

Анализ и параметрический синтез систем с фазовым управлением

Батура М.П., Кузнецов А.П., Шилин Л.Ю.

ФИТиУ

Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Минск, Беларусь

e-mail: dekfitu@bsuir.by

Аннотация — Разработана универсальная модель систем с фазовым управлением, рассмотрены разнообразные режимы работы – синхронный однократный, синхронный кратный-к, NT – периодический и режим детерминированного хаоса; определена устойчивость в n-мерном пространстве параметров СФУ; получены области качества по динамике процессов и спектру выходного сигнала; проведена оптимизация выбора параметров проектируемого устройства; созданы алгоритмы и программы, отображающие методы анализа и параметрического синтеза систем с фазовым управлением.

Ключевые слова: автоматическая система регулирования с фазовым управлением, математические модели, n-мерные области параметров, оптимизация, ЛПТ – последовательность, параметрический синтез

Системы с фазовым управлением получили широкое распространение в самых разнообразных видах аппаратуры, поэтому и были выделены в отдельный класс устройств автоматического регулирования [1]. Количество публикаций, посвящённых различным аспектам анализа и проектирования систем с фазовым управлением (СФУ), имеет устойчивую тенденцию к быстрому росту. Авторами предлагается своя концепция анализа и синтеза СФУ, которая включает новые методы математического и цифрового моделирования, исследования улучшения динамических и спектральных характеристик, разрабатываемых устройств, анализ наиболее важных и сложных блоков СФУ. Следует обратить внимание на то, что СФУ являются разновидностью систем автоматического регулирования с периодической нелинейностью. Это свойство исключает возможность проектирования на основе интуитивно-экспериментального подхода, поэтому предложены высокоточные математические модели, требующие привлечения численных методов и использования вычислительных машин.

Разработана универсальная модель систем с фазовым управлением, позволяющая моделировать процессы в аналоговых, импульсных [1] и цифровых [2] устройствах. Математическое описание имеет общую часть, отражающую физику процессов в непрерывной линейной части, учитывающую фазовую модуляцию, которая обладает нелинейной физикой и математическое описание разнообразных фазовых детекторов, генераторов управляемых сигналом и делителей с переменным коэффициентом деления. Описание произведено таким образом, чтобы полная модель разрабатываемой системы набиралась из существующих блоков в библиотеке и объединялась едиными уравнениями замыкания, набега фазы и др [3].

Проведён анализ фазовых и частотно-фазовых детекторов, управляемых генераторов и делителей цепи обратной связи с точки зрения определения быстродействия и уровня помех в выходном сигнале. На основе результатов анализа сформулированы

рекомендации по применению различных типов детекторов при синтезе структуры разрабатываемого устройства. Показана возможность компенсации нелинейности прямого тракта устройства, в заданном диапазоне частот работы СФУ, которая основывается на компенсации нелинейности детектора нелинейностью управляемого генератора. Таким образом обеспечиваются рекомендации по выбору структурных элементов схемы, что позволяет в дальнейшем осуществлять параметрический синтез проектируемого устройства.

Программное обеспечение, разработанное на основе математических моделей СФУ, позволяет набирать схему проектируемого устройства и исследовать его динамические, шумовые и статистические характеристики.

Отличительной особенностью СФУ является наличие различных режимов работы, при этом разнообразие режимов существенным образом осложняет проектирование систем, т.к. некоторые режимы могут являться рабочими (желаемыми), а остальные режимы неприемлемыми в данном конкретном устройстве. Наиболее применяемыми являются синхронные режимы работы: однократный синхронный режим отличается тем, что за один период входного сигнала из цепи обратной связи обязательно приходит сигнал, осуществляющий переход через нулевое значение начальной фазы; кратный синхронный режим – за один период входного сигнала из цепи обратной связи приходит сигнал, осуществляющий k-раз переход через нулевое значение начальной фазы: NT – периодический режим – набег фазы сигнала обратной связи за N периодов входного сигнала составляет № 360° , а на каждом отдельном периоде набег фазы отличается от 360° ; режим детерминированного хаоса – набег фазы сигнала обратной связи представляет собой функцию со случайным законом распределения.

Все эти режимы работы можно наблюдать при моделировании переходных процессов в СФУ на основе разработанной математической модели.

Предложено использовать режим детерминированного хаоса для создания симметрично-поточной криптосистемы, в которой шифрование производится над каждым байтом исходного текста с использованием гаммирования. Источником гамма-последовательности является система с фазовым управлением. С точки зрения шифрования процесс генерации необходимых последовательностей лучше представить следующим образом. На вход подаётся некоторый ключ, представляющий собой конечное множество чисел $\{a_1, a_2, \dots, a_k\}$. На выходе получаем последовательность $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, которую можно использовать, например, для сложения с открытым текстом. В качестве ключевого пространства используется множество $A = A_1 \times A_2 \times \dots \times A_k$, представляющее собой множество ключей, при которых выходная последовательность случайна. При использовании системы для шифрования файлов

мощность этого множества имеет большое значение, поскольку, величина его определяет вероятность определения ключа методом перебора. Необходима случайность используемой гамма-последовательности, чтобы скрывать статистические свойства открытого текста и сделать невозможной статистическую атаку. Последовательности чисел, получаемые с помощью такого источника, были протестированы. Сделан вывод, что разработанная система кодирования является практически стойкой, обладает высокой скоростью работы [3].

