

УДК: 621.39:621.376.4

Плаксиенко Владимир Сергеевич, Плаксиенко Нина Евгеньевна

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ФАЗОВОЙ АВТОПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ С ДИСКРИМИНАТОРОМ С УПРАВЛЯЕМОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ

В статье проведено исследование системы ФАПЧ с дискриминатором с управляемой характеристикой показано, что решается проблема стабилизации полосы захвата системы ФАПЧ при воздействии шумов при использовании в кольце ФАПЧ дискриминатора с управляемой характеристикой, реализуемых структурой с взаимными обратными связями.

Система фазовой автоподстройки частоты, дискриминаторы с управляемой характеристикой при воздействии шумов.

Plaksienko Vladimir Sergeevith, Plaksienko Nina Evgenievna

INVESTIGATION OF A PHASE-LOCKED FREQUENCY TUNING SYSTEM WITH A DISCRIMINATOR WITH A CONTROLLED CHARACTERISTIC

The article conducts a study of the PLL system with a discriminator with a controlled characteristic and shows that the problem of stabilization of the PLL system capture strip under the influence of noise when using a discriminator with a controlled characteristic in the PLL ring, realized by a structure with mutual feedbacks, is solved.

Phase-locked frequency systems, discriminators, characteristic control, noise impact.

Введение.

Одной из главных задач в современных радиотехнических системах с непрерывными сигналами является осуществление синхронизации гетеродина. Синхронизацию местного гетеродина выполняют при помощи системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). При построении такой системы к ней предъявляются жесткие противоречивые требования: высокая фильтрация помех и широкая полоса слежения за частотой сигнала. Однако выполнение таких требований на практике в условиях априорной неопределенности о принимаемых радиосигналах представляет собой сложную задачу.

Основная часть.

Настоящая статья посвящена рассмотрению одного из методов решения задачи синхронизации гетеродина: расширению полосы захвата системы ФАПЧ при сохранении ее фильтрующих свойств за счет применения в системе ФАПЧ фазовых дискриминаторов с обратными связями (ФДОС).

Структурная схема системы ФАПЧ с ФДОС приведена на рис. 1.

Дифференциальное уравнение системы ФАПЧ, в которой в качестве ФД используется ФДОС, имеет вид (1):

$$p \cdot \varphi + E \cdot S_{ПГ} \cdot K(p_1) \cdot F_y(\varphi, \lambda) = \Delta\omega \quad (1)$$

где $p = \frac{d}{dt}$ – оператор дифференцирования по времени t ;

E – максимальное выходное напряжение ФДОС;

$S_{ПГ}$ – крутизна перестраиваемого генератора;

$K(p)$ – коэффициент передачи ФНЧ в операторной форме;

$F_y(\varphi, \lambda)$ – нормированная управляемая характеристика ФДОС;

λ – параметр управления;

$\Delta\omega$ – начальная расстройка.

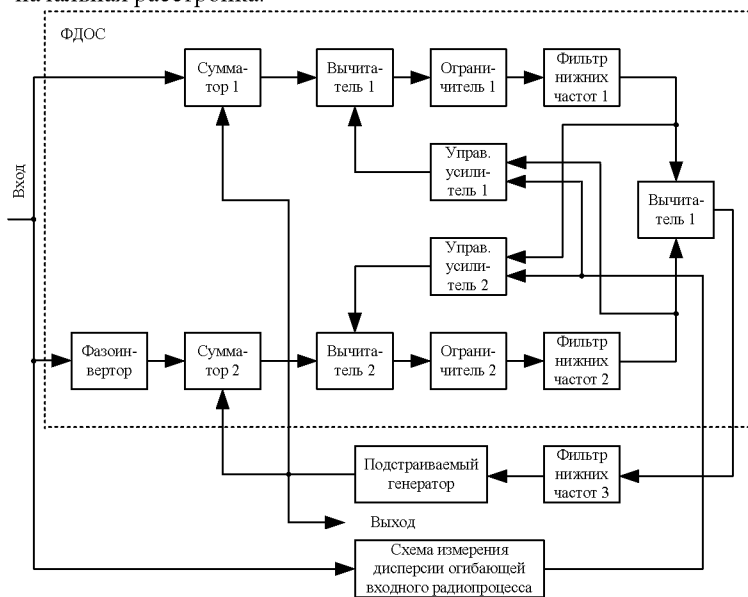


Рис 1.

В рассматриваемом устройстве управляемая характеристика $F_y(\varphi, \lambda)$ является функцией параметра λ , $F_y(\varphi, \lambda) = f(\varphi)$, который пропорционален мощности флукуационной составляющей процесса на входе ФД.

