

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТИРИСТОРНЫХ КОММУТАТОРОВ В СИСТЕМАХ ПИТАНИЯ ИНФЛЕКТОРНЫХ ПЛАСТИН БУСТЕРА НУКЛОТРОНА

*Н. И. Лебедев, А. С. Петухов, А. А. Фатеев*¹

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Рассматривается вариант замены тиратронного коммутатора на тиристорный в схеме питания инфлекторных пластин бустера нуклотрона. Приведены результаты измерений времени коммутации в зависимости от рабочего напряжения. Показано, что реальное время коммутации удовлетворяет предъявляемым требованиям. Рабочий вариант схемы испытан при запуске бустера.

The variant to swap the thyatron switch with a thyristor switch in the Nuclotron Booster inflector plates power supply is considered. The results of measuring the switching time as a function of the operating voltage are presented. It is shown that the real switching time agrees with the requirements. The new scheme was tested on the Booster synchrotron of the NICA complex.

PACS: 29.20.–c

ВВЕДЕНИЕ

В Объединенном институте ядерных исследований продолжается создание ионного коллайдера NICA [1]. Одной из основных установок комплекса является бустер, в котором производится предварительное ускорение и охлаждение ионного пучка. Предполагается использовать три режима инжекции ионного пучка из линейного ускорителя в бустер нуклотрона: 1) однооборотную инжекцию; 2) многооборотную инжекцию; 3) многократную инжекцию [2]. Такая система инжекции предполагает использование трех отклоняющих устройств с одно- и двухуровневым воздействием на пучок в каждом устройстве. В качестве исполнительных элементов используются электростатические пластины (ЭП), что вполне адекватно нерелятивистскому пучку. Разрядка пластин после завершения первого оборота инжектируемого пучка происходит через коммутатор.

¹E-mail: afateev@jinr.ru

1. ТИРАТРОННЫЙ КОММУТАТОР

Обычно в качестве коммутаторов для электростатических пластин используют газоразрядные приборы, в частности высоковольтные водородные тиратроны. К их основным достоинствам можно отнести способность работать в широком диапазоне анодных напряжений при сохранении малого времени коммутации.

Разработан, изготовлен и успешно испытан источник импульсного питания инфлекторных пластин бустера [3]. Электрическая схема источника показана на рис. 1, фотография конструкции и осциллограммы — на рис. 2.

Полученные результаты вполне удовлетворяют требованиям для всех пяти источников многовариантной системы инжекции в бустер. Однако в процессе длительных испытаний проявились эксплуатационные недостатки. При высоких рабочих напряжениях, близких к предельным значениям для тиратрона, существенно сужается допустимый диапазон регулировок накалов генератора водорода и геттерного насоса. При

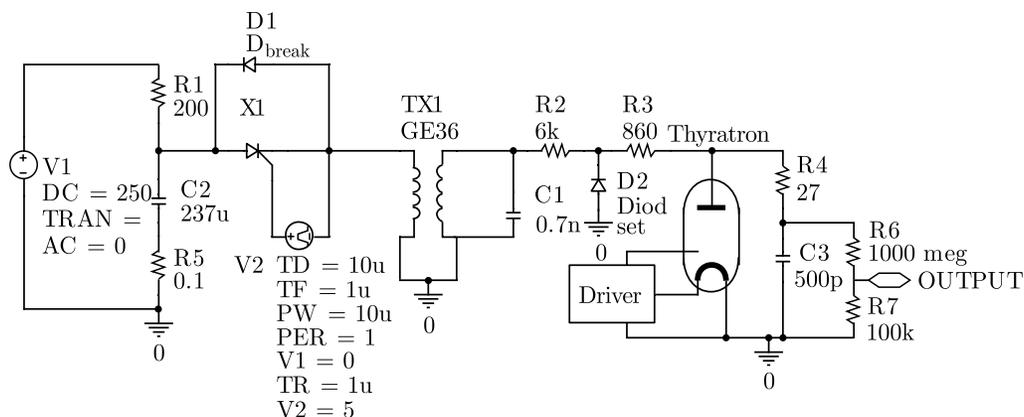


Рис. 1. Электрическая схема тиратронного источника питания пластин бустера. С3 — эквивалентная емкость пластины вместе с емкостью подводящего кабеля

