

# УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ФАЗОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ

М.П. Батура, А.П. Кузнецов, Л.Ю. Шилин, Д.П. Кукин  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь  
E-mail: kanc@bsuir.by

*В докладе рассмотрены вопросы проектирования систем фазовой синхронизации, предложен обобщенный метод синтеза указанных систем, затронуты вопросы построения универсальной математической модели рассмотренного класса устройств.*

## ВВЕДЕНИЕ

Системы фазовой синхронизации (СФС), предназначенные для слежения за фазой входного сигнала, были изобретены в начале двадцатого века и широко применялись в радио и телевидении. В настоящее время существуют различные модификации схем СФС такие как например аналоговые, аналогово-цифровые, цифровые и программные СФС, специализированные для работы с различными типами сигналов. Такие системы применяются в радиопередающей и радиоприемной аппаратуре при демодуляции сигналов с однополосной, балансной или фазовой модуляцией, в системах синхронизации при передаче дискретных сообщений, в доплеровских измерительных системах [1, 2, 3]. После реализации СФС в виде отдельного чипа они получили широкое распространение в современном телекоммуникационном оборудовании, а также распределенных компьютерных архитектурах. В настоящее время подобные системы применяются, кроме прочего, в различных механических устройствах, в локации и навигационных аппаратах.

Рассматриваемый класс систем характеризуется высокими точностными показателями, однако обладает не очевидной связью между динамическими и спектральными характеристиками. Ряд научных работ авторского коллектива [1-10] посвящен исследованию таких вопросов как: анализ динамических характеристик, оценка длительности переходных процессов установления стационарных режимов, режимов удержания и захвата, детерминированного хаоса, кратных и NT-периодических захватов.

## I. ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ФАЗОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ

Авторским коллективом предлагается обобщенный метод проектирования различных классов СФС таких, например, как: синтезаторы частот, стабилизаторы напряжения и тока, системы стабилизации вращения вала двигателя; регуляторы скорости вращения вала двигателя; синхронизаторы информационных сигналов, системы слежения за скоростью движения и опре-

деления похождения объектов наблюдения, системы слежения за несущей.

Предлагается следующая последовательность проектирования СФС:

1. Определение типа объекта управления и входных параметров системы.
2. Задание желаемых характеристик выходного сигнала устройства.
3. Математическое моделирование универсальной структурной схемы СФС, включающее автоматизированный подбор схемотехнических параметров составных блоков.
4. Реализация опытного образца.

В ходе анализа разнообразных структурных схем СФС авторским коллективом были выделены наиболее общие принципы построения таких устройств и получена обобщенная структурная схема, приведенная на рисунке 1, которую предлагается использовать для построения математических моделей и анализ динамических и спектральных характеристик устройства.

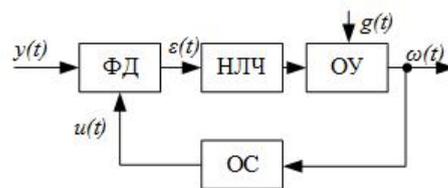


Рис. 1 – Обобщенная структурная схема СФС

В приведенной структурной схеме в качестве фазового детектора (ФД) могут выступать как аналоговые, так и импульсные (в том числе и цифровые) устройства. Непрерывная линейная часть (НЛЧ) содержит звенья коррекции и фильтрации. Объект управления (ОУ) представляет собой существенно нелинейный элемент, как правило, это синхронизатор, двигатель, управляемый напряжением генератор либо фазовозвращатель. Математическое описание каждого ОУ может иметь существенные отличия и его предлагается задавать индивидуально. В качестве обратной связи (ОС) чаще всего используется делитель с переменным коэффициентом деления, для моделирования которого достаточно предлагается учитывать только указанный параметр и, при необходимости запаздывание.

## II. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СИСТЕМ ФАЗОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ

Важнейшим этапом проектирования СФС согласно предлагаемому методу является математическое моделирование разрабатываемого устройства с целью определения структуры и параметров составных блоков. В ходе анализа аналоговых, импульсных и цифровых СФС, авторским коллективом разработана универсальная математическая модель. С этой целью выделены наиболее общие с точки зрения математического моделирования блоки, показанные на рисунке 1. Предлагается использовать следующий вид уравнений разомкнутой СФС:

$$\alpha(t) = \beta(t - t_n) - \alpha(t_n) + \int_{t_n}^t \{\beta(t - \lambda) \cdot \vartheta \cdot \varepsilon(t)\} d\lambda$$

