

ИЗМЕРЕНИЕ РАДИАЛЬНОГО И УГЛОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ В ТРАКТЕ УСКОРИТЕЛЯ

© 2011 А. В. Пияков

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

Представлены теория, расчётные параметры и детали конструкции измерения радиального и углового распределения частиц в тракте ускорителя. Приведены результаты моделирования мишени, моделирования электрической схемы зарядочувствительного усилителя.

Ускоритель, микрометеорит, пылевая частица, мишень.

Введение

При проектировании ускорителей пылевых частиц возникает задача построения физико-математической модели движения частиц в тракте ускорителя. Все существующие модели либо учитывают лишь осевое движение частиц, либо детерминированное движение частиц с учётом осевой и радиальной составляющих. Однако, как показала практика, данные модели не могут в целом описать вероятность прохождения частиц через тракт ускорителя. Таким образом, возникает задача построения вероятностной модели движения частиц в тракте электродинамического ускорителя. Для проверки такой модели на адекватность необходимо экспериментальное измерение углового и радиального распределения частиц в тракте электродинамического ускорителя.

Неопределённость траектории частиц в тракте ускорителя

Вследствие качественного изменения траекторий частиц при незначительном изменении (в пределах погрешностей измерения) начальных условий для моделирования предполагается построение N -траекторий с последующим усреднением результатов. Таким образом, для каждой продольной координаты нахождения частицы в тракте будет выбрана наиболее вероятная радиальная координата. Например, на рис. 1 приведены 3 различные траектории частиц в тракте дина-

мического ускорителя для близких начальных условий.

Начальные отклонения частицы: 1 – 1,0 мм; 2 – 0,999998 мм; 3 – 1,000002 мм; 4 – наиболее вероятная траектория (линия тренда). Скорость частицы на входе 1 км/с, размер частицы 10 мкм. Впервые неопределённость данных математических моделей была описана Эдвардом Норттоном Лоренцем в 1961 году. Такая неопределённость характерна для всех математических моделей, связанных с вычислениями, в которых последующие результаты используют ранее полученные данные в качестве исходных. Математическая модель движения частиц в тракте ускорителя как раз относится к моделям данного вида. Таким образом, становится очевидной необходимость разработки модели движения частиц в тракте ускорителя, где каждому моменту времени ставятся в соответствие вероятности нахождения одной и той же частицы в разных координатах. Логично, что исходными данными для такой модели должно быть распределение частиц по сечению тракта ускорителя на выходе инжектора. Одним из способов регистрации места удара частицы является метод разделения заряда.

Теоретические исследования устройства измерения радиального и углового распределения частиц в тракте ускорителя

Для осуществления метода разделения заряда предполагается использовать мишень

квадратной формы из резистивного материала (рис.1). Модель мишени приведена на рис. 2.

Для моделирования работы мишени использовался САПР MicroCAP.

Заряженная частица попадает в мишень, сообщая в точку попадания свой заряд, который делится резистивным слоем и уси-

ливается зарядочувствительными усилителями.

Как показало моделирование такой мишени в MicroCAP, амплитуды сигналов на выходах 1 и 2 являются функциями от координат попадания частицы в резистивный слой.

