МЕТОД АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СИНТЕЗА SPICE-МОДЕЛЕЙ МНОГОКОНТАКТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ ДЛЯ САПР РЭА

В.А. Верчёнов, Д.А. Дормидошина, Ю.А. Евстифеев, Ю.В. Рубцов (АО «ЦКБ «Дейтон»)

Предложен метод автоматизированного синтеза SPICE-моделей[1] многоконтактных электрических соединителей (МЭС). Исходные схемы преобразуются в графовое представление, затем выполняется канонизация структуры, выявление различий между моделями соседних размерностей и выделение повторяющегося фрагмента. На этой основе формируется правило структурного преобразования для синтеза модели с требуемым числом контактов.

Метод предусматривает автоматический контроль связности, позиционных обозначений и структуры каналов, что снижает вероятность ошибок ручного масштабирования. Апробация выполнена на моделях соединителей от 2 до 15 контактов. Правило формировалось по моделям на 2–5 контактов и применялось для синтеза конфигураций на 6–15 контактов. Во всех контрольных случаях получено полное совпадение с эталонными структурами.

Расчётное время построения конфигураций на 6–15 контактов составляет 190–237,5 мин при ручном выполнении и около 0,63 с при автоматизированном синтезе на бюджетном компьютере. При этом автоматически формируются 90,5 % каналов рассматриваемого семейства.

Полученные результаты подтверждают возможность перехода от последовательного ручного редактирования схем к автоматизированному структурному проектированию семейств SPICE-моделей, а также создают предпосылки для дальнейшего развития метода в направлении интеллектуального синтеза новых схемных структур с применением искусственного интеллекта и генетических алгоритмов.

Ключевые слова: SPICE, САПР, автоматизация проектирования, многоконтактный электрический соединитель, структурный синтез, графовое представление, канонизация, структурный хеш, преобразование графа, верификация.

ВВЕДЕНИЕ

SPICE-модели являются одним из базовых видов информационного обеспечения схемотехнического проектирования. Принцип представления электрической схемы посредством компонентов и электрических узлов был заложен ещё в исходной архитектуре SPICE [1], а в отечественной нормативной базе понятия SPICE-модели, её верификации и валидации закреплены ГОСТ Р 70756–2023[2].

Для многоконтактных соединителей практическая трудоёмкость разработки моделей определяется не только подготовкой параметров моделей, но и построением схем замещения или эквивалентных схем. При увеличении числа контактов схемотехник вынужден многократно выполнять одинаковые операции: размещать элементы очередного канала, назначать позиционные обозначения, создавать узлы, подключать шунтирующие ветви к общему узлу, проводить линии связи, контролировать точки электрического соединения и затем визуально проверять полученную схему.

Такой характер работ принципиально отличается от творческого схемотехнического проектирования. Значительная часть операций является повторяющейся и формализуемой. Для систем автоматизированного проектирования это типичная область рационального применения автоматизации: исследования промышленных процессов проектирования показывают, что перенос повторяющихся операций в автоматизированный маршрут сокращает инженерную трудоёмкость, повышает

[1] SPICE-модели — это математические описания электронных компонентов (транзисторов, диодов, резисторов, конденсаторов и т.д.), которые используются в симуляторах для моделирования поведения целых схем.

[2] ГОСТ Р 70756–2023. Системы автоматизированного проектирования электроники. Информационное обеспечение. Модели SPICE. Термины и определения. М.: Российский институт стандартизации, 2023.

воспроизводимость и снижает частоту ошибок. Аналогично ручная проверка сложных CAD-чертежей характеризуется как трудоёмкая, последовательная и подверженная человеческим ошибкам.

В рассматриваемом семействе моделей одному дополнительному каналу соответствуют четыре схемотехнических элемента: последовательные резистивный и индуктивный элементы и две шунтирующие ветви. Поэтому уже для соединителя на 15 контактов при 14 моделируемых каналах требуется разместить 56 элементов, не считая операций проведения линий связи, назначения узлов, нумерации и графического выравнивания. При независимом построении полного набора моделей в диапазоне 2...15 контактов число размещаемых элементов достигает 420 ед. Даже при копировании готового канала остаются операции перенумерации, подключения и последующего визуального контроля. Практическая проблема заключается, прежде всего, в том, что ошибка при такой работе способна быть не синтаксической, а структурной. Наиболее опасны пропущенная шунтирующая ветвь, соединение с неверным общим узлом, отсутствие точки электрического соединения, случайное объединение пересекающихся проводников, нарушение последовательности элементов или дублирование обозначений. Внешне схема при этом может выглядеть правдоподобно.

