

Сравнение шумовых свойств систем ИФАПЧ в режиме умножения частоты

В.В.Ромашов, А.Н.Фомичев, А.В.Трофимов

Муromский институт Владимирского государственного университета

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

E-mail: rt@mivlgu.ru

При формировании высокочастотных сигналов используются синтезаторы частот с последующим умножением или преобразованием частоты. Применение умножителей частоты увеличивает уровень шумов пропорционально квадрату коэффициенту умножения, что при большом его значении существенно ухудшает спектральную частоту выходного сигнала. В ряде случаев используют в качестве умножителей систему ФАПЧ, например, в интегральных микросхемах DDS синтезаторов с целью повышения тактовой частоты. При этом система автоподстройки вносит свои собственные шумы, величина которых и распределение по частоте зависят от параметров схемы.

Целью данной работы является исследование вносимых системой ФАПЧ фазовых шумов от коэффициента умножения.

Получены выражения для относительной спектральной плотности (ОСП) фазовых флуктуаций на выходе системы ФАПЧ с делителями частоты

$$S_{\text{ФАПЧ}}(F) = \left[\frac{S_{\text{ГОЧ}}(F)}{N1^2} + S_{\text{ДФКД}}(F) + S_{\text{ДПКД}}(F) + \frac{S_{\text{ЧФД}}(F) + S_{\text{ФНЧ}}}{E_{\text{ЧФД}}^2} \right] \cdot |H_{31}(F)|^2 + S_{\text{ГУН}}(F) \cdot |H_{32}(F)|^2,$$

системы ФАПЧ со смесителем

$$S_{\text{ФАПЧ}}(F) = \left[\frac{S_{\text{ГОЧ}}(F)}{N1^2} + S_{\text{ДФКД}}(F) + \frac{S_{\text{ЧФД}}(F) + S_{\text{ФНЧ}}}{E_{\text{ЧФД}}^2} - S_{\text{ДПКД}}(F) - \frac{S_{\text{СМ}}(F)}{N2^2} + \frac{S_{\text{УЧ}}(F)}{N2^2} + \left(\frac{N3}{N2} \right)^2 \left(\frac{S_{\text{ГОЧ}}(F)}{N1^2} + S_{\text{ДФКД}}(F) \right) \right] \cdot |H_{31}(F)|^2 + S_{\text{ГУН}}(F) \cdot |H_{32}(F)|^2,$$

двухкольцевой ФАПЧ

$$S_{\text{ФАПЧ}}(F) = \left[S_{\text{ГОЧ}}(F) + \frac{S_{\text{ЧФД}}(F) + S_{\text{ФНЧ}}}{E_{\text{ЧФД}}^2} - S_{\text{ДФКД}}(F) - \left[\frac{1}{N3^2} (S_{\text{СМ}2}(F) - S_{\text{ФС}1}(F)) \right] \right] \times \\ \times |H_{31\ 2}(F)|^2 + S_{\text{ГУН}2}(F) \cdot |H_{32\ 2}(F)|^2, \\ S_{\text{ФС}1}(F) = \left[\left(\frac{1}{N1} + \frac{1}{N_k N2} \right)^2 S_{\text{ГОЧ}}(F) + S_{\text{ДФКД}}(F) + \frac{S_{\text{ЧФД}}(F) + S_{\text{ФНЧ}}}{E_{\text{ЧФД}}^2} - S_{\text{ДПКД}}(F) - \frac{S_{\text{СМ}1}(F)}{N2^2} \right] \times \\ \times |H_{31\ 1}(F)|^2 + S_{\text{ГУН}2}(F) \cdot |H_{32\ 1}(F)|^2,$$

где символами S обозначены относительные спектральные плотности фазовых шумов соответствующих каскадов: $S_{\text{ГОЧ}}$ – генератора опорной частоты, $S_{\text{ГУН}}$ – генератора, управляемого напряжением, $S_{\text{ДФКД}}$ – делителя частоты с фиксированным коэффициентом деления, $S_{\text{ДПКД}}$ – делителя

частоты с переменным коэффициентом деления, $S_{\text{ЧФД}}$ – частотно-фазового детектора, $S_{\text{ФНЧ}}$ – фильтра нижних частот, $S_{\text{СМ}}$ – смесителя, $S_{\text{УЧ}}$ – умножителя частоты, F – частота отстройки от несущего колебания, H_{31} и H_{32} – передаточные функция колец ИФАПЧ по внешним и внутренним шумам, $N1, N2, N3$ – коэффициенты деления соответствующих делителей частоты.

Рассчитанные в программе Mathcad зависимости ОСП приведены на рис. 1 и рис. 2. Здесь принят коэффициент деления $N1=12$.