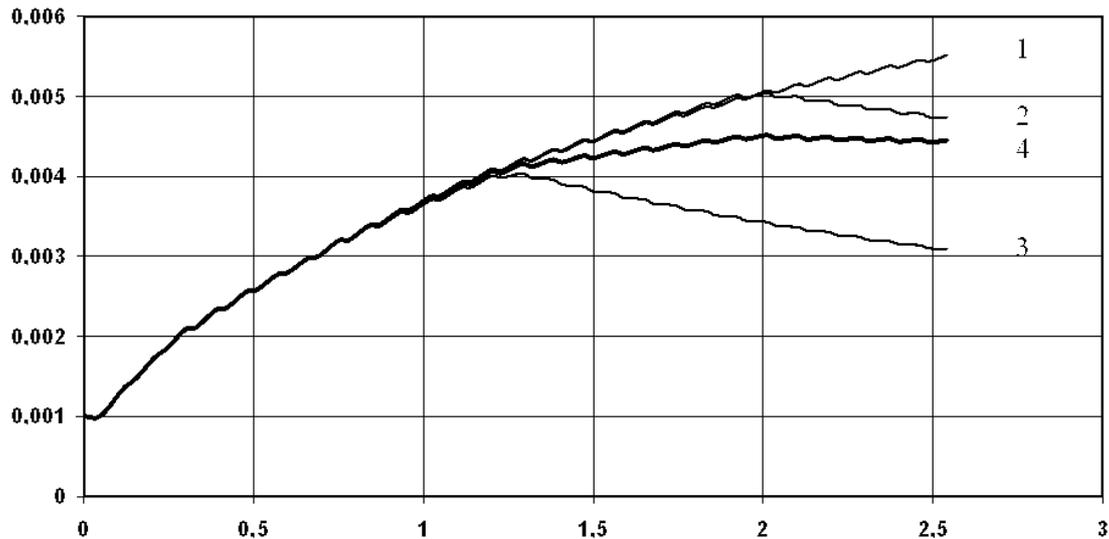


Рис. 1. Траектории частиц в тракте ускорителя

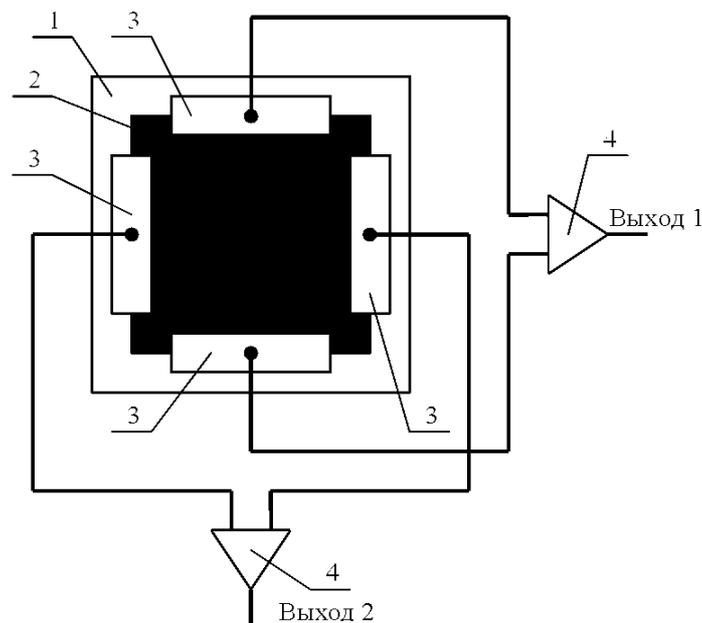


Рис. 2. Структура устройства: 1 — ситалловая подложка; 2 — металлические контактные площадки; 3 — резистивный слой; 4 — зарядочувствительный усилитель

