малосигнальный коэффициент усиления — 15 дБ. Микросхема имеет малый уровень шума: коэффициент шума NF — всего 2,75 дБ.

Для более полной оценки поведения аттенуаторов, как и других СВЧ-устройств, обычно используется система S-параметров.

На рис. 26 показана зависимость S-параметров для микросхемы дифференциального усилителя HMC770LP4BE от частоты.

Более подробные данные, в том числе S-параметры микросхем корпорации Hittite Microwave, можно найти в документации Data Shift, размещенной на сайте этой корпорации (обычно в формате PDF).

Корпорация Hittite Microwave — одна из немногих мировых компаний, выпускающая большую номенклатуру СВЧ-усилителей с коэффициентом усиления (передачи), регулируемым электронным способом. Такие усилители находят широкое применение в системах беспроводной связи (WiBro, WiMAX, 4G), мобильной и сотовой телефонии, тестирующей и измерительной аппаратуре.

Таблица 3. Основные параметры усилителей с аналоговым управлением

Микросхема	Полоса, ГГц	Коэффициент усиления, дБ	NF, дБ	OIP3, дБм	P1, дБм	Питание, В/мА
HMC287MS8	2,3–2,5	–9–21	2,5	7	3	3/9
HMC694	6–17	1–23	5	30	22	5/150
HMC694LP4	6–17	0–23	6	30	22	5/175
HMC972LP5E	0,5–6	–35–15	7,5	28	21	3/90

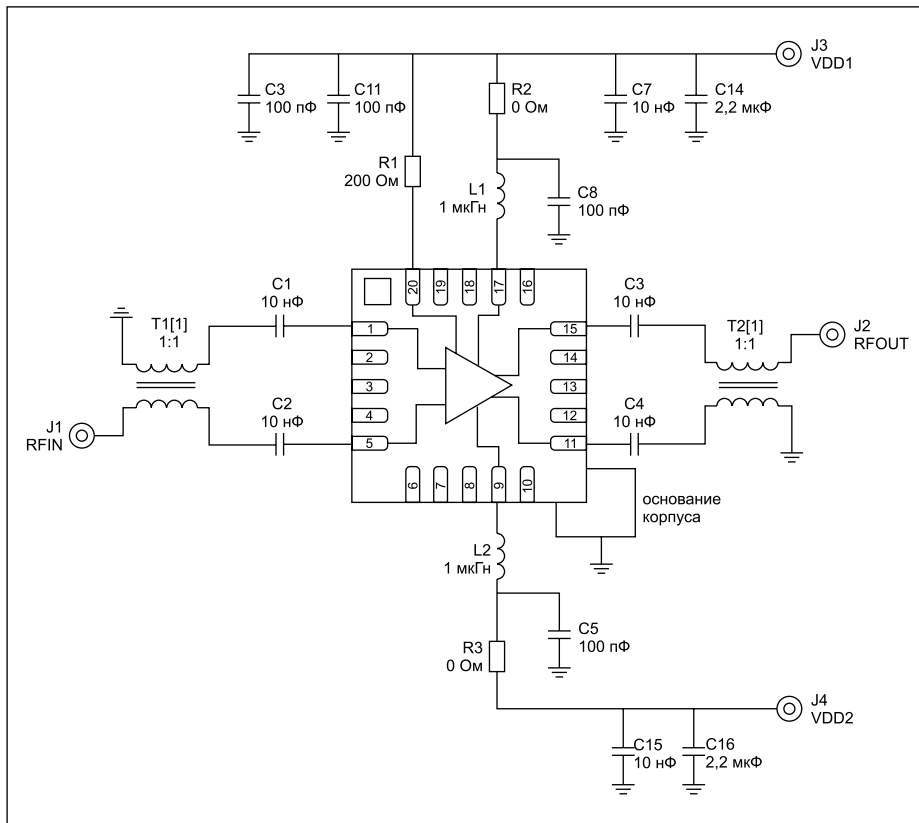


Рис. 25. Пример построения широкополосного усилителя на микросхеме HMC770LP4BE с дифференциальным входом

