

Монолитные СВЧ-генераторы и синтезаторы компании Hittite Microwave

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

Американская компания Hittite Microwave выпускает обширную номенклатуру монолитных интегральных микросхем СВЧ-диапазона [1–3]. По ряду показателей они не уступают обычным коаксиальным СВЧ-устройствам [4] и даже превосходят их по габаритам и частотному диапазону. В современной технике связи (в том числе кабельной и спутниковой) и в радиотехнике широко применяются СВЧ-генераторы синусоидальных сигналов. Они используются в радиопередающих устройствах, гетеродинах радиоприемных устройств, измерительных приборах и устройствах автоматики.

Генерация сигналов с частотой выше 1 ГГц представляет определенные трудности, связанные с инерционностью наиболее массовых активных приборов — биполярных и полевых транзисторов. Американская компания Hittite Microwave выпускает широкий спектр монолитных микросхем генераторов синусоидальных сигналов с частотами выше 1 ГГц. У некоторых микросхем частота выходных сигналов достигает десятков ГГц. Монолитные микросхемы компании выполнены в миниатюрных корпусах или в бескорпусном исполнении и имеют размеры спичечной головки. Значительное внимание уделяет компания снижению фазового шума генераторов, что позволяет получить высокую стабильность частоты. Все это достигается с помощью гетеропереходных биполярных транзисторов на основе GaAs и InGaP (технология HBT MMIC).

Цифровой частотный синтез сигналов

Необходимость в существенном повышении точности задания частоты синусоидальных сигналов и расширении их частотного диапазона привела к разработке цифровых синтезаторов частоты с системой фазовой автоподстройки частоты (рис. 1) [5, 6]. Первый генератор — это высокостабильный опорный генератор эталонной частоты $f_{\text{эт}}$ и делитель частоты с фиксированным коэффициентом деления R . Он формирует частоту $f_1 = f_{\text{эт}}/R$. Заметим, что он может быть и множителем частоты.

Второй генератор перестраивается в достаточно широких пределах по напряжению (VCO). Его частота делится в N раз с помощью делителя с переменным коэффициентом деления ДПКД. Для перестройки делителя используется блок управления. Сигнал

с частотой $f_1 = f_{\text{эт}}/R$ сравнивается с сигналом с частотой $f_2 = f_{\text{ст}}/N$ с помощью импульсного фазового детектора. Выходной сигнал последнего фильтруется фильтром низких частот (Loop Filter) и подается на регулирующий элемент (варактор или варикап), меняющий частоту стабилизированного генератора до тех пор, пока не будет обеспечено условие $f_1 = f_2$, что соответствует установившейся частоте стабилизированного генератора:

$$f_{\text{ст}} = f_{\text{эт}} N / R. \quad (1)$$

Более подробное описание систем фазовой автоподстройки частоты и синтезаторов можно найти в статье [6].

Микросхемы управляемых напряжением генераторов (VCO) со встроенным делителем частоты

Основой многих генераторов, в том числе на базе частотных синтезаторов, являются управляемые напряжением генераторы (Variable Control Oscillators, VCO). Множество

таких микросхем с рекордными значениями рабочих частот выпускает компания Hittite Microwave. Они обычно снабжаются дополнительными буферами или делителями частоты. Такие микросхемы могут входить в состав многофункциональных синтезаторов СВЧ-сигналов. Hittite Microwave не только поставляет микросхемы синтезаторов, но и приводит основные данные об их схемотехнической реализации и даже поставляет печатные платы для тестирования синтезаторов и приводит их чертежи.

В таблице 1 приведены основные параметры микросхем VCO со встроенным делителем частоты. Фазовый шум указан при отстройке от центральной частоты в 10/100 кГц. Фирмой Hittite Microwave он измеряется в дБс/Гц, где «с» указывает на измерение на центральной частоте сигнала. В нашей литературе часто указывается единица измерения дБн/Гц, где «н» говорит об измерении на несущей частоте, что не совсем точно, поскольку термин «несущая частота» относится скорее к модулированным сигналам. Тип корпуса входит в название микросхем и указывается в его конце.

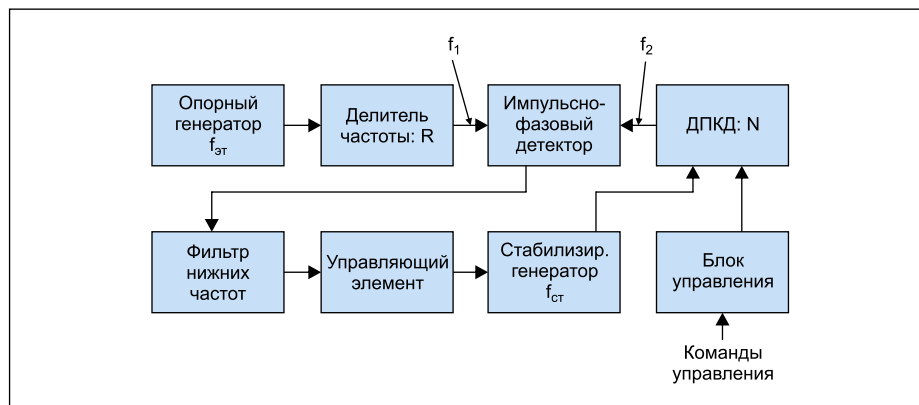


Рис. 1. Функциональная схема генератора синусоидального сигнала на основе цифрового синтезатора частоты

Таблица 1. Основные параметры монолитных микросхем MCO со встроенным делителем частоты

Тип микросхемы	Частота, ГГц	Коэффициент деления	Рout, дБм	Фазовый шум, дБс/Гц
HMC398QS16G	14–15	8	6	-75/-110
HMC401QS16G	13,2–13,5	8	-8	-83/-110
HMC533LP4	3,8–24,8	16	12	-70/-95
HMC734LP5	0,6–10,2	4	18	-70/-100
HMC735LP5	0,5–12,2	4	17	-75/-100

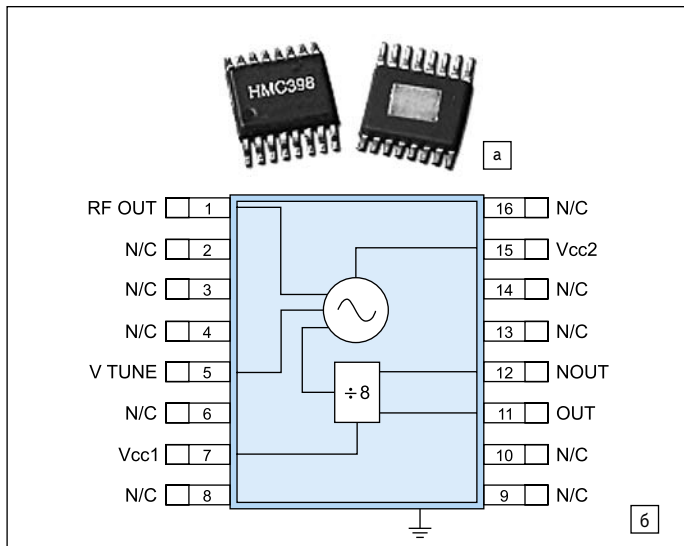


Рис. 2. Микросхемы HMC398QS16G/98QS16GE: а) корпус; б) функциональная диаграмма

Микросхема HMC398QS16G/398QS16GE класса Ku-Band MMIC — это управляемый напряжением генератор (VCO) с частотой, изменяющейся от 14–15 ГГц со встроенным делителем частоты на 8 (рис. 2). Мощность выходного сигнала микросхемы $P_{out} = +7$ дБм. Уровень фазового шума составляет -105 дБс/Гц при отклонении частоты от центральной на 100 кГц. Напряжение питания микросхемы — 5 В, потребляемый ток — 325 мА. Микросхема выполнена в корпусе QSOP16G SMT с 16 балочными выводами.

Графики зависимости частоты от управляющего напряжения при разных V_{cc} и V (слева) и при разной температуре окружающей среды (справа) показаны на рис. 3. Они имеют явно нелинейный характер, типичный для управления частотой с помощью варикапа (полупроводникового диода с емкостью, изменяемой напряжением обратного смещения).

