

## ПРОЕКТ СИСТЕМЫ СИНХРОНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ «ГАММА-4»

*А. В. Гришин, С. Т. Назаренко, А. В. Козачек, Д. А. Калашиников, 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*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»,  
пр. Мира 37, Саров, Нижегородская область, 607188, Россия

В РФЯЦ-ВНИИЭФ создаётся четырёхмодульная электрофизическая установка «Гамма-4». Одной из важнейших задач при создании многомодульной установки является обеспечение включения отдельных модулей установки по заданным условиям эксперимента временной программе с точностью в несколько наносекунд. На основе технических решений, проверенных при эксплуатации первого модуля установки – ускорителя «Гамма-1», разработан проект системы синхронизации установки «Гамма-4», которая должна обеспечить включение с точностью не хуже  $\pm 3$  нс высоковольтных газонаполненных разрядников тригatronного типа формирующих систем модулей (144 разрядника на рабочее напряжение 1 МВ), предимпульсных коммутаторов модулей (24 разрядника на рабочее напряжение 3 МВ) и восьми генераторов импульсных напряжений Аркадьева – Маркса (40 разрядников на рабочее напряжение 100 кВ).

### Введение

В РФЯЦ-ВНИИЭФ с целью проведения радиационных исследований и испытаний создаётся четырёхмодульная электрофизическая установка «Гамма-4» [1]. Установку предполагается использовать в двух режимах работы. Первый – режим генерации импульсов тормозного излучения с граничной энергией квантов до 2 МэВ при работе модулей на отдельные сильноточные электронные вакуумные диоды или на один общий диод. Второй – режим генерации импульсов мягкого рентгеновского излучения при работе установки на плазменную нагрузку. Модульная конструкция установки позволит генерировать импульсы различной формы за счёт варьирования режимов включения модулей от одновременного до последовательного.

Для работы многомодульных установок требуется наносекундная точность включения модулей. Коммутаторы типовых модулей установки «Гамма-4» образованы высоковольтными газонаполненными разрядниками, управляемыми импульсами высокого напряжения. Формирование этих управляющих импульсов должна обеспечить система синхронизации установки.

К настоящему времени изготовлен и экспериментально отработан первый модуль установки «Гамма-4» – ускоритель «Гамма-1» [2], в 700 включениях которого подтверждены его расчёт-

ные выходные параметры и надёжность в работе. Внешний вид ускорителя «Гамма-1» с системой передачи энергии, включающей в себя магнитоизолированную передающую линию, представлен на рис. 1.

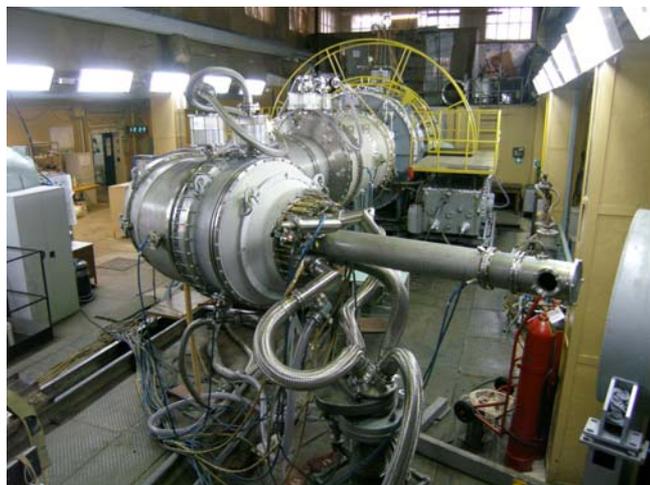


Рис. 1. Внешний вид ускорителя «Гамма-1»

Для ускорителя «Гамма-1» была создана высоковольтная система синхронизации [3], предназначенная для включения с наносекундной точностью по заданной временной программе 36-ти разрядников на рабочее напряжение 1 МВ формирующей системы и 6-ти разрядников на 3 МВ предимпульсного коммутатора [4]. Также система синхронизации обеспечивает запуск 10-ти разрядников

