

УДК 621.384.66

ПРОЕКТ СИСТЕМЫ СИНХРОНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ “ГАММА-4”

А. В. Гришин, С. Т. Назаренко, А. В. Козачек,
Д. А. Калашников, С. Л. Глушков, Б. П. Миронычев,
В. М. Мартынов, В. В. Турутин, Д. А. Кульдюшов,
В. С. Павлов, В. А. Деманов, Т. Ф. Шиханова, Ю. А. Есаева

Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики,
607188 Саров, Россия

E-mails: grishin@expd.vniief.ru, STNazarenko@vniief.ru, kozachek@expd.vniief.ru,
kalashnikov@expd.vniief.ru, glushkov@expd.vniief.ru, mironychev@expd.vniief.ru,
martynov@expd.vniief.ru, turutin@expd.vniief.ru, kuldushov@expd.vniief.ru,
VSPavlov@vniief.ru, VADemanov@vniief.ru, TFShihanova@vniief.ru, esaeva@expd.vniief.ru

Разработан проект системы синхронизации для четырехмодульной электрофизической установки “Гамма-4”. Показано, что система синхронизации должна обеспечивать включение с разницей во времени не более ± 3 нс высоковольтных газонаполненных разрядников тригатронного типа систем модулей установки (144 разрядника, рассчитанных на рабочее напряжение 1 МВ), предимпульсных коммутаторов модулей (24 разрядника с рабочим напряжением 3 МВ) и восьми генераторов импульсных напряжений Аркадьева — Маркса (40 разрядников с рабочим напряжением 100 кВ).

Ключевые слова: система синхронизации, многомодульная электрофизическая установка, синхронная коммутация, управляемый разрядник, генератор импульсов.

Введение. В настоящее время с целью проведения исследований с помощью радиационного излучения создается четырехмодульная электрофизическая установка “Гамма-4” [1], которую предполагается использовать в двух режимах работы: 1) в режиме генерации импульсов тормозного излучения с энергией квантов до 2 МэВ при работе модулей на отдельные высоковольтные электронные вакуумные диоды или на один общий диод; 2) в режиме генерации импульсов мягкого рентгеновского излучения при работе установки на плазменную нагрузку. Модульная конструкция установки позволяет генерировать импульсы различной формы за счет варьирования режимов включения модулей — одновременного и последовательного.

Для работы многомодульных установок требуется наносекундная точность включения модулей. Коммутаторы типовых модулей установки “Гамма-4” представляют собой высоковольтные газонаполненные разрядники, управляемые с помощью импульсов высокого напряжения, формирование которых должна обеспечить система синхронизации установки.

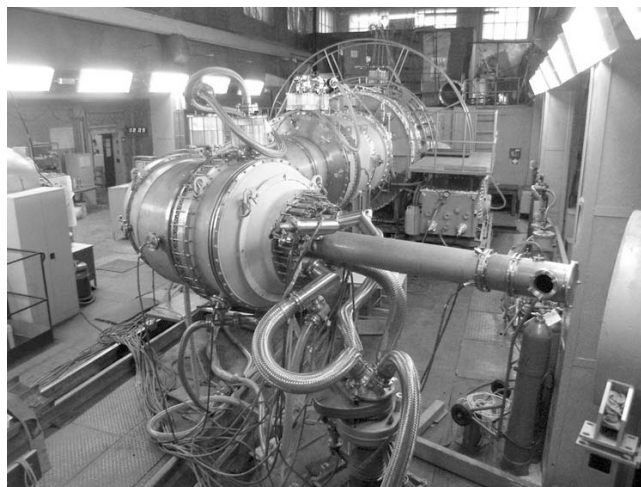


Рис. 1. Ускоритель “Гамма-1”

Система синхронизации ускорителя “Гамма-1”. К настоящему времени изготовлен первый модуль установки “Гамма-4” — ускоритель “Гамма-1” [2] — и проведены его испытания. 700 включений ускорителя показали, что его выходные параметры совпадают с расчетными. Ускоритель “Гамма-1” с системой передачи энергии, включающей магнитоизолированную передающую линию, показан на рис. 1.

