

ВНЕДРЕНИЕ НОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ УСКОРИТЕЛЯМИ ТИПА ИЛУ, ПРИВЕДШИХ К СОЗДАНИЮ УНИКАЛЬНЫХ ОБЛУЧАТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ИХ ОСНОВЕ

В. В. Безуглов¹, А. А. Брызгин, А. Ю. Власов, Е. Н. Кокин, Е. А. Штарклев

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия

Статья посвящена разработке и внедрению в промышленность автоматизированных электронно-лучевых облучательных комплексов на базе ускорителей типа ИЛУ, а также разработке электронных и программных средств, позволивших создать новые технологические решения по использованию ускоренного пучка электронов в промышленности. Работа включает описание системы питания и управления независимым устройством сканирования пучка ускоренных электронов для реализации универсального одно- или четырехоконного выпускного устройства. Также приводится описание новых устройств управления и защиты системы импульсного питания ускорителей типа ИЛУ, приведших к созданию уникального трехмодуляторного источника питания многорезонаторного ускорителя ИЛУ-14.

This work is devoted to the development and application of automated electron-beam irradiation systems based on the ILU-type accelerators to the production, as well as the development of electronics and software that will create new technological solutions for the use of the accelerated electron beam in the industry. There is a description of the power supply and control systems of independent accelerated electron beam scanning unit for the implementation of universal one- or four-window exhaust unit. New control and protection systems of ILU accelerator pulse power supply are also described which led to the creation of a unique 3-modulator power supply of accelerator ILU-14.

PACS: 29.27.-a; 41.75.Ht

ВВЕДЕНИЕ

Начиная с 1970 г., в ИЯФ СО РАН разрабатываются и поставляются в промышленность однорезонаторные импульсные линейные ускорители (ИЛУ), предназначенные для широкого применения в различных радиационно-технологических процессах. Линейка ускорителей типа ИЛУ включает в себя как компактные модели с энергией ускоренных электронов до 1 МэВ и мощностью в пучке до 20 кВт, так и многорезонаторные машины с энергией электронов до 10 МэВ и мощностью в пучке до 100 кВт, которые отлично подходят для полномасштабного промышленного производства в сфере радиационной модификации материалов, пастеризации и деконтаминации изделий медицинского назначения, медицинских препаратов и радиационной обработки пищевых продуктов [1].

¹E-mail: bezuglow@rambler.ru

В условиях современного промышленного производства эксплуатация радиационных комплексов требует связать все оборудование в единую технологическую цепочку. Для этого необходима постоянная модернизация систем ускорителя, дабы они поддерживали требуемый технологический перечень совместимости как на аппаратном, так и на программном уровне. За 40 лет существования ускорителей типа ИЛУ эволюция их системы автоматизированного управления прошла путь от ЭВМ типа PDP-11 до специализированного блока управления ускорителем, контролируемого стандартным персональным или промышленным компьютером под управлением операционной системы Windows от 95 до 7. Программное обеспечение контроля комплекса также развивалось и прошло путь от ранних версий на языке ПАСКАЛЬ до использования профессиональных пакетов программирования автоматизированных процессов National Instruments, Measurement Studio (CVI) версии 9.0 и старше. В результате этого пути была достигнута гибкость системы управления, позволяющая подключать к комплексу любое современное оборудование по распространенным в индустрии протоколам.

Эволюция систем управления функциональными блоками ускорителя также не стоит на месте. В связи с моральным устареванием элементной базы и концепций проектирования конкретных электронных устройств, а также разработкой новых типов функциональных блоков ускорителя идет постоянная модернизация электронных блоков комплекса. Это позволяет осуществить максимальную автоматизацию ускорителя для работы на всех доступных режимах облучения продукции.

