

УДК 001.891.57

С.В. Акимов

Анализ проблемы автоматизации структурно-параметрического синтеза

Проанализирована проблема автоматизации структурно-параметрического синтеза системных объектов. Рассмотрены основные направления, развиваемые отдельными исследователями и группами исследователей. Проведен сравнительный анализ математических моделей параметрического и структурно-параметрического синтеза. Показано, что для автоматизации структурно-параметрического синтеза необходим особый вид моделей. Предложена схема структурно-параметрического синтеза.

Ключевые слова: структурно-параметрический синтез, автоматизация, модели, морфологическое множество.

В современных системах автоматизированного проектирования (САПР) используется компьютерное моделирование, что поднимает процесс проектирования на качественно новый уровень. Большинство из них содержат модуль параметрической оптимизации, который позволяет при заданной структуре проектируемого устройства подобрать значения параметров составляющих ее элементов, при которых характеристики будут находиться в заданных разработчиком пределах. Но для этого необходимо задать структуру устройства, при которой возможно достижение требуемых характеристик, а выбор такой структуры далеко не всегда очевиден и обычно требует существенных временных затрат. Кроме того, такая структура может оказаться неоптимальной, так как даже вооруженный современными САПР разработчик может опробовать лишь незначительное число структурных решений, потому что на задание и модификацию структур требуются существенные временные затраты. Поэтому логично требовать от САПР следующего поколения поддержки автоматической генерации различных структур проектируемых устройств, вариацию этих структур, реализацию оптимизации как структуры всего устройства, так и отдельных, указанных разработчиком подструктур. Следовательно, они будут поддерживать процедуру автоматизированного структурно-параметрического синтеза. Но реализация алгоритмов структурно-параметрического синтеза наталкивается на ряд трудностей методологического, теоретического, технического, а также и психологического характера. В данной статье приводятся результаты анализа проблемы автоматизации структурно-параметрического синтеза и предлагаются возможные пути ее решения.

По поводу возможности формализации методов структурно-параметрического синтеза мнения исследователей расходятся: одни считают, что его формализация возможна, другие – что нет. Большинство практикующих разработчиков вообще склонны избегать слова «синтез» применительно к структурам, так как для многих устройств они часто просто выбираются из справочников. Но здесь вопрос ставится не совсем верно. И сторонники, и противники возможности формализации часто впадают в крайности. И те, и другие обычно склонны рассматривать крайние варианты, имея в виду на одном полюсе такой уровень формализации, который достигнут, скажем, при реализации пассивных 2- и 4-полюсников (например, по Фостеру или по Кауэру), на другом – простой перебор структур. Но возможен и компромиссный вариант, основанный на так называемом морфологическом подходе, который заключается в целенаправленном поиске рациональной структуры на морфологическом множестве, представленном в виде и/или-деревьев, при помощи эвристических и эволюционных алгоритмов, а также технологии инженерии знаний.

Единственно серьезным аргументом противников возможности автоматизации структурно-параметрического синтеза может выступать то, что такие задачи обычно относятся к классу NP-трудных, а алгоритмов, позволяющих находить оптимальные решения для таких задач за приемлемое время, на данный момент не существует. Но ведь и при традиционном проектировании не гарантируется оптимальность разрабатываемого устройства. Более того, так как компьютер может перебрать большое число структур, которое несоизмеримо с «ручными» методами, то в данном случае шанс нахождения более оптимальной структуры представляется весьма вероятным.

Другим доказательством возможности автоматизации структурно-параметрического синтеза может выступать ряд успешно решенных задач [1–3]. Кроме того, логично ожидать, что после решения проблемы параметрического синтеза будет решена и более общая задача – структурно-параметрического.

Теоретические основы, которые могут быть использованы при создании САПР, поддерживающих структурно-параметрический синтез, были заложены достаточно давно [4–6]. Но реализация полноценных коммерческих САПР с такой возможностью до сих пор наталкивается на ряд трудностей. Это связано как с объективными, так и субъективными причинами. К первым относятся:

- недостаточные вычислительные мощности еще в совсем недавнем прошлом;
- отсутствие адекватных языков программирования (в частности, языков, поддерживающих парадигму объектно-ориентированного программирования);
- затруднение в многократном использовании программного кода;
- трудность реализации межплатформенных систем;
- отсутствие общей теории структурно-параметрического синтеза, пригодной для всех классов проектируемых устройств;
- отсутствие совершенного лингвистического обеспечения поддерживающего процедуру структурно-параметрического синтеза.

