



Рис. 6 Зависимость погрешности (в километрах) от фазового сдвига (в градусах)

Такое расстояние спутник преодолевает чуть более секунды. Если навигатор предназначен для включения передатчиков телеметрической (либо какой-нибудь другой) информации при пролёте над наземным измерительным пунктом, такая погрешность не окажет ощутимого влияния на качество сеанса связи.

Список использованных источников

1. Иванов В. В. Микропроцессорный геомагнитный вычислитель параметров круговой орбиты / Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций. материалы Всероссийской НТК – Самара: Изд-во СГАУ, 2009. - С. 195.
2. Справочник по теоретическим основам радиотехники, / Под ред. Б.Х.Кривинского. В 2-х т. Т.2. - М.: Энергия. 1977.
3. Левантовский В.И. Механика космического полёта в элементарном изложении. - М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1980.

РАЗРАБОТКА ЦИКЛИЧЕСКОГО УСКОРИТЕЛЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

А.В. Пияков

Самарский государственный аэрокосмический университет, г.Самара

Для проведения ударных экспериментов используются различные типы ускорителей, однако наиболее “чистыми” являются электростатические и линейные ускорители, в которых ускорение частиц осуществляется энергией электрического поля. Такие ускорители высокоскоростных твёрдых частиц основаны на ускоряющей системе Слоуна – Лоуренса, где синфазность движения частиц с изменением напряжения на трубках дрейфа достигается путем выполнения дрейфовых трубок разных длин. Они имеют

узкий диапазон ускоряемых частиц и небольшое число ускоряющих секций, что обусловлено тем, что данная система не позволяет ускорить частицы в широком диапазоне масс без предварительной перенастройки геометрии ускоряющего тракта. Кроме того, данному классу ускорителей характерны относительно большие габариты и масса.

Для дальнейшего повышения эффективного ускоряющего напряжения предложена конструкция циклического ускорителя твердых частиц. В основе этого ускорителя лежит принцип электродинамического ускорения частиц. Удержание частиц в замкнутом ускоряющем тракте осуществляется посредством тороидальных дефлекторов. Структурная схема циклического ускорителя пылевых частиц приведена на рис. 1.

На рис. 1 приняты следующие обозначения: 1 - источник питания инжектора, 2 - инжектор заряженных частиц, 3 - источник высокого напряжения (~100кВ), 4 - зарядочувствительный усилитель, 5 - линейный электростатический ускоритель (ЛЭСУ), 6 - вакуумный отсекающий, 7 - система вакуумной откачки и контроля вакуума (СВОКВ), 8 - измерительная линейка, 9 - вакуумная камера для экспериментов, 10 - управляемый тороидальный дефлектор, 11 - линейный электродинамический ускоритель (ЛЭДУ), 12 - система управления ускорителем.

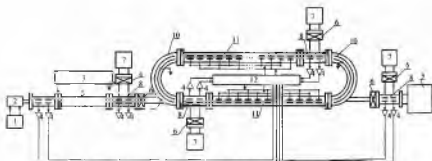


Рис. 1. Структурная схема циклического ускорителя пылевых частиц

Ускоритель работает следующим образом: инжектор частиц выпускает в тракт заряженные частицы с требуемым интервалом следования (примерно 1 частица в секунду). Частица последовательно проходит первую измерительную линейку, ЛЭСУ, вторую измерительную линейку и попадает в тракт циклического ускорителя. По измеренным временам пролета первой и второй измерительных линеек, а также заданного напряжения ЛЭСУ, система управления ускорителем вычисляет удельный заряд частицы. Затем частица пролетает несколько кругов по тракту циклического ускорителя, каждый раз ускораясь в четырех ЛЭДУ. Управляемые тороидальные дефлекторы предназначены для искривления траектории частицы. В зависимости от скорости частицы (которая постоянно измеряется

измерительными линейками, установленными в контуре циклического ускорителя) и удельного заряда частицы, система управления ускорителем управляет высоковольтными усилителями импульсов и высоковольтным усилителем напряжения, которые в свою очередь формируют необходимые напряжения на дрейфовых трубках ЛЭДУ и на обкладках тороидальных дефлекторов. В момент достижения частицей критической скорости (той скорости, при которой максимального выходного напряжения высоковольтного усилителя напряжения становится недостаточно, чтобы удержать частицу в тракте за счет тороидальных дефлекторов) процесс ускорения прекращается и частица выводится в вакуумную камеру для экспериментов. ЭВМ предназначена для ведения статистики об ускоряемых частицах с помощью специально разработанного программного обеспечения.

Технико-экономическая эффективность использования разработки выражается прежде всего в существенной дешевизне лабораторного моделирования по сравнению с постановкой натуральных экспериментов на космических аппаратах. Оптимальное применение материалов и рациональное конструирование, основанное на результатах лабораторных экспериментов, позволит увеличить срок службы космических аппаратов, более точно прогнозировать их срок службы и надежность. Особенно актуальны такие исследования при проектировании аппаратов, предназначенных для научных экспериментов в дальнем космосе при изучении комет, где плотность потока пылевых частиц высока.

