

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БЕТАТРОНА НА ОСНОВЕ ШИННОЙ ТОПОЛОГИИ

Сухарников К.В., Шестак А.П., Рычков М.М.

Томский политехнический университет

E-mail: suharnikov@tpu.ru

BUS-BASED BETATRON CONTROL SYSTEM

Sukharnikov K.V., Shestak A.P., Rychkov M.M.

Tomsk Polytechnic University

E-mail: suharnikov@tpu.ru

Abstract

Small-sized betatrons are robust and cost-effective sources of hard x-rays widely used in non-destructive testing. A state-of-the-art objective of the betatron control system is considered. A new control system architecture based on bus network is offered and tested. The described system structure is a leading one to be implemented in the induction accelerators of a new generation which are being developed in TPU.

Введение

Бетатрон – импульсный индукционный ускоритель электронов. Первый рабочий бетатрон был запущен Дональдом Керстом в 1940 году, хотя патенты, описывающие подобные устройства публиковались и ранее [1]. Принцип действия бетатрона аналогичен действию трансформатора. Под действием изменяющегося тока обмотки в сердечнике возникает магнитный поток, пересекающий область, где расположена вакуумная камера. Внутри тороидальной камеры возникает вихревое электрическое поле [2]. Под действием электрического поля в камере происходит ускорение частиц. Задача системы управления бетатрона – синхронизация и контроль параметров основных систем ускорителя. Структурная схема систем бетатрона представлена на рис. 1.

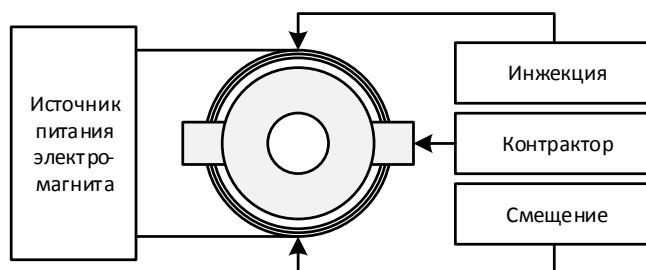


Рис. 1. Блок-схема систем бетатрона

По мере развития бетатрона усложнялась и система управления. Помимо синхронизации добавлялись блоки стабилизации, оперативного регулирования различных параметров, предотвращения аварийных режимов, блокировок и т.п. Изначально поставленные задачи решались аналоговыми системами, но вследствие усложнения задач и развития цифровой техники в 90-х годах был произведён переход на цифровые системы управления. В процессе эксплуатации цифровые системы хорошо зарекомендовали себя и показали высокую надежность, а бетатроны как источники излучения стали широко применяться в различных отраслях.

Требования к системе управления

Сегодня бетатроны можно считать доведенными до высокого уровня ускорителями, надежными, неприхотливыми с длительным сроком эксплуатации. Однако на современном этапе к бетатронам предъя-

являются новые требования, а именно, легкая интеграция во внешние системы (томографы, цифровые дефектоскопы, досмотровые комплексы) и легкое наращивание опционального оборудования, например, дозиметров, ФЭУ, статистических анализаторов излучения и т.п.

Целью настоящей работы является разработка надёжной, гибкой системы управления индукционным ускорителем, отвечающей современным требованиям.

На основе многолетнего опыта эксплуатации бетатронов и анализа современных требований, предъявляемых к источникам высокоэнергетического излучения можно выделить основные задачи для системы управления:

- внешняя синхронизация импульсов излучения;
- задание времени работы ускорителя;
- задание не только фазы, но и амплитуды импульсов тока инжекции путём регулирования температуры катода электронной пушки;
- синхронизация работы систем смещения и контрактора (системы, увеличивающей эффективность захвата электронов в ускорение);
- предотвращения несанкционированного доступа в помещение с работающим бетатроном;
- считывание показаний с внутренних и внешних дозиметров для оценки экспозиционной дозы;
- сбор, обработка и передача данных с датчиков тока и термометров для оценки состояния системы и предотвращения аварийных ситуаций;
- автоматическая настройка системы на максимальную мощность дозы;
- передача информации о состоянии системы оператору и система управления высшего уровня (если ускоритель работает в составе комплекса).

Кроме того, система управления встраиваемого источника должна обеспечивать:

- высокую надёжность и скорость работы;
- минимальные задержки срабатывания при внешней синхронизации;
- масштабируемость, возможность подключения дополнительных устройств и датчиков;
- возможность связи с персональным компьютером (ПК);

Архитектура системы управления

В одном из последних патентов на полезную модель [4] уже описывается система управления, содержащая два микроконтроллера: в пульте управления и в блоке питания. В сопроводительном документе для [4] указываются также основные недостатки такой системы: низкая помехозащищённость, большие габариты и масса пульта, невозможность менять энергию ускоренных электронов по программе и др.

Важным требованием к современной системе управления бетатроном является её связь с ПК оператора. Де-факто в архитектуре компьютерных систем применяются протоколы USB и Ethernet. Если длина шины USB в редких случаях может достигать более 5 метров, то расстояние между узлами сети Ethernet может превышать 100 м. Также важным преимуществом сети Ethernet является возможность использования протоколов высокого уровня TCP/IP, UDP, DHCP и др. Благодаря чему можно строить аппаратно независимые системы на базе Web-интерфейсов [5]. Но протокол Ethernet едва ли подходит

для применения в системе управления. Реализация протоколов высокого уровня (сетевого, транспортного) даже в минимальном объёме требует довольно больших затрат процессорного времени.

Наиболее доступными протоколами, применяемыми в промышленности являются CAN и RS-484. CAN разработан компанией Robert Bosch GmbH в середине 1980-х для автомобильной промышленности, но в настоящее время быстро внедряется в область промышленной автоматизации [6].

