



УДК: 519.876.5

© 2017 г. **В.М. Дмитриев**, д-р техн. наук,

Т.В. Ганджа, канд. техн. наук,

С.А. Панов

(Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники)

ИНТЕГРАЦИЯ МНОГОУРОВНЕВОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ С БАЗАМИ ДАННЫХ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ

В статье рассматриваются компоненты, обеспечивающие интеграцию среды многоуровневого компьютерного моделирования МАРС с базами данных, содержащими значения параметров различных технических и технологических объектов. Интеграция позволит повысить адекватность моделей, создаваемых в среде МАРС.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, автоматическая параметризация, метод компонентных цепей, многоуровневое моделирование, база данных.

DOI: 10.22250/isu.2017.54.43-54

Введение

В настоящее время для исследования сложных технических объектов (ТО) и их составных частей широко применяется такой класс прикладного программного обеспечения как системы компьютерного моделирования (СКМ) (Multisim [1], Simulink [2], Hysys [3], PSpice [4], SimOne [5], Electronics Workbench [6], MicroCAP [7], Classic [8], SimMechanics [9], МАРС [10], TraceMode [11] и др.). Современные СКМ, используемые для моделирования ТО, обладают богатыми функциональными возможностями, но большинство систем не позволяют выполнять автоматическую параметризацию моделей с помощью получения актуальных значений параметров ТО из баз данных (БД) (табл. 1).

Среди существующих СКМ особо выделяется среда МАРС [10], позволяющая создавать и исследовать компьютерные модели (КМ) сложных, физически неоднородных ТО. Основанная на предложенном профессором В.М. Дмитриевым методе компонентных цепей (МКЦ) [12], она имеет широкий набор режимов ана-

лиза, а адаптация к моделированию нового класса устройств осуществляется оперативно путем использования и расширения библиотеки моделей компонентов.

Таблица 1

Критерии	Системы				
	LabVIEW	AnyLogic	Simulink	HYSYS	МАРС
Интерактивное документирование результатов моделирования	частично	нет	да	да	да
Автоматическая параметризация моделей с помощью баз данных	да	нет	да	да	да
Автоматическая параметризация с помощью геоинформационных систем	нет	нет	нет	нет	частично
Многоуровневое представление моделей	частично	нет	нет	нет	да
Генератор моделей компонентов	да	нет	да	нет	да

На основе МКЦ был разработан метод многоуровневого компьютерного моделирования [14], позволяющий представлять исследуемую модель на трех взаимосвязанных уровнях – визуальном, логическом и объектном.

В процессе создания многоуровневых КМ ТО возникает необходимость учитывать множество различных параметров ТО, а также решать задачу повышения адекватности. Для получения более точных результатов решения задач, основанных на компьютерном моделировании, требуется, чтобы сформированная модель адекватно описывала процессы, протекающие в реальном ТО. Для автоматизации процесса установки (и изменения) параметров КМ ТО необходимо разработать и внедрить в среду МАРС соответствующие программные средства. Для хранения характеристик и параметров ТО целесообразно использование БД. Разрабатываемые программные средства должны включать функции по установлению связи с БД и извлечению из них необходимых параметров ТО.

Структура многоуровневой компьютерной модели

Среда МАРС позволяет создавать и исследовать КМ ТО на трех уровнях (рис. 1).

Визуальный уровень используется для формирования панели управления и визуализации, с помощью которой пользователь изменяет значения параметров многоуровневой КМ ТО, управляет ходом эксперимента и оперативно получает его результаты [13]. На визуальном слое используются такие компоненты как: кнопка, регулятор, переключатель, цифровое табло и т.д.

На *логическом уровне* формируются алгоритмы решения задачи исследования и функционального проектирования ТО, а также обработки результатов из-

мерения и моделирования в виде одной или нескольких цепочек компонентов. Обмен информацией между ними осуществляется с помощью механизма обмена сообщениями. Представление объекта и алгоритмов его моделирования в формате компонентных цепей требует реализации алгоритмов взаимодействия с БД в виде специализированных компонентов.