УНИВЕРСАЛЬНАЯ СИСТЕМА СКАНИРОВАНИЯ ПУЧКА

Получение пучка электронов определенной энергии не является самоцелью создания промышленных ускорителей. Ускоритель лишь инструмент, позволяющий получить и распределить соответствующим образом ионизирующее излучение на обрабатываемом продукте. Поэтому одной из важных систем ускорителя является система сканирования (распределения) пучка по поверхности обрабатываемых продуктов и изделий (рис. 1). Обычно сканирующая система состоит из плоского раструба с выпускным окном на широком конце, закрытом тонкой титановой фольгой, отделяющей вакуумный объем ускорителя от атмосферы, а также системы отклоняющих пучок магнитов, системы их питания и управления.

Многие годы для питания сканирующей системы ускорителей серии ИЛУ использовался отвод от импульсного трансформатора, формирующий ток магнита сканирующей системы из анодного импульса модулятора. Кроме простоты, такой подход обладал и недостатками. Это нелинейная связь энергии электронов с уровнем и формой анодного напряжения, приводящая к необходимости каждый раз подстраивать ток магнитов сканирующей системы и привнесения человеческого фактора в этот процесс.

Для решения этих проблем была разработана «независимая» сканирующая система со своим собственным источником питания. Это позволило решить все вышеописанные проблемы и получить распределение дозы на поверхности продукта в диапазоне $\pm 5\%$ во всех возможных режимах работы ускорителя. При этом подстройка сканирующей системы под все режимы происходит автоматически, из программы управления ускорителем. Кроме этого, новая сканирующая система способна работать как в линейном режиме, так и с четырехконной системой выпуска пучка. Более того, она позволяет

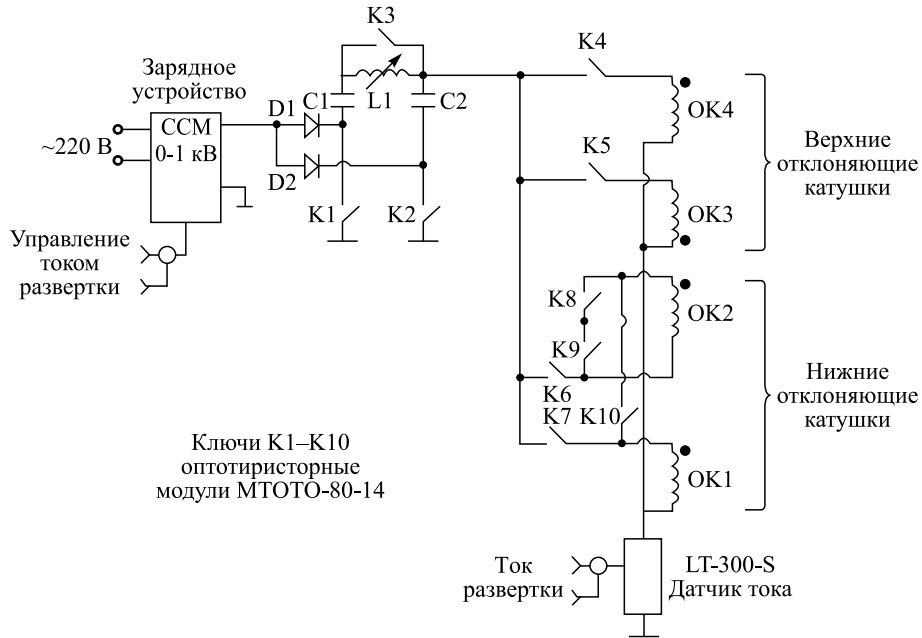


Рис. 1. Блок-схема универсальной системы сканирования пучка ускорителя

реализовать оба режима при использовании четырехугольного раstra с совмещенным большим нижним выпускным окном [2].