Расчет скорости и энергии частицы

Эквивалентное ускоряющее напряжение линейного электродинамического ускорителя определяется выражением:

$$U = U_{эф} \cdot T_0,$$

где T_0 - время-пролетный коэффициент электродинамического ускорителя;
 $U_{эф}$ - эффективное ускоряющее напряжение ускорителя.

Эквивалентное ускоряющее напряжение всего ускорителя определяется выражением:

$$U_x = U \cdot N,$$

где N — количество пройденных электродинамических ускорителей.

Максимально возможная скорость частицы при этом будет определяться выражением:

$$V_{max} = \sqrt{2 \frac{q}{m} U T_0 + V_0^2},$$

где q/m - удельный заряд; V_0 - скорость частицы на входе.

Максимальное число кругов, которые частица пройдет в ускорителе будет определяться из условия равенства центробежной силы движения

частицы в дефлекторе и электростатической силы электрического поля дефлектора. Отклоняющее напряжение можно оценить по формуле:

$$U_{\text{отб}} = \frac{m \cdot V^2}{q \cdot a} = \frac{2U}{\alpha},$$

где $\alpha = \frac{1}{\ln(R_2/R_1)}$ - коэффициент геометрии поля;

R_1, R_2 - внутренний и внешний радиусы пластин дефлектора.

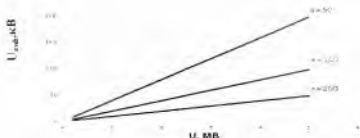


Рис. 2. Зависимость отклоняющего напряжения от эквивалентного ускоряющего напряжения для различных значений α . Зазор между пластинами $d=1\text{см}$

Оценка максимально достижимых скоростей

Максимальная скорость на выходе и максимальное отклоняющее напряжение связаны соотношениями:

$$\begin{cases} V_{\text{max}} = \sqrt{2 \frac{q}{m} U T_0 + V_0^2}, \\ U_{\text{отб}} = \frac{m \cdot V^2}{q \cdot a} \end{cases}$$

Максимальная напряженность электрического поля для различных методов обработки поверхности соответственно: 50 кВ/см — механическая обработка, 70 кВ/см — гальваническая, 100 кВ/см — ионная.

Оценка необходимого числа оборотов

Максимальная скорость частицы достигается после некоторого числа ускорений. Зависимость требуемого числа ускорений от параметров ускорителя определяется выражением:

$$n_{\text{req}} = \frac{U_{\text{дрэмах}} \cdot \frac{a}{2}}{U},$$

$$N_{req} = \frac{N_{req}}{2},$$

где $U_{дэф\ max}$ - максимально допустимое отклоняющее напряжение; U - эквивалентное ускоряющее напряжение линейного электродинамического ускорителя; N_{req} - требуемое число витков.

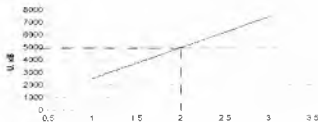


Рис. 3. График зависимости максимального ускоряющего напряжения от радиуса дефлектора для зазора между пластинами $d=1\text{ см}$

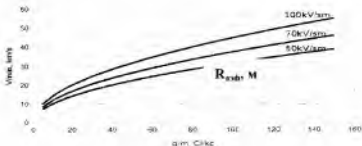


Рис. 4. Зависимость максимальной достижимой скорости от удельного заряда q/m для различных максимально допустимых отклоняющих напряжений. Радиус основной траектории дефлектора $R=2\text{ м}$, ширина зазора между пластинами $d=1\text{ см}$

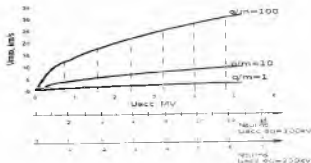


Рис. 5. График зависимости максимально достижимой скорости от ускоряющего напряжения для различных удельных зарядов q/m . N_{turns} - число витков необходимое для достижения данной скорости. $U_{acc\ eq}$ - эквивалентное ускоряющее напряжение линейного электро-динамического ускорителя

Расчет конструкций ускорителя

Расчет характеристик ускорителя двух разных конструкций приведен в табл. 1.

Таблица 1. Расчет конструкции ускорителя

$U_{acc\ pre}, kV$, напряжение преускорителя	100	
N_{gap} , количество промежутков электродинамического ускорителя	10	20
U_{gap}, kV , ускоряющее напряжение промежутка	10	
$U_{acc\ eq}, kV$, эквивалентное ускоряющее напряжение электродинамического ускорителя	100	200
R_1, m , радиус внутренней пластины дефлектора	1,995	
R_2, m , радиус внешней пластины дефлектора	2,005	
d, m , ширина зазора между пластинами	0,01	
a , коэффициент геометрии поля	200	
U_{def}, kV , максимально допустимое отклоняющее напряжение	50	
n , требуемое число ускорений	24	12
N , требуемое число витков	6	3
U_{acc}, MV , суммарное ускоряющее напряжение	4,9	

Список использованных источников

1. Alexandre Pozwolski. Compact laser-driven accelerator of macroparticles. Laser and Particle Beams 2001, 19.
2. Семкин Н.Д., Пияков А.В. Физика волновых процессов и радиотехнические системы - 2003, том 3. - С. 86.