На *объектном уровне* модель исследуемого ТО представляется в виде компонентной цепи как совокупности взаимосвязанных между собой компонентов. Каждому компоненту объектного слоя ставится в соответствие вычислительная модель, реализующая этот компонент в рамках универсального вычислительного ядра [15]. Анализ компонентной цепи, полученной в результате соединения и параметризации всех компонентов, производится путем автоматического формирования и расчета системы алгебраических и дифференциальных уравнений в статическом или динамическом режиме.

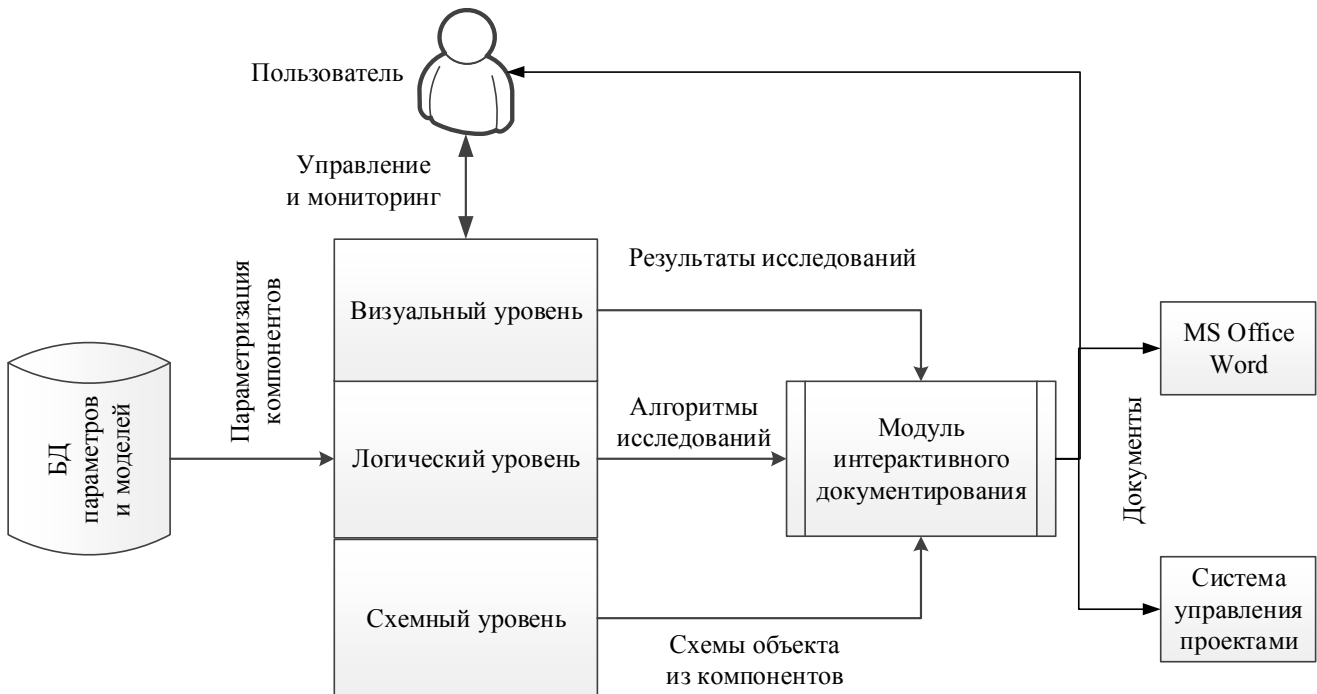


Рис. 1. Структура многоуровневой компьютерной модели технического объекта.

Классификация параметров многоуровневых КМ ТО

Примеры реальных параметров ТО – размеры, габариты (высота, ширина, радиус, диаметр, объем, площадь), масса, материал, твердость, скорость, напряжение, сила тока, индуктивность, сопротивление, мощность, энергия, температура, упругость, жесткость, прочность.

