

Алгоритмические и программные средства распознавания схем структурных моделей электромеханических систем

Колганов А.Р., д-р техн. наук, Чупрынин А.О., инж.

Предложены методы комплексной оценки качества учебных лабораторных комплексов, основанные на измерении их дефектов и определении задач усовершенствования. Проведена классификация существующих и перспективных лабораторных комплексов, определен состав показателей качества для объектов каждого класса. Представлены алгоритмические и программные средства.

Ключевые слова: структурные модели электромеханических систем, графо табличное представление моделей, распознавание графических объектов.

Algorithmic and software systems of the schemes of structural models of electromechanical systems

Kolganov A.R., Doctor of Engineering Science, Chuprigin A.O., engineer

The methods of a complex estimation of quality of educational laboratory complexes, founded on measurement of their defects and definition of problems of refinement are offered. The classification of existing and perspective laboratory complexes is conducted, the structure of figure of merits for objects of each class is determined. Algorithmic and software are shown.

Keywords: structured models of the electromechanic systems, earl tabular presentation models, recognition graphic object.

Графическая модель интерфейса пользователя используется практически во всех задачах компьютерного моделирования динамических систем. Математические инструменты и объектно-ориентированные системы моделирования легко оперируют с многоуровневыми структурными моделями, графами, блок-схемами и т.п. только при наличии полной информации о параметрах графического объекта. То есть графическое представление модели динамической системы облегчает взаимодействие с компьютерной системой и предусматривает обязательное последующее выполнение вычислительного эксперимента. Однако возникает определенный круг задач, которые требуют качественно распознать схему модели без параметров и не прибегая к численным решениям.

Необходимость решения таких задач возникла при включении в автоматизированную систему оценки уровня знаний студентов (АСОУЗ) [1] творческих заданий, выполнение которых сопряжено с созданием некоторого графического образа. Для будущих специалистов в области электромеханических систем и автоматического управления такими образами могут быть многоуровневые структурные модели, функциональные и принципиальные схемы, графы.

Реализация творческих заданий в АСОУЗ, представляющей собой сетевую компьютерную систему непрерывного мониторинга знаний, потребовала решения следующих задач:

- разработки специализированного редактора для создания и внутримашинного представления графического образа;

- автоматического распознавания сформированного образа и оценки правильности многовариантного ответа.

Решение первой задачи не вызвало особых затруднений вследствие того, что к вводимым графическим образам изначально устанавливаются некоторые ограничения (набор элементов схемы, виды связей и т.п.). Необходимость реализации графического редактора в среде выбранных программ навигации Web-страниц (браузеров) также способствовала установлению определенных требований к вводимым графическим схемам.

В соответствии с изложенным, было предложено использовать так называемое графо-табличное представление схем моделей, при котором каждый структурный элемент (динамический блок) схемы представляется графическим образом жестко установленного размера, помещенным в одну из ячеек невидимой сетки наборного поля. Связи между блоками являются дискретными, так как также заполняют ячейки невидимой сетки.

На рис. 1 представлено основное окно редактора, в рабочем поле которого нарисован фрагмент структурной модели электродвигателя постоянного тока, соответствующий графическому представлению следующего математического описания:

$$i = \frac{1}{1 + T_3 s} [U - E]; \quad M = k \Phi i; \quad (1)$$
$$E = k \Phi \Omega; \quad \Omega = \frac{1}{J s} [M - M_c].$$

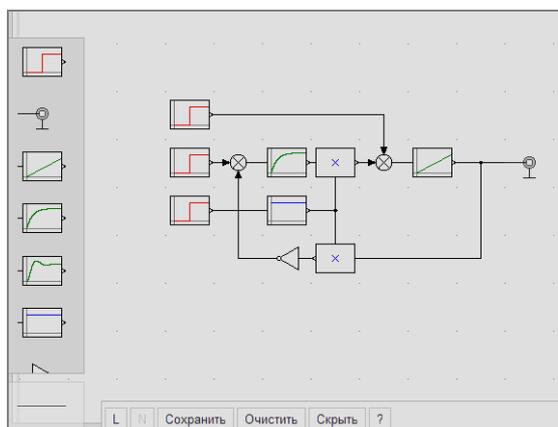


Рис. 1. Основное окно графического редактора

Схема содержит:

- 3 блока «ЗАДАНИЕ (Goal)», идентифицирующих входные сигналы: U – напряжение; M_C – момент статического сопротивления; Φ – магнитный поток;
- 2 блока «УМНОЖЕНИЕ (Multiplier)»;
- УСИЛИТЕЛЬ, ИНТЕГРАТОР, АПЕР_ЗВЕНО.

Для рисования схемы модели используется набор линейных и нелинейных непрерывных динамических элементов, допустимый состав которых высвечивается в двухстраничном окне редактора (L – линейные элементы, N – нелинейности).

Схема формируется путем «перетаскивания» нужных элементов в рабочую область и установки соединений. Редактор предоставляет возможность редактирования схемы и наборного поля. В набранной схеме обязательно указываются один или несколько входных сигналов (элементы задания внешних воздействий). Главный выходной сигнал идентифицируется подключением элемента «ОСЦИЛЛОГРАФ», который обязательно должен присутствовать в набранной схеме.

