

А.В. Леншин, В.П. Сидорчук, Д.В. Смирнов
 ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
 г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а
 andrey-lenshin@yandex.ru

Нелинейная модель системы импульсно-фазовой автоподстройки частоты

В радиопередающих устройствах многих систем радиосвязи нашли широкое применение синтезаторы частот (СЧ) на основе систем импульсно-фазовой автоподстройки частоты (ИФАПЧ) с частотно-фазовым детектором (ЧФД) с зарядовой накачкой (ЗН). Такие синтезаторы частот с дробно-переменными коэффициентами деления (ДДПКД) с дельта-сигма модуляторами (ДСМ) в схеме ИФАПЧ имеют ряд преимуществ: возможность получения сетки частот с мелким шагом в однокольцевом синтезаторе при сравнительно высокой частоте сравнения; улучшенные шумовые характеристики из-за малого коэффициента деления ДДПКД; высокое быстродействие [1]. Наличие ДДПКД с ДСМ в системе ИФАПЧ синтезатора приводит к появлению в спектре выходного сигнала помех дробности (ПД), которые искажают выходной сигнал [2, 3].

Целью настоящей работы является получение нелинейной модели системы ИФАПЧ, в которой частотная и фазовая модуляция выходного сигнала реализуется с помощью дельта-сигма модулятора, управляющего дробными делителями частоты для определения отношения (С/ИП) уровня сигнала (действующего значения амплитуды модулируемого сигнала) к уровню интегральной помехи (среднеквадратическому значению помех дробности и помех квантования по уровню в АЦП) на выходе системы ИФАПЧ.

Структурная схема исследуемой системы ИФАПЧ приведена на рисунке 1. Ток $i_d(t)$ имеет импульсный характер и его вид зависит от очередности поступления на вход ЧФД сигналов $e_0(t)$ и $e_c(t)$. ДСМ MASH1111, состоит из 4-х последовательно включенных накапливающих сумматоров (НС) ($x+y$ и элемента задержки Д) и схемы кодирования, состоящей из 3-х сумматоров и 3-х элементов задержки. На схему кодирования с выхода НС поступают сигналы переполнения П. Период последовательности импульсов ΔN_n зависит от емкости НС m , порядка ДСМ и числа $a = a_d + a_m(t)$, поступающего на вход первого НС (a_d определяет дробную составляющую частоты $\omega_{yT}(t)$, $a_m(t)$ – модуляционную составляющую частоты $\omega_{yT}(t)$ (фазы $\varphi_{yT}(t)$)).

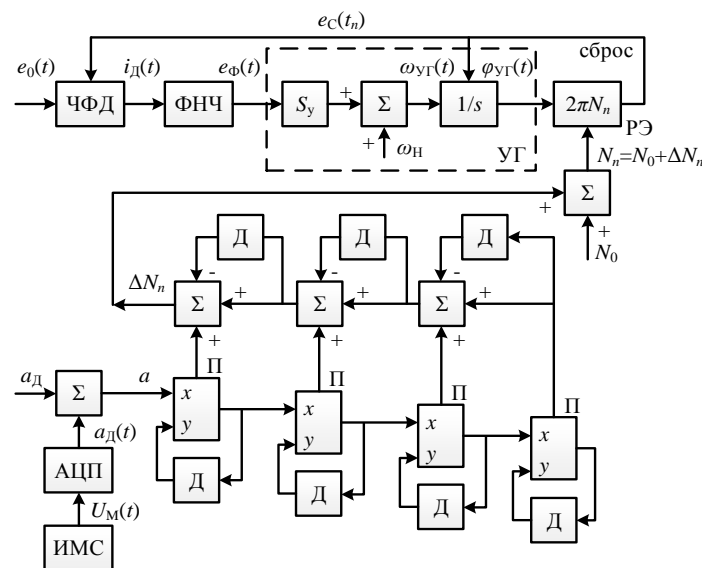


Рис. 1. Структурная система ИФАПЧ с ДДПКД на основе ДСМ

Для исследования нелинейной модели ИФАПЧ использовались следующие параметры

Секция 10. Мониторинг окружающей среды

ИФАПЧ: $T_0 = 1/16,382 \cdot 10^6$ с; показатель колебательности $M=1,3$; $m=2^{16}$; порядок ДСМ (dsm_order) для значения равного 3; A_M/Δ для значений 2^6 и 2^{10} , $\omega_M = 2\pi \cdot 1250$ рад/сек для синусоидального модулирующего сигнала. Дополнительно принимались: $N_0 = 64$; $di=1$ – этому случаю соответствуют непрерывные линии, $di=1,05$ – пунктирные линии и $di=1,1$ – штрихпунктирные линии.