Ко вторым можно отнести:

- частое нахождение исследователей «в плену» базовой дисциплины, например для разработчиков радиоэлектронной аппаратуры – теории электрических цепей, попытки решить задачу синтеза, оставаясь в ее рамках;
- недостаточно развитая способность к коммуникации специалистов различных профилей, без которой невозможно создание эффективных методик, которые должны строиться на междисциплинарном подходе;
- сосредоточенность на специфике конкретных приложений, которой обусловлена «разобщенность исследований в области структурного синтеза, препятствующая распространению опыта, накопленного в одних приложениях, на другие» [7. С. 6].

Только теперь, с широким внедрением персональных компьютеров, с обретением ими вычислительной мощности, сравнимой с мощностью суперкомпьютеров недавнего прошлого, создания методологии объектно-ориентированного программирования и мультиагентных технологий, открываются возможности создания практически пригодных методик структурно-параметрического синтеза различных устройств.

Сравнительный анализ задач параметрического и структурно-параметрического синтеза.

Как известно, процесс синтеза, проводимого поисковыми методами, распадается на три этапа: задание целевой функции, создание математической модели и выбор алгоритма синтеза. Рассмотрим каждый этап и сравним требования, предъявляемые к параметрическому и структурно-параметрическому синтезу на этих этапах.

Целевая функция. При параметрической оптимизации изменяются лишь параметры элементов, составляющих структуру проектируемого устройства, а сама структура остается неизменной. При структурно-параметрической – изменяются как параметры, так и структура устройства, а следовательно, с формальной точки зрения, структура целевой функции для каждой структуры будет уникальной, и необходим алгоритм ее автоматического формирования. Но так как при составлении целевых функций система уравнений, представляющая собой математическую модель, обычно инкапсулирована в характеристиках проектируемого устройства, то целевая функция для структурно-параметрического синтеза будет отличаться, во-первых, способом задания ограничений на множество структур, которые должны обеспечить соответствие выбранной структуры условиям технического задания. Такие ограничения могут вводиться при помощи задания множества альтернатив или морфологического множества, на котором осуществляется поиск, и тогда их можно отнести к моделям и алгоритмам структурного синтеза. Во-вторых, при синтезе структур может потребоваться дополнительная целевая функция, отражающая структурные свойства проектируемого объекта, которая может носить качественный характер, указывая на большее или меньшее соответствие выбранной структуры условиям технического задания.

Следует подчеркнуть, что при структурно-параметрическом синтезе разработчик получает большую свободу при создании целевой функции, являющейся формализованным заданием на синтез. Так, при параметрическом синтезе применение ограничений на критерии ограничено тем, что

при данной структуре проектируемого устройства совокупное выполнение ограничений может оказаться недостижимым. При структурно-параметрическом синтезе такая проблема отсутствует, и если алгоритм разработан правильно, техническое задание является корректным, а морфологическое множество содержит структуру, при которой выполняются данные ограничения, то с большой долей вероятности решение, удовлетворяющее условиям технического задания, будет найдено.

Модель. Модели, используемые в параметрическом и структурно-параметрическом синтезе, являются принципиально различными (табл. 1). При параметрической оптимизации поиск осуществляется в пространстве параметров номиналов элементов, следовательно, в модели изменяются лишь параметры элементов, составляющих структуру проектируемого устройства, а сама структура в процессе оптимизации остается неизменной. При структурно-параметрическом синтезе поиск производится в пространстве как структур, так и номиналов элементов этих структур. Следовательно, необходимо моделировать не отдельно взятое устройство, а весь класс проектируемых устройств. Назовем такую модель универсальной моделью. Более того, универсальная модель обеспечивает ограничения на множество структур, на котором организуется поиск технического решения. Если методики создания математических и компьютерных моделей конкретно взятых устройств подробно разработаны и реализованы в широко применяемых пакетах (MicroCAP, Microwave Office, ANSYS), то с методиками моделирования классов устройств дела обстоят иначе.

