

# Система управления стендом генератора подавления начальных бетатронных колебаний пучка I ступени УНК

Н.И.Лебедев, А.Г.Лихачев, Н.А.Малахов, Н.В.Пиляр, Т.В.Рукояткина  
*Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия*

В ОИЯИ (г. Дубна) совместно с ИФВЭ (г. Протвино) предложена и разработана система подавления начальных бетатронных колебаний пучка I ступени УНК [1, 2]. Коррекция ошибок инжекции осуществляется ударными магнитами, разработанными в ИФВЭ. Амплитуда импульса тока в обмотках магнита до  $I_0=500$  А длительностью 5 мкс. Точность и минимальный шаг установки амплитуды импульса не хуже 3%  $I_0$ . Воздействие на пучок происходит серией из 10 импульсов с частотой в серии 7 кГц, что соответствует двум оборотам пучка УНК, частота следований серий –0,14 Гц.

Формирование импульсов тока ударного магнита производится специализированным мощным высоковольтным импульсным генератором [3], выполненным на базе длинной формирующей линии и зарядно–разрядных тиратронных коммутаторов. Регулировка амплитуды тока нагрузки осуществляется относительным изменением времени включения разрядного коммутатора к моменту срабатывания коммутатора нагрузки.

Для исследования характеристик мощного высоковольтного импульсного генератора и моделирования режимов работы системы подавления пучка при вводе в I ступень УНК разработана электронная аппаратура и программное обеспечение управления исследовательским стендом.

## 1. Электронная аппаратура и программное обеспечение

Электронная аппаратура выполнена в стандарте КАМАК и включает в себя:

- аппаратуру синхронизации, обеспечивающую запуск тиратронных коммутаторов и измерительной аппаратуры в заданной временной последовательности;
- интерполятор — модуль преобразования кода во временной интервал;
- аппаратуру измерения амплитудно-временных характеристик импульса тока магнита коррекции.

Структурная схема системы управления исследовательским стендом представлена на рис. 1.

Общую синхронизацию электронной аппаратуры управления высоковольтного стенда осуществляют блоки режима и синхронизации (БС), задающие временную последовательность работы канала инжекции УНК. Цифровые восьмиканальные программируемые задержки БЗН-8К использованы для задания временной диаграммы срабатывания технологического оборудования генератора и электронных модулей диагностики. Диапазон регулировок каждого канала блока задержек до 10 мс, минимальный шаг 100 нс, джиттер между каналами не более 1 нс.

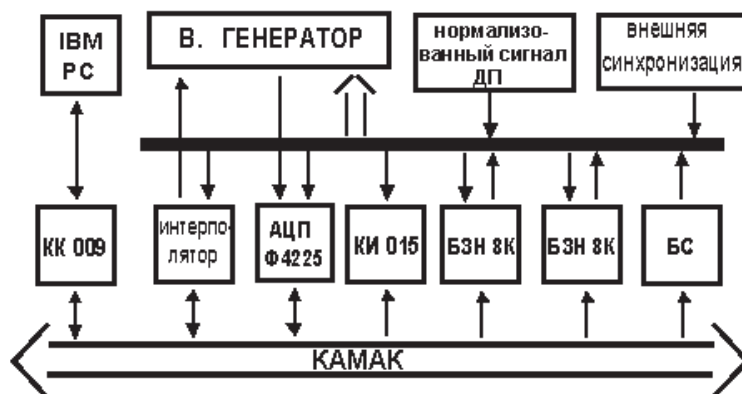


Рис. 1: Структурная схема.

Ключевым регулирующим элементом системы управления высоковольтного генератора (ВГ) является интерполятор, который состоит из специализированного двухпортового модуля памяти и цифрового таймера. Модуль осуществляет преобразование “код – время” в соответствии с загружаемой таблицей. При программировании интерполятора учитывается нелинейная зависимость остаточного напряжения на формирующей линии генератора, полярность включаемой силовой системы ударного магнита, а также изменение зарядного напряжения на формирующей линии в течение серии из 10 циклов. Интерполятор представляет собой двумерную матрицу преобразования, где первым элементом адреса является нормализованный сигнал датчика положения пучка, а вторым — номер зависимости, соответствующий состоянию формирующей линии в каждой из циклов серии.

Аппаратура измерения амплитудно–временных характеристик импульсов тока магнита коррекции включает в себя набор быстрых амплитудно–цифровых преобразователей с памятью типа ФК4225, ФК4226 и параллельный регистр КИ 015. АЦП обеспечивают измерение амплитуд зарядного напряжения, тока ударного магнита, а также форму сигнала тока в обмотке. Параллельный регистр КИ 015 позволяет имитировать цифровой код ошибки инжекции от головной электроники, определяющий амплитуду и полярность импульса тока ударного магнита. Управление крейтом электроники производится ИВМ РС/АТ–386 в режиме реального времени. Результаты измерений в паузе между сериями отображаются на экране монитора и сохраняются для дальнейшей обработки. Программы управления стендом, сортировки разрядных кривых и их обработки созданы на языках Си и Паскаль.