Для ускорителя “Гамма-1” создана высоковольтная система синхронизации [3], предназначенная для включения с наносекундной точностью по заданной временной программе 36 разрядников с рабочим напряжением 1 МВ формирующей системы и шести разрядников, рассчитанных на работу при напряжении 3 МВ, предимпульсного коммутатора [4]. Также система синхронизации обеспечивает запуск 10 разрядников, рассчитанных на рабочее напряжение 100 кВ, в первых пяти каскадах двух генераторов импульсных напряжений Маркса ГИН-1000 [5], предназначенных для зарядки водоизолированной двойной ступенчатой формирующей линии ускорителя. Система синхронизации ускорителя “Гамма-1” состоит из делителей напряжения Д, генераторов импульсных напряжений ГИН-100 (А, М, М11), генераторов иницирующих импульсов разрядников ГИИР-3, ГИИР-4, блочных импульсных наносекундных генераторов БИНГ-4, БИНГ-5, БИНГ-6, основные технические характеристики которых приведены в работе [6], и узлов разводки УР. Соединения выполнены с помощью высоковольтных коаксиальных кабелей. Схема системы синхронизации ускорителя “Гамма-1” представлена на рис. 2.

Проект системы синхронизации установки “Гамма-4”. Эксплуатация системы синхронизации ускорителя “Гамма-1” начиная с 2006 г. показала надежность системы, поэтому на ее основе разработан проект системы синхронизации установки “Гамма-4” (рис. 3).

По сравнению с системой синхронизации ускорителя “Гамма-1” в разработанной схеме общее число генераторов ГИИР-4 увеличено до 16: по две пары на каждый модуль. Для запуска увеличившегося количества генераторов ГИИР-4 в схему добавлены генераторы ГИИР-4М № 2, 3, а также генераторы ГИН-100М11 № 2, 3 для их зарядки.

Порядок работы системы синхронизации следующий. В течение 1 мин после подготовки ускорителя к работе проводится зарядка конденсаторов двух генераторов ГИН-100А, 16 генераторов ГИН-100М, трех генераторов ГИН-100М11 и восьми генераторов ГИН-1000. После зарядки этих генераторов проводится запуск генератора БИНГ-5, который в свою очередь иницирует пуск генератора БИНГ-4. Последний производит пуск генератора ГИН-100М11 № 1 и генераторов БИНГ-6 № 1, 2 (через делители напряжения Д и кабель-

