

УДК 621.396

И.В. Скоторенко

## Оценка фазовых шумов синтезатора частот на интегральной схеме HMC704LP4E

Произведены краткий обзор интегральной схемы синтезатора частот с фазовой автоподстройкой частоты HMC704LP4E фирмы Hittite, расчет и сравнительный анализ фазовых шумов синтезаторов на микросхемах HMC704LP4E, ADF4153 и гибридного многопетлевого синтезатора с использованием ADF4002.

**Ключевые слова:** синтезатор частот с ФАПЧ, интегральная схема, фазовый шум.

Синтезатор частот (СЧ) является ключевым элементом практически любой системы связи, измерения и контроля [1–5]. В настоящее время для построения СЧ с петлей фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) (рис. 1) широкое применение находят специализированные интегральные схемы (ИС) от самых разных фирм-производителей. Использование ИС с высокой степенью интеграции при построении СЧ позволяет получить не только достаточно качественные технические параметры и характеристики, но значительно снизить габаритно-массовые показатели, энергопотребление, а также повысить стабильность параметров и надежность в более жестких условиях эксплуатации. Это в основном вызвано тем, что высокая степень интеграции повышает многофункциональность таких микросхем, которые реализуются в одном кристалле, а снижение отрезков линий связи внутри кристалла значительно повышает его быстродействие. Поэтому элементная база для разработки всевозможных СЧ с петлей ФАПЧ непрерывно пополняется все новыми типами микросхем, реализующими ту или иную поставленную задачу и обеспечивающими те или иные технические характеристики [6].

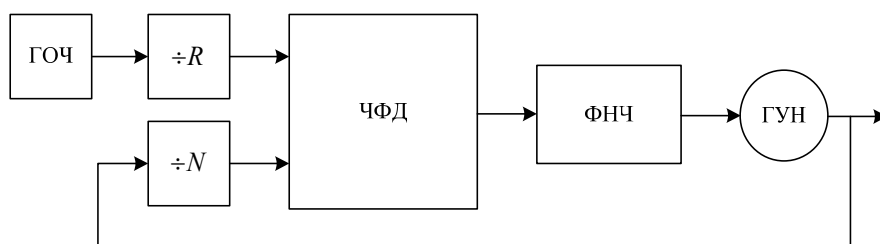


Рис. 1. Блок-схема ФАПЧ-синтезатора

На рис. 1 приняты обозначения: ГОЧ – генератор опорной частоты, ЧФД – частотно-фазовый детектор, ФНЧ – петлевой фильтр нижних частот, ГУН – генератор, управляемый напряжением.

Фирма Hittite Inc. предлагает микросхему одинарного цифрового синтезатора частот HMC704LP4E с дробным коэффициентом деления (Fractional-N) (рис. 2).

Интегральная схема HMC704LP4E включает в себя регистр данных, делители опорной частоты на  $R$  и частоты ГУН на  $N$ , частотно-фазовый детектор, схему подкачки заряда. Синтезатор изготавливается по современной SiGe BiCMOS технологии и может работать в интервале питающих напряжений 3–3,5 В в промышленном диапазоне рабочих температур  $-40...+85$  °С. Для загрузки данных используется стандартный трехпроводной интерфейс. Синтезатор HMC704LP4E позволяет строить современный гетеродин с повышением или понижением частоты в диапазоне до 8 ГГц. В сочетании с ним ГУН и петлевым фильтром (ФНЧ) микросхема реализует законченную систему ФАПЧ (PLL) гетеродина. В тракте опорного сигнала синтезатора HMC704LP4E минимальный коэффициент деления  $R_{\min} = 1$  может быть изменен пользователем с шагом от 1 до  $R_{\max} = 16383$ . При использовании СЧ с дробным коэффициентом деления шаг сетки синтезируемых частот всегда меньше частоты сравнения. Это удобно, а зачастую и необходимо в случае мелкого шага сетки при высокой выходной частоте, т.е. при больших значениях  $N$  коэффициента деления делителя частоты с дробным переменным коэффициентом деления (ДДПКД).

Структурная схема PLL-синтезатора с дробным коэффициентом деления приведена на рис. 3.

