

**СИСТЕМА МОНИТОРИРОВАНИЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ТОКОВ  
ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ СТРУКТУРНЫХ ДИПОЛЬНЫХ  
И КВАДРУПОЛЬНЫХ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ МАГНИТОВ  
СИНХРОТРОНА НУКЛОТРОН**

**И. Л. Ковалев<sup>2</sup>, А. А. Козляковская<sup>2</sup>**

Научные руководители: В. Н. Карпинский<sup>1</sup>, Н. И. Вяхирев<sup>1</sup>, Ю. В. Крышнев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*ММО «Объединенный институт ядерных исследований», Россия*

<sup>2</sup>*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

Нуклотрон – быстроциклирующий сверхпроводящий жесткофокусирующий ускоритель релятивистских тяжелых ядер; базовая установка Объединенного институ-

та ядерных исследований (ОИЯИ), предназначенная для получения многозарядных ионов с энергией до 6 ГэВ на нуклон, пучков протонов, а также поляризованных дейтронов. Создание ускорителя было мотивировано исследованием проблем релятивистской ядерной физики и квантовой хромодинамики, цветовых степеней свободы в атомных ядрах.

Нуклотрон создан на основе уникальной технологии сверхпроводящих магнитов типа «Дубна» (рис. 1), предложенной и развитой в Лаборатории высоких энергий. Оригинальная конструкция структурных магнитов синхротрона позволила формировать геометрию поля магнитным сердечником, а возбуждать поле сверхпроводящей обмоткой. Конструкторские разработки, испытания и монтаж элементов Нуклотрона целиком выполнены силами коллектива Лаборатории. Производство структурных элементов осуществлено в Центральных экспериментальных мастерских ОИЯИ.

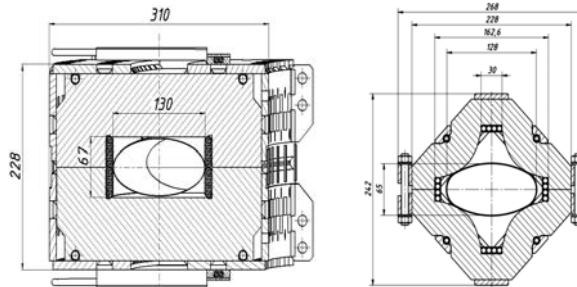


Рис. 1. Поперечное сечение дипольного и квадрупольного магнита

Дипольный магнит благодаря своим свойствам и конструкции является поворотным элементом в системе ускорителя. Он создает однородное ведущее магнитное поле, задает траекторию пучку заряженных частиц. Квадрупольная линза в зависимости от способа включения формирует пучок с помощью поля квадрупольной конфигурации, благодаря чему различают фокусирующие и дефокусирующие квадрупольные линзы. Таким образом, упрощенная схема Нуклотрона (рис. 2) состоит из дипольных магнитов (М), фокусирующих линз (Ф) и дефокусирующих линз (Д).

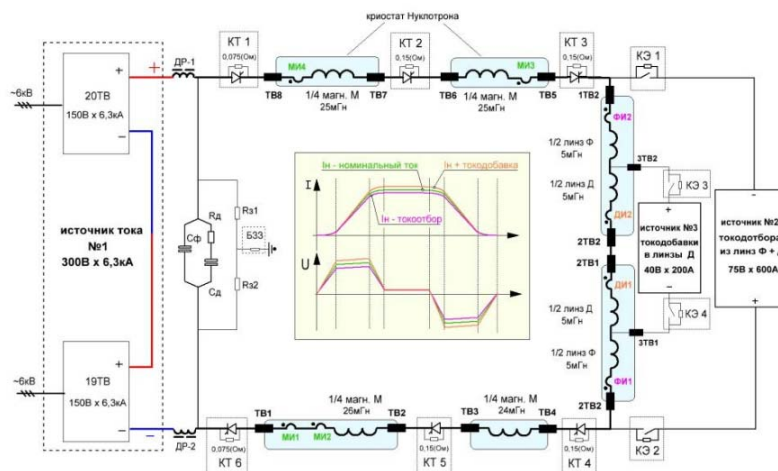


Рис. 2. Схема питания последовательно соединенных структурных магнитных элементов Нуклотрона

В существующей схеме питания (рис. 2) основной задачей является управляемое формирование трех полевых функций поля дипольных магнитов, градиента фокусирующих и дефокусирующих линз. Питание магнитной системы осуществляется с помощью одного мощного источника (источник тока № 1) и маломощных дополнительных источников токоотбора (источник тока № 2) и токодобавки (источник тока № 3), что обеспечивает разбаланс тока в фокусирующих и дефокусирующих линзах. Это необходимо для гибкого управления положением рабочей точки ускорителя.

