

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

УДК 539.1.07

ЭЛЕКТРОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕФЛЕКТОМЕТРА ПОЛЯРИЗОВАННЫХ НЕЙТРОНОВ ДЛЯ РЕАКТОРА ИР-8

© 2019 г. Т. И. Глушкова^{а,*}, В. А. Соловей^{а,**}, В. А. Ульянов^{а,***}, М. В. Дьячков^а,
М. Р. Колхидашвили^а, Т. В. Савельева^а, А. А. Сумбатян^а, В. Г. Сыромятников^а

^а Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра
“Курчатовский институт”

Россия, 188300, Гатчина Ленинградской обл., мкр. Орлова роща, 1

*e-mail: glushkova_ti@pnpi.nrcki.ru

**e-mail: solovei_va@pnpi.nrcki.ru

***e-mail: ulyanov_va@pnpi.nrcki.ru

Поступила в редакцию 30.06.2018 г.

После доработки 23.08.2018 г.

Принята к публикации 13.09.2018 г.

Представлено описание электронного обеспечения функциональных устройств рефлектометра поляризованных нейтронов (р.п.н.). Электронное обеспечение связывает оборудование рефлектометра с компьютером для управления системой р.п.н. и позволяет: управлять шаговыми двигателями и абсолютными датчиками для перемещения оборудования, устанавливать и изменять параметры устройств во время работы, получать экспериментальные данные в графическом и цифровом виде. В состав электронного обеспечения включены устройства, разработанные в НИЦ “Курчатовский институт”—ПИЯФ.

DOI: 10.1134/S0032816219020095

ВВЕДЕНИЕ

Рефлектометр поляризованных нейтронов (р.п.н.) на нейтроноводной системе источника холодных нейтронов реактора ИР-8 разработан в НИЦ “Курчатовский институт”—ПИЯФ с использованием опыта работы на рефлектометре NR-4M, ранее разработанном в НИЦ “КИ”—ПИЯФ [1].

Электронное обеспечение системы автоматизации связывает оборудование узлов р.п.н. с компьютером и позволяет:

- устанавливать рабочие параметры устройств и изменять их во время работы;
- управлять шаговыми двигателями и абсолютными датчиками для перемещения оборудования в нужном направлении;
- получать экспериментальные данные в виде графической и цифровой информации, сохранять их для последующей обработки;
- контролировать и управлять магнитным полем узла образца;
- управлять радиочастотными адиабатическими флипперами;
- управлять вакуумной системой;
- проводить анализ поляризации нейтронов;
- регистрировать нейтроны.

Многие узлы рефлектометра размещены на юстировочных устройствах, которые осуществляют линейные и поворотные перемещения. Движение устройств обеспечивают шаговые двигатели, а контроль положения — абсолютные датчики угла поворота Hengstler. Схема расположения узлов рефлектометра поляризованных нейтронов р.п.н. представлена на рис. 1.

Аппаратные средства, с помощью которых осуществляется управление движением и взаимодействием с оборудованием, включают в себя разработанные в НИЦ “КИ”—ПИЯФ устройства: контроллер 4 Ch-SSI SENSOR INTERFACE RA153.27 и драйвер 4 Ch-STEP MOTOR DRIVER RA153.20; устройство PCI-Carrier card RI437.03.01.01+RI437.03.06.01; драйвер флиппера RA131.06; блок реверса RA153.16; а также контроллеры-драйверы ТМСМ-3110 (Trinamic), плату цифрового ввода-вывода PIO-D48 (ICP DAS), многопортовые преобразователи (MOXA).

АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТЫ УЗЛОВ Р.П.Н.

Контроллер RA153.27 и драйвер RA153.20. Для узлов рефлектометра, которым необходимо управление положением с обратной связью, все виды дви-

