

Пижов А.В., Семкин Н.Д., Помельников Р.А.

## РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ МЕЖДУ ТОКОВЕДУЩИМИ ШИНАМИ УСКОРИТЕЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ.

При построении конструкции электростатического ускорителя для моделирования микрометеороидов возникает вопрос о подводе высокого напряжения к ускоряющим электродам. Для проектируемого ускорителя высокоскоростных пылевых частиц возможны два варианта подвода напряжения к ускоряющим электродам (рис.1). В [1] описана конструкция ускорителя для моделирования микрометеороидов, в которой для исключения дефокусирующего влияния токоведущих шин на частицу используются специальные экраны для каждого ускоряющего промежутка. Такое решение существенно усложняет конструкцию. К тому же, как отмечено в [1], при работе ускорителя на расчетном напряжении на экранах возникают пробой.

Для решения данной проблемы предлагается конструкция ускорительного тракта ускорителя высокоскоростных пылевых частиц с четырьмя токоведущими шинами.

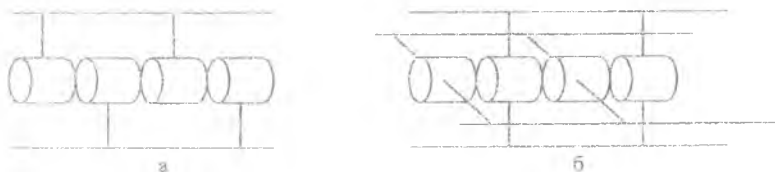


Рис.1 – Варианты подключения ускоряющих электродов

На рис.1.а показан вариант с двумя, а на рис.1.б – с четырьмя токоведущими шинами. Рассмотрим картину поля токоведущих шин для первого и второго случая.

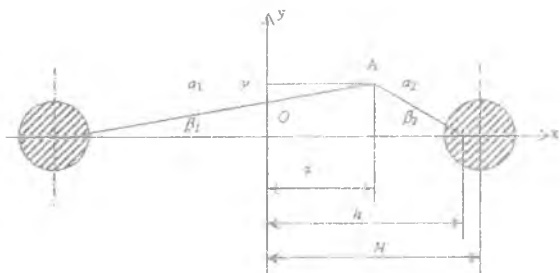


Рис.2 – Двухпроводная линия

Предположим, что токоведущие шины представляют собой цилиндрические провода.

Тогда для двухпроводной конструкции (рис. 2), согласно [2], напряжение между проводами равно :

$$U = \frac{\tau}{\pi \epsilon \epsilon_0} \ln \frac{h+H}{r}, \quad (1)$$

где  $U$  – напряжение между проводами;  $\tau$  – линейная плотность заряда на токоведущей шине;  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость окружающей среды (для вакуума  $\epsilon \approx 1$ );  $\epsilon_0$  – диэлектрическая постоянная ( $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м);  $H$  – половина расстояния между центрами токоведущих шин;  $r$  – радиус токоведущих шин;  $h$  – расстояние определяющее положение электростатических осей проводов ( $h = \sqrt{H^2 - r^2}$ ).

Согласно [2] электростатическое поле в точке  $A$  для варианта двухпроводной линии можно определить по формуле :

$$\vec{E} = \frac{\tau}{2\pi \epsilon \epsilon_0} \left[ \left( \frac{\cos \beta_1}{a_1} + \frac{\cos \beta_2}{a_2} \right) \vec{i} + \left( \frac{\sin \beta_1}{a_1} - \frac{\sin \beta_2}{a_2} \right) \vec{j} \right], \quad (2)$$

$$\text{где } a_1 = \sqrt{(h+x)^2 + y^2}, \quad a_2 = \sqrt{(h-x)^2 + y^2}, \quad \beta_1 = \text{Arctg} \left( \frac{y}{h+x} \right), \quad \beta_2 = \text{Arctg} \left( \frac{y}{h-x} \right).$$

Выражая из (1) линейную плотность заряда на токоведущей шине и подставляя ее в (2), получаем:

$$\vec{E} = \frac{U}{\ln((h+H)/r)} \left[ \left( \frac{\cos \beta_1}{a_1} + \frac{\cos \beta_2}{a_2} \right) \vec{i} + \left( \frac{\sin \beta_1}{a_1} - \frac{\sin \beta_2}{a_2} \right) \vec{j} \right]. \quad (3)$$

Для радиуса токоведущих шин  $r = 0,005$  м, расстояния  $H = 0,2$  м и напряжения  $U = 40$  кВ зависимость напряженности электростатического поля на оси  $OX$  показана на рис.3, а зависимость напряженности электростатического поля на оси  $OY$  показана на рис.4.

Следует отметить, что вектора электростатического поля для точек, принадлежащих осям  $OX$  и  $OY$ , параллельны соответствующим осям.

Как видно из зависимости, приведенной на рис.3, величина напряженности электрического поля на оси ускоряющих электродов минимальна и составляет 105 кВ/м (напряженность электростатического поля между ускоряющими электродами составляет примерно 4 кВ/м). Следовательно, данной составляющей поля можно пренебречь. Но поле, отклоняющее частицу от оси цилиндрических электродов (оси ускоряющего тракта), максимально на этой оси (рис.4).

Легко подсчитать, что "тяжелая" частица с удельным зарядом 50 Кл/кг отклонится на величину 0,01 м (радиус цилиндрического электрода проектируемого ускорителя) за 2 мкс, что неприемлемо, так как движение частицы по ускоряющему тракту длиной 1,81 м (26 электродов длиной 0,06м) с удельным зарядом 50 Кл/кг занимает около 1,5 мс.