В системе ФАПЧ полоса захвата определяется в основном двумя параметрами [1]: постоянной времени ФНЧ и формой характеристики ФД. При неизменной постоянной времени ФНЧ полоса захвата системы ФАПЧ увеличивается по мере приближения характеристики ФД от треугольной к прямоугольной. Полоса удержания системы ФАПЧ задается при проектировании системы и определяется как один из множителей второго слагаемого в уравнении (1):

$$\Delta f_{\text{уд}} = E \cdot S_{\text{ПГ}}. \quad (2)$$

Наиболее полно шумовые свойства ФДОС описываются безразмерными относительными дискриминационными характеристиками, представляющими собой отношение математического ожидания на выходе дискриминатора к корню квадратному от его дисперсии. Именно эти характеристики дают представление об устойчивости работы дискриминаторов в условиях воздействия помех [2,3].

Дискриминационная характеристика ФДОС может иметь различную форму и зависит от глубины обратной связи. Регулировка формой характеристики ФД осуществляется при помощи изменения коэффициентов усиления K в цепях обратных связей [2]. При этом возможны четыре режима работы дискриминатора:

- 1) $K=0$ – соответствует обычному ФД без обратных связей;
- 2) $0 < K < 1$ — мягкий режим;
- 3) $K=1$ — критический режим;
- 4) $K > 1$ — жесткий режим.

В обычном ФД величина максимумов характеристики ФД и ее крутизна неизбежно уменьшаются при воздействии шумов на его входе. Изменение соотношения «сигнал/шум» приводит к ухудшению динамических свойств системы ФАПЧ, и в частности, к увеличению времени входа в синхронизм.

Указанный недостаток в определенной степени ослабляется в системе ФАПЧ с ФДОС. При изменении шумов на входе системы ФАПЧ изменяется напряжение на выходе схемы измерения дисперсии (рис. 1). Это напряжение является управляющим для управляемых усилителей. Изменение интенсивности шумов на входе системы ФАПЧ приводит к изменению глубины обратных связей таким образом, что крутизна и размах

дискриминационной характеристики остаются постоянными, и, следовательно, полоса захвата системы ФАПЧ стабилизируется. Результаты математического моделирования ФДОС в условиях воздействия шумов приведены на рис. 2.

Увеличение крутизны характеристики ФДОС, т.е. увеличение коэффициента усиления разомкнутой петли ФАПЧ на нулевой частоте, увеличивает выброс частотной характеристики замкнутой цепи.

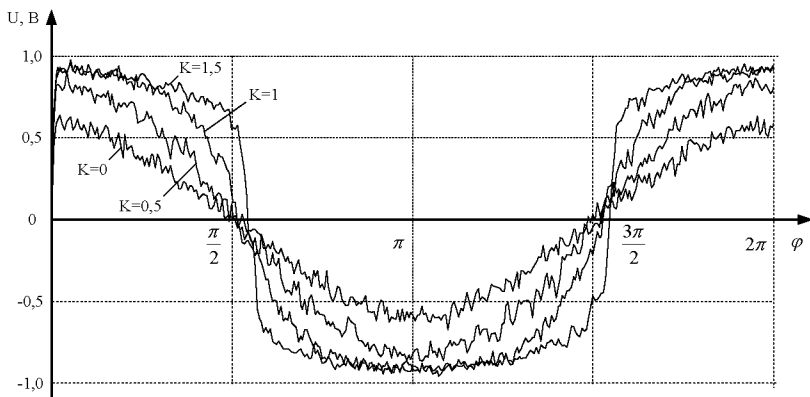


Рис 2.

При критическом значении коэффициента усиления разомкнутой цепи выброс частотной характеристики такой цепи получается бесконечно большим, поэтому крутизну характеристики ФДОС необходимо уменьшать по мере входа системы в режим захвата. В схеме, представленной на рис. 1, по мере входа системы в захват уровень управляющего напряжения, поступающего на управляемые усилители 1 и 2, уменьшается, в результате чего снижается крутизна характеристики ФДОС, что устраняет возможность возникновения предельного цикла первого рода.

Эффективность работы устройства, представленного на рис. 1, подтверждается результатами математического моделирования в среде Мисросар и результатами экспериментальных исследований, согласуются с опубликованными в печати результатами экспериментальных исследований [2].

На рис. 3 приведена кривая зависимости полосы захвата Δf_3 от коэффициента взаимной обратной связи K при соотношении «сигнал/шум» $P_c / P_u = 4$. Сдвиг фаз равен нулю на частоте 465 кГц. При отсутствии

шумов и при $K=0$ полоса захвата равна 8,3 кГц (точка А), при $P_c/P_{ш} = 4$ она снижается до значения 6,6 кГц.