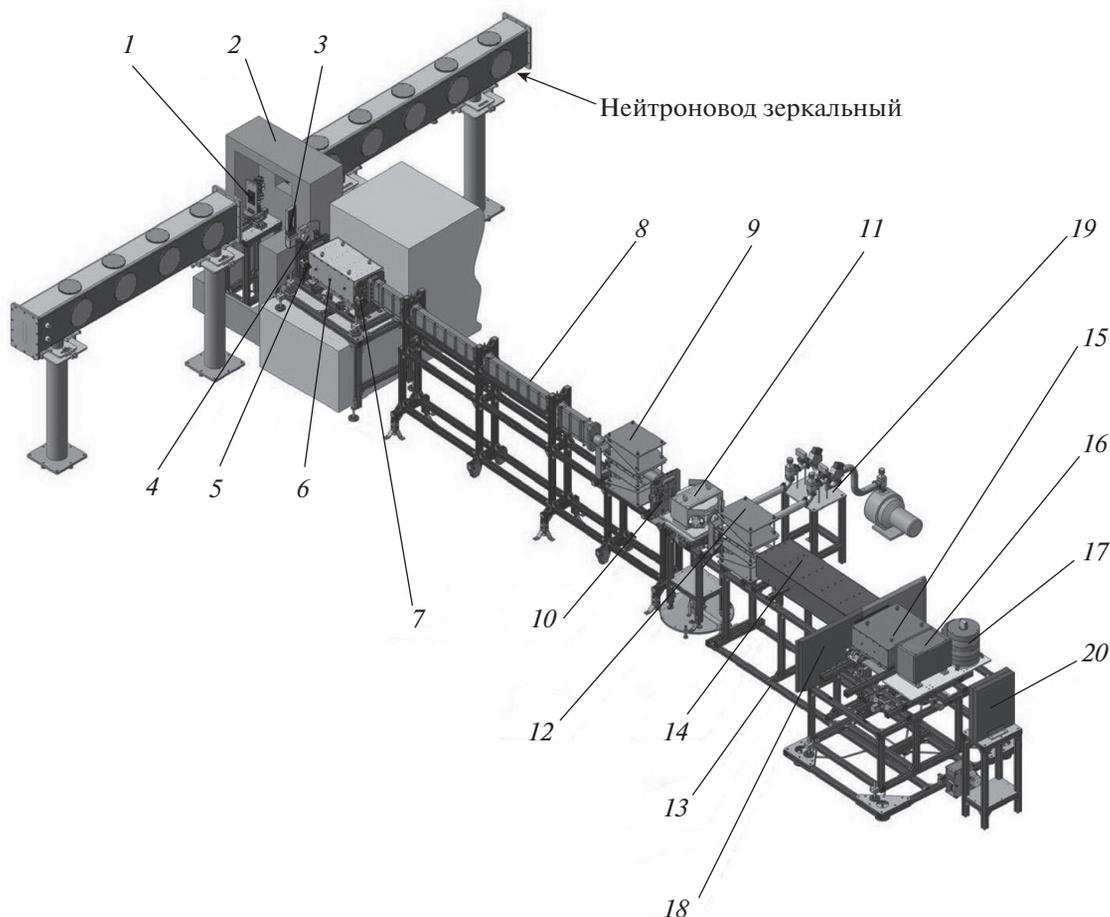


Рис. 1. Схема рефлектометра поляризованных нейтронов р.п.н. 1 – узел фокусирующего нейтронного кристалла-монокроматора; 2 – защита монокроматора и формирователя пучка; 3 – заслонка нейтронного пучка; 4 – монитор падающего нейтронного пучка; 5, 7, 10 – управляемые диафрагмы; 6 – узел формирователя нейтронного пучка; 8 – вакуумный тракт с ведущим магнитным полем и оптическим концентратором; 9, 12 – радиочастотный спин-флиппер; 11 – узел образца с электромагнитом; 13 – базисная платформа детекторного плеча; 14 – вакуумный тракт с ведущим магнитным полем; 15 – многоканальный веерный анализатор с магнитной системой; 16 – двухкоординатный п.ч.д.; 17 – одиночный ^3He -детектор; 18 – фоновая защита детекторного плеча; 19 – вакуумная система; 20 – ловушка нейтронного пучка.

жения осуществляются с помощью шаговых двигателей и абсолютных датчиков (энкодеров).

Для обеспечения взаимодействия узлов рефлектометра, шаговых двигателей и абсолютных энкодеров разработан 4-канальный SSI-интерфейс [2], в состав которого входят контроллер 4 Ch-SSI SENSOR INTERFACE RA153.27 и драйвер 4 Ch-STEP MOTOR DRIVER RA153.20. SSI-интерфейс используется для управления устройствами формирователя нейтронного пучка, узла образца с электромагнитом, веерного анализатора поляризации, базисной платформы детекторного плеча.

Подключение четырехканального SSI-интерфейса RA153.27 к компьютеру осуществляется через порт RS-485 с помощью многопортового преобразователя фирмы MOXA.

