

## ТОЧНОСТЬ СИСТЕМЫ ФАЗОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ ПРИ СТОХАСТИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Кузьмин Е. В.

*Сибирский федеральный университет, г. Красноярск*

Основными факторами, ограничивающими точность систем фазовой синхронизации (СФС) приёмников широкополосных морских радионавигационных систем (РНС) [1], является нестабильность частоты опорных генераторов, работа при сравнительно низких отношениях сигнал/шум и стохастичность изменения доплеровского сдвига частоты  $F_d$  сигналов принимаемых от опорных станций.

Цель: исследование точности СФС при стохастическом воздействии.

Реальным условиям приёма шумоподобных сигналов (ШПС) с минимальной частотной манипуляцией (МЧМ) [2], излучаемых опорными станциями РНС [3], соответствует модель движения объекта с непостоянной скоростью. В этом случае доплеровский сдвиг частоты  $F_d$  может быть описан Марковским процессом, характеризуемым корреляционной функцией [4]:

$$R(\tau) = \tilde{\sigma}_{F_d} \exp(-\tau/T),$$

где  $\tilde{\sigma}_{F_d}$  – дисперсия процесса, характеризующего стохастический характер изменения  $F_d$ .

Для обеспечения быстрого захвата и точного слежения в установившемся режиме применяется алгоритм ускоренной фазовой синхронизации [1], основанный на “переключении” шумовой полосы  $F_{ш}$ , что соответствует нестационарной СФС. Рассмотрим модель СФС (рис. 1) 2-го порядка астатизма, где  $T_n$  – постоянная времени интегратора;  $K = K_\phi K_c$  – безынерционное звено, учитывающее коэффициенты передачи цифрового фильтра  $K_\phi$  и цифрового синтезатора  $K_c$ .