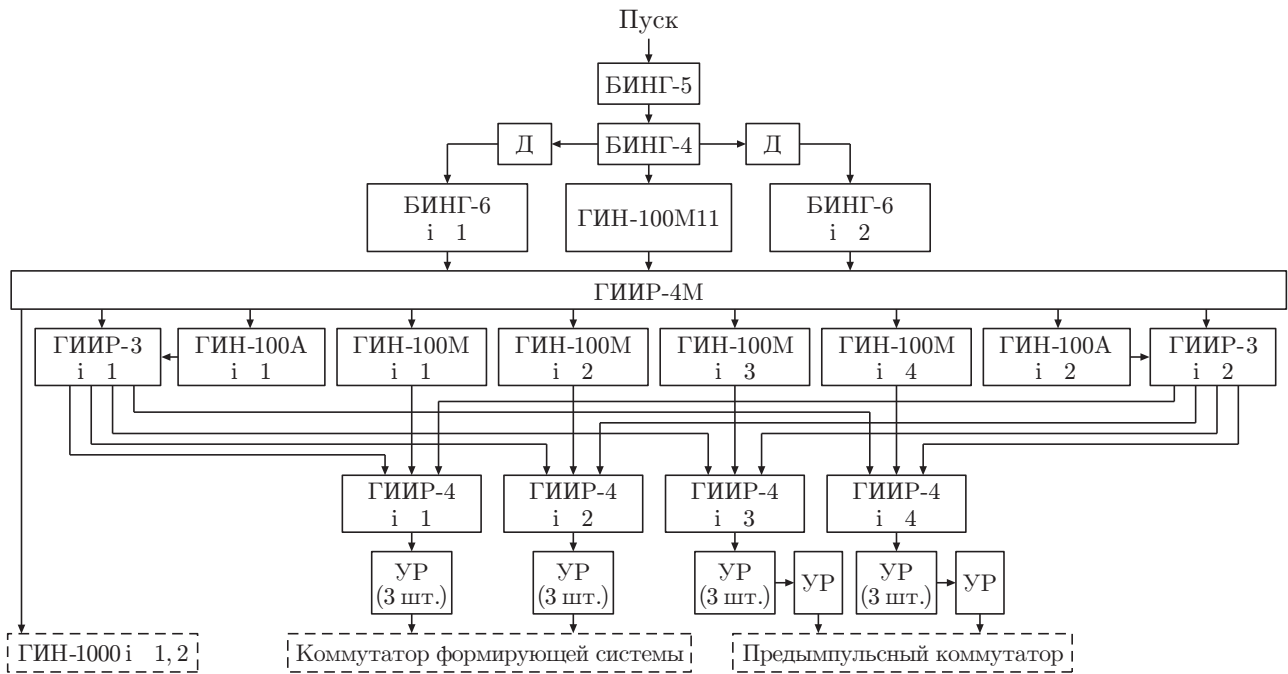


Рис. 2. Схема системы синхронизации ускорителя “Гамма-1”

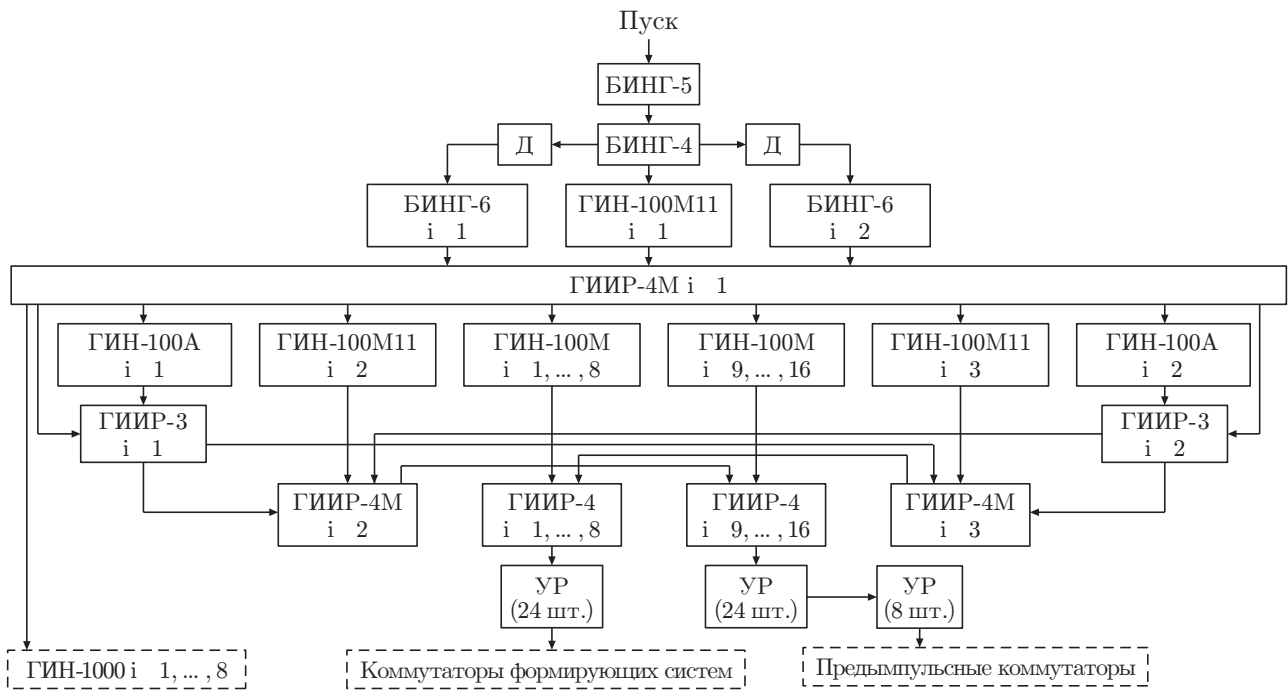


Рис. 3. Схема системы синхронизации установки “Гамма-4”