Таблица 1

Сравнение моделей для структурного и структурно-параметрического синтеза

Синтез	
Параметрический	Структурно-параметрический
Структура модели фиксирована и не изменяется в процессе синтеза	Структура модели заранее неизвестна и модель формируется автоматически
Изменяются только параметры (номиналы элементов). Поиск осуществляется в пространстве параметров	Изменяются как структура, так и параметры. Поиск осуществляется в пространстве структур и параметров
Размерность вектора параметров фиксирована	Размерность вектора параметров заранее неизвестна и может быть определена только после того, как будет определена структура

Можно предложить два подхода к созданию универсальных моделей: автономные модели, решением которых будут характеристики проектируемого устройства [8, 9], и модели морфологического множества [10], решением которых будут спецификации проектируемых устройств.

В случае автономных моделей необходимо выполнить весь процесс компьютерного моделирования, включая формирование и решение систем уравнений. Они могут быть реализованы в виде динамически подключаемых библиотек (DLL). Достоинствами таких моделей является их эффективность, так как при их создании могут быть использованы специальные методы моделирования узкого класса устройств (например, в теории цепей, как известно, существуют алгоритмы для анализа лестничных цепей, каскадного соединения и некоторых других, более эффективные, чем общий метод узловых потенциалов). Более того, САПР на основе таких моделей получают автономными и для их работы не требуются другие дорогостоящие программные пакеты (типа ANSYS). Недостатком является высокая трудоемкость их создания.

Для моделей морфологического множества необходимо обеспечить лишь генерацию спецификаций структур класса проектируемых устройств. Достоинствами таких моделей является простота их создания при наличии специального лингвистического обеспечения. Кроме того, разделение различных видов знания – о структуре проектируемых устройств (в модели морфологического множества) и о вычислении характеристик (во внешнем пакете системы компьютерного моделирования) с методологической точки зрения представляется положительным. Недостатком можно назвать то, что для САПР, использующих такие модели, необходимы внешние дорогостоящие программные пакеты компьютерного моделирования. Причем они могут использоваться совместно лишь с пакетами, имеющими входной язык, совместимый со спецификациями, генерируемыми этими моделями.

Так как современные системы компьютерного моделирования поддерживают работу с подсистемами (подсистемами), то представляется возможным использование в рамках одной САПР как автономных моделей, так и моделей морфологического множества. Такое совместное использование

различных видов моделей представляется целесообразным по той причине, что, например, в радиотехнике существует небольшое число типовых соединений, к которым можно свести большую часть принципиальной схемы (параллельное, последовательное, каскадное соединения, лестничная, Т-образная перекрытая и мостовая схемы), наличие эффективных компьютерных моделей которых представляется весьма желательным.

Алгоритм синтеза. Синтез устройств может проводиться как аналитическими, так и численными методами. В первом случае осуществляется алгоритм, позволяющий получить как структуру устройства, так и параметры элементов, из которых она состоит, причем устройство обычно получается оптимальным. Но такие алгоритмы известны лишь для некоторых классов, обычно достаточно простых устройств. Таким образом, эти алгоритмы сугубо специализированные. Во втором случае такой алгоритм не известен и задача синтеза решается с помощью оптимизационных методов. В свою очередь, если эти алгоритмы могут находить лишь параметры элементов для заданной структуры, то они являются алгоритмами параметрического синтеза, а если позволяют находить и структуру устройства, то они уже являются алгоритмами структурно-параметрического синтеза. Рассмотрим эти алгоритмы более подробно.

Алгоритмы, в основу которых положены аналитические методы, используют знания теории исследуемых устройств (назовем для простоты спецкурсом) и методы базовой дисциплины (в радиотехнике – теории цепей, в механике – сопромат и т.д.). Достоинством таких алгоритмов является их высокая эффективность, так как они обычно позволяют синтезировать устройство за одну итерацию. Более того, устройство обычно получается оптимальным по заданным критериям. Недостатком является то, что такие алгоритмы известны далеко не для всех классов устройств, а их создание является чрезвычайно трудоемким и требует от исследователя высочайшей квалификации.