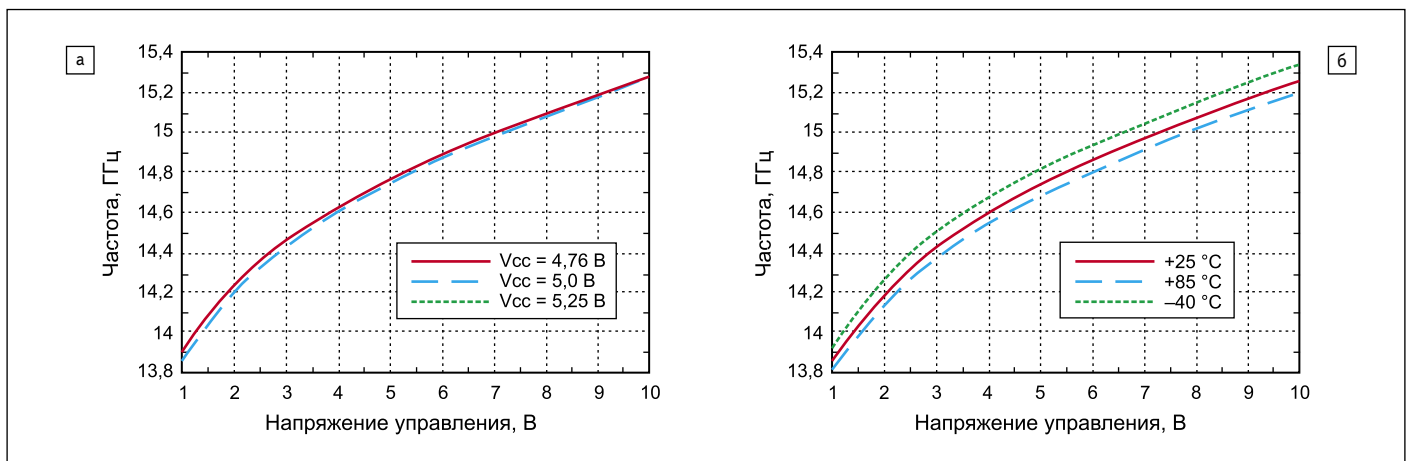


Рис. 3. Зависимость частоты от управляющего напряжения при: а) разных V_{cc} и V ; б) разной температуре окружающей среды

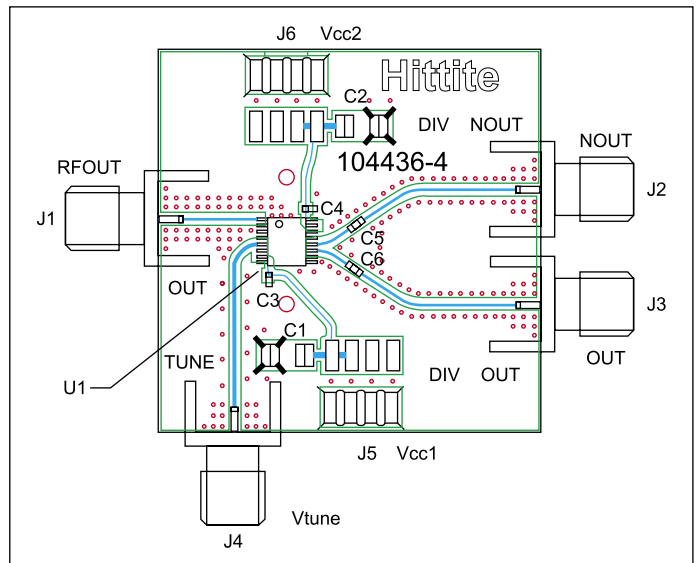


Рис. 4. Монтаж микросхемы HMC398QS16G/398QS16GE на печатной плате

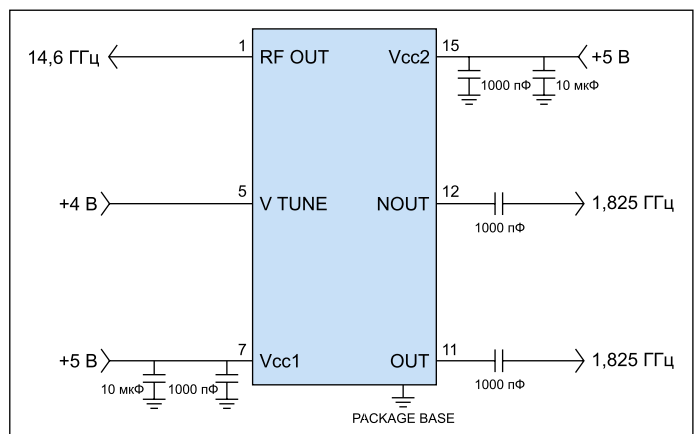


Рис. 5. Типовая схема включения микросхемы HMC398QS16G/398QS16GE

Монтаж микросхемы HMC398QS16G/398QS16GE на печатной плате показан на рис. 4. Применены бескорпусные конденсаторы с очень малой индуктивностью выводов и миниатюрные радиочастотные коаксиальные разъемы.

На рис. 5 представлена типовая схема включения микросхемы. Она очень проста и в особых комментариях не нуждается.

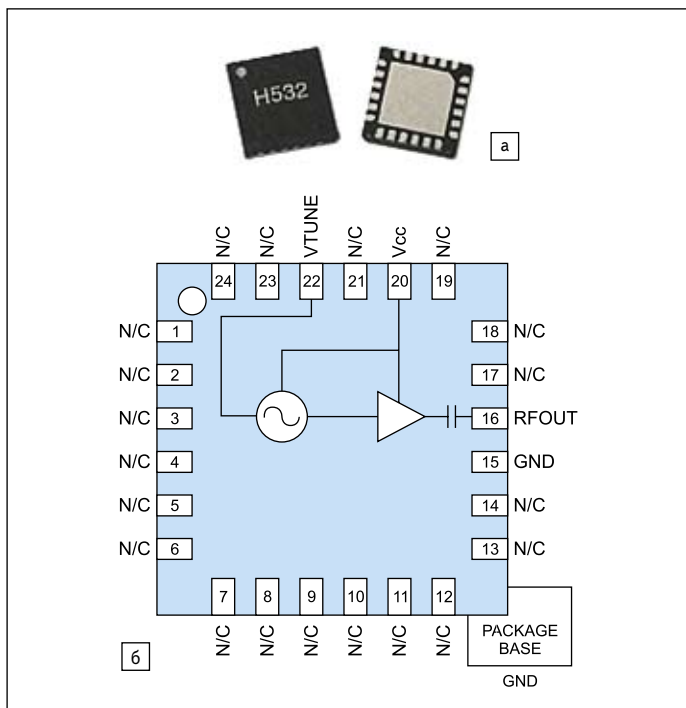


Рис. 6. Микросхема HMC532LP4/532LP4E: а) корпус; б) функциональная диаграмма

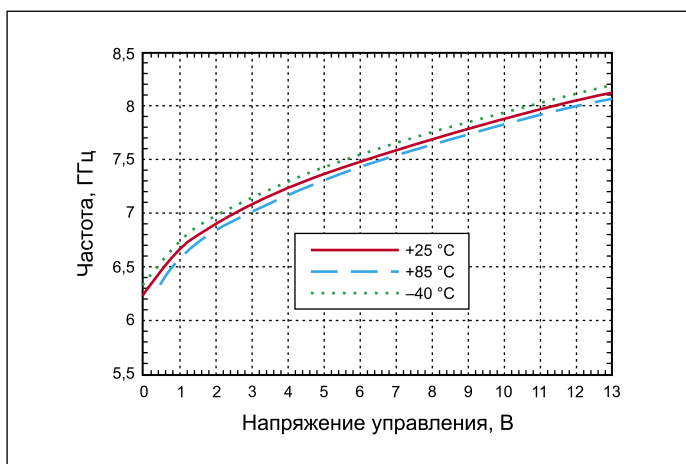


Рис. 7. Зависимость частоты от управляющего напряжения для микросхемы HMC532LP4/532LP4E при различных значениях температуры

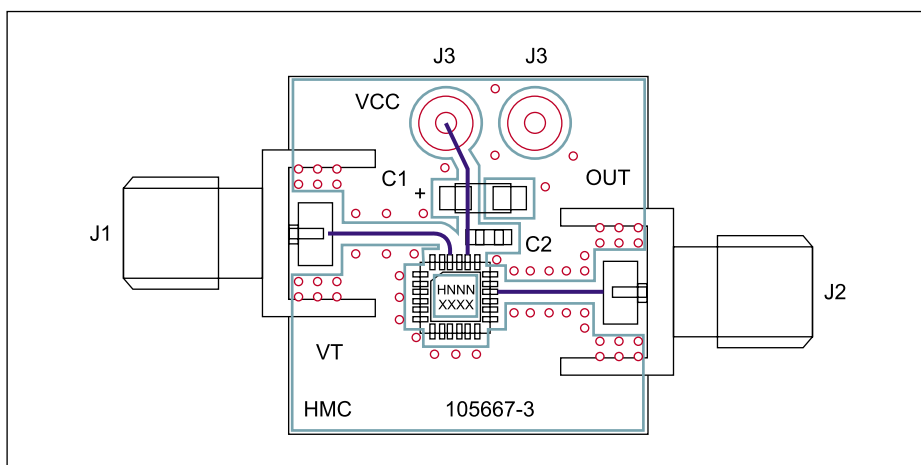


Рис. 8. Монтаж микросхемы HMC532LP4/532LP4E на печатной плате

Микросхемы VCO со встроенным буфером

Множество микросхем VCO выпускается со встроенным буфером, ослабляющим зависимость мощности выходного сигнала от частоты генератора и повышающим мощность выходного сигнала. Она измеряется в децибелах мощности (дБм). Основные параметры таких микросхем приведены в таблице 2. Однополосный (SSB) фазовый шум указан при двух отстройках от частоты измерения — в 10 и 100 кГц. Он является мерой спектральной чистоты выходного сигнала генератора и его кратковременной стабильности частоты.