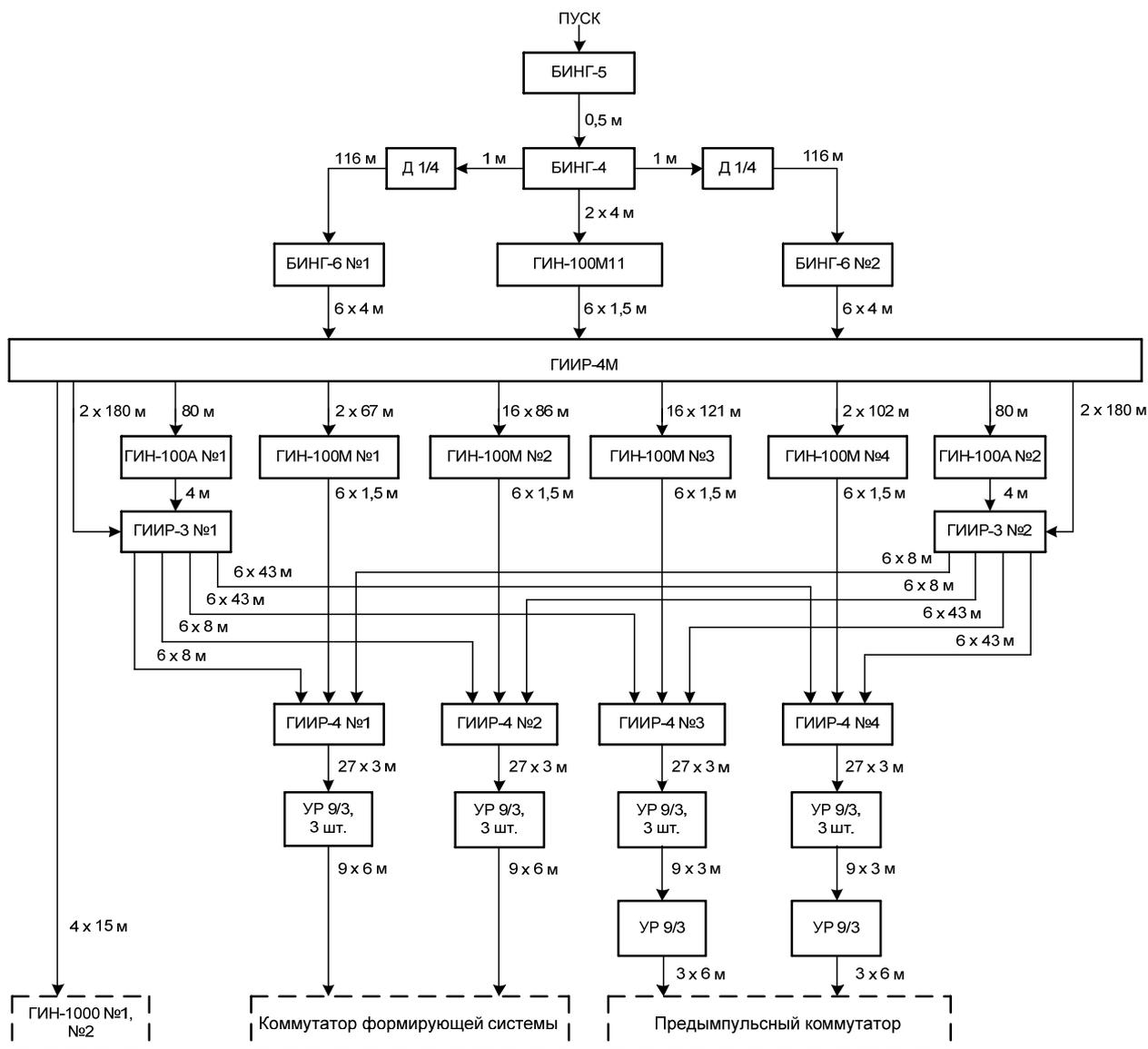


Рис. 2. Структурная схема системы синхронизации ускорителя «Гамма-1»

на 100 кВ в первых пяти каскадах двух генераторов Маркса ГИН-1000 [5], заряжающих водоизолированную двойную ступенчатую формирующую линию ускорителя. Система синхронизации ускорителя «Гамма-1» состоит из генераторов ГИН-100 (А, М, М11), ГИИР-3, ГИИР-4, БИНГ-4, БИНГ-5 и БИНГ-6, основные технические характеристики которых приведены в [6]. Соединения выполнены высоковольтными коаксиальными кабелями. Структурная схема системы синхронизации ускорителя «Гамма-1» представлена на рис. 2.