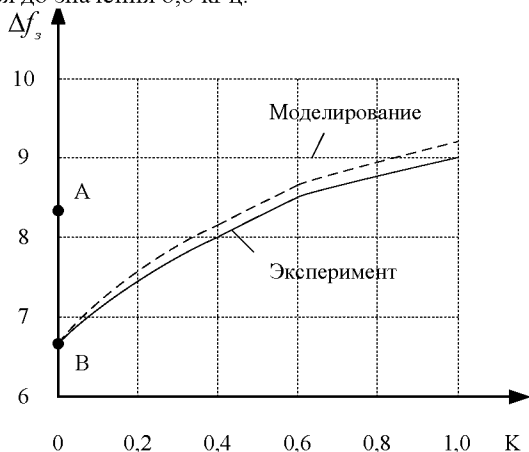


Рис 3.

Уменьшение полосы захвата можно компенсировать увеличением коэффициента взаимной обратной связи. Уже при $K=0,5$ полоса захвата становится равной полосе захвата устройства без шумов. В результате исследований установлено, что ФДОС обеспечивает увеличение соотношения «сигнал/шум» на выходе до 3-4 раз. Увеличение соотношения «сигнал/шум» на выходе можно рассматривать как эквивалентное повышение фильтрующей способности системы ФАПЧ. ФАПЧ с ФДОС сохраняет свою работоспособность до соотношения «сигнал/шум» $P_c/P_{ш} = 2$, обеспечивая стабильность полосы захвата системы. Время переходных процессов в системе ФАПЧ с ФДОС существенно уменьшается по сравнению с обычной системой. Кроме того, за счет применения обратных связей происходит расширение полосы удержания ФАПЧ.

Однако чрезмерное повышение коэффициентов усиления K в цепях обратных связей при прямоугольной характеристике ФД приводит к потере устойчивости системы ФАПЧ вследствие возникновения устойчивого предельного цикла первого рода [2-6].

Выводы

Одним из способов решения проблемы стабилизации полосы захвата системы ФАПЧ при воздействии шумов является использование в кольце ФАПЧ фазового дискриминатора с обратными связями. Результаты

проведенных экспериментальных исследований и математического моделирования подтверждают возможность физической реализации и эффективность данного метода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Шахгильдян В.В., Ляховкин А.А.* Системы фазовой автоподстройки частоты. М., «Связь», 1972. – 447 с.

2. *Плаксиенко В.С.* Уровневая статистическая обработка дискретных сигналов. М.: Учебно-методический и издательский центр «Учебная литература», 2006. – 274 с.

3. *Плаксиенко В.С., Плаксиенко Н.Е.* Фазовые дискриминаторы с обратными связями. (монография) LAPLAMBERT Academic Publishing mbH & Co. KG Saarbrücken, Germany, 978-3-659-66874-6 ISBN-13: 978-3-659-66874-6 ISBN-10: 3659668745 EAN: 97-3-659-66874-6 Оpubл. 2014-12-25

4. Устройства приема и обработки сигналов. Учебное пособие для вузов В.С. Плаксиенко, Н.Е. Плаксиенко и др.; Под редакцией В.С. Плаксиенко. – 2-е изд. испр. – М.: Учебно-методический и издательский центр «Учебная литература», 2004, – 376 с.; ил.

5. А.С. Устройство последетекторной обработки сигналов при сдвоенном разнесенном приеме № 1215180, Б. И. 1986. № 8. – №3771520/24-09. Заявл. 13.07.84. Авторы: Плаксиенко В.С., Сучков П.В., Плаксиенко Н.Е., Лантратов О.И.

6. А.С. 1067613 СССР. Способ некогерентного приема двоичных сигналов/ Плаксиенко В.С. По заявке № 3436672/18-07. от. 07.05.82. Оpubл. в Б.И., 1984, № 2.

Плаксиенко Владимир Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры ВиРС ИРТСУ ИТА Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Чехова, 22, 347900, телефон: 8-928-956-34-59, email: vsplaksienko46@sfedu.ru.

Плаксиенко Нина Евгеньевна, кандидат технических наук, доцент кафедры ВиРС ИРТСУ ИТА Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Чехова, 22, 347900, телефон: 8-928-606-19-77, email: neplaksienko@sfedu.ru.

Plaksienko Vladimir Sergeevich, Doctor of Technical Sciences (DSc), professor of Department of VIRS Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, 22 Chekhova street, phone: 8-928-956-34-59, email: vsplaksienko@sfedu.ru.

Plaksienko Nina Evgenievna, Candidat of Technical Sciences (CSc), assistant professor of Department of VIRS Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, 22 Chekhova street, phone: 8-928-606-19-77, email: neplaksienko@sfedu.ru.