Монолитная микросхема HMC532LP4/532LP4E (рис. 6) — это пример генератора с частотой, управляемой напряжением, и буферным усилителем. Полоса частот микросхемы — 7,1–7,9 ГГц. Мощность выходного сигнала P_{out} : +14 дБм, уровень фазового шума: -103 дБс/Гц при отстройке от центральной частоты на 100 кГц, напряжение питания: +3 В, потребляемый ток: 85 мА. Микросхема выполнена в 24-выводном корпусе размером 4×4 мм. Тип корпуса указан в конце названия микросхем.

Зависимость частоты от управляющего напряжения для микросхемы HMC532LP4/532LP4E при различных значениях температуры показана на рис. 7. По характеру она похожа на подобную зависимость, показанную на рис. 3.

На рис. 8 представлен чертеж печатной платы со смонтированной на ней микросхемой HMC532LP4/532LP4E. Бескорпусный танталовый конденсатор C1 имеет емкость 4,7 мкФ, а емкость конденсатора C2 — 10 нФ.

Микросхемы VCO с двумя радиочастотными выходами

Некоторые микросхемы выпускаются с двумя радиочастотными выходами — с основной частотой f_0 и половиной $f_0/2$. Кроме того, они могут содержать и встроенный делитель частоты с фиксированным коэффициентом деления. В таблице 3 приведены основные параметры таких микросхем компании Hittite Microwave.

Примером такой микросхемы является микросхема HMC739LP4, функциональная диаграмма которой представлена на рис. 9. Это самая высокочастотная среди микросхем этой группы.

Зависимость частоты сигнала на основном выходе от управляющего напряжения показана на рис. 10. На рис. 11 представлена зависимость мощности сигнала на основном выходе от управляющего напряжения.

Широкополосные (Wideband) VCO

Hittite Microwave выпускает несколько монолитных микросхем VCO с расширенным до двух раз диапазоном перестройки частоты. Основные параметры таких микросхем (класса Wideband) приведены в таблице 4.

Таблица 2. Основные параметры монолитных микросхем VCO со встроенным буфером

Тип микросхемы	Частота, ГГц	P_{out} , дБм	Фазовый шум, дБс/Гц
HMC358MS8G	5,8–6,8	10	-82/-105
HMC384LP4	2,05–2,25	3,5	-89/-112
HMC385LP4	2,25–2,5	4,5	-89/-115
HMC386LP4	2,6–2,8	5	-88/-115
HMC388LP4	3,15–3,4	4,9	-88/-113
HMC389LP4	3,35–3,55	4,7	-89/-112
HMC390LP4	3,55–3,9	4,7	-87/-112
HMC391LP4	3,9–4,45	5	-81/-106
HMC416LP4	2,75–3	4,5	-89/-114
HMC429LP4	4,45–5	4	-79/-105
HMC430LP4	5–5,5	2	-80/-103
HMC431LP4	5,5–6,1	2	-80/-102
HMC466LP4	6,1–6,72	4,5	-73/-101
HMC505LP4	6,8–7,4	11	-80/-106
HMC506LP4	7,8–8,7	14	-80/-103
HMC532LP4	7,1–7,9	14	-80/-101

Таблица 3. Микросхемы VCO с двумя радиочастотными выходами и встроенным делителем частоты

Тип микросхемы	Частота, ГГц	Коэффициент деления	Рout, дБм	Фазовый шум, дБс/Гц
HMC507LP5	6,65–7,65	—	13	–90/–115
HMC508LP5	7,3–8,2	—	15	–90/–116
HMC509LP5	7,8–8,8	—	13	–90/–115
HMC510LP5	8,45–9,55	4	13	–92/–116
HMC511LP5	9,05–10,15	—	13	–88/–115
HMC512LP5	9,6–10,8	4	9	–85/–111
HMC513LP5	10,43–11,46	4	7	–85/–110
HMC514LP5	11,17–12,02	4	7	–87/–110
HMC515LP5	11,5–12,5	4	10	–83/–110
HMC529LP5	12,4–13,4	4	8	–83/–110
HMC530LP5	9,5–10,8	4	11	–85/–110
HMC531LP5	13,6–14,9	4	7	–82/–110
HMC534LP5	10,6–11,8	4	11	–82/–110
HMC582LP5	11,1–12,4	4	9	–83/–110
HMC583LP5	11,5–12,8	4	11	–80/–110
HMC584LP5	12,5–13,9	4	10	–81/–110
HMC632LP5	14,25–15,65	4	9	–80/–107
HMC736LP4	14,5–15	—	9	–80/–105
HMC737LP4	14,9–15,5	—	9	–80/–105
HMC738LP4	20,9–23,9	16	9	–65/–95
HMC739LP4	23,8–26,8	16	8	–64/–93

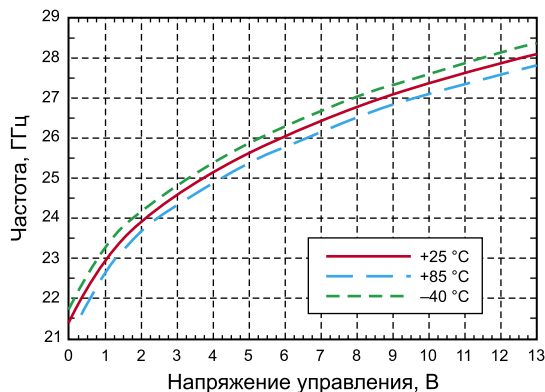


Рис. 10. Зависимость частоты сигнала на основном выходе от управляющего напряжения

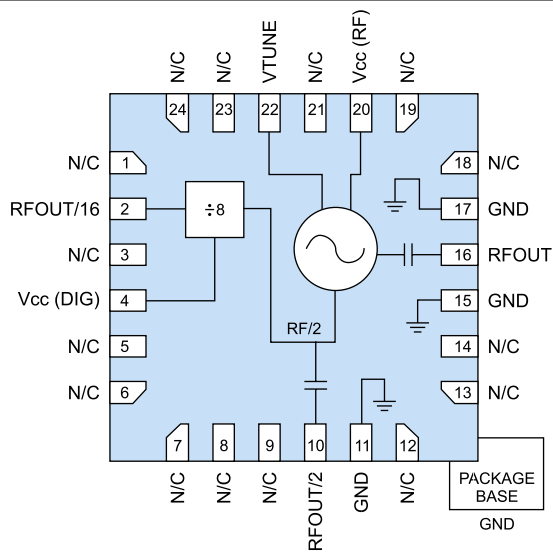


Рис. 9. Функциональная диаграмма микросхемы

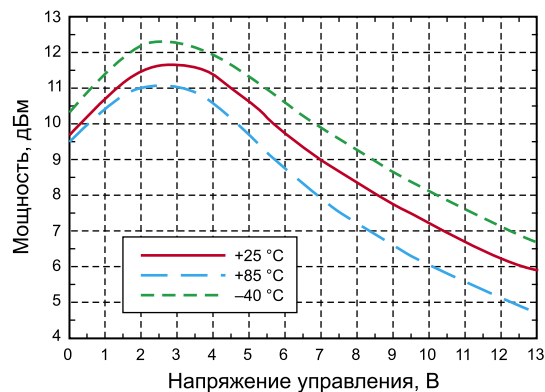


Рис. 11. Зависимость мощности сигнала на основном выходе от управляющего напряжения

Микросхема HMC733LC4B (рис. 12) — наиболее высокочастотная из класса микросхем с широким диапазоном управления частотой и буферным усилителем (Wideband MMIC VCO with Buffer Amplifier). Диапазон частот ее составляет от 10 до 20 ГГц. Таким образом, коэффициент перекрытия по частоте достигает двух. Напряжение питания микросхемы — 5 В, потребляемый ток — около 70 мА. Миниатюрный корпус микросхемы LC4B с 24 выводами имеет размеры 4×4 мм (площадь 16 мм²).

Микросхема построена на основе LC-контура, потери которого компенсируются схемой с отрицательным дифференциальным резистансом, а частота изменяется с помощью варикапа (диода с изменяемой напряжением емкостью). Зависимость частоты от управляющего напряжения для этой микросхемы представлена на рис. 13 и дана для различных значений температуры. Характер

Таблица 4. Основные параметры монолитных микросхем класса Wideband компании Hittite Microwave

Тип микросхемы	Частота, ГГц	Рout, дБм	Фазовый шум, дБс/Гц
HMC586LC4B	4–8	5	–75/–100
HMC587LC4B	5–10	5	–65/–95
HMC588LC4B	8–12,5	5	–65/–93
HMC732LC4B	6–12	1	–65/–95
HMC733LC4B	10–20	2	–80/–105