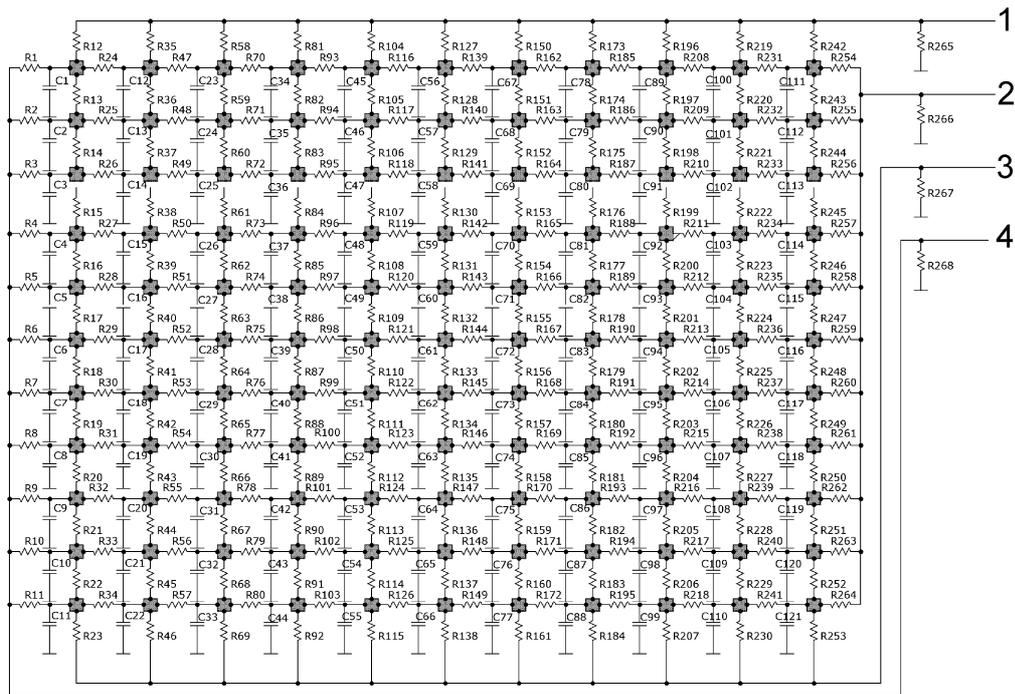


Рис. 3. Модель мишени

Таким образом, зная заряд частицы (его можно определить, установив перед мишенью цилиндр Фарадея; амплитуда сигнала с цилиндра Фарадея пропорциональна заряду частицы), можно определить координату столкновения ее с мишенью, а тем самым получить картину плотности частиц по сечению ускорителя.

Результаты моделирования устройства приведены ниже: на рис. 4 – зависимость выходного импульса от времени для различного

сопротивления резистивного слоя, на рис. 5 – зависимость выходного напряжения от времени для различного места удара.

Как видно из вышеприведенных рисунков, оптимальным является наибольшее сопротивление матрицы – около 2 МОм на квадрат. Сигнал от попадания частицы в различные участки мишени хорошо идентифицируется.

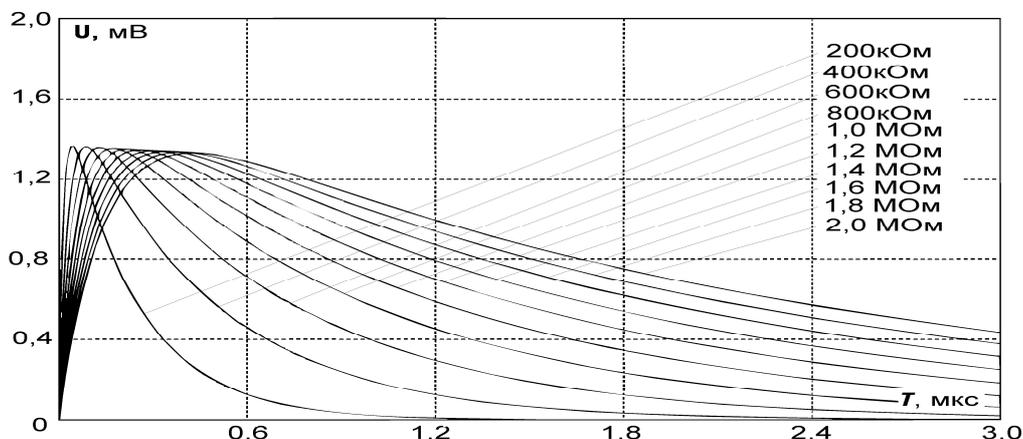


Рис. 4. Зависимость выходного напряжения от времени для различных сопротивлений мишени

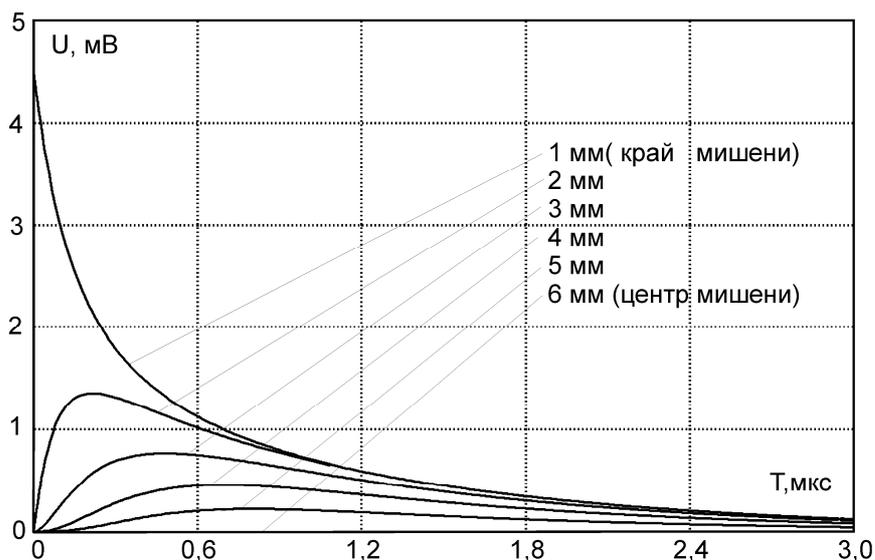


Рис. 5. Зависимость выходного напряжения от различной координаты попадания частицы в мишень