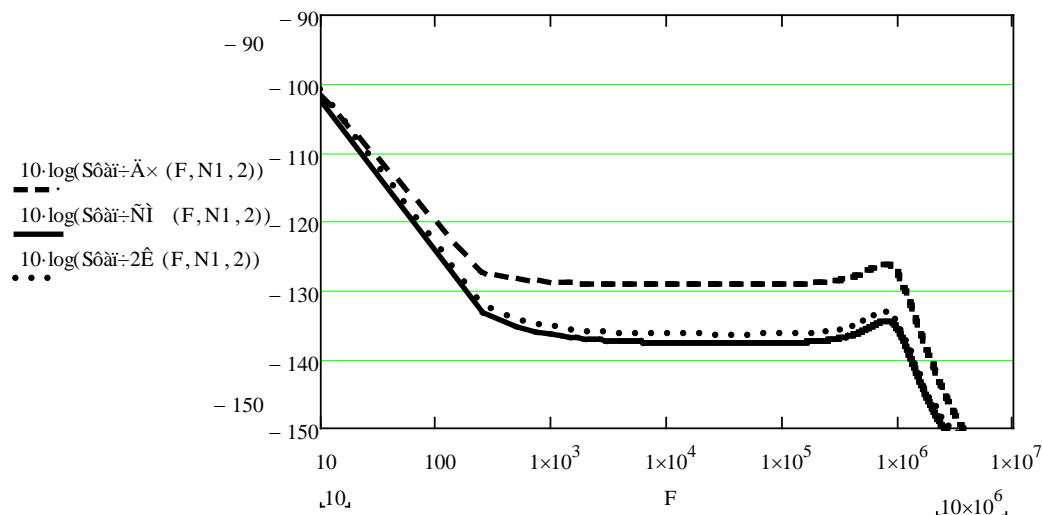


Рис. 1. Зависимость ОСП фазовых шумов различных систем ИФАПЧ от частоты отстройки для коэффициента умножения 2.

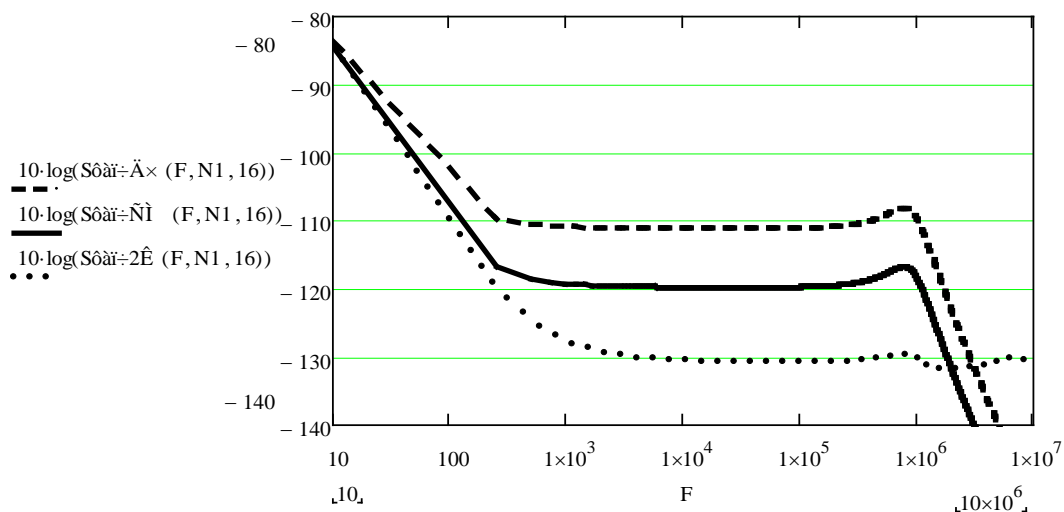


Рис. 2. Зависимость ОСП фазовых шумов различных систем ИФАПЧ от частоты отстройки для коэффициента умножения 16.

Видно, что при малых коэффициентах умножения системы ФАПЧ со смесителем и двухкольцевая имеют примерно одинаковый уровень фазовых флуктуаций и меньший, чем ИФАПЧ с делителями частоты, на 8 дБ. При коэффициентах умножения $K=16$ двухкольцевая ИФАПЧ уже имеет на 10 дБ меньше фазовые шумы, чем ИФАПЧ со смесителем и на 18 дБ меньше, чем система ИФАПЧ с делителями частоты.

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать вывод, что простейшая система ИФАПЧ с делителями частоты при использовании в качестве умножителя частоты имеет существенно больший уровень фазовых флуктуаций, чем другие системы ИФАПЧ.