Множество параметров многоуровневых КМ ТО P включает в себя три подмножества:

$$P = \{P_1, P_2, P_3\}, \quad (1)$$

где P_1 – свободные параметры; P_2 – типизированные параметры; P_3 – неизмеряемые параметры.

Свободные параметры (свойства) вводятся вручную пользователем среды МАРС в специальном окне и могут изменяться динамически в ходе эксперимента.

Типизированные параметры хранятся в БД (например, характеристики транзисторов или шаблоны транзактов).

Неизмеряемые параметры определяются в ходе идентификации путем определения значений параметров элементов P_0 , при которых многоуровневая КМ адекватно описывает процессы, протекающие в реальном ТО. При этом минимизации подлежит целевая функция

$$\varepsilon_1(P_0) = \sum_{i=1}^{N_0} (y_i(P_0) - \bar{y}_i)^2 \rightarrow 0, \quad (2)$$

где y_i – значение текущей наблюдаемой переменной КМ ТО; \bar{y}_i – значение наблюдаемой характеристики, измеренное на функционирующем реальном ТО; N_0 – количество наблюдаемых значений ТО.

При достижении целевой функцией (2) нулевого значения модель будет адекватно описывать процессы, протекающие в реальном объекте.

Формализм метода компонентных цепей

Основой среды МАРС является метод компонентных цепей. Являясь универсальным методом компьютерного моделирования, МКЦ позволяет представить в виде компонентной цепи (КЦ) физически неоднородный технический объект с информационными, энергетическими и неоднородными векторными связями либо набор распределенных во времени действий и произвести его анализ в статическом или динамическом режиме.

КЦ определяется как совокупность объектов

$$C = (K, B, N), \quad (3)$$

где K – множество компонентов КЦ; B – множество ветвей КЦ; N – множество узлов КЦ.

Множество компонентов K в общем случае имеет три подмножества

$$K = \{K_W, K_P, K_Z\}, \quad (4)$$

где K_W – компоненты-источники энергии или сигналов; K_P – компоненты-преобразователи энергии или сигналов; K_Z – компоненты-измерители энергии или сигналов.

Компонент в формализме МКЦ описывается своей математической или имитационной моделью. Механические, электрические, электромеханические, математические и другие компоненты с сосредоточенными параметрами описы-

ваются математическими моделями. Компоненты информационных систем описываются имитационными – алгоритмическими и информационными моделями.

Любой компонент может иметь произвольное число связей, каждая из которых может быть одного из трех типов: элементарной, информационной или векторной. Каждой элементарной связи соответствует пара топологических координат (узел и ветвь) с соответствующими переменными (потенциальной и потоковой). Каждой информационной связи ставится одна топологическая координата – узел – с потенциальной переменной. Любая векторная связь представляет собой произвольную совокупность элементарных и информационных связей.

Построение математической модели КЦ производится автоматически универсальным вычислительным ядром путем опроса топологического и математического аспектов компонентов, на основе двух узловых топологических законов:

закона равенства потенциальных переменных всех связей, входящих в один и тот же узел;

закона равенства нулю суммы потоковых переменных всех связей, входящих в один узел.

Математические модели компонентов описываются линейными и нелинейными алгебраическими, а также дифференциальными уравнениями.

Компьютерная модель обобщенного компонента логического уровня, используемого для формирования запросов к БД, реализуется на основе четырех аспектов (рис. 2).

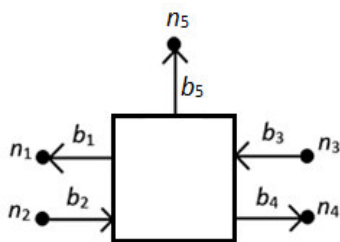


Рис. 2. Обобщенный компонент логического уровня многоуровневой КМ ТО.

Геометрический аспект компонента содержит следующие элементы:

1) точками ($n_1 \dots n_4$) обозначены **узлы** компонента, с помощью которых осуществляется его соединение с другими компонентами на логическом уровне многоуровневой КМ ТО;

2) стрелками ($b_1 \dots b_4$) обозначены **ветви** компонента, с помощью которых компонент может принимать (стрелка направлена в компонент) или передавать (стрелка идет от компонента) данные на узлы;

3) прямоугольником обозначен непосредственно сам **компонент**.

