

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

01;10

Журнал технической физики, т. 63, в. 1, 1993

© 1993 г.

ОСЕСИММЕТРИЧНАЯ ТРЕХЭЛЕКТРОДНАЯ СИСТЕМА  
С ИНВАРИАНТНОЙ ФОКУСИРОВКОЙ  
ДЛЯ ПУЧКА С КОНЕЧНЫМ ЭМИТТАНСОМ

Е. В. Шпак

Системы с инвариантной фокусировкой широко используются в электронных и ионных приборах и установках. Наиболее изученные из такого рода систем — осесимметричные представляют собой наборы цилиндров или диафрагм. Эти системы обеспечивают сохранение неизменным положение изображения объекта, расположенного на заданном расстоянии от системы, при изменении энергии пучка. Простейшими из осесимметричных линз с инвариантной фокусировкой являются трехэлектродные системы. Изменением отношения потенциалов на третьем и первом электродах  $V_3/V_1$  обеспечивается изменение энергии частиц в пучке, изменением потенциала на втором электроде  $V_2$  подбираются режимы, в которых изменение  $V_3/V_1$  не приводит к изменению положения изображения объекта, расположенного на расстоянии  $P$  от центра системы.

Не менее актуальной, чем расчет описанных выше систем, является задача нахождения соотношений между потенциалами на электродах, т. е. зависимостей  $V_2/V_1 = f(V_3/V_1)$ , при которых сохраняется неизменным положение формируемого системой кроссовера. При этом полагается, что пучок имеет конечный эмиттанс, т. е. начальные значения углов наклона траекторий и координат на входе занимают некоторую область в фазовой плоскости  $rr'$  ( $r$  — радиальная координата,  $r' = dr/dz$ ,  $z$  — главная оптическая ось системы).

В данной работе исследуется осесимметричная система с инвариантной фокусировкой для пучка с конечным эмиттансом, обеспечивающая сохранение неизменным положение сформированного ею кроссовера при изменении энергии пучка. Она состоит из трех диафрагм с диаметрами отверстий  $D$ , расположенных на расстояниях  $A = 0.5D$  друг от друга. Толщина диафрагм мала по сравнению с диаметром  $D$ . Реперная плоскость, от которой отсчитываются расстояния до кроссоверов на входе и выходе, совмещена с центром линзы.

Рассматривался случай, когда начальные значения координат  $r$  и углов наклона  $r'$  в кроссовере на входе ограничены фазовыми контурами

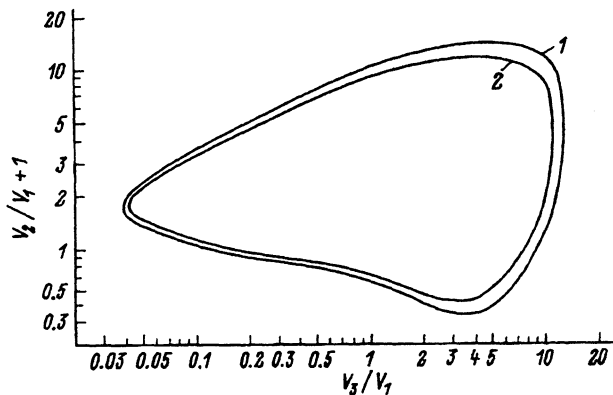


Рис. 1. Зависимости потенциалов на электродах линзы с инвариантной фокусировкой при  $P = 6$ ,  $G = 2$ .  
 1 —  $+\omega = 0.3$ , 2 — 3.

вида

$$\left(\frac{r_0}{R_0}\right)^k + \left(\frac{r'_0}{R'_0}\right)^k = 1, \quad (1)$$

где  $R_0$  и  $R'_0$  — максимальные значения начальных значений  $r_0$  и  $r'_0$  соответственно,  $k = 2m/(2n - 1)$ ,  $m$  и  $n$  — целые числа.

Выражения, характеризующие преобразования кроссовера в кроссовер, в этом случае были получены в работе [1]

$$f_1 f_2 = (P + B - F_1)(G - F_2), \quad (2)$$

где  $B = \omega^k(P - F_0)^{1-k}$ ,  $\omega = R_0/R'_0$ ,  $f_1$  и  $f_2$  — фокусные расстояния в пространстве объектов и изображений,  $F_1$  и  $F_2$  — расстояния от реперной плоскости до фокусов пространства объектов и изображений соответственно,  $P$  — расстояние от кроссовера на входе до центра линзы,  $G$  — расстояние от кроссовера на выходе до той же плоскости.

Для контуров (1) кроссовер пучка совпадает с минимумом его огибающей.

С помощью выражений (2) и значений кардинальных элементов осесимметричной линзы из трех диаграмм, приведенных в монографии [2], были рассчитаны зависимости потенциалов на электродах линзы, обеспечивающие инвариантную фокусировку для пучка с конечным эмиттансом. На рис. 1 приведены зависимости  $(V_2/V_1) + 1 = f(V_3/V_1)$  при  $P = 6$ ,  $G = 2$  для двух значений  $\omega = 0.3$  и 3. Все линейные величины отнесены к  $D$ . Граничный фазовый контур на входе — эллипс ( $k = 2$ ). Кривая 1 ( $\omega = R_0/R'_0 = 0.3$ ) практически совпадает с кривой, обеспечивающей сохранение постоянным положение изображения при заданном положении объекта [2], т. е. с соответствующей кривой при нулевом эмиттансе. При этом расстояние от объекта до реперной плоскости  $P = 4$ , а расстояние от изображения до той же плоскости  $G = 6$ .

С увеличением параметра  $\omega$ , т. е. с увеличением линейного размера пучка в кроссовере  $R_0$  или уменьшением разброса углов  $R'_0$ , верхняя

