

МЕТОД УВЕЛИЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ МИНИМАЛЬНО ИОНИЗИРУЮЩИХ ЧАСТИЦ ДЕТЕКТОРАМИ НА МКП

*Ф. Ф. Валиев^{1,*}, Н. И. Калиниченко¹, А. Кожедуб¹,
Н. А. Макаров¹, В. Н. Попов¹, Г. А. Феофилов¹*

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Предложен и протестирован метод повышения эффективности регистрации минимально ионизирующих частиц с одновременным уменьшением на несколько порядков фона детектирующего устройства за счет уменьшения порогов регистрации и введения схемы совпадения.

For a device composed of two sequentially mounted MCP detector setups, we propose to increase the efficiency of registration of minimally ionizing particles by reducing the registration thresholds along with the application of the coincidence circuit for the signals. We report results of tests of this detecting device that show that a simultaneous reduction of the background noise by several orders of magnitude is also achieved.

PACS: 29.40.—n

ВВЕДЕНИЕ

Для изучения ион-ионных взаимодействий в коллайдерных экспериментах с участием минимально ионизирующих частиц требуются высокоэффективные быстрые детекторы с низким уровнем шума, способные обеспечить пособытийную регистрацию частиц. Ранее в работе [1] была предложена система быстрого мониторингирования событий ядро-ядерных столкновений в экспериментах на коллайдере NICA с помощью монитора FBBC (Fast Beam-Beam Collisions monitor), функциями которого являются контроль интенсивности столкновений и возможность определения в каждом событии точки взаимодействия ионов [1, 2], прицельного параметра [3], учет взаимодействия ионов пучка с остаточным газом и режектирование наложений (pile-up) событий. Монитор FBBC использует концепцию регистрации в каждом событии времени пролета и углового распределения частиц путем использования многоанодной и быстрой системы [4] считывания сигналов, поступающих с детекторов на микроканальных пластинах (МКП).

* E-mail: valiev07@list.ru

Эффективность регистрации минимально ионизирующих частиц детектором на МКП обычно не превышает 80 % при фоне $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, что связано с вводимым порогом электроники с целью подавления фоновых сигналов. В настоящей работе мы предлагаем и тестируем для МКП метод увеличения эффективности регистрации минимально ионизирующего излучения при одновременном существенном снижении собственного фона устройства. Суть метода состоит в том, что для регистрации минимально ионизирующих частиц используется телескоп из двух сборок МКП-детекторов. На первом этапе, с целью увеличения эффективности регистрации, мы уменьшаем пороги регистрации сигналов в компараторах и тем самым создаем условия для фиксации минимально ионизирующих частиц, для которых импульсы от МКП имеют малые амплитуды. При этом, естественно, для каждого канала регистрации ухудшается соотношение сигнал/шум. На следующем этапе импульсы с компараторов подаются на наносекундную схему совпадений с разрешающим временем $\tau = 50$ нс. Так как шумы МКП-детекторов телескопа некоррелированы, они подавляются схемой совпадения (при интенсивности шумов детекторов N_1 и N_2 уровень случайных совпадений $N_{\text{сл}} = 2\tau N_1 N_2$). Таким образом, в новом устройстве телескопа из двух МКП-детекторов снижение порогов срабатывания компараторов приводит к увеличению эффективности регистрации минимально ионизирующих частиц, при этом одновременное увеличение собственных шумов в отдельных каналах детектирования существенным образом нивелируется схемой совпадений.

В следующем разделе представлена блок-схема устройства с низким фоном для регистрации минимально ионизирующих заряженных частиц и приводятся результаты проверки эффективности при регистрации космических мюонов. В заключении сформулированы краткие выводы.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА РЕАЛИЗУЕМОСТИ МЕТОДА

Проверка метода проводилась с использованием двух детекторов на МКП и наносекундной схемы совпадений. Блок-схема устройства с низким фоном для регистрации минимально ионизирующих заряженных частиц представлена на рис. 1. Короткие (~ 2 нс) сигналы с МКП-детекторов, сформированные на соответствующих анодах, подаются по согласованным линиям передачи (6–9) на входы пороговых компараторов с высоким быстродействием (микросхема ADCMP604BKSZ-R2). Отметим, что помимо анодов (3, 5) мы используем нижние поверхности шевронных сборок МКП (см. рис. 1), с которых сигналы обратной полярности передаются на входы компараторов по линиям (6 и 9). На компараторы также подаются отдельно и дифференциальные сигналы смещения порогов, формируемые двумя каналами цифро-аналогового преобразователя (на блок-схеме не показаны). В качестве среды передачи используется кабель SATA, что позволяет передавать сигналы с двух детекторов