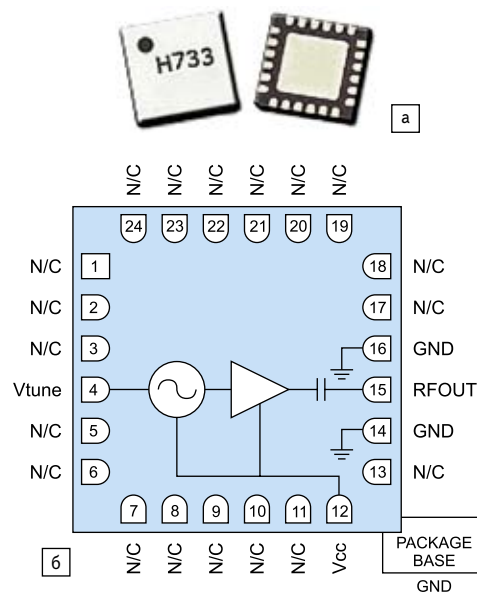


Рис. 12. Микросхема HMC733LC4B: а) корпус; б) функциональная диаграмма

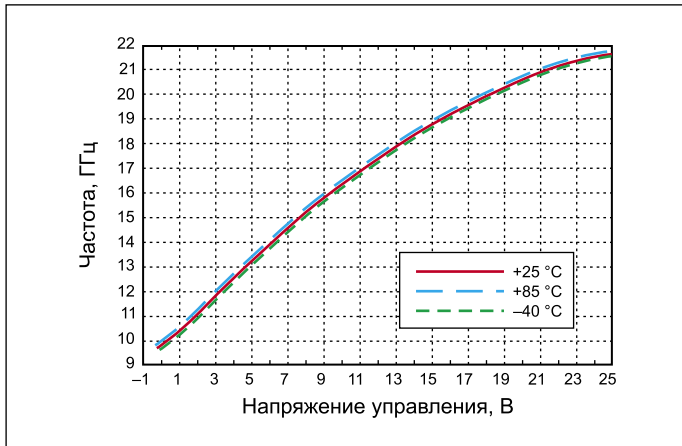


Рис. 13. Зависимость частоты от управляющего напряжения для микросхемы HMC733LC4B при различных значениях температуры

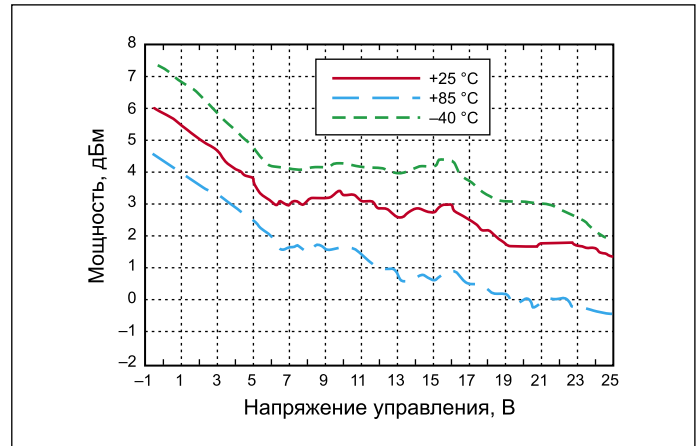


Рис. 14. Зависимость мощности выходного сигнала от управляющего напряжения для микросхемы HMC733LC4B при различных значениях температуры

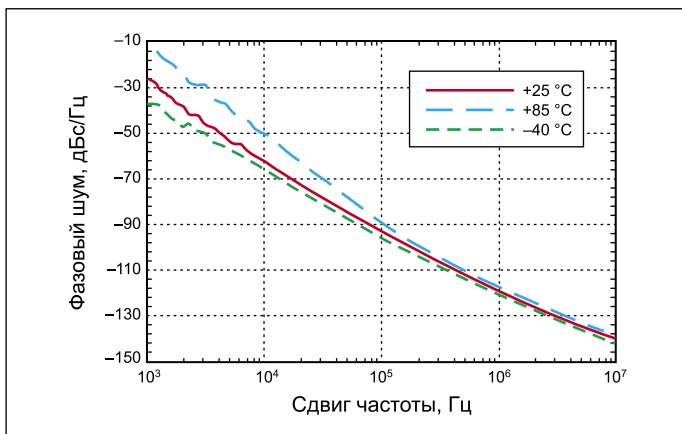


Рис. 15. Зависимость фазового шума микросхемы HMC733LC4B от частотного сдвига

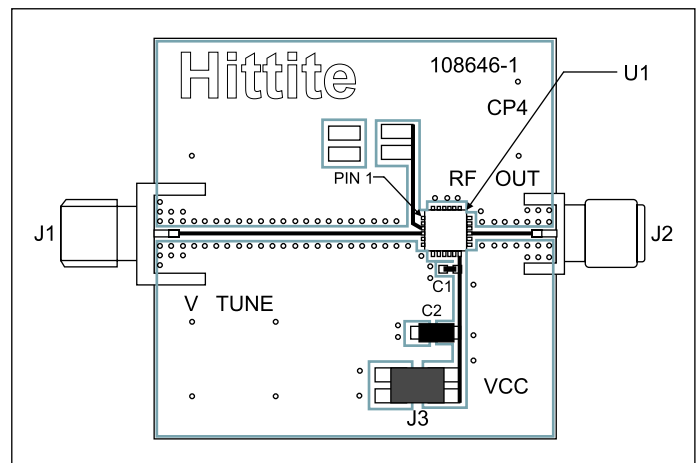


Рис. 16. Монтаж микросхемы HMC733LC4B на печатной плате

этой зависимости нелинейный и похож на такой же для других микросхем этого типа. Управляющее напряжение может меняться в пределах от 0 до +22 В. Температурная зависимость частоты малая — на рис. 13 кривые для температур от -40 до +125 °C практически сливаются.

При широком диапазоне частот можно ожидать заметного изменения мощности выходного сигнала при изменении управляющего напряжения, даже при наличии буферного усилителя. Представленные на рис. 14 зависимости подтверждают это. Типовая мощность выходного сигнала этой микросхемы составляет 3 дБм.

Зависимость фазового шума микросхемы HMC733LC4B от частотного сдвига показана на рис. 15. Типовое значение SSB фазового шума составляет -90 дБс/Гц при сдвиге частоты в 100 кГц. Естественно, что этот параметр ухудшается у наиболее высокочастотных микросхем.

Монтаж микросхемы HMC733LC4B на печатной плате показан на рис. 16. Бескорпусный танталовый конденсатор C1 имеет емкость 4,7 мкФ, емкость конденсатора C2 10 нФ.

Основные параметры монолитных микросхем класса Wideband представлены в таблице 4. Фазовый шум дан при сдвиге частоты на 100 кГц. Все микросхемы выполнены в квадратном корпусе LC4B с 6 выводами по каждой стороне с размерами 4×4 мм. Тип корпуса указан в конце названия микросхем.

Монолитная микросхема генератора типа PLO

Еще один класс микросхем генераторов фирмы Hittite Microwave — это параметроны (Phase-Locked Oscillators). К микросхемам класса PLO относится единственная микросхема HMC535LP4/535LP4E

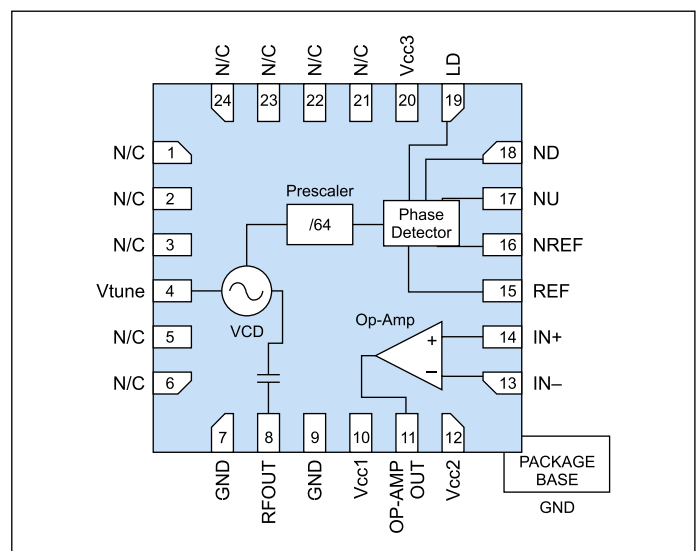


Рис. 17. Функциональная диаграмма параметрона HMC535LP4/535LP4E

(рис. 17). Помимо собственно управляемого напряжением генератора в состав микросхемы входят фазовый детектор PFD (Phase Detector), операционный усилитель Op-Amp и предварительное пересчетное устройство — Prescaler с коэффициентом деления 64. Микросхема выполнена в типовом корпусе LP4/LP4E с 24 выводами.

