



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»
Институт физики высоких энергий имени А.А. Логунова
Национального исследовательского центра
«Курчатовский институт»

Препринт 2025–8

А.В. Максимов, М.П. Овсиенко, С.В. Авраменко,
В.Д. Раев, В.Д. Рудько

**Модернизация систем блокировок и диагностики
кикер-магнита КМ16 для режима двукратного вывода**

Протвино 2025

Аннотация

Максимов А.В. и др. Модернизация систем блокировок и диагностики кикер-магнита КМ16 для режима двукратного вывода: Препринт НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ 2025–8. – Протвино, 2025. – 8 с., 5 рис., библиогр.: 3.

Приведены результаты по развитию ударной системы кикер-магнита КМ16 на ускорителе У-70. В частности, представлены результаты разработок по модернизации систем блокировок и диагностики работы кикер-магнита для режима двукратного вывода.

Abstract

Maximov A.V. et al. The results of upgrading of block and diagnostic systems of the kicker-magnet KM16 for double kick running: NRC «Kurchatov Institute» – IHEP Preprint 2025–8. – Protvino, 2025. – p. 8, fig. 5, refs.: 3.

The results on development of the kicker-magnet KM16 of U70 accelerator are presented. In particular, this paper presents the results of the upgrading of block and diagnostic systems for double kick running.

Введение

Импульсная протонная радиография является мощным инструментом для изучения широкого спектра быстропротекающих явлений и структуры объектов большой плотности. На базе ускорительного комплекса У-70 создан протонный радиографический комплекс ПРГК-100 для систематических исследований быстропротекающих процессов [1,2]. В данной работе представлены результаты по повышению функциональных возможностей комплекса ПРГК-100, в частности, увеличение общего времени регистрации динамических процессов до $10\div50$ мкс. Это может быть обеспечено получением двух импульсов тока к КМ16 разделенных по времени, т.е. реализацией режима двукратного срабатывания кикер-магнита КМ16.

В 2022 году на базе первой секции КМ16 была реализована схема двукратного срабатывания [3]. Выполненные исследования позволили сформулировать предложения по развитию всего ударного комплекса на базе кикер-магнита КМ16. А именно: модернизация системы питания всех 10 секций (по образцу модернизации системы питания первой секции) и модернизация систем КМ16 (система блокировок, система диагностики работы КМ16, система сжатого воздуха) для повышения надежности и обеспечения контроля над функционированием кикер-магнита.

В данной работе представлены результаты разработки технических решений по модернизации систем блокировок и диагностики работы кикер-магнита для режима двукратного срабатывания.

Назначение и функционирование систем блокировок и диагностики

Система блокировок

Система блокировок должна обеспечивать контроль параметров ИП секций КМ16 и управляющих разрядников «Мастер» с выработкой блокирующих сигналов в случае технологических отказов.

Система блокировок является необходимым элементом обеспечения надежности при проведении экспериментов с динамическими объектами. Система должна

отслеживать степень готовности ударного комплекса КМ16 к выдаче импульса разрешения на динамический эксперимент. Внутренние блокировки обеспечивают контроль за параметрами состояния КМ16 для устранения случаев запретов импульсов кикер-магнита (статические блокировки) или минимизации вероятности преждевременных пробоев в разрядниках импульсных генераторов КМ16 (динамическая блокировка).

Необходимость в обеспечении надежной работы системы блокировок видна из следующей статистики. В сеансе 2023г. было произведено ~ 1700 импульсов вывода и в 30 случаях система выдала запрет на вывод пучка, т.е. вероятность отказа в готовности КМ16 составляет $\sim 1.7\%$.

Работы по модернизации модуля блокировок вызваны критическим износом эксплуатируемого оборудования. Существующая работающая схема разработана и изготовлена 50 лет назад. Использует морально и физически устаревшие компоненты. Потребляет заметное количество энергии. Требует больших усилий по поддержанию в работоспособном состоянии.

Предлагаемая модернизация подразумевает применение современной компонентной базы и схемотехнических решений, полностью соответствующих требованиям безопасной работы системы питания кикер-магнита КМ16.