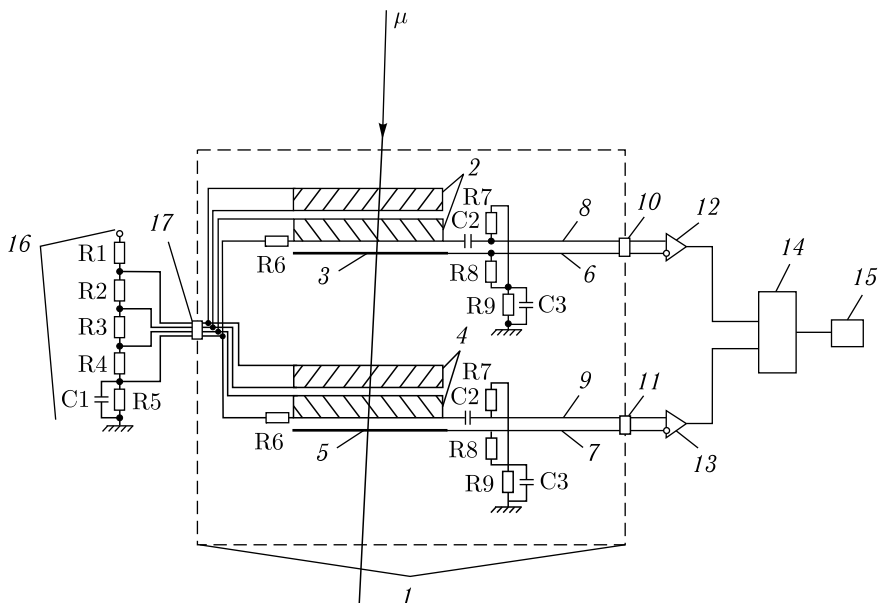


Рис. 1. Блок-схема устройства с низким фоном для обнаружения минимально ионизирующих заряженных частиц: 1 — вакуумный корпус; 2 — верхняя сборка МКП; 3 — анод верхней сборки; 4 — нижняя сборка МКП; 5 — анод нижней сборки; 6 и 7 — линии передачи сигналов с анодов МКП; 8 и 9 — линии передачи сигналов с нижних поверхностей МКП-сборок; 10 и 11 — вакуумные разъемы; 12 и 13 — быстродействующие компараторы; 14 — схема наносекундных совпадений; 15 — блок записи; 16 — высоковольтный делитель; 17 — вакуумный разъем

в рамках одного шлейфа. Дополнительное применение стандарта LVDS дает нечувствительность к синфазным наводкам и малые потери в линии. Дифференциальные приемники в составе FPGA преобразуют сигнал для дальнейшей обработки — нормировки по длительности и формирования сигналов совпадения.

Схема проверки устройства с низким фоном для регистрации минимально ионизирующих заряженных частиц с помощью космических мюонов представлена на рис. 2. Для проверки эффективности устройства из двухборок МКП и схемы совпадений используются две дополнительные аналогичные сборки. Таким образом, если обозначить условно эти последовательно расположенные на пути мюонов детекторы как D1, D2, D3, D4, то в случае прохождения мюона через детекторы D1 и D4 он проходит и через детекторы D2 и D3. Соотношение N_{1234}/N_{14} , где N_{1234} и N_{14} — число событий-совпадений с блоков совпадений 1, 2, 3, 4 и 1, 4 (см. рис. 2) соответственно, позволяет оценить эффективность устройства при регистрации космических мюонов. Четыре канала счета отвечают за регистрацию событий — счетных или совпадений в со-