Топологический аспект компонента отражен следующими связями:

1) выходная связь $S_1 = (b_1 \eta^+ n_1) \rightarrow \{V_{n_1}\}$ используется для передачи запроса, сформированного на языке SQL в компонент «База данных»;

2) входная связь $S_2 = (b_2 \eta^+ n_2) \rightarrow \{V_{n_2}\}$ используется для передачи ответа на запрос из БД;

3) входная связь $S_3 = (b_3 \eta^{-n_3}) \rightarrow \{V_{n_3}\}$ используется для передачи параметра, вставляемого в текст запроса, сформированного на языке SQL;

4) выходная связь $S_4 = (b_4 \eta^{-n_4}) \rightarrow \{V_{n_4}\}$ используется для передачи ответа на запрос в другие компоненты;

5) выходная связь $S_5 = (b_5 \eta^{-n_5}) \rightarrow \{V_{n_5}\}$ используется для передачи статуса выполненного запроса.

Физический аспект компонента отражается следующими переменными:

V_{n_1} представляет собой строку, являющуюся запросом на языке SQL;

V_{n_2} представляет собой структуру, содержащую:

1) результат запроса к БД (может быть различного типа);

2) статус выполненного запроса (булевская переменная);

V_{n_3} представляет собой строковую переменную, которая подставляется в текст запроса на языке SQL;

V_{n_4} представляет собой переменную различного типа, содержащую результат запроса к БД;

V_{n_5} представляет собой переменную булевского типа, отражающую статус выполненного запроса (*false* – если выполнить запрос не удалось, *true* – если запрос выполнен успешно).

Математико-алгоритмический аспект отражается следующей последовательностью действий.

Шаг 1. В свойствах компонента задается текст запроса на языке SQL.

Шаг 2. По связи S_3 компонент получает от других компонентов строковую переменную V_{n_3} , которая подставляется в текст запроса на языке SQL. Эта переменная может содержать либо список полей, либо список таблиц, либо условия поиска записей в БД. Конкретный вариант выбирается в свойствах компонента.

Шаг 3. По связи S_1 компонент передает строковую переменную V_{n_1} , отражающую сформированный запрос на языке SQL с подставленным на предыдущем шаге значением, в компонент «База данных».

Шаг 4. По связи S_2 компонент получает от компонента «База данных» переменную V_{n_2} , которая может иметь различный тип (булевское значение, число, строка и т.д.) и представляющую собой результат запроса к БД.

Шаг 5. По связи S_4 компонент передает другим компонентам переменную V_{n_4} , представляющую собой результат запроса к БД.

Шаг 6. По связи S_5 компонент передает другим компонентам статус выполненного запроса (булевская переменная).

Для осуществления параметризации с помощью БД на логическом слое многоуровневой КМ ТО используются следующие компоненты: «Атрибут», «Список из БД», «База данных», «Запрос к БД».

Компонент «Атрибут»



Рис. 3. Изображение компонента «Атрибут».

Для автоматического изменения значений параметров компонентов в процессе функционирования КМ ТО применяется компонент «Атрибут» (рис. 3), связанный с компонентами объектного или визуального уровня. Он реализует механизм автоматизированной параметризации многоуровневых КМ ТО с помощью данных, получаемых из БД.

Топологический аспект: входная связь $S_1 = (b_1\eta^- n_1) \rightarrow \{V_{n_1}\}$ используется для получения нового значения параметра компонента.

Физический аспект отражается переменной V_{n_1} , которая может иметь различный тип (в зависимости от запроса) и является параметром компонента.

Математико-алгоритмический аспект: при получении по связи S_1 переменной V_{n_1} (которая может быть числового или строкового типа), значение этой переменной автоматически заменяет собой предыдущее значение определенного параметра компонента.

Компонент «Список из БД»



Рис. 4. Изображение компонента «Список из БД».