Система статических блокировок обеспечивает контроль за более чем двумя десятками блокирующих сигналов в случае технологических отказов (например, значения пиковых тока и напряжения, давление воздуха в разрядниках, токи накалов тиатронов, напряжение преобразователей и т.д.)

Особого внимания требует контроль возможных преждевременных пробоев в разрядниках импульсных генераторов КМ16 (динамическая блокировка). В кикер-магните КМ16 используются искровые трехэлектродные разрядники, работающие в атмосфере сжатого воздуха. Существует вероятность преждевременного пробоя в разряднике в процессе заряда линии до требуемого момента вывода пучка. В этом случае линия разряжается на нагрузку, т.е. собственно модуль ударного магнита (один из 10-ти). Циркулирующий пучок получает толчок и начинает совершать колебания с амплитудой $\sim 2\text{мм}$. Вывод пучка происходит с уменьшенной силой кикер-магнита. При этом на объекте пучок смещается на $\sim 80\text{мм}$, что делает невозможным получение

качественного протонографического изображения объекта.

Процесс заряда линий начинается за ~ 250 мсек до вывода. Система блокировок отслеживает процесс заряда и за 10 мсек до вывода пучка выдает сигнал “запрет”, если линия разрядилась преждевременно.

Изготовление

Работы по модернизации системы блокировок начаты в 2023 г. Были разработаны и проверены технические решения для модернизации системы, разработана принципиальная схема модуля блокировок, изготовлен головной образец. К настоящему времени изготовлено 5 модулей. Модули установлены в стойки управления соответствующих секций КМ16 (рисунки 1 и 2).

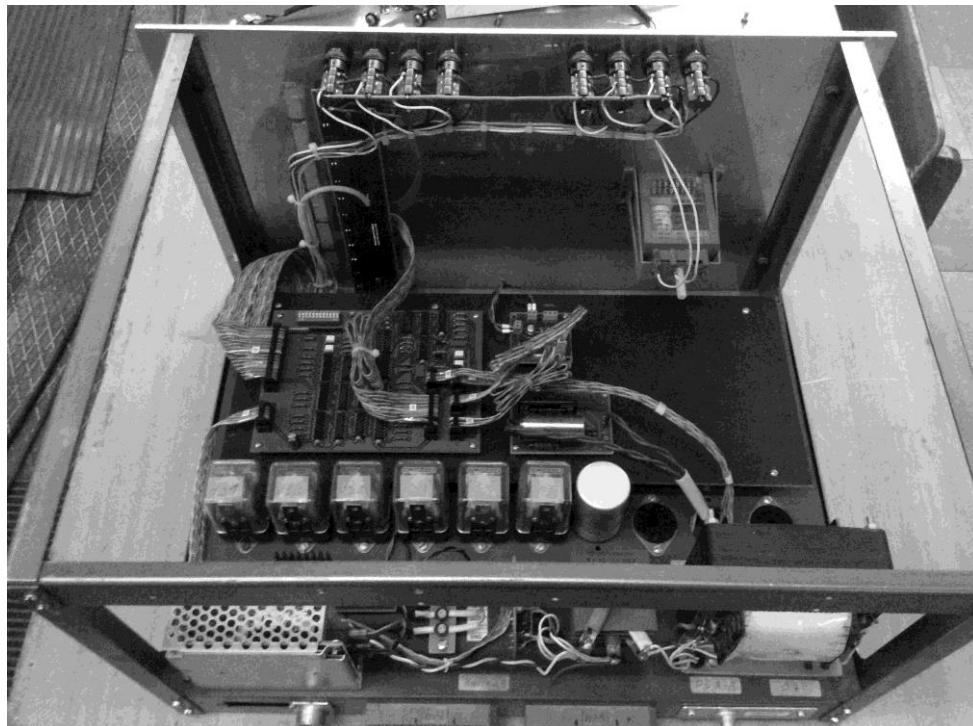


Рис. 1. Модуль блокировок.