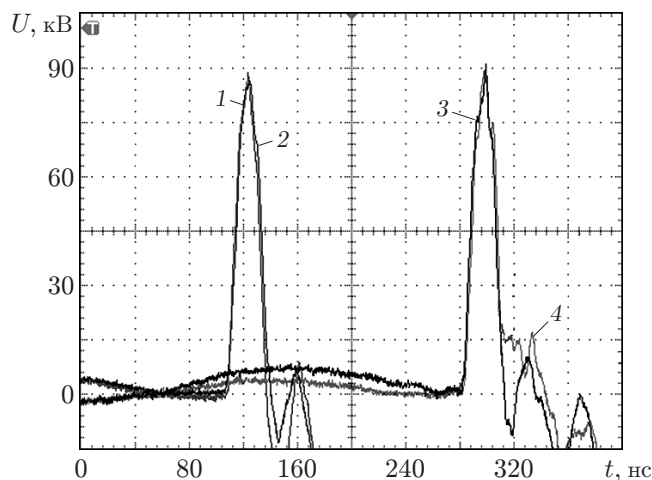


Рис. 4. Осциллограммы выходных импульсов ГИИР-4:
1, 2 — ГИИР-4 № 1, 2; 3, 4 — ГИИР-4 № 3, 4

ные линии задержки). Генератор ГИН-100М11 № 1 заряжает водоизолированную формирующую линию генератора ГИИР-4М № 1. При максимальном значении зарядного напряжения формирующей линии на многоканальный разрядник генератора ГИИР-4М № 1 поступают управляющие импульсы от генераторов БИНГ-6 № 1, 2. Генератор ГИИР-4М № 1 формирует управляющие импульсы для всех генераторов ГИН-1000, а также (через кабельные линии задержки определенной длины) для всех генераторов ГИН-100А, ГИН-100М, ГИИР-3 и генераторов ГИН-100М11 № 2, 3. Генераторы ГИН-100А, ГИН-100М и ГИН-100М11 заряжают водоизолированные формирующие линии генераторов ГИИР-3, ГИИР-4 и ГИИР-4М соответственно. При максимальном значении зарядного напряжения на разрядники генераторов ГИИР-3 поступают импульсы для запуска от генератора ГИИР-4М № 1. В свою очередь с помощью выходных импульсов напряжения генераторов ГИИР-3 происходит запуск генераторов ГИИР-4М № 2, 3, а с помощью выходных импульсов последних — пуск генераторов ГИИР-4. Для повышения надежности работы системы синхронизации на многоканальные разрядники каждого генератора ГИИР-4М поступают управляющие импульсы от двух генераторов ГИИР-3, а на разрядники каждого генератора ГИИР-4 — управляющие импульсы от ГИИР-4М № 2, 3. С помощью импульсов напряжения, генерируемых ГИИР-4 № 1–8, проводится запуск разрядников, рассчитанных на напряжение 1 МВ, формирующих систем типовых модулей, а с помощью импульсов, генерируемых ГИИР-4 № 9–16, — запуск разрядников предымпульсных коммутаторов.

