

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЕ МОДУЛИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЯДЕРНЫХ УСТАНОВОК

HARDWARE&SOFTWARE MODULES FOR CONTROL SYSTEMS OF RESEARCH NUCLEAR FACILITIES

*И. М. Пискорский, М. А. Овчинников, Г. Н. Пикулина, В. А. Юхневич, Р. В. Грачев,
А. А. Савиных, М. В. Сусяков*

*I. M. Piskorskij, M. A. Ovchinnikov, G. N. Pikulina, V. A. Yukhnevich, R. V. Grachev,
A. A. Savinykh, M. V. Suslyakov*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Russian Federal Nuclear Center –All-Russia Scientific Research Institute of Experimental Physics

В рамках работы по модернизации электронной аппаратуры для систем аварийной защиты исследовательских ядерных установок сотрудниками РФЯЦ-ВНИИЭФ спроектированы или находятся на стадии разработки многофункциональные аппаратно-программные модули: блок оптической развязки, модуль измерения времени срабатывания (от 1 мс до 4000 с), модуль измерения периода разгона (от 2 мкс до 9999 с), модуль измерения энерговыделения (от 30 кДж до 300 МДж), модуль измерения физической мощности (4 подуровня срабатывания аварийной сигнализации), блок токовой защиты аппаратный. Доклад посвящен описанию технических характеристик и возможностей модулей с обоснованием необходимости их разработки.

The specialists of RFNC-VNIIEF are developing the multifunctional hardware-software modules to update electronics for control systems of nuclear reactors and critical benches in VNIIEF: optical isolation unit, module of actuation time measurement (from 1 μ s up to 4000 s), module of acceleration period measurement (from 2 μ s up to 9999 s), module of energy release measurement (from 30 kJ up to 300 MJ), module of physical power measurement (4 sublevels of alarm system operation), unit of hardware current protection. The report describes the technical parameters and features of these modules and substantiates the necessity of their development.

В РФЯЦ-ВНИИЭФ эксплуатируется 8 исследовательских ядерных установок (ИЯУ): ядерных реакторов и критических стендов, которые интенсивно используются при проведении научно-исследовательских работ и испытаний на радиационную стойкость материалов, элементов, приборов и узлов [1]. Существующая аппаратура для систем управления и защиты (СУЗ) ИЯУ разрабатывалась в шестидесятых-восьмидесятых годах прошлого столетия. Назрела потребность в замене морально и физически устаревших систем с целью повышения безопасности работы ИЯУ, что можно достигнуть, в том числе, путем развития функциональных возможностей электронной аппаратуры, входящий в состав СУЗ [2].

При проектировании аппаратуры СУЗ ИЯУ наиболее важными параметрами являются надежность и быстродействие, определяющие безопасность и безотказную работу реактора. Эти пара-

метры зависят от технической реализации, структурного построения СУЗ и алгоритмов работы ее составных частей [2], среди которых особое место занимает система контроля физической мощности ИЯУ и скорости (периода) этих изменений по изменениям плотности потока нейтронов [3].

Начиная с 2010 года, сотрудниками РФЯЦ-ВНИИЭФ разрабатывается и совершенствуется специализированная аппаратура, предназначенная для измерения и контроля нейтронно-физических параметров ИЯУ и формирования аварийных и предупредительных сигналов в реальном времени. Она активно используется при модернизации СУЗ реакторов и критических стендов ИЯРФ. Конкретным примером такой разработки служит унифицированный аппаратно-программный комплекс каналов контроля мощности (АПК ККМ), предназначенный для измерения физической мощности и скорости (периода) ее изменения [4]. АПК ККМ

внедрен в эксплуатацию на реакторе ГИР2-КР и обеспечивает диапазон измерения мощности ИЯУ – (10^{-5} – 10^6) Вт, диапазон измерения периода изменения мощности – (1–200) с. Каналы АПК строятся по блочно-модульному принципу, где основной структурной единицей является контрольно-управляющий блок (КУБ). КУБ представляет собой крейт, в котором в качестве контроллера с микропроцессорным управлением используется блок обработки данных (БОД). В состав АПК входят также измерительный модуль токовой камеры (ИМТК), измерительный модуль токовой камеры логарифмический (ИМТК-Л), измерительный модуль счетчика нейтронов (ИМСН) и высоковольтный преобразователь напряжения (ВПН и ВПН-500), используемый для обеспечения высоковольтным питанием блоков детектирования.