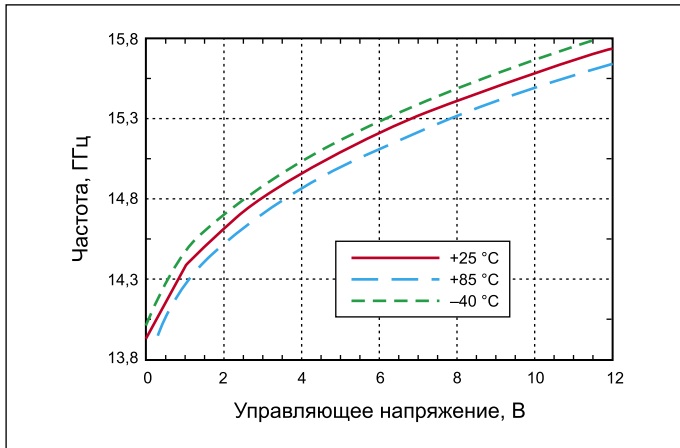


Рис. 18. Зависимость частоты генератора микросхемы HMC535LP4/535LP4E от управляющего напряжения

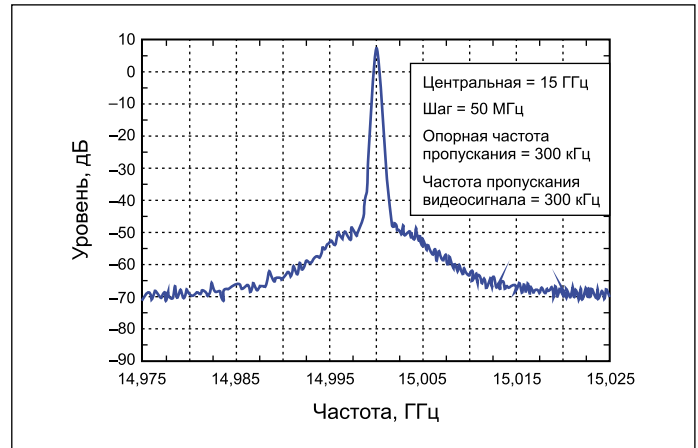


Рис. 20. Спектр сигнала микросхемы HMC535LP4/535LP4E

Зависимость частоты генератора микросхемы HMC535LP4/535LP4E от управляющего напряжения при трех значениях температуры показана на рис. 18. Мощность выходного сигнала — 9 дБм при напряжении питания +5 В (два источника, общий ток — 340 мА) и +12 В (ток — 28 мА). Типичное значение

фазового шума — -110 дБс/Гц при отстройке на 100 кГц.

Рекомендуемая фирмой принципиальная схема высокостабильного генератора сигнала с частотой 15 ГГц, полученного умножением опорного сигнала с частотой 234 МГц, показана на рис. 19. Схема содержит немало

внешних компонентов. Конструкция печатной платы для этого устройства и спецификация компонентов для нее детально представлены в описании этой микросхемы.

Спектр сигнала микросхемы HMC535LP4/535LP4E на частоте 15 ГГц, полученный анализатором спектра при частоте

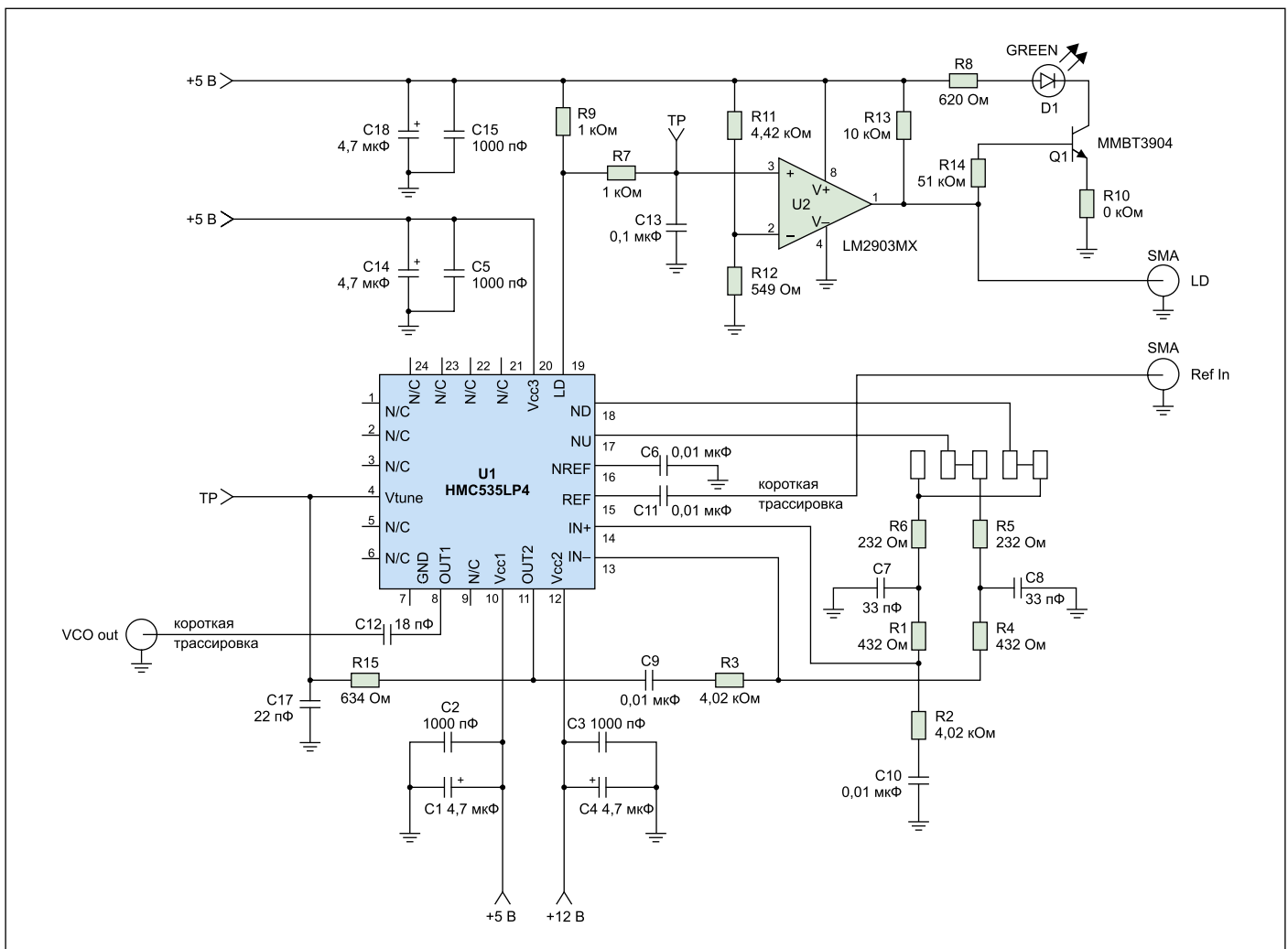


Рис. 19. Рекомендуемая принципиальная схема генератора с частотой 15 ГГц

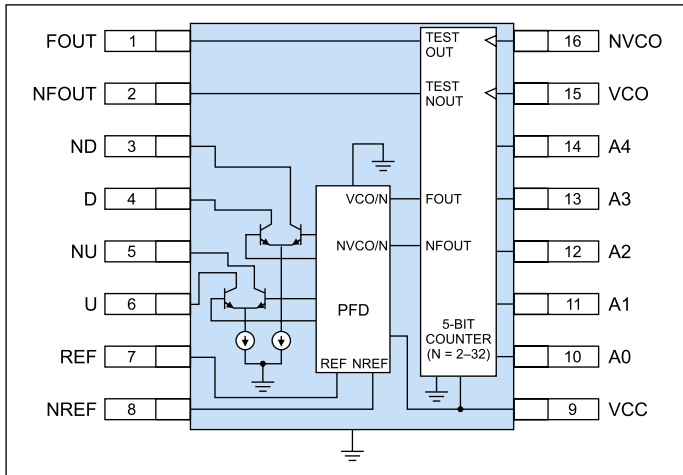


Рис. 21. Функциональная диаграмма микросхемы HMC440QS16G/440QS16GE

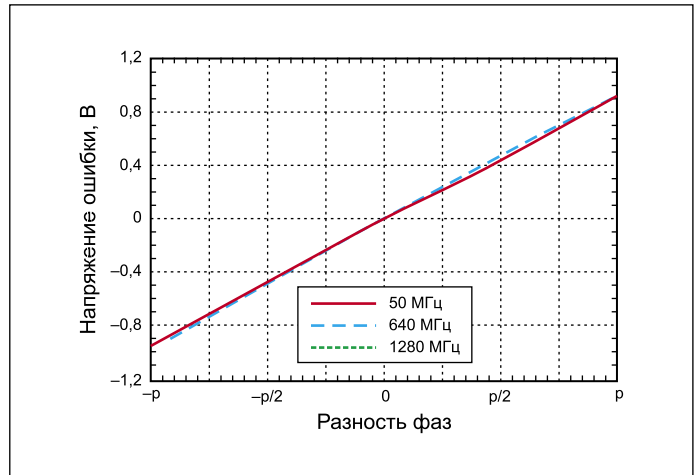


Рис. 22. Зависимость напряжения ошибки от разности фаз

опорного сигнала 234 МГц, показан на рис. 20. Этот спектр наглядно указывает на метод измерения фазового шума путем измерения уровня сигнала на частоте, сдвинутой относительно частоты пика (центральной частоты) спектра. Ясно, что чем больше сдвиг частоты, тем меньше уровень фазового шума.

Монолитные микросхемы синтезаторов без VCO

Ряд монолитных микросхем синтезаторов PLL выпускается без встроенного VCO и рассчитан на применение внешнего VCO. Данные о таких микросхемах приведены в таблице 5. Две из микросхем работают в дробно-рациональной моде, остальные — в целочисленной. Это особенно заметно из их частотного разрешения.

