

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕЛИНЕЙНОСТИ В ЦЕПИ УПРАВЛЕНИЯ АНАЛОГОВОЙ ФАПЧ НА ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ.

Бурховецкий Д.В., группа ТКС-09м

Руководитель д.т.н., проф. Воронцов А.Г.

Актуальность. Системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) широко используются благодаря их возможностям по обеспечению синхронизации в системах связи. [1]

Простейшим однопетлевым системам ФАПЧ свойственно противоречие между расширением полосы захвата и повышением помехоустойчивости. [3] Ширина полосы захвата и возможность подавления дрожания фазы являются взаимоисключающими. Это противоречие можно отчасти устранить правильным выбором типа и параметров фильтра и самой системы ФАПЧ в целом. В последнее время получили распространение системы ФАПЧ с различными дополнительными элементами и устройствами, которые дают возможность также решать ряд разнообразных практических задач. Эти системы условно называются сложными. К ним относятся комбинированные частотно-фазовые системы, системы с нелинейными цепями управления, системы с комбинированным управлением, системы с инерционно-нелинейными и переменными параметрами и т.п. В данной работе сделана попытка решить эту проблему за счет структурных изменений в цепи управления ФАПЧ.

Цель: улучшение характеристик работы аналоговой ФАПЧ в цифровом канале связи за счет использования нелинейности в цепи управления.

Задачи:

- Обосновать целесообразность использования нелинейности в цепи управления аналоговой ФАПЧ

-Оценить эффективность использования нелинейности.

Решение задач и анализ результатов:

С целью расширения полосы захвата системы при сохранении ее высокой помехоустойчивости Ю.В. Эльтерманом и В.С. Дулицким было предложено ввести нелинейность в цепь управления (в фильтр нч).[1] Именно этот путь показался наиболее перспективным и наименее изученным. Поэтому работа посвящена исследованию эффективности и целесообразности использования нелинейных ФНЧ в составе ФАПЧ.

Сущность указанного метода расширения полосы захвата состоит в использовании различия уровней переменной составляющей сигналов на выходе фазового детектора в режиме биений и в режиме удержания при слабой помехе. В этом случае фильтрующую способность системы для слабой помехи можно значительно увеличить (без снижения полосы захвата), если построить фильтр таким образом, чтобы при сильном сигнале (в режиме биений) он имел широкую полосу, а при слабом сигнале (в режиме удержания) - узкую. Это условие можно реализовать в различных схемах фильтра. Из схемы фильтра с переменной полосой пропускания (Рис.1а) видно, что фильтр состоит из линейного резистора и двух включенных параллельно ему диодов. Вольтамперная характеристика полученного нелинейного элемента изображена на рис. 1б.  $U_1$  и  $U_2$  – источники запирающего смещения. Регулируя величину запирающего смещения, можно изменять длину линейного участка ВАХ. [1]

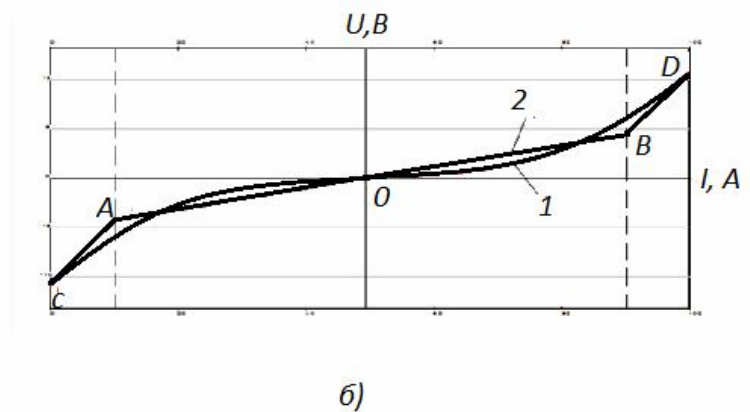
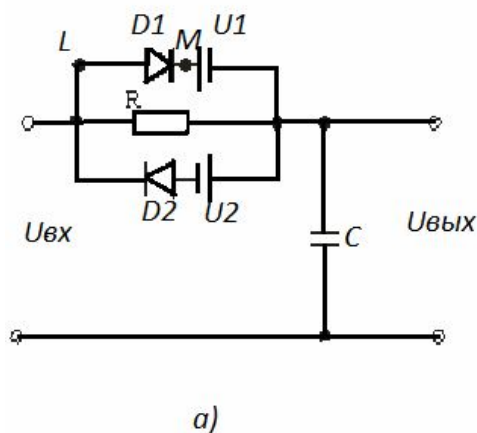


