

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

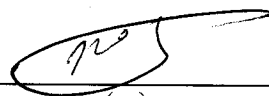
УДК 621.391.3

Жилач  
Николай Сергеевич

Генератор хаоса на системе фазовой синхронизации

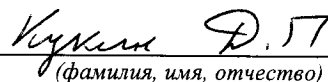
**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1-40 80 02 «Системный анализ, управление и обработка  
информации»

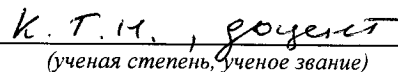


(подпись магистранта)

Научный руководитель



(фамилия, имя, отчество)



(ученая степень, ученое звание)



(подпись научного руководителя)

Минск 2018

## КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

С развитием технологий совершенствовались и системы передачи информации. Одновременно с этим и возникала необходимость защиты передаваемой информации по каналам связи.

Один из способов защиты информации был предложен на основе использования, в качестве модулирующего, детерминированного хаотического сигнала. Особенный интерес к этому способу проявился в конце 80-х, начале 90-х годов XX века. Были разработаны различные способы «спрятать» полезный сигнал в хаотическом с передающей стороны, а затем выделить его на принимающей.

В ходе экспериментов было выявлено, что для улучшения показателей таких систем связи необходимо иметь максимально идентичные генераторы детерминированного хаотического сигнала. Суть таких генераторов заключалась в том, чтобы они генерировали абсолютно идентичные сигналы при подаче на них идентичных входных параметров.

Явление генерации таких сигналов были выявлены в различных системах и одной из них является система фазовой синхронизации.

В настоящее время проводятся исследования по улучшению показателей таких систем, их компьютерное моделирование и реализация удачных решений на физических устройствах.

Исследования в данной области являются актуальными и востребованными во всем мире.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Связь работы с научными исследованиями университета.** Результаты диссертационной работы были использованы при проведении научно-исследовательской работы по теме «Математические методы моделирования и оптимизации процессов в электронных приборах и устройствах» ГБ № 16-2035.

**Цель и задачи исследования.** Для системы фазовой автоподстройки с астатизмом 1-го порядка решена задача хаотической синхронизации однокольцевых и двухкольцевых систем ФАПЧ. Основу рассмотренной в работе математической модели составило уравнение для фазовой ошибки  $\varphi$

$$\mu\ddot{\varphi} + \varepsilon\dot{\varphi} + \dot{\varphi} + \sin \varphi = \gamma, \quad (1)$$

полученное для петлевого фильтра с коэффициентом передачи

$$K(p) = \frac{1}{\mu p^2 + \varepsilon p + 1}$$

где  $\mu, \varepsilon$  – безразмерные параметры фильтра. Присутствующая в правой части (1) нормированная частотная расстройка  $\gamma$  оказывает существенное влияние на эффективность процессов синхронизации и фильтрации, необходимых для реализации алгоритмов приема хаотических сигналов [11]. Сложность состоит в том, что расстройка  $\gamma$  в реальных беспроводных каналах является неуправляемым параметром и ее значение вследствие ряда причин, среди которых нестабильность генераторных схем, доплеровское смещение частоты, на приемной стороне, неизвестно. Чтобы уменьшить влияние частотной расстройки на эффективность приема, следует повысить порядок астатизма системы ФАПЧ. В этом случае в правой части (1) пропадает постоянная  $\gamma$ , и появляется возможность эффективной синхронизации, фильтрации хаотического сигнала.

Целью исследования является компьютерное моделирование точности восстановления фазы хаотического сигнала с помощью расширенного фильтра Калмана, построенного для хаотического генератора на основе системы ФАПЧ с астатизмом 2-го порядка.

**Новизна полученных результатов.** В результате исследования дано дальнейшее развитие в исследовании генераторов детерминированного хаотического сигнала, построенных на системе фазовой синхронизации. Исследована точность восстановления фазы хаотического сигнала с помощью расширенного фильтра Калмана, построенного для хаотического генератора на основе системы ФАПЧ с астатизмом 2-го порядка.

