

10;12
©1993

ИССЛЕДОВАНИЕ КРАЕВЫХ ПОЛЕЙ ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНЫХ И КЛИНОВИДНЫХ ОТКЛОНЯЮЩИХ СИСТЕМ

Т.Я. Флишкова, Е.В. Шнак

Плоский конденсатор является наиболее часто используемой отклоняющей системой. При его расчете обычно применяется прямоугольная модель поля, которая при длинах пластин, соизмеримых с расстоянием между ними, представляется некорректной. Отклоняющие системы (ОС) с расширяющейся апертурой (клиновидные ОС) также часто используются, в первую очередь в электронно-лучевых приборах, так как дают возможность получить больший угол отклонения по сравнению с плоскопараллельными пластинами.

В монографии [1] приведены аналитические выражения для угла и величины отклонения на выходе пластин, расположенных под небольшим углом друг к другу. Длина поля приравнивалась к механической длине пластин в направлении продольной оси. Между тем многочисленные исследования поперечных электростатических полей показывают, что эффективно действующее поле имеет большую протяженность, чем сами полезадающие электроды. Так, в случае плоскопараллельных пластин принято за эффективную длину поля принимать механическую длину плюс расстояние между пластинами. Однако величины эффективных длин отклоняющих систем нуждаются в уточнении, основанном на систематическом учете краевых полей.

Целью данной работы является расчет двумерных полей плоскопараллельных и клиновидных пластин, а также разработка простых моделей с учетом краевых полей, позволяющих рассчитывать их основные параметры по аналитическим формулам. Работа проведена с помощью программы ТЕО, позволяющей рассчитывать численно поля и траектории частиц в двумерных системах [2].

Для плоскопараллельных пластин, длина которых l соизмерима с расстоянием между ними $2d$, была найдена аналитическая аппроксимация распределения поля на оси такой системы:

$$E = \frac{kE_0}{1 + \left(\frac{z}{\lambda}\right)^2}, \quad (1)$$

где $E_0 = \frac{U}{d}$, $2U$ — разность потенциалов между пластинами, k и λ — эмпирические коэффициенты $k = 0.75 + 0.13\frac{l}{d}$, $\left(\frac{\lambda}{d}\right)^2 = -0.73\left(\frac{l}{d}\right)^2 + 2.5\frac{l}{d} - 0.64$, $0.5 \leq \frac{l}{d} \leq 2$. Начало координат совмещено с центром ОС.

Уравнения движения заряженной частицы в поле (1) могут быть проинтегрированы. Угол отклонения y' и координата y равны

$$y' = y'_0 + \frac{Uk\lambda}{2\Phi d} \left(\operatorname{arctg} \frac{z}{\lambda} - \operatorname{arctg} \frac{z_0}{\lambda} \right), \quad (2)$$

$$y = y_0 + y'_0(z - z_0) + \frac{Uk\lambda z}{2\Phi d} \left(\operatorname{arctg} \frac{z}{\lambda} - \operatorname{arctg} \frac{z_0}{\lambda} \right) + \frac{Uk\lambda^2}{4\Phi d} \ln \frac{\lambda^2 + z_0^2}{\lambda^2 + z^2}, \quad (3)$$

где Φ — ускоряющий потенциал, y_0 и y'_0 — начальные значения координаты и угла наклона при $z = z_0$.

Было проведено сравнение расчетов, выполненных по формулам (2)–(3), с результатами численных расчетов по программе ТЕО и при использовании прямоугольной модели поля. Погрешность расчета по программе ТЕО составляет менее 1%, поэтому мы будем в дальнейшем называть траектории, рассчитанные по этой программе, точными. Результаты сравнения показали, что расхождение углов наклона с результатами численных расчетов составляет менее 5%, а величины отклонения y менее 8%. При использовании прямоугольной модели поля отличие углов наклона от точных составляет $\sim 50\%$ при малых длинах ОС ($\frac{l}{d} = 0.5$) и уменьшается до 20% при $\frac{l}{d} = 2$.

Следует отметить, что точность расчета с использованием прямоугольной модели может быть несколько увеличена, если учесть реальное уменьшение максимального значения напряженности $E_{\text{ц}}$ на оси в центре системы при малых длинах пластин. При $\frac{l}{d} = -0.5$ эта напряженность равна $E_{\text{ц}} = 0.79E_0$, при $\frac{l}{d} = 1$ — $E_{\text{ц}} = 0.89E_0$, что приводит к увеличению эффективной длины L . Расчет с использованием прямоугольной модели поля при учете изменения эффективной длины и напряженности в центре позволяет уменьшить расхождение с точными значениями углов отклонения до 40% при $\frac{l}{d} = 0.5$ и 16% при $\frac{l}{d} = 2$. Однако и в этом случае расчет по формуле (3) дает в 4–8 раз меньшее расхождение с точными значениями углов отклонения.