На рис. 4 на одном графике изображены результаты измерений уровня спектральной плотности мощности фазовых шумов выходного сигнала ( $f_{\text{вых}} = 3$  ГГц) синтезатора частот с дробным ( $f_{\text{ЧФД}} = 3,3$  МГц) и целочисленным ( $f_{\text{ЧФД}} = 70$  МГц) делителем частоты.

При проведении измерений в качестве микросхемы ФАПЧ в СЧ была взята интегральная схема HMC700lp4e [7] от фирмы-производителя Hittite. На рис. 4 виден выигрыш в уровне фазовых шумов при введении дробного коэффициента деления.

Произведем расчет и сравнительный анализ фазовых шумов выходного колебания синтезаторов частот на микросхемах HMC704LP4E, ADF4153 от фирмы-производителя Analog Devices и гибридного многопетлевого СЧ на основе интегральной схемы ADF4002 от Analog Devices. Основные технические характеристики микросхем HMC704LP4E, ADF4153 и ADF4002 приведены в таблице.

Фазовые шумы выходного сигнала синтезатора частот с ФАПЧ распределены следующим образом (рис. 5) [8], см. ниже:

1) Шумы в полосе пропускания ФНЧ, определяемые шумами в петле ФАПЧ и шумами ГОЧ. На практике при построении синтезаторов частот ГОЧ выбирается таким образом, чтобы его уровень фазовых шумов, пересчитанный к выходу СЧ, был ниже шумов в петле ФАПЧ, поэтому в дальнейших расчетах фазовые шумы ГОЧ не учитываются.

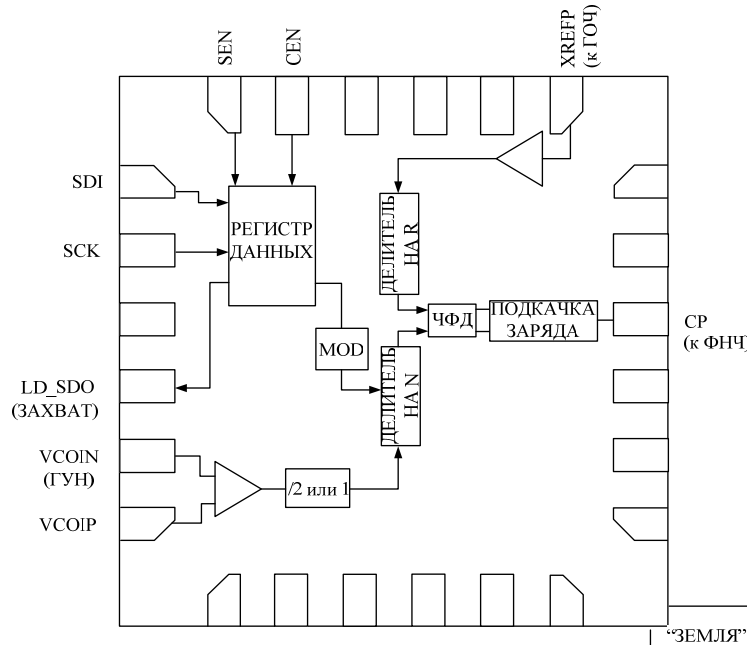


Рис. 2. Функциональная блок-схема ИС HMC704LP4E [7]