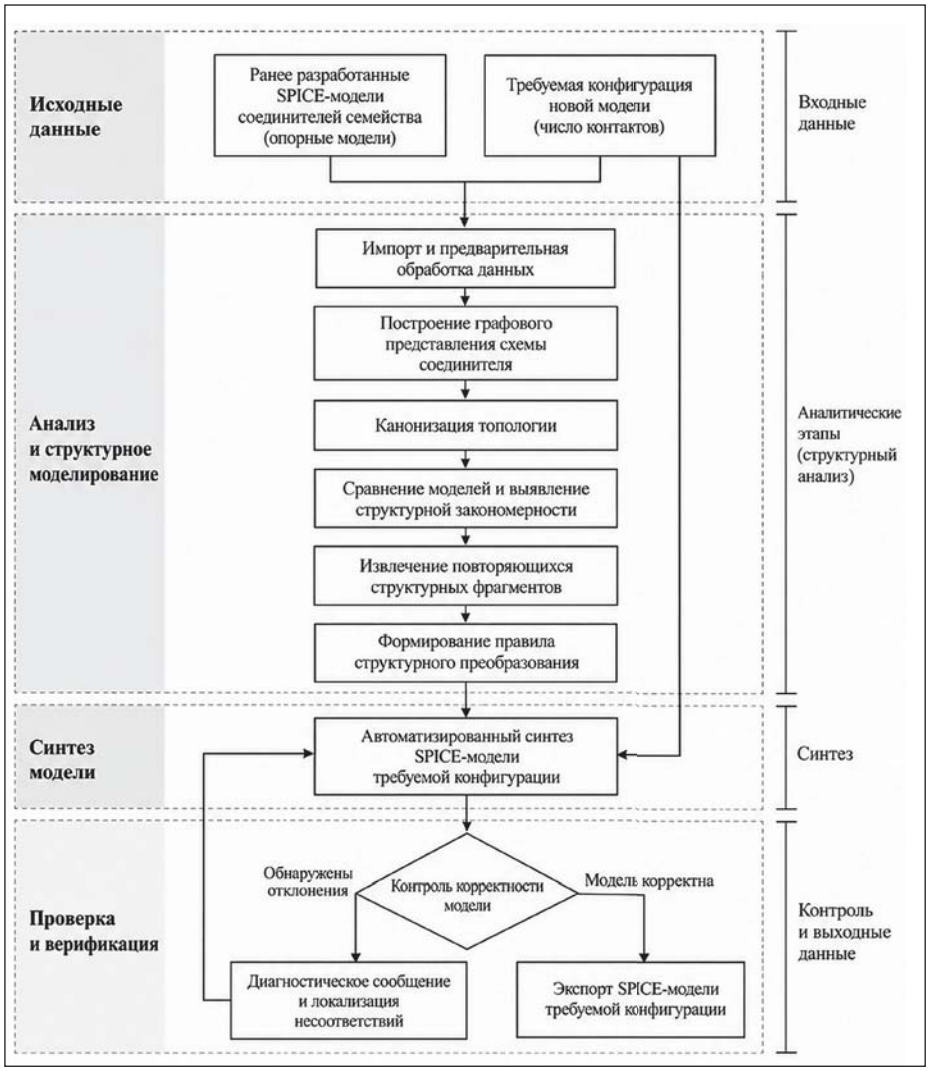


Рис. 1. Функциональная схема метода автоматизированного синтеза SPICE-моделей МЭС

Таким образом, актуальной является разработка метода автоматизированного синтеза SPICE-моделей МЭС, позволяющего по ранее разработанным моделям одного семейства выявлять закономерность изменения структуры, синтезировать модель требуемой размерности и автоматически контролировать её структурную корректность.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОСТРОЕНИЯ SPICE-МОДЕЛЕЙ МЭС

В работе рассматривается семейство соединителей, для которого изменение числа контактов сопровождается закономерным изменением структуры эквивалентной схемы.

Предметом исследования является именно структурный синтез. Численные параметры элементов считаются заданными и не определяются предлагаемым методом. Задача идентификации параметров SPICE-моделей является самостоятельной и рассматривается в специализированных исследованиях, в том числе отечественных [2].

Исходными данными являются ранее разработанные SPICE-модели нескольких размерностей и требуемое число контактов новой модели. Результатом должны быть структурно корректная модель заданной конфигурации, её SPICE-описание и результаты автоматической проверки. Принципиальное отличие предлагаемого подхода от обычного параметрического генератора состоит в способе получения топологии. В шаблонном генераторе разработчик заранее записывает в программу структуру одного канала. В предлагаемом методе программа сначала анализирует последовательность ранее разработанных моделей, устанавливает повторяющееся структурное изменение и только затем формирует правило построения следующей конфигурации. Функциональный маршрут метода представлен на рис.1.