Рисунок 1. Фильтр с переменной полосой пропускания ( а - схема фильтра,

б: 1- ВАХ нелинейного элемента на участке LM, 2 - ВАХ существенной нелинейности)

Исследование было проведено с использованием пакета SystemView, позволяющего анализировать свойства системы. В исследование был включен вычислительный эксперимент. Целью данного эксперимента является изучение возможности использования нелинейности в цепи управления ФАПЧ, а также получение ответа на вопрос "насколько это эффективно?". Было принято решение оценивать эффективность по критерию вероятности ошибки в работе ФАПЧ при разных уровнях шума и при фиксированном времени захвата.

Вариант гладкой нелинейности (Рис. 1б) не представляет ценности на практике, поскольку в реальности стабильной характеристики получить невозможно по причине того, что ВАХ диодов зависит от температуры. По-видимому, имеет смысл использовать нелинейность типа «кусочно-линейная с двумя изломами», поскольку она позволяет получить разные коэффициенты передачи. ВАХ этой нелинейности показана на (Рис. 1б).

Наклон участка АВ характеризует коэффициент передачи, который соответствует работе системы в режиме слежения. В режиме захвата система работает с коэффициентом передачи, соответствующим участкам АС и ВD. (Рис. 1б).

Для того, чтобы оценить влияние нелинейного элемента на помехоустойчивость системы ФАПЧ при разных уровнях шума, нелинейный фильтр был интегрирован в однопетлевую систему ФАПЧ.(Рис. 2)

Суть данного опыта заключается в том, что передается последовательность импульсов по верхней и нижней ветви модели (Рис. 2). Отличие заключается в том, что в канале связи к чистому сигналу в верхней ветке добавляется шум (модуль 12). На выходе обеих ветвей стоит устройство, которое принимает решение о том, какой импульс передается "1" или "0"(модули 14 и 22). Затем полученные результаты с обеих ветвей

сравнивается(модуль24) и если они не совпадают, то счетчик ошибок увеличивается на единицу. Вероятность ошибки рассчитывается, как количество ошибок по отношению к общему количеству переданных импульсов. Для того чтобы результат был более объективным возьмем большое количество отсчетов (100000). Уровень входного сигнала в систему ФАПЧ после модуляции равен 1,4 В.

