

ШИРОКОПОЛОСНЫЙ СИНТЕЗАТОР ЧАСТОТЫ СО ВСТРОЕННЫМ ГУН И МАЛЫМ УРОВНЕМ ШУМОВ

В статье рассматривается широкополосный высокочастотный синтезатор частоты ADF4351, выполненный на основе системы ФАПЧ со встроенным ГУН и выпускаемый компанией Analog Devices. Синтезатор обеспечивает малый уровень шума в широком диапазоне перекрытия по частоте и может работать в режимах с целочисленными или дробными коэффициентами деления встроенных счетчиков.



В. Макаренко

BROADBAND SYNTHESIZER OF FREQUENCY WITH BUILT IN VCO AND LOW NOISE

Abstract – In article the broadband high-frequency synthesizer of frequency ADF4351 on the basis of system PLL with built in VCO, released by company Analog Devices is observed. The synthesizer provides small noise level in a wide range of overlapping on frequency and can work in regimes with an integral-valued or fractional division ratio of the built in counters.

V. Makarenko

Коэффициенты деления радиочастотного сигнала в классическом синтезаторе – только целые числа, что требует относительно низкой опорной частоты, которая, вместе с тем, определяет шаг перестройки (разнесение каналов) и требует достаточно высокого значения коэффициента деления N в цепи обратной связи. Оба этих фактора достаточно сильно влияют на время регулирования и на фазовый шум системы в целом: низкая опорная частота определяет длительное время регулирования, а высокое значение коэффициента деления N приводит к повышению фазового шума системы. При использовании счетчиков с дробным коэффициентом деления (Fractional-N) в цепи обратной связи можно уменьшить значение коэффициента деления N . В результате можно выбрать более высокую опорную частоту и при этом получить требуемый шаг ее перестройки. Более высокая опорная частота позволяет уменьшить время регулирования системы (захват частоты будет происходить гораздо быстрее на более высокой частоте), а дробный коэффициент деления в цепи обратной связи позволяет снизить фазовый шум системы.

Синтезатор, работающий в режиме с дробными коэффициентами деления частоты, обеспечивает более высокую скорость ее перестройки и уровень шумов меньше на 10...12 дБ, чем синтезатор, работающий с целочисленными коэффициентами. Такой синтезатор благодаря высокой

скорости перестройки может в некоторых случаях заменить два синтезатора с целочисленными коэффициентами деления, например в передатчиках базовых станций, в которых требуется высокая скорость перестройки частоты.

Поэтому на практике синтезаторы с целочисленными коэффициентами деления приходится использовать в случае, если требуется малый шаг перестройки частоты. Если определяющим фактором является скорость перестройки частоты, необходимо использовать синтезаторы с дробными коэффициентами деления.

Для удовлетворения противоречивых требований к свойствам синтезаторов при использовании одной ИМС компания Analog Devices разработала синтезатор ADF4351 [1], который может работать в одном из двух задаваемых программно режимов: с целочисленным или с дробным коэффициентом деления счетчика, установленного в цепи обратной связи.

Основные особенности ИМС ADF4351:

- диапазон частот выходного сигнала 35...4400 МГц
- работа в режиме Fractional-N или Integer-N
- встроенный ГУН
- низкий фазовый шум ГУН
- программируемый делитель частоты на выходе синтезатора с коэффициентами деления 1/2/4/8/16/32/64
- типовое среднеквадратическое значение дрожания фронта выходного сигнала 0.32 пс

Параметры синтезаторов с ФАПЧ со встроенным ГУН

Тип	Диапазон частот на выходе, МГц	Нормированная спектральная плотность мощности фазового шума, дБн/Гц	Максимальная частота опорного генератора, МГц	Ток потребления, мА	Мощность на выходе, дБм
ADF4351	35...4400	-220	250	8/11/15/21	-4/-1/2/5
ADF4350	137.5...4400	-213	105	27	-4...5
ADF4360-0	2400...2725	-214	250	25...50	-13...-3
ADF4360-1	2050...2450	-217	250	25...50	-12...-3
ADF4360-2	1850...2150	-217	250	25...50	-12...-3
ADF4360-3	1600...1950	-217	250	25...50	-13...-4
ADF4360-4	1450...1750	-217	250	25...50	-13...-4
ADF4360-5	1200...1400	-217	250	25...45	-13...-4
ADF4360-6	1050...1250	-217	250	25...45	-13...-4
ADF4360-7	350...1800	-217	250	25...45	-13...-4
ADF4360-8	65...400	-217	250	25...45	-13...-4
ADF4360-9	1.1...200	-218	250	7.5	-13...-9

- диапазон напряжения питания 3.0...3.6 В
- совместимость с логическими микросхемами (питание 1.8 В)
- программируемый двухмодульный предварительный делитель частоты с коэффициентами деления 4/5 или 8/9
- программируемая выходная мощность
- возможность отключения выхода синтезатора (mute function)
- трехпроводный последовательный интерфейс
- аналоговый и цифровой детекторы захвата частоты
- быстрое переключение частоты.