Конструкция устройства для измерения углового и радиального распределения частиц в тракте ускорителя

Для проведения экспериментов по измерению углового и радиального распределения частиц в тракте ускорителя было собрано соответствующее устройство, состоящее из мишени и блока усилителей. Для фиксации результатов предполагается использовать осциллографические приставки WELLEMAN PCS-500. Структурная схема устройства приведена на рис. 6.

Мишень была изготовлена из фольгированного стеклотекстолита, а резистивный слой из смеси электротехнического лака с

графитовой пудрой. Фотография мишени приведена на рис. 7.

Усилитель состоит из четырёх усилительных каскадов и фильтра нижних частот. Принципиальная схема усилителя приведена на рис. 8. Схемотехнический анализ будем производить с помощью системы автоматизированного проектирования MICRO-CAP.

Первый каскад составлен из элементов: резисторов $R1$, $R2$; конденсаторов $C1$, $C2$; транзисторов $VT1$, $VT2$, $VT3$, $VT4$. Первый каскад собран из четырёх полевых транзисторов $BF244A$, включённых по схеме с общим истоком. Транзисторы включены параллельно для улучшения соотношения сигнал-шум. Коэффициент усиления первого каскада 6.

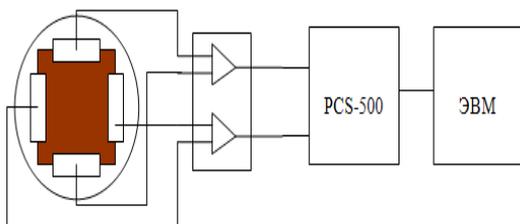


Рис. 6. Структурная схема устройства

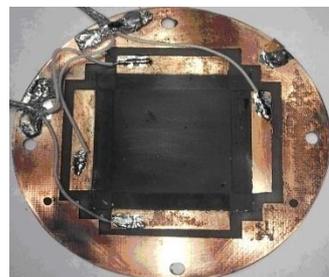


Рис. 7. Фотография мишени

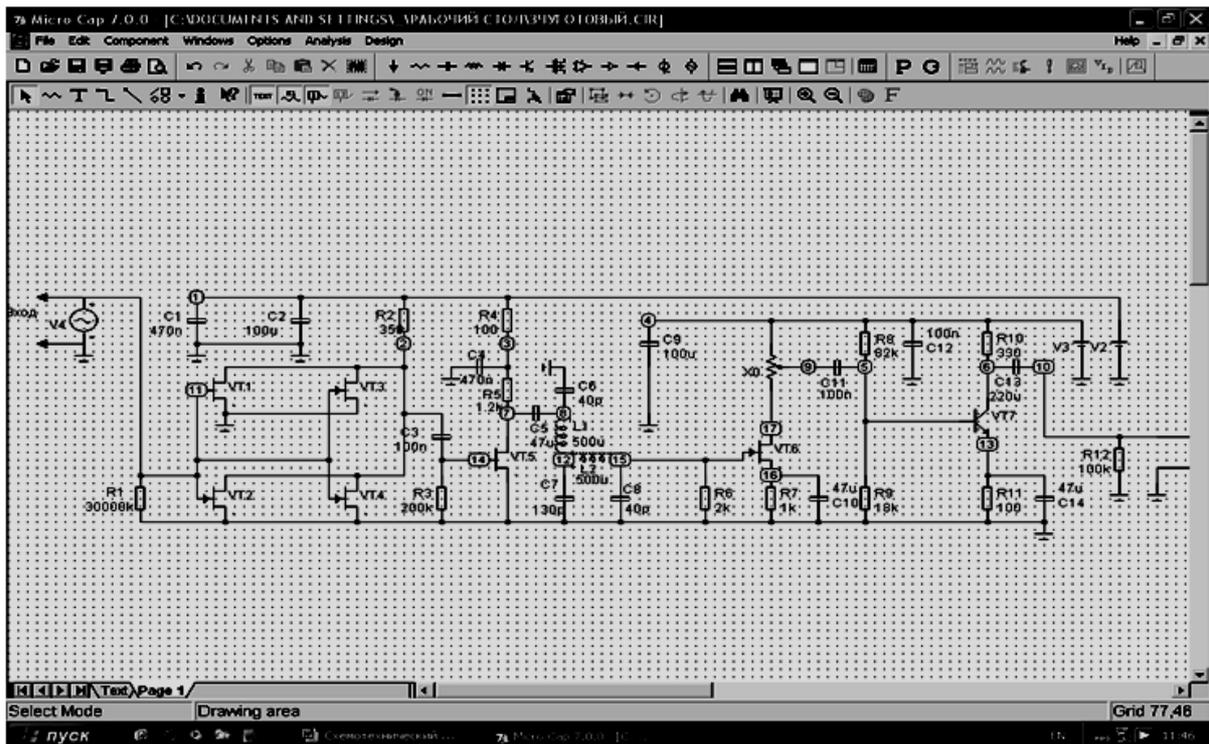


Рис. 8. Электрическая принципиальная схема усилителя

Второй каскад составлен из элементов: резисторов $R3, R4, R5$; конденсаторов $C3, C4$; транзистора $VT5$. Каскад собран на полевом транзисторе $BF244A$ по схеме с общим истоком. Коэффициент усиления второго каскада 3.

Третий каскад составлен из элементов: резисторов $R6, R7$; подстроечного резистора $X0$; конденсаторов $C10, C11$; транзистора $VT6$. Каскад собран на полевом транзисторе $BF244A$ по схеме с общим истоком. Третий усилительный каскад имеет высокоомный вход, чтобы не исказить сигнал после фильтра. Коэффициент усиления третьего каскада 9. Так как данный каскад имеет наибольший коэффициент усиления, то общий коэффициент усиления усилителя рационально регулировать именно этим каскадом. При этом имеем диапазон варьирования коэффициента усиления. Регулировка реализуется с помощью подстроечного резистора $X0$.

