

Ромашов В.В., Сочнева Н.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: romashovmuro@mail.ru, sochnewa.natalya@yandex.ru

Математическая модель шумовых характеристик быстродействующего цифроаналогового преобразователя AD9164

В последние годы большое распространение получили радиотехнические и телекоммуникационные устройства, содержащие формирователи высокочастотных сигналов, построенные с использованием быстродействующей цифровой техники. Это, в частности, быстродействующие (высокочастотные) цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП), позволяющие формировать радиосигнал непосредственно на несущей частоте.

Одной из основных технических характеристик, определяющей качество цифровых вычислительных синтезаторов, является спектральная плотность мощности (СПМ) фазовых шумов $S_{\varphi}(F)$, которая характеризуется отношением мощности шумов на частоте F одной боковой полосы в полосе частот 1 Гц к мощности сигнала.

Для представления спектральных плотностей мощностей фазовых флуктуаций цифровых вычислительных синтезаторов (ЦВС), основной составляющей частью которых являются ЦАП, предложена математическая модель [1], основанная на степенных функциях вида

$$S(F) = K_{\text{ЦВС}}^2 \left(\frac{10^{k_2}}{F^2} + \frac{10^{k_1}}{F} + 10^{k_4} \right) + 10^{k_3} + S_{\text{кв}}, \quad (1)$$

где коэффициенты k_1, k_2, k_3, k_4 определяют уровень СПМ $1/F^2$ шума, $1/F$ шума, естественной шумовой составляющей входных цепей и естественной шумовой составляющей сопротивления нагрузки, соответственно, F - отстройка от несущей частоты, $K_{\text{ЦВС}} = f_{\text{out}}/f_T$ - коэффициент передачи ЦВС, f_{out} и f_T - выходная и тактовая частоты ЦВС,

$S_{\text{кв}} = 2^{-2N-0,59} \left(\frac{f_{\text{out}}}{f_T^2} \right) \left(\frac{\sin(\pi K_{\text{ЦВС}})}{\pi K_{\text{ЦВС}}} \right)^{-2}$ - шумы квантования, N - количество разрядов ЦАП.

ЦАП.

В [2] предложен алгоритм определения коэффициентов СПМ фазовых шумов k_i по экспериментальным шумовым характеристикам, приводимым в данных интегральных ЦВС, количество которых очень ограничено.

Коэффициент k_1 определяет уровень фликкер-шумов $1/F$, ему соответствует линейный участок СПМ фазовых шумов в диапазоне частот 100-10000 Гц. Поэтому для средней частоты $F=1000$ Гц выражение для него можно записать в виде:

$$k_1 = \lg \left(\frac{10^{-S_{\text{дБ}}(F, f_{\text{out min}})/10} F}{(K_{\text{ЦВС min}})^2} \right)_{\text{при } F=1000 \text{ Гц}}. \quad (2)$$

Здесь $S_{\text{дБ}}(F, f_{\text{out min}})$ - значение СПМ фазового шума в дБ/Гц, определяемое для наименьшей выходной частоты $f_{\text{out min}}$ ЦВС (наименьший $K_{\text{ЦВС min}} = f_{\text{out min}}/f_T$), для которой имеются экспериментальные спектральные характеристики. При этом не будут сказываться шумы тактового генератора, а также другие составляющие собственного шума ЦВС.

Величина k_2 определяет уровень белого частотного шума $1/F^2$, который определяется для минимальной частоты отстройки $F=10$ Гц

$$k_2 = \lg \left(\frac{10^{-S_{\text{дБ}}(F, f_{\text{out min}})/10} F^2}{(K_{\text{ЦВС min}})^2} - 10^{k_1} F \right)_{\text{при } F=10 \text{ Гц}}. \quad (3)$$

Коэффициенты для естественных составляющих определяются для частот отстройки $F \geq 1$ МГц, когда фликкер-шумы равны нулю, для наименьшей выходной частоты ЦВС (желательно, когда $K_{ЦВС\min} = f_{out}/f_T \leq 0,02$)

$$k_3 = \lg \left(10^{-S_{об}(F, f_{out\min})/10} - 2^{-2N-0,59} \frac{f_{out\min}}{f_T^2} \right)_{при F=10^6 \text{ Гц}}, \quad (4)$$