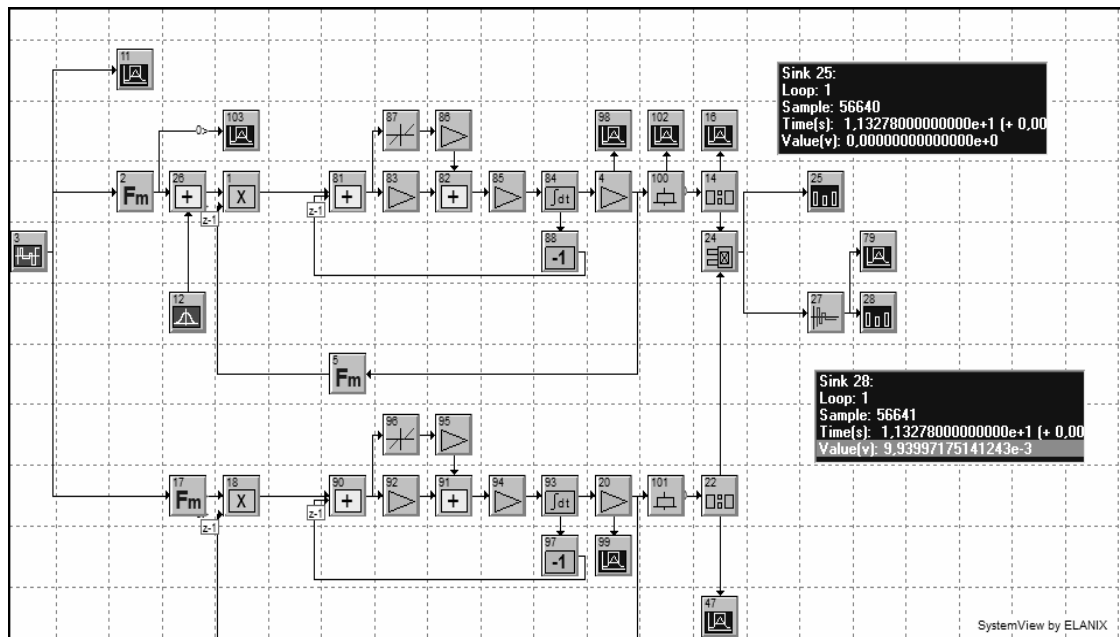


Рисунок 2. схема ФАПЧ с фильтром с существенной нелинейностью в цепи управления

Промоделируем при разных уровнях шума и построим график зависимости вероятности ошибки от уровня шума. (Рис. 3)

В предыдущей работе [4] была найдена та же зависимость для однопетлевой ФАПЧ. Для наглядности эти зависимости совмещены на одном графике.

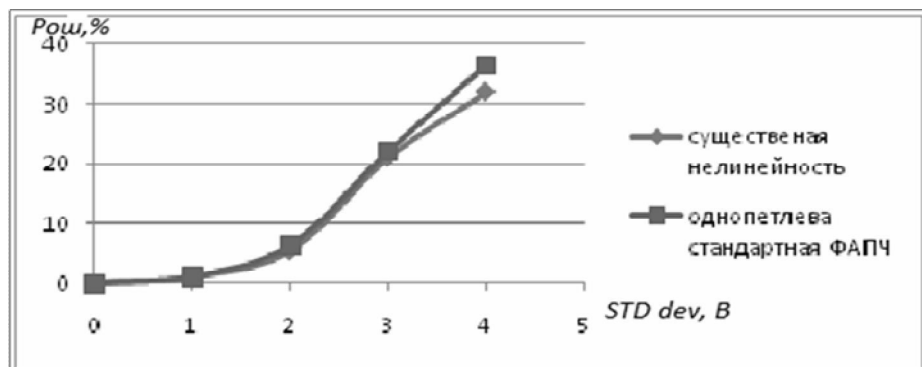


Рисунок 3 - Зависимость вероятности ошибки от уровня шума

Сравнив эти два графика, можно сделать вывод, что исследуемая нелинейность в цепи управления ФАПЧ не дает существенного выигрыша в помехоустойчивости.

Поскольку основное противоречие ФАПЧ заключается в расширении полосы захвата и повышением помехоустойчивости, то был проведен эксперимент, критерием которого являлось время захвата, а вероятность ошибки была фиксированной величиной. Для этого на вход подается синусоидальный сигнал и снимаются показания с модуля 99 на выходе петли ФАПЧ. Захват осуществляется в тот момент, когда заканчивается переходный процесс. Итак сигнал на выходе обычной схемы ФАПЧ имеет вид:

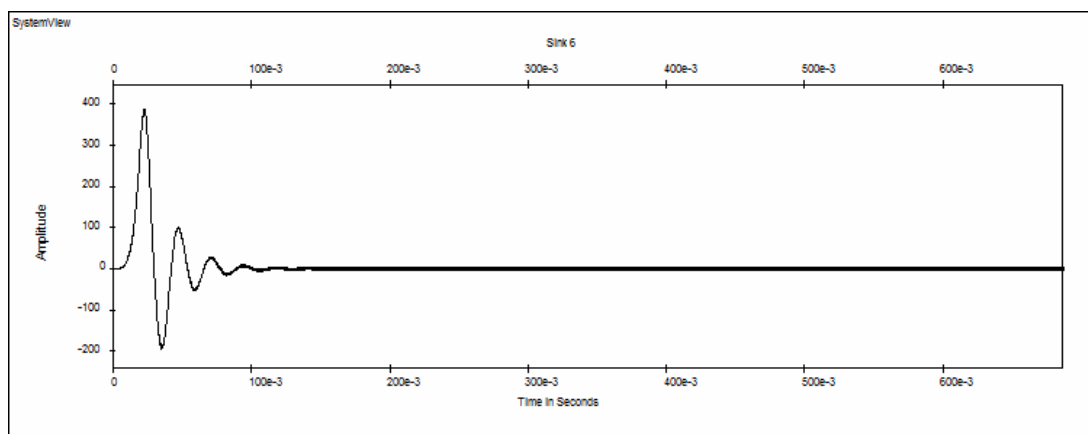


Рисунок 4 - Переходный процесс однопетлевой ФАПЧ.

Как видно из рис. 4 переходный процесс длится 126 мс.

Также был получен график, характеризующий переходный процесс при захвате системы ФАПЧ с существенной нелинейностью.

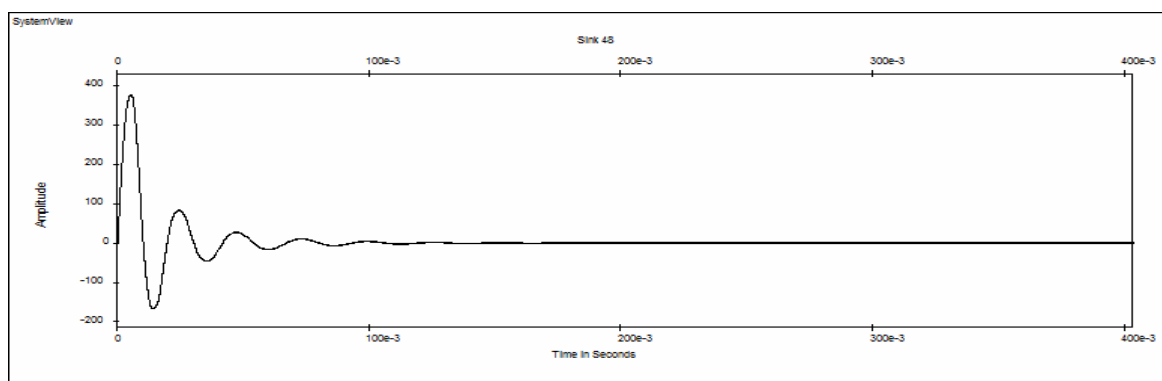


Рисунок 5 - Переходный процесс однопетлевой ФАПЧ.

Переходный процесс проходит за 100 мс и по сравнению с однопетлевой ФАПЧ дает выигрыш 20%.

Вывод:

В ходе эксперимента была показана возможность использования нелинейности типа «кусочно-линейная с двумя изломами» в цепи управления ФАПЧ и было выяснено, это дает выигрыш по времени захвата около 20% и 4% в помехоустойчивости при сильных помехах по сравнению с однопетлевой ФАПЧ.

Литература:

1. Шахгильдян В.В., Ляховкин А.А. Системы фазовой автоподстройки частоты. М.,Связь, 1972.- 448 с.
2. Скляр, Бернард. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр. : Пер. с англ. - М. : Издательский дом "Вильямс", 2004. - 1104 с.
3. Уильрих Л. Роде. Синтезаторы для микроволновых средств и беспроводной связи Издательский дом Wiley-Interscience 1997г. - 656 с
4. Сборник тезисов XII Международной научно-практической конференции "Человек и космос", Днепрпетровск 2010.- 680 с.