Устройство PCI-Carrier card RI437.03.01.01+ RI437.03.06.01 состоит из носителя RI437.03.01.01 на основе PCI-шины, осуществляющего связь с персональным компьютером, и мезонинной платы RI437.03.06.01.

На мезонинной плате реализованы следующие электронные компоненты:

- 1) DAC (Digital-to-analog converter) – четырехканальный цифроаналоговый преобразователь;
- 2) TDC (Time-to-digital converter) – времяцифровой преобразователь с программно выбираемым числом каналов (256, 512, 1024, 2048, 4096, 8192) и определением ширины канала (1, 2, 4, 10, 20, 40, 80 мкс);
- 3) TOF (Time-of-flight detector) – времяпролетный детектор нейтронов;

4) два счетчика с предустановкой, работающих в режимах монитора и счетчика времени (таймера) от программно выбранной внутренней частоты канала (1 МГц, 500, 250, 125, 100, 50, 25, 12.5 кГц);

5) два счетчика, управляемых счетчиками с предустановкой.

Устройство PCI-Carrier card RI437.03.01.01+RI437.03.06.01 используется для регистрации нейтронов в узле монитора падающего нейтронного пучка.

Блок реверса RA153.16 предназначен для реверса тока в обмотке электромагнита узла образца. Реверс осуществляется включением нагрузки в диагональ мостовой схемы, состоящей из четырех твердотельных оптореле [3]. Проверка работоспособности блока реверса осуществляется путем контроля тока, считываемого с блока питания, и магнитного поля, считываемого с трехкомпонентного измерителя индукции магнитного поля HB0105.2A [4].

Драйвер флиппера RA131.06 (генератор радиочастотного тока) предназначен для питания синусоидальным током индуктивной нагрузки катушки высокочастотного адиабатического флиппера, а также для включения/выключения флиппера и контроля его состояния. Управление драйвером может осуществляться в ручном режиме или программно, через разряды входного и выходного регистров платы PIO-D48.

ЭЛЕКТРОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЗЛОВ Р.П.Н.

Узел фокусирующего нейтронного кристалла-монохроматора состоит из головки устройства, фокусирующего в вертикальной плоскости нейтронный пучок, и юстировочных столиков, на которых установлена головка монохроматора. В головке монохроматора размещены 5 пластинок пиролитического графита (PG), с помощью которых осуществляется юстировка пучка в вертикальной плоскости. Движение пластинок обеспечивается шаговыми двигателями.

Юстировочные столики обеспечивают два линейных поперечных перемещения и одно угловое вокруг вертикальной оси. Для линейного перемещения монохроматора используются два устройства Standa Motorized Translation Stage 8MT50-XXBS, а для поворотного движения – платформа Standa Motorized Rotation Stage 8MR170-190.

Движением всех осей монохроматора управляют контроллеры-драйверы Trinamic TMC210 [5].

Заслонка нейтронного пучка выполнена из кадмия. При включенном электропитании она перемещается на ~25 мм, а при исчезновении тока возвращается в исходное положение с помощью пружины. Запуск движения осуществляет маг-

нитный пускатель ПМЛ 1100. Ток подается через регистры платы PIO-D48.

Монитор падающего нейтронного пучка изготовлен в ОИЯИ (г. Дубна) и представляет собой пропорциональный газовый детектор на основе ¹⁰B. В комплект монитора входит зарядочувствительный предусилитель с квазигауссовым фильтром. Предусилитель имеет 2 выхода: аналоговый положительный импульс и логический импульс –2 В.

С помощью устройства PCI-Carrier card RI437.03.01.01+RI437.03.06.01 регистрируется около 2% пролетающих нейтронов. Набор статистики осуществляется в двух режимах: по достижении определенного количества мониторинговых импульсов или по таймеру (задается программно).

Узел формирователя нейтронного пучка представляет собой оптический формирователь (поляризатор), помещенный в магнитную систему. Юстировочное устройство узла обеспечивает как линейное (поперек пучка), так и угловое перемещение. Движение осуществляется шаговыми двигателями, управляемыми контроллером 4 Ch-SSI SENSOR INTERFACE RA153.27 посредством драйвера 4 Ch-STEP MOTOR DRIVER RA153.20.

