

## ПРИБОРЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ В ЛАБОРАТОРИЯХ

УДК 621.384.6

### СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ МАГНИТНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ДЛЯ ФОКУСИРОВКИ И КОРРЕКЦИИ ПОЛОЖЕНИЯ ПУЧКА УСКОРИТЕЛЯ ЛИНАК-200

© 2021 г. М. И. Госткин, Д. Е. Донец, В. В. Кобец, Д. О. Леушин,  
М. А. Ноздрин, Д. О. Понкин, А. Н. Трифонов, И. В. Шириков

Поступила в редакцию 02.11.2020 г.

После доработки 16.11.2020 г.

Принята к публикации 18.11.2020 г.

DOI: 10.31857/S0032816221020270

Линейный ускоритель электронов ЛИНАК-200 в Объединенном институте ядерных исследований (г. Дубна) предназначен для проведения исследований в области физики и техники ускорителей, разработки и создания детекторов элементарных частиц, а также фундаментальных и прикладных исследований в области материаловедения и радиобиологии [1].

Для фокусировки и коррекции положения пучка, необходимых, главным образом, для уменьшения потерь частиц во время ускорения, применяются магнитные элементы. Фокусировка осуществляется с помощью соленоидальных и квадрупольных линз. Для настройки положения пучка относительно оси ускорителя применяются корректирующие магниты.

Питание магнитных элементов обеспечивается источниками KORAD KA3005P и KA6003P. Модификации (KA3005P/6003P) отличаются диапазоном значений токов и напряжений (0–30 В, 0–5 А и 0–60 В, 0–3 А соответственно) и выбираются исходя из мощности, потребляемой конкретным элементом магнитной системы ускорителя.

Выбор данных источников питания обусловлен возможностью достижения требуемой точности установки напряжения (10 мВ) и тока (1 мА) при их относительно невысокой стоимости. Управление осуществляется посредством команд, которые источник питания принимает в формате строки символов. Из интерфейсов удаленного управления имеются USB и RS-232.

Для управления ускорителем используется автоматизированная система на основе инструментария Tango Controls [2]. Однако интеграция источников питания магнитных элементов в эту систему затрудняется тем, что интерфейсы USB и RS-232 непригодны для передачи данных в пультовую ускорителя (расстояние порядка 50 м), а встроенное программное обеспечение источников не позволяет присваивать каждому источни-

ку уникальный адрес для его однозначной идентификации. Таким образом, стоит задача разработки технического решения, позволяющего удаленно и независимо управлять сетью источников питания KORAD KA3005P/6003P.

Для решения вышеописанной проблемы были разработаны интеллектуальные интерфейсные модули КПИ-11 (контроллеры-преобразователи интерфейсов). Основой модулей КПИ-11 является 16-разрядный микроконтроллер семейства PIC24HJ, в микропрограмме которого реализована система команд источника питания KORAD KA3005P/6003P. На контроллере происходит периодический процесс обмена данными с источником питания (включая управление его параметрами при получении соответствующих команд от сервера Tango). Протокол обмена данными с сервером Tango – Modbus RTU over TCP. Модули КПИ-11 содержат энергонезависимую память, что позволяет сохранять и восстанавливать настройки ведомых устройств и значения установленных параметров. Для удобства смены полярности тока в обмотках магнитных элементов предусмотрено управление блоком релейных переключателей. На рис. 1 изображена конфигурация из двух модулей КПИ-11, обеспечивающая управления двумя источниками питания соответственно.

Микропрограмма модулей КПИ-11 построена на основе операционной системы реального времени FreeRTOS [3]. Программно создано два потока с алгоритмами управления: поток взаимодействия с источником питания KORAD и поток, реализующий поддержку протокола Modbus RTU.

Модули сгруппированы исходя из количества источников питания на каждой ускорительной станции. Схема подсистемы управления магнитными элементами представлена на рис. 2.

Следует отметить, что модули КПИ-11 являются универсальными устройствами, на основе которых можно построить распределенную си-

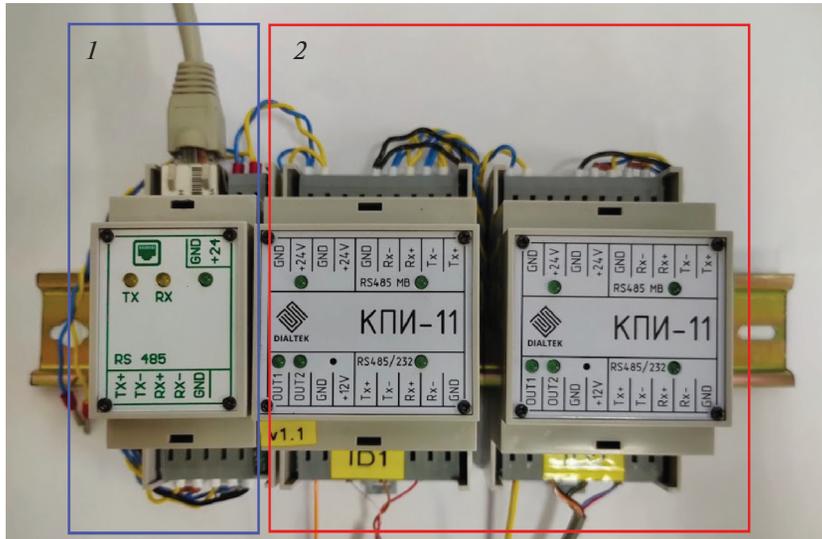


Рис. 1. Конфигурация модулей КПИ-11: 1 – преобразователь интерфейсов Ethernet/RS-485; 2 – модули КПИ-11.