В автоматическом режиме редактор формирует код внутримашинного представления графического образа. Здесь за основу был принят код программно-методического комплекса МИК-АЛ [2]. Из этого кода были исключены численные значения параметров, а универсальные записи передаточных функций заменены на имена элементарных динамических звеньев (УСИЛИТЕЛЬ, ИНТЕГРАТОР, АПЕР_ЗВЕНО и т.п.).

Таким образом, для формирования выбранного кода необходимо каждому динамическому блоку присвоить порядковый номер, уникальное имя и номера воздействующих на него элементов.

Для получения такой информации предлагается следующий алгоритм, который поясним на нашем примере.

На рис. 2 показана невидимая сетка, автоматически сформированные адреса ячеек наборной матрицы и номера элементов.

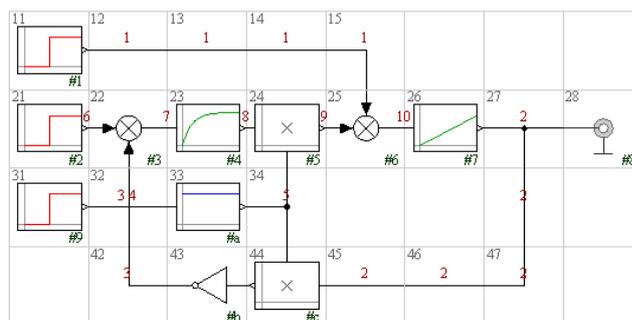


Рис. 2. Невидимая сетка наборного поля

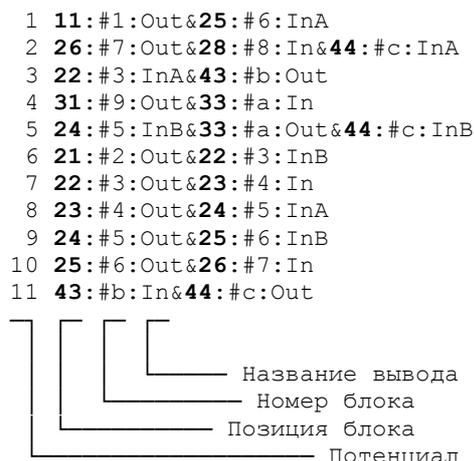
При первом построчном прочтении наборной матрицы формируется массив элементов и проводников. Каждому элементу при этом присваиваются необходимые характеристики: класс (L или N), имя, выводы, порядковый номер.

Для идентификации схемы соединения элементов использован принцип «электрических потенциалов», согласно которому динамические блоки рассматриваются как компоненты электрических принципиальных схем: резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, и т. п. Если вход и выход каждого блока представить в виде электрических контактов, то для определения связей необходимо установить «потенциалы» на «контактах» каждого из элементов. Соединительные элементы, в свою очередь, можно рассматривать как частный случай элементов схемы с эквипотенциальными контактами.

Первоначально «потенциалы» назначаются проводникам. Для этого из массива элементов и проводников выбирается i -й проводник, назначается «точка входа» и, если ему еще не назначен потенциал, выполняется подпрограмма трассировки:

Определяется тип смежного $i+1$ -го модуля. Если он является проводником и его потенциал не равен потенциалу i -го проводника, выводу $i+1$ проводника назначается потенциал i -го проводника. Процедура повторяется до тех пор, пока не будет достигнута «точка входа».

Когда все проводники «получат» потенциалы, назначаются потенциалы выводам динамических блоков, которые соединены проводниками и непосредственно подключены к выходам структурных элементов. В результате получается матрица потенциалов M_v , вид которой для нашего примера приведен на рис. 3.

Рис. 3. Матрица потенциалов M_v

Исключая из полученной матрицы номера потенциалов, номера позиций динамических блоков и анализируя их выходы, получаем промежуточный избыточный код M_2 , в котором k -й строке матрицы M_v соответствует l строк, где l – число номеров динамических блоков, отмеченных в k -й строке. Например, результат преобразования 2-й строки матрицы M_v принимает следующий вид:

```

#7 Integrator
#8 Measurement In=#7
#c Multiplier InA=#7, InB=#a

```

После сортировки и удаления повторяющихся строк матрица преобразуется к внутримашинному коду формата МИК-АЛ M_s или любому другому виду представления моделей, например к структурной матрице.

Матрица M_s для нашего примера принимает следующий вид:

```

#1 Goal
#2 Goal
%3 Summator InA=%b, InB=%2
#4 Aperiodic In=#2+#b
#5 Multiplier InA=#4, InB=#a
%6 Summator InA=%1, InB=%5
#7 Integrator In=#1+#5
#8 Measurement In=#7
#9 Goal
#a Amplifier In=#9
#b Invertor In=#c
#c Multiplier InA=#7, InB=#a

```

В формате M_s введенные и эталонные схемы сохраняются в базе данных. Основные проблемы при решении второй задачи обусловлены тем, что существует несколько вариантов правильного представления схем. Например, в структурной модели апериодическое звено можно представить одним элементом или 2(3) элементами (интегратор, усилитель (и)), можно изменить последовательность включения элементов и т. д.