Компонент «Список из БД» (рис. 4) служит для создания выпадающего списка, отражающего данные определенного столбца в таблице БД. В свойствах данного компонента прописываются: путь к БД; название таблицы; название столбца, элементы которого будут отображаться в виде списка; название столбца, значения из которого будут передаваться на выход компонента при выборе определенного элемента из списка.

Топологический аспект компонента «Список из БД»: выходная связь $S_1 = (b_1\eta^+ n_1) \rightarrow V_{n_1}$ используется для передачи значения в другие компоненты, – например, в компонент «Атрибут».

Физический аспект отражается переменной V_{n_1} , которая может иметь различный тип (в зависимости от запроса) и используется для передачи значения из БД в другие компоненты многоуровневой КМ ТО.

Математико-алгоритмический аспект.

Шаг 1. Указываем в свойствах название БД, таблицы и полей (столбцов).

Шаг 2. При запуске эксперимента на визуальном слое появляется возможность выбора конкретного значения из выпадающего списка.

Шаг 3. При выборе элемента из списка, на узел n_1 поступит переменная V_{n_1} , отражающая результат запроса.

Компонент «Список из БД» имеет отображение сразу на двух слоях – логическом и визуальном.

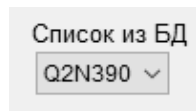


Рис. 5. Отображение компонента «Список из БД» на визуальном слое.

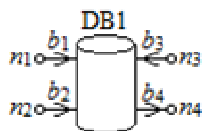


Рис. 6. Изображение компонента «База данных».

На логическом слое данный компонент подключается к другому компоненту (или компонентам), который будет обрабатывать (визуализировать) полученное значение. На визуальном слое компонент «Список из БД» отображается в виде выпадающего списка (рис. 5).

Компонент «База данных»

Для реализации функций подключения к БД применяется компонент «База данных» (рис. 6). В нем реализуются методы и алгоритмы доступа как к удаленным системам управления базами данных (СУБД), так и к СУБД, использующим файлы в качестве хранилищ данных (Microsoft Access, Oracle Database, MySQL, PostgreSQL, Microsoft SQL Server и др.). Адрес удаленного сервера БД или путь к файлу с данными на локальном компьютере указывается в качестве параметра «Адрес сервера» данного компонента.

Топологический аспект компонента «База данных»:

входная связь $S_1 = (b_1 \eta^- n_1) \rightarrow \{V_{n_1}\}$ – для приема сигнала о подключении в БД;

входная связь $S_2 = (b_2 \eta^- n_2) \rightarrow \{V_{n_2}\}$ – для приема сигнала о прекращении подключения к БД;

входная связь $S_3 = (b_3 \eta^- n_3) \rightarrow \{V_{n_3}\}$ – для получения запроса, представляющего собой строку, сформированную на языке запросов SQL;

выходная связь $S_4 = (b_4 \eta^+ n_4) \rightarrow \{V_{n_4}\}$ – для передачи ответа компоненту, отправившемуся запрос к БД.

Физический аспект компонента отражается следующими переменными:

V_{n_1} и V_{n_2} являются булевскими переменными, которые служат для управления соединением с БД:

- 1) если переменная V_{n_1} имеет значение true, то открывается соединение с БД;
- 2) если переменная V_{n_2} имеет значение true, то подключение к БД закрывается;

V_{n_3} представляет собой строку запроса на языке SQL;

V_{n_4} представляет собой результат запроса (может быть различного типа).

Математико-алгоритмический аспект компонента:

Шаг 1. В свойствах компонента задаются параметры подключения к БД.

Шаг 2. По связи S_3 компонент получает строковую переменную V_{n_3} , представляющую собой текст запроса на языке SQL.

Шаг 3. При получении по связи S_1 булевой переменной V_{n1} , имеющей истинное (ненулевое) значение, открывается подключение к БД (в соответствии с параметрами подключения) и выполняется запрос.

Шаг 4. По связи S_4 компонент передает в компонент «Запрос к БД» переменную V_{n4} , представляющую собой структуру, содержащую:

- 1) статус запроса (булевская переменная);
- 2) результат запроса (число или строка).