Как известно, фазовый шум на выходе синтезатора с ФАПЧ в значительной мере определяется характеристиками генератора, управляемого напряжением (ГУН). При малых напряжениях питания для расширения диапазона перестройки приходится увеличивать чувствительность (крутизну характеристики преобразования) ГУН. А это, в свою очередь, приводит к увеличению фазового шума на выходе синтезатора. Расширить диапазон перестройки и снизить уровень фазовых шумов можно при одновременном уменьшении чувствительности и увеличении диапазона изменения напряжения управления ГУН.

Такой подход реализован в широкополосном синтезаторе ADF4351, напряжение источника подкачки заряда которого увеличено до 10 В при напряжении питания синтезатора 3...3.6 В. Такое решение позволило реализовать синтезатор со среднеквадратическим значением джиттера выходного сигнала, не превышающим 0.32 пс.

В синтезатор встроен ГУН с диапазоном перестройки частоты 2200...4400 МГц. Диапазон частот выходного сигнала синтезатора от 35 до 4400 МГц при использовании внешнего фильтра и источника опорной частоты. Наличие дополнительного делителя частоты M с переключаемым коэффициентом деления 1/2/4/8/16/32 или 64 между выходами ГУН и синтезатора позволяет реализовать такой широкий диапазон перестройки частоты.

Лучший из разработанных компанией Analog Devices ранее синтезаторов со встроенным ГУН – ADF4350 – имеет более узкий диапазон частот выходного сигнала и больший уровень шумов, чем ADF4351. В таблице приведены параметры синтезаторов со встроенным ГУН, выпускаемые компанией Analog Devices.

Функциональная схема синтезатора ADF4351 приведена на рис. 1.

Синтезатор содержит делители частоты R (ДФКД) и N (ДПКД), которые построены по схемам, отличающимся от аналогичных синтезаторов с ФАПЧ. Делитель частоты R кроме 10-разрядного счетчика дополнительно содержит умножитель и делитель частоты на два, которые могут отключаться с помощью переключателей $S1$ и $S2$. Такая структура позволяет повысить разрешающую способность синтезатора по частоте. Результирующий коэффициент деления входного делителя R получается равным

$$R_{IN} = \frac{R(1+T)}{1+D}, \quad (1)$$

где D равно 0 или 1, R лежит в диапазоне от 1 до 1023, T равно 0 или 1.