Алгоритмы параметрического синтеза, осуществляемого методами математического программирования, помимо спецкурса и теории базовой дисциплины, включают в себя оптимизационные методы. Достоинством таких алгоритмов является большая гибкость, и они пригодны практически для любых классов устройств, когда известна их структура. Следующим достоинством является их высокая унификация, так как в пределах устройств с общей базовой дисциплиной меняться будут только структуры устройств и целевые функции. Недостатками являются достаточно высокие требования к вычислительным ресурсам, не гарантируется, что спроектированное устройство будет оптимальным, а также то, что выбор структуры устройства не всегда бывает очевидным.

Структурно-параметрический синтез, проводимый поисковыми методами, помимо дисциплин, используемых в параметрическом синтезе, требует использования методов системного подхода, инженерии знаний и теории искусственного интеллекта [11, 12]. Синтез структур является трудноформализуемой задачей, и поэтому в нем используются как методы дискретной оптимизации, так и эвристические морфологические методы (конкурирующих точек, зондирования морфологического множества, совершенствования прототипа, древовидного и лабиринтного конструирования и т.д.), а также генетические алгоритмы. Некоторые задачи, например задача синтеза планетарных коробок передач, могут быть целиком решены методами дискретно-непрерывного программирования [13]. Но в общем случае требуется привлечение методов инженерии знаний и искусственного интеллекта, для того чтобы организовать эффективный поиск на морфологическом множестве, которое, как известно, имеет очень большую мощность. Для этого для классов исследуемых устройств создаются специальные эвристики и планы решений, которые обычно бывают иерархическими. Рассмотрим некоторые подходы к реализации процедуры структурно-параметрического синтеза.

Ю.И. Лыпарем и его школой был разработан метод системного синтеза структур, выполняемого по классической схеме (аппроксимация – структурный синтез – параметрический синтез). Метод основывается на отображении P , представляющем собой композицию промежуточных отображений, осуществляемых на последовательных этапах синтеза. Для синтеза когнитивных структур гуманоидного робота [14] использовалось следующее отображение:

$$P = S_{PSI} \circ S_{SI} \circ S_m \circ A \circ S_{Pr} \circ F_{TER}. \quad (1)$$

Процесс синтеза распадается на ряд последовательных этапов: формализация задачи (F_{TER}), выбор принципов построения (S_{Pr}), построение аппроксимации решения задачи (A), нахождения возможного способа построения структур (S_m) исходя из ограничений и аппроксимации решения, полученных на предыдущем этапе, определение множества структур (S_{SI}) и их параметров (S_{PSI}).

Похожее отображение использовалось и для синтеза модели управления инвестициями [15]:

$$P = \Phi_H \circ \Phi_K \circ S_{SI} \circ S_m \circ A \circ SA_{Pr} \circ F_{ТЭТ}, \quad (2)$$

а также в алгоритмах синтеза электронных схем [16] и при построении базы знаний для систем проектирования и обучения [17].

Э.А. Свирщевой был разработан метод синтеза неизоморфных систем с однородными компонентами, который позволяет значительно сократить пространство поиска, и который также выполнен по классической схеме [7]. При помощи этого метода были синтезированы бинарные программы с минимальным объемом занимаемой памяти при максимальном быстродействии, а также линейные избирательные устройства на операционных усилителях, некоторые из которых оказались патентоспособными, что наглядно демонстрирует его универсальность и перспективность.

А.А. Ланнэ, Е.Д. Михайловой, Б.С. Саркисяном и Я.Н. Матвийчук проводились интенсивные исследования в области оптимального синтеза электронных устройств, в частности большое внимание было уделено проблеме реализации, решаемой при помощи топологических методов и компонентных уравнений [18].

Оригинальный способ синтеза электрических цепей по областям импеданса был предложен Л.И. Бабаком [19]. Данный метод хорошо себя зарекомендовал при синтезе согласующих цепей и цепей связи транзисторных широкополосных усилителей.

Группа Козы (Koza) при синтезе электронных аналоговых устройств успешно использовала генетические алгоритмы для выбора эвристики трансформации текущей структуры [1]. Другая группа так же успешно применяла генетические алгоритмы для синтеза электронных усилителей [2]. Эволюционные методы были применены и для синтеза арифметических устройств [3]. Это далеко не полный перечень успешного применения алгоритмов структурно-параметрического синтеза, но и он дает наглядное представление о перспективности дальнейших исследований в данной области.