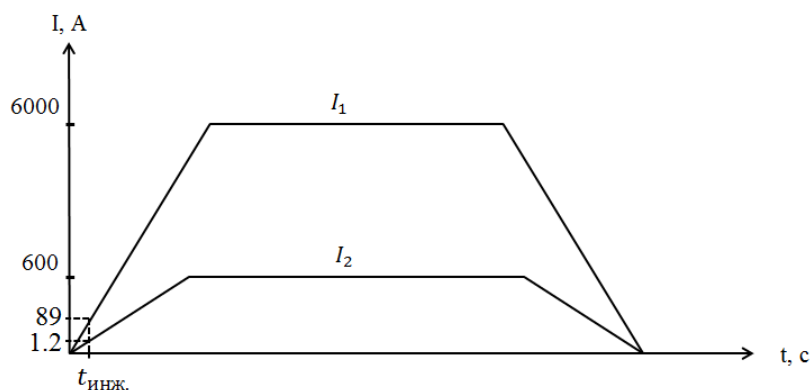


Рис. 3. Схематическая форма задания тока источников в ходе работы Нуклотрона. Токи  $I_1$  и  $I_2$ , формируемые источником № 1 и источником № 2, соответственно

В сеансах установка работает циклами трапециевидной формы (рис. 3). Инжекция пучка из линейного ускорителя в Нуклотрон возможна только при определенных и вместе с тем довольно малых значениях тока. По этой причине важно добиться очень высокой точности на всем диапазоне измерений (от 0,06 до 6 кА).

В рамках данной ситуации необходимо владеть информацией о прецизионных токах источников питания структурных дипольных и квадрупольных сверхпроводящих магнитов синхротрона.

Была разработана и испытана концепция системы мониторинга, которая с большой точностью измеряет и передает данные на расстояние около 500 м непосредственно от датчика до ПК.

Источники питания имеют в своем составе измерительные шунты, которые расположены на участках токоведущих шин. Подсоединяя к каждому шунту датчик, в состав которого входит 16-разрядный АЦП и запрограммированный МК, мы можем с достаточной точностью измерить напряжение, падающее на измерительном шунте. Это значение будет пропорционально току источников. Плата датчика также оснащена модулем RS-485 быстрой и надежной коммуникацией с ПК в условиях больших расстояний. В микроконтроллер семейства Atmega запрограммирован алгоритм обмена информацией с ПК в режиме непрерывного снятия данных с шунта. Запрос каждому МК поступает адресно, что не допускает сбоев в ответе и исключает поступление неверной информации к диспетчеру. Программировался МК с помощью графической среды разработки Flowcode.

Со стороны ПК был разработан алгоритм опроса, приема и последующей обработки информации в условиях реального времени (рис. 4). Предусмотрена сигнальная кнопка в случае сбоев в работе того или иного устройства с выводом информации об ошибке и номере датчика. Информация о токе выводится на экран в виде

графика с дополнительным числовым отображением для удобного слежения. Среда разработки – LabVIEW фирмы NationalInstruments.

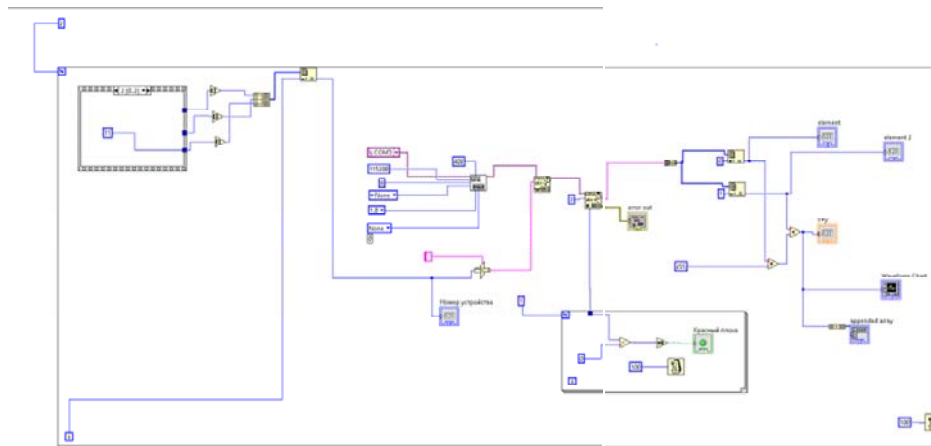


Рис. 4 Алгоритм запроса и получения информации от датчиков, обработка и вывод на экран ПК

Было проведено испытание на работоспособность системы в режиме реальных токов источника, в ходе которого был получен положительный результат.

#### Литература

1. Карпинский, В. Н. Системы питания и эвакуации энергии в быстроциклирующих сверхпроводящих синхротронах : автореф. дис. / В. Н. Карпинский. – Дубна, 2012. – 18 с.
2. Официальный сайт ускорительного отделения Лаборатории физики высоких энергий. – Режим доступа: [nucloweb.jinr.ru](http://nucloweb.jinr.ru).
3. ОИЯИ и столетие открытия атомного ядра : тр. симпозиума. – Дубна, 2013. – 224 с.