## 2. Измерение основных характеристик высоковольтного генератора (ВГ)

Принцип действия высоковольтного генератора основан на преобразовании “время–амплитуда” в соответствии с разрядом формирующей линии, которую, с некоторым приближением можно считать сосредоточенной емкостью. Зависимость остаточного напряжения (а, соответственно, и амплитуды импульса ударного магнита) от времени нелинейна. Некоторые ее отклонения от экспоненциального вида (за счет переходных процессов) превышают допустимую погрешность, однако их характер и форма стабильны во времени и точно воспроизводятся от цикла к циклу. Первым этапом настройки высоковольтного генератора является определение реальных

амплитудно–временных характеристик. На рис. 2 представлены разрядные (10 импульсов в серии) характеристики генератора в рабочем диапазоне изменения времени включения разрядного тиратрона.

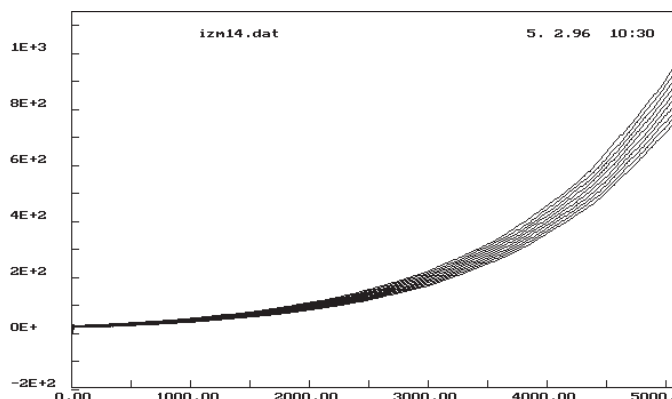


Рис. 2: Разрядная характеристика генератора.

Различие амплитуд импульса тока магнита при равном времени включения коммутаторов вызвано уменьшением зарядного напряжения на линии в серии.

Методом наименьших квадратов производилось сглаживание каждой из экспериментальных кривых. Для каждой из сглаженных кривых пересчитывалась обратная зависимость времени включения коммутатора и по результатам обработки формировалась матрица данных для загрузки в модуль интерполятора.

На рис. 3 представлены разрядные (10 импульсов в серии) характеристики генератора с включенным интерполятором, который произвел коррекцию времени включения коммутатора разряда и устранил нелинейность и уменьшение зарядного напряжения в серии.

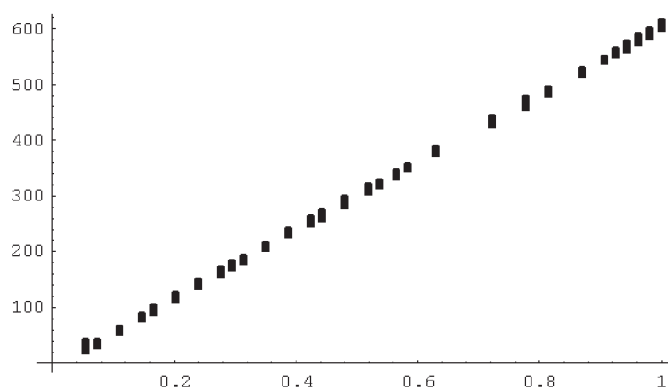


Рис. 3: Зависимость тока в магните от нормализованного значения сигнала ошибки на входе интерполятора.

В полномасштабных стендовых испытаниях нормализованные показания датчиков положения пучка имитировались генератором случайных чисел и через регистр ввода–вывода КИ–015 код ошибки подавался на вход интерполятора. Зависимость амплитуды тока в магните от значения сигнала на входе интерполятора представлена на рис. 4.

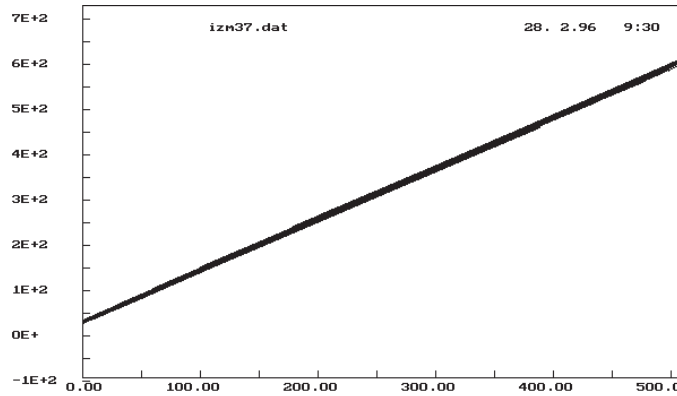


Рис. 4: Разрядная характеристика генератора с включенным интерполятором.

Как показали испытания, разброс откликов системы не превысил 1,5% по отношению к максимальной амплитуде тока в магните. Кроме того, разработанная электронная аппаратура и программное обеспечение позволяют формировать и другие (отличные от прямой) передаточные характеристики высоковольтного генератора.

#### Список литературы

- [1] В.М. Жабицкий и др. Моделирование системы однооборотного подавления начальных бетатронных колебаний пучка I ступени УНК. ОИЯИ, Р9-90-548, Дубна, 1990.
- [2] E.M.Gleibman et. al. System for initial betatron oscillations damping for UNK I stage beam. NIM (в печати).
- [3] В.М. Жабицкий и др. Импульсный генератор ударного магнита для однооборотной системы подавления начальных колебаний пучка I ступени УНК. ОИЯИ, Р9-89-831, Дубна, 1989.