

## ЦИКЛОЗАДАЮЩАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ УСКОРИТЕЛЯ БУСТЕР КОМПЛЕКСА NICA

*Б. В. Василюшин, В. И. Волков, Е. В. Горбачев, А. Е. Кириченко,  
Д. В. Монахов<sup>1</sup>, С. В. Романов*

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Разработана циклозадающая аппаратура для ускорителя бустер комплекса NICA в виде крейта VME3U с набором модулей цифрового и оптического ввода/вывода, которые управляются с помощью модуля NI FPGA.

Cyclic equipment was developed for the booster accelerator of the NICA complex in the form of a VME3U crate with a set of digital and optical input/output modules, which are controlled using the FPGA module.

PACS: 29.20.-c

### ВВЕДЕНИЕ

Для управления циклом ускорения заряженных частиц в ускорителе бустер был разработан VME-крейт с набором модулей цифрового (LVTTTL) и оптического ввода/вывода (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид циклозадающего крейта вместе с модулями ввода/вывода

Циклозадающие сигналы генерируются внутри FPGA модуля PXIe-7821 (рис. 2) с цифровым перенастраиваемым вводом/выводом (ПЛИС фирмы Xilinx – Kintex 7 160T FPGA, 128 цифровых входов/выходов, ОЗУ 512 Мбайт). С помощью LabVIEW FPGA [2] можно индивидуальным образом настраивать цифровые линии связи для

---

<sup>1</sup>E-mail: monahov@sunse.jinr.ru

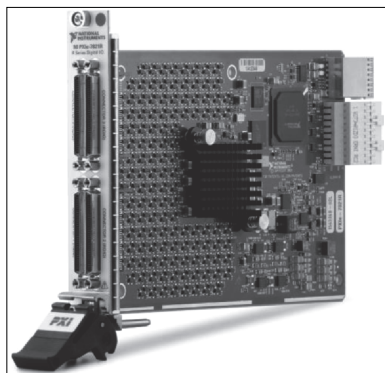


Рис. 2. FPGA-модуль PXIe-7821

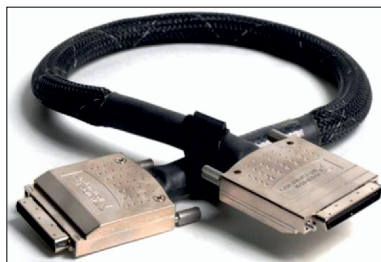


Рис. 3. Кабель SHC68-C68-D4

работы в качестве вводов, выводов, счетчиков/таймеров для специализированных протоколов связи, реализуя, таким образом, логику управления ускорительным циклом (управление магнитным полем). ВЧ-станции отслеживают изменение магнитного поля во времени  $B(t)$  и подстраивают соответствующим образом частоту ускоряющего поля для обеспечения захвата в режим ускорения максимального количества заряженных частиц.

Для раздачи/приема сигналов через кросс-плату крейта используются два модуля ввода/вывода управляющих сигналов — PXI\_VME1 (32 цифровых входа для FPGA-модуля) и PXI\_VME2 (32 цифровых выхода от FPGA-модуля), которые подключены к FPGA-модулю при помощи 68-сигнальных кабелей SHC68-C68-D4 (рис. 3).

### МОДУЛИ ВВОДА/ВЫВОДА

Оптические модули разработаны на базе волоконно-оптического передатчика HFBR-1414TZ (скорость передачи — 160 Мбит, длина волны — 820 нм) и оптического приемника AFBR-2418TZ (полоса пропускания от 0 до 50 МГц).

Модули с цифровыми выходами (модуль LEMO) разработаны на базе буфера SN74ABT125D с 8 выходами и с фиксированной задержкой распространения сигнала 4,6 нс (рис. 4). Каждый выходной сигнал может быть подключен при помощи гибкой перемычки к любому свободному контакту, соответствующему одной из 32 входных сигнальных линий кросс-платы.

Модуль с 8 цифровыми входами (LVTTTL) — VMEINP разработан на базе одноканального инвертора SN74LVC1G14 с триггером Шмитта. Каждый входной сигнал может быть подключен при помощи гибкой перемычки к любому свободному контакту, соответствующему одной из 32 входных сигнальных линий кросс-платы.

На лицевой панели каждого модуля для каждого сигнала ввода/вывода смонтирован светодиод, загорающийся после положительного фронта сигнала в течение периода 300 мс. Длительность вспышки задается постоянной релаксации одновибратора, реализованного на базе таймера NE555. Вспышка необходима для визуальной диагностики наличия циклозадающих импульсов, которые могут быть очень короткими. Схема одновибратора присутствует в каждом модуле ввода/вывода для каждого