Чтобы не потерять ни одного правильного ответа, алгоритм распознавания предусматривает многоходовую компиляцию полученной

матрицы M_s в детализированный код M_{sd} . Это означает, что на стороне клиента и сервера формируются детализированные коды «ответа» M_{sd-1} и «эталона» M_{sd-0} . Вид кода M_{sd-0} приведен на рис. 4, где курсивом выделены детализации апериодического звена (#14–#16) и интегратора (#17, #18).

```

#1 Goal
#2 Goal
#14 Amplifier In=#2+#11+#16
#15 Integrator In=#14
#16 Invertor In=#15
#5 Multiplier InA=#15, InB=#10
#17 Amplifier In=#1+#5
#18 Integrator In=#17
#8 Measurement In=#18
#9 Goal
#10 Amplifier In=#9
#11 Invertor In=#12
#12 Multiplier InA=#18, InB=#10

```

Рис. 4. Детализированный код M_{sd-0}

Сравнение полученных кодов выполняется в два этапа. На первом этапе устанавливаются число и идентичность имен детализированных блоков. Только при получении истинного результата осуществляется переход ко второму этапу. Здесь после строчного анализа каждого детализированного кода M_{sd-0} и M_{sd-1} формируются символьные массивы **Схема_0** и **Схема_1**, содержащие N_d объектов «Блок», где N_d – число строк матриц M_{sd-0} и M_{sd-1} или число элементов детализированной схемы.

Схема: [Блок (ЗАДАНИЕ), Блок (ЗАДАНИЕ), Блок (УСИЛИТЕЛЬ), Блок (ИНТЕГРАТОР), ... Блок(УМНОЖЕНИЕ)]

В свою очередь, в каждом объекте «Блок» содержится информация об его имени, входных воздействиях и выходах. Таким образом, получается, что каждый «Блок» массивов **Схема_0** и **Схема_1** содержит полную информацию о конфигурации схемы. В этой связи, окончательное решение о правильности набранной схемы принимается после анализа символьной информации, которую содержат блоки «ОСЦИЛЛОГРАФ» в массивах **Схема_0** и **Схема_1**. Указанная процедура выполняется на стороне сервера с помощью встроенной функции языка PHP `serialize()`, которая возвращает строку, содержащую представление двоичных данных, передаваемых аргументом (в нашем случае это объект «ОСЦИЛЛОГРАФ» эталонной и исследуемой схемы). Логическое сравнение этих двух строк позволяет предположить идентичность эталонной и сравниваемой схем.

Однако, возможны ситуации, когда возвращаемые `serialize` строки равны по составу, но различны в деталях и правильный ответ не распознается. Это эквивалентно тому, когда одинаковые по смыслу и словарному составу

фразы «автоматизированная система оценки уровня знаний» и «система оценки уровня знаний автоматизированная» не были бы признаны идентичными. В таком случае выполняется третий этап распознавания, на котором производится алфавитная сортировка объектов и вложенных записей символьных массивов **Схема_0** и **Схема_1** и возврат ко второму этапу распознавания. В результате при идентичности «ответа» и «эталона» получается два одинаковых кода.

В заключение следует отметить, что предлагаемая процедура распознавания графических образов может не привести к однозначному результату и «зациклиться». В этом случае в автоматически формируемом журнале результатов отмечается признак «сомнения» и преподаватель сможет оценить правильность ответа самостоятельно. Программные средства реализации предложенных алгоритмов включены в состав программного обеспечения АСОУЗ. Система реализована в виде локального сервера кафедры и функционирует в локальной сети, по-

строенной по технологии FastEthernet, в которой работает стек протоколов TCP/IP. Для доступа к интерфейсам системы управления базой данных с пользовательских компьютеров используется любой Web-браузер. В качестве программного обеспечения использован сервер Apache 1.3.37 с поддержкой PHP 5.2.4, база данных реализована с помощью сервера баз данных MySQL 5.0.49. Все программные продукты работают под управлением UNIX-подобной операционной системы FreeBSD 5.

Список литературы

1. **Колганов А.Р.** Автоматизированная система оценки знаний учебных дисциплин специальности: Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. «Состояние и перспективы развития электротехнологии» (XIV Бенардосовские чтения). – Иваново, 2007. – Т.1. – С. 241.
2. **Автоматизация** моделирования и функционального проектирования электромеханических систем: Учеб. пособие / А.В. Балувев, М.Ю. Дурдин, А.Р. Колганов; Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 1993.

Колганов Алексей Руфимович,
Ивановский государственный энергетический университет,
доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой электропривода и автоматизации промышленных установок,
e-mail: klgn@drive.ispu.ru

Чупрынин Андрей Олегович,
Ивановский государственный энергетический университет,
инженер кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок,
e-mail: klgn@drive.ispu.ru