Шаг 5. При получении по связи S_2 булевой переменной V_{n2} , имеющей истинное (ненулевое) значение, подключение к БД закрывается.

Компонент «Запрос к БД»

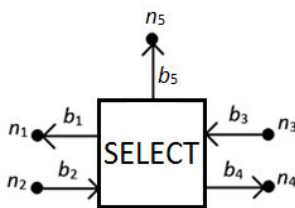


Рис. 7. Изображение компонента «Запрос к БД».

Для формирования запроса, представляющего собой строку языка SQL, используется компонент «Запрос к БД» (рис. 7).

Топологический аспект компонента «Запрос к БД (общий)»:

выходная связь $S_1 = (b_1\eta^+ n_1) \rightarrow \{V_{n1}\}$ – для передачи запроса, сформированного на языке SQL, в компонент «База данных»;

входная связь $S_2 = (b_2\eta^- n_2) \rightarrow \{V_{n2}\}$ – для получения из компонента «База данных» структуры, содержащей статус и результат выполненного запроса;

входная связь $S_3 = (b_3\eta^- n_3) \rightarrow \{V_{n3}\}$ – для поступления значения, по которому должен осуществляться поиск в базе данных;

выходная связь $S_4 = (b_4\eta^+ n_4) \rightarrow \{V_{n4}\}$ – для передачи найденного в БД значения в другие компоненты;

выходная связь $S_5 = (b_5\eta^+ n_5) \rightarrow \{V_{n5}\}$ – для передачи статуса выполненного запроса.

Физический аспект компонента отражается следующими переменными:

V_{n1} представляет собой строку, являющуюся запросом на языке SQL;

V_{n2} представляет собой структуру, содержащую:

- 1) результат запроса к БД (может быть различного типа);
- 2) статус выполненного запроса (булевская переменная);

V_{n3} представляет собой строковую переменную, которая подставляется в текст запроса на языке SQL;

V_{n4} представляет собой переменную различного типа, содержащую результат запроса к БД;

V_{n5} представляет собой переменную булевского типа, отражающую статус

выполненного запроса (*false* – если выполнить запрос не удалось, *true* – если запрос выполнен успешно).

Математико-алгоритмический аспект компонента «Запрос к БД»:

Шаг 1. В свойствах компонента задаются:

- 1) название таблицы (*Table*);
- 2) название поля, содержащего данные для извлечения (*Data*);
- 3) название поля, содержащего значение для поиска (*Param*).

Шаг 2. По связи S_3 компонент получает строковую переменную V_{n3} , которая подставляется в текст запроса на языке SQL:

`SELECT Data FROM Table WHERE Param=« V_{n3} »`

Пример:

`SELECT BF FROM transistors WHERE name= «Q2N3904»`

Шаг 3. По связи S_1 компонент передает строковую переменную V_{n1} , отражающую сформированный запрос на языке SQL, в компонент «База данных».

Шаг 4. По связи S_2 компонент получает от компонента «База данных» переменную V_{n2} , представляющую собой структуру, содержащую:

- 1) статус запроса (булевская переменная);
- 2) результат запроса (число или строка).

Шаг 5. По связи S_4 компонент передает другим компонентам булевскую переменную V_{n4} , представляющую собой статус выполненного запроса («успешно» или «ошибка»).

Шаг 6. По связи S_5 компонент передает другим компонентам переменную V_{n5} , представляющую собой результат запроса к БД (как правило, она имеет числовой или строковый тип).

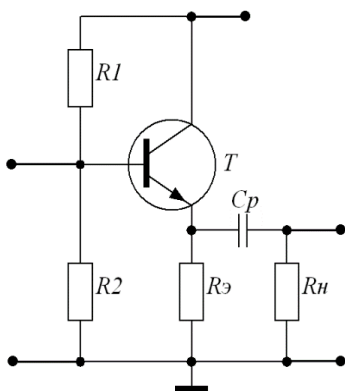


Рис. 8. Объектный слой многоуровневой КМ ТО.