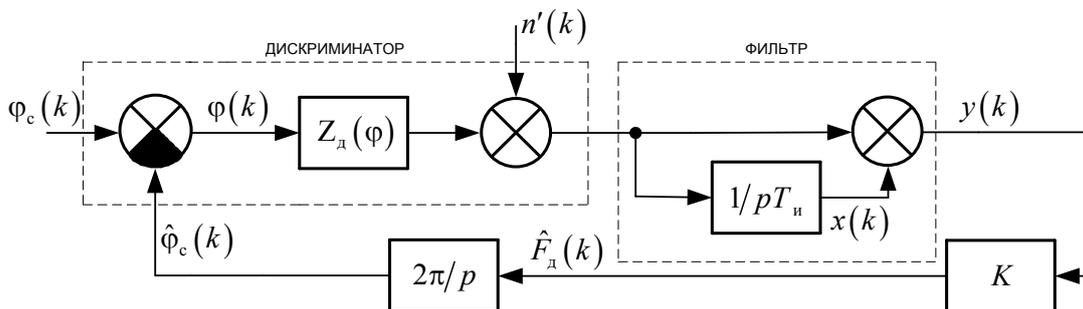


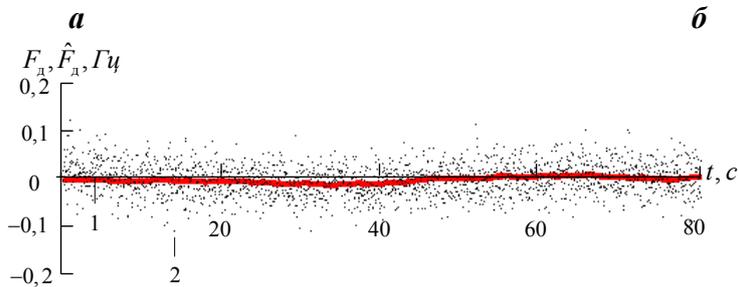
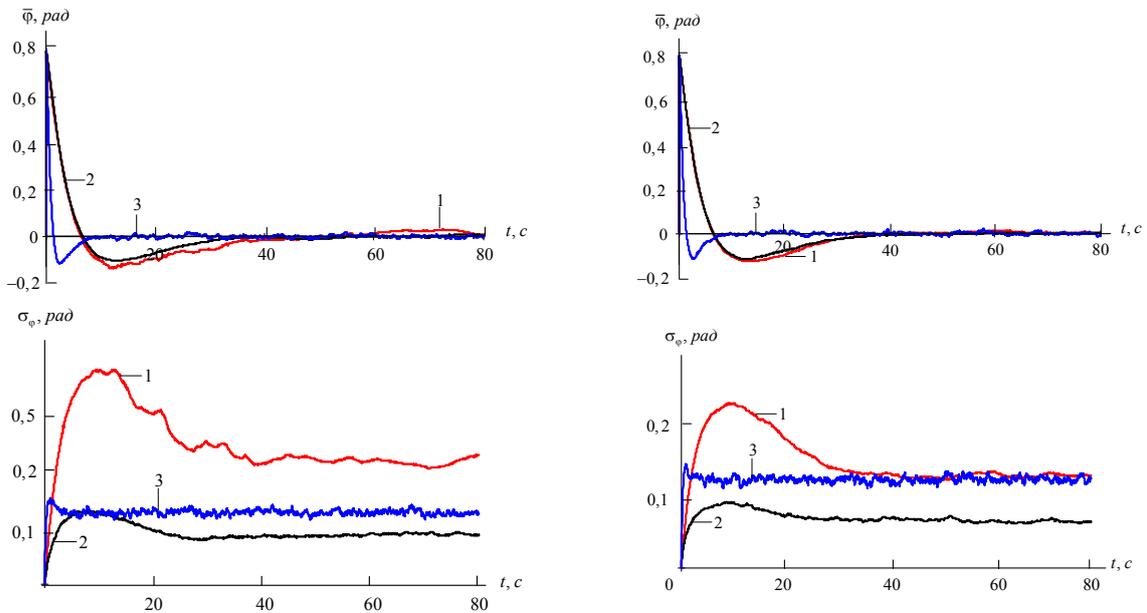
Рис.1. Непрерывная модель СФС 2-го порядка астатизма с «астатическим» петлевым фильтром

Оценка доплеровского сдвига частоты формируется на каждом шаге фильтрации в соответствии с алгоритмом [1]:

$$\hat{F}_d(k) = K \left( Z_d(k) + x(k-1) + \frac{T_{\text{ш}}}{T_{\text{и}}} Z_d(k-1) \right).$$

На рис. 2 представлены результаты статистического моделирования СФС 2-го порядка астатизма для стохастической модели движения объекта при отношении сигнал/шум  $q = -40\text{дБ}$ ;  $T = 100\text{с}$  (рис. 2,а);  $T = 300\text{с}$  (рис. 2,б): зависимости среднего значения фазовой ошибки  $\bar{\varphi}$  и среднеквадратического отклонения  $\sigma_{\varphi}$  фазовой ошибки (усреднение по 500 реализациям). Значения параметров:  $\tilde{\gamma}_{\text{д}} = 1\text{Гц}$ ,  $F_{\text{ш}} = 0,1\text{Гц}$  (кривые 1);  $\tilde{\gamma}_{\text{д}} = 1\text{Гц}$ ,  $F_{\text{ш}} = 0,1\text{Гц}$  (кривые 2);  $\tilde{\gamma}_{\text{д}} = 1\text{Гц}$ ,  $F_{\text{ш}} = 0,5\text{Гц}$  (кривые 3).