Усилители с регулируемым усилением относятся к классу ICs Automatic Gain Control (для систем с автоматической регулировкой

усиления) и Variable Gain Amplifiers. К первому относится единственная модель усилителя — HMC992LP5E с относительно низкой поло-

сой частот: от 0,05 до 0,8 ГГц. Усилители класса Variable Gain Amplifiers делятся на управляемые аналоговым сигналом и управляемые цифровым сигналом. Основные параметры 4 усилителей с аналоговым управлением представлены в таблице 3.

Микросхема HMC287MS8 сравнительно узкополосная: при средней частоте усиливаемого сигнала 2,4 ГГц она имеет полосу частот 0,2 ГГц и динамический диапазон изменения коэффициента усиления в 30 дБ. Микросхема выполнена в корпусе MS8. Она отличается малой потребляемой мощностью: при напряжении питания 3 В потребляемый ток составляет всего 9 мА (табл. 3).

Функциональная схема HMC287MS8 (рис. 27) предельно проста и содержит один СВЧ-усилитель с регулируемым коэффициентом усиления и встроенные разделительные конденсаторы.

Зависимость коэффициента усиления (передачи) от частоты при разных управляющих напряжениях для этой микросхемы показана на рис. 28а. Качественно она отличается для разных управляющих напряжений: при VCTRL, близких к 0, коэффициент усиления немного падает с ростом частоты, а при больших (выше 1 В) коэффициент усиления растет с ростом частоты.

Зависимость коэффициента усиления от управляющего напряжения для микросхемы HMC287MS8 показана на рис. 28б. При изменении VCTRL от 0 до примерно 1,2 В коэффициент усиления практически не меняется, а затем падает по нелинейному закону.

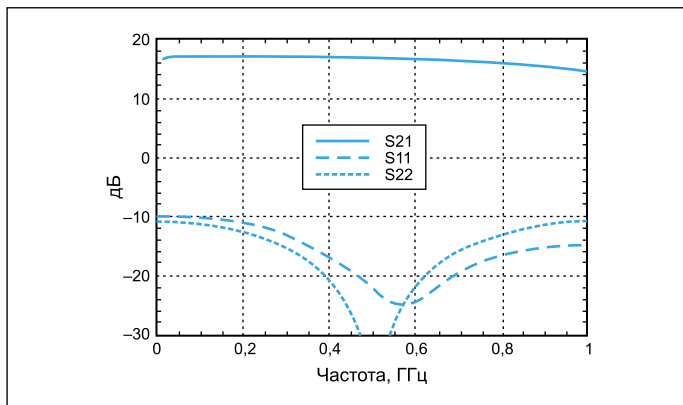


Рис. 26. Зависимость коэффициента передачи и возвратных потерь (S-параметров) для микросхемы дифференциального усилителя HMC770LP4BE