В рамках развития выбранной идеологии на основе применения принципов аппаратно-программного и структурного разнообразия как одного из основных инструментов защиты от отказов [6] было решено расширить номенклатуру измерительных и функциональных модулей для использования в составе СУЗ ИЯУ. В результате были спроектированы или находятся на стадии разработки блок оптической развязки БОР, модуль измерения времени срабатывания МИВС, модуль измерения периода разгона МИП, модуль измерения энерговыделения МИЭ, модуль измерения физической мощности МИФМ, блок токовой защиты аппаратный БТЗА. В них используются современные быстродействующие микросхемы, позволяющие принимать и обрабатывать большой объем данных в реальном масштабе времени, а также расширить функциональный спектр каждого модуля. Модули могут работать автономно или в составе крейтов КУБ под управлением БОД, генерируя сигналы на срабатывание средств аварийной защиты при выходе значений измеряемых параметров за пределы заданного диапазона

Модуль измерения периода МИП, блок-схема которого показана на рис. 1, предназначен для аппаратного измерения установившегося периода реактора в интервале изменения физической мощности ИЯУ от 1,5 до 1000Вт (от $5 \cdot 10^{10}$ до $3,3 \cdot 10^{13}$ дел. АЗ/с).

Модуль принимает сигнал тока с детектора и преобразует его в пропорциональное значение напряжения. С помощью блока компараторов выделяется интервал времени, в течении которого поток нейтронов (мощность) разгоняющегося реактора увеличивается в e -раз. Измерение периода проводится дважды за время разгона реактора. Результаты измерений представляются в цифровой форме на индикаторах.

Определение периода происходит на 3-х поддиапазонах: от 10 мкс до 10 мс, от 1 до 999 мс и от 0,1 до 999 с. Погрешность определения на первом поддиапазоне – 2 мкс, на втором – 0,1 мс и третьем – 0,1 с. Рабочий поддиапазон выбирается вручную и программно.

Определение установившегося периода производится в рамках поддиапазона измерения сигнала детектора 2 раза. Значение каждого измерения отображается на лицевой панели модуля. По завершению второго измерения модуль формирует сигнал на сброс ИБ. Измеренные данные передаются в систему отображения и на центральный ПК по линии связи RS-485.

Блок оптоэлектронной развязки БОР, структурная схема которого приведена на рис. 2, предназначен для обеспечения гальванической изоляции между входными цепями и внешними устройствами в системе СУЗ. Применение оптоизоляционной связи обеспечивает высокую надежность и безопасность передачи цифровых сигналов по каналам связи, а также повышает стойкость к помехам.

Модуль обеспечивает согласование параметров сигналов из СУЗ с входными цепями модуля