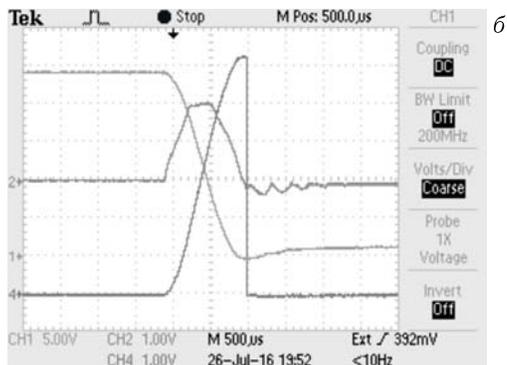
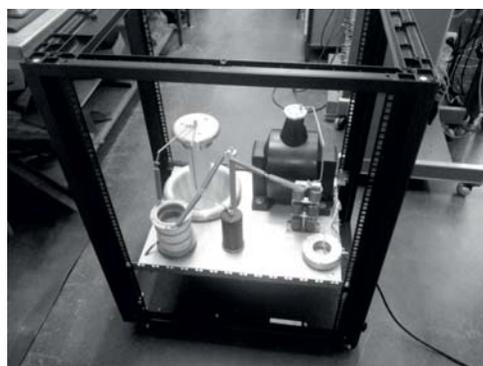


Рис. 2. а) Конструкция источника и результаты измерений. б) Напряжение на эквивалентной емкости (10 кВ/дел.), входной ток зарядного трансформатора (40 А/дел.) и напряжение на емкости С3 (50 В/дел.)

наличии пяти источников это приводит к серьезным затратам времени при подготовке и проведении сеансов с пучком.

2. ТИРИСТОРНЫЙ КОММУТАТОР

Альтернативой тиристорным являются полупроводниковые коммутаторы. Нами был выбран вариант импульсного источника питания на основе быстрого тиристорного коммутатора фирмы ВЕНЛКЕ. Для испытаний был заказан и получен коммутатор HTS 800-100-SCR на максимальное напряжение 80 кВ и пиковый ток 1 кА. Схема блока питания инфлекторной пластины (рис. 3) почти не изменилась, но система управления упростилась кардинально.

Для управления коммутатором требуется внешний источник напряжения 5В и TTL-сигнал для запуска.

Конструкция источника питания и осциллограммы сигналов показаны на рис. 4.

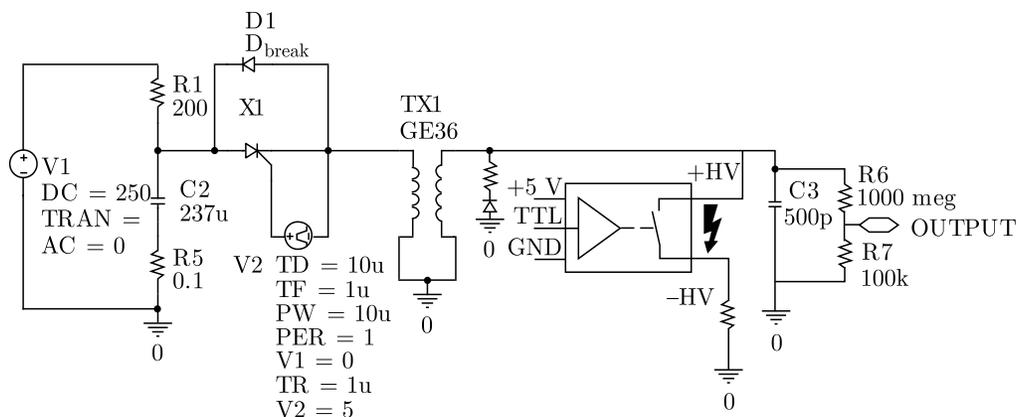


Рис. 3. Электрическая схема источника питания пластины бустера с тиристорным коммутатором

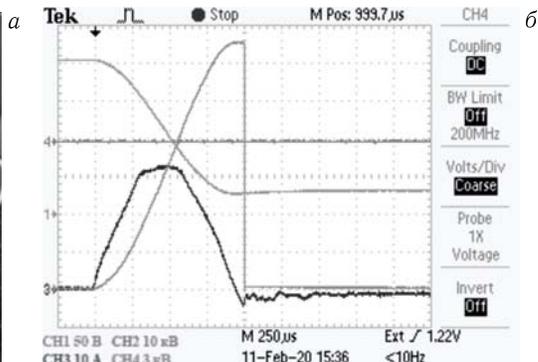
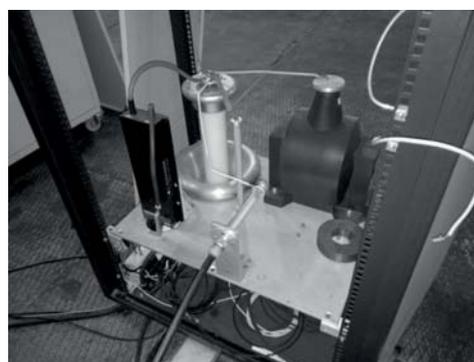