Такая система отклонения пучка состоит из двух магнитов, их системы питания и управления. В свою очередь, система питания состоит из источника зарядки конденсаторов (ССМ), емкости, индуктивности и системы ключей, коммутирующих катушки магнитов в определенной последовательности. Катушки ОК1 и ОК2 одного магнита расположены над нижним, широким выпускным окном ускорителя, а катушки другого ОК3 и ОК4 над верхними двумя окнами соответственно. Сканирующая система может работать в двух режимах, выпуская пучок либо в нижнее широкое окно (линейный режим), распределяя его во время импульса ускорителя по всей ширине окна, либо в четыре окна по очереди и распределяя его по ширине одного из двух верхних и двух нижних (общее окно), это четырехугольный режим (рис. 2).

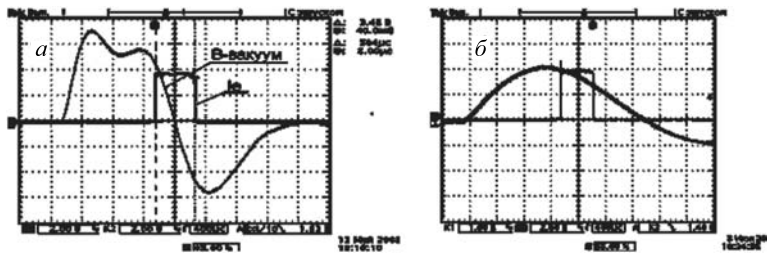


Рис. 2. Осциллограммы тока пучка и тока магнитов сканирующей системы: а) линейный режим; б) четырехугольный режим работы сканирующей системы

Для управления системой питания сканирующей системы был создан специализированный блок управления разверткой (БУР). Он генерирует импульсы запусков тиристорных ключей (К1–К10) и сигналы управления ССМ.

С использованием такой универсальной системы выпуска пучка удалось создать уникальный облучательный комплекс на базе ускорителя ИЛУ-10, сочетающий в себе сразу два типа транспортной системы. С одной стороны, это рамный конвейер, позволяющий облучать коробки и длинномерные изделия (до 6 м). С другой стороны, это барабанный перемотчик для четырехстороннего облучения трубок различных диаметров. Ускоритель установлен на рельсах и может быть быстро перемещен к нужному типу конвейера.

ТРЕХМОДУЛЯТОРНАЯ СИСТЕМА ИМПУЛЬСНОГО ПИТАНИЯ УСКОРИТЕЛЯ ИЛУ-14

Создание многорезонаторного ускорителя ИЛУ-14 потребовало кардинальной переработки систем управления как импульсным питанием генератора, так и прочими системами ускорителя. Объединение трех модуляторов для импульсного питания двухкаскадного генератора потребовало почти трехкратного увеличения сложности системы управления, переработки концепции импульсного питания и усложнения систем защиты ускорителя от высоковольтных пробоев [3].

Идея с расстановкой управляющих импульсов модулятора с возможностью почти одновременной (регулируемой) подачи анодного импульса тремя модуляторами и разным временем накопления каждого модулятора потребовала разработки совершенно новой концепции. Для распределения нагрузки на питающую сеть было принято решение производить накопление в индуктивных реакторах трех модуляторов со сдвигом по времени 6,6 мс друг относительно друга (рис. 3). Первый импульс ускорителя, после его включения, произойдет через 40 мс, далее импульсы будут следовать каждые 20 миллисекунд, при работе ускорителя на частоте 50 Гц. Также видно, что полный цикл модулятора составляет 40 мс, хотя импульсы ускорителя происходят каждые 20 мс. Это достигается тем, что в работе модулятора переплетены два независимых цикла его работы со сдвигом 20 мс, т.е. после окончания накопления в индуктивном реакторе модулятор заряжает свою емкостную линию и оставляет заряженной в ожидании импульса «Разряд» своего цикла, при этом он, не дожидаясь его прихода, начинает новое накопление, относящееся уже к следующему циклу.