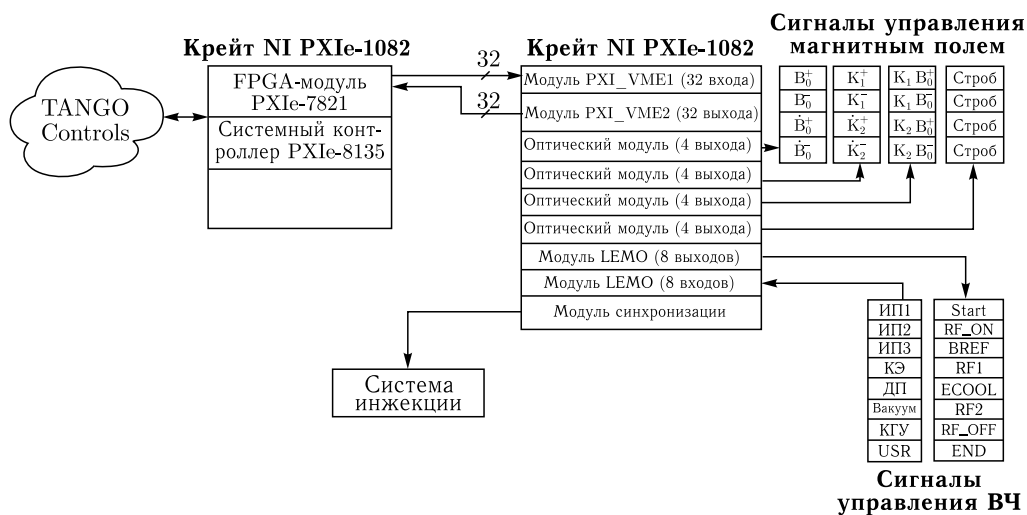


Рис. 4. Функциональная схема циклозадающего крейта

сигнала. Для регистрации коротких импульсов (5–100 нс) используется схема диодного детектора, которая «удлиняет» короткие импульсы до нескольких десятков микросекунд, и NE555 успевает работать.

Для синхронизации крейта с другими системами комплекса NICA используется оптический модуль, разработанный И. В. Широковым на базе контроллера сериализации DS90UR241 и контроллера десериализации DS90UR124.

## УПРАВЛЕНИЕ ЦИКЛОЗАДАЮЩИМ КРЕЙТОМ

Система питания ускорителя бустер комплекса NICA состоит из трех источников тока, разработанных в НПП ЛМ «Инвертор» [1]. Основные обмотки дипольных магнитов и квадрупольных линз последовательно запитываются от главного источника тока ( $I_{\max} = 10$  кА). Второй источник последовательно запитывает дополнительные обмотки всех квадрупольных линз. Третий источник последовательно запитывает дополнительные обмотки только квадрупольных линз Д. Каждый источник управляется двумя последовательностями импульсов: серии «+» и серии «-», вызывающих увеличение или уменьшение соответствующего тока на величину 0,01 А. Два корректирующих тока позволяют независимо менять частоты горизонтальных и вертикальных колебаний.

Для формирования и раздачи соответствующих серий импульсов разработана циклозадающая программа [3], управляющая генерацией серий «+» и серий «-», которые раздаются набором модулей оптического ввода/вывода.

Закон изменения магнитного поля во времени задается из программы управления (рис. 5) оператором бустера через интерфейс TANGO Controls [4], после чего серии «+» и серии «-» генерируются внутри FPGA-модуля, который реализует логику управления магнитным полем ускорительного цикла.

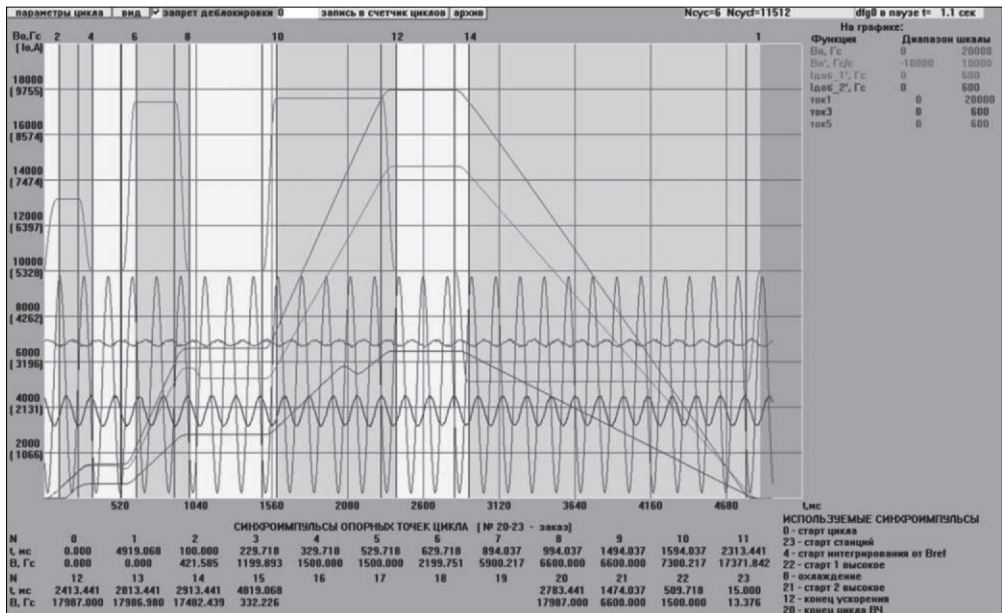


Рис. 5. Интерфейс оператора бустера

Системный контроллер PXIe-8135 (см. рис. 4), установленный в крейт NI PXIe-1082, является ядром циклозадающей системы, и именно он получает конфигурационные команды от программы управления циклом через интерфейс TANGO Controls, чтобы сконфигурировать последовательность импульсов, выдаваемых FPGA-модулем PXIe-7821 в циклозадающий крейт.

Оптические модули, которые управляются FPGA-модулем PXIe-7821, используются для управления источниками тока, разработанными в НПП ЛМ «Инвертор», задающими магнитное поле в ускорителе, а также служащими для раздачи синхронимпульсов всем системам ускорительного комплекса.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная циклозадающая аппаратура успешно протестирована, и ее функционала достаточно для реализации гибкой настройки ускорительного цикла ускорителя бустер комплекса NICA.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://lm-inverter.ru/ru/about/>
2. NI LabVIEW FPGA Module. <http://www.ni.com/labview/fpga>.
3. [http://www1.jinr.ru/Preprints/2019/035\(P9-2019-35\).pdf](http://www1.jinr.ru/Preprints/2019/035(P9-2019-35).pdf)
4. TANGO Control. <http://www.tango-controls.org>.