

# Разработка системы управления стенда для исследования переходных процессов вакуумного высоковольтного выключателя

А.Б. Колкер, Д.А. Ливенец, Кошелева А.И.

**Аннотация:** Описаны результаты разработки системы управления учебным стендом для исследования переходных процессов в вакуумном высоковольтном переключателе типа *EX-BB 6-20/1000 УЗ-1*.

**Ключевые слова:** Программное обеспечение, вакуумный переключатель.

типа *EX-BB 6-20/1000 УЗ-1*.

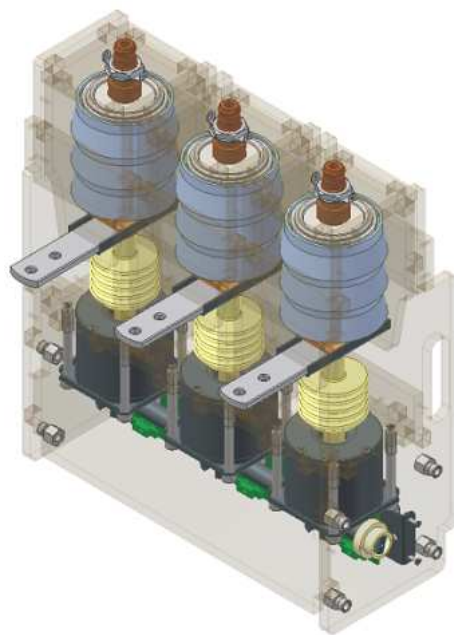


Рис. 1 Вакуумный переключатель типа *EX-BB 6-20/1000 УЗ-1*

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В работе исследуется возможность использования пакета *SciLab* в режиме моделирования и компиляции исполняемого модуля на примере разработки стенда для исследования переходных процессов вакуумного высоковольтного переключателя. Требуется разработать систему автоматического управления в режиме реального времени с использованием программного пакета *SciLab*, оценить параметры быстродействия [1]. Система реального времени (СРВ) представляет собой аппаратно-программный комплекс, реагирующий в предсказуемые времена на непредсказуемый поток внешних событий: система должна успеть отреагировать на событие, произошедшее на объекте, система должна успевать реагировать на одновременно происходящие события. Даже если два или больше внешних событий происходят одновременно, система должна успеть среагировать на каждое из них в течение интервалов времени, критического для этих событий (*meet deadline*).

Любая система реального масштаба времени может быть описана как состоящая из трех основных подсистем:

- объект управления диктует требования в реальном масштабе времени;
- подсистема контроля и управления обеспечивает выполнение требуемых вычислений и связь с оборудованием (представлена процессорами, управляющими местными ресурсами: память и устройства хранения, доступ к локальной сети в реальном масштабе времени);
- подсистема оператора контролирует полную деятельность системы.

## 2. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ

Разрабатываемая модель управления состоит из объекта управления, согласующего устройства, подсистемы контроля и управления. Объектом управления является вакуумный выключатель

Вакуумный выключатель типа *EX-BB (BB)* предназначен для коммутации электрических цепей в промышленных и сетевых установках, в сетях трехфазного переменного тока с изолированной или заземленной через дугогасительный реактор нейтралью частотой 50 и 60 Гц с номинальным напряжением до 10 кВ, а также для электрических сетей общего назначения. Полное время отключения не более 40 мс, собственное время отключения не более 20 мс, собственное время включения 100 мс. Поэтому разрабатываемая система реального времени с применением такого переключателя жесткая.

Для исследования переходных процессов и свойств объекта управления создается стенд, состоящий из подсистемы управления и контроля в режиме реального времени, основанной на пакете *SciLab* [2–5].

В *Scicos* имеются блоки трех типов: базовые постоянные блоки (*Regular Basic Blocks*), базовые блоки пересечения нуля (*Zero Crossing Basic Blocks*) и блоки синхронизации (*Synchro Basic Blocks*). Эти блоки могут иметь два типа входов и выходов: постоянные и активационные. Постоянные выходы соединяются связями с постоянными входами, активационные

выходы соединяются с активационными входами.