Положение юстировочного устройства формирователя пучка контролируется с помощью двух оптических абсолютных энкодеров через контроллер 4 Ch-SSI SENSOR INTERFACE RA153.27. Связь с компьютером осуществляется по интерфейсу RS-485 с помощью 8-портового преобразователя USB в RS-485 MOXA UPort 1650-8 [6].

Вакуумная система содержит два вакуумных тракта: до и после исследуемого образца. Для контроля вакуумных трактов отслеживается состояние двух регистров клапанов, питание на вакуумном насосе, уровень вакуума на каждом тракте. Контроль вакуума осуществляется при помощи двух конвекционных вакуумметров CVM-201 “Super Bee” [7] с интерфейсом RS-232/485 для связи с персональным компьютером.

Система управления вакуумной системой р.п.н. включает в себя: компьютер в промышленном исполнении, плату MOXA CP-114EL с двумя интерфейсами RS-485, плату цифрового ввода-вывода PIO-D48, два датчика вакуума CVM-201 Super Bee с интерфейсом RS-485, плату DB-24SSR с электронными реле, вакуумный насос Anest iwata-500, два электрически управляемых клапана VAT серии 26.

Включение/выключение насоса Anest iwata-500 и клапанов VAT осуществляется программно через PCI-плату цифрового ввода-вывода PIO-D48, которая подключена к реле, размещенным на плате DB-24SSR. Через реле подается питающее напряжение для включения-выключения вакуумного насоса и вакуумных клапанов.

Управляемые диафрагмы формируют геометрические размеры нейтронного пучка путем откры-

тия/закрытия вертикальных и горизонтальных поглощающих нейтроны шторок. Управление движением шторок осуществляется программным способом шаговыми двигателями с помощью контроллера движения Trinamic TMC2130.

Узел образца с электромагнитом предназначен для размещения различных устройств воздействия на образец. Во многих случаях воздействие ограничивается магнитным полем и температурой, при этом ориентация исследуемого образца относительно падающего нейтронного пучка не должна нарушаться. Узел образца с электромагнитом включает в себя: юстировочное устройство с установленным электромагнитом, трехкомпонентный измеритель индукции магнитного поля HB0105.2A и блок реверса RA153.16.

Управление движением и контроль положения юстировочного устройства с электромагнитом осуществляются контроллером 4 Ch-SSI SENSOR INTERFACE RA153.27 посредством драйвера 4 Ch-STEP MOTOR DRIVER RA153.20. Для управления током электромагнита используется источник питания Lambda GENH100-7.5. Управление блоком реверса осуществляется через плату цифрового ввода-вывода PIO-D48.

Одиночный ^3He -детектор и позиционно-чувствительный детектор. В проекте р.п.н. реализована возможность использования для регистрации нейтронов либо одиночного ^3He -детектора CNM-17, либо двухкоординатного позиционно-чувствительного детектора (п.ч.д.). Последний является самостоятельным изделием от коммерчески доступного поставщика.

^3He -детектор и п.ч.д. устанавливаются на юстировочное устройство, которое перемещается поперек пучка и позволяет устанавливать детекторы в нужную позицию.

Платформа детекторного плеча р.п.н. представляет собой подвижный каркас, на котором размещены: система ведущего постоянного магнитного поля с вакуумным трактом внутри, веерный анализатор поляризации нейтронов, одиночный ^3He -детектор и двухкоординатный п.ч.д., юстировочные устройства анализатора и детекторов. Платформа имеет одну ось углового перемещения вокруг вертикальной оси узла образца.

Поворот платформы осуществляется с помощью двигателя при работающих воздушных подушках и достижении заданного уровня давления воздуха. Воздух в подушки нагнетается компрессором Remeza CB 4/C-100.J2047 B с электромагнитным клапаном. Контроль требуемого уровня давления воздуха осуществляется с помощью манометров.

Обратная связь с управляющим компьютером и управление движением платформы осуществляются с помощью контроллера 4 Ch-SSI SENSOR IN-

TERFACE RA153.27 посредством драйвера 4 Ch-STEP MOTOR DRIVER RA153.20. Положение платформы детекторного плеча контролируется с помощью абсолютного энкодера серии ЛИР-ДА136А. Поворот платформы начинается только при достаточном уровне давления в воздушных подушках.

