

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ МЕТОДОМ КОРРЕЛЯЦИИ НА ПРИМЕРЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИНФЛЕКТОРОВ НАКОПИТЕЛЯ-ОХЛАДИТЕЛЯ ИНЖЕКЦИОННОГО КОМПЛЕКСА ВЭПП-5

В. Балакин^{а, 1}, Д. Беркаев^б, Ф. Еманов^а, С. Васильев^б, Д. Болховитянов^б

^аНовосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

^бИнститут ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия

После переключения коллайдеров ВЭПП-2000 и ВЭПП-4М на снабжение пучками от инжекционного комплекса ВЭПП-5 возникла задача обеспечения стабильности работы инфлекторов накопителя-охладителя. Для изучения временных и амплитудных отклонений импульсов генераторов инфлекторов создано программное обеспечение на основе методов корреляционного анализа. Это позволило регистрировать временные отклонения в 1 нс для импульсов инфлекторов, оцифрованных при помощи АЦП с частотой дискретизации 200 МГц. В результате долговременных наблюдений обнаружена зависимость времени срабатывания генераторов от напряжения сети.

After switching the VEPP-2000 and VEPP-4M colliders to supply beams from the VEPP-5 injection complex, the problem arose to ensure the operation stability of the damping ring inflectors. In order to observe inflector generators amplitude and delay deviations software set based on correlation analysis was developed. This allowed us to observe delay deviations about 1 ns for inflector signals using ADC with 200 MHz sampling frequency. Moreover, we discovered AC line voltage influences on inflector delay deviation as a result of long term observations.

PACS: 07.05.Hd; 07.05.Kf

ВВЕДЕНИЕ

Инжекционный комплекс ВЭПП-5 (ИК) [1] предназначен для накопления, охлаждения и транспортировки пучков электронов и позитронов для двух действующих коллайдеров ИЯФ СО РАН: ВЭПП-2000 [2] и ВЭПП-4 [5]. В состав ИК входят электронная пушка, электронный линейный ускоритель, конверсионная система, позитронный линейный ускоритель, кольцо накопителя-охладителя и транспортный канал К-500.

В накопителе-охладителе применена однооборотная инжекция с предударом, поэтому для каждого заряда частиц установлена пара инфлекторов [6]. Импульсы генератора инфлектора (далее — генератора) приведены на рис. 1.

¹E-mail: balakinvitaly@gmail.com

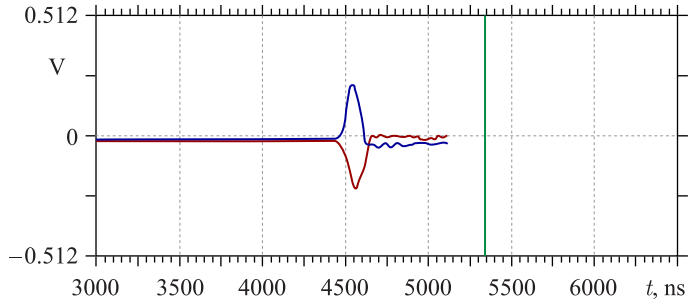


Рис. 1. Импульсы генераторов инфлекторов

В связи с недостаточной частотой дискретизации задействованных в настоящее время АЦП (200 МГц) рассматривается возможность перехода к 1 ГГц. Тем не менее в существующих обстоятельствах предпринята попытка цифровой обработки сигналов инфлекторов с целью определения временного сдвига импульсов и поиска его причин.

АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

При настройке впуска/выпуска подбираются задержки, соответствующие наилучшему впуску и выпуску. Так как аналитического выражения для формы импульса нет, импульсы генераторов сразу после настройки считаются «хорошими» и запоминаются для последующего сравнения с вновь измеренными. Так как форма импульсов генераторов достаточно простая и хорошо повторяется от импульса к импульсу, для нахождения временного сдвига между двумя импульсами необходимо найти сдвиг, который максимизирует корреляционную функцию этих сигналов. Для более точного нахождения задержки необходимы сдвиги меньше интервала дискретизации (5 нс), в этом случае применяется интерполяция кубическим сплайном. Для определения наилучшего шага по времени при поиске максимума корреляционной функции проводился поиск сдвига записанного сигнала относительно его искусственно зашумленного на 1–5 % вариантом, смещенным на 21,22 нс. В результате выяснилось, что наилучший результат дает шаг сдвига 0,25 нс, при этом временное разрешение сдвига около 1 нс.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

В поле отображения данных (рис. 2) присутствуют сохраненный в памяти и измеренный сигналы генераторов. Также строится гистограмма по результатам последних 100 запусков генератора с вычислением среднеквадратичного отклонения.