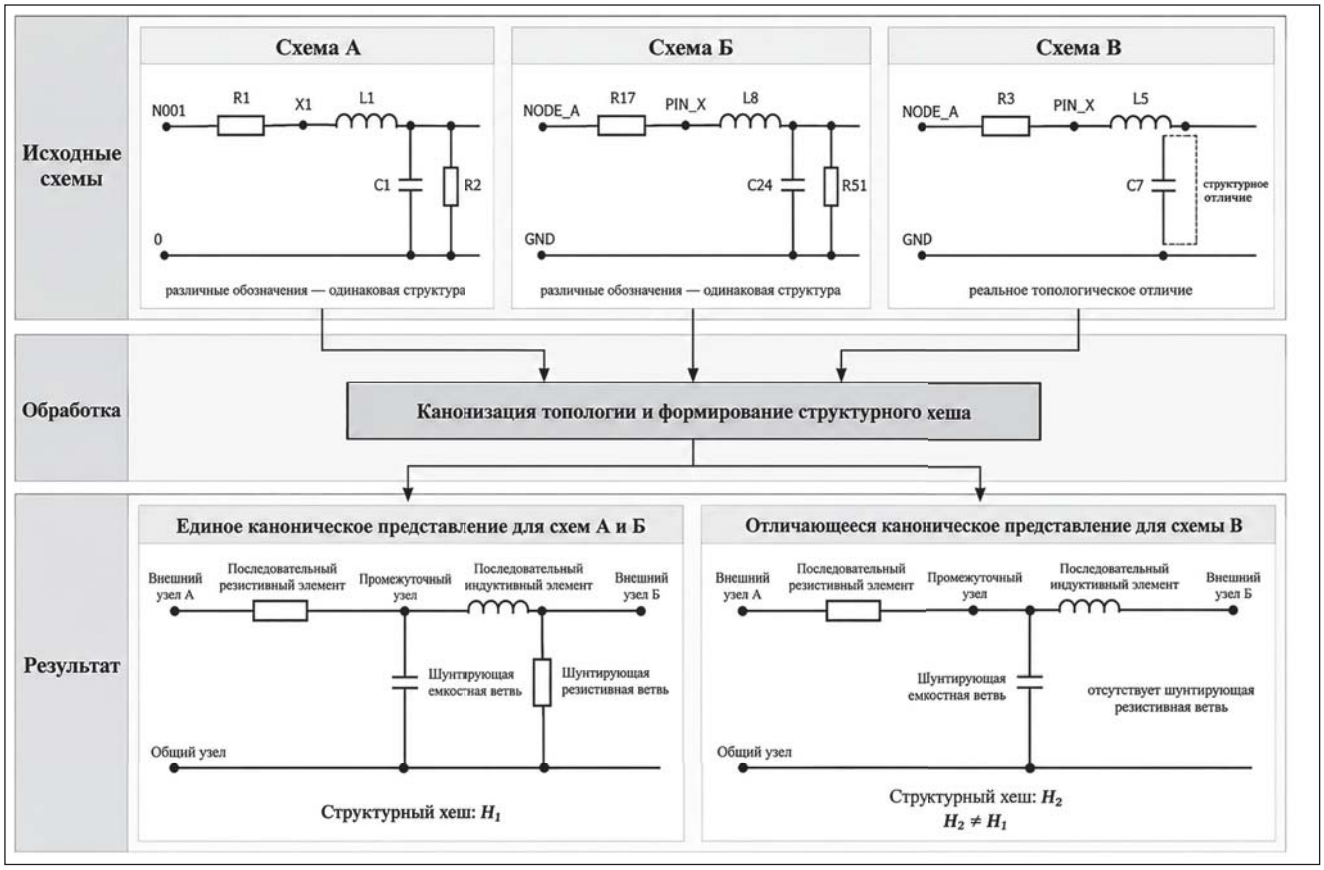


Рис. 2. Приведение структурно эквивалентных схем соединителя к единому каноническому представлению

ГРАФОВОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СХЕМЫ СОЕДИНИТЕЛЯ

Для структурного анализа текстовое SPICE-описание неудобно, поскольку содержит обозначения, не определяющие топологический смысл схемы. Поэтому после импорта модель преобразуется во внутреннее графовое представление.

Электрические узлы описываются вершинами графа, а элементы схемы — типизированными связями между ними. Для каждого элемента сохраняются его тип, два электрических узла, параметр и исходное позиционное обозначение. Такое представление позволяет отделить структуру схемы от способа её именования. Например, два одинаковых фрагмента могут иметь обозначения R1, L1, C1, R2 в одной модели и R17, L8, C24, R51 в другой. Аналогично общий узел может быть обозначен как 0, GND или иным допустимым идентификатором. Для алгоритма структурного анализа эти различия не должны означать различие топологии.

Графовые представления широко используются в задачах автоматизации проектирования электронных схем именно вследствие естественного соответствия между электрической связностью и структурой графа [3]. Однако в данной работе граф применяется, прежде всего, не как вход нейросетевой модели, а как формальная основа для сравнения, преобразования и автоматической проверки схем.

КАНОНИЗАЦИЯ ТОПОЛОГИИ

Для корректного сравнения исходные графы приводятся к каноническому представлению.

Канонизация должна обеспечить два противоположных свойства: изменение имён узлов и позиционных обозначений не должно изменять результат, а реальное изменение состава или связности должно приводить к другому каноническому представлению.

В теории графов эта задача связана с каноническим маркированием и проверкой изоморфизма [4]. В разработанном алгоритме учитываются тип элемента, структура его окружения, положение относительно общего узла и функциональная роль в канале. После нормализации формируется каноническое описание структуры.

Дополнительно для него вычисляется структурный хеш. Хеш не заменяет структурное сравнение, а используется как компактный идентификатор канонического представления. Одинаковые канонические структуры формируют одинаковый хеш; изменение топологии приводит к изменению исходных данных хеширования и, соответственно, значения хеша.

На рис.2 схемы А и Б имеют различные обозначения, однако после канонизации формируют одно представление и один структурный хеш. Схема В содержит реальное структурное отличие, поэтому её каноническое представление и хеш отличаются.