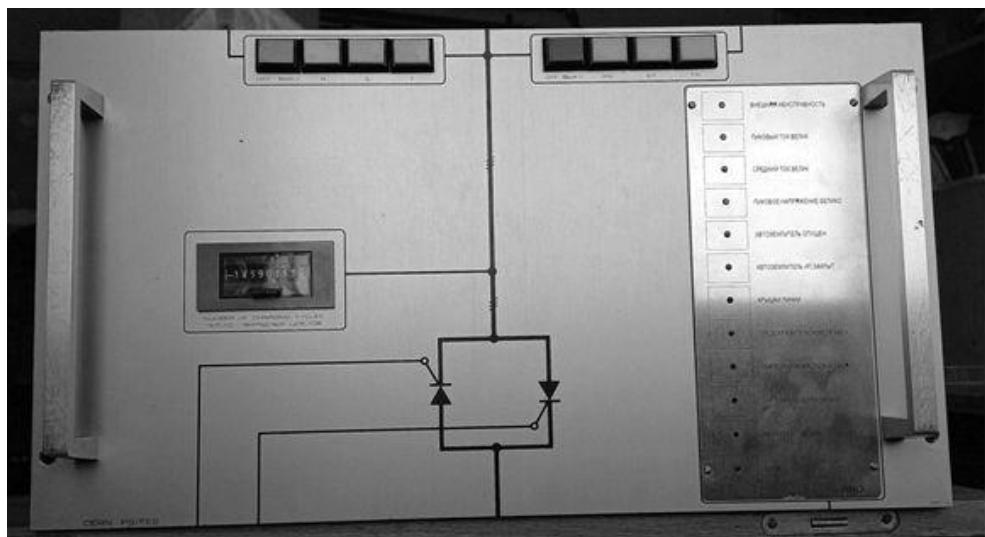


Рис. 2. Расположение модуля блокировок (справа) в стойке управления.

Система диагностики

Обеспечивает диагностику работы системы питания кикер-магнита КМ16 в режиме двукратного срабатывания. Построение такого диагностического комплекса позволит иметь возможность контролировать процесс заряда / разряда в системе питания каждой секции КМ16.

Для подсистемы диагностики системы питания ударного магнита КМ-16 целесообразна замена диагностического комплекса, поскольку существующая система диагностики функционально недостаточна при работе с двукратным выводом.

Оценка и диагностика работы системы питания кикер-магнита КМ16 в условиях удвоения количества импульсных генераторов является сложной задачей. Построение такого комплекса позволит иметь возможность предметно оценивать работу системы питания кикер-магнита и на основе полученных данных совершенствовать управление этой системой.

Основные сигналы, по которым целесообразно проводить оценку работы системы питания кикер-магнита, делятся на две группы:

Первая группа сигналов (сигналы предшествующие формированию импульса тока):

–Сигнал импульсов «Старт» для высоковольтных источников зарядного напряжения управляющего разрядника «MASTER» и формирующих линий секций

КМ16;

–Сигналы зарядного напряжения на формирующих линиях секций кикер-магнита. Источниками сигналов являются высоковольтные делители напряжения, установленные в боксах формирующих линий;

Вторая группа сигналов (сигналы сформированных импульсов тока):

–Сигналы напряжения на нагрузках в стойках управления секций КМ16;

–Сигналы сформированных импульсов тока в соответствующих секциях магнита и суммарный импульс тока. Источниками сигналов являются токовые петли, расположенные в боксах кикер-магнита;

Также необходимо обеспечить сохранение параметров работы системы питания КМ16 на компьютере с возможностью последующей статистической обработки.

Алгоритм оценки параметров первой группы

• Сигнал импульсов «Старт»

Параметры импульсов «Старт» следующие:

амплитуда импульса не менее 300В.

длительность импульса от 3 до 10 мкс.

Необходима диагностика амплитуды и длительности импульса «Старт».

• Сигналы зарядного напряжения на формирующих линиях секций кикер-магнита

Параметры процесса заряда:

длительность процесса заряда 150 мсек.

длительность плато до разряда 100 мсек.

временной интервал между импульсами «Старт» и разрядом формирующей линии не менее 250 мсек.