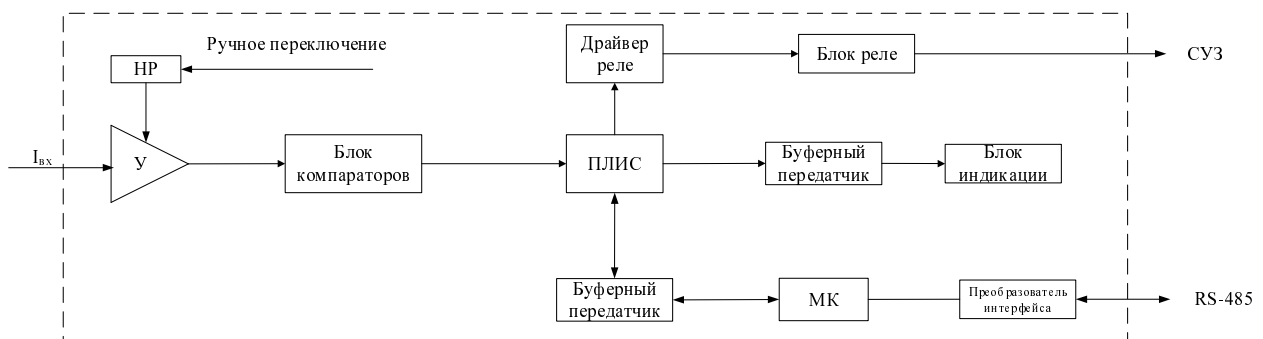


Рис. 1. Блок-схема МИП

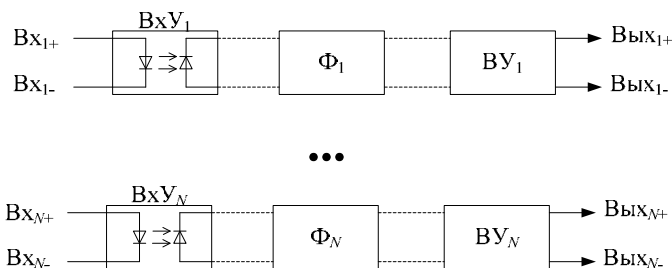


Рис. 2. Блок-схема БОР

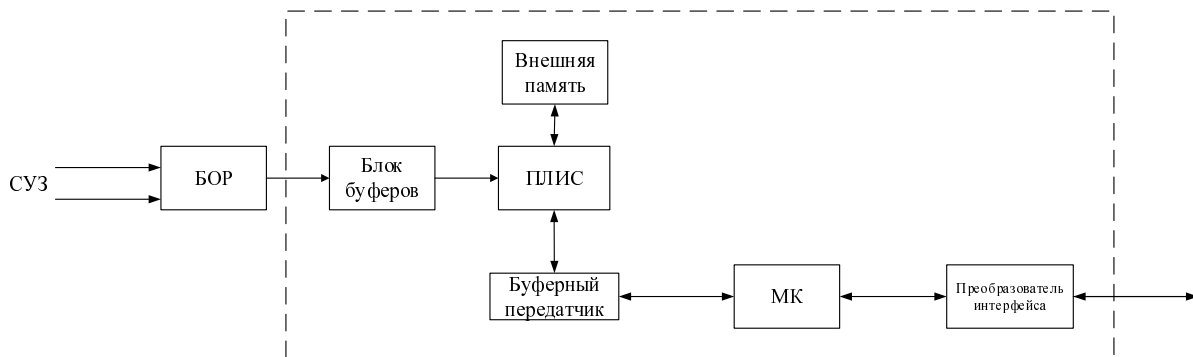


Рис. 3. Блок-схема МИВС

измерения времен срабатывания МИВС. БОР препятствует прохождению ложных сигналов («дребезга») от механических контактов. Быстродействие блока исключает временные задержки при передаче сигналов из СУЗ на модуль МИВС.

Основным элементом входного узла БОР является диодный оптрон, обеспечивающий гальваническую изоляцию входных и выходных цепей. Формирующий узел осуществляет согласование с выходом оптрона и усиливает выделенный сигнал. Выходной узел позволяет согласовать ячейку с подключёнными к ней устройствами.

Модуль измерения времен срабатывания МИВС (рис. 3) предназначен для регистрации времен срабатывания устройств и замыкания контактов из состава СУЗ.

Модуль имеет 20 каналов регистрации сигналов, поступающих из СУЗ. Регистрация сигналов производится по двум шкалам: шкале абсолютного времени работ СУЗ, запускаемой после включения аппаратуры СУЗ, и шкале относительного времени, с момента поступления сигнала запуска. Сигнал запуска задается оператором. Модуль регистрирует временные интервалы длительностью от 1 мс до 4000 с с дискретностью 0,1 мс. Все регистрируемые события записываются в энергонезависимую память и хранятся до поступления сигнала «СБРОС» либо до повторного поступления сигнала запуска.

Измерения времен срабатывания выполняются по «старт–стоп» методу. Сигналы поступают на вход устройства с БОР. Стартовый сигнал запускает 32-разрядные таймеры. Последующие сигналы останавливают соответствующие таймеры. Данные записываются в память и передаются в систему отображения и на центральный ПК по интерфейсу RS-485.

Модуль измерения физической мощности МИФМ, блок-схема которого приведена на рис. 4, контролирует изменения значений физической мощности ИЯУ и скорости этих изменений по изменению плотности потока нейтронов. Модуль формирует сигналы аварийной защиты при выходе за пределы установленных порогов физической мощности и скорости ее изменения.

Модуль имеет четыре поддиапазона измерения физической мощности. На трёх из них модуль формирует сигнал предупредительной и аварийной сигнализации. На последнем поддиапазоне формируется только сигнал аварийной защиты по превышению максимальной мощности.