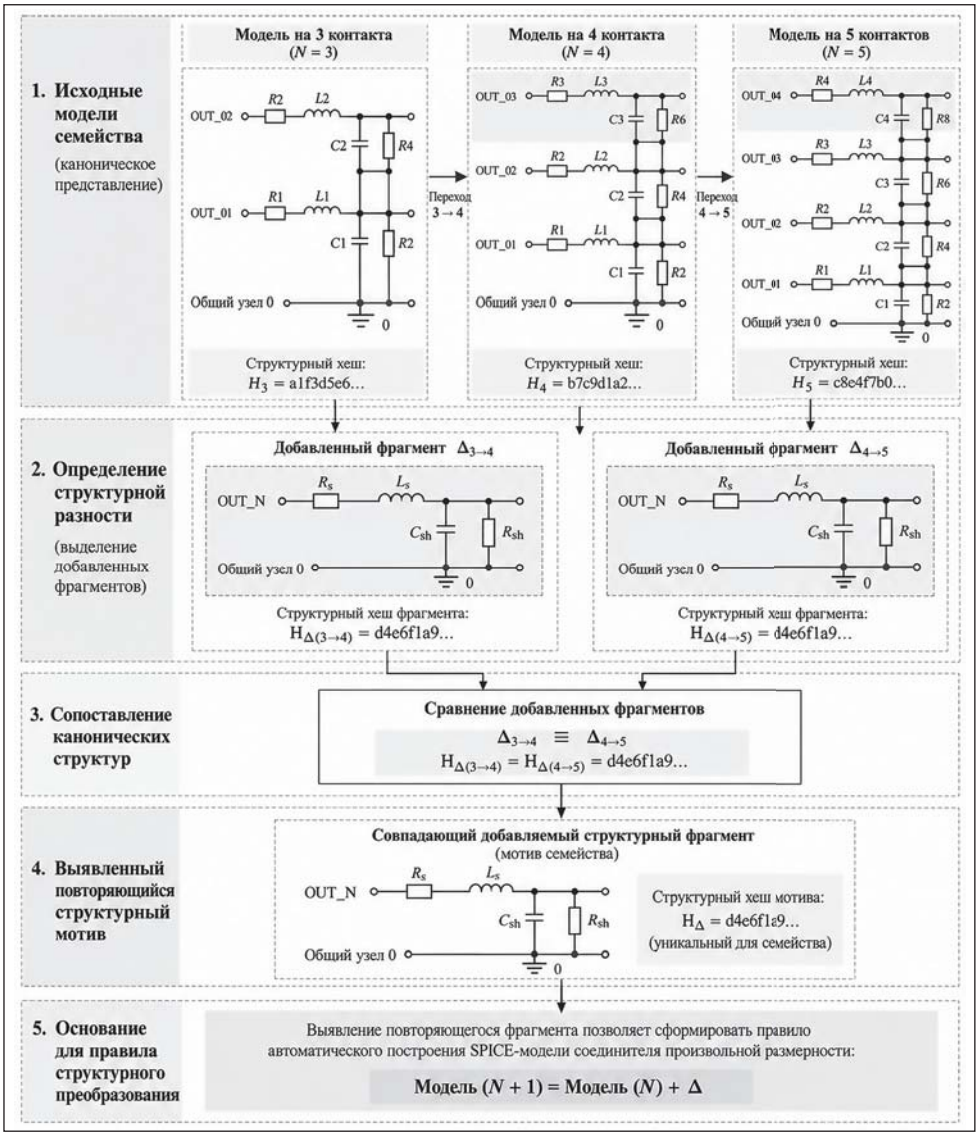


Рис.3 Выявление структурной закономерности по последовательности SPICE-моделей соединителя различной размерности

2, 3 и 4 моделируемых канала. Каждый новый канал добавляется над уже существующими и подключается к тому же общему узлу 0.

При переходе 3→4 и 4→5 контактов выделенные добавляемые фрагменты после канонизации структурно совпадают. Это подтверждается совпадением их структурных хешей.

Следовательно, одинаковый хеш двух добавленных фрагментов на рис.3 является ожидаемым результатом, а не артефактом: именно это совпадение означает, что программа обнаружила повторяющееся структурное преобразование.

Таким образом, программа переходит от набора частных моделей к закономерности семейства.

ФОРМИРОВАНИЕ ПРАВИЛА СТРУКТУРНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Обнаруженный повторяющийся фрагмент преобразуется в правило структурного преобразования схемы.

Для рассматриваемого семейства правило включает создание очередного канала и подключение его к существующему общему узлу. Правило описывает не конкретные номера R7, L4, C4, а структурные действия: создание новой последовательной ветви, нового выходного узла, шунтирующих элементов и необходимых электрических связей. Подобное разделение модели и операции её преобразования соответствует общему аппарату преобразований атрибутированных графов [5].

Практически это означает, что логика расширения схемы перестаёт зависеть от жёстко записанной последовательности конкретных позиционных обозначений.

Для рассматриваемого однородного семейства структурное правило может быть сформулировано как добавление одного канала при увеличении числа контактов на единицу.

Важно, что это правило не объявляется универсальным для всех возможных соединителей. Оно является результатом анализа конкретного семейства моделей.

В практическом отношении это особенно важно при накоплении библиотеки моделей: алгоритм не требует унификации всех исторически сложившихся обозначений до начала структурного анализа.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ МОТИВОВ

После канонизации модели одного семейства упорядочиваются по размерности. Для каждой пары соседних конфигураций определяется структурнаяразность.

В рассматриваемом случае используются переходы от двух к трем контактам, от трех к четырем и далее.

Из структурной разности выделяется добавленный фрагмент. При этом программа анализирует не номера новых элементов, а их типы, взаимную связность и способ подключения к уже существующей структуре.

Реальные схемы моделей на 3, 4 и 5 контактов приведены в верхней части рис. 3. Они содержат соответственно

СИНТЕЗ SPICE-МОДЕЛИ ТРЕБУЕМОЙ КОНФИГУРАЦИИ

После определения правила задаётся требуемая размерность.

Синтез выполняется на уровне внутреннего графового представления [5, 6]. Создаются необходимые узлы и элементы, формируются их связи с существующей схемой и общим узлом, затем назначаются уникальные позиционные обозначения.

Только после формирования полной структуры выполняется экспорт в SPICE-совместимое описание.

Такой порядок принципиален. Если формировать непосредственно строки SPICE, можно получить синтаксически корректный файл с ошибочной связностью. В предлагаемой архитектуре объектом проверки является сама схема, а текстовый *netlist* формируется уже из проверенного представления.

Автоматизация одновременно выполняет и функцию стандартизации оформления. Расположение вновь добавляемых каналов задаётся алгоритмически; нумерация, вертикальное выравнивание ветвей, положение общей шины и обозначение узлов формируются единообразно.

