

Паутов Е.Р.

Руководитель Якименко К.А.

Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
E-mail: pautovev@yandex.ru

Разработка математических моделей шумовых характеристик импульсных частотно-фазовых детекторов современных микросхем ФАПЧ

Собственный фазовый шум формирователя сигналов радиосистемы оказывает существенное влияние на ее тактико-технические характеристики (дальность действия, разрешающую способность и др.). Поэтому так важно на этапе проектирования формирователя сигналов радиосистемы выбрать элементную базу, обеспечивающую наименьший уровень фазовых шумов выходного сигнала. Основная характеристика фазовых шумов – спектральная плотность мощности (СПМ) фазовых шумов от частоты отстройки. Для анализа шумовых характеристик используются математические модели СПМ фазовых шумов формирователей сигналов. Для синтезаторов на основе систем фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) данные модели складываются из моделей собственных шумов звеньев синтезатора (импульсного частотно-фазового детектора, генератора, управляемого напряжением и др.) [1]. Целью данной работы является разработка математических моделей шумовых характеристик импульсных частотно-фазовых детекторов современных микросхем фирмы Analog Devices.

Современные ИЧФД состоят из двух составных частей: логической (цифровой) и аналоговой (схема «накачки» заряда). Выражения для расчета СПМ фазовых шумов обеих частей ИЧФД [2]:

$$S_{ИЧФД}(F) = S_{ИЧФДЛЧ}(F) + S_{ИЧФДАЧ}(F) = \frac{4\pi^2}{f_{cp}^{-2}} K_{ИЧФД}^2 \left(\frac{8KT}{3s_{mn}} \left(\frac{f_a}{F} + 1 \right) \right) + \frac{4 \left(4KTs_{mp} \left(\frac{f_a}{F} + 1 \right) \right)}{S_{ИЧФД}} \left(\frac{\tau}{f_{cp}} \right)^2, \quad (1)$$

где $K_{ИЧФД}$ – усредненный коэффициент чувствительности для логической схемы ИЧФД, $s_{тр}$ – крутизна проходной характеристики транзистора при максимальном токе в области переключения, $s_{ИЧФД}$ – крутизна дискриминационной характеристики ИЧФД, $\tau_{сбр}$ – длительность импульсов сброса триггеров.

На основе обобщенной модели были разработаны математические модели шумовых характеристик для серии интегральных микросхем [3]. Данные модели представлены в таблице 1.

Таблица 1

Название микросхемы	Математическая модель
ADF4106	$S_{ИЧФД}(F) = f_{cp}^2 \left(\frac{10^{-26,45}}{F} + 10^{-28,45} \right)$
ADF4107	$S_{ИЧФД}(F) = f_{cp}^2 \left(\frac{10^{-26,25}}{F} + 10^{-28,25} \right)$
ADF4108	$S_{ИЧФД}(F) = f_{cp}^2 \left(\frac{10^{-26,31}}{F} + 10^{-28,3} \right)$
ADF4113	$S_{ИЧФД}(F) = f_{cp}^2 \left(\frac{10^{-27,304}}{F} + 10^{-29,3} \right)$
ADF4118	$S_{ИЧФД}(F) = f_{cp}^2 \left(\frac{10^{-24,91}}{F} + 10^{-26,91} \right)$
ADF4158	$S_{ИЧФД}(F) = f_{cp}^2 \left(\frac{10^{-27,4}}{F} + 10^{-29,4} \right)$

На рис. 1 приведен пример моделирования СПМ фазовых шумов интегральных микросхем ФАПЧ ADF4108 и ADF4113 и сравнения с экспериментальными данными. В качестве моделей

СПМ фазовых шумов ИЧФД использовались разработанные модели, представленные в таблице 1.

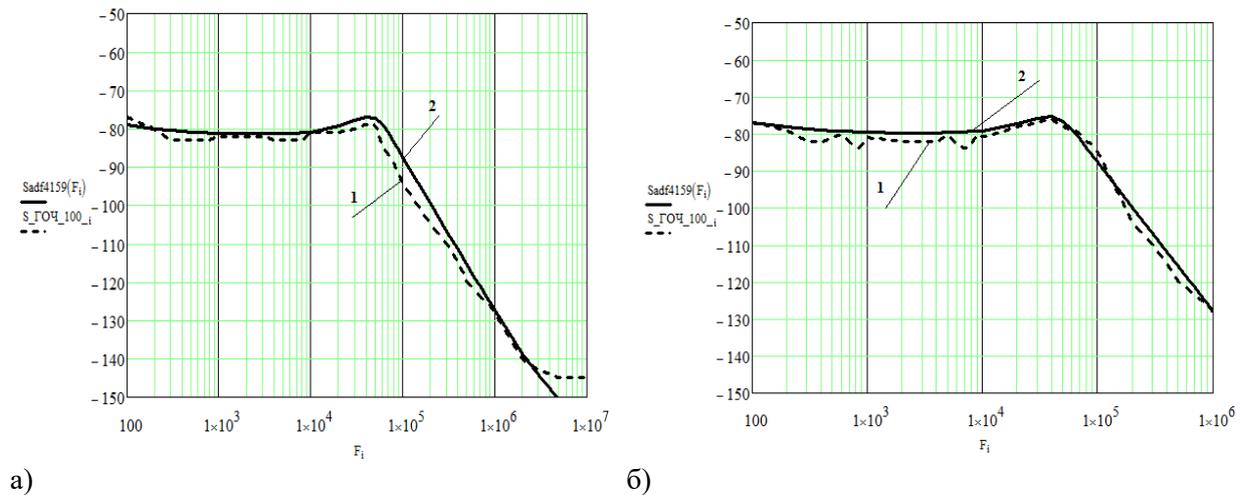


Рис.1. Экспериментальная (кривая 1) и теоретически рассчитанная (кривая 2) СПМ фазовых шумов для интегральных микросхем ADF4108 (а) и ADF4113 (б)

Из рис.1 видно, что теоретически рассчитанные кривые СПМ фазовых шумов практически совпадают с экспериментальными данными. Математические модели СПМ фазовых шумов позволяют проводить предварительный анализ шумовых характеристик синтезаторов частот. Разработанные модели будут использованы для пополнения базы данных моделей шумовых характеристик специализированного программного средства для моделирования СПМ фазовых шумов гибридных синтезаторов частот.

Литература

1. Рыжков, А.В. Синтезаторы частот в технике радиосвязи / А.В. Рыжков, В.Н. Попов. – М.: Радио и связь, 1991. – 264 с
2. Жабин, А.С., Кулешов В.Н. Собственные шумы ИЧФД и их влияние на работу синтезатора частот / А.С. Жабин, В.Н. Кулешов, А.В. Голубков // Вестник МЭИ. – №1. – 2011.
3. Официальный сайт Analog Devices [Электронный ресурс]: 2019. URL: <https://www.analog.com>.