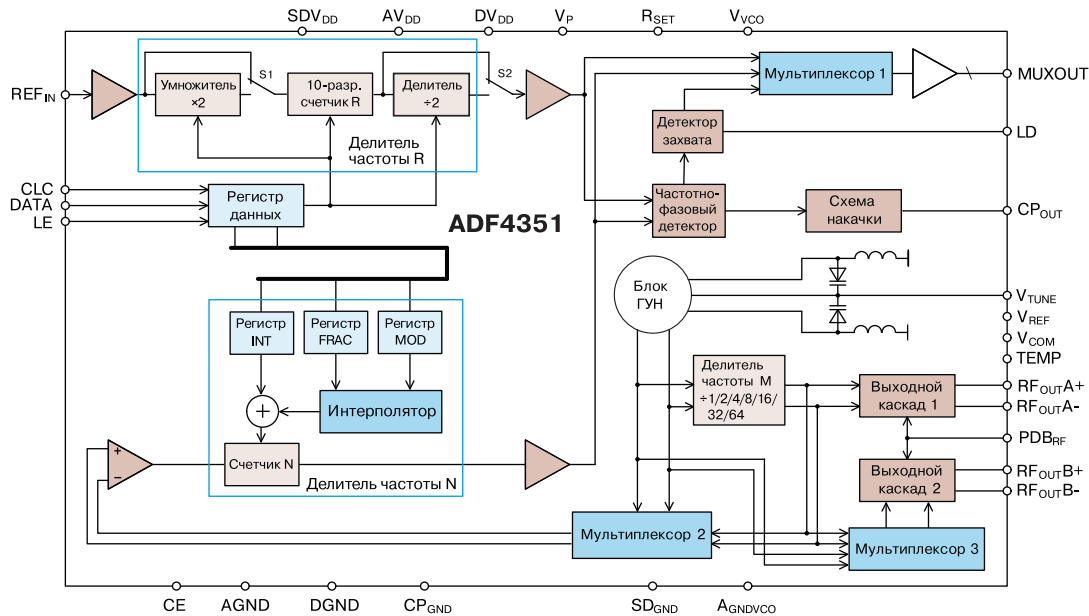


Рис. 1. Функциональная схема синтезатора ADF4351

Значения D и T зависят от положения переключателей $S1$ и $S2$. В верхнем положении $S1$ $D = 0$, в нижнем – $D = 1$. Значение T зависит от положения переключателя $S2$. Как следует из выражения (1), включение дополнительного делителя на два позволяет увеличить частоту опорного генератора в 2 раза.

Сигнал внешнего опорного генератора, максимальная частота которого не должна превышать 250 МГц, подается на вывод REF_{IN} .

Делитель частоты N обеспечивает выбор одного из двух режимов работы: Integer- N или Fractional- N . Коэффициент деления определяется значениями переменных INT , $FRAC$ и MOD и вычисляется по формуле:

$$N = INT + \frac{FRAC}{MOD},$$

где $INT = 23...65\ 535$ (или $75...65\ 535$), $FRAC = 0...MOD - 1$, $MOD = 2...4095$.

При значении $FRAC = 0$ синтезатор работает в режиме Integer- N , в остальных случаях – в режиме Fractional- N .

Контроль работы делителей частоты R , N и детектора захвата можно осуществлять на выходе $MUXOUT$ с использованием первого мультиплексора (Мультиплексор 1).

Частотно-фазовый детектор содержит схему накачки с выходом по току. Такая схема по сравнению с классическим детектором с выходом по напряжению обеспечивает большую линейность.

Блок ГУН состоит из трех генераторов, каждый из которых работает в шестнадцати перекрывающихся диапазонах аналогично синтезатору ADF4350 [2]. Это позволяет обеспечить широкую полосу частот без существенного увеличения коэффициента передачи генератора, управляемого напряжением. Зависимость выходной частоты ГУН от напряжения управления на его входе показана на рис. 2.

С выхода ГУН два противофазных сигнала через программируемый делитель частоты M с коэффициентами деления $1/2/4/8/16/32/64$ подаются на выходной каскад 1, а через мультиплексор 3 – на вход второго выходного каскада. Выходные каскады выполнены в виде дифференциальных усилителей с открытыми коллекторами.

На выходах RF_{OUTA+} и RF_{OUTA-} можно сформировать сигналы с частотой, равной частоте ГУН или поделенной на $2/4/8/16/32/64$, что значительно расширяет функциональные возможности синтезатора.

Выходная мощность на этих выходах задается программно и может быть установлена равной -4 , -1 , $+2$ или $+5$ дБм на нагрузке 50 Ом [1].

На дополнительных выходах RF_{OUTB+} и RF_{OUTB-} можно получить сигналы с частотой ГУН или частотой, сформированной на выходе делителя M с коэффициентами деления $2/4/8/16/32/64$. При необходимости сигналы на выходах RF_{OUTB+} и RF_{OUTB-} могут быть отключены программно. Выходная мощность



Рис. 2. Зависимость выходной частоты ГУН от напряжения управления

может регулироваться ступенями так же, как и на выходах $RF_{OUT}A+$ и $RF_{OUT}A-$.

Такое построение схемы позволяет формировать на разных выходах синтезатора синхронные и синфазные сигналы различной частоты.

Выходная частота ГУН RF_{OUT} может быть рассчитана по формуле:

$$RF_{OUT} = f_{PFD} (INT + (FRAC/MOD)),$$

где f_{PFD} — частота на входе частотно-фазового детектора, рассчитываемая по формуле:

$$f_{PFD} = REF_{IN} [(1 + D)/(R (1 + T))].$$

Рассмотрим характеристики фазового шума отдельных узлов микросхемы, приведенные на рис. 3, 4. На рис. 3, а показана зависимость шума ГУН (при разомкнутой петле ФАПЧ) и всего синтезатора (рис. 3, б) от частоты при различных коэффициентах деления выходного делителя частоты при $f_{ГУН} = 2.2$ ГГц, частоте сигнала на входе фазового детектора