При объединении трех модуляторов и их систем управления для работы на один двухкаскадный генератор должны быть выполнены следующие требования:

- частота работы трех БУМ должна быть одинаковой;
- процесс вкл./выкл. накопления модуляторов должен происходить одновременно;
- анодный импульс модуляторов должен производиться почти одновременно с возможностью регулировки;
- фаза импульсов всех трех БУМ должна быть привязана к фазе питающей сети;
- нагрузка на фазы питающей сети должна быть максимально равномерной;
- обеспечение возможности произвести импульс модуляторов в момент накопления им энергии для следующего импульса;

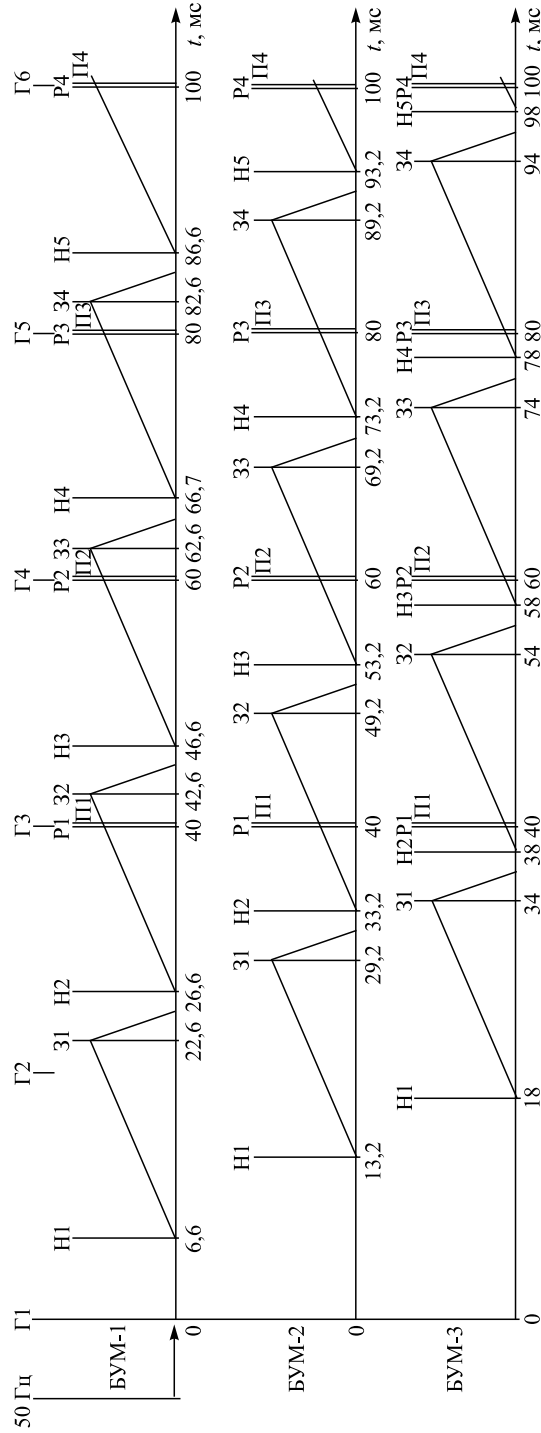


Рис. 3. График тока реактора трех модуляторов при максимальном накоплении и положении импульсов БУМ-1, БУМ-2, БУМ-3 при начальном включении ускорителя с частотой повторения 50 Гц. Сокращения: 50 Гц — импульс привязки к фазе питающей сети 50 Гц; Г — импульс «Генератор»; Н — импульс «Накопление»; 3 — импульс «Заряд»; Р — импульс «Разряд»; П — импульс «Перезаряд»