Важным пунктом разработки СФУ является предварительный выбор области параметров, в которой будет производиться выбор оптимальных значений элементов проектируемого устройства. Авторами предлагается параметрический синтез разделить на два этапа: первый – выбор n -мерной области параметров по упрощённой модели устройства; второй – определение оптимальных значений элементов по высокоточной модели с учётом всех специфических устройств СФУ.

На первом этапе предлагается воспользоваться линеаризованными моделями систем с фазовым управлением [1], [2]. По предложенному методу определяется устойчивость «в малом» и получаются значения параметров, которые ограничивают n -мерное пространство допустимых параметров. [1] При этом предполагается, что эта область наибольшая, с точки зрения обеспечения синхронных режимов работы проектируемого устройства, поэтому на втором этапе поиск производится в ограниченной области параметров. На втором этапе решается задача определения глобального минимума, как наименьшего из всех локальных [1]. Наиболее эффективным методом поиска экстремума для СФУ с точки зрения машинной реализации является вычисление функционала на сетке точек, находящихся в заданной области, с последующим уточнением полученного экстремума. Для определения сетки точек, равномерно заполняющих n -мерную область, рационально использовать ЛПТ – последовательности. Методы генерации и доказательство равномерности распределения ЛПТ – последовательностей представлены в [4].

Целью оптимизации является выбор параметров разрабатываемого устройства, при условии устойчивости системы, обеспечивающих: наибольшее быстродействие; наилучшее соотношение сигнал/шум выходного сигнала; комбинацию перечисленных требований с различными весовыми соотношениями. Просчёт функционала и нахождение собственных чисел универсальной матрицы производится путём зондирования пространства параметров в точках ЛПТ – последовательности, выбор наилучших областей n -мерного пространства параметров и сокращения области поиска, наконец уточнение точки экстремума методом Хука-Дживса [1].

При параметрическом синтезе СФУ предполагается, что разработчик системы определился с видом структурной схемы, знает какой режим работы предполагается рабочим (синхронный однократный; кратный с заданным значением- k ; детерминированный хаос), а также – к какому типу систем она относится. Авторами проведена классификация СФУ по требованиям к техническим характеристикам проектируемого устройства. Выделено четыре типа систем, составлены четыре алгоритма синтеза для следящих систем и систем стабилизации, а также разработано программное обеспечение, реализующее вышеизложенные принципы проектирования. Основные четыре типа устройств:

1. У которых единственным требованием является обеспечение заданного быстродействия. К таким системам относятся регуляторы скорости вращения вала двигателя, электромеханические системы синхронизации, стабилизаторы напряжения и тока.

2. К которым предъявляются требования по быстродействию и в меньшей мере к качеству выходного сигнала по шумам. Это – следящие системы за частотой и фазой выходного сигнала, синхронные измерители, восстановители радиосигналов, синхронизаторы потоков информации.

3. К которым предъявляются требования по шумам в выходном сигнале. К таким устройствам относится большинство синтезаторов частот.

4. Основным требованием является отношение сигнал/шум, а также существуют требования по динамике системы. Это – синтезаторы частот, системы слежения за частотой, системы частотного преобразования в режиме синхронной приёма-передачи информации.

В соответствии с алгоритмом проектирования СФУ после параметрического синтеза предусматривается полный анализ системы. Проверяются статические и динамические характеристики, проводится исследование при случайных воздействиях. [1], [2], [5].

По предложенным методам для анализа и параметрического синтеза СФУ создан пакет прикладных программ, обеспечивающий проектирование систем в автоматизированном режиме.

[1] А. П. Кузнецов, М. П. Батура, Л. Ю. Шилин. Анализ и параметрический синтез импульсных систем с фазовым управлением. Мн.: Наука і тэхніка, 1993. – 224 с

[2] М. П. Батура. Дискретные системы с фазовым управлением / М. П. Батура, - Минск: БГУИР, 2002. – 152 с

[3] Л. Ю. Шилин. Анализ режимов работы импульсных систем фазовой синхронизации / Л. Ю. Шилин, Д. Л. Шилин // Доклады БГУИР, 2008. - № 1, - с. 22-28.

[4] И. М. Соболев, Р. Б. Статников. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. М.: Дрофа. 2-е издание. 2006. – 175 с

[5] М. П. Батура. Статистическая динамика дискретных систем с фазовым управлением / М. П. Батура // Известия Белорусской инженерной академии. – 2002. - № 1 (13). – с. 33-37.