

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: romashovamur@mail.ru, sochnewa.natalya@yandex.ru*

### **Математическая модель шумовых характеристик быстродействующего цифроаналогового преобразователя LTC2000AF**

Одной из основных технических характеристик, определяющих качество устройств формирования радиосигналов, является спектральная плотность мощности (СПМ), представляющая собой отношение мощности шумов на частоте  $F$  одной боковой полосы в полосе частот 1 Гц к мощности сигнала.

В техническом описании рассматриваемого цифро-аналогового преобразователя LTC2000AF приводится лишь несколько значений уровня СПМ фазовых шумов для величин тактовой частоты 672 МГц и выходной частоты 151 МГц, что говорит о недостаточности данных для формирования математической модели спектральной плотности мощности фазовых шумов в одной боковой полосе на основании экспериментальных шумовых характеристик.

Одним из методов формирования математической модели СПМ фазовых шумов в одной боковой полосе ЦАП при недостаточности исходных данных является модель для ЦВС[1], основанная на степенных функциях вида:

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

где  $F$  - отстройка от несущей частоты,  $K_{ЦАП} = f_{out} / f_T$  - коэффициент передачи ЦАП,  $f_{out}$  и  $f_T$  - выходная и тактовая частоты ЦАП,  $S_{кв} = 2^{-2N-0,59} \left( \frac{f_{out}}{f_T} \right) \left( \frac{\sin(\pi K_{ЦАП})}{(\pi K_{ЦАП})} \right)^2$  - шумы

квантования,  $N$  - количество разрядов ЦАП.

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. С учетом методики расчета данных коэффициентов на основе экспериментальных характеристик, приведенной в [2], для исследуемого ЦАП LTC2000AF величины коэффициентов:  $k_1=-9,4, k_2=-7,2, k_3=-13,7, k_4=-13,3$ .

На рис. 1 приведено сравнение экспериментальных характеристик ЦАП с построенными по полученным моделям.

Спад экспериментальной характеристики в области отстроек с частотой выше 100 кГц обусловлен влиянием СПМ фазовых шумов генератора опорной частоты, использовавшегося в экспериментальных измерениях. В состав данного генератора входит система ФАПЧ с частотой среза фильтра около 100 кГц.

Погрешность моделирования спектральной плотности мощности фазовых шумов на частоте отстройки 100 Гц достигает максимального значения, равного 2 дБн/Гц. На других частотах отстройки погрешность значительно меньше.

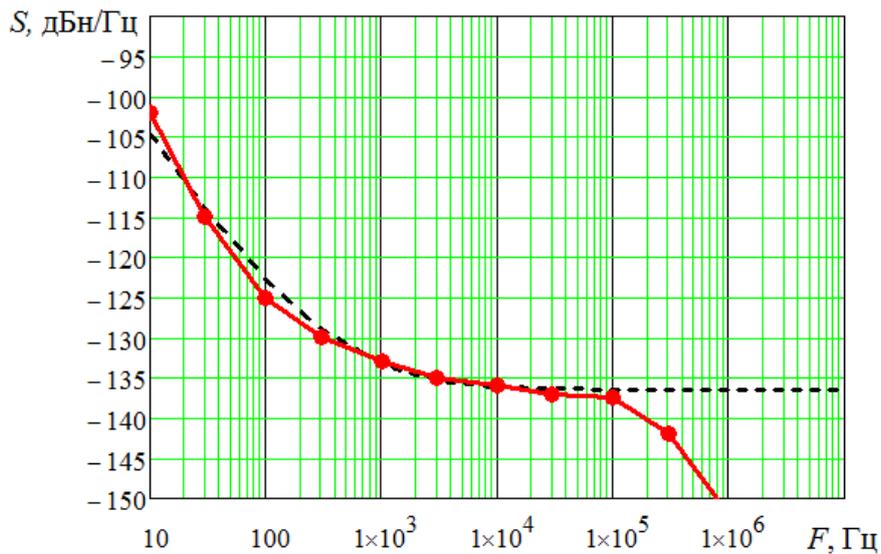


Рис. 1 – Рассчитанные и экспериментальные шумовые характеристики ЦАП LTC2000AF

Можно увидеть практически полное совпадение результатов математического моделирования со справочными данными из описания микросхемы LTC2000AF. Это говорит о применимости разработанных моделей для оценки шумовых характеристик формирователей высокочастотных сигналов без создания экспериментального образца.

### Литература

1. В.В.Ромашов, Л.В.Ромашова, И.Д.Грошков, Н.А.Сочнева Математические модели шумовых характеристик цифро-аналоговых преобразователей // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2021, №2. С. 50 – 57.
2. Л.В.Ромашова, Н.А.Сочнева Обзор методов моделирования шумовых характеристик устройств формирования радиосигналов // Методы и устройства передачи и обработки информации. 2021, выпуск 23. С. 55 – 61.