Данное программное обеспечение использовалось для анализа факта зависимости параметров импульса генератора инфлекторов от напряжения сети. Для этого в базу данных были записаны суточные колебания напряжения сети и отклонения импульсов генераторов (рис. 3).

На рис. 3 хорошо видна антикорреляция исходных данных. При отсутствии стабилизации накала тиратрона генераторов инфлекторов при суточном изменении напряжения

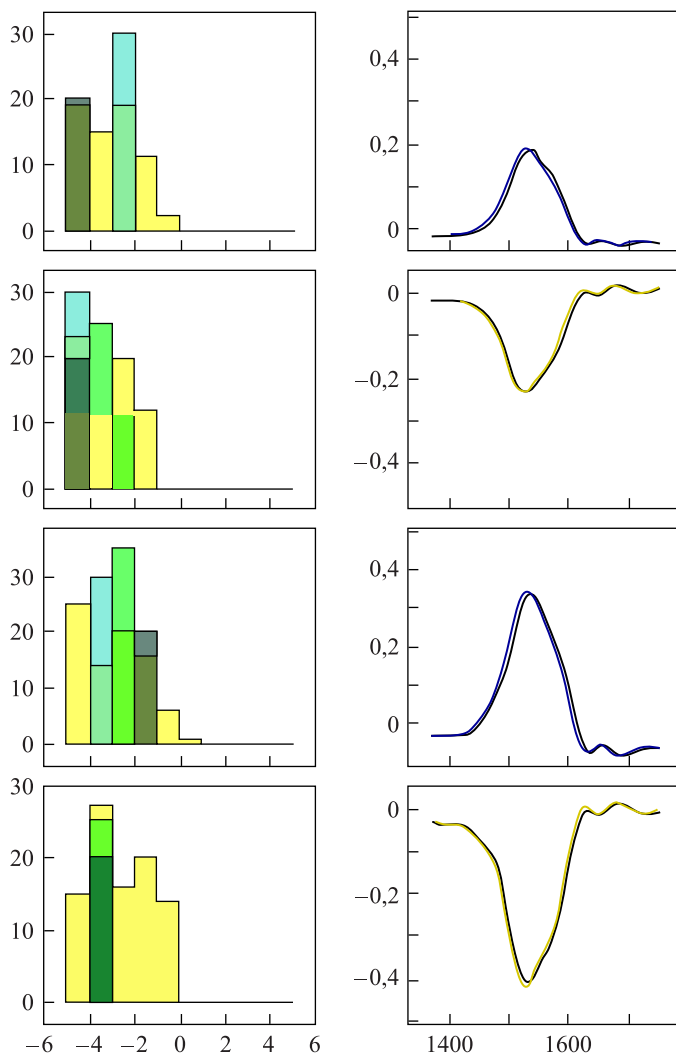


Рис. 2. Отображение результатов анализа

сети на 8 В происходило изменение времени срабатывания генераторов от 4 до 8 нс, со стабилизацией это время уменьшалось до 1,4 нс.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создано программное обеспечение для обработки сигналов генераторов инфлекторов, позволяющее вести оперативное и долговременное наблюдение за изменением задержки срабатывания инфлекторов с точностью до нескольких наносекунд. С его помощью проанализирована связь между временем срабатывания генераторов инфлекторов и напряжением сети, а также выявлены характерные времена изменений времени за-

