

Ромашов В.В., Ромашова Л.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: romashovmurot@mail.ru

Регрессионные модели шумовых характеристик быстродействующих цифро-аналоговых преобразователей

Для анализа шумовых характеристик радиоустройств широко применяются математические модели спектральной плотности мощности (СПМ) фазовых шумов на основе степенных функций, позволяющие обойтись без сложных экспериментальных исследований.

Такие модели известны для всех основных функциональных узлов радиосистем: генераторов, детекторов, умножителей частоты, цифровых вычислительных синтезаторов частот (ЦВС). В [1] предложена модель СПМ фазовых шумов ЦВС вида

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

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 (или ЦАП), f_{out} и f_T - выходная и тактовая частоты ЦВС,

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

ЦАП. Так как основой ЦВС является ЦАП, то формулу (1) можно использовать и для цифро-аналогового преобразователя.

Воспользуемся экспериментальными шумовыми характеристиками быстродействующего ЦАП AD9164 [2] (рис. 1) и получим коэффициенты k_1 и k_2 модели СПМ остаточных фазовых шумов

$S_{\text{ЦАП}}(F)$ на основе регрессии выборки данных линейной комбинацией функций вида $\sum_{i=0}^2 C_i F^{-i}$ с

помощью программы Маткад для минимальной выходной частоты 70 МГц по формулам

$$k_1 = \lg C_1, \quad k_2 = \lg C_2. \quad (2)$$

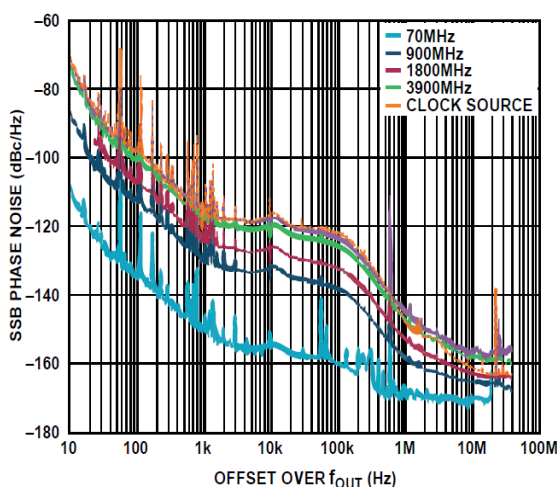


Рис. 1 Односторонняя спектральная плотность мощности фазовых шумов ЦАП AD9164 (с учетом шумов опорного генератора) при частоте опорного генератора $f_T=6$ ГГц

Коэффициенты k_3 и k_4 определяются из [1] для частоты отстройки $F=10$ МГц для различных выходных частот ЦВС $f_{\text{out1}} \setminus f_{\text{out2}}$ (900 МГц и 70 МГц)

$$k_4 = \lg \left(\frac{10^{S_{\text{дБ}}(F, f_{\text{out1}})/10} - 10^{S_{\text{дБ}}(F, f_{\text{out2}})/10}}{\left(\frac{f_{\text{out1}}}{f_T} \right)^2 - \left(\frac{f_{\text{out2}}}{f_T} \right)^2} \right), \quad (3)$$

$$k_3 = \lg \left(10^{S_{\text{дБ}}(F, f_{\text{out2}})/10} - 10^{k_4} \left(\frac{f_{\text{out2}}}{f_T} \right)^2 \right). \quad (4)$$

Полученные по выражениям (2-4) значения коэффициентов модели СПМ фазовых шумов для ЦАП AD9164 равны $k_1=-8,77$, $k_2=-5,64$, $k_3=-15,45$, $k_4=-17$. С учетом фазовых шу-

мов опорного генератора результирующая СПМ фазовых шумов ЦАП

$$S_{AD9164}(F) = S_{ЦАП}(F) + S_{ГОЧ}(F)K_{ЦАП}^2.$$

Рассчитанные шумовые характеристики с использованием полученной модели и сравнение их с экспериментальными приведены на рис. 2а,б. Как видно, погрешность модели, особенно на невысоких выходных частотах ЦАП, практически равна нулю.

Таким образом, предлагаемый подход к аппроксимации экспериментальных шумовых ха-

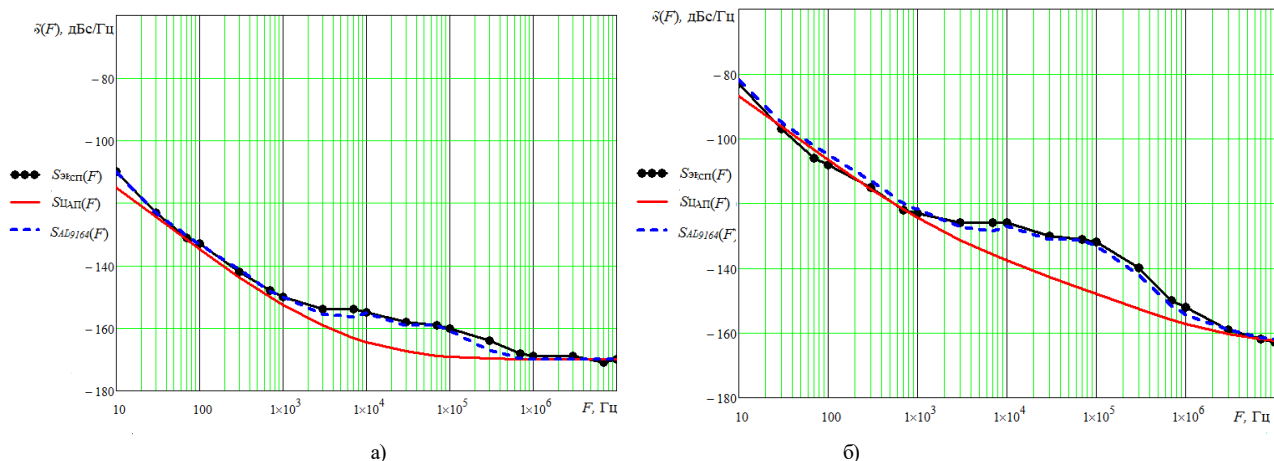


Рис. 2 Теоретические и экспериментальные СПМ фазовых шумов быстродействующего ЦАП AD9164 при частоте опорного генератора 6 ГГц

а) для выходной частоты 70 МГц б) для выходной частоты 1800 МГц

рактеристик быстродействующих ЦАП на основе регрессионных математических моделей спектральной плотности мощности фазовых шумов позволяет получить приемлемую точность и использовать полученные модели для теоретических расчетов шумовых характеристик радиотехнических систем и устройств.

Литература

1. Romashov V.V., Romashova L.V., Khramov K.K. The regression model of power spectral density of phase noise of direct digital synthesizers // 2016 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2016; National Research University "Higher School of Economics" Moscow; Russian Federation; 12 May 2016 through 14 May 2016; Category number CFP16794-CDR; Code 122173.
2. <https://www.analog.com/ru/products/ad9164.html>.