

УДК 681.5

**Разработка системы управления источником питания дипольных электромагнитов  
бустерного синхротрона**

**Фролов Д.О.** (Университет ИТМО), **Васильев А.В.** (Университет ИТМО),  
**Волковский С.А.** (Университет ИТМО)

**Научный руководитель – доцент, кандидат технических наук, Дейнека И.Г.**  
(Университет ИТМО)

**Введение.** Исследования в области ускорения заряженных частиц являются важным источником знаний в различных областях сферы жизни: медицина (диагностика лечения рентгеном или электронами, протонная и ионная обработка), промышленность (электронная сварка, ионная имплантация), а также фундаментальные исследования в области физики [1]. Ускорители частиц состоят из множества электрофизических устройств, работоспособность которых невозможна без системы управления. Требования, предъявляемые к разрабатываемой системе, обязуют наличие актуальных знаний и исследование передовых достижений в сферах силовой электроники, электроэнергетики, компьютерных технологий. Представленная работа рассматривает основные аспекты по созданию магнитно-оптической системы управления бустерным синхротроном с высокой точностью поддержания тока и измерением различных параметров устройств.

**Основная часть.** Требования предъявляемые к системе управления:

1. Высокая относительная точность отработки:  $\sim 10^{-4}$ [2];
2. Цифровой способ регулировки тока;
3. Непрерывное измерение параметров источников питания в процессе работы;
4. Строгая привязка к временным интервалам [3].

Опираясь на вышеперечисленные параметры, в качестве основного контроллера для реализации системы управления была выбрана программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС).

В качестве первого этапа работ – исследование системы управления и разработка регулятора, было выбрано программное обеспечение (ПО) MATLAB Simulink. При помощи встроенных в MATLAB функций был разработан регулятор тока и математическая модель источника питания, включающая в себя IGBT-транзисторы и управление при помощи широтно-импульсной модуляции на частоте 5 кГц. Результаты моделирования определили достаточную и необходимую точность поддержания тока в диапазоне от 0 до 5000 ампер, а также требуемую относительную точность  $\sim 10^{-4}$ . Для верификации разработанного регулятора была произведена косимуляция при помощи встроенной в MATLAB функции FPGA-in-the-loop, которая предоставляет возможность запустить Simulink симуляцию, синхронизированную с HDL кодом, заранее написанным на ПЛИС [4].

Вторым этапом стала разработка и отладка периферийных модулей платы управления:

1. Аналого-цифровой преобразователь (16 бит, 40 каналов);
2. Оптический Ethernet (100 Мбит/с) для отправки данных на ПО верхнего уровня;
3. Расширители портов для контроля дискретных команд;

Для реагирования системы на аварийные ситуации был разработан специализированный блок, осуществляющий контроль различных параметров устройства. В условиях работы на установке мощностью в мегаватты необходимо контролировать наличие различных параметров: температура транзистора, температура воды для охлаждения и ее наличие. Данный блок позволяет уменьшить вероятность выхода из строя источника питания, тем самым продлевая срок службы и безопасность работы на установке.

Конечным этапом стал разработанный контроллер, который удовлетворяет всем требованиям изложенным выше, успешно прошел программу и методику испытаний и эксплуатируется на базе НИИЭФА-Энерго.

**Выводы.** Разработанный и имплементированный на плату алгоритм системы управления источником питания дипольных электромагнитов, удовлетворяющий всем

параметрам современных систем управления, применяемых в синхротронах. Была достигнута необходимая точность поддержания тока на уровне. Дальнейшее применение платы планируется использовать в качестве контроллера управления источником питания дипольных электромагнитов бустерного синхротрона в городе Саров.

**Список использованных источников:**

1. С. Biscari, L. Falbo. Medical Applications. CERN Yellow Report CERN-2014-009, pp.487-502.

2. Объединенный институт ядерных исследований : КРАТКИЙ ОТЧЕТ о предварительных итогах исполнения Соглашения между Правительством Российской Федерации и международной межправительственной научно-исследовательской организацией Объединенным институтом ядерных исследований о создании и эксплуатации комплекса сверхпроводящих колец на встречных пучках тяжелых ионов NICA (Комплекса NICA).

3. Дербенев А. А., Карнаев С. Е., Макеев А. В., Чеблаков П. Б. Базовое программное обеспечение для управления магнитной системой бустерного синхротрона NSLS-II // Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Серия: Физика. 2014. Т. 9, вып. 3. С. 88–98.

4. Информационный ресурс: MathWorks, MATLAB & Simulink. <https://www.mathworks.com/>.