Четвертый каскад составлен из элементов: резисторов $R8, R9, R10, R11, R12$; конденсаторов $C11, C12, C13, C14$; транзистора

$VT7$. Каскад собран на биполярном транзисторе $BC546B$ по схеме с общим эмиттером. Коэффициент усиления четвертого каскада 6. Четвёртый каскад выполняет функции как усилительного, так и согласующего каскада. Данный каскад имеет низкоомный выход, что позволяет подключать к выходу усилителя коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 50 Ом.

В состав усилителя входит фильтр нижних частот, состоящий из конденсаторов $C5, C6, C7, C8$; катушек индуктивности $L1, L2$. Фотография блока усилителей приведена на рисунке 9(9,а – со снятой крышкой, 9,б – внешний вид).

Для экранировки усилители располагаются в металлическом корпусе, входы и выходы выполнены с помощью металлизированных разъемов. Питание усилителей для уменьшения помех предполагается от свинцово-кислотной аккумуляторной батареи.

Работа выполнена при поддержке ФЦП “Кадры”. Контракт № П889 от 26 мая 2010 года.



Рис. 9. Блок усилителей

Библиографический список

1. Левшина, Е. С. Электрические измерения неэлектрических величин [Текст] / Е.

С. Левшина, П. В. Новицкий.- Энергоатомиздат, 1983.- 256 с.

MEASUREMENTS OF THE RADIAL AND ANGULAR DISTRIBUTION OF PARTICLES IN THE ACCELERATOR TRACT

© 2011 A. V. Piyakov

Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov
(National Research University)

The theory, design parameters and construction details of measurement the radial and angular distribution of particles in the path the accelerator. The results modeling of the target, modeling the electrical circuit charge sensitive amplifier.

Accelerator, micrometeors, dust particle, the target.

Информация об авторе

Пияков Алексей Владимирович, докторант, доцент кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств, к.т.н., доцент, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: piyakov@ssau.ru. Область научных интересов: физика ускорителей частиц, космические эксперименты.

Piyakov Aleksey Vladimirovich, Ph. D., Department of production and design of radio-electronic devices, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolev (National Research University). E-mail: piyakov@ssau.ru. Sphere of scientific interests: accelerators physics, space devices development.