Адиабатический радиочастотный флиппер состоит из радиочастотной катушки, которая помещена в постоянное градиентное магнитное поле, создаваемое постоянными магнитами [8]. Таким образом, магнитное поле флиппера является суперпозицией двух магнитных полей:

- постоянного ведущего поля с градиентом по оси, создаваемого постоянными магнитами, которые расположены под некоторым углом к оси;
- переменного магнитного поля, генерируемого радиочастотной катушкой.

В конструкции р.п.н. предусмотрены два флиппера, размещенные до и после узла образца с электромагнитом. Включение и выключение флипперов и контроль их состояния, а также питание током катушки осуществляются драйвером PNPI RA131.06, управляемым программно через разряды входного и выходного регистров платы цифрового ввода-вывода PIO-D48. В качестве внешнего источника питания драйвера флиппера используется блок питания Актаком АТН-1165.

Многоканальный веерный анализатор с магнитной системой предназначен для проведения анализа поляризации рассеянного на образце пучка. Он представляет собой сборку установленных вертикально нейтронных поляризующих суперзеркал на тонкой стеклянной подложке с поглощающими масками на входе.

Анализатор помещен внутрь магнитной системы с однородным вертикальным магнитным полем порядка 650 Гс. Анализатор с магнитной системой установлен на юстировочном устройстве, обеспечивающем линейное перемещение поперек пучка и вращение вокруг вертикальной оси.

Контроллер 4 Ch-SSI SENSOR INTERFACE RA153.27 посредством драйвера 4 Ch-STEP MOTOR DRIVER RA153.20 реализует управление шаговыми двигателями, осуществляющими движение юстировочного устройства анализатора, и абсолютными энкодерами, контролирующими положение юстировочного устройства.

Платформа векторного анализа поляризации нейтронного пучка предназначена для изучения изменений вектора поляризации падающего нейтронного пучка, обусловленных взаимодействием с образцом. Исследуемый образец помещается в “нулевое” магнитное поле, формируемое трехслойным магнитным экраном. Согласно градиентные прямоугольные катушки служат для адиабатического ввода-вывода поляризации нейтронного пучка.

Входной вращатель поляризации позволяет направить на образец нейтронный пучок с необходимым направлением поляризации, а выходной вращатель обеспечивает измерение компонент вектора поляризации пучка на выходе устройства. Для питания вращателей поляризации используется разработанный в НИЦ “КИ” – ПИЯФ программируемый многоканальный источник реверсируемых токов RV422.28 с активной нагрузочной составляющей до 70 Ом и относительной погрешностью установки токов $\pm 1.25 \cdot 10^{-4}$ [9]. Управляющая программа позволяет установить периоды вращения вектора поляризации для всех обмоток вращателей и токи, необходимые для получения требуемого угла поворота поляризации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная система электронного обеспечения для управления рефлектометром поляризованных нейтронов позволяет связать его узлы с компьютером для программного управления оборудованием. Аппаратные средства, с помощью которых осуществляется управление движением и взаимодействием с оборудованием, включают в себя разработанные в НИЦ “КИ” – ПИЯФ устройства и фирменные изделия.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение № 14.607.21.0194 от 26.09.2017 г., RFMEFI60717X0194.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Syromyatnikov V.G., Pleshanov N.K., Pusenkov V.M., Schebetov A.F., Ulyanov V.A., Kasman Ya.A., Khakhalin S.I., Kolkhidashvili M.R., Slyusar V.N., Sumbatyan A.A.* Preprint PNPI № 2619. Gatchina, 2005.
2. *Касман Я.А., Колхидашвили М.Р., Марченков В.В., Пирогов А.М., Соловей В.А., Щиголов Н.Д.* Препринт ПИЯФ № 2790. Гатчина, 2009.
3. Плата PIO-D48. <http://www.icpdas.com/download/pci/pio-dio.htm>
4. Преобразователь индукции магнитного поля. <http://www.nvlaboratory.spb.ru/0105.html>
5. Контроллеры-драйверы Trinamic. <https://www.trinamic.com>
6. Многопортовые преобразователи МОХА. <https://www.moxa.ru>
7. Конвекционный вакууметр Super Bee CVM-201. https://www.intech-group.ru/upload/vacuummetr_cvm-201.pdf
8. *Григорьев С.В., Майгула Н.В., Слюсарь В.Н., Соловей В.А., Сумбатян А.А.* Препринт ПИЯФ № 2710. Гатчина, 2007.
9. *Марченков В.В., Муратов В.В., Соловей В.А.* Препринт ПИЯФ № 2847. Гатчина, 2010.