**Положения, выносимые на защиту.** В ходе исследования системы, изначально, были изучены динамические режимы, возникающие в системе. В результате были получены диаграммы динамических режимов, построенных на основании старшего показателя Ляпунова. Так же для дальнейшего изучения системы были построены бифуркационные диаграммы для уменьшающегося и увеличивающегося значения коэффициента демпфирования и исследована зависимость трех старших показателей Ляпунова от значения коэффициента демпфирования.

В завершение было смоделировано формирование синхронного хаотического отклика с помощью расширенного фильтра Калмана и получены

зависимости дисперсии ошибки от различной настройки фильтра и выбора периода дискретизации.

**Апробация результатов диссертации.** Результаты исследований были представлены на международных научных конференциях ИТС2016 и ИТС2017.

**Опубликованность результатов исследования.** Результаты работы опубликованы в двух тезисах конференций.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из оглавления, общей характеристики, введения, 3 глав, заключения, списка использованных литературных источников (35 наименования). Диссертация содержит 49 страниц, в том числе 20 рисунков.

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Введение содержит обоснование актуальности рассматриваемой проблемы, а так же в нем отражены вопросы практической значимости.

Первая глава посвящена анализу литературы, охватывающей теоретические и практические наработки в области генерации хаотических сигналов и их применения в системах передачи информации.

Вторая глава содержит необходимые теоретические материалы, применяемые в диссертационном исследовании. Рассмотрены бифуркационные механизмы перехода к хаосу, переход к хаосу через последовательность бифуркаций удвоения периода, а так же математическая модель фильтра Калмана.

В третьей главе полностью описана постановка задачи диссертационного исследования, а так же представлены полученные результаты исследования, включающие исследование динамических режимов, возникающих в системе и формирование синхронного хаотического отклика с помощью расширенного фильтра Калмана, полученных путем компьютерного моделирования.

В заключении подведены итоги диссертационного исследования, которое показало, что система ФАПЧ с астатическим фильтром имеет множество динамических режимов в системе, в том числе и хаотических. Были сделаны выводы о целесообразности дальнейших исследований в данной области для нахождения способов улучшения характеристик системы.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Исследование системы ФАПЧ с астатическим фильтром показало наличие множества динамических режимов в системе, в том числе и хаотических. Было установлено, что коэффициент форсирования  $m$  влияет на

ширину области – с увеличением  $m$  область увеличивается и смещается в сторону больших  $\xi$ , а параметр  $T$ , – в основном, на смещение области. Допустимая вариабельность коэффициента демпфирования, при которой сохраняется хаотический режим, составляет величину около 30 %. Это очень большая величина по сравнению с однокольцевой системой ФАПЧ [14, 15].

2. В работе исследовались влияние эффектов дискретизации хаотического сигнала на качество восстановления исходного сигнала с помощью цифрового расширенного фильтра Калмана. Было установлено, что при большом периоде дискретизации расширенный фильтр Калмана расходится, не обеспечивая требуемых оценок. С уменьшением периода  $h$ , начиная с определенного значения, фильтр обеспечивает минимум дисперсии ошибки. При построении расширенного фильтра Калмана для регулярных сигналов подобные эффекты наблюдаются только для очень грубого шага дискретизации.

3. Для устойчивой работы фильтра необходимо правильно выбирать шаг дискретизации и параметры  $R$  и  $Q$ . В случае ошибочного задания хотя бы одного из параметров системы качество фильтрации ухудшается, но в значительной степени это заметно для больших значений отношения сигнал/шум ( $\sim 20 \div 30$  дБ).

4. По полученным результатам исследования можно сделать вывод о целесообразности разработки генератора детерминированного хаотического сигнала на основе системы фазовой синхронизации.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Батура, М.П. Динамический хаос. Генерация динамического хаотического сигнала / Батура М. П., Шилин Л. Ю., Кукин Д. П., Жилач Н. С. // Информационные технологии и системы 2017 (ИТС 2017) : материалы международной научной конференции – Минск : БГУИР, 2017 – С.62 – 63.

2. Батура, М.П. Способы генерации хаотического сигнала / Батура М. П., Шилин Л. Ю., Кукин Д. П., Жилач Н. С. // Информационные технологии и системы 2016 (ИТС 2016) : материалы международной научной конференции – Минск : БГУИР, 2016 – С.22 – 23.