

Разработка модели относительной спектральной плотности фазовых шумов цифровых вычислительных синтезаторов

Л.В.Ромашова

Муромский институт Владимирского государственного университета

602264, г Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, 23

E-mail: rt@mivlgu.ru

Для оценки качества источников гармонических колебаний используют понятие относительной спектральной плотности мощности (ОСП) фазовых нестабильностей в полосе 1 Гц. ОСП фазовых флуктуаций состоит из двух составляющих: вызванной фликкер-шумом и аддитивной, имеющей равномерный спектр в широкой полосе частот относительно несущей частоты.

Наиболее часто для представления относительных спектральных плотностей фазовых флуктуаций различных устройств используют модель, основанную на степенных функциях вида [1]

$$S_{\varphi}(F) = \sum_{\alpha=-4}^0 h_{\alpha} F^{\alpha}, \quad 0 \leq F \leq F_h, \quad \text{где } F \text{ – отстройка от центральной частоты, постоянная } h_{\alpha} \text{ слу-}$$

жит мерой шума, а F_h – верхняя граничная частота.

Анализ ОСП фазовых шумов цифровых вычислительных синтезаторов показал, что ее можно представить как сумму 3-х составляющих: вызванной белым частотным шумом ($\alpha=-2$), фазовым фликкер-шумом ($\alpha=-1$) и белым фазовым шумом ($\alpha=0$)– аддитивной составляющей.

Аддитивная составляющая ОСП фазовых флуктуаций выходного сигнала цифровых вычислительных синтезаторов DDS определяется: разрядностью N , относительным диапазоном используемого сигнала A и передаточной характеристикой ЦАП [2,3], значением тактовой частоты синтезатора [2] и отношением синтезируемой к тактовой частоте f_{out}/f_T .

Получено общее выражение для аддитивной составляющей ОСП фазовых флуктуаций идеального цифрового синтезатора

$$S_0 = 2^{-2N-0,59} A^{-2} \left(\sin \left(\pi \frac{f_{out}}{f_0} \right) / \pi \frac{f_{out}}{f_0} \right)^{-2} \left(\frac{f_{out}}{f_0^2} \right). \quad (1)$$

В таблице приведены рассчитанные и экспериментальные значения аддитивной составляющей ОСП фазовых флуктуаций для некоторых интегральных DDS.

Микросхема	Разряды ЦАП, N	f_T , МГц	f_{out} , МГц	ОСП фазовых флуктуаций, дБ/Гц:		Погрешность, дБ/Гц
				экспериментальные	рассчитанные	
AD9859	10	400	159,5	-142	-146	-4
AD9854	12	300	80	-152	-160	-8
AD9913	10	250	92,3	-145	-145	0
AD9911	10	500	151	-163	-164	-1
AD9958	10	500	100,3	-154	-152	2
AD9912	14	1000	400	-160	-174	-14
AD9956	14	400	159	-142	-170	-28

Для серии 98 погрешность составляет в среднем 3 -4 дБ/Гц, а для 99 серии погрешность практически равна 0 при $N=10$. В обоих случаях погрешность возрастает с увеличением N из-за неидеальной элементной базы синтезаторов и уменьшается с увеличением тактовой частоты.

С помощью пакета Mathcad получены коэффициенты аппроксимации $h_{-2} = 10^{-8.3} (f_{out} / f_t)^2$, $h_{-1} = 10^{-9} (f_{out} / f_t)^2$, $h_0 = 10^{-14.8} (f_{out} / f_t)$, причем значение для коэффициента h_0 совпадает со значением, полученным по выражению (1) для аддитивной составляющей.

Общее выражение для ОСП фазовых шумов выходного сигнала цифрового вычислительного синтезатора записывается в виде

$$S(F) = \frac{10^{-8.3}}{F^2} \left(\frac{f_{out}}{f_t} \right)^2 + \frac{10^{-9}}{F} \left(\frac{f_{out}}{f_t} \right)^2 + 2^{-2N-0.59} A^{-2} \left(\frac{\sin\left(\pi \frac{f_{out}}{f_0}\right)}{\pi \frac{f_{out}}{f_0}} \right)^{-2} \left(\frac{f_{out}}{f_0^2} \right). \quad (2)$$

Полученным выражением хорошо аппроксимируются ОСП фазовых шумов вычислительных синтезаторов AD9911, AD9913A, AD9958 и других. На рис. 1 приведены рассчитанные $S_2 = h_{-2}F^{-2}$, $S_1 = h_{-1}F^{-1}$, S_0 , $S = S_2 + S_1 + S_0$ и реальные S_{40_9911} ОСП синтезатора AD9911 при выходной частоте 40 МГц и тактовой частоте 500 МГц [4]. На рис. 2 приведены теоретические и экспериментальные зависимости ОСП фазовых шумов микросхемы DDS AD9913 для выходных частот 92, 48, 23 МГц.

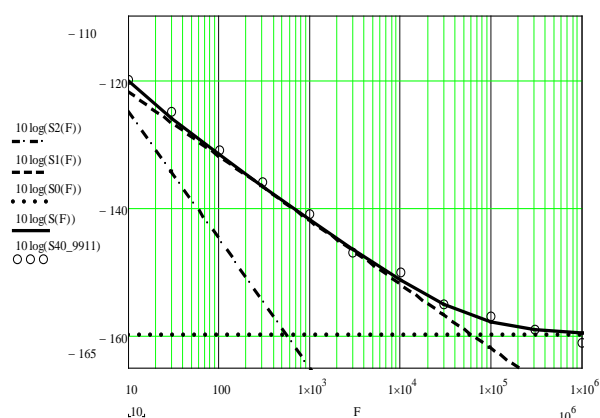


Рис.1

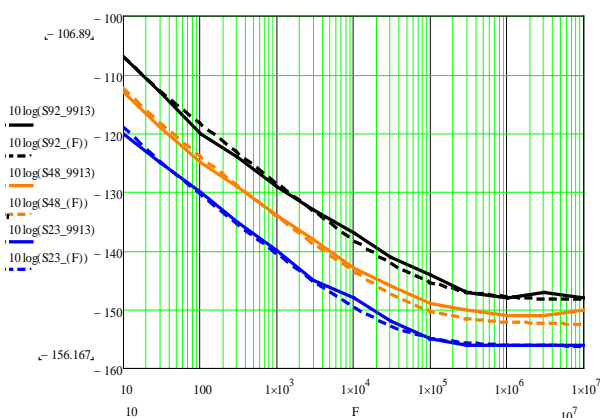


Рис. 2

Таким образом, полученное выражение для модели ОСП позволяет с достаточной точностью производить теоретическую оценку уровня фазовых флуктуаций цифровых вычислительных синтезаторов и может быть использовано для анализа ОСП формирователей сигналов в целом.

Литература.

1. Рютман Ж. Характеристики нестабильности фазы и частоты сигналов высокостабильных генераторов: Итоги развития за пятнадцать лет // ТИИЭР. - 1978. - Т.66, №9. - С.70 - 102.
2. A Technical Tutorial on Digital Signal Synthesis. Copyright. ©1999 Analog Devices, Inc.
3. Макаренко В. Синтезаторы частоты прямого цифрового синтеза. Chip-news, №6 (109), 2006. с.24-27.
4. AD9911.pdf (www.analog.com).