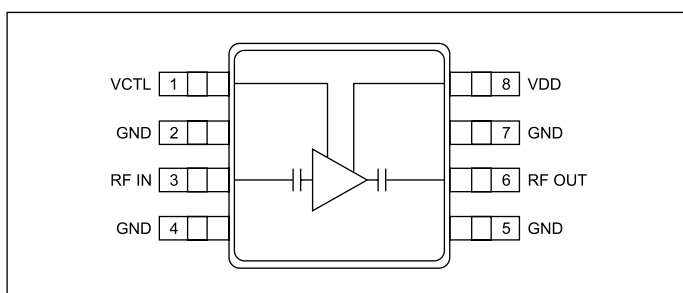


Рис. 27. Функциональная диаграмма микросхемы HMC287MS8

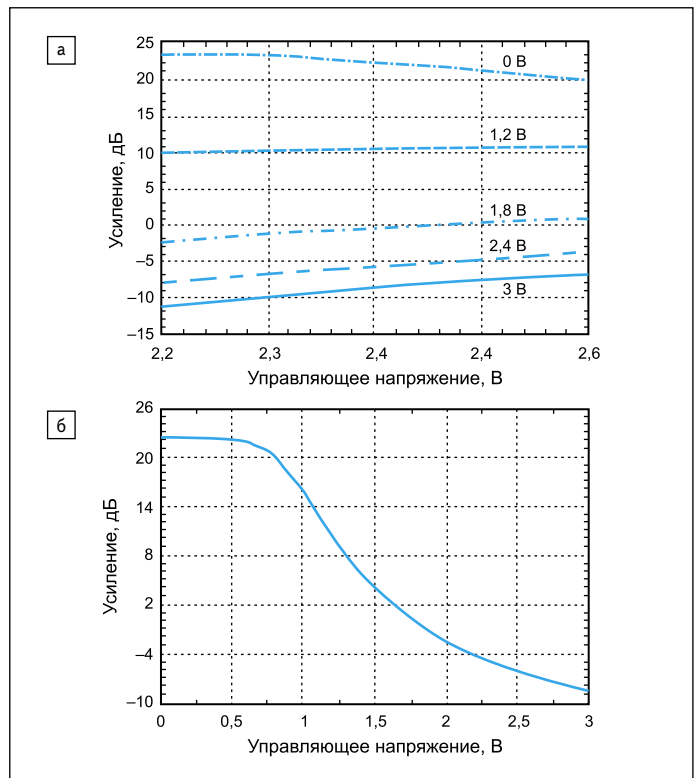


Рис. 28. Зависимость коэффициента усиления для микросхемы HMC287MS8: а) от частоты при разных управляющих напряжениях; б) от управляющего напряжения