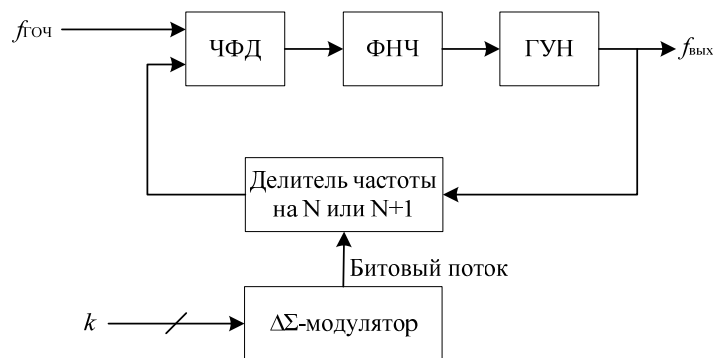


Рис. 3. Структурная схема синтезатора Fraction-N PLL

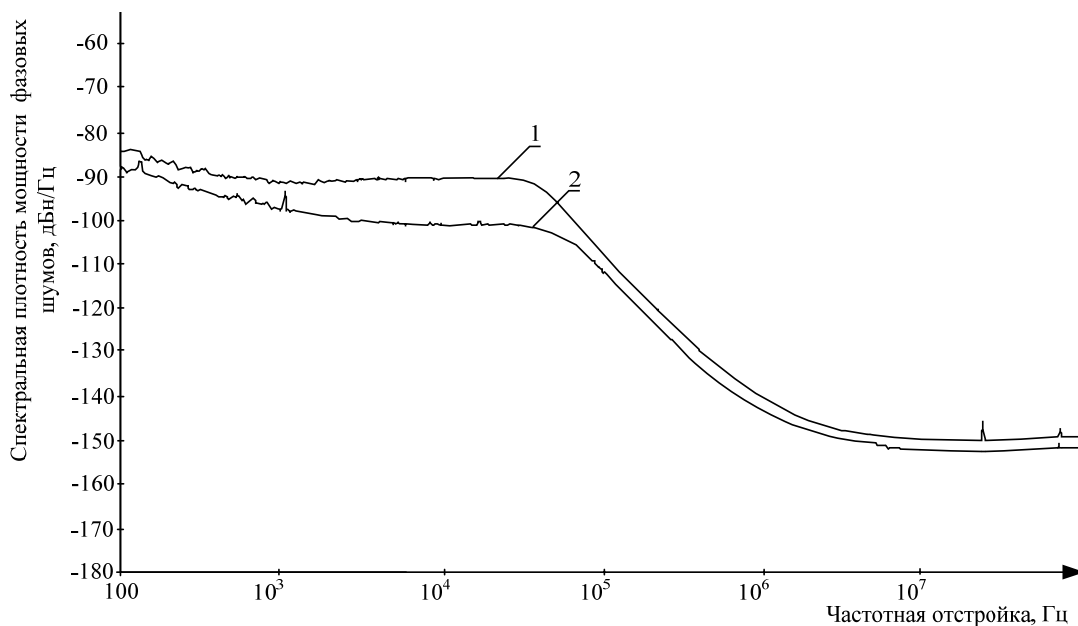


Рис. 4. Результаты измерений уровня спектральной плотности мощности фазовых шумов выходного сигнала при введении целочисленного 1 и дробного 2 коэффициента деления (измерения проведены с точностью  $\pm 2$  дБ при помощи анализатора источников сигналов Agilent E5052B)

## Основные технические характеристики микросхем HMC704LP4E, ADF4153 и ADF4002

Наименование микросхемы	Рабочий частотный диапазон, МГц	Максимальная рабочая частота ЧФД, МГц	Нормированный уровень фликкер-шумов (FlickerFOM), дБн/Гц	Нормированный уровень фазовых шумов ЧФД (FloorFOM), дБн/Гц
HMC704LP4E	0...8000	100	-266	-230
ADF4153	0,5...4000	32	-254	-220
ADF4002	5...400	104	-	-222

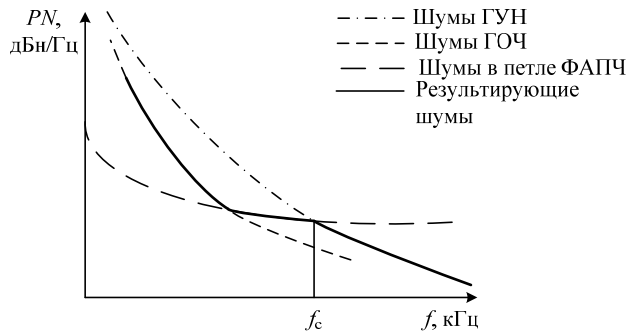


Рис. 5. Фазовые шумы синтезатора с ФАПЧ ( $f_c$  – частота среза ФНЧ) [8, с. 131]