Ключевым блоком предложенной схемы, влияющим на тип устройства, является фазовый детектор. Этот блок существенно влияет на выбор дальнейших параметров моделирования. Выбор типа ФД необходимо осуществлять исходя из требуемых выходных параметров СФС. Выбор математического описания указанного блока возможно осуществлять по следующему методу:

- в случае аналогового устройства допустимо использовать одну из общеизвестных аналитических моделей [2];
- в случае импульсного ФД при амплитудно-широотно-частотно-импульсной модуляции (для варианта двухполярной модуляции) математическое описание будет иметь следующий вид:

$$\varepsilon(t) = \begin{cases} \delta_n, & t \in [t_n; t_n + \rho_n], \\ -\delta_n, & t \in [t_n + \rho_n; t_{n+1}]. \end{cases}$$

- в случае цифрового ФД математическое описание задается видом дискриминационной характеристики, который предполагается подбирать в автоматизированном режиме по алгоритму, включающему следующие этапы: определение разрешенных значений цифровых отсчетов сигнала рассогласования; вычисление предельной амплитуды сигнала рассогласования; установка разрешенного значения сигнала рассогласования.

После составления математической модели ФД осуществляется составление уравнения замыкания в следующем виде:

$$\int_{t_{nk}}^{t_0} \omega(t) dt = 2\pi \cdot \tau_{oc}.$$

Решение приведенного выше выражения находится на интервале от  $t_0$  до  $t_{nk}$  который разбивается в зависимости от вида детектора: аналоговый – количество интервалов определяется

требуемой точностью; импульсный – для допустимо высокой точности (более 3%) достаточным является 4 и более интервалов; цифровой – определяется частотой дискретизации ФД (в большинстве случаев для точности порядка 3-5% достаточно не менее 15 интервалов).

После этого определяется набег фазы выходного сигнала устройства. Полученная модель описывает СФС с любым видом модуляции. Предложенная степень сочитания имитационного метода и аналитического описания позволяет создавать математическое описание СФС которая отличается как высокой точностью, так и существенной экономией ресурсов при ее расчете.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В докладе предложен обобщенный метод проектирования однопеллевых СФС различного характера. В основе метода лежит разработанный принцип математического описания аналоговых, импульсных и цифровых УФС, характеризующийся применением совокупности как имитационного, так и аналитического подхода. Предложен универсальный метод описания СФС учитывающий различные варианты реализации составных блоков устройства.

1. Батура М.П. Дискретные системы с фазовым управлением / Под ред. А.П. Кузнецова. Минск, 2002.
2. Кузнецов А.П., Батура М.П., Шилин Л.Ю. Анализ и параметрический синтез импульсных систем с фазовым управлением. Минск, 1993.
3. Батура, М. П. Анализ статистических характеристик дискретных систем с фазовым управлением / М. П. Батура. – Минск: [Ин-т техн. кибернетики НАН Беларуси], 1999. – 22 с.: ил. – (Препринт / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т техн. кибернетики; № 3).
4. Батура, А.П. Принципы построения программных систем фазовой синхронизации / Материалы международной конференции ИТС 2014 // М.П. Батура, А.П. Кузнецов, Л.Ю. Шилин, Д.П. Кукин.
5. Кукин Д.П. Построение диаграмм качества цифровых устройств с фазовым управлением / Доклады БГУИР, №5 (67), 2012 // Д.П. Кукин, В.Н. Пригара.
6. Кукин Д.П. Моделирование цифровых устройств фазовой синхронизации / Доклады БГУИР – 2010. – №5 (76).
7. Кукин Д.П. Синтез цифровых устройств фазовой синхронизации с учетом требований по устойчивости быстрдействию и точности / Информационные технологии и системы 2011: материалы международной научной конференции. БГУИР, Минск, 2011.
8. Бусько В.Л. Имитационное моделирование цифровых устройств фазовой автоподстройки частоты / Сборник материалов Международной НТК «Моделирование 2008» // В.Л. Бусько, Л.Ю. Шилин, Д.П. Кукин.
9. Кукин Д.П. Синтез цифровой системы фазовой синхронизации на основе микроконтроллера / Сборник материалов Международной НПК «Современная радиоэлектроника: научные исследования и подготовка кадров» // Д.П. Кукин, Л.Ю. Шилин.
10. Кукин Д.П. Автоматизированное проектирование цифровых устройств фазовой синхронизации / Материалы международной конференции ИТС 2013, БГУИР МИНСК, 2013 // Д.П. Кукин, Д.Л. Шилин.