Микросхема HMC440QS16G/440QS16GE — это синтезатор без VCO с входными частотами от 0,01 до 2,8 ГГц и целочисленным делителем ($N = 2-32$). Функциональная диаграмма микросхемы HMC440QS16G/440QS16GE показана на рис. 21. Микросхема содержит все узлы, необходимые (совместно с генератором, управляемым напряжением) для построения полноценного синтезатора синусоидального СВЧ-сигнала.

На рис. 22 показана зависимость напряжения ошибки фазового детектора от разности фаз сравниваемых сигналов. Эта зависимость практически линейная и на нее слабо влияет температура окружающей среды.

Типовая схема включения микросхемы HMC440QS16G/440QS16GE показана на рис. 23. В документации Data Sheet на эту микросхему приведен чертеж печатной платы со смонтированной на ней микросхемой и приведена ее спецификация.

На рис. 24 дана полная схема простого синтезатора частоты, по существу выполняющая роль множителя сигнала с опорной частотой 250 МГц в частоту 14 ГГц. Первая микросхема настроена на коэффициент деления 7. Таким образом, она обеспечивает

сравнение частоты $7 \times 250 = 1750$ МГц с такой же частотой, как и HMC398 со встроенным делителем на 8. Стабильность выходной частоты синтезатора на рис. 24 определяется стабильностью опорной частоты 250 МГц, сигнал которой может быть получен от высокостабильного кварцевого или молекулярного стандарта частоты.

Микросхема HMC700LP4/700LP4E — это синтезатор частот со входом до 8 ГГц с 16-битовым предустановленным делителем частоты (рис. 25). Она обеспечивает 24-битовое разрешение в дробно-рациональном (Fractional-N) режиме с частотным разрешением до 3 Гц. Опорная частота микросхемы — до 200 МГц. Есть

Таблица 5. Монолитные микросхемы синтезаторов PLL без VCO

Тип синтезатора	Частота, ГГц	Тип делителя	PFDmax, МГц	Разрешение, Гц	Питание, В/мА
HMC440QS16G	0,01–2,8	I-N	1300	10^7	5/250
HMC698LP5	0,08–7	I-N	1300	10^7	5/310
HMC699LP5	0,08–7	I-N	1300	10^7	5/310
HMC700LP4	0,1–8	F-N	105	3	5/5,5 3,3/90
HMC704LP4E	DC–8	F-N	100	3	5/6 3,3/52

Примечание. Тип делителя: I-N — целочисленный; F-N — дробно-рациональный.

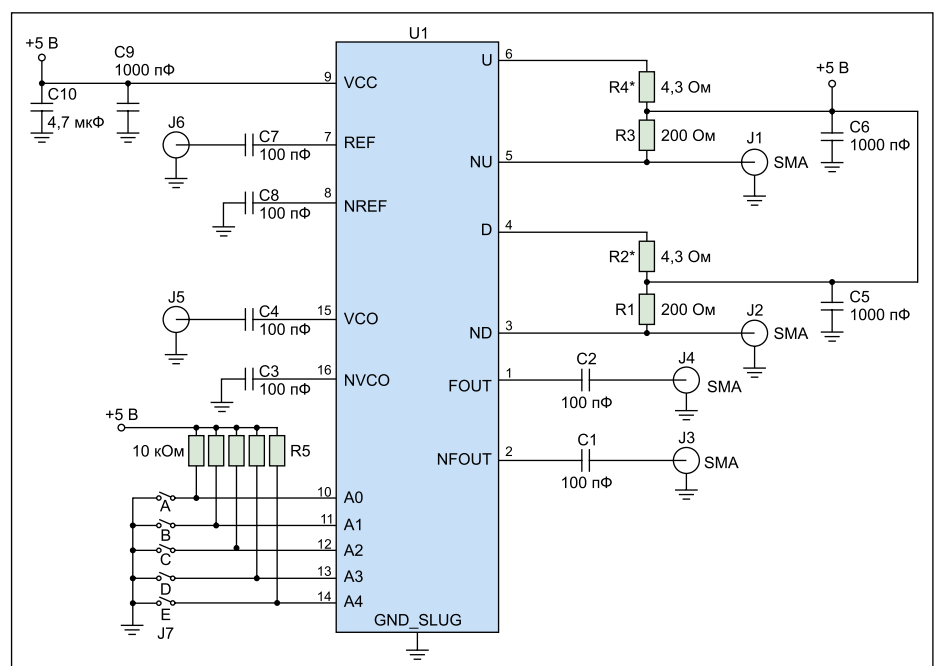


Рис. 23. Основная схема включения микросхемы HMC440QS16G/440QS16GE

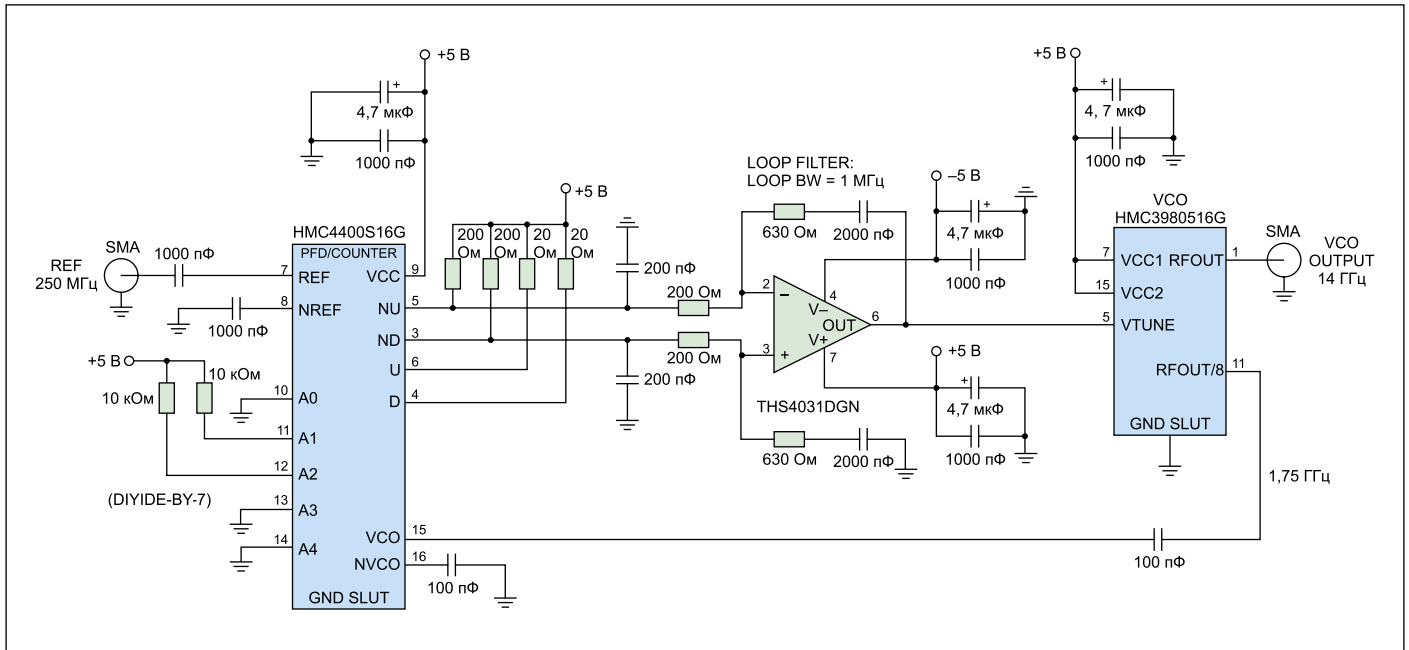


Рис. 24. Типичная схема синтезатора СВЧ высокостабильного сигнала с частотой 14 ГГц при опорном сигнале 250 МГц

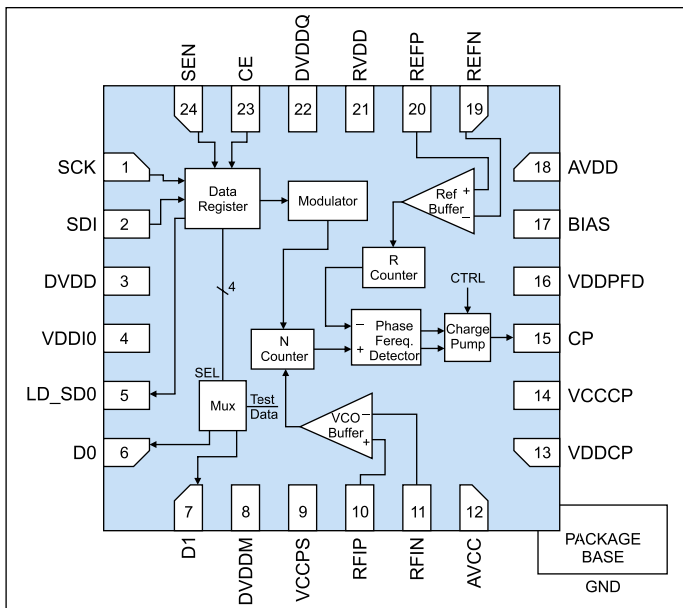


Рис. 25. Функциональная диаграмма микросхемы HMC700LP4/700LP4E

возможность работы с FSK-модуляцией и в циклическом режиме. В микросхеме есть последовательный порт для записи/считывания данных. HMC700LP4/700LP4E выполнена в 24-выводном корпусе 4×4 мм (площадь — 16 мм²).