Рис. 4. а) Конструкция источника с тиристорным коммутатором HTS 800-100-SCR и результаты измерений. б) Напряжение на эквивалентной емкости (10 кВ/дел.), входной ток зарядного трансформатора (40 А/дел.) и напряжение на емкости C2 (50 В/дел.)

Использование тиристорного коммутатора позволило избежать эксплуатационных проблем, связанных с использованием тиратронов. Существенным недостатком любых тиристорных коммутаторов является сильная зависимость времени коммутации от приложенного напряжения. В нашем случае фронт срабатывания увеличился по сравнению с тиратронным вариантом, но остался в допустимых пределах для всего рабочего диапазона (40–65 кВ). Форма напряжения на пластине и разрядного тока показаны на рис. 5.

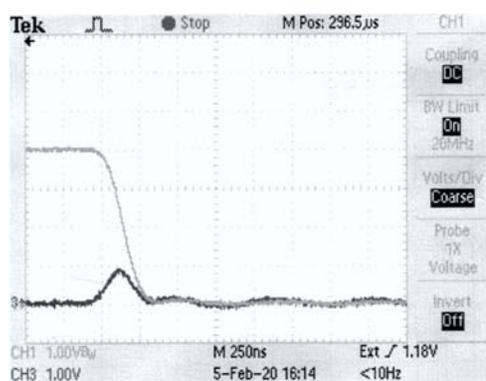


Рис. 5. Напряжение на эквивалентной емкости 900 пФ (10 кВ/дел.) и напряжение на разрядном резисторе 12 Ом (3 кВ/дел.)

3. КОММУТАТОР НА БАЗЕ СБОРКИ ИЗ МОЩНЫХ ТИРИСТОРОВ

К сожалению, в последнее время возникли сложности с поставками импортных тиристорных коммутаторов и появилась необходимость в поиске альтернативных решений. За основу были приняты отечественные тиристоры ТБИ933-250-36.

Сборка из 14 тиристоров с выравнивающими резисторами и запускающим трансформатором представлена на рис. 6. Сборка рассчитана на рабочее напряжение до 40 кВ.

Схема формирования запускающих импульсов на тиристорах показана на рис. 7.

Формы напряжения на эквивалентной емкости и разрядного тока при рабочем напряжении 40 кВ показаны на рис. 8.