Другой интересный подход к синтезу электрических цепей с использованием генетических алгоритмов предложен С. Дорощевым [20]. Особенностью данного метода является поиск решения в структурно-параметрическом пространстве, без разделения стадий «выбор структуры – решение задачи параметрического синтеза для выбранной структуры с целью ее оценки», как это обычно бывает при применении классических методов структурно-параметрического синтеза.

Достоинством структурно-параметрического синтеза, проводимого комбинаторными методами, являются его гибкость и универсальность. С его помощью можно находить как структуру устройств, так и параметры элементов, ее составляющих. Причем класс проектируемых объектов, в отличие от синтеза, проводимого чисто аналитическими методами, достаточно широк. Условием возможности его применения является наличие универсальных моделей проектируемых устройств, эвристик и планов решений. Недостатками является то, что, как и в случае параметрического синтеза, не всегда имеется гарантия достижения глобального оптимума. Кроме того, такие алгоритмы предъявляют очень высокие требования к вычислительным ресурсам, а программная система, их реализующая, оказывается достаточно сложной.

Можно заметить, что рассмотренные классы алгоритмов образуют некоторую иерархию (табл. 2).

Каждый последующий класс алгоритмов является более универсальным и интегрирует все большее число дисциплин. А это помимо расширения диапазона применимости, способствует дальнейшей интеграции научно-технических знаний.

Таблица 2

		Сравнение разных видов синтеза		
		Вид синтеза	Методы вовлеченных дисциплин	Возможности
Методы синтеза	Аналитические	Синтез, проводимый аналитическими методами	Спецкурса + базовой дисциплины	Структурно-параметрический синтез в замкнутой форме узкого класса устройств (обычно достаточно простых)
	Численные	Параметрический	Спецкурса + базовой дисциплины + оптимизационные	Синтез любых устройств, для которых задана структура и имеется математическая модель
		Структурно-параметрический	Спецкурса + базовой дисциплины + оптимизационные + инженерии знаний и теории искусственного интеллекта	Любых устройств, принадлежащих классу, для которого имеется универсальная модель и эвристики синтеза

Архитектура программной системы, осуществляющей структурно-параметрический синтез. Из всего вышесказанного можно предложить следующую структуру системы, осуществляющей структурно-параметрический синтез (рис. 1), в которой используется модель морфологического

множества. Такая система состоит из универсальной модели (модели класса проектируемых устройств) и блока структурно-параметрического синтеза, который непосредственно управляет процессом синтеза. Универсальная модель состоит из модели морфологического множества и системы компьютерного моделирования. Модель морфологического множества в свою очередь состоит из морфологического дерева, библиотеки параметризованных моделей и компилятора.