*RTAI-Lab* представляет собой палитру блочных схем, которые могут быть скомпилированы и запущены в режиме реального времени под операционной системой *Linux*. В данном проекте используется операционная система *Ubuntu 9.10*, поддерживающая режим реального времени.

При использовании *RTAI-Lab* системы управляющие сигналы передаются на исполнительный механизм через порт цифрового ввода-вывода, допускающий работу в режиме реального. В качестве такого порта может выступать специализированная плата или *LPT (Line Print Terminal)* порт. Порт используется для подключения периферийных устройств, внешних устройств хранения данных, для организации связи между двумя компьютерами, подключения каких-либо механизмов телесигнализации и телеуправления.

Применение виртуального осциллографа и мониторинга позволяет взаимодействовать с исполнительным механизмом в режиме реального времени.

Требуется установить, можно ли реализовать систему мягкого реального времени используя в качестве устройства ввода-вывода звуковую карту персонального компьютера.

Модель представляет собой систему управления, которая запускает одиночный импульс, когда входной сигнал достигает заданного уровня на указанном такте.

Входной сигнал представляет собой синусоидальное напряжение, частотой 50 Гц, амплитуда 5 В.

### 3. РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ МОДЕЛИ

Требуемый уровень входного сигнала и номер такта задаются константами *Уровень* и *Такт*. Из входного сигнала на сумматоре вычитается константа *Уровень*, таким образом, когда входной сигнал достигает искомого уровня, на выходе блока *Сумматор* появится ноль. Выход сумматора подается на вход компаратора, сравнивающего значения с нулем. При смене знака, с положительного на отрицательный на инкрементный счетчик тактов подается импульс. Выход счетчика сравнивается с константой *Такт*. Когда на выходе компаратора появится единица, запускается формирователь одиночного импульса (ФОИ). Структурная схема системы изображена на *рис. 2*.

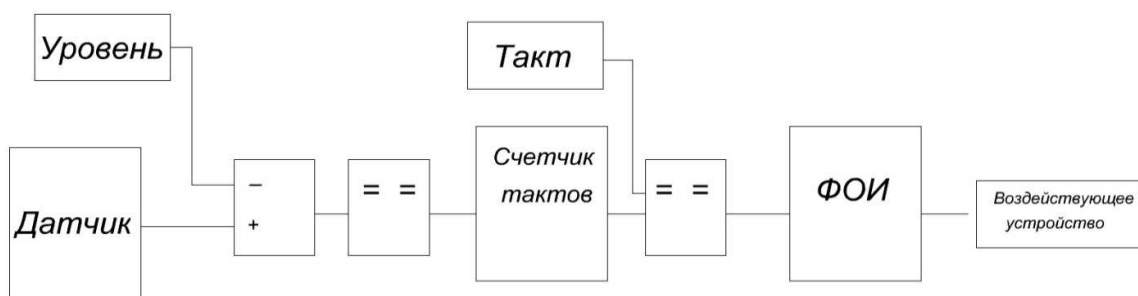


Рис.2. Структурная схема модели

Для считывания информации, поступающей от внешних устройств, в системе *SciLab* используется блок *Sensor* (датчик входа). Необходимо обеспечить считывание информации со звуковой карты и представление сигнала в виде, который может обработать программа.

Принято решение модифицировать блок *SENSOR* (датчик входа), принадлежащий палитре блоков *RTAI-lib*.

Параметры блока, задаваемые пользователем:

- количество выходов;
- открытый программный код – возможность редактирования для решения конкретных задач.

В качестве компаратора, регистрирующего пересечение нуля, использован блок *Edge Trigger*, принадлежащий палитре *Branching*.

Параметры блока. Пользователь указывает, на каком событии выдавать импульс: пересечение нуля при переходе входного сигнала из отрицательной области в положительную, из

положительной в отрицательную, или любое.

Счетчик тактов представляет собой встроенный блок *Counter* принадлежащий палитре *Sources*.

Параметры блока, задаваемые пользователем:

- максимальное и минимальное значения счетчика;
- тип счетчика: инкрементный или декрементный.

Блок *Relational* (палитра *Others*) играет роль компаратора.

Параметры блока:

- режим компаратора: на выходе компаратора появится единица либо при равенстве двух сигналов на входе, либо если сигналы приблизительно равны, либо первый строго меньше второго, меньше или равен, строго больше, больше либо равен

- использовать пересечение нуля;
- тип данных на выходе блока.



состояния:

- инициализация – на всех пинах LPT порта устанавливаются нулевой уровень;
- при включении на всех пинах устанавливается уровень единицы
- вход системы приходит 0 – все биты LPT обнуляются, кроме программируемых;
- при завершении работы программы – все биты LPT обнуляются.

Параметры блока, задаваемые пользователем:

- количество входов.

Блок *Actuator* имеет открытый программный код на языке Си.

## 5. ОТЛАДКА И КОМПИЛЯЦИЯ МОДЕЛИ

Таким образом, модель системы управления примет вид (см. рис. 6).

Модель системы объединяется в подсистему «*Super Block*» для дальнейшей компиляции.

Встроенная команда *RTAI*-системы *RTAI CodeGen* создает исполняемый файл, который представляет собой программу на языке Си. Система *RTAI-Lab* имеет виртуальный осциллограф, который позволяет наблюдать

результат выполнения созданной системы управления.

Для тестирования используется генератор импульсов Г5-54. Синхронизация выполняется по переднему фронту генератора.

Шаг дискретизации системы выбран 1 мкс. Длительность импульса генератора 1мс. В результате эксперимента на экране осциллографа получили эпюры, показаны на рис. 7.

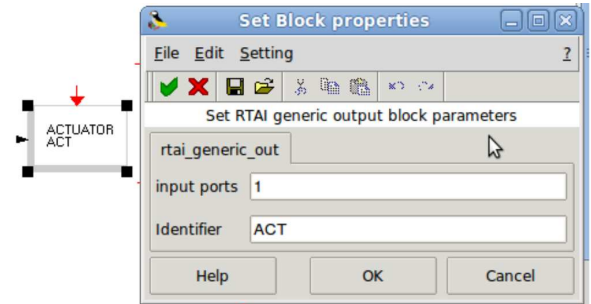


Рис. 5. Параметры блока *Actuator*

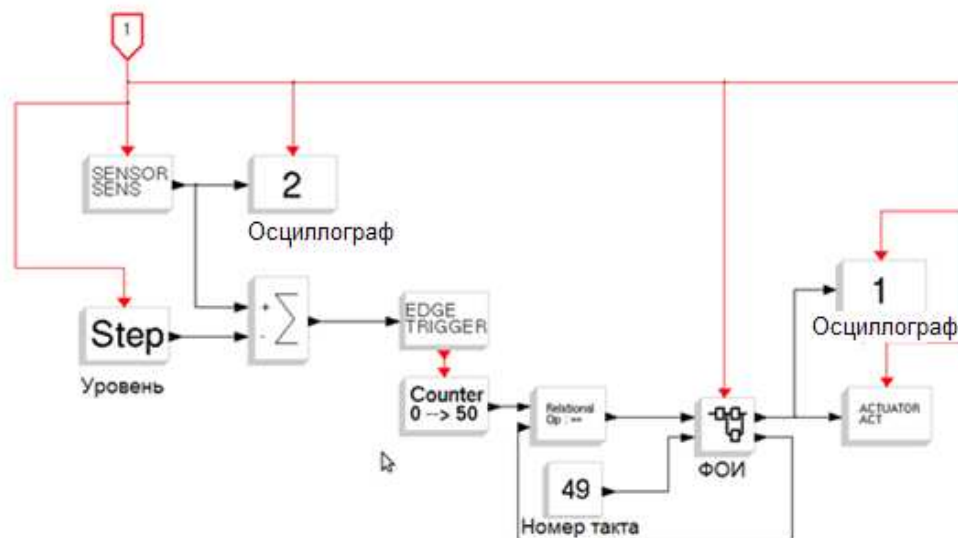


Рис. 6. Функциональная схема модели управления

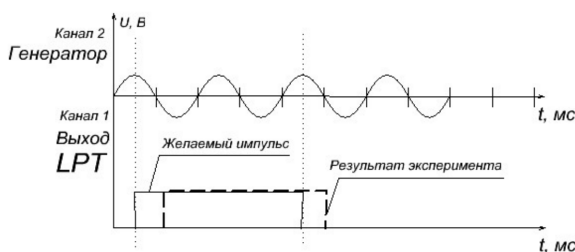


Рис. 7. Результаты тестирования

В результате моделирования можно сделать следующие выводы.

Функциональные блоки программы, не имеющие активационные входы, при создании моделей реального времени использовать не рекомендуется, т.к. они вносят погрешность

превосходящую шаг дискретизации системы.

Использование базового блока делителя частоты *Freq\_div* вносит существенную временную ошибку в формирование импульса: момент формирования переднего фронта импульса отклоняется от заданного значения на величину, превышающую величину шага дискретизации, длительность импульса изменяется больше, чем на величину шага дискретизации.

Исходя из вышесказанного, звуковую карту в качестве системы ввода-вывода в режиме реального времени использовать нельзя, так как это устройство имеет внутреннюю буферную память, способом заполнения которой невозможно управлять. Принято решение, использовать *LPT* порт как систему ввода-вывода

– как аналог портов `gpio`. Таким образом, необходимо разработать модель управления, которая формирует одиночный импульс длительностью 40 мс с задержкой 5 мс при переходе входного сигнала через уровень ноля, обеспечить запуск и останов при нажатии соответствующих кнопок.

При включении системы поступают прямоугольные импульсы на датчик. По нажатию кнопки Пуск формируется одиночный импульс. При нажатии кнопки Сброс на выходе воздействующего устройства нулевой сигнал – сброс напряжения удержания.

Структурная схема модели представлена на рис. 8.



Рис. 8. Структурная схема модели

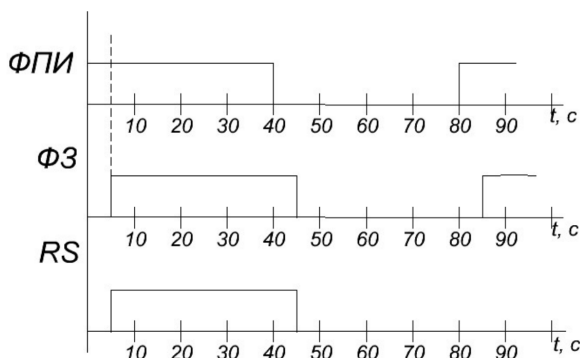


Рис. 9. Временная диаграмма ФОИ

Формирователь прямоугольных импульсов (ФПИ) формирует прямоугольные сигналы заданной длительности. Сигналы поступают на формирователь задержки (ФЗ) и сдвигаются во времени на заданную величину. С выхода ФЗ сигнал поступает на вход «S» RS-триггера.

В результате требуется получить следующую временную диаграмму (см. рис. 9).

На выходе формирователя одиночного импульса появляется импульс заданной длительности и с заданной задержкой.

Недопустимо одновременного нажатия кнопок Пуск и Сброс, а также недопустимо, чтобы на входы R и S триггера одновременно подавались ноли. Запуск системы осуществляется, когда нажата кнопка Пуск и не нажата кнопка Сброс. Система выключена либо если не была нажата кнопка Пуск, либо если нажата кнопка Сброс. Логика управления может быть реализована следующим образом (см. рис. 10).

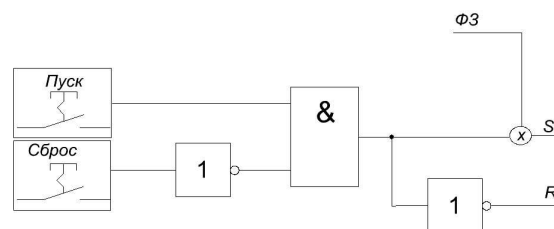


Рис.10. Структурная схема логики управления

Для считывания информации, поступающей от внешних устройств (входной сигнал, нажатие кнопок Пуск и Сброс), выбран блок `Sensor` (датчик входа). Необходимо обеспечить считывание информации с порта `LTP` и представление сигнала в виде, который может обработать программа.

Принято решение модифицировать стандартный блок `SENSOR` (датчик входа), принадлежащий палитре блоков `RTAI-lib`.

Выход формирователя одиночного импульса подается на блок `Actuator` – воздействующее устройство. Данный блок обеспечивает подачу управляющего сигнала на выход `LPT` порта компьютера.

В качестве формирователя прямоугольных импульсов выбран блок `RTAI-square` из палитры блоков `RTAI`.

Параметры блока, устанавливаемые пользователем:

- амплитуда импульса;
- период, с;
- длительность импульса, с;
- наклон, градус;
- время задержки, с.

Установив длительность импульса 40 мс, система сформирует импульс желаемой длительности. Выход блока последовательно соединен с ФЗ, который в свою очередь передает сигнал на установочный вход S RS-триггера. На рис. 11 приведена функциональная схема ФОИ.

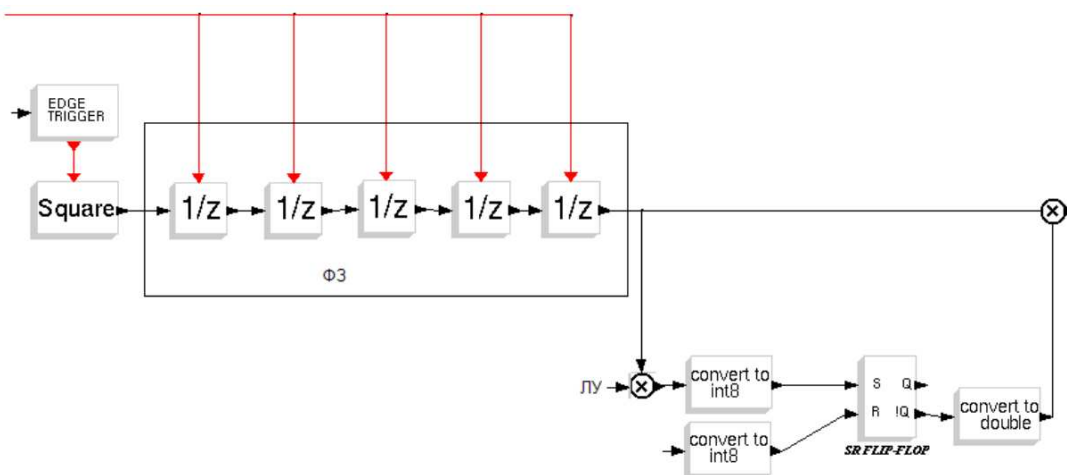


Рис. 11. Функциональная схема ФДИ

Тестирование блока делителя частоты *Freq\_div* показало, что этот блок вносит существенную ошибку. По этой причине использовать схему формирователя одиночного импульса, предложенную в разделе 2, не рекомендуется. Принято решение использовать блок *Delay operator* (Оператор задержки), который осуществляет задержку на величину одного шага дискретизации. Так как шаг дискретизации системы выбран 1 мс, потребуется последовательно соединить пять блоков *Delay operator*.

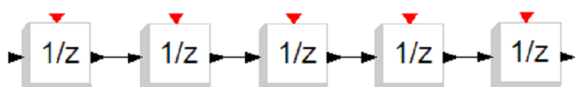


Рис. 12. Формирователь задержки

Сигналы с кнопок принимаются системой через блоки *Sensor*. Для реализации двух кнопок используются два блока *Sensor*.

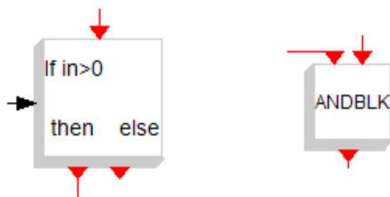


Рис. 13. Блок *IFTHEL\_f* и *ANDBLK*

В качестве логических элементов «И» и

инверторов используются логические блоки пакета из библиотеки *Events IFTHEL\_f* и *ANDBLK* соответственно.

Блок *IFTHEL\_f* имеет один активационный вход для тактирования от общего генератора, вход последовательный, а так же два активационных выхода *Then* и *Else*. В случае если условие выполняется, на выходе *Then* устанавливается уровень логической единицы, а на выходе *Else* – логического нуля. В случае не выполнения условия – наоборот.

Блок *ANDBLK* имеет два активационных входа и один выход.

Таблица 5

Таблица значений входов и выхода блока *ANDBLK*

Вход 1	Вход 2	Выход
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Таким образом, пуск системы происходит при включенной кнопке Пуск и отжатой кнопке Сброс.

Функциональная модель блока управления изображена на рис. 14.



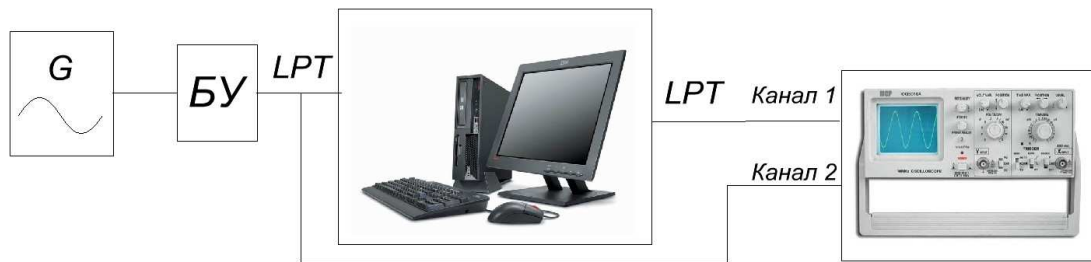


Рис. 16. Схема для тестирования

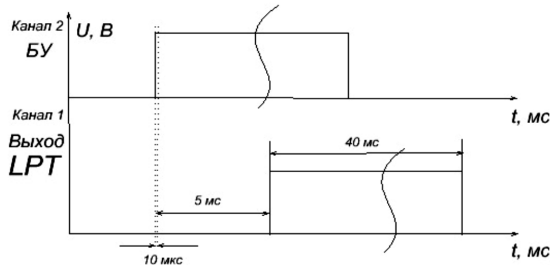


Рис.17. Результаты эксперимента

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе продемонстрирована возможность использования пакета *SciLab* в режиме моделирования и компиляции исполняемого модуля на примере разработки стенда для исследования переходных процессов вакуумного высоковольтного переключателя. Результаты будут использоваться для развития робототехнических стендов кафедры Автоматики НГТУ.

Работа выполнена по заданию Министерства образования и науки РФ, проекты № 7.559.2011 (Темплан) и ГК № П761 от 20.05.2010.

Авторы благодарят за постановку задачи и

общее руководство работами д.т.н. В.А. Жмудя.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Имитационное моделирование системы управления с использованием пакета *SciLab*: дипломный проект: рук. А.Б. Колкер; исполн. А.И. Кошелева, 2010. - 44 с. , 2010г. [16] User manual: URL: [http://www.iciworld.com/files/file\\_pool/0B329000195966240272/file/WAFER-945GSE2\\_UMN\\_v2.00.pdf](http://www.iciworld.com/files/file_pool/0B329000195966240272/file/WAFER-945GSE2_UMN_v2.00.pdf)
- [2] RTAI - Real Time Application Interface Official Website: URL: <https://www.rtai.org/>
- [3] Scicos: Block diagram modeler/simulator: URL: <http://scicos.org/>
- [4] The Free Platform for Numerical Computation: URL: <http://www.scilab.org/support/documentation>
- [5] *SciLab* refence manual. Scilab Group INRIA Meta2 Project/ENPC Cergrene. - Domaine de Voluceau – Rocquencourt: - BP 105 - 78153 Le Chesnay Cedex (France). 2001 – 700 с.

**Колкер Алексей Борисович** – доцент кафедры Автоматики НГТУ, к.т.н.,

**e-mail:** [fiery77@yandex.ru](mailto:fiery77@yandex.ru)

**Ливенец Дмитрий Александрович** – магистр, окончил кафедру Автоматики НГТУ,

**e-mail:** [dmitry.livenets@gmail.com](mailto:dmitry.livenets@gmail.com)

**Кошелева Алёна Игоревна** – магистр, окончила кафедру Автоматики НГТУ,

**e-mail:** [kosheleva.alyona@mail.ru](mailto:kosheleva.alyona@mail.ru)