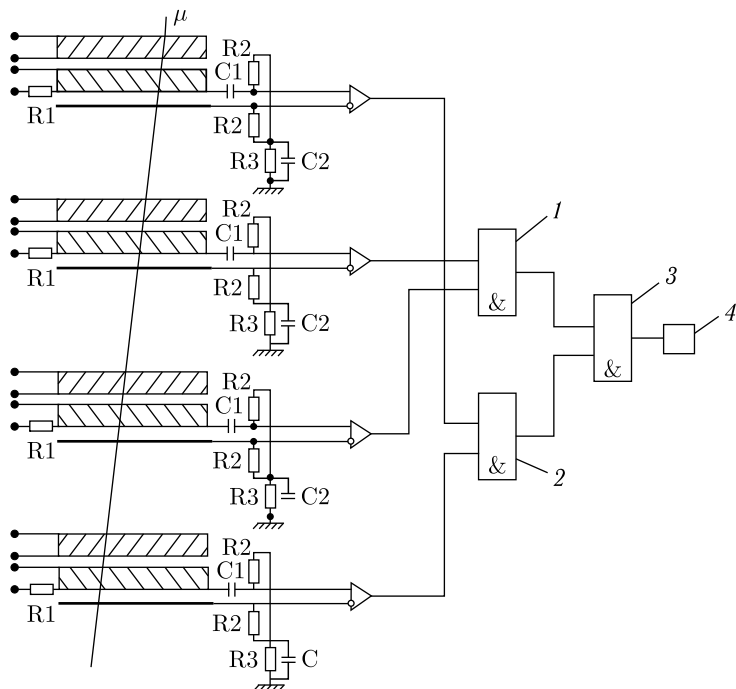


Рис. 2. Блок-схема проверки устройства с низким фоном для регистрации минимально ионизирующих заряженных частиц с помощью космических мюонов: 1, 2 и 3 — наносекундные схемы совпадений; 4 — блок записи

ответствии с установленным режимом. Режим регистрации сигналов одинаковый для всего массива МКП-детекторов (D1–D4). Информация с детекторов может быть считана в режиме реального времени. Аппаратный таймер позволяет установить интервал измерения от 1 мс до 2 ч с разрешением 1 мс. Устройство работает под управлением программы, написанной в среде LabView (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench).

Функции нормализации длительности импульса, формирование сигналов совпадений от детекторов (D1–D4), а также основные элементы тракта регистрации, за исключением пороговых компараторов, реализованы в составе FPGA. Нормализация длительности импульса состоит в формировании импульса фиксированной длительности, равной периоду тактовой частоты устройства. Нормализация необходима для повышения эффективности регистрации при работе в счетном режиме.

В работе также проводилось изучение эффективности при различных порогах дискриминации компараторов; в данной реализации основной результат был получен при порогах компараторов 5 мВ. Уровень собствен-

ных шумов менее $\sim 10^{-3} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ был получен при постоянной окна совпадений $\tau = 50 \text{ нс}$. Снижение порогов регистрации и введение наносекундной схемы совпадений сигналов с двух последовательно установленных на траектории МКП-детекторов позволило добиться, в сравнении с одним МКП-детектором, повышения эффективности обнаружения минимально ионизирующих частиц ($\sim 95\%$) при одновременном снижении фона (менее $\sim 10^{-3} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$). Уровень шума можно дополнительно снизить до $\sim 10^{-5} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ при $\tau = 5 \text{ нс}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен метод повышения эффективности обнаружения минимально ионизирующих частиц детекторами на МКП с одновременным снижением фона детектирующего устройства на несколько порядков.

Показано, что снижение порогов регистрации и введение наносекундной схемы совпадений сигналов с двух последовательно установленных на траектории МКП-детекторов позволяет добиться повышения, в сравнении с одним МКП-детектором, эффективности обнаружения минимально ионизирующих частиц ($\sim 95\%$) при одновременном снижении фона (менее $\sim 10^{-3} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$). Результаты позволяют рассматривать такой детектор также в качестве эффективной быстрой триггерной системы для регистрации редких сигналов.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке СПбГУ, шифр проекта 103821868.

Конфликт интересов. Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Baldin A., Feofilov G., Har'yuzov P., Valiev F. Fast Beam-Beam Collisions Monitor for Experiments at NICA // Nucl. Instr. Meth. A. 2020. V. 958. P. 162154.
2. Sandul V.S., Feofilov G.A., Valiev F.F. Studying Capabilities of a Fast Monitor for Beam Collisions by Monte Carlo Simulations and Machine Learning Methods // Phys. Part. Nucl. 2023. V. 54, Iss. 4. P. 712–716.
3. Rudnev V., Galaktionov K., Valiev F. Detector Optimization Based on Artificial Neural Network Training // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2025. V. 89. P. 1335.
4. Valiev F., Kalinichenko N.I., Makarov N.A., Feofilov G. Hardware Implementation and Testing of 4-Channel Fast Electronics for an MCP Detector // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2024. V. 88, No. 8. P. 1319.