Тем самым исключается ещё один класс проблем ручного масштабирования — визуальные дефекты схемы, не обязательно изменяющие электрическую связность, но ухудшающие читаемость и повышающие вероятность ошибочной интерпретации: смещение однотипных элементов, неодинаковое расположение ветвей, перекрытие обозначений, неочевидные пересечения линий и различное оформление одинаковых каналов.

КОНТРОЛЬ КОРРЕКТНОСТИ И СТРУКТУРНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ

Автоматический синтез не должен ограничиваться созданием схемы. Обязательной частью метода является её структурная проверка. Контролируются число каналов, состав элементов каждого канала, наличие соединений с общим узлом, отсутствие изолированных элементов и самосвязей, уникальность обозначений и соответствие добавленного фрагмента сформированному правилу. Такой подход соответствует различию между генерацией модели и её верификацией, зафиксированному в отечественной терминологии SPICE-моделирования[2].

Проверка особенно важна потому, что ошибки ручного черчения не всегда очевидны визуально. В системах автоматизированного проектирования автоматический анализ схем используется именно для обнаружения пропущенных связей, некорректных соединений и других дефектов, которые трудно гарантированно исключить при последовательном визуальном просмотре.

В контрольном эксперименте из одного канала была преднамеренно удалена обязательная шунтирующая ветвь. Каноническое представление перестало соответствовать установленному мотиву, а структурный хеш изменился. Отклонение было обнаружено до экспорта модели.

Таблица 1. Результаты контрольного синтеза SPICE-моделей соединителей

Число контактов, ед	Назначение модели	Результат
2-5	формирование структурного правила	правило выявлено
6-15	контрольный синтез	полное совпадение

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АПРОБАЦИЯ НА МОДЕЛЯХ 2–15-КОНТАКТНЫХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ

На первом этапе анализировались модели соединителей от 2 до 5 контактов включительно. Для выявления повторяющегося структурного изменения использовались три последовательных перехода: 2→3, 3→4 и 4→5 контактов. На основании выявленной закономерности было сформировано единое правило структурного преобразования.

После этого сформированное правило без дополнительной корректировки последовательно применялось для построения моделей на 6–15 контактов включительно. Синтезированные схемы сравнивались с контрольными моделями соответствующей размерности. Во всех 10 контрольных конфигурациях состав каналов и электрическая связность полностью совпали с эталонными структурами.

Схема эксперимента приведена на рис.4.

Результаты экспериментальной апробации метода представлены в таблице 1. Для формирования правила структурного преобразования использовались модели на 2–5 контактов, тогда как модели на 6–15 контактов применялись исключительно для контрольного синтеза и сопоставления с эталонными структурами.

Эти значения характеризуют только размещение компонентов и потому являются нижней оценкой ручной трудоёмкости. Они не включают проведение линий, создание и именование узлов, корректировку позиционных обозначений, проверку соединений и графическое выравнивание.

Поэтому основной ресурс, экономия которого рассматривается в данной работе, — инженерное время, а не вычислительная или энергетическая эффективность программы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Разработанный прототип подтвердил возможность автоматического перехода от набора моделей к правилу их структурного масштабирования на двух тестовых МЭС: на 6-15 контактов и 6-225 контактов (число контактов в 15 раз больше). Получены положительные результаты.

Во-первых, исключена основная часть рутинных операций схемотехника. При увеличении размерности не требуется вручную размещать очередной комплект элементов, проводить его связи и корректировать обозначения.