### Проект системы синхронизации установки «Гамма-4»

Эксплуатация системы синхронизации ускорителя «Гамма-1» с 2006 года по настоящее время

продемонстрировала надёжную работу системы и на её основе был разработан проект системы синхронизации установки «Гамма-4», структурная схема которой представлена на рис. 3.

Общее число генераторов ГИИР-4 в разработанной схеме увеличилось по сравнению с системой синхронизации ускорителя «Гамма-1» до 16: по 2 пары на каждый модуль. Для запуска увеличившегося числа генераторов ГИИР-4 в схему добавлены генераторы ГИИР-4М № 2 и № 3 и генераторы ГИН-100М11 № 2 и № 3 для зарядки последних.

Порядок работы системы синхронизации следующий. После подготовки ускорителя к работе синхронно, в течение 1 минуты производится зарядка конденсаторов двух генераторов ГИН-100А, шестнадцати генераторов ГИН-100М, трёх генера-

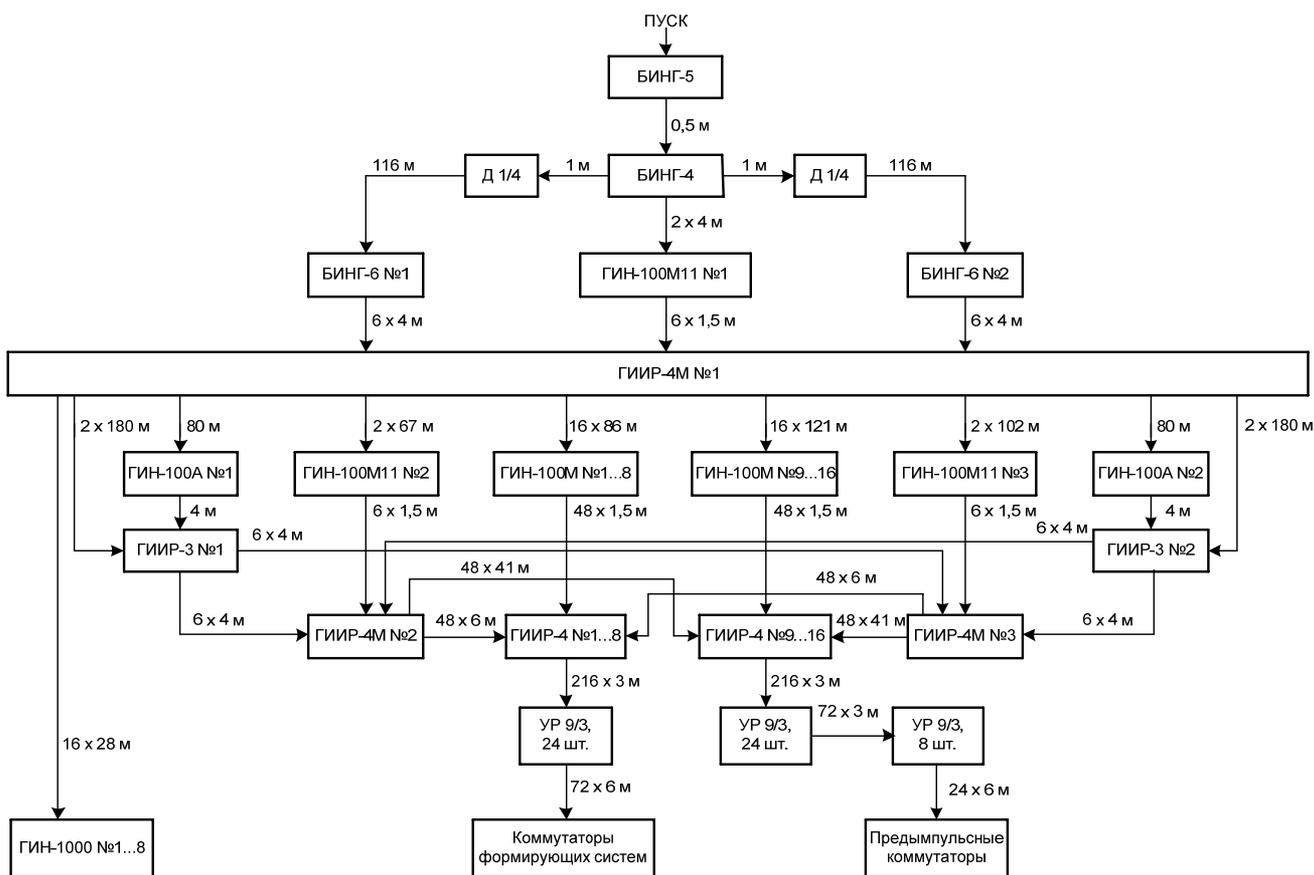


Рис. 3. Структурная схема системы синхронизации установки «Гамма-4»

торов ГИН-100М11, а также восьми генераторов ГИН-1000. После окончания зарядки этих генераторов производится запуск генератора БИНГ-5, который в свою очередь инициирует запуск генератора БИНГ-4. Последний производит запуск генератора ГИН-100М11 № 1 и, через делители напряжения Д1/4 и кабельные линии задержки, генераторов БИНГ-6 № 1 и № 2. Генератор ГИН-100М11 № 1 заряжает водоизолированную формирующую линию генератора ГИИР-4М № 1. В максимуме зарядного напряжения формирующей линии на многоканальный разрядник генератора ГИИР-4М № 1 поступают управляющие импульсы от генераторов БИНГ-6 № 1 и № 2. Генератор ГИИР-4М № 1 формирует управляющие импульсы для всех генераторов ГИН-1000 и через кабельные линии задержки соответствующих длин для всех генераторов ГИН-100А, ГИН-100М, ГИИР-3 и