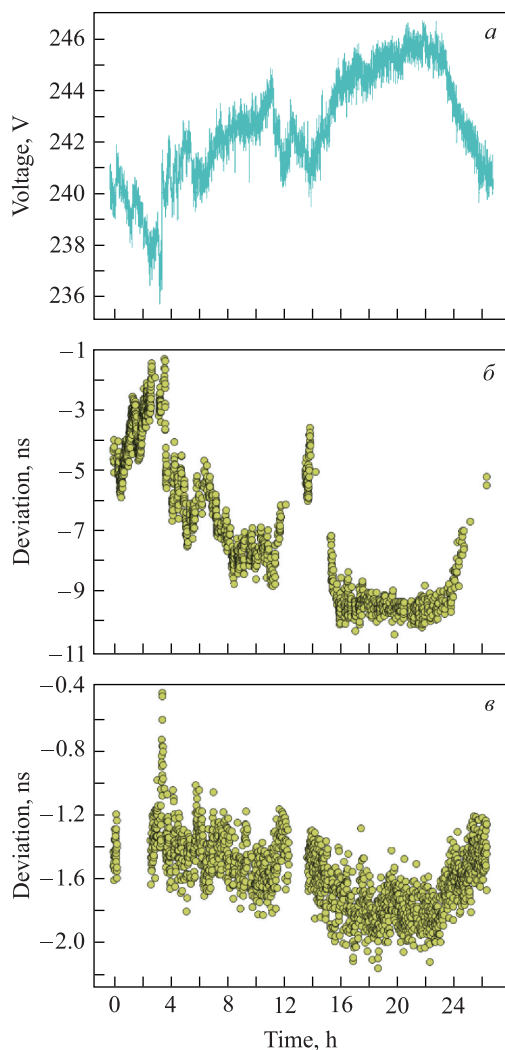


Рис. 3. Результаты исследования суточного поведения: напряжения сети (а); отклонения по времени срабатывания генератора инфлектора без стабилизации накала тиратрона (б) и со стабилизацией накала тиратрона (в)

пуска тиратрона. В настоящее время планируется построение системы обратной связи с целью стабилизации времен срабатывания генераторов инфлекторов на базе данного программного обеспечения.

Благодарности. Авторы выражают благодарность А. Фролову, А. Бутакову, а также всей команде инжекционного комплекса ВЭПП-5 за неоценимую помощь при разработке данного проекта. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-50-00080) с использованием уникальной научной установки «Комплекс ВЭПП-4 – ВЭПП-2000», получившей финансовую поддержку государства в лице Минобрнауки России (уникальный идентификатор проекта RFMEFI61917X0008).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Berkaev D., Andrianov A., Astrelina K., Balakin V., Batrakov A., Belikov O., Blinov M., Bolkhovityanov D., Butakov A., Bykov E., Dikansky N., Emanov F., Frolov A., Gambaryan V., Gorchakov K., Gusev E., Karnaev S., Karpov G., Kasaev A., Kenzbulatov E., Kiselev V., Klushev S., Kondakov A., Koop I., Korenev I., Kot N., Kozak V., Krasnov A., Krutikhin S., Kuptsov I., Kurkin G., Lebedev N., Levichev A., Logatchov P., Maltseva Yu., Mikailov A., Murasev A., Muslivets V., Nikiforov D., Novikov An., Ottmar A., Pavlenco A., Pivovarov I., Rashchenko V., Rogovsky Yu., Samoilov S., Sazonov N., Semenov A., Shwartz D., Skrinsky A., Starostenko A., Starostenko D., Tribendis A., Tsyganov A., Vasichev S., Vasiliev S., Yudin V., Zemlyansky I., Zhuravlev A. VEPP-5 Injection Complex: Two Colliders Operation Experience // Proc. of IPAC'17, Copenhagen, 2017. P. 2989–2991.
2. Shatunov P., Belikov O., Berkaev D., Gorchakov K., Kasaev A., Kirpotin A., Koop I., Krasnov A., Lysenko A., Motygin S., Prosvetov V., Rabusov D., Semenov A., Shatunov Yu., Timoshenko M., Zemlyansky I., Zharinov Yu., Shwartz D., Perevedentsev E., Rogovsky Yu., Senchenko A. High Luminosity at VEPP-2000 Collider with New Injector // Ibid.
3. Levichev E. B. Status and Upgrade of the VEPP-4 Storage-Ring Facility // Phys. Part. Nucl. Lett. 2016. V. 13, No. 7. P. 876–883.
4. Piminova P. A., Baranov G. N., Bogomyagkov A. V., Berkaev D. E., Borin V. M., Dorokhov V. L., Karnaev S. E., Kiselev V. A., Levichev E. B., Meshkov O. I., Mishnev S. I., Nikitin S. A., Nikolaev I. B., Sinyatkin S. V., Vobly P. D., Zolotarev K. V., Zhuravlev A. N. Synchrotron Radiation Research and Application at VEPP-4 // Phys. Procedia. 2016. V. 84. P. 19–26.
5. Piminov P. A. Status of the Electron–Positron Collider VEPP-4 // Proc. of IPAC'17, Copenhagen, 2017. P. 2985–2988.
6. Grishanov B. I., Butakov A. I., Podgorny F. V. Injection and Extraction at Damping Ring of an Electron–Positron Injection Complex VEPP-5 // Proc. of PAC'2001, Chicago, USA, 2001. P. 1496–1498.