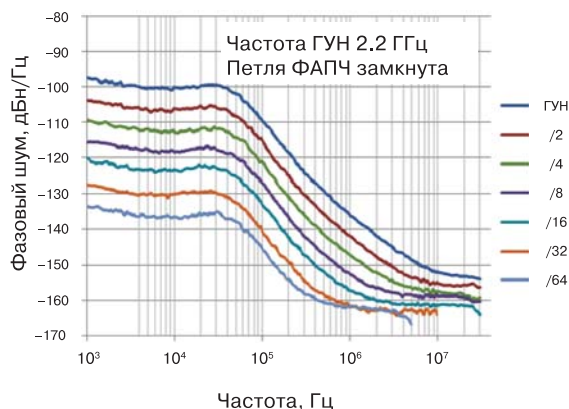
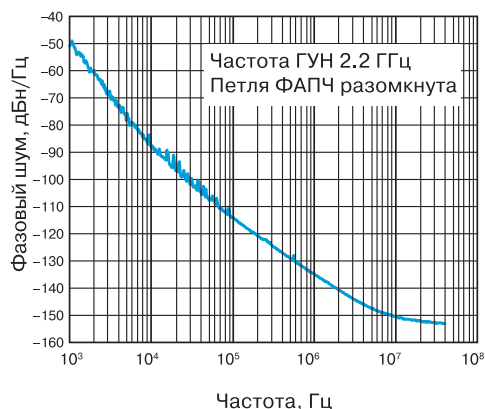


Рис. 3. Шумовые характеристики синтезатора ADF4351 при разомкнутой (а) и замкнутой (б) петле ФАПЧ (частота ГУН 2.2 ГГц)

25 МГц и полосе захвата петли ФАПЧ, равной 43 кГц. Как следует из графиков, фазовый шум уменьшается с ростом частоты и увеличением коэффициента деления счетчика.

Аналогичные характеристики при частоте ГУН, равной 4.4 ГГц, приведены на рис. 4. Сравнение рис. 3 и 4 позволяет сделать вывод о том, что уровень шума с ростом центральной частоты ГУН возрастает.

В приложениях, в которых требуется быстрая перестройка частоты, необходимо обеспечить максимально широкую полосу пропускания фильтра в петле ФАПЧ, что приводит к увеличению уровня фазового шума. В ADF4351 для ускорения процесса перестройки нет необходимости менять параметры фильтра, а достаточно включить режим CSR (Cycle Slip Reduction – уменьшение циклических повторений), в котором процесс перестройки частоты ускоряется, а длительность переходного процесса уменьшается.

Циклические повторения при перестройке частоты возникают в случае, если величина, обратная полосе захвата, становится меньше, чем период колебаний на входе частотно-фазового детектора (ЧФД). На входах ФД фазовая ошибка накапливается так быстро, что петля ФАПЧ не успевает ее отслеживать и исправлять. Схема накачки может формировать импульсы зарядного тока в направлении, противоположном нужному. Это явление увеличивает время захвата. Для устранения этого эффекта в ИМС ADF4351 реализована схема расширения линейного диапазона работы ЧФД, которая позволяет уменьшить время перестройки на другую частоту без изменения параметров фильт-

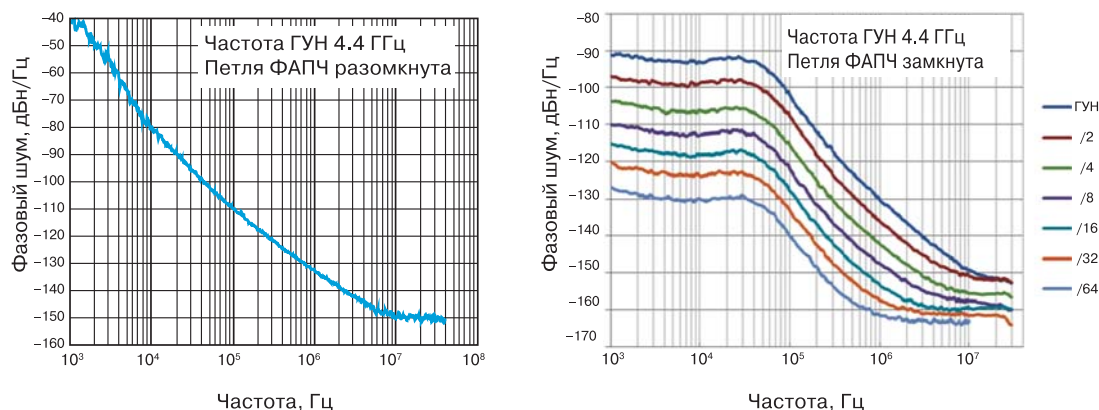


Рис. 4. Шумовые характеристики синтезатора ADF4351 при разомкнутой (а) и замкнутой (б) петле ФАПЧ (частота ГУН 4.4 ГГц)

ра в петле ФАПЧ. Как только начинается явление циклического повторения, схема накачки формирует постоянный ток для ускорения заряда конденсатора фильтра, если частоту ГУН нужно увеличить. Если частоту необходимо понизить, ток заряда конденсатора уменьшается до нуля, ускоряя процесс его разряда. Таким образом, расширяется диапазон линейной работы ЧФД и достигается стабильность работы петли ФАПЧ, поскольку ток заряда конденсатора постоянный, а не пульсирующий.