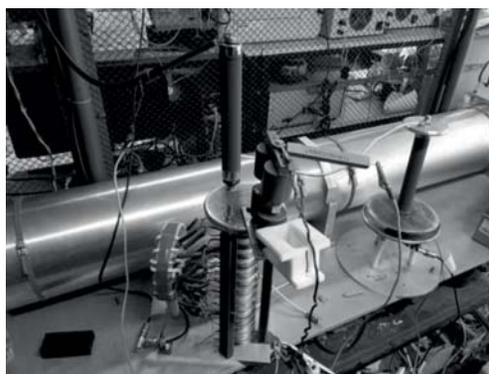


Рис. 6. Экспериментальная сборка на стенде

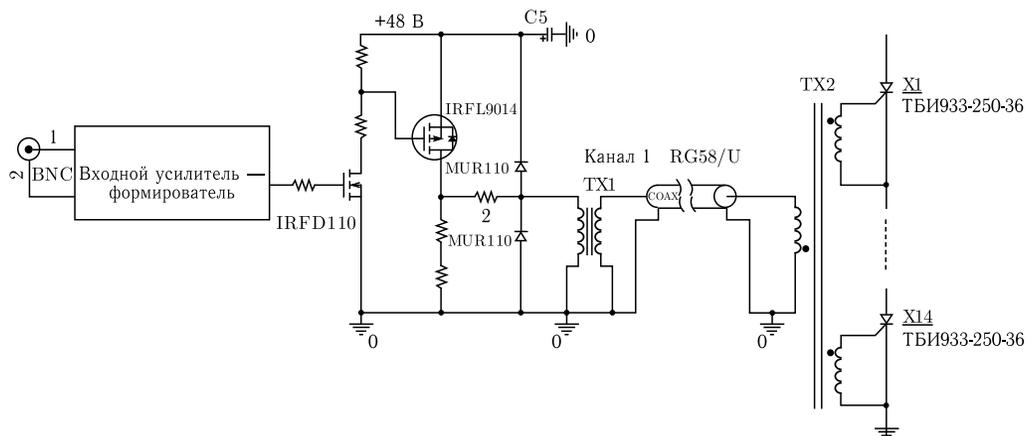


Рис. 7. Схема запуска тиристорного столба

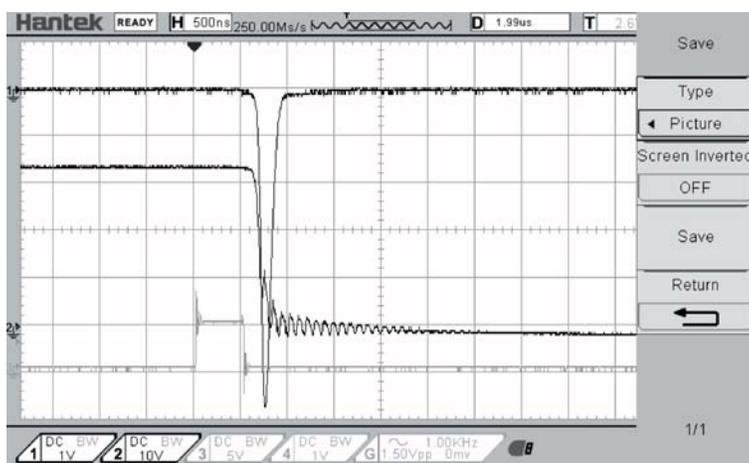


Рис. 8. Напряжение на эквивалентной емкости 900 пФ (10 кВ/дел.) и напряжение на разрядном резисторе 12 Ом (3 кВ/дел.)

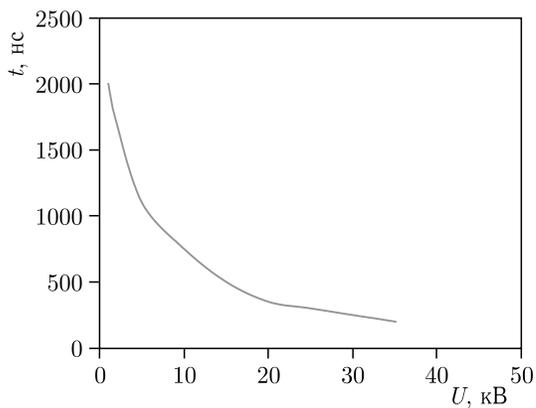


Рис. 9. График зависимости времени коммутации от приложенного напряжения

При снижении рабочего напряжения длительность разрядного импульса увеличивается. График зависимости времени коммутации от приложенного напряжения показан на рис. 9.

Из графика видно, что разумным диапазоном рабочих напряжений является 0,5–1,0 от максимального. При необходимости работ в более низком диапазоне следует просто переключиться на меньшее число тиристоров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемая конструкция устройства ввода импульсной мощности в криогенный модуль септум-магнитов коллайдера NICA удовлетворяет всем основным требованиям к данному узлу. Собственная индуктивность устройства по оценкам не превысит 50 нГн. Наличие гибких механических развязок и надежных электрических соединений позволяет надеяться на хорошие эксплуатационные показатели. Основные принципы конструкции могут быть использованы в других аналогичных устройствах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ускорительно-накопительный комплекс NICA (Nuclotron-based Ion Collider fAcility). Технический проект / Под ред. И. Н. Мешкова и А. О. Сидорина. Дубна, 2009.
2. *Bulanov V. A., Gorbachev E. V., Lebedev N. I. et al.* A Conceptual Design of a Power Supply System of Deflecting Plates for Multivariate Injection into the NICA Accelerator Complex Booster // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2014. V. 11, No. 5. P. 695–698.
3. *Bulanov V. A., Fateev A. A., Gorbachev E. V., Lebedev N. I.* The Power Supply System of Electrostatic Deflecting Plates for Accelerating Complex NICA // *Proc. of the 24th Russ. Part. Accel. Conf. (RuPAC2014)*, Obninsk, Russia, Oct. 6–10, 2014. TUPSA34.

Получено 18 ноября 2022 г.