На рис. 2, в, г, показаны реализации процессов  $F_d(t)$  и  $\hat{F}_d(t)$ : процесс  $F_d(t)$  (кривые 1) представляет собой случайный процесс, описываемый Марковской моделью, а процесс  $\hat{F}_d(t)$  является его оценкой (выход по частоте в СФС). Значения параметров:  $T = 100\text{с}$ ;  $F_{\text{ш}} = 0,1\text{Гц}$ ;  $\tilde{\gamma}_{\text{д}} = 1\text{Гц}$ ,  $\tilde{\gamma}_{\text{д}} = 1\text{Гц}$ ,  $q = -40\text{дБ}$  (рис. 2, в, г соответственно);  $\tilde{\gamma}_{\text{д}} = 1\text{Гц}$ ,  $q = -25\text{дБ}$  (рис. 2, д).



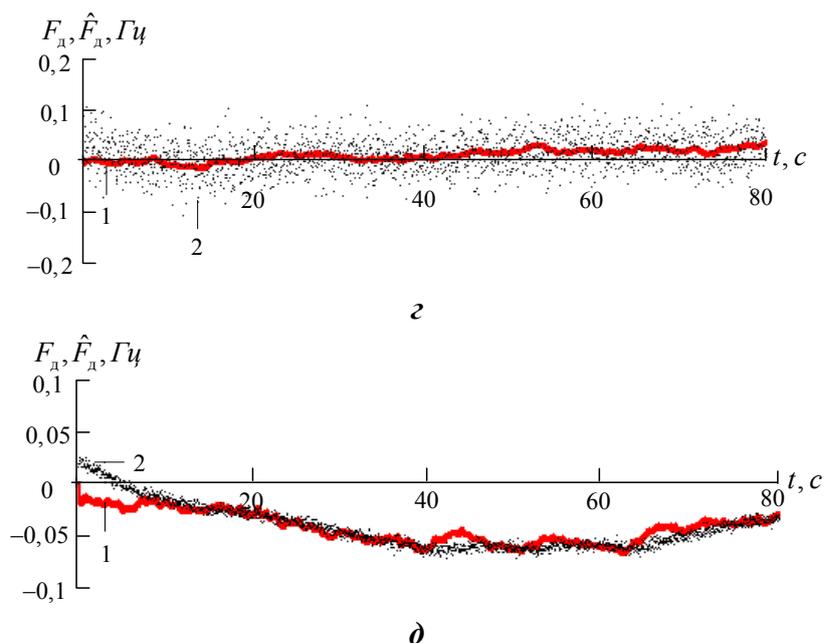


Рис. 2. Статистическая динамика СФС 2-го порядка астатизма при стохастической модели движения объекта

Анализ результатов свидетельствует о следующем. При умеренной манёвренности морского объекта (кривые 2 на рис. 2, а, б, в, г) СФС имеет точность синхронизации в установившемся режиме, характеризуемую СКП  $\sigma_{\varphi} < 0,1 \text{ рад}$ . Для уменьшения динамической ошибки при высокой манёвренности объекта (кривые 1, там же) можно рекомендовать применение СФС с шумовой полосой  $F_{ш} = 0,5 \text{ Гц}$ .

Работа выполнена при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) № 08-08-00849-а.

#### Список литературы:

1. Kuzmin E. V. Accelerated Phase-lock-loop Frequency Control Methods of User's Equipment in Perspective Radio Navigation Systems / E. V. Kuzmin // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies 3 (2008 1). (Журнал Сибирского федерального университета. Серия «Техника и технологии». Том 1, №3. С.276 – 286.).
2. Кузьмин Е. В. Методы равновесовой обработки шумоподобных сигналов с минимальной частотной манипуляцией / Е. В. Кузьмин // Электронное издание «Журнал радиоэлектроники» РАН № 9, 2007 – Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/sep07/2/text.html>
3. Кузьмин Е. В. Реализация и исследование цифровой системы фазовой синхронизации приемоиндикатора широкополосной радионавигационной системы / Е.В. Кузьмин, Я.И. Сенченко // Современные проблемы радиоэлектроники: сб. науч. тр. – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т; 2010. – с. 188-192.
4. Тузов Г.И. Статистическая теория приема сложных сигналов / Г.И. Тузов. М.: Сов. радио, 1977. – 400 с.