Следует отметить, что включение режима CSR возможно только в случае, если на входы ЧФД подаются сигналы со скважностью 2 (длительность импульса в два раза меньше длительности периода). Для формирования таких сигналов в синтезаторе предусмотрен делитель частоты на 2, включенный после счетчика R (рис. 1). Этот делитель можно не использовать, если скважность сигнала на выходе счетчика R будет находиться в пределах 1.82...2.22. Для ускорения процессов перестройки ток накачки в режиме CSR устанавливается минимально возможным.

Если погрешность фазы на выходе ЧФД увеличивается в процессе перестройки, то для увеличения тока заряда конденсатора фильтра автоматически подключается еще одна ячейка, формирующая выходной ток схемы накачки. Этот процесс будет продолжаться до тех пор, пока погрешность фазы не начнет уменьшаться. Максимальное число подключаемых ячеек равно 7. Как только синтезатор перестроится на требуемую частоту, все дополнительно подключенные ячейки отключаются и петля ФАПЧ переходит в режим удержания частоты.

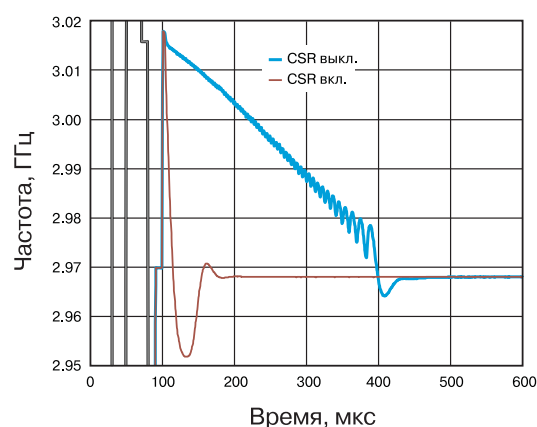


Рис. 5. Графики переходного процесса синтезатора ADF4351 в разных режимах работы

На рис. 5 приведены графики переходного процесса синтезатора в обычном режиме (голубая кривая) и в режиме CSR (красная кривая). Как следует из приведенных графиков, режим CSR позволяет значительно сократить время перестройки синтезатора. Графики построены при изменении частоты на выходе синтезатора от 3070 до 2970 МГц, опорной частоте на входе ЧФД 25 МГц, токе накачки 313 мкА и ширине полосы пропускания ФНЧ 20 кГц [2].

Подробную информацию о схемах включения, режимах программирования, технических характеристиках синтезаторов частоты можно найти в [1] и на web-сайте компании Analog Devices: www.analog.com.

ЛИТЕРАТУРА

1. http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADF4351.pdf.
2. http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADF4350.pdf.



DRY1436EC

Шкафы для долгосрочного хранения компонентов, п/п и модулей в условиях пониженной влажности

Тип	Диапазон регулировки, % RH *	Режим управления	Характеристики
A	20-60	Ручное управление влажностью	Средний уровень влажности
B	10-20		Низкий уровень влажности
C	1-10	Автоматическое управление влажностью	Сверхнизкий уровень влажности

* RH - относительная влажность (Relative Humidity).

- датчики влажности производства компании Honeywell (USA) с погрешностью $\pm 3\%$ RH
- обеспечение автономного доступа к отдельным ячейкам шкафа без существенного изменения влажности в остальных
- шкафы с суффиксом E (черного цвета) имеют антистатическое исполнение
- сертификация на соответствие требованиям стандартов CE по ЭМС
- девять модификаций шкафов с кубатурой от 98 до 1436 литров

CONCO[®]
www.china-esd.com

VD MAIS обеспечивает прямые поставки продукции компании Conco Antistatic Equipment в Украину

тел.: (0-44) 220-0101, 492-8852, (0-57) 719-6718, (0-562) 319-128, (0-62) 385-4947, (0-692) 544-622, (0-32) 245-5478
info@vdmals.kiev.ua, www.vdmals.kiev.ua