

УДК 004.942

Н.О. Дробышев¹, П.Ю. Иванов¹, С.В. Ковырин¹, С.П. Круглов¹.

¹ *Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация.*

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ «ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК» НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ МИЛАНДР»

Аннотация. *Цифровой двойник рассматривается как виртуальный прототип реального объекта или процесса, который содержит все данные о нем, включая историю и информацию о текущем состоянии. Работа заключается в создании прототипа цифрового двойника используя систему реального времени. Такая система должна моделировать параметры физического объекта и передавать их в виде графиков, или ином виде для дальнейшего анализа. Основная идея состоит в том, чтобы переложить часть вычислительной нагрузки с компьютера, где находится модель объекта, на внешнее специализированное вычислительное устройство. В данном случае внешним устройством для вычисления является 32 разрядный микроконтроллер Российского производителя «Миландр».*

Ключевые слова: *цифровой двойник, система реального времени, UART, микроконтроллер, передача данных, RealTime*

N.O. Drobeshv¹, P.U. Ivanov¹, S.V. Kovyrshin¹, S.P. Kruglov¹

¹ *Irkutsk state University of railway transport, Irkutsk, Russian Federation.*

FEATURES OF CONSTRUCTION OF CONTROL SYSTEMS WITH APPLICATION OF TECHNOLOGY OF "DIGITAL DOUBLE" ON THE BASIS OF MICROCONTROLLERS "MILANDR"

Abstract. *A digital double is considered as a virtual prototype of a real object or process that contains all data about it, including its history and current state information. The work consists in creating a prototype of a digital double using a real-time system. Such a system should model the parameters of a physical object and transmit them as graphs or other forms for further analysis. The main idea is to transfer computing power from the computer where the object model is located to an external computing device. In this case, the external device for calculation is a 32-bit microcontroller of the Russian manufacturer "Milander".*

Keywords: *Digital double, real-time system, UART, microcontroller, data transfer, RealTime*

Введение

В мире современных технологий и познаниях человека в технике продолжают проектироваться и создаваться новые устройства, которые исполняют самые различные задачи. При проектировании устройств, работающих в экстремальных условиях, а также тех устройств, которые должны обеспечивать безопасность людей и окружающего мира необходимо предусмотреть все возможные ситуации и риски, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации. Для минимизации вероятности ошибки проектировщика все чаще можно услышать про технологию «Цифровой двойник». Данная технология позволяет создать виртуальные интерактивные копии реальных физических объектов или процессов и в дальнейшем помогает эффективно управлять им, оптимизируя операции. Например, цифровой двойник завода позволяет моделировать расположение оборудования,

перемещение сотрудников, рабочие процессы и внештатные ситуации. Именно интерактивность отличает понятие цифрового двойника от термина «информационная модель изделия» (ИМИ). ИМИ характеризуется как совокупность данных и отношений между ними, описывающую различные свойства реального изделия, интересующие разработчика модели и потенциального или реального пользователя. В отличие от ИМИ, цифровой двойник не ограничивается сбором данных, полученных во время разработки и изготовления продукта, а продолжает собирать и анализировать информацию в течение всего жизненного цикла реального объекта. На железной дороге является перспективными создания таких цифровых двойников для управления сложными транспортными процессами, например, для перевозочного процесса, ведения железнодорожного состава и др.

Одна из проблем, которую приходится решать при построении таких «цифровых двойников» является организация обмена данными между вычислителями и периферийными устройствами и обработкой большого количества информации в реальном времени. Решением этой проблемы может стать использование специализированных вычислителей на нижнем уровне системы управления. Пример такой системы рассматривается в настоящей статье.

Конфигурация элементов системы

Основная задача на начальном этапе сводится к определению наиболее подходящего способа обмена данными между компьютером и микроконтроллером. Используемый в этой задаче протокол обмена должен обеспечить непрерывный поток данных между микроконтроллером и компьютером [5,6]. В качестве эксперимента в роли связующего протокола на данном этапе служит UART.

Для передачи данных по UART необходимо настроить этот интерфейс на микроконтроллере, а также на самой модели, которая через виртуальный порт будет отправлять данные в физический порт компьютера (COM-порт).

Протокол UART у современной цифровой вычислительной техники является частью периферийных устройств. Для примера рассмотрим контроллер 1986BE92Y. Настройка UART на стороне микроконтроллера сводится выставлению и инициализации нужных регистров в памяти согласно технической документации на микроконтроллер [3,4-6]. После того как UART настроен, на уровне регистров – пишется программа на языке СИ, которая читает принятые данные из модели, обрабатывает их и отправляет обратно в модель.