Пример: необходимо выполнить параметризацию КМ ТО, содержащей модель однокаскадного транзисторного усилителя постоянного тока. Все параметры транзисторов хранятся в БД. По марке транзистора с помощью компонента «Список из БД» можно получить любой из его параметров, – например, ток насыщения коллектора. Объектный слой, содержащий модель транзистора (в виде компонента T), будет иметь вид, представленный на рис. 8.

Для любого параметра компонента, расположенного на объектном или визуальном слое, может быть создан компонент-атрибут, который располагается на логическом слое. В рассматриваемом примере необходимо изменить параметр «Ток насыщения коллектора» компонента T . Используя компоненты для взаимодействия с БД, на логическом слое строится алгоритм параметризации компонента T (рис. 9).

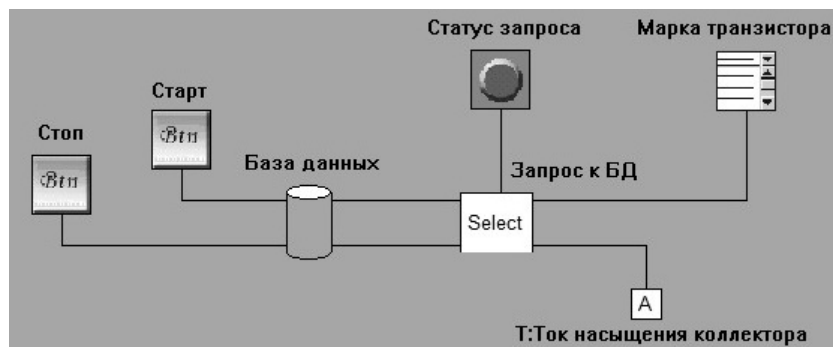


Рис. 9. Логический слой многоуровневой КМ ТО.

На визуальном слое располагаются компоненты-кнопки («Старт» и «Стоп»), кнопка для отображения статуса выполненного запроса («Статус») и компонент «Список из БД», при помощи которого выбирается конкретное название (марка) транзистора из выпадающего списка (рис. 10).

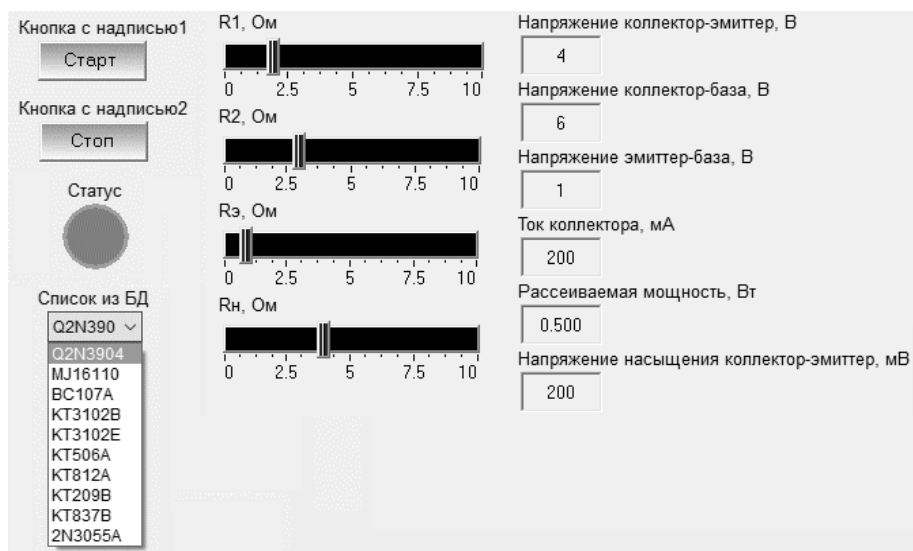


Рис. 10. Визуальный слой многоуровневой КМ ТО.

При выборе элемента из списка автоматически формируется и выполняется запрос к БД, а результат (числовое значение тока насыщения коллектора) подставляется в соответствующий параметр компонента T .