По программе ТЕО было рассчитано также поле на оси клиновидной ОС с углами полураствора $10^\circ \leq \Omega \leq 30^\circ$ (см. рис. 1). При таких углах поперечная составляющая поля много больше продольной, и можно пренебречь изменением осевой скорости заряженных частиц. В этом приближении аналогично формулам работы [1] нами были получены формулы для угла и величины отклонения пучка заряженных частиц клиновидной ОС:

$$y' = y'_0 + \frac{U}{2\Phi\Omega} \ln \left(1 + \Omega \frac{L}{d} \right), \quad (4)$$

$$y = y_0 + y'_0 L + \frac{U}{2\Phi\Omega^2} \left[(d + \Omega l) \ln \left(1 + \frac{\Omega l}{d} \right) - \Omega L \right], \quad (5)$$

где L — эффективная длина поля, Ω — угол полураствора клина.

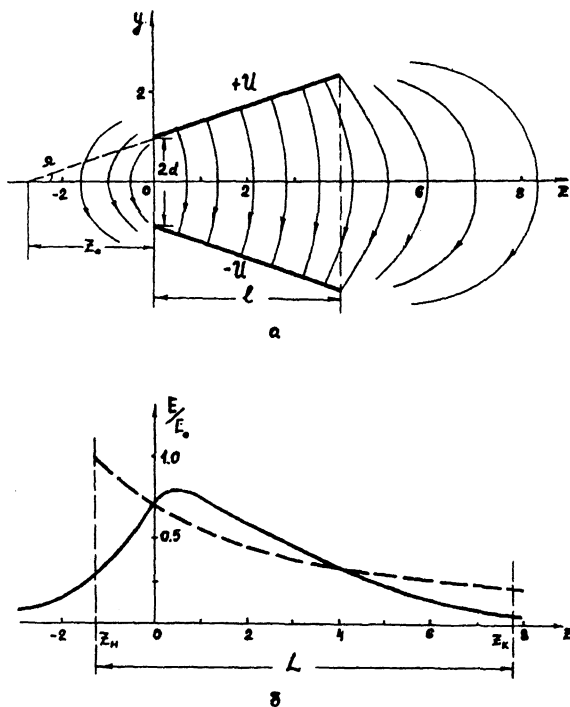


Рис. 1. Поперечное сечение клиновидной отклоняющей системы с силовыми линиями поля (а) и распределение напряженности поля на оси (б). Сплошная кривая — численный расчет на ЭВМ, штриховая — аналитическая аппроксимация.

Эффективная длина поля клиновидной ОС определялась путем приравнивания площадей, ограниченных численно рассчитанными кривыми распределения поля (приведенными на рис. 1б сплошными кривыми) и кривыми, полученными по формуле

$$E = -\frac{U}{d + \Omega z} \quad (6)$$

(рис. 1 б, штриховые кривые). При этом координата, определяющая конец эффективного поля, равна $z_k = L + z_n$, где $z_n = -1.2d$.

На рис. 2 даны величины эффективных длин клиновидной ОС в зависимости от их механической длины, параметром является угол раствора пластин. Линейные размеры отнесены к минимальному расстоянию от пластин до продольной оси системы.

Сравнение углов отклонения, рассчитанных по модели (4) и с помощью численных расчетов траекторий по программе ТЕО, показывает, что отличие составляет 3–17% при $10^\circ \leq \Omega \leq 30^\circ$. Аналогичное сравнение координат выхода пучка, найденных по формуле (5) и рассчитанных численно, показало, что расхождение не превышает 20%. Между тем расхождение параметров, полученных с

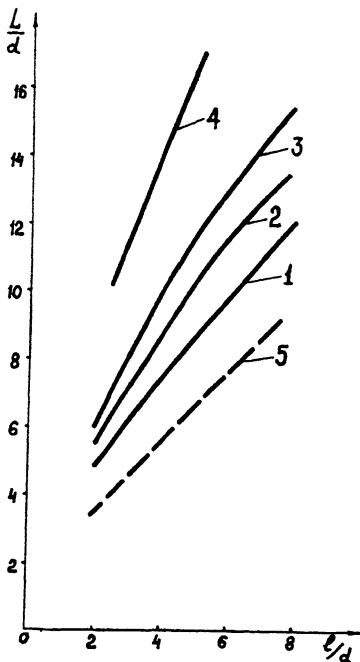


Рис. 2. Зависимость эффективной длины поля клиновидной отклоняющей системы от ее механической длины. Кривая 1 относится к $\Omega = 10$, 2 — $\Omega = 15$, 3 — $\Omega = 20$, 4 — $\Omega = 30^\circ$, 5 — эффективная длина плоско-параллельной ОС.

помощью формул работы [1], с точными значениями примерно в три раза больше, чем по предложенной модели.

Список литературы

- [1] Шерстнев Л.Г. Электронная оптика и электронно-лучевые приборы. М.: Энергия, 1971. 367 с.
 [2] Овсянникова Л.П., Пасовец С.В., Флшкова Т.Я. // ЖТФ. 1992. Т. 62. В. 12.

Физико-технический институт
 им. А.Ф.Иоффе РАН
 Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
 25 июня 1993 г.