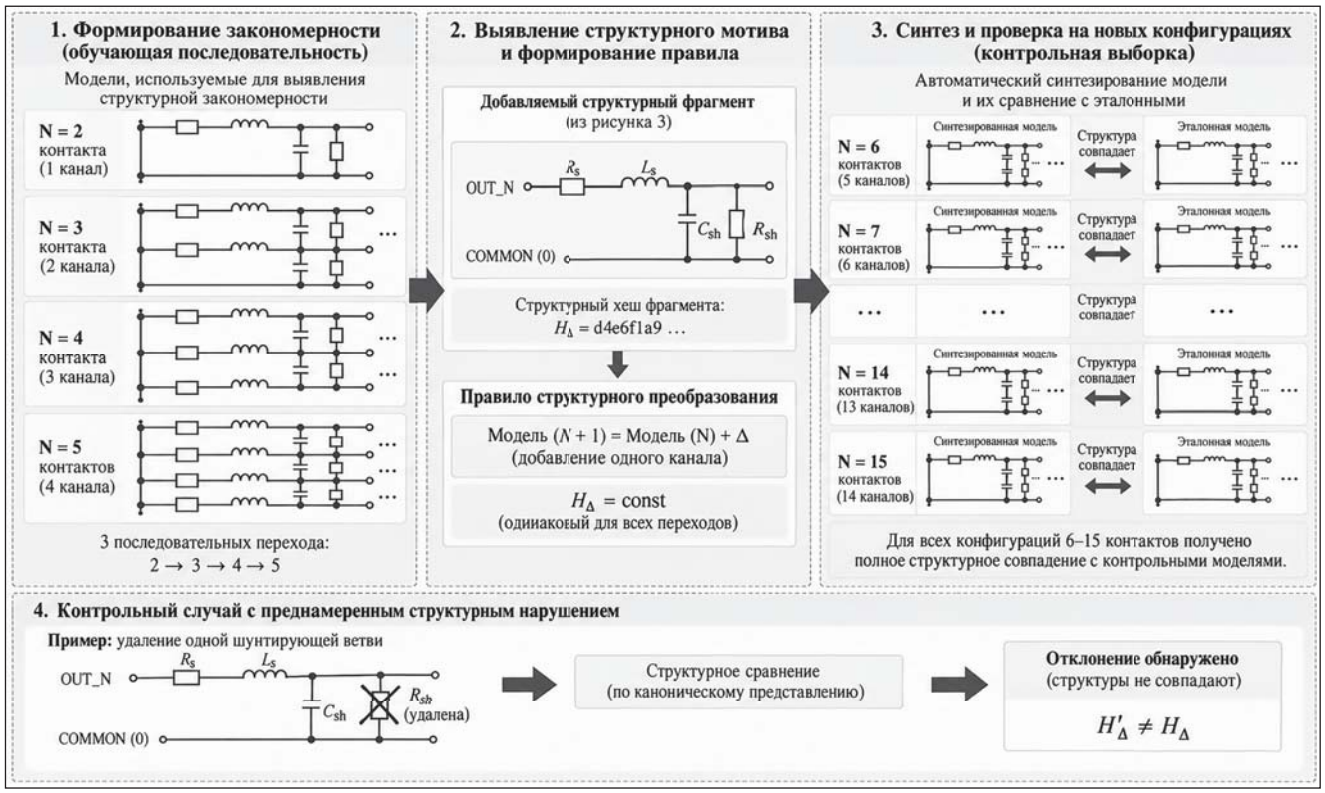


Рис. 4. Схема экспериментальной апробации метода автоматизированного синтеза SPICE-моделей соединителей

Во-вторых, синтез МЭС стал воспроизводимым и одна и та же исходная структура, и одно и то же правило приводят к одинаково организованной схеме, что особенно важно для создания библиотек моделей.

В-третьих, проверка МЭС выполнена на структурном уровне. Программа не только рисует очередной канал, но и контролирует, соответствует ли сформированная структура установленной закономерности.

В результате полный контрольный выпуск МЭС на 6–15 контактов создаёт 10 моделей и 30 файлов за 0,63 с, а полный контрольный выпуск 6–225 контактов создаёт 220 моделей и 660 файлов за 12,6 с. На этих тестах видно, что производительность метода почти линейно зависит от числа контактов.

Автоматизация повторяющихся проектных операций является одним из способов снижения трудоёмкости и повышения воспроизводимости результатов проектирования. Подобный подход применяется, в частности, при автоматизированном синтезе элементов и блоков с регулярной структурой [7], а также в интегрированных CAD-процессах, где автоматизация отдельных этапов позволяет сократить объём повторяющихся ручных операций [8]. Современные исследования также демонстрируют возможность объединения алгоритмов искусственного интеллекта и CAD-средств для автоматизации процедур проектной проверки [9].

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ

Сокращение объёма ручных операций. Для рассматриваемого семейства число моделируемых каналов K соединителя определяется как $K = N - 1$, где N— число контактов. Каждый канал содержит четыре схемотехнических элемента.

В моделях на 2–5 контактов суммарно содержится 10 каналов, а в автоматически синтезируемых моделях на 6–15 контактов — 95 каналов. Общее число каналов для последовательности моделей от 2 до 15 контактов составляет 105 ед. Поэтому общее число элементов 420 ед. По числу схемотехнических элементов это соответствует автоматическому формированию 380 из 420 элементов.

Таким образом, в первом тесте автоматизированный синтез охватывает 95/105*100%=90,5% структурного объёма рассматриваемого семейства. Во втором тестовом примере исходный набор включает модели на 2–5 контактов, а автоматизированный синтез охватывает конфигурации на 6–225 контактов. В исходных моделях суммарно содержится 10 каналов, а в автоматически синтезируемых моделях — 25 190 каналов. Общее число каналов для последовательности моделей от 2 до 225 контактов составляет 25 200 ед. Во втором тестовом примере автоматизированный синтез охватывает следующую долю структурного объёма рассматриваемого семейства: 25190/25200*100%=99,96%. По числу схемотехнических элементов это соответствует автоматическому формированию 100 760 из 100 800 элементов. При этом автоматизации подлежит не только размещение элементов, но и формирование их связей, подключение к общему узлу, назначение позиционных обозначений и контроль структуры.

При расчётной продолжительности ручного формирования одного канала от 2 до 2,5 мин построение 95 каналов потребовало бы от 190 до 237,5 мин, то есть приблизительно от 3 ч 10 мин до 4 ч.