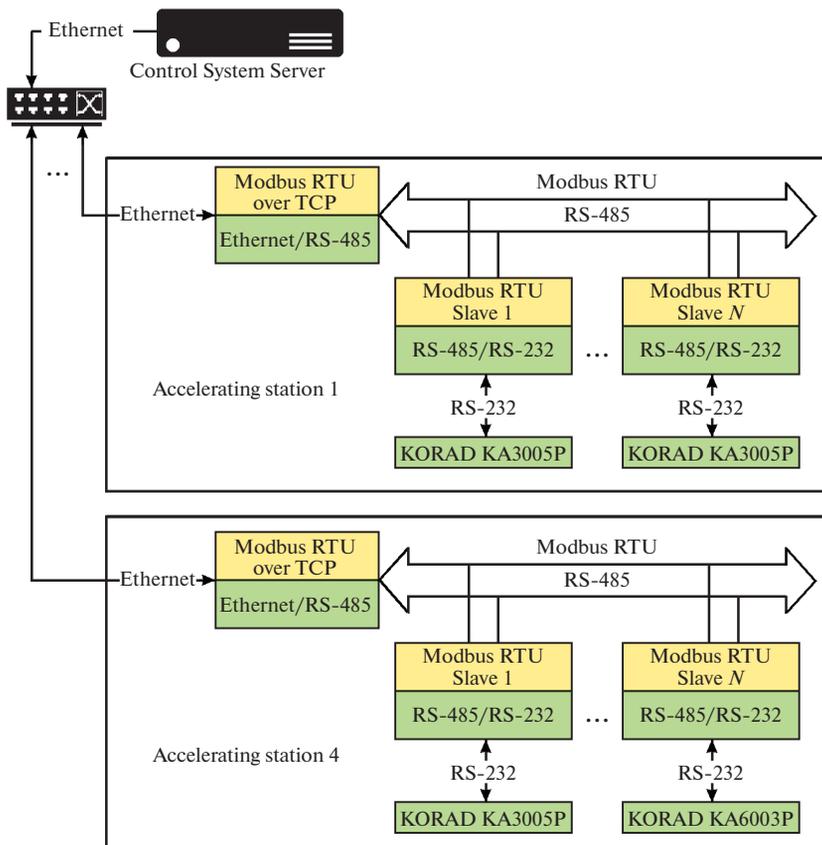


Рис. 2. Схема подсистемы управления магнитными элементами.

стему управления практически любым оборудованием с интерфейсом RS-232. Это достигается путем реализации системы команд ведомого бло-

ка внутри модуля КПИ-11 и передачи на верхний уровень всех необходимых параметров по протоколу Modbus.

Программное обеспечение (п.о.) Tango для управления магнитными элементами можно разделить на две части – серверную и клиентскую.

На серверном уровне осуществляется обмен данными с модулями КПИ-11. Серверная часть п.о. реализована на языке Python с использованием PyTango [4] и PyModbus [5].

Клиентский уровень, п.о. которого реализовано на языке C++ с использованием фреймворка Qt5 и библиотеки QTango [6], предоставляет графический интерфейс для управления магнитными элементами. Клиентская часть п.о. позволяет управлять основными параметрами источников питания, формировать конфигурационный файл с этими параметрами, а также осуществлять мониторинг стабильности обмена данными между модулями КПИ-11 и источниками питания.

Таким образом, на основе интеллектуальных интерфейсных модулей КПИ-11 и программного обеспечения Tango разработана система автоматизированного управления магнитными элементами для фокусировки и коррекции положения пучка линейного ускорителя электронов ЛИНАК-200.

Работа выполнена при поддержке Объединения молодых ученых и специалистов ОИЯИ (грант № 20-203-05).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ноздрин М.А.* Дис. ... канд. техн. наук. ОИЯИ. 2018. 115 с.
2. *Nozdrin M.A., Kobets V.V., Timonin R.V., Trifonov A.N., Shirkov G.D., Zhemchugov A.S., Novikov I.I.* // Phys. Part. Nucl. Lett. 2020. V. 17. P. 600. <https://doi.org/10.1134/S1547477120040342>
3. FreeRTOS. <https://freertos.org>
4. PyTango. <https://pytango.readthedocs.io>
5. PyModbus. <https://pymodbus.readthedocs.io>
6. *Strangolino G., Asnicar F., Forchì V., Scafuri C.* // Proceedings of the 12th International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems (ICALPCS2009), Oct. 12–16 2009. Kobe, Japan. 2009. P. 865.

*Адрес для справок: Россия, 141980, Дубна, ул. Жолио-Кюри, 6, Объединенный институт ядерных исследований. E-mail: trifonov@jinr.ru*