Зависимость фазового шума микросхемы HMC700LP4/700LP4E от сдвига частоты показана на рис. 26. А на рис. 27 дано сравнение фазового шума в целочисленном и дробно-рациональном режимах работы. Как и следовало ожидать, в дробно-рациональном режиме фазовый шум несколько выше, чем в целочисленном.

Зависимость фазового шума от частоты в реальных условиях при управлении микросхемой генератора типа VCO приведена на рис. 28. В пределах рабочего диапазона частот уровень шума меняется незначительно, но резко возрастает за его пределами.

Построение синтезатора на основе микросхемы HMC700 и внешнего VCO представлено на рис. 29: оно соответствует типовой функциональной схеме частотного синтезатора.

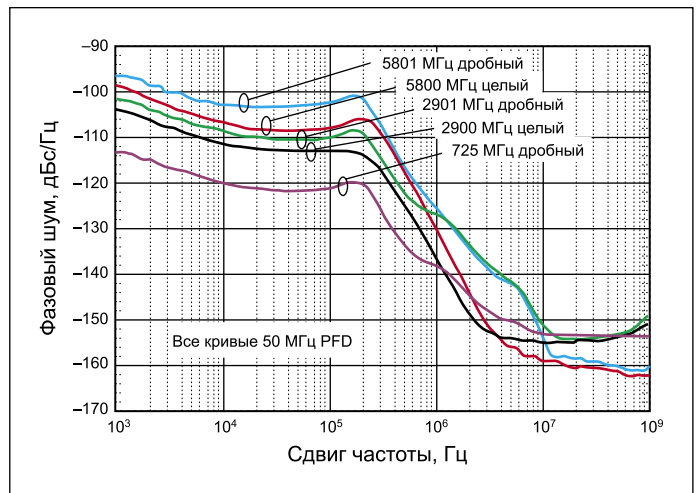


Рис. 26. Фазовый шум микросхемы HMC700LP4/700LP4E

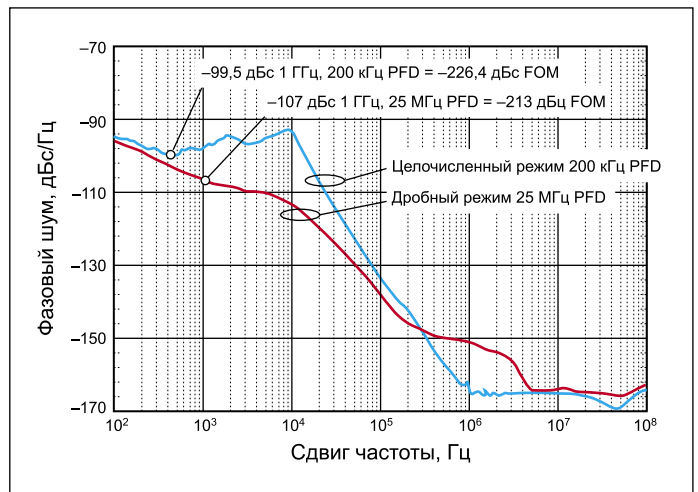


Рис. 27. Сравнение фазового шума микросхемы HMC700 в целочисленном и дробно-рациональном режиме работы

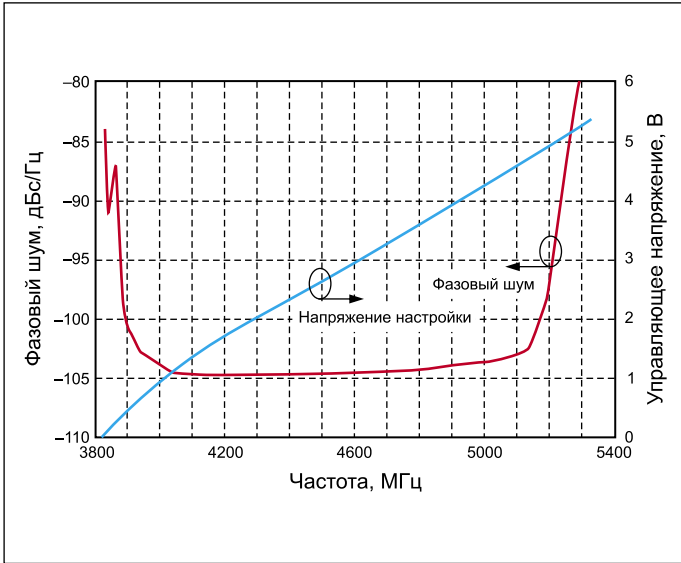


Рис. 28. Зависимость фазового шума от частоты при управлении генератора напряжением

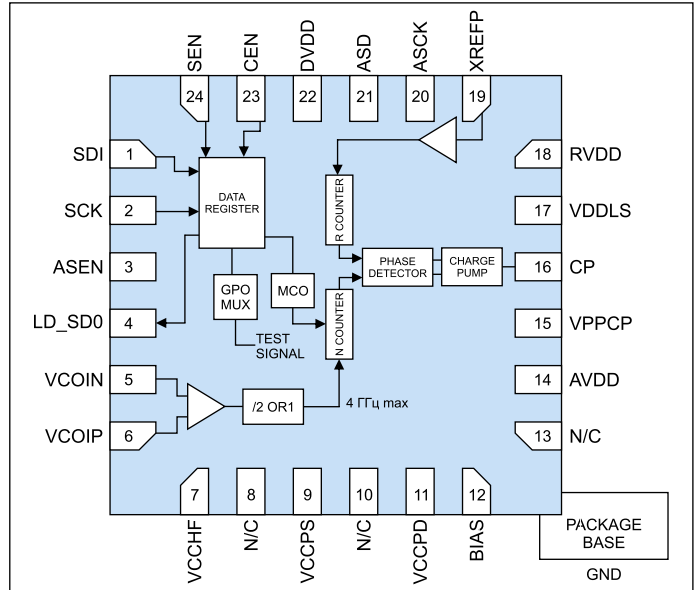


Рис. 30. Функциональная диаграмма микросхемы HMC704

Микросхема HMC704LP4E — это синтезатор с частотами от 0 до 8 ГГц с дробно-рациональным (Fractional-N) программно-управляемым делителем частоты. Функциональная диаграмма микросхемы представлена на рис. 30.

Микросхема имеет радиочастотный вход с частотой 8 ГГц и 4-Гц 19-битовый предустановленный делитель частоты. Уровень фазового шума — -112 дБс/Гц на частоте 8 ГГц при сдвиге частоты 50 кГц. Корпус — SMT 24-выводный 4×4 мм (площадь — 16 мм²).

Функциональная диаграмма платы контроля микросхемы показана на рис. 30. Для тестирования этой микросхемы разработана специальная плата с USB-портом, функциональная диаграмма которой представлена на рис. 31. Подробное описание платы есть в документе User Manual.

Реализующая ее печатная плата показана на рис. 32. Подробная ее спецификация дана в документе Data Sheet. Его можно найти на сайте [1].

На рис. 33 показана зависимость фазового шума от частотного сдвига, снятая усовершенствованным методом (диаграммой) Мерита [1]. Очень малый уровень фазового шума гарантирует получение высокой стабильности частоты, практически определяемой стабильностью частоты опорного генератора.

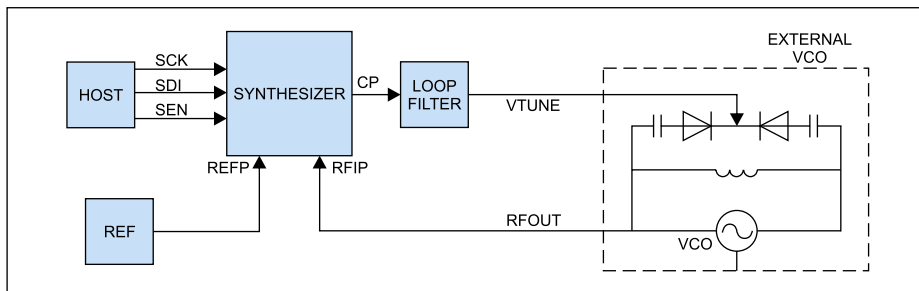


Рис. 29. Построение синтезатора на микросхеме HMC700 с внешним VCO

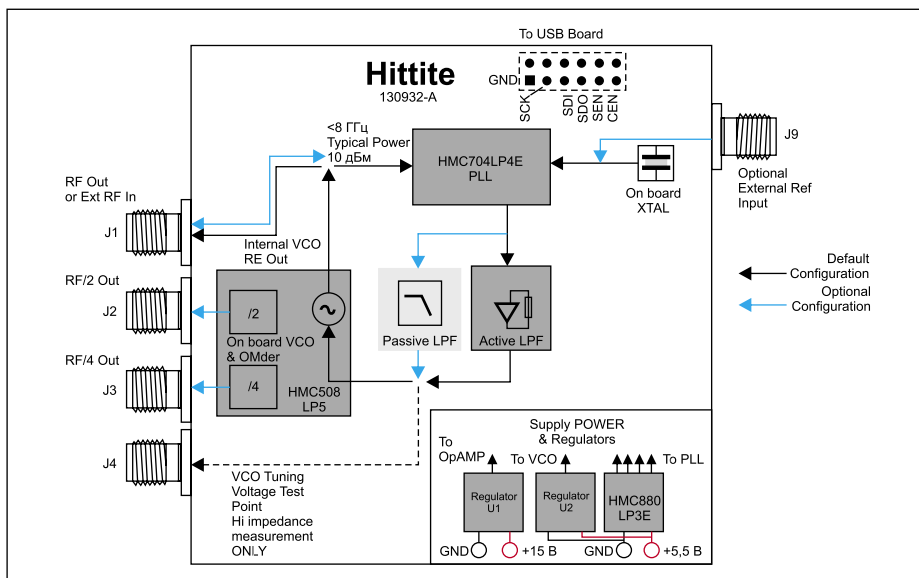


Рис. 31. Функциональная диаграмма платы контроля микросхемы HMC704

Применение микросхем монолитных синтезаторов

Основная область применения монолитных микросхем синтезаторов — СВЧ радиопередающие и радиоприемные устройства и системы связи, в том числе кабельные, световолоконные, спутниковые и т. д. Пример построения радиопередающего устройства на микросхемах компании Hittite Microwave дан на рис. 34а, а радиоприемного устройства — на рис. 34б.