Заключение

Для повышения адекватности многоуровневых КМ ТО их параметризацию необходимо проводить на основе реальных данных. В качестве источника таких данных предлагается использовать базы данных, позволяющие создавать модели, адекватные реальным ТО. Разработанные алгоритмы развивают теорию автоматической параметризации КМ ТО и открывают возможности применения методик и алгоритмов адаптивной настройки моделей для исследования свойств их различных подсистем и решения задач параметрического синтеза. Реализация разработанных программных средств и их интеграция с компонентами численной об-

работки и интерактивного документирования результатов моделирования [16] позволяют создать систему поддержки автоматизированных экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *James W. Nilsson, Susan Riedel.* Introduction to MultiSim for Electric Circuits. – Prentice Hall, 2011.
2. *James Dabney, Thomas L. Harman.* Mastering Simulink. – Pearson/Prentice Hall. – 2004.
3. *Мишута П.В., Бызов П.Г.* Применение систем моделирования при разработке АСУТП // Известия Волгоградского гос. техн. ун-та. – 2010. – Т. 1, № 3. – С. 134-137.
4. *Разевиг В.Д.* Применение программ P-CAD и PSpice для схемотехнического проектирования на ПЭВМ. – Вып. 3, 4: Моделирование аналоговых устройств. – М.: Радио и связь, 1992.
5. *Прикота А.* Программа SimOne. Современные средства схемотехнического моделирования // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2011. – Т. 108, № 2. – С. 142-146.
6. *Карлащук В.И.* Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Workbench и ее применение. Изд. 2-е, доп. и перераб. – М.: Солон-Р, 2001.
7. *Разевиг В.Д.* Система схемотехнического моделирования MicroCap – М.: Солон, 1997.
8. *Имаев Д.Х., Ковальски З., Яковлев В.Б., Кузьмин Н.Н., Пошехонов Л.Б., Цанко Г.П.* Анализ и синтез систем управления. Теория, методы. Примеры решения типовых задач с использованием персонального компьютера. Учеб. пособие. – СПб., Гданьск, Сургут, Томск, 1997.
9. *Змеу К.В., Невмержицкий М.Н., Ноткин Б.С.* Применение среды SimMechanics для моделирования нежестких систем // Вестник инженерной школы ДФУ. – 2012. – №1(10). – С.5-10.
10. *Дмитриев В.М., Шутенков А.В., Зайченко Т.Н., Ганджа Т.В., Кураколов А.Н.* Среда моделирования MAPC. – Томск: В-Спектр, 2009.
11. *Кравченко И.В.* Технологии SCADA TRACE MODE 6 для создания телемеханических систем управления // Автоматизация в промышленности. – 2008. – № 4. – С. 47-48.
12. *Дмитриев В.М., Арайс Л.А., Шутенков А.В.* Автоматизация моделирования промышленных роботов. – М.: Машиностроение, 1995.
13. *Дмитриев В.М., Ганджа Т.В., Панов С.А.* Система виртуальных инструментов и приборов для автоматизации учебных и научных экспериментов // Программные продукты и системы. – 2016. – № 3. – С.154-162.
14. *Дмитриев В.М., Ганджа Т.В.* Принцип формирования многоуровневых компьютерных моделей SCADA-систем для управления сложными технологическими объектами // Информатика и системы управления. – 2013. – № 2 (36). – С.24-36.
15. *Дмитриев В.М., Шутенков А.В., Ганджа Т.В.* Архитектура универсального вычислительного ядра для реализации виртуальных лабораторий // Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика. – 2004. – № 2. – С.24-28.
16. *Ганджа Т.В., Панов С.А.* Задачи и архитектура подсистемы документирования исследований в среде многоуровневого моделирования MAPC // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2011. – Ч 2, №2(24), – С.334-338.

Статья представлена к публикации членом редколлегии А.А. Шелупановым.

E-mail:

Дмитриев Вячеслав Михайлович – dmitriewvm@gmail.com;

Ганджа Тарас Викторович – gandgatv@gmail.com;

Панов Сергей Аркадьевич – spytech3000@gmail.com.