

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ИНФЛЕКТОРА СИСТЕМЫ ИНЖЕКЦИИ БУСТЕРА УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА NICA

*А. А. Фатеев, В. В. Тарасов¹, Н. И. Лебедев, В. И. Волков,
Е. В. Горбачев, Х. П. Назлев*

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

В рамках реализации проекта по созданию ускорительного комплекса NICA ведутся работы по разработке отдельных систем и устройств будущего ускорителя. В бустере нуклотрона предполагается использование многовариантной схемы инжекции с пятью импульсными источниками питания инфлекторных пластин. В пусковом варианте будет использован только один, с наибольшим значением максимального напряжения 62 кВ. В работе представлен импульсный источник питания инфлекторных пластин системы инжекции бустера нуклотрона. Описана аппаратура и система управления высоковольтным источником, приведены результаты испытаний при работе на эквивалентную нагрузку.

The NICA accelerator complex is currently under construction in Dubna. The Booster injection system will use multivariant scheme with five inflector plates pulsed power supplies. However, the startup configuration will use only one power supply with maximum voltage up to 62 kV. The pulsed power supply for inflector plates is described in the paper. The developed electronics, software are presented as well as the results of the power supply tests on the equivalent load.

PACS: 29.20.-c

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ

Основные параметры системы инжекции бустера ускорительного комплекса NICA [1, 2] представлены в таблице.

Инфлекторные пластины запитаны высоким импульсным напряжением. Эквивалентная электрическая схема высоковольтного источника представлена на рис. 1. Управляемый источник напряжения DCS300 через балластный резистор R1 заряжает конденсатор C1 до напряжения порядка 300 В, затем открывается тиристор X1, коммутирующий разрядный ток конденсатора на первичную обмотку высоковольтного трансформатора. Для импульсной резонансной зарядки инфлекторных пластин в схеме использован индустриальный повышающий трансформатор GE-36. Управляемый разряд пластин осуществляется высоковольтным тиратроном типа ТПИ1-10к/60. Для предотвращения ложных срабатываний тиристора в схему заряда конденсатора введен программно-управляемый ключ Z1, реализованный на IGBT-транзисторе.

¹E-mail: tarasov@sunse.jinr.ru

Параметры системы инжекции в бустер

Параметр	Значение
Максимальное напряжение на пластинах, кВ	62
Время заряда пластин не более, мс	50
Длительность импульсного плато не менее, мкс	30
Неравномерность напряжения на плато, %	≤ 1
Время разряда, мкс	≤ 0,1
Остаточное напряжение на пластинах, кВ	≤ 0,5
Количество импульсов подряд	1–3
Частота следования импульсов, Гц	10

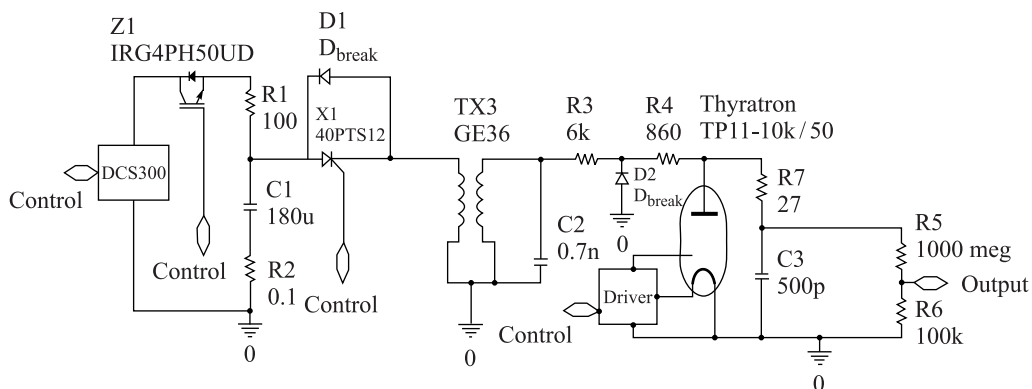


Рис. 1. Схема источника питания инфлекторных пластин. C3 — эквивалентная емкость пластин и подводящего кабеля

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ

Система управления источника питания инфлекторных пластин разработана на основе шасси CompactRIO фирмы National Instruments [3], которое предназначено для разработки компактных встраиваемых промышленных систем с высокой надежностью и производительностью.

Оборудование системы управления включает в себя шасси NI cRIO-9068 и набор модулей аналогового и цифрового ввода/вывода NI 9269, NI 9239, NI 9402, NI 9401 и модуля шинного интерфейса CANbus NI 9862 (рис. 2).

Шасси cRIO-9068 оборудовано встроенным контроллером, включающим в себя программируемую логическую интегральную схему (ПЛИС) Xilinx Artix-7, двухъядерный процессор ARM Cortex-A9 и 512 МБ оперативной памяти DDR3. Наличие встроенной ПЛИС позволяет решать задачи, связанные с синхронизацией и генерацией цифровых сигналов с высоким временным разрешением, а процессор обеспечивает исполнение программ системы управления на базе операционной системы Linux и связь с внешним миром.