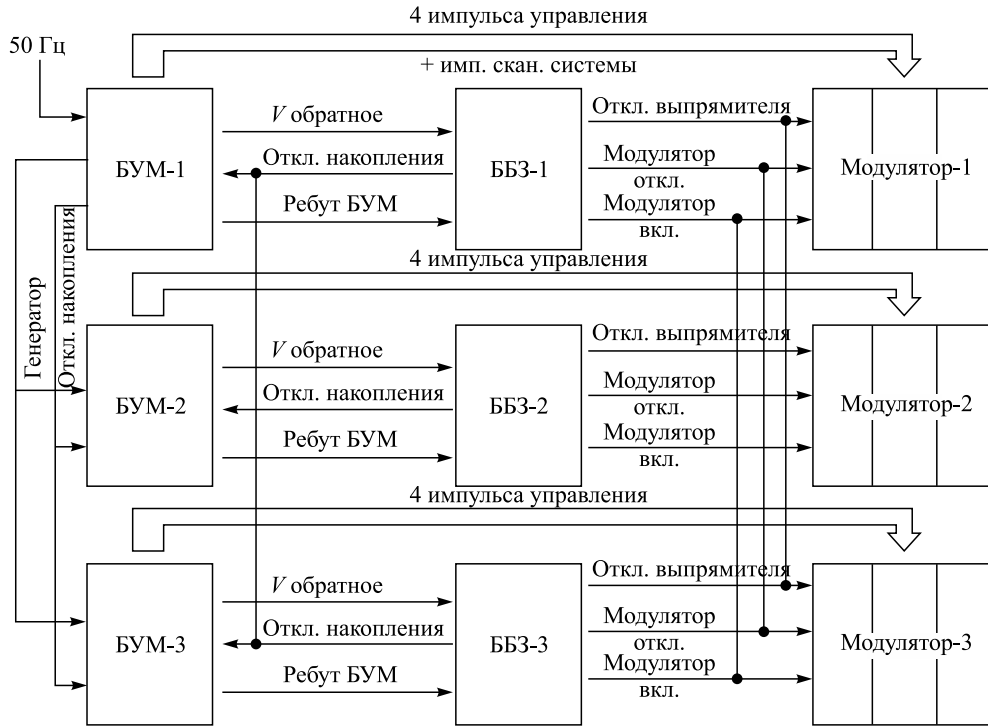


Рис. 4. Блок-схема объединения систем управления модуляторами ускорителя ИЛУ-14

- срыв генерации части генераторов не должен приводить к повреждению ускорителя;
- сбой любого из трех БУМ не должен приводить к повреждению ускорителя;
- вкл./выкл. силовых контакторов трех модуляторов должно происходить одновременно;
- вкл./выкл. выпрямителей трех модуляторов должно происходить одновременно;
- при срабатывании любой из защит системы управления любого модулятора программа управления ускорителем должна обозначить причину случившегося и источник события.

Расстановка импульсов трех БУМ во времени, для реализации концепции распределенного накопления энергии в период 20 мс, происходит автоматически. После старта программы управления ускорителем происходит автоматическая загрузка всех параметров в каждый БУМ в зависимости от присвоенного ему номера.

Первый ускоритель ИЛУ-14 стал основой экспериментального радиационного комплекса в г. Москве на территории ФМБЦ им. А. И. Бурназяна. Он используется для облучения препаратов и изделий медицинского назначения, а также для научно-экспериментальных работ в области радиационной биологии и химии.

Разработка системы управления ускорителем ИЛУ-14 (рис. 4) выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-50-00080).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ауслендер В. Л., Безуглов В. В., Брызгин А. А.* Ускорители электронов серии ИЛУ и их использование в радиационно-технологических процессах // *Вопр. атом. науки и техники. Сер. «Техн. физика и автоматизация»*. 2004. Вып. 58. С. 78–85.
2. *Безуглов В. В. и др.* Методика расчета и конструирования выпускных устройств для импульсных ускорителей электронов серии ИЛУ. ИЯФ 2008-023. Новосибирск: Ин-т ядерн. физ., 2008.
3. *Брызгин А. А., Безуглов В. В., Кокин Е. Н.* Промышленный линейный ускоритель электронов модульного типа ИЛУ-14 // *ПТЭ*. 2011. № 3. С. 5–21.