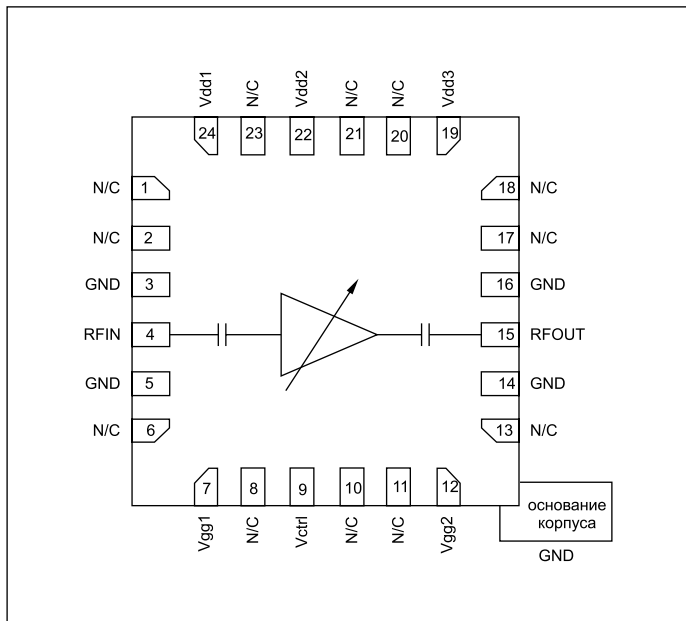


Рис. 29. Функциональная диаграмма микросхемы HMC694LP4

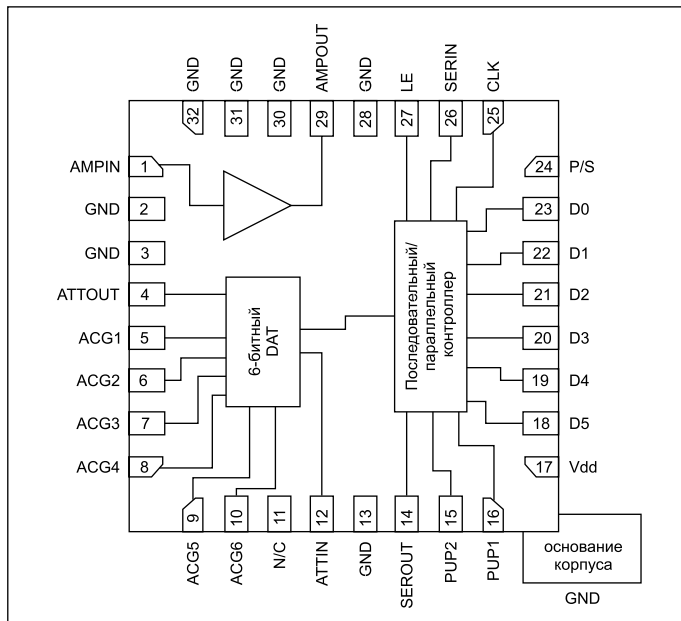


Рис. 31. Функциональная диаграмма микросхемы HMC625LP5

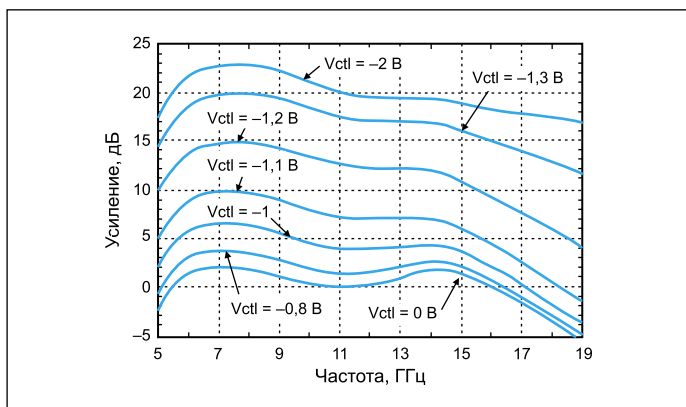


Рис. 30. Частотная зависимость коэффициента усиления для разных значений управляющего напряжения у микросхемы HMC694LP4

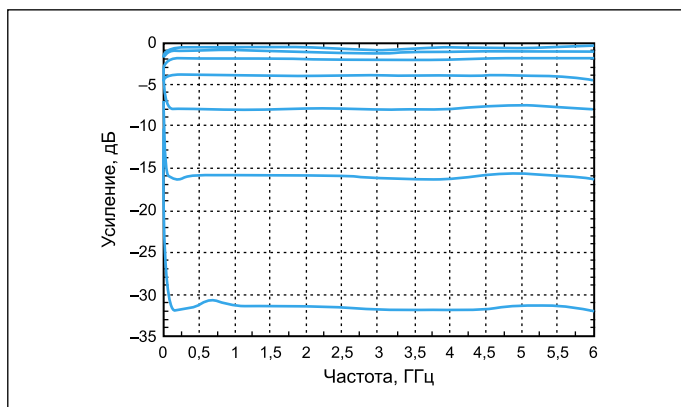


Рис. 32. Частотная зависимость коэффициента усиления для разных значений управляющего напряжения у микросхемы HMC625LP5

Функциональная схема более широкополосной микросхемы (полоса от 4 до 17 ГГц) представлена на рис. 29. Она подобна описанной ранее для микросхемы HMC287MS8. Расширение полосы частот до значений от 6 до 17 ГГц, естественно, приводит к существенному увеличению потребляемой мощности: при напряжении питания 5 В потребляемый ток составляет 175 мА. От параметров микросхемы HMC287MS8 очень незначительно отличаются параметры другой микросхемы — HMC694.

Частотная зависимость коэффициента усиления для разных значений управляющего напряжения у микросхемы HMC694LP4 представлена на рис. 30. Графики имеют довольно заметную, особенно ниже частоты в 7 ГГц, неравномерность, обусловленную слабо выраженным резонансом.

Микросхема HMC972LP5E по полосе частот (от 0,5 до 6 ГГц) занимает промежуточное место между описанными выше микросхемами. Соответственно, это относится и к потребляе-

мой ею мощности: напряжение ее питания — 5 В при потребляемом токе 90 мА.