Так как первоначальное назначение протокола CAN была автомобильная промышленность, он устойчив к электромагнитным помехам и надёжен [7]. С помощью этого протокола можно легко организовать масштабируемую сеть, подключив все системы бетатрона к общей шине.

Структурная схема системы управления представлена на рис. 2. В нормальном рабочем режиме, пульт управления, используя ведущий контроллер, опрашивает блоки, комбинирует полученную информацию, отображает её на дисплее и передаёт по сети Ethernet. Являясь интерфейсом с оператором, пульт генерирует большинство управляющих и сервисных команд.

Подключение блоков бетатрона и их совместная работа происходит посредством двух шин – шины связи (CAN) и шины синхронизации.

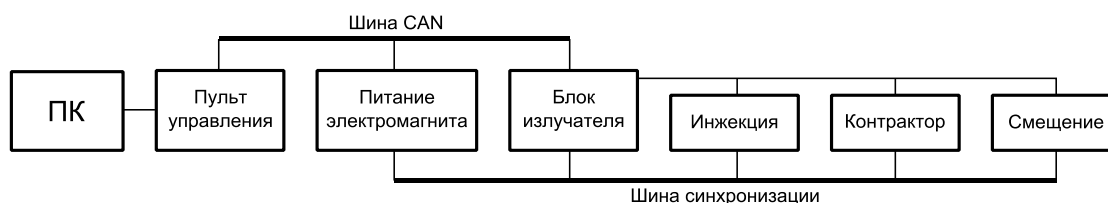


Рис. 2. Архитектура распределённой системы управления

Физической линией связи являлась витая пара с согласовывающими резисторами. Важным требованием к работе сети являлась гальваническая развязка блоков, поэтому контроллеры шины CAN общаются посредством оптопар.

В нормальном рабочем режиме, пульт является ведущим контроллером, он опрашивает блоки, комбинирует полученную информацию, отображает её на дисплее и передаёт по сети Ethernet. Являясь интерфейсом с оператором, пульт генерирует большинство управляющих сигналов. Все пакеты сети CAN являются широковещательными, но для экономии процессорного времени реализованы специальные фильтры, позволяющие отсеять сообщения, предназначенные отдельно взятому блоку. Тем не менее, в случае отказа одного из контроллеров или возникновения аварийной ситуации, информация об ошибке напрямую поступает на все остальные блоки, и система останавливает свою работу. Управляющие сообщения и сообщения об ошибке имеют наивысший приоритет.

Обе шины обеспечивают высокую нагрузочную способность, т.е. одновременно к ним могут подключаться до нескольких десятков устройств. Такое решение позволяет легко наращивать и исключать количество необходимых для конкретной задачи блоков, превращая систему управления в конструктор.

Управляющими контроллерами системы блоков бетатрона были выбраны микроконтроллеры семейства STM32. Они обладают всей необходимой для построения системы периферией и достаточным быстродействием. Важным решением в модернизации системы управления бетатроном было использование в контроллерах блоков операционной системы реального времени (ОСРВ). Благодаря разделению выполняемых задач на параллельные процессы удалось достичь более высокого уровня абстракции, что

заметно упростило разработку и отладку программного обеспечения. Также, значительно сократилось время разработки управляющих программ за счет инкапсуляции задач и их параллельной разработкой разными программистами. Кроме того, применение операционной системы позволяет пользователям при необходимости самостоятельно разрабатывать отдельные модули ПО под конкретную задачу.

Результаты тестирования

Существенно сократилось количество физических линий связи между блоками, что позволило исключить несколько многожильных кабелей, используемых в предыдущих системах.

Протокол CAN хорошо показал себя в условиях сильных электромагнитных помех. Шина протокола располагается вблизи проводников, с протекающими в них токами порядка 200 А.

Являясь импульсным источником рентгеновского излучения, в случае интеграции в систему, требующую синхронизации источника и детектора, бетатрон должен запускать импульс излучения строго по заданному сигналу извне. Использование высокоскоростного контроллера на базе ARM архитектуры с ОСРВ позволило получить дисперсию времени срабатывания 50 нс.

Заключение

В ходе работы была разработана и протестирована система управления индукционным ускорителем электронов – бетатроном. Основным отличием системы от применяемых ранее является её масштабируемость (возможность расширения путём подключения дополнительных устройств по шине CAN), децентрализованность (имеется несколько контроллеров, независимо друг от друга обменивающихся информацией) и использование ОСРВ (позволяет перейти на новый уровень абстракции и сделать алгоритмы управления более универсальными).

Разработанная система хорошо показала себя в условиях сильных электромагнитных помех, продемонстрировала надёжность и высокую скорость работы. Описанная архитектура системы является основным кандидатом для применения в индукционных ускорителях нового поколения, разрабатываемых в ТПУ.

Список литературы

- [1] Kerst D.W. Historical development of the betatron // Nature. 1946. Vol. 157, № 3978. P. 90–95.
- [2] Chao A. W. et al. Handbook of accelerator physics and engineering // Handbook of Accelerator Physics and Engineering (2nd Edition). Edited by Chao Alexander Wu et al. Published by World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2013. ISBN# 9789814415859. – 2013. – Т. 1.
- [3] Livingston, M. S.; Blewett, J. Particle Accelerators. New York: McGraw-Hill. – 1962.
- [4] Volkov V.G. et al. Russian Federation patent RU 92285 U1. 2009. P. 11.
- [5] Tanenbaum A. S. Computer Networks 4th Edition //ed: Prentice Hall. – 2003.
- [6] CAN History. CAN in Automation. <http://www.can-cia.org/>
- [7] ISO 11898-1:2003 – Road vehicles Controller area network // International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland. – 2003.