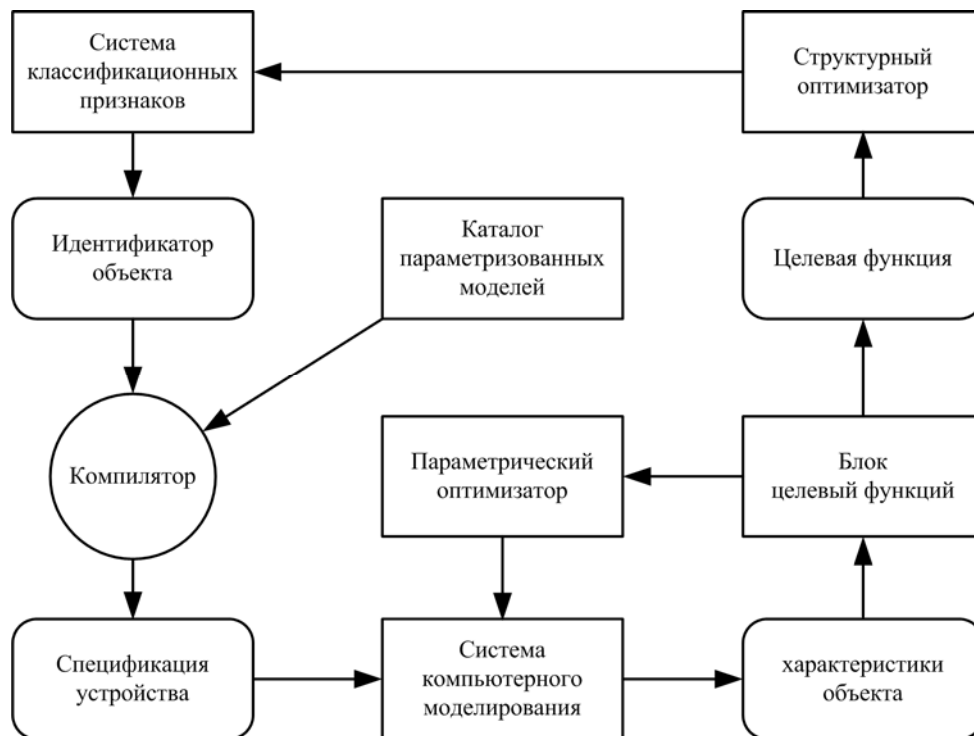


Рис. 1. Структура системы структурно-параметрического синтеза

Структурный синтезатор непосредственно работает с морфологическим деревом класса проектируемых устройств, задавая значения классификационных признаков, которым соответствуют ребра этого дерева. После того как на морфологическом дереве выбрано поддерево, однозначно идентифицирующее структуру проектируемого устройства, компилятор, используя библиотеку параметризованных моделей, генерирует спецификацию устройства, которая затем передается в систему компьютерного моделирования. Здесь можно провести аналогию с применяемым в последнее время в интернет-технологиях преобразованием XML-документов в HTML-документы с помощью XSL [21]. В роли XML-документа выступает морфологическое дерево, в роли XSL – библиотека параметризованных моделей, а в роли HTML-документа – спецификация проектируемого устройства. В обоих случаях используется раздельное представление моделей содержания (XML-документ / морфологическое дерево) и представления (таблица стилей для XSL/библиотека параметризованных моделей). Далее в системе компьютерного моделирования формируется и решается математическая модель проектируемого устройства, а по характеристикам, рассчитанным с помощью этой модели, вычисляется значение целевой функции. Это значение передается в параметрический и структурный оптимизаторы, которые управляют процессом синтеза.

Структурный оптимизатор содержит два класса алгоритмов: дискретной оптимизации и морфологического синтеза. Блок алгоритмов морфологического синтеза может быть реализован с использованием хорошо разработанной теории нечетких регуляторов.

Анализируя полученную архитектуру, можно сделать вывод, что задача автоматизации структурно-параметрического синтеза может быть сведена к известным задачам инженерии знаний, компиляции, компьютерного моделирования, дискретно-непрерывной оптимизации и нечеткого регулятора.

Заключение. В результате проведенного анализа проблемы структурно-параметрического синтеза показано:

– что для автоматизации структурно-параметрического синтеза недостаточно возможностей традиционных математических моделей, а необходимы универсальные модели, являющиеся моделями класса устройств. Такие модели могут быть как автономными, так и полученными в результате объединения модели морфологического множества и системы компьютерного моделирования. В свою очередь модель морфологического множества может быть получена путем объединения морфологического дерева, библиотеки параметризованных моделей и компилятора, генерирующего спецификацию устройства;

– модуль структурного синтеза может быть реализован по модели нечеткого регулятора;

– создание методологии автоматизации структурно-параметрического синтеза способствует дальнейшей интеграции научно-технических знаний, так как интегрирует методы разных дисциплин: спецкурса, базовой дисциплины, оптимизации, инженерии знаний и теории искусственного интеллекта.

Литература

1. Automated Synthesis of Analog Electrical Circuits by Means of Genetic Programming / J.R. Koza, F.H. Bennett, D. Andre et al. // IEEE trans. on Evolutionary Computation. – 1997. – Vol. 1, № 2. – P. 109–128.

2. Sripamong T. The Invention of CMOS Amplifier Using Genetic Programming and Current-Flow Analysis / T. Sripamong, C. Toumazou // IEEE transactions on computer-aided design of integrated circuits and systems. – 2002. – Vol. 21, № 11. – P. 1237–1252.