Усилители с цифровой регулировкой коэффициента усиления

Другим классом широкополосных СВЧ-усилителей являются микросхемы с управлением параметром коэффициента усиления с помощью цифровых сигналов. Всего фирма выпускает 14 моделей таких усилителей. Цепь управления характеризуется разрядностью (в битах) и типом управления (с параллельным интерфейсом

Р и последовательным S). Остальные параметры усилителей с цифровым управлением те же, что и у усилителей с аналоговым управлением. Параметры четырех усилителей с цифровым управлением даны в таблице 4.

На рис. 31 показана функциональная диаграмма микросхемы — усилителя с цифровым управлением HMC625LP5. Эта сверхширокополосная микросхема имеет полосу частот усиливаемых сигналов от постоянного тока DC до 6 ГГц. Частотная зависимость коэффициента усиления для разных значений управляющего сигнала у микросхемы HMC625LP5 показана на рис. 32.

Таблица 4. Основные параметры усилителей с цифровым управлением

Микросхема	Полоса, ГГц	Коэффициент усиления, дБ	NF, дБ	Интерфейс, бит/тип	OIP3, дБм	P1, дБм	Питание, В/мА
HMC625LP5	DC–6	–13,5–18	6	6/S, P	33	19	5/88
HMC626LP	DC–1	8,5–40	4	6/P	36	20	5/176
HMC694LP4	0,07–4	–19,5–12	6	7/S, P	33	152	5/150
HMC960LP4E	DC–1	0–40	6	6,3/S, P	30	13	5/70

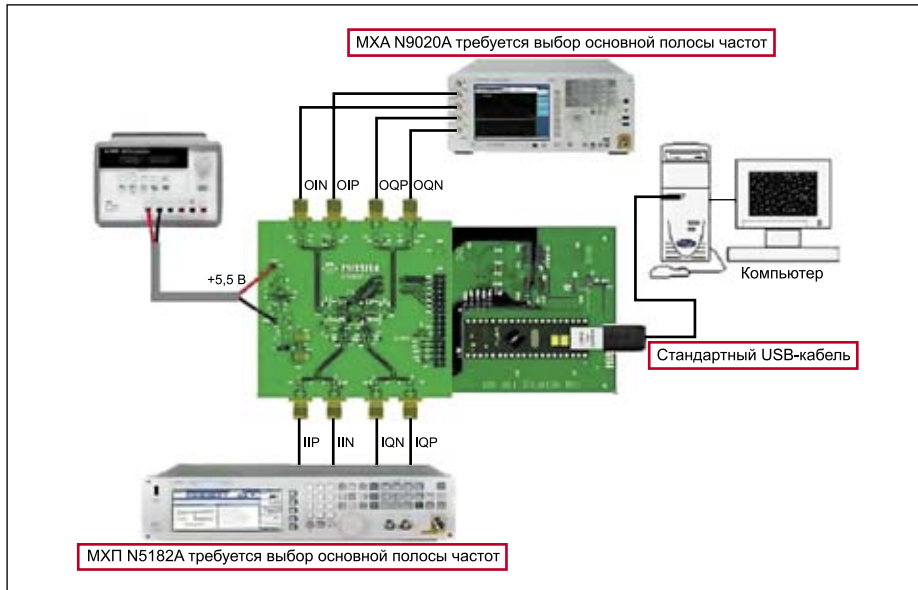


Рис. 33. Измерительная установка для снятия характеристик микросхем усилителей фирмы Hittite Microwave

Тестирование СВЧ-компонентов

Для получения представленных выше и приведенных в фирменных описаниях характеристик используется измерительная установка (рис. 33). Ввиду широкополосности микросхем фирмы Hittite Microwave в установке должны применяться современные измерительные приборы, с частотным

диапазоном, превосходящим частотный диапазон тестируемых устройств. ■

Литература

1. www.hittite.com
2. Афонский В. П., Дьяконов В. П. Электронные измерения в нанотехнологиях и микроэлектронике. М.: ДМК-Пресс, 2011.