

УДК 621.396

**Анализ качества работы системы фазовой автоподстройки частоты**

Туманов М.А., Федосеева Е.В.

В статье приведены результаты анализа показателей качества работы системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Приведены структурная схема ФАПЧ и временные зависимости динамических ошибок системы. Проанализированы особенности характера динамических ошибок от параметров передаточной функции.

*Ключевые слова:* фазовая автоподстройка частоты ФАПЧ, показатели качества, динамические ошибки.

Анализ качества работы систем основан на положении, что структурная схема и параметры устройства известны, необходимо оценить качество ее работы, например, ее реакцию на помеховое воздействие. Показатели качества работы зависят не только от параметров системы, но и от свойств помеховых сигналов, действующих на него. Известно, что воздействие помеховых сигналов на систему радиоавтоматики приводит к снижению точности ее работы [2].

Законы изменения управляющих воздействий и помех обычно заранее неизвестны, поэтому качество работы систем РА определяется косвенными признаками, которые называют показателями качества работы системы.

Система ФАПЧ имеет широкое применение в радиотехнических системах: в частотных синтезаторах, где с помощью них упрощается решение задачи обеспечения стабильности частоты и спектральной частоты исходного колебания; при построении регенеративных делителей и множителей частоты, где путем построения узкополосной замкнутой системы ФАПЧ из опорного сигнала, искаженного помехами, можно получить сравнительно свободный от джиттера субгармонический когерентный сигнал; при построении

высокодобротных и полосовых заградительных фильтров, а также систем когерентной фазовой или частотной модуляции; при управлении фазированными антенными решетками и построении когерентных дальномерных систем; в усилителях для устранения фазовых набегов [1].

От показателей качества работы систем ФАПЧ во многом зависит эффективность системы связи, точность передаваемой от источника к получателю информации и др. Применяется множество разновидностей систем фазовой автоподстройки частоты: электромеханическая система ФАПЧ, используется для стабилизации частоты задающих генераторов, электронные системы ФАПЧ для быстрой подстройки частоты в синтезаторах, комбинированные электромеханические системы ФАПЧ, для повышение точности подстройки частоты, комбинированная электронная система ФАПЧ используется в системах требующих быстрые перестройки с высокой стабильностью частоты .

Структурная схема рассматриваемой в данной работе ФАПЧ (рис. 1) включает в себя: опорный генератор (ОГ), фазовый детектор (ФД), фильтр нижних частот (ФНЧ), генератор, управляемый напряжением (ГУН).

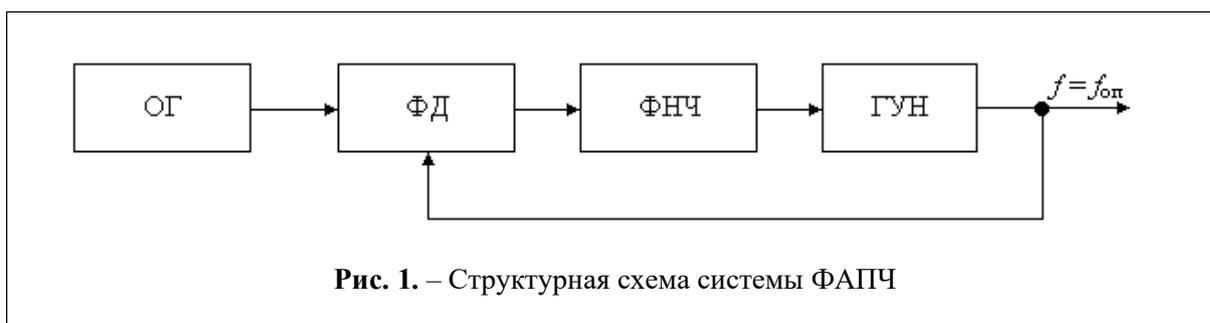
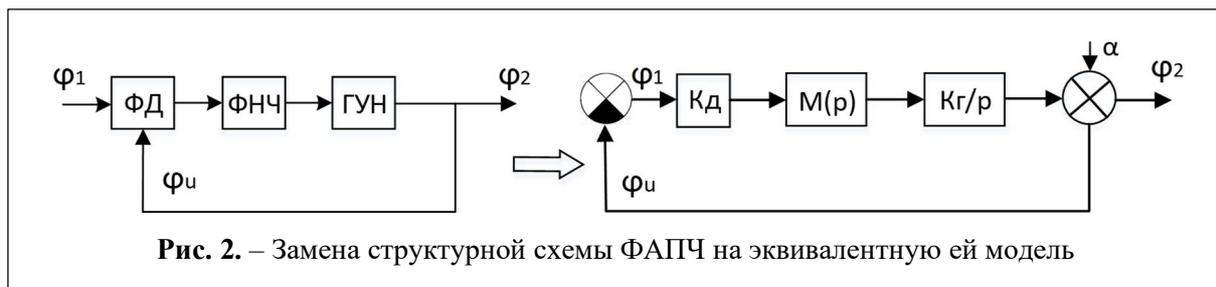


Рис. 1. – Структурная схема системы ФАПЧ



На один вход ФД поступает сигнал с выхода ОГ, на второй – высокочастотное колебание синхронизируемого ГУНа между выходом ФД и его входом в петле обратной связи находится ФНЧ. ФД сравнивает сигнал на выходе ОГ с выходным сигналом ГУН и выводит сигнал ошибки, соответствующий разности между этими сигналами. Сигнал ошибки проходит далее через фильтр ФНЧ и используется в качестве управляющего для ГУН.