Программное обеспечение системы управления, состоящее из микропрограммы ПЛИС и программ управления, позволяет решать такие задачи, как:

- привязка к внешнему импульсу начала инжекции либо генерация импульсов внутреннего запуска с заданной частотой повторения для работы на стенде;

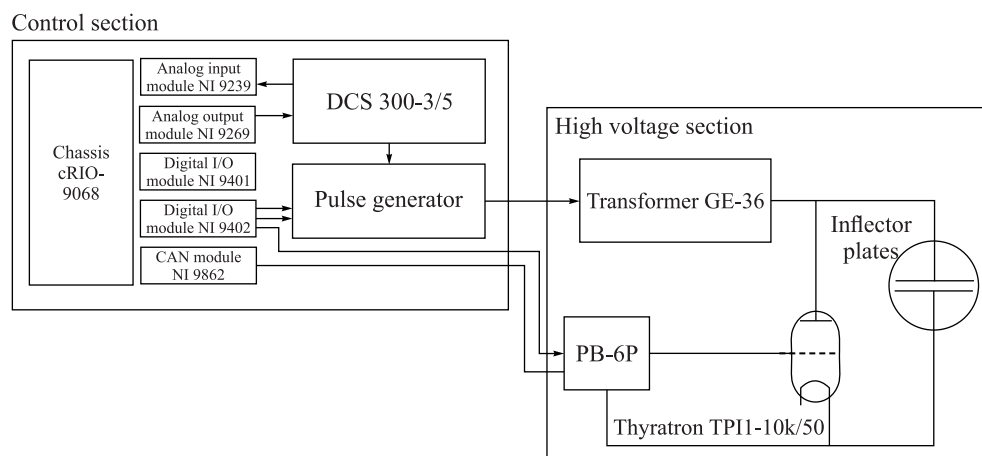


Рис. 2. Функциональная схема системы управления источником питания

— генерация сигналов запуска тиратрона, тиристорного импульсного генератора и сигналов включения и выключения источника высоковольтного питания с необходимыми длительностями и задержками относительно друг друга (шаг и точность (джиттер) привязки сигналов не хуже 8 нс);

— управление уровнем выходного напряжения высоковольтного источника DCS300-3,5 с точностью не хуже 0,1 %;

— управление источниками питания накала тиратрона, входящими в блок управления тиратрона ПБ-6П, через гальванически развязанный цифровой интерфейс CANbus с точностью не хуже 0,1 %;

— измерение выходных напряжений высоковольтного источника и источников накала тиратрона с точностью не хуже 0,1 %;

— измерение высокого напряжения на инфлекторных пластинах (или эквивалентной нагрузке) при помощи высоковольтного делителя с точностью не хуже 0,1 %.

Шасси CompactRIO связано с внешним миром через встроенный порт Ethernet. Все программные компоненты разработаны с использованием программного интерфейса TANGO Controls [4], что обеспечивает их интеграцию в общую систему управления комплекса NICA. Разработаны графические клиентские приложения в формате TANGO Controls, выполняемые на удаленном компьютере и предоставляющие оператору возможности управления и контроля параметров системы инжекции в бустер.

ИСПЫТАНИЯ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ИНФЛЕКТОРНЫХ ПЛАСТИН

Испытания источника питания инфлекторных пластин проведены на эквивалентной нагрузке 450 пФ. Результаты испытаний представлены на рис. 3. Достигнуты следующие параметры:

- напряжение на нагрузке — более 60 кВ;
- остаточное напряжение — менее 300 В;
- время разряда — менее 100 нс.

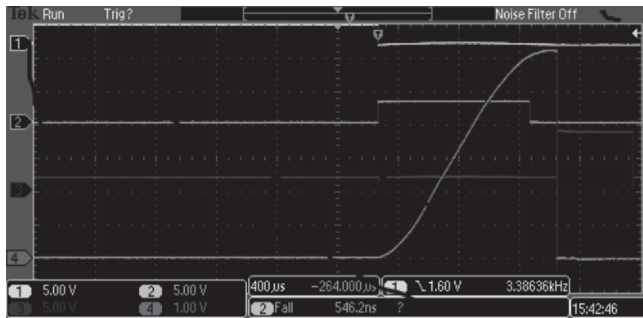


Рис. 3. Результаты высоковольтных испытаний: 1 — выключение источника питания; 2 — запуск тиристора; 3 — запуск тиратрона; 4 — напряжение на нагрузке, 10 кВ/деление

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты испытаний показали, что полученные параметры системы соответствуют техническому заданию. Система готова к установке на кольце бустера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Trubnikov G. et al.* NICA Project at JINR // Proc. of IPAC'13, Shanghai, China, 2013. P. 1343–1345.
2. Технический проект ускорительного комплекса NICA. Дубна, 2015.
3. <http://www.ni.com/ru-ru/shop/select/compactrio-chassis>
4. <http://www.tango-controls.org>