Вся измеренная информация, а также информация о текущем поддиапазоне измерения передается на центральный ПК по интерфейсу RS-485.

Блок токовой защиты аппаратный БТЗА (рис. 5) обеспечивает формирование сигнала аварийной защиты в СУЗ при превышении физической мощности ИЯУ предельного порогового значения. Сигнал формируется на аппаратном уровне.

чаемым коэффициентом усиления. Сигнал с усилителя поступает на преобразователь напряжения-частота ПНЧ, где входное напряжение преобразуется в частоту выходных импульсов, поступающих на вход ПЛИС. В микросхеме ПЛИС происходит суммирование числа импульсов. Полученное значение хранится во внешней энергонезависимой памяти. Микроконтроллер МК предназначен для передачи измеренных данных на средства отображения и центральный ПК через интерфейс RS-485, а также приема и расшифровки команд с верхнего уровня.

При наборе числа импульсов, эквивалентного заданному предельному значению суммарного энерговыделения, вырабатываются аварийный сигнал.

Модуль измеряет энерговыделение на аппаратном уровне и предназначен для аварийной защиты ИЯУ при работе в режиме генерирования импульсов на запаздывающих нейтронах в статическом режиме. Модуль измеряет суммарное энерговыделение ИЯУ в диапазоне изменения физической мощности от 10 до 10^7 Вт. Модуль измеряет энерговыделение в диапазоне от 30 кДж до 300 МДж.

Таким образом, в рамках проведенных работ были разработаны новые многофункциональные аппаратно-программные модули, на основе которых планируется производить модернизацию аппаратной части СУЗ ИЯУ, эксплуатируемых в ИЯРФ.

Условно проектируемые модули по степени влияния на безопасность работы ИЯУ можно разделить на две группы: основную и вспомогательную. Основные – это модули, которые вырабатывают сигналы на срабатывания средств защиты ИЯУ преимущественно на аппаратном уровне. Вспомогательные модули измеряют физические параметры изучения ИЯУ и могут выдавать управляющие сигналы в СУЗ на основе производимой обработки результатов первичных измерений.

Использование новых модулей позволяет повысить безопасность работы ИЯУ за счет реализации принципа разнообразия измерительных средств и расширить диапазоны измерения физических параметров излучения ИЯУ.

На текущий момент собраны первые версии аппаратной части модулей, на которых разрабатывается и отлаживается управляющее программное

обеспечение (ПО). В процессе отладки выявляются недостатки и в применяемых схмотехнических решениях и вносятся изменения в конструкторскую документацию.

На следующем этапе планируются проведение стендовых испытаний модулей на конкретных ИЯУ и использование их в составе каналов контроля физических параметров излучения ИЯУ в рамках работ по модернизации СУЗ.

Список литературы

1. Колесов В. Ф., Кувшинов М. И., Воронцов С. В. и др. Критические стенды и импульсные реакторы РФЯЦ ВНИИЭФ. 65 лет ВНИИЭФ. Физика и техника высоких плотностей энергий. Научное издание в 2-х выпусках. Вып. 1 – Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2011. С. 335.

2. Заикин А. А., Портнягин А. Ю. Современный интегрированный комплекс аппаратуры системы управления и защиты исследовательских реакторов // Ядерные измерительно-информационные технологии, 2004. № 3. С. 11–24.

3. ГОСТ 27445-87 Системы контроля нейтронного потока для управления и защиты ядерных реакторов. Общие технические требования.

4. Воинов М. А., Гунин С. В., Дроздов Ю. М. и др. Аппаратно-программный комплекс каналов контроля мощности исследовательских ядерных установок // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика ядерных реакторов, 2017. Вып. 4, С. 123–128.

5. ГОСТ Р МЭК 61513-2011. Системы контроля и управления, важные для безопасности. Общие требования. Москва, 2011.

6. Острейковский В. А., Швыряев Ю. В. Безопасность атомных станций. Вероятностный анализ. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. С. 352.

7. Заикин А. А., Каленский М. С. Общий анализ состояния и перспективы модернизации аппаратуры СУЗ отечественных исследовательских реакторов // Ядерные измерительно-информационные технологии, № 4, 2002.

8. Юркевич Г. П. Система управления ядерными реакторами: Принципы работы и создания/ Под редакцией академика РАН Хлопонина Н. С. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: ЭЛЕКС–КМ, 2009. С. 448.