3. Graph-Based Evolutionary Design of Arithmetic Circuits / D. Chen, T. Aoki, N. Homma et al. // IEEE trans. on Evolutionary Computation. – 2002. – Vol. 6, № 1. – P. 86–100.

4. Zwicky F. Discovery, Invention, Research through the Morphological Approach. – New York: McMillan, 1969. – 276 p.

5. Одрин В.М. Морфологический анализ систем. Построение морфологических таблиц / В.М. Одрин, С.С. Картавов. – Киев: Наукова думка, 1977. – 280 с.

6. Автоматизация поискового конструирования / под ред. А.И. Половинкина. – М.: Радио и связь, 1981. – 344 с.

7. Свирщева Э.А. Структурный синтез неизоморфных систем с однородными компонентами. – Харьков: ХТУРЕ, 1998. – 256 с.

8. Акимов С.В. Объектно-ориентированное проектирование САПР транзисторных усилителей СВЧ // Труды учебных заведений связи (СПб). – 2002. – № 167. – С. 172–187.

9. Акимов С.В. Опыт использования универсальной модели лестничной цепи // 56-я НТК СПбГУТ. – СПб.: СПбГУТ, 2004. – С. 74.

10. Акимов С.В. Structuralist – язык моделирования морфологического множества // 56-я НТК СПбГУТ. – СПб.: СПбГУТ, 2004. – С. 75.

11. Акимов С.В. Общая методология синтеза различных классов транзисторных усилителей СВЧ // Труды учебных заведений связи (СПб). – 2001. – № 166. – С. 79–83.

12. Акимов С.В. Морфологический анализ множества линейных транзисторных усилителей СВЧ // Труды учебных заведений связи (СПб). – 2001. – № 166. – С. 84–89.

13. Сушков Ю.А. Об одном способе организации случайного поиска // Автоматика и вычислительная техника. – 1974. – № 6. – С. 41–48.

14. Лыпарь Ю.И. Когнитивные структуры в системе управления гуманоидного робота / Ю.И. Лыпарь, Л.А. Станкевич // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2002. – № 7. – С. 7–10.

15. Модели структурного синтеза систем управления / А.С. Дербин, М.А. Завгородний, П.Н. Иванов, Ю.И. Лыпарь // XXX Юбилейная неделя науки СПбГТУ. – 2002. – Ч. 7. – С. 58.

16. Лыпарь Ю.И. Автоматизация проектирования избирательных усилителей и генераторов. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1983. – 164 с.

17. Лыпарь Ю.И. База знаний для систем проектирования и обучения // Региональная информатика–96 (СПб). – 1996. – Ч. 2. – С. 251–252.

18. Оптимальная реализация линейных электронных схем / А.А. Ланнэ, Е.Д. Михайлова, Б.С. Саркисян, Я.Н. Матвийчук. – Киев: Наукова думка, 1982. – 208 с.

19. Бабак Л.И. Синтез согласующих цепей и цепей связи транзисторных широкополосных усилителей по областям иммитанса // Радиотехника и электроника. – 1995. – Т. 40, № 10. – С. 1550–1560.

20. Интеллектуальная система автоматизированного проектирования СВЧ-устройств INDESYS / С.Ю. Дорофеев, Л.И. Бабак, А.С. Барышников и др. // Информационные технологии. – 2010. – №2. – С. 42–48.

21. Питтс Н. XML за рекордное время. – М.: Мир, 2000. – 444 с.

Акимов Сергей Викторович

Доцент каф. автоматизации предприятий связи СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича (г. Санкт-Петербург)

Тел.: 8 (812) 305-12-47

Эл. почта: akimov-sv@yandex.ru

Akimov S.V.

The analysis of the problem of structurally-parametrical synthesis automation

The problem of automation of structurally-parametrical synthesis of system objects is analysed. The main directions developed by separate researchers and groups of researchers are considered. The comparative analysis of mathematical models of parametrical and structurally-parametrical synthesis is carried out. It is shown that the special kind of models is necessary for automation of structurally-parametrical synthesis. The scheme of structurally-parametrical synthesis is offered.

Keywords: structurally-parametrical synthesis, automation, models, morphological set.