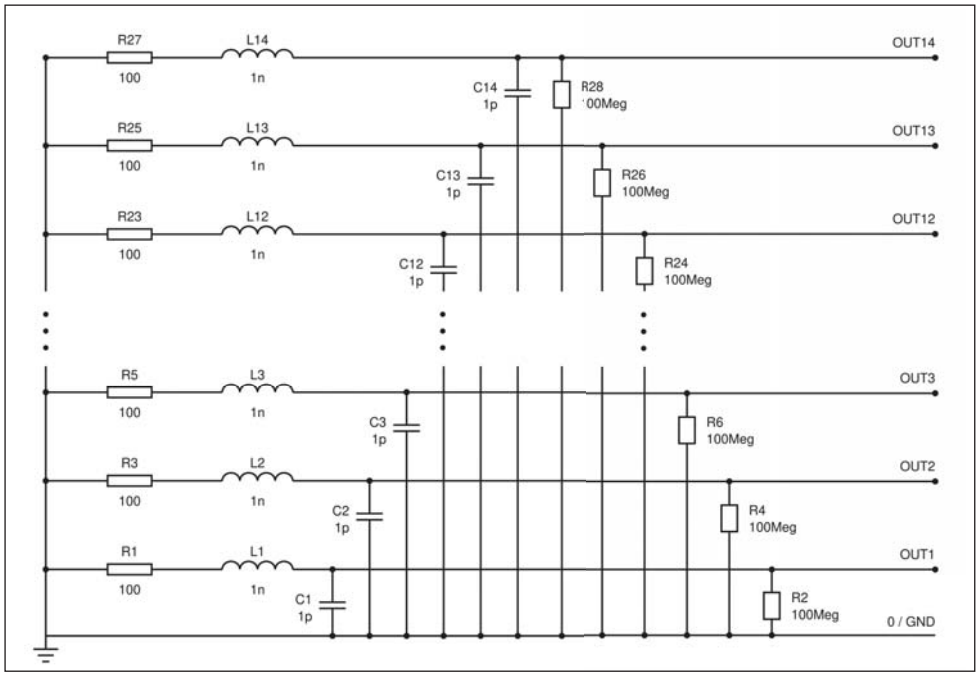


Рис.5. Графическая схема автоматически синтезированной модели 15-контактного соединителя

Полный цикл программного синтеза и структурной проверки рассматриваемой последовательности выполняется приблизительно за 0,63 с.

Полученные значения многократное сокращение времени выполнения повторяющихся операций. При этом основной эффект автоматизации определяется не скоростью вычислений как таковой, а исключением необходимости вручную воспроизводить десятки однотипных структурных фрагментов.

В качестве примера результата автоматизированного синтеза на рис.5 представлена модель соединителя на 15 контактов.

Полученная структура формируется не только в графическом виде. На основе единого внутреннего представления автоматически создаются машиночитаемые описания в формате SPICE-нетлиста и графового представления в формате JSON, предназначенные для последующей проверки, обработки и использования модели в средствах схемотехнического моделирования.

Использование общего внутреннего графового представления позволяет формировать графическую схему и машиночитаемые описания на основе одной структуры, что обеспечивает согласованность состава элементов, узлов и электрических связей.

ПОТЕНЦИАЛ СОКРАЩЕНИЯ ИСХОДНОГО НАБОРА

Проведённая апробация основывалась на моделях соединителей на 2–5 контактов, по которым формировалось правило для последующего синтеза конфигураций на 6–15 контактов. Вместе с тем архитектура алгоритма допускает сокращение исходного набора при наличии устойчивой и однозначной закономерности изменения структуры.

В рассматриваемом семействе правило структурного преобразования потенциально может быть определено уже по моделям на 2 и 3 контакта путём анализа изменения структуры при увеличении размерности от 2 до 3 контактов. В этом случае правило может далее применяться для синтеза моделей на 4–15 контактов, а также на 4–225 контактов.

Исходные модели на 2 и 3 контакта содержат суммарно 3 канала, тогда как модели на 4–15 контактов — 102 канала. Следовательно, потенциальная доля автоматически синтезируемой части семейства составляет 102/105*100%=97,1% и на четырех элементах на один канал это соответствует автоматическому формированию 408 из 420 схемотехнических элементов.

Таким образом, практическая эффективность разработанного подхода определяется сокращением объёма повторяющихся ручных операций и обеспечением структурной воспроизводимости синтезируемых моделей. В первом тесте автоматизация охватывает 90,5% каналов рассматриваемого семейства. При устойчивой однозначной закономерности и формировании правила по минимальному набору моделей потенциальная доля автоматизированного синтеза может достигать 97,1 %. Во втором тесте на 2–5 контактов используются для формирования правила последующего синтеза конфигураций на 6–225 контактов.

Исходные модели на 2 и 3 контакта содержат суммарно 3 канала, тогда как модели на 4–225 контактов — 25197 каналов. Следовательно, потенциальная доля автоматически синтезируемой части семейства составляет 25197/25200*100%≈99,99%.

При четырёх элементах на один канал это соответствует автоматическому формированию 100 788 из 100 800 схемотехнических элементов.

Таким образом, практическая эффективность разработанного подхода определяется сокращением объёма повторяющихся ручных операций и обеспечением структурной воспроизводимости синтезируемых моделей. Во втором тестовом примере при использовании исходных моделей на 2–5 контактов автоматизация охватывает 99,96% каналов рассматриваемого семейства. При устойчивой однозначной закономерности и формировании правила по минимальному набору моделей потенциальная доля автоматизированного синтеза может достигать 99,99%.

ВЫВОДЫ

Разработан метод автоматизированного синтеза SPICE-моделей МЭС, основанный на анализе структуры ранее созданных моделей. Метод обеспечивает преобразование исходных схем в графовую форму, канонизацию независимо от системы обозначений, вычисление структурного хеша, определение добавляемых фрагментов, выявление повторяющегося структурного мотива, формирование правила преобразования, синтез новой конфигурации и автоматическую проверку результата. На последовательности моделей от 2 до 5 контактов выявлена единая закономерность добавления канала. На её основе без использования контрольных схем и без дополнительной корректировки правила синтезированы конфигурации на 6–15 контактов, структура которых полностью совпала с эталонными моделями. В итоге сокращается рутинная работа: одинаковые каналы формируются единообразно, обязательные связи проверяются автоматически, а отклонения выявляются до передачи модели в дальнейший маршрут САПР РЭА.

Перспективой развития текущего исследования является расширение предложенного подхода за пределы структурного масштабирования известных семейств моделей за счёт применения методов искусственного интеллекта и генетических алгоритмов. Это позволит перейти от автоматизированного воспроизведения и масштабирования известных структур к поиску и синтезу новых схемных конфигураций с последующей автоматической структурной и схемотехнической верификацией средствами SPICE-моделирования.