Шумы в петле ФАПЧ зависят от следующих параметров: нормированных уровней фликкер-шумов и фазовых шумов ЧФД, рабочей частоты ЧФД (частоты сравнения), частоты ГУН и величины отстройки. Уровень спектральной плотности мощности фазовых шумов в петле ФАПЧ вычисляется по следующей формуле [9, с. 2]:

$$PN(f_{\text{offset}}, f_{\text{ГУН}}, f_{\text{ЧФД}}) = 10 \lg(10^{PN_{\text{flick}}/10} + 10^{PN_{\text{floor}}/10}), \text{ дБн/Гц, (1)}$$

где  $PN_{\text{flick}} = \text{FlickerFOM} + 20 \lg(f_{\text{ГУН}}) - 10 \lg(f_{\text{offset}})$ ;  $PN_{\text{floor}} = \text{FloorFOM} + 10 \lg(f_{\text{ЧФД}}) + 20 \lg(f_{\text{ГУН}}/f_{\text{ЧФД}})$ ; FlickerFOM – нормированный уровень фликкер-шумов (см. таблицу); FloorFOM – нормированный уровень фазовых шумов ЧФД (см. таблицу);  $f_{\text{ГУН}}$  – частота ГУН, Гц;  $f_{\text{ЧФД}}$  – частота ЧФД, Гц;  $f_{\text{offset}}$  – величина отстройки, Гц.

2) Шумы за пределами полосы пропускания петлевого ФНЧ, определяемые шумами генератора, управляемого напряжением (спектральная плотность мощности фазовых шумов ГУН приводится в его техническом описании).

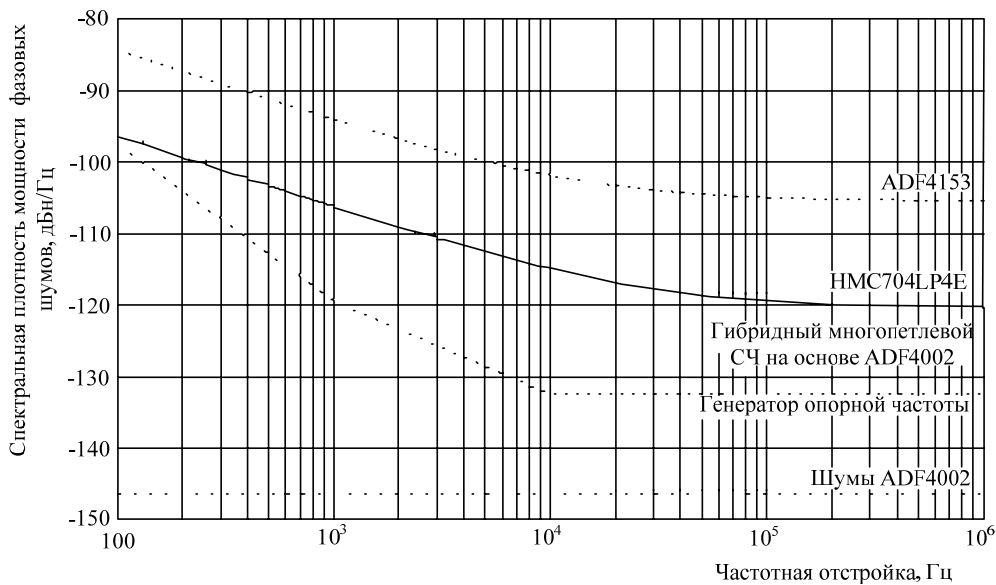


Рис. 6. Фазовые шумы синтезаторов частот с ФАПЧ ( $f_{\text{вых}} = 3$  ГГц)

Результаты расчета по формуле (1) спектральной плотности мощности фазовых шумов выходного сигнала синтезатора частот, построенного на основе интегральных схем ADF4153, HMC704LP4E, а также многопетлевого СЧ на основе микросхемы ADF4002 приведены на рис. 6. В многопетлевой схеме ФАПЧ, в которой подстройка выходной частоты происходит по гармоникам сигнала с выхода смесителя, фазовые шумы в петле ФАПЧ синтезируемого сигнала определяются шумами применяемой микросхемы ФАПЧ, в данном случае ADF4002, и вычисляются по формуле (1). Фазовые шумы за пределами петли ФАПЧ определяются генератором, управляемым напряжением.