генераторов ГИН-100 М11 № 2 и № 3. Генераторы ГИН-100А, ГИН-100М и ГИН-100М11 заряжают водоизолированные формирующие линии генераторов ГИИР-3, ГИИР-4 и ГИИР-4М соответственно. В максимуме зарядного напряжения на разрядники генераторов ГИИР-3 поступают импульсы запуска от генератора ГИИР-4М № 1. В свою

очередь выходные импульсы напряжения генераторов ГИИР-3 запускают генераторы ГИИР-4М № 2 и № 3, а выходные импульсы последних – генераторы ГИИР-4. Для повышения надёжности работы системы синхронизации на многоканальные разрядники каждого из двух генераторов ГИИР-4М поступают управляющие импульсы от обоих генераторов ГИИР-3, а на разрядники каждого генератора ГИИР-4 – управляющие импульсы от ГИИР-4М № 2 и № 3. Импульсы напряжения, формируемые генераторами ГИИР-4 с № 1 по № 8, служат для запуска разрядников на 1 МВ формирующих систем типовых модулей, а импульсы, формируемые генераторами ГИИР-4 с № 9 по № 16, – для запуска разрядников предимпульсных коммутаторов.

Для повышения амплитуды импульсов запуска разрядников использованы повышающие трансформаторы на основе высоковольтных импульсных кабелей КВИ-300. Трансформаторы представляют собой узлы разводки, передающие импульс напряжения с 9-ти на 3 кабеля с увеличением амплитуды импульса напряжения в 1,5 раза. В цепи запуска разрядников предимпульсных коммутаторов повышение напряжения происходит

2 раза последовательно. Разводка кабельных линий от трансформаторов к разрядникам формирующих систем, объединённым относительно запуска попарно, и к разрядникам предимпульсных коммутаторов выполнена таким образом, что любые две соседние пары разрядников формирующей системы и любые два соседних разрядника предимпульсного коммутатора получают управляющие импульсы от разных генераторов ГИИР-4.