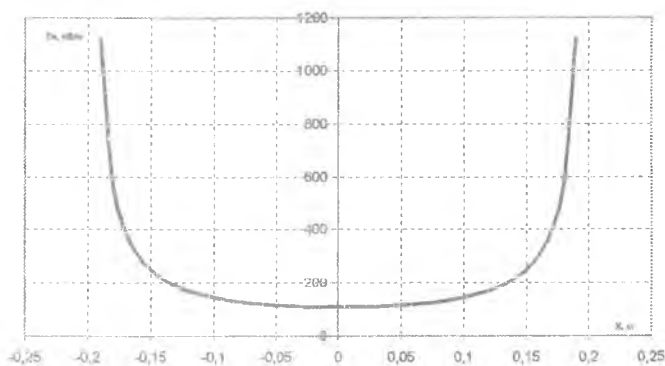


Рис.3 - Зависимость напряженности электростатического поля на оси  $OX$

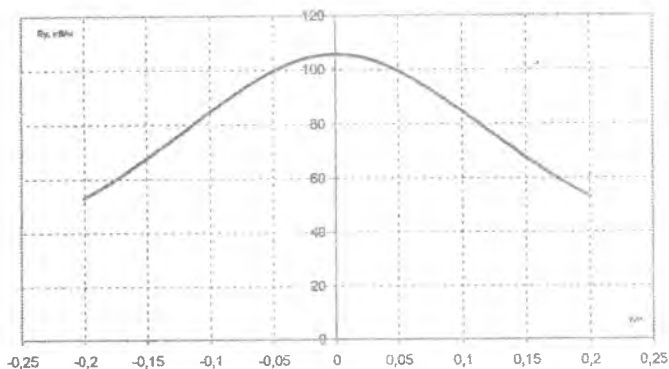


Рис. 4 - Зависимость напряженности электростатического поля на оси OY

Таким образом, использование конструкции с двумя токоведущими шинами предполагает использование специальных экранов или уменьшение длины ускоряющего тракта.

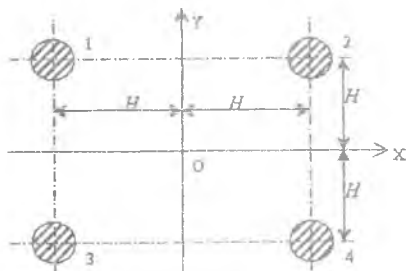


Рис. 5 - Четырехпроводная токоведущая шина

Рассмотрим конструкцию с четырьмя токоведущими шинами (рис. 5). В данном случае поле можно определить как суперпозицию полей, создаваемых каждой из токоведущих шин:

$$\vec{E} = \frac{U}{\ln\left(\frac{h+H}{r}\right)} \left[ \left( \frac{\cos\beta_1}{a_1} + \frac{\cos\beta_2}{a_2} - \frac{\cos\beta_3}{a_3} - \frac{\cos\beta_4}{a_4} \right) \vec{i} + \left( -\frac{\sin\beta_1}{a_1} + \frac{\sin\beta_2}{a_2} + \frac{\sin\beta_3}{a_3} - \frac{\sin\beta_4}{a_4} \right) \vec{j} \right], \quad (4)$$

где

$$a_1 = \sqrt{(h+x)^2 + (h-y)^2}, \quad a_2 = \sqrt{(h-x)^2 + (h-y)^2}, \quad a_3 = \sqrt{(h+x)^2 + (h+y)^2},$$

$$a_4 = \sqrt{(h-x)^2 + (h+y)^2}, \quad \beta_1 = \text{Arctg}\left(\frac{h-y}{h+x}\right), \quad \beta_2 = \text{Arctg}\left(\frac{h-y}{h-x}\right),$$

$$\beta_3 = \text{Arctg}\left(\frac{h+y}{h+x}\right), \beta_4 = \text{Arctg}\left(\frac{h+y}{h-x}\right)$$

Зависимость напряженности поля вдоль оси ОХ от координаты показана на рис 6

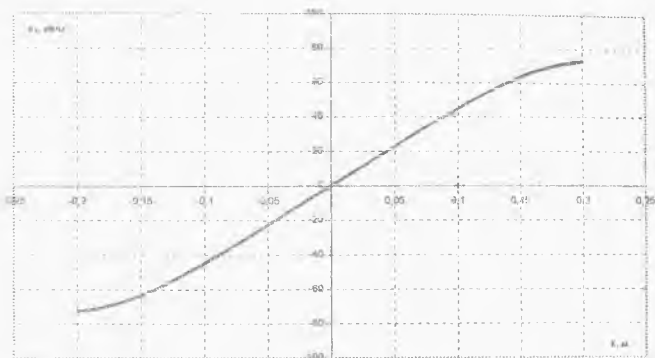


Рис.6 – Зависимость напряженности поля вдоль оси ОХ от координаты.

Как видно из рис.6, напряженность электростатического поля в пределах объема ускорительного тракта не превышает 20 В/м, что почти не оказывает влияния на смещение ускоряемой частицы. Таким образом, без применения специальных элементов экранирования ускоряющих промежутков, использование двухпроводной конструкции токоведущих шин является невозможным.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Слеттери, Беккер, Хамерменш, Рой. Линейный ускоритель для моделирования микрометеоритов. Приборы для научных исследований, 1973, т.44, №6.
2. Говорков В.А. Электрические и магнитные поля. М.: Энергия, 1968.
3. А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. Курс физики. М.: В.Ш., 2000.