Список литературы

1. *Nagel L. W., Pederson D. O.* SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis). Memorandum No. ERL-M382. University of California, Berkeley, 1973.
2. *Шумарин С.В., Фролова Т.Н., Богачев А.М.* Методика идентификации параметров SPICE-моделей КМОП-микросхем по температурным зависимостям их динамических характеристик // Известия высших учебных заведений. Электроника. 2023. Т. 28. № 2.
3. *Zhang G., He H., Katabi D.* Circuit-GNN: Graph Neural Networks for Distributed Circuit Design // Proceedings of the 36th International Conference on Machine Learning. 2019. Vol. 97. P. 7364–7373.
4. *McKay B.D., Piperno A.* Practical Graph Isomorphism, II // Journal of Symbolic Computation. 2014. Vol. 60.
5. *Ehrig H., Ehrig K., Prange U., Taentzer G.* Fundamentals of Algebraic Graph Transformation. Berlin: Springer, 2006.
6. *Гаврилов С.В., Иванова Г.А., Стемпковский А.Л.* Теоретико-графовая модель сложно-функциональных блоков для КМОП технологий с трехмерной структурой транзистора // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. № 7.
7. *Гаврилов С. В., Карева Е. С., Рыжова Д. И.* Алгоритмы логико-топологического синтеза библиотечных элементов и блоков с регулярной структурой для технологических норм проектирования 32 нм // Известия высших учебных заведений. Электроника. 2017. Т. 22. № 4.
8. *Rigger E. et al.* Potential identification and industrial evaluation of an integrated design automation workflow // Design Science. 2019.
9. *Lee J. S. et al.* Automation of trimming die design inspection by zigzag process between AI and CAD domains // Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2024. Vol. 127. 107283.

Верчёнов Владимир Алексеевич *– старший инженер,*
Дормидошина Дарья Андреевна *– технический директор,*
Евстифеев Юрий Алексеевич *– канд. техн. наук, старший научный сотрудник, профессор,*
Рубцов Юрий Васильевич *– генеральный директор–главный конструктор, АО «ЦКБ «Дейтон» (Зеленоград).*
E-mail: verchenov@deyton.ru; eua@deyton.ru; rubtsov@deyton.ru

О разрыве между ожиданиями от ИИ и готовностью к его внедрению

Ожидания руководства от искусственного интеллекта (ИИ) превышают реальные возможности компаний — об этом сообщили 79% участников исследования K2Tex среди промышленных предприятий. Респонденты оценивали, насколько их организации готовы обеспечить результаты, которых топ-менеджмент ждёт от ИИ, и какие барьеры стоят перед их достижением. В исследовании приняли участие 150 представителей руководящего состава крупных промышленных компаний.

30% респондентов отмечают сильный разрыв между ожиданиями руководства и реальностью: от ИИ ждут быстрых результатов, хотя данные и инфраструктура не готовы. У 49% компаний ожидания руководства лишь частично соответствуют текущим возможностям. Полное соответствие отметили 5% участников исследования. Оставшиеся 16% вообще не смогли оценить этот критерий. При этом управление ИИ не везде выстроено как отдельный процесс. В 19% компаний формально не закреплена ответственность за риски использования генеративного ИИ, а у 23% нет системного управления ИИ с политиками, ролями и контролем. Ещё 30% оценивают эффективность такого управления без формальных метрик — по тому, как идёт процесс.

Препятствием для достижения быстрого и измеримого результата от внедрения ИИ является низкое качество данных. Для 30% оно стало главным барьером. Полностью готовыми свои данные считают лишь 5%. У 46% компаний они готовы частично и требуют доразметки, очистки или объединения из разных источников. Решение этих задач не всегда получает отдельное финансирование. В 37% компаний бюджет на управление данными и ИИ не выделяется — работы ведутся в рамках текущих ИТ-задач. У 33% респондентов бюджет вырос на 10...30%, и только 14% сообщили о заметном увеличении более чем на 50%.

Вызывают вопросы готовность data-инфраструктуры к новым требованиям регулирования ИИ. Многие из них относятся к КИИ, поэтому требования закона распространяются на них. Полностью готовыми к нему считают себя 12% респондентов. Частично готовыми назвали себя 48%, им требуется доработка процессов и платформ. Ещё 21% ожидают значительной трансформации data-ландшафта, а 19% на момент исследования еще не проводили оценку.

Ограничения есть и на уровне вычислений. Для 27% опрошенных именно недостаток мощностей стал главным из них. 24% арендуют GPU у сторонних провайдеров, 21% сочетают собственные мощности с облаком для пиковых нагрузок и ещё 21% располагают собственными GPU-кластерами с достаточным запасом ресурсов.

Ещё одно ограничение — недостаток качественных специалистов и экспертизы. ИИ уже рассматривается как компонент операционной устойчивости и 38% крупных компаний занимаются разработкой собственных ИИ-решений для внутренних процессов. При этом 75% из них не умеют делать их безопасными для бизнеса — их процессы не соответствуют стандарту управления безопасностью ИИ-разработки — MLSecOps. С управленческой точки зрения эти результаты демонстрируют разрыв: темпы внедрения ИИ уже опережают зрелость процессов, необходимых для контроля связанных с ним рисков. Рынок MLSecOps находится на этапе становления во всем мире, и компании пока не понимают, как защищать собственные ИИ-разработки самостоятельно, и предпочитают отдавать этот блок работ внешним подрядчикам.

Http://k2.tech