Разумеется, это лишь примеры реализации радиотехнических устройств общего характера. Разнообразие таких устройств, существующих ныне, очень велико. Кроме того, монолитные микросхемы синтезаторов находят применение в измерительных приборах и системах, кабельном и спутниковом телевидении, мобильных средствах телефонной связи и во многих других областях современной электронной техники и радиотехники.

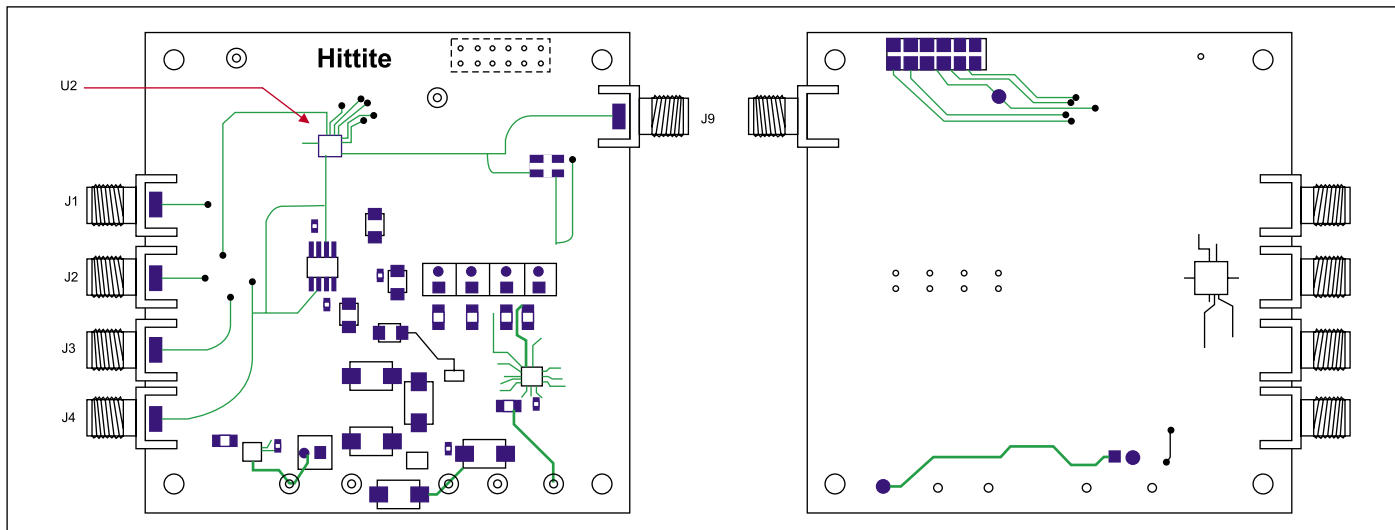


Рис. 32. Печатная плата контроля микросхемы HMC704

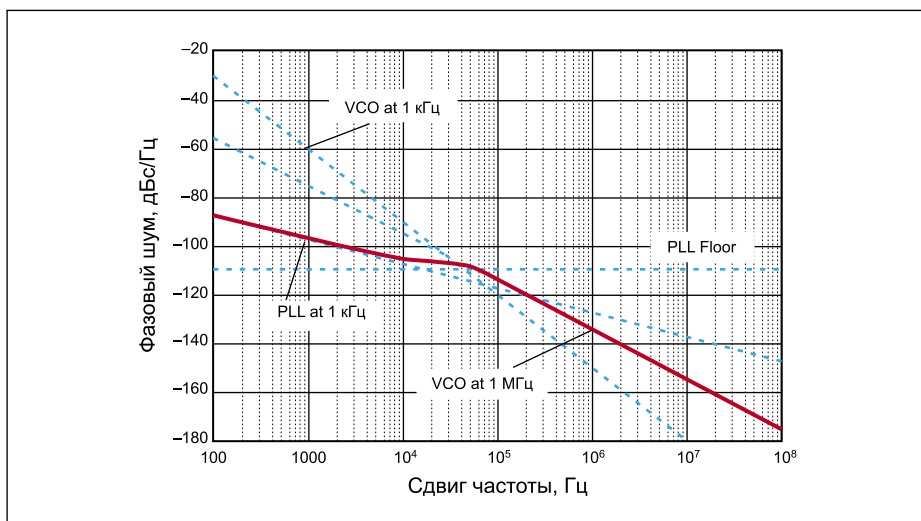


Рис. 33. Фазовый шум микросхемы HMC704 при измерении с помощью диаграммы Мерита

Заключение

Управляемые генераторы синусоидальных сигналов и цифровые синтезаторы частоты относятся к наиболее сложным изделиям микроэлектроники, содержащим как СВЧ и обычные аналоговые узлы, так и сверхскоростные цифровые устройства. Американской компании Hittite Microwave удалось реализо-

вать их в составе наиболее высокочастотных монолитных интегральных микросхем с частотным диапазоном, достигающим у простых микросхем 100 ГГц, а у сложных синтезаторов частоты — примерно 30 ГГц. И все это — благодаря ориентации на новейшие структуры и технологии изготовления полупроводниковых приборов на основе широких зонных полупроводников и гетеропереходов.

Высочайшие технические характеристики монолитных микросхем этой компании, в том числе управляемых напряжением генераторов и цифровых частотных синтезаторов, обеспечивают обширные области применения их в современной сверхскоростной электронике, технике связи, измерительной технике и во многих других отраслях современной индустрии гражданского и военного назначения.

Литература

1. www.hittite.com
2. Дьяконов В. П. Пикосекундные цифровые монолитные микросхемы корпорации Hittite Microwave // Компоненты и технологии. 2011. № 9.
3. Дьяконов В. П. Монолитные СВЧ-микросхемы аттенуаторов и усилителей компании Hittite Microwave // Компоненты и технологии. 2011. № 10.
4. Дьяконов В. П. СВЧ-аксессуары фирмы Agilent Technologies // Компоненты и технологии. 2011. № 9.
5. Афонский В. П., Дьяконов В. П. Электронные измерения в нанотехнологиях и микроэлектронике. М.: ДМК-Пресс, 2011.
6. Михалев П. Микросхемы ФАПЧ и синтезаторы на их основе производства фирмы Analog Devices // Компоненты и технологии. 2006. № 4.

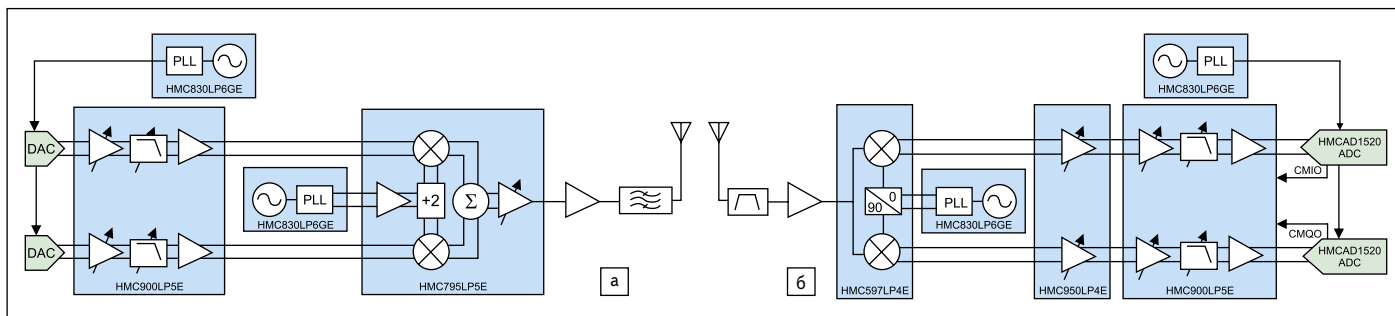


Рис. 34. Функциональная диаграмма: а) радиопередающего устройства; б) радиоприемного устройства