величина напряжения заряда от 30 кВ. до 60 кВ.

С точки зрения диагностики необходимо контролировать временные параметры заряда (длительность заряда и длительность плато) и уровень напряжения на плато перед разрядом формирующей линии на нагрузку.

В схему контроля входит ЖК-дисплей для графического отображения зарядных кривых и импульсов «Старт». Все полученные сигналы должны передаваться в компьютер для дальнейшего использования.

Алгоритм оценки параметров второй группы

- Сигнал напряжения на нагрузке в стойках управления секций КМ16

Визуализация контролируемых сигналов на панелях в стойках управления секций КМ16

- Сигнал сформированного импульса тока в соответствующей секции магнита

Вариант построения схемы контроля импульсов – использование сигнала токовых петель расположенных в боксе кикер-магнита, как источников сигнала.

Для реализации контроля используются два 4-х канальных осциллографа с локальной сетью и связи с компьютером. Эта позволит запоминать и анализировать результат работы системы питания кикер-магнита с выявлением возможных недостатков.

Осциллографы размещаются в стойке № 117 (пом. пультовой СВ). Сигналы от одиночных токовых петель 1-10 и двойных токовых петель 1-2, 3-4, 5-6, 7-8, 9-10 приходят по магистральным кабелям в стойку 113. Соединение магистральных кабелей с системой диагностики выполняется с помощью дополнительных кабелей нагруженных на интегратор. Выход интегратора подсоединен к соответствующему входу осциллографа.

Изготовление

Работы по модернизации системы диагностики начаты в 2024 г. Были разработаны и проверены технические решения для модернизации системы, разработана принципиальная схема модуля диагностики, изготовлен головной образец. Модуль установлен в стойку управления секции №1 КМ16 (рисунки 3 и 4).

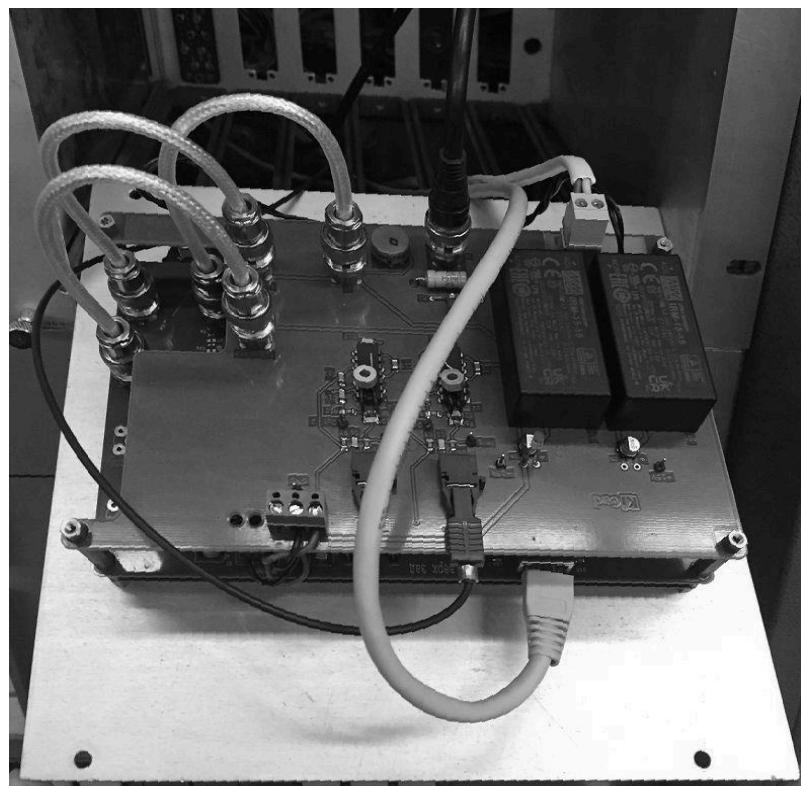


Рис. 3. Модуль диагностики.



Рис. 4. Отображение сигналов на ЖК-дисплее в стойке управления секции № 1.

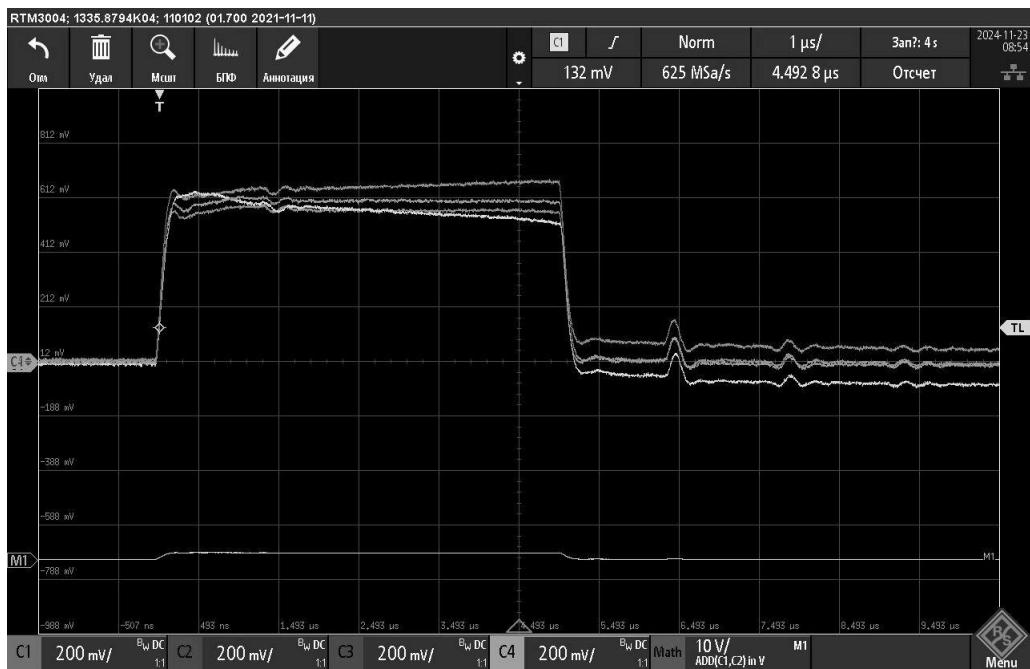


Рис. 5. Сигналы с токовых петель модулей 2-4-6-8.

Заключение

Приведены результаты по развитию ударной системы кикер-магнита КМ16 на ускорителе У-70. В частности, представлены результаты разработок по модернизации систем блокировок и диагностики работы кикер-магнита для режима двукратного срабатывания.

Авторы выражают благодарность Н.Е. Тюрину за поддержку данной работы.

Список литературы

- [1] А.И. Андриянов, А.Г. Афонин и др. «Ввод в эксплуатацию комплекса ПРГК на ускорителе У-70 ГНЦ ИФВЭ», Препринт ИФВЭ 2015-3, Протвино, 2015 г.
- [2] А.В. Максимов, Н.Е. Тюрин, Ю.С. Федотов «Оптическая система протонной облучательной установки на ускорителе У-70 ГНЦ ИФВЭ», ЖТФ, 2014, том 84, выпуск 9, стр. 132 – 138.
- [3] А.В. Максимов, М.П. Овсиенко, В.Д. Раев, В.Д. Рудько «Развитие ударной системы кикер-магнита КМ16 ускорителя У-70», Препринт ИФВЭ 2022-12, Протвино, 2022.

Рукопись поступила 24 декабря 2025 г.

Максимов А.В. и др.

Модернизация систем блокировок и диагностики кикер-магнита КМ16 для режима двукратного вывода.

Препринт отпечатан с оригинала-макета, подготовленного авторами.

Подписано к печати 30.12.2025 Формат 60 × 84/16. Цифровая печать.
Печ.л. 0, 75. Уч.- изд.л. 0,96. Тираж 68. Заказ 10. Индекс 3649.

НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ
142281, Московская область, г. Протвино, пл. Науки, 1

www.ihep.ru; библиотека <http://web.ihep.su/library/pubs/all-w.htm>

Индекс 3649

П Р Е П Р И Н Т 2025-8,
НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ, 2025