Для рассматриваемой системы ФАПЧ была получена передаточная функция, задаваемая выражением

$$H_{\text{фнч}}(p) = \frac{2K_{\text{д1}}M_1K_{\text{Г1}}}{p(1 + K_{\text{д1}}M_1K_{\text{Г1}})}, \quad (1)$$

где  $K_{\text{д1}}$  – коэффициент передачи ФД;  $M_1$  – коэффициент передачи ФНЧ;  $K_{\text{Г1}}$  – коэффициент передачи ГУН.

Для получения выражения составляющей выходного сигнала обусловленной помеховым воздействием в виде некоторого постоянного прироста входного сигнала или линейно изменяющегося во времени было применено преобразование Лапласа к произведению

передаточной функции ФАПЧ по ошибке и изображению по Лапласа входного сигнала.

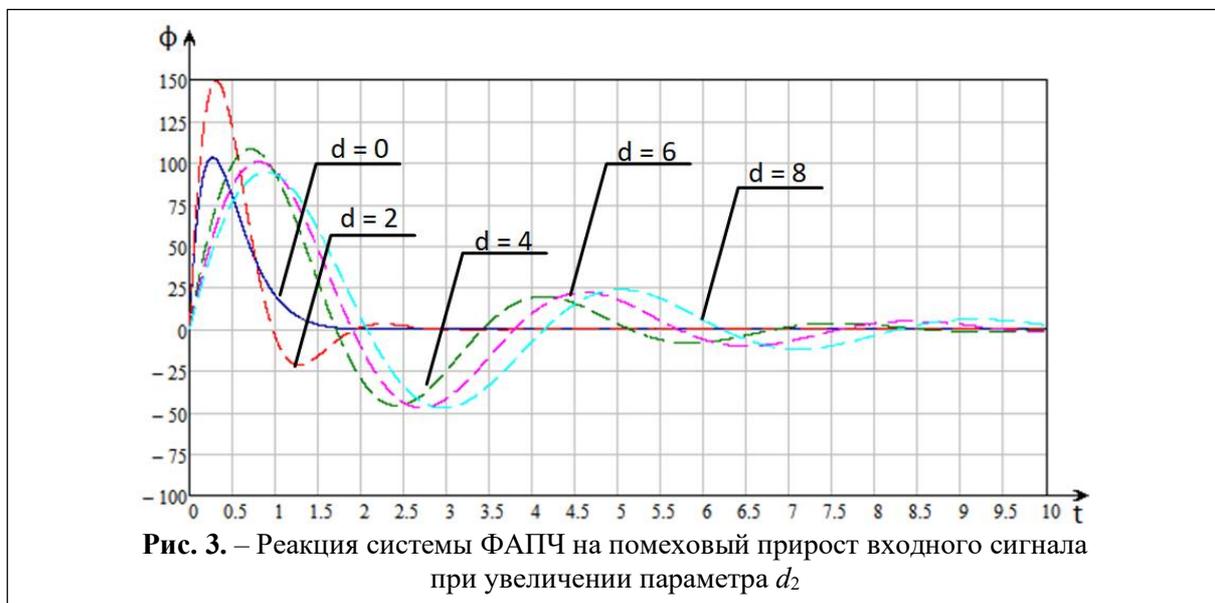
Временные зависимости составляющих выходного сигнала, обусловленных этими помеховыми воздействиями, имеют следующий вид:

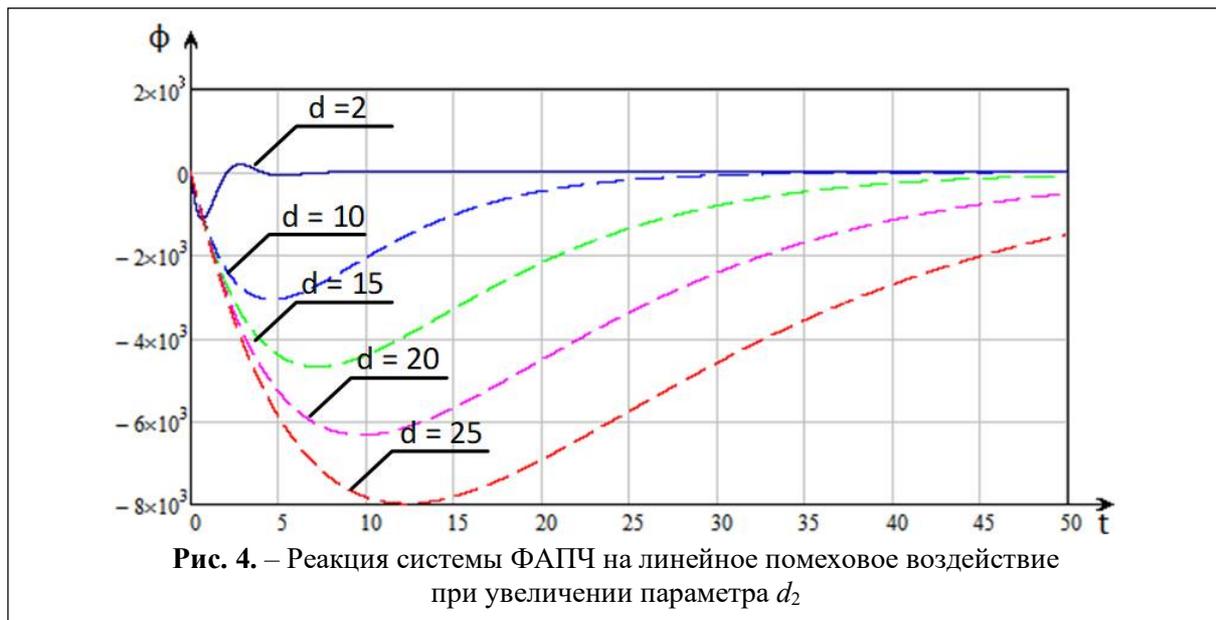
– ошибка при помеховом постоянном приросте входного сигнала

$$\Phi(t) = \frac{c_1 \exp\left(-\frac{d_1}{2d_2}t\right)}{d_2 \sqrt{\frac{d_0}{d_2} - \frac{d_1^2}{4d_2^2}}} \sin\left(\sqrt{\frac{d_0}{d_2} - \frac{d_1^2}{4d_2^2}}t\right), \quad (2)$$

– ошибка при линейном помеховом воздействии на входе системы

$$\begin{aligned} \Phi(t) = & \frac{c_1}{d_0} 1(t) - \\ & - \frac{c_1}{d_0} \exp\left(-\frac{d_1}{2d_2}t\right) \cos\left(\sqrt{\frac{d_0}{d_2} - \frac{d_1^2}{4d_2^2}}t\right) + \\ & + \frac{d_1}{d_2 \sqrt{\frac{d_0}{d_2} - \frac{d_1^2}{4d_2^2}}} \sin\left(\sqrt{\frac{d_0}{d_2} - \frac{d_1^2}{4d_2^2}}t\right), \quad (3) \end{aligned}$$





где  $c_1 = 2K_{d1}M_1K_{Г1}$ ;  $d_0 = K_{d1}$ ;  $d_1 = M_1$ ;  $d_2 = K_{Г1}$ .

На рис. 3 представлены временные зависимости реакции системы ФАПЧ на помеховый постоянный прирост входного сигнала при разных значениях параметров системы

Проанализировав результаты, приведенные на рис. 3, можно сделать вывод, что с увеличением  $d_2$  время реакции системы на помеховый прирост увеличивается.

На рис. 4 представлены временные зависимости реакции системы ФАПЧ, линейное помеховое воздействие входного сигнала для разных значений параметров системы

Проанализировав результаты, приведенные на рис. 4, можно сделать вывод, что наблюдается постоянный прирост в выходном сигнале системы, величина которого зависит от параметра  $d_2$ , т.е. от коэффициента передачи ГУНа, а также увеличивается амплитуда и время установления реакции

системы ФАПЧ на помеховое линейное воздействие на входе.

Таким образом выполненный анализ зависимости выходной реакции системы ФАПЧ на помеховые входные воздействия показал, существенное влияние параметров системы на ее поведение при действии помех, что необходимо учитывать при проектировании, учитывая условия ее функционирования.

### Литература

1. Голуб В. Несколько слов о системе ФАПЧ: фазовая автоподстройка частоты. <https://cyberleninka.ru/article/v/neskolko-slov-o-sisteme-fapch-fazovaya-avtopodstroyka-chastoty> // Компоненты и технологии, № 8, 2003 – С. 92-93
2. Коновалов Г.Ф. Радиоавтоматика: Учебник для вузов по направлению "Радиотехника" Издательство: Радиотехника, 2003 г. // <http://bookre.org/reader?file=532459>

Поступила 15 сентября 2018 г.

The article presents the results of the analysis of the quality indicators of the phase-locked loop (PLL). The block diagram of PLL and time dependences of dynamic errors of the system are given. The features of the nature of dynamic errors from the parameters of the transfer function are analyzed.

**Key words:** phase-locked loop frequency PLL, quality indicators, dynamic errors.

*Туманов Михаил Алексеевич* – магистрант Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

*Ракитин Елена Валерьевна* – доктор технических наук, профессор кафедры радиотехники Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

Адрес: 602264, г. Муром, ул. Орловская, д. 23.