а коэффициент k_4 определяется для максимальной выходной частоты синтезатора для $K_{ЦВС\max} = f_{out\max}/f_T$

$$k_4 = \lg \left(\frac{10^{-S_{об}(F, f_{out\max})/10} - 10^{k_3}}{(K_{ЦВС\max})^2} - 2^{-2N-0,59} \frac{1}{f_{out\max}} \right)_{при F=10^6 \text{ Гц}}. \quad (5)$$

Результаты расчета коэффициентов для цифро-аналогового преобразователя AD9164 $k_1 = -8,434$, $k_2 = -5,743$, $k_3 = -17,1$, $k_4 = -15,804$.

Рассчитанные шумовые характеристики с использованием полученной модели и сравнение их с экспериментальными приведены на рис. 1, 2.

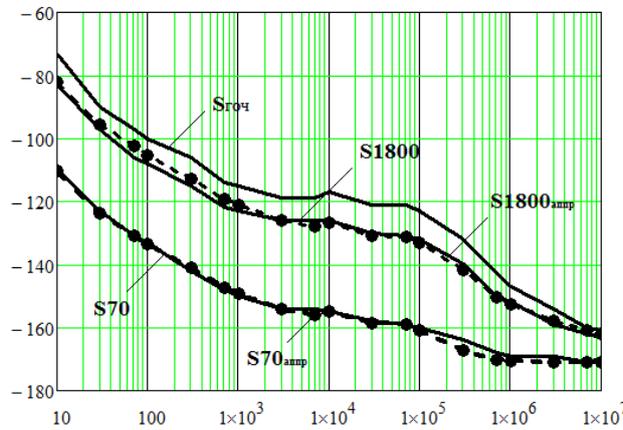


Рис. 1 – Рассчитанные и экспериментальные шумовые характеристики ЦВС AD9164 для $f = 70$ МГц и 1800 МГц

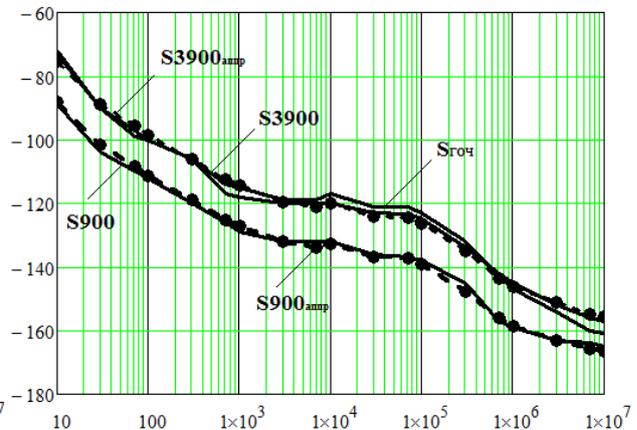


Рис. 2 – Рассчитанные и экспериментальные шумовые характеристики ЦВС AD9164 для $f = 900$ МГц и 3900 МГц

Анализ СПМ фазовых шумов на рисунках 1, 2 показывает, что экспериментальные справочные данные из описания микросхемы AD9164 совпадают с результатами математического моделирования. Это позволяет сделать вывод о том, что для данной тактовой частоты, формируемой ГОЧ, коэффициенты рассчитаны верно. Рассчитанные коэффициенты аппроксимации можно использовать для математического моделирования, но только для основной полосы формируемых частот, т.е. в режиме NRZ. Для других режимов потребуется дополнительная корректировка коэффициентов аппроксимации с учетом коэффициента передачи ЦАП.

Литература

1. Romashov, V.V. Research of Phase Noise of Direct Digital Synthesizers/V.V. Romashov, L.V. Romashova, K.K. Khramov//Proceedings of the 2011 IEEE International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON, Krasnoyarsk: Siberian Federal University. Russia, Krasnoyarsk, September 15-16, 2011. - IEEE Catalog Number: CFP11794-CDR. -Pp. 168-171.
2. Ромашов, В.В. Методика расчета коэффициентов аппроксимации спектральной плотности мощности фазовых шумов цифровых вычислительных синтезаторов/В.В. Ромашов, Л.В. Ромашова// Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2012. - №3. С. 23-26.