

Список использованных источников

1. Пияков И.В., Родин Д.В., Родина М.А., Ионные источники для космических экспериментов: Материалы Всероссийской научно-технической конференции, Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 2015. С. 114-115.
2. Пияков И.В., Родин Д.В., Родина М.А. и др. Численное моделирование процесса фокусировки ионов в пылеударном времяпролетном масс-спектрометре // IV международная конференция и молодежная школа «Информационные технологии и нанотехнологии». — 2018. — С. 2350-2357
3. Семкин Н.Д., Пияков И.В., Родин Д.В. и др. Времяпролетный масс-спектрометр с нелинейным источником ионов, патент №43 получен 11.07.2017

Шарафутдинов Данил Вадимович, студ. гр. 6401-110301D, wr2004@list.ru

УДК 621.384.82

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ СТРУННОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ВЕКТОРА СКОРОСТИ С ДИСКРЕТНОЙ (КОМПАРАТОРНОЙ) АРХИТЕКТУРОЙ

М.А. Родина

«Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва», г. Самара

Ключевые слова: измеритель вектора скорости, пылевые частицы, микрометеороид, космический мусор.

Надежная регистрация параметров микрометеоритов и элементов космического мусора является критически важной задачей для обеспечения безопасности космических аппаратов [1]. В условиях космического пространства высокоскоростные микрочастицы приобретают естественный электрический заряд, что позволяет использовать бесконтактные методы регистрации. Традиционные измерители наведенного заряда опираются на применение аналоговых усилителей для анализа формы сигнала, что накладывает ограничения на их масштабируемость.

В данной работе рассматривается альтернативная архитектура бесконтактного струнного измерителя, где зарядочувствительные усилители (ЗЧУ) подключены напрямую к быстродействующим компараторам [2]. Потеря информации о профиле аналогового сигнала при таком подходе компенсируется значительным увеличением плотности струнной сетки.

Целью данного исследования является оценка точностных характеристик предложенной системы: определение погрешностей при вычислении пространственного вектора движения частицы и модуля ее скорости.

Пространственный вектор скорости регистрируемых частиц аппаратно ограничен внешней (входной) и внутренней (выходной) апертурами прибора. Формируемый ими телесный угол определяет диапазон измеряемых

траекторий: до мишени, расположенной за измерителем, долетают лишь частицы, векторы скоростей которых лежат внутри данного угла.

Рассмотрим схематичное изображение (рис. 1) возможных крайних траекторий частицы для ортогонального вектора (правый случай) и вектора с максимальным углом наклона к ортогонали (левый случай).

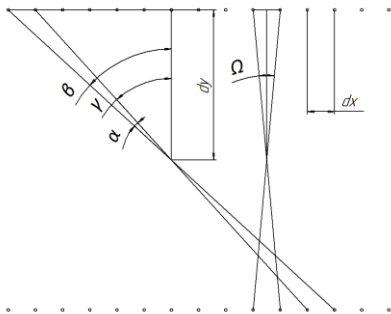


Рисунок 1 – Схематичное изображение струнного измерителя вектора скорости в одной проекции

В общем виде выражение для расчетного угла проще записать для двух случаев. Для случая около ортогонального пролета частицы:

$$\Omega = 2 \cdot \arctg\left(\frac{dx}{dy}\right).$$

Для случая же пролета под углом:

$$\alpha = \beta - \gamma = \arctg\left(\frac{(N+1)dx}{dy}\right) - \arctg\left(\frac{Ndx}{dy}\right).$$

Анализ выражений, что угловая погрешность распределена неравномерно. При траекториях, близких к нормали (перпендикулярно плоскости датчиков), угловая неопределенность максимальна, так как проекция вектора мала и жестко лимитируется шагом струн: частица может изменить угол в пределах ячейки сетки, не вызвав срабатывания соседних каналов. Однако при косых углах подлета, близких к предельным границам телесного угла апертуры, телесный угол проекции ячеек сетки друг на друга уменьшается, что повышает точность восстановления вектора скорости.

Так для расстояния между струнами 2мм и расстояния между слоями сетки 2см и предельным углом $\sim 45^\circ$ погрешность для ортогонального вектора составит порядка 10° , а наклонного вектора лишь 1.5° . При увеличении расстояния между сетками в или уменьшении шага сетки точностные параметры могут быть улучшены.

Определение модуля скорости базируется на разности времени пролета Δt между плоскостями измерителя. Поскольку фиксация сигналов осуществляется по аппаратному прерыванию от компараторов,

погрешность измерения времени полностью определяется частотой тактирования таймеров микроконтроллера.

Ключевой особенностью системы является зависимость эффективной базы измерения от угла влета частицы. С ростом угла наклона к нормали время пролета будет увеличиваться обратно пропорционально косинусу угла пролета. Так для системы опроса с тактовой частотой 100 МГц и ортогональном угле и скорости 5 км/с время пролета составит 4 мкс, а относительная погрешность за счет дискретизации не превысит 0.25%. Для скорости 10 км/с время пролета сокращается до 2 мкс, а погрешность возрастает до 0.50%.

Проведенная оценка точностных характеристик показала, что отказ от аналогового тракта считывания в пользу многоканальной дискретной архитектуры на базе компараторов является эффективным техническим решением для бесконтактных измерителей. Установлено, что точность определения пространственного вектора лимитируется шагом сетки и достигает максимума на предельных углах апертуры прибора. Погрешность измерения модуля скорости напрямую зависит от частоты таймеров, измерительной базы и угла влета частицы. Предложенная архитектура позволяет существенно упростить электронный блок прибора при сохранении высокой кинематической точности, что делает ее перспективной для применения в бортовой аппаратуре космических аппаратов.

Список использованных источников

1. Numerical simulation of the ion focusing process in a dust impact time of flight mass spectrometer / I. V. Piyakov, D. V. Rodin, M. A. Rodina, A. M. Telegin // CEUR Workshop Proceedings, Samara, 24–27 апреля 2018 года. Vol. 2212. – Samara: Без издательства, 2018. – P. 152-157. – DOI 10.18287/1613-0073-2018-2212-152-157.

2. Пияков И.В., Родин Д.В., Телегин А.М., Воронов К.Е., Родина М.А. Способ подключения усилителей к измерительным струнным электродам устройства для определения параметров движения высокоскоростных микрочастиц / Прикладная физика и математика, 2025, вып. 3, С. 24-32, doi: 10.25791/pfim.03.2025.1335

Родина Марина Александровна, асп. гр. А4_01.03.02, m.a.rodina@yandex.ru

УДК 621.376.4

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ СЛЕЖЕНИЯ С ФУНКЦИЕЙ ПРЯМОГО ИЗМЕРЕНИЯ РАЗНОСТИ ФАЗ ДЛЯ НАВИГАЦИОННОГО ПРИЕМНИКА НА БАЗЕ SDR

С.В. Шафран

«Самарский национальный исследовательский университет имени
академика С.П. Королёва», г. Самара