В качестве ГОЧ взят малошумящий термостатированный генератор ГК-136-ТС-100М [10] фирмы «Морион» (г. Санкт-Петербург). Гибридная многопетлевая схема построения СЧ применяется для уменьшения коэффициента деления  $N$  частоты ГУН и, как следствие, уменьшения ФШ в петле ФАПЧ. Недостатки таких синтезаторов по сравнению с однопетлевыми: более сложная настройка, дороговизна, большие массогабаритные параметры, высокое энергопотребление.

Из рис. 6 можно сделать следующие выводы:

1. По уровню фазовых шумов синтезатор частот на основе HMC704LP4E превосходит СЧ на основе аналога ADF4153 на 10–15 дБ.
2. По уровню фазовых шумов гибридный многопетлевой СЧ на основе ADF4002 превосходит СЧ на основе HMC704LP4E на 10–15 дБ при отстройках более 1 кГц.

Микросхема HMC704LP4E, помимо широкого диапазона рабочих частот (0...8 ГГц) и высокой рабочей частоты ЧФД (100 МГц), имеет фазовые шумы, по уровню превосходящие аналог ADF4153 на 10–15 дБ. Многопетлевой синтезатор частот за счет уменьшения коэффициента деления делителя частоты в микросхеме ADF4002 позволяет получить меньший уровень фазовых шумов, но является более сложным устройством, с большими габаритами и стоимостью. Микросхема цифрового синтезатора частот с ФАПЧ с дробным коэффициентом деления HMC704LP4E является достойным выбором при построении простых однопетлевых синтезаторов частот с низким уровнем фазовых шумов (по сравнению с ближайшим аналогом ADF4153, см. рис. 6), побочных спектральных составляющих, малыми габаритами и потребляемой мощностью.

#### Литература

1. Browne J. Frequency Synthesizers Tune Communications Systems. – Microwaves&RF. March, 2006. – 326 p.
2. Kroupa V. Frequency Synthesis Theory, Design and Applications. – New York: Wiley, 1973. – 431 p.
3. Manassewitsch V. Frequency Synthesizers Theory and Design, Third Edition. – New York: John Wiley & Sons, 1987. – 384 p.
4. Rohde U. Microwave and Wireless Synthesizers: Theory and Design. – New York: John Wiley & Sons, 1997. – 638 p.
5. Klapper J. Phased-Locked and Frequency Feedback Systems / J. Klapper. – New York: Wiley, 1972. – 257 p.
6. Синтезаторы частот / Шахтарин Б.И. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 128 с.
7. Datasheet HMC700LP4E 8 GHz 16-Bit Fractional-N PLL [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.hittite.com/content/documents/data\\_sheet/hmc700p4.pdf](http://www.hittite.com/content/documents/data_sheet/hmc700p4.pdf), свободный (дата обращения: 22.09.2011).
8. Egan W.F. Frequency Synthesis by Phase Lock. – New York: John Wiley & Sons, 2000. – 597 p.
9. Datasheet HMC704LP4E 8 GHz 16-Bit Fractional N Synthesizer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.hittite.com/content/documents/data\\_sheet/hmc704lp4.pdf](http://www.hittite.com/content/documents/data_sheet/hmc704lp4.pdf), свободный (дата обращения: 30.05.2011).
10. Техническое описание. Высокочастотный прецизионный малошумящий кварцевый генератор ГК-136-ТС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://morion.com.ru/catalog\\_pdf/GK136-TS.pdf](http://morion.com.ru/catalog_pdf/GK136-TS.pdf), свободный (дата обращения: 30.05.2011).

---

#### Скоторенко Илья Вячеславович

Аспирант каф. РТС ТУСУРа

Тел.: (382-2) 41-36-70

Эл. почта: Skotorenko.I.V@yandex.ru

Skotorenko I.V.

#### Phase noise estimation of the HMC704LP4E frequency synthesizer

There was written a short review of the HMC704LP4E phase-locked loop frequency synthesizer with integrated circuit from Hittite inc., phase noise estimation and the comparative analysis of the HMC704LP4E, ADF4153 and a hybrid multiloop synthesizer with use ADF4002.

**Keywords:** PLL frequency synthesizer, the integrated circuit, phase noise.