Для наладки и контроля функционирования системы синхронизации в её составе предусмотрены измерительные датчики: ёмкостные делители напряжения, встроенные в формирующие линии генераторов, для контроля зарядки линий и токовые шунты, устанавливаемые в разрывы оплёток коаксиальных кабелей, для измерения амплитуд и форм формируемых импульсов. Сигналы с датчиков регистрируются цифровыми осциллографами. На рис. 4 для примера приведены осциллограммы выходных импульсов генераторов ГИИР-4, работающих в составе системы синхронизации ускорителя «Гамма-1». Задержка включения генераторов ГИИР-4 № 3 и № 4 относительно ГИИР-4 № 1 и № 2 определяется разницей длин кабельных линий задержки между генераторами ГИИР-3 и ГИИР-4 (см. рис. 2) и зависит от требуемого режима работы ускорителя.

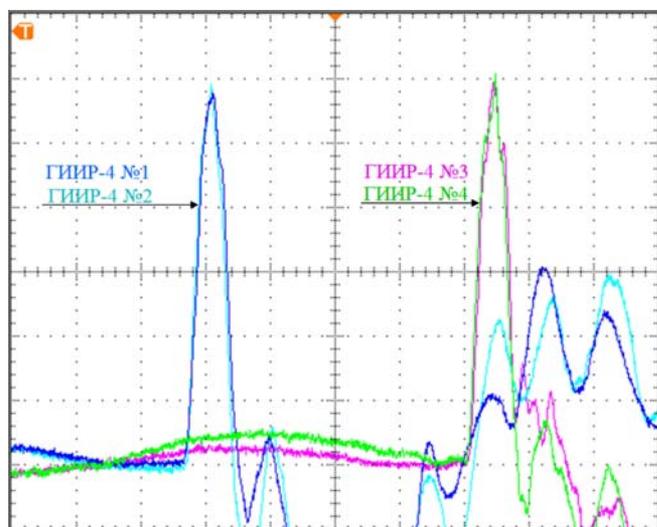


Рис. 4. Осциллограммы выходных импульсов генераторов ГИИР-4. Масштаб времени – 40 нс/дел

### Заключение

Для первого модуля установки «Гамма-4» – ускорителя «Гамма-1» создана и успешно экс-

плуатируется высоковольтная система синхронизации, обеспечивающая включение с точностью  $\pm 3$  нс по заданной временной программе 36-ти разрядников на 1 МВ формирующей системы и 6-ти разрядников на 3 МВ предимпульсного коммутатора.

Для создаваемой четырёхмодульной установки «Гамма-4» разработан проект высоковольтной системы синхронизации, которая обеспечит включение с наносекундной точностью 168 управляемых газонаполненных разрядников по заданной временной программе.

### Список литературы

1. Gordeev V. S., Myskov G. A., Mikhailov E. S., Laptev D. V. Design of a High-Current Pulse Electron Accelerator. Problems of Atomic Science and Technology. Series «Nuclear Physics Investigations» (34). 1999. № 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. XII научные Харитоновские чтения по проблемам физики высоких плотностей энергии 19–23 апреля 2010 г. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2010. С. 49–54.

3. Гришин А. В., Калинычев А. Е., Ломтев С. С. Высоковольтная система синхронизации модуля установки «Гамма» // Сборник докладов IV научно-технической конференции «Молодежь в науке». Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2006. С. 247–251.

4. Глушков С. Л., Козачек А. В., Пучагин С. Ю., Страбыкин К. В. Коммутаторы мощного импульсного ускорителя электронов. // VIII Междотраслевая конференция по радиационной стойкости, Саров, 16-19 октября 2007 г. Сборник докладов Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 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 // 15-th International Conference on High Power Particle Beams, BEAMS-2004, St. Petersburg, Russia, July 18-23, 2004. P. 327–329.

6. Pavlovskii A. I., Tananakin V. A., Grishin A. V. et al. LIA-30 synchronization system. // 9-th IEEE International Pulsed Power Conference, Albuquerque, New Mexico, 1993. P. 913–915.