На рисунке 2 приведены зависимости отношения сигнала к уровню частотной интегральной помехи $ИП_\omega$

$$ИП_\omega^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_{\omega/\Gamma}(\omega) d\omega, \quad (1)$$

от частоты среза системы ИФАПЧ $f_{ср}$ при $A_M/\Delta = 2^6$ (кривые 1) и $A_M/\Delta = 2^{10}$ (кривые 2).

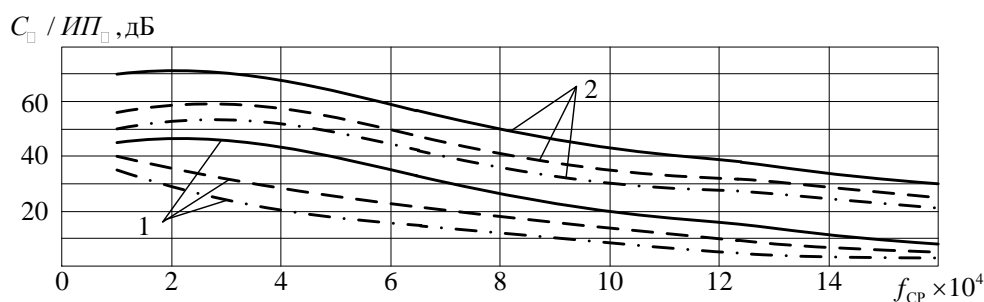


Рис. 2. Результаты расчетов $20\lg(C_\omega / ИП_\omega)$ в нелинейной модели ИФАПЧ

Анализ результатов исследований нелинейной модели ИФАПЧ, представленных на рисунке 2 показывает:

- 1) увеличение степени нелинейности ЧФД с ЗН (увеличение di) приводит к существенному увеличению ПД и ухудшению С/ИП;
- 2) спектр помех квантования в АЦП при синусоидальном модулирующем сигнале сосредоточен в низкочастотной области;
- 3) при больших значениях A_M/Δ и $di > 1$ в составе сигнала УГ появляются дополнительные гармоники модулирующего сигнала;
- 4) с увеличением A_M/Δ увеличивается соотношение С/ИП.

В работе представлена нелинейная модель системы ИФАПЧ с ДСМ и модуляцией непосредственно в ДДПКД. Уровень искажений модулированных сигналов, ранее полученный с использованием линейной модели, может использоваться как оценочный сверху. Для более точного определения уровня искажений сигналов на выходе ИФАПЧ необходимо пользоваться нелинейной моделью, учитывающей как нелинейный характер ДСМ, так и нелинейность часто используемого на практике ЧФД с ЗН. Эта нелинейная модель ИФАПЧ с ДСМ разработана в подсистеме SIMULINK5 системы MATLAB6.5 и может быть легко модернизирована не только для синусоидальных модулирующих воздействий, но и для различных импульсных сигналов.

Литература

1. Романов С.К., Тихомиров Н.М., Леньшин А.В. Системы импульсно-фазовой автоподстройки в устройствах синтеза и стабилизации частот. М.: Радио и связь, 2010. 328 с.
2. Леньшин А.В., Тихомиров Н.М., Романов С.К., Тихомиров М.Н. Помехи дробности в синтезаторах с делителями частоты, управляемыми дельта-сигма модуляторами // Телекоммуникации. 2012. № 5. С. 38-42.
3. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-ти т.; 2-е изд., перераб. и доп. Т. 2: Статистическая динамика и идентификация систем автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егунова. М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2004. 640 с.