Для увеличения амплитуды импульсов запуска разрядников использовались повышающие трансформаторы на основе высоковольтных импульсных кабелей КВИ-300. Трансформаторы представляют собой узлы разводки, передающие импульс напряжения с девяти кабелей на три кабеля с увеличением амплитуды импульса напряжения в 1,5 раза. В цепи запуска разрядников предымпульсных коммутаторов повышение напряжения происходит два раза последовательно. Для повышения надежности запуска коммутаторов разводка кабельных линий от трансформаторов к разрядникам формирующих систем, объединенным при запуске попарно, и к разрядникам предымпульсных коммутаторов выполнена таким образом, что любые две соседние пары разрядников формирующей системы и любые два соседних разрядника предымпульсного коммутатора получают управляющие импульсы от различных генераторов ГИИР-4.

Для наладки системы синхронизации и контроля за ее функционированием предусмотрены измерительные датчики: встроенные в формирующие линии генераторов емкостные

делители напряжения для контроля зарядки линий, а также токовые шунты, устанавливаемые в разрывы оплеток коаксиальных кабелей, для измерения амплитуд и форм импульсов. Сигналы датчиков регистрируются цифровыми осциллографами. На рис. 4 приведены осциллограммы выходных импульсов генераторов ГИИР-4, входящих в систему синхронизации ускорителя “Гамма-1”. Задержка включения генераторов ГИИР-4 № 3, 4 относительно включения ГИИР-4 № 1, 2 определяется разностью длин кабельных линий задержки, соединяющих ГИИР-3 и ГИИР-4 (см. рис. 2), и зависит от режима работы ускорителя.

Заключение. На основе созданной и успешно эксплуатируемой высоковольтной системы синхронизации ускорителя “Гамма-1” разработан проект высоковольтной системы синхронизации для четырехмодульной установки “Гамма-4”. Эта система должна обеспечить включение с наносекундной точностью по заданной временной программе 168 управляемых газонаполненных разрядников.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Gordeev V. S., Myskov G. A., Mikhailov E. S., Laptev D. V.** Design of a high-current pulse electron accelerator // *Probl. Atom. Sci. Technol. Ser. Nuclear Phys. Investigat.* 1999. N 3. P. 68–70.
2. **Пунин В. Т., Завьялов Н. В., Басманов В. Ф. и др.** Результаты экспериментальных исследований некоторых режимов работы сильноточного импульсного ускорителя электронов “Гамма-1” // *Сб. докл. Междунар. конф. “12-е Харитоновские научные чтения по проблемам физики высоких плотностей энергии”*, Саров, 19–23 апр. 2010 г. Саров: Всерос. науч.-исслед. ин-т эксперим. физики, 2010. С. 49–54.
3. **Гришин А. В., Калинычев А. Е., Ломтев С. С.** Высоковольтная система синхронизации модуля установки “Гамма” // *Сб. докл. 4-й Науч.-техн. конф. “Молодежь в науке”*, Саров, 1–3 нояб. 2006 г. Саров: Всерос. науч.-исслед. ин-т эксперим. физики, 2006. С. 247–251.
4. **Глушков С. Л., Козачек А. В., Пучагин С. Ю., Страбыкин К. В.** Коммутаторы мощного импульсного ускорителя электронов // *Сб. докл. 8-й Межотрасл. конф. по радиационной стойкости*, Саров, 16–19 окт. 2007 г. Саров: Всерос. науч.-исслед. ин-т эксперим. физики, 2008. С. 247–251.
5. **Gordeev V. S., Zavyalov N. V., Grishin A. V., et al.** Marx generator GIN-1000 with 1 MV output voltage and 80 kJ energy stored // *Proc. of the 15th Intern. conf. on high power particle beams (BEAMS-2004)*, St. Petersburg (Russia), July 18–23, 2004. S.-Petersburg: S.-Petersburg D. V. Efremov Inst., 2005. P. 327–329.
6. **Pavlovskii A. I., Tananakin V. A., Grishin A. V., et al.** LIA-30 synchronization system // *Proc. of the 9th IEEE Intern. pulsed power conf.*, Albuquerque, New Mexico (Mexico), June 21–23, 1993. S. l.: IEEE, 1993. P. 913–915.

Поступила в редакцию 22/XII 2014 г.