Для отладки и настройки связи была построена модель однофазного двухполупериодного тиристорного выпрямителя напряжения. За основу была взята однофазная двухполупериодная схема со средним (нулевым) выводом вторичной обмотки трансформатора (схема Миткевича, см. рис. 1), применяющаяся в низковольтных устройствах. Эта схема позволяет уменьшить вдвое число диодов и тем самым понизить потери, но имеет более низкий коэффициент использования трансформатора и, следовательно, большие габариты по сравнению с однофазным мостовым выпрямителем [1].

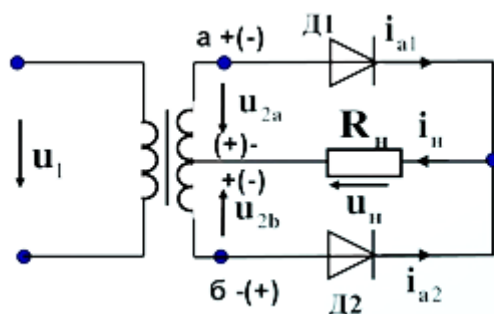


Рис.1. однофазная двухполупериодная схема со средним (нулевым) выводом вторичной обмотки трансформатора (схема Миткевича)

Вместо использующихся в схеме диодов в качестве элементов управления в модели применяются тиристоры. В итоге получился управляемый двухполупериодный выпрямитель со средней точкой (нулевым выводом [2, 7]). Схема данного выпрямителя изображена на рис. 2.

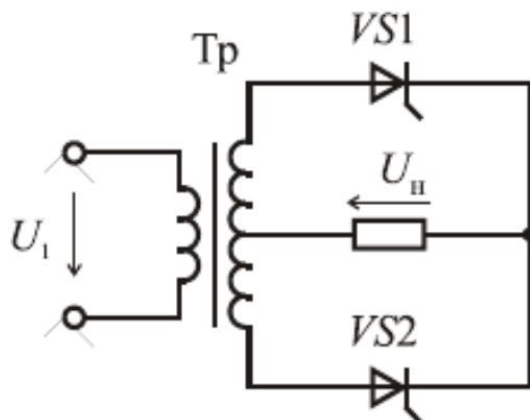


Рис.2. Схема управляемого двухполупериодного выпрямителя со средней (нулевой) точкой

В течение положительного полупериода входного напряжения, тиристор VS1 открыт и проводит ток при значениях угла от α до π . В течение отрицательного полупериода входного напряжения тиристор VS2 открыт и проводит ток при значениях угла от $\pi + \alpha$ до 2π . Временные диаграммы входного и выходного напряжений представлены на рис.3.

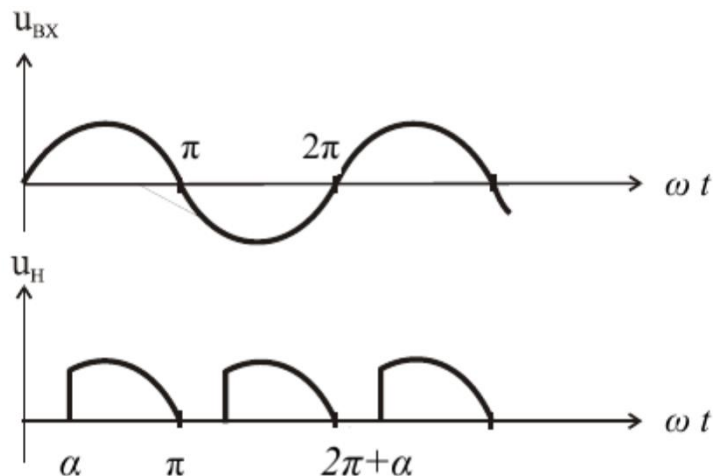


Рис.3. Временные диаграммы выпрямленного напряжения

В данной модели генерируется синусоидальный сигнал с определенной частотой и амплитудой, рис. 4. В момент пересечения синусом «0» в микроконтроллер передается сигнал в виде единичного пакета данных. Этот сигнал в будущем является сигналом для открытия тиристора. На стороне микроконтроллера этот сигнал обрабатывается и с определенной задержкой отправляется обратно в модель. Время задержки переводится в радианы и преобразуется в угол открытия тиристора. Таким образом, контроллер выполняет роль таймера, у которого точками отсчета является сигнал пересечения синусом «0».

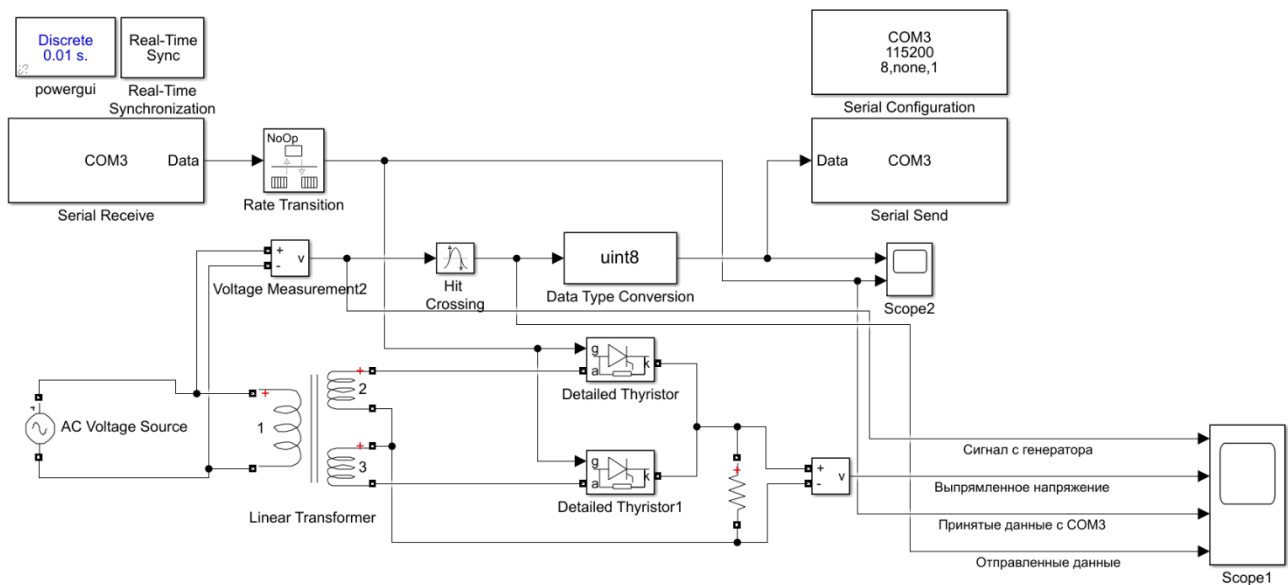


Рис.4. Общий вид модели двухполупериодного управляемого тиристорного выпрямителя

Модель построена в программе MATLAB Simulink с использованием библиотеки RealTime. Эта библиотека позволяет моделировать процесс в реальном времени, но требует высоких вычислительных мощностей. После написания программы и настройки модели был запущен весь контур симуляции в виде связки контроллера и компьютера. Получившийся результат навел на проблему суть которой заключается в том, что контроллер, работая на своей частоте 72мГц выдает четкие временные задержки, а модель, использующая ресурсы компьютера может периодически «подвисать» и в эти моменты происходит рассинхронизация модели и сигналов с микроконтроллера. Сигнал открытия тиристора получается плавающим. Над решением данной проблемы в настоящее время ведется работа. В качестве решения прорабатывается вариант переноса генератора сигнала синуса на сторону микроконтроллера. В конечном итоге в модели останутся тиристоры и нагрузка (не считая измерительных элементов).

Заключение

В результате работы была достигнута стабильная передача данных между контроллером и моделью в режиме реального времени. Задержка при передаче и обработке сигнала составляет менее 0.01 секунды при скорости передачи 115200 бит в секунду, что дает возможность моделировать процессы с достаточно высокой точностью.

В качестве вывода можно отметить, что для моделирования высокоточных систем реального времени в связке ПК и внешних вычислительных платформ, необходимо уделить большое внимание на синхронизацию данных. Использование в системе большого количества «опорных точек» для синхронизации операций позволит минимизировать вероятность рассинхронизации между устройствами.

Исследование в направлении систем реального времени позволит создавать высокоточные модели устройств, уже на стадии разработки и проектирования. Создание цифрового двойника дает возможность моделировать жизненный цикл объекта, и того как он будет себя показывать при воздействии на него тех или иных условий. В настоящее время уже существуют операционные системы реального времени, представляющие собой дорогостоящие сборки с высокопроизводительными процессорами в связке с быстродействующей периферией. Разработка системы с разделением задач между

контроллером и компьютером позволит использовать системы реального времени практически на всех современных компьютерах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Борисов П.А., Томасов В.С. Расчет и моделирование выпрямителей. // Учебное пособие по курсу Элементы систем автоматики (Часть I) . – СПб: СПб ГУ ИТМО, 2009 с.6.
2. Вторичные источники электропитания. Ч. 1: учеб.-метод. пособие / Н.П. Боярская; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2016 с.14-15.
3. Технические данные производителя микроконтроллеров «Миландр» «Микросхема 32-разрядного однокристального микро-ЭВМ с памятью Flash-типа 1986VE9ху, K1986VE9ху, K1986VE9хуK K1986VE92QI, K1986VE92QC, 1986VE91N4, K1986VE91N4, 1986VE94N4, K1986VE94N4»
4. Евдокимов А.П., Владимиров Л.Л. Программирование микроконтроллера K1986VE92QI компании «Миландр» // Лабораторный практикум по дисциплине «Электроника и микропроцессорная техника» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, профили: «Электроснабжение» и «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем» (все формы обучения) – Волгоград, Волгоградский ГАУ 2018 с.65
5. Антошкин С.Б., Мухопад Ю.Ф., Пунсык-Намжилов Д.Ц. Статистический метод анализа аналого-цифрового преобразователя информации // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. № 2 (22). С. 119-123.
6. Буторин Д.В., Филиппенко Н.Г., Филатова С.Н., Лившиц А.В., Каргапольцев С.К. Разработка методики определения структурных превращений в полимерных материалах // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2015. № 4 (48). С. 80-86.
7. Shastin V.I., Filippenko N.G., Kargapol'tcev S.K., Gozbenko V.E., Livshits A.V. Results of the complex studies of microstructural, physical and mechanical properties of engineering materials using innovative methods // International Journal of Applied Engineering Research. 2017. T. 12. № 24. С. 15269-15272.

REFERENCES

1. Borisov P. A., Tomasov V. S. Calculation and modeling of rectifiers. Tutorial on the course " Elements of automation systems" (Part I). - SPb: SPb GU ITMO, 2009 p.6.
2. Secondary power sources. Part 1: study method. manual / N. p. Boyarskaya; Krasnoyar. state. Agrar. UN-T.-Krasnoyarsk, 2016 p. 14-15.
3. Technical data of the manufacturer of microcontrollers "milander" " Chip 32-bit single-chip micro-computer with Flash memory type 1986ve9hu, K1986ve9hu, K1986ve9huk K1986VE92QI, K1986VE92QC, 1986VE91N4, K1986VE91N4, 1986VE94N4, K1986VE94N4»
4. Yevdokimov A. P., Vladimirov L. L., MICROCONTROLLER PROGRAMMING K1986BE92QI COMPANY MILANDR Laboratory workshop on discipline "electronics and microprocessors" for students training direction 13.03.02 power and electrical engineering, profile: "energy Supply" and "relay protection and automation of electric power systems" (all forms of study) –Volograd, Volograd GAU 2018 p. 65.
5. Antoshkin S.B., Mukhopad Yu.F., Punsyk-Namzhilov D.C. Statistical method of analysis of analog-digital converting of information. Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2009. Vol. 22, No. 2, pp. 119–123.

6. Butorin D.V._ Filippenko N.G._ Filatova S.N._ Livshic A.V._ Kargapolcev S.K. Razrabotka metodiki opredeleniya strukturnih prevraschenii v polimernih materialah // Sovremennye tehnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie. 2015. № 4_48,. S. 80_86.

7. Shastin V.I., Filippenko N.G., Kargapolcev S.K., Gozbenko V.E., Livshits A.V. Results of the complex studies of microstructural, physical and mechanical properties of engineering materials using innovative methods // International Journal of Applied Engineering Research. 2017. T. 12. № 24. С. 15269-15272.

Информация об авторах

Круглов Сергей Петрович – д.т.н., профессор, профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: kruglov_s_p@mail.ru

Ковыршин Сергей Владимирович – к.т.н., доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: sergkow@mail.ru

Authors

Kruglov Sergey Petrovich – doctor of technical sciences, professor of department «Automation of production operations», Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: kruglov_s_p@mail.ru.

Kovyrshin Sergey Vladimirovich – candidate of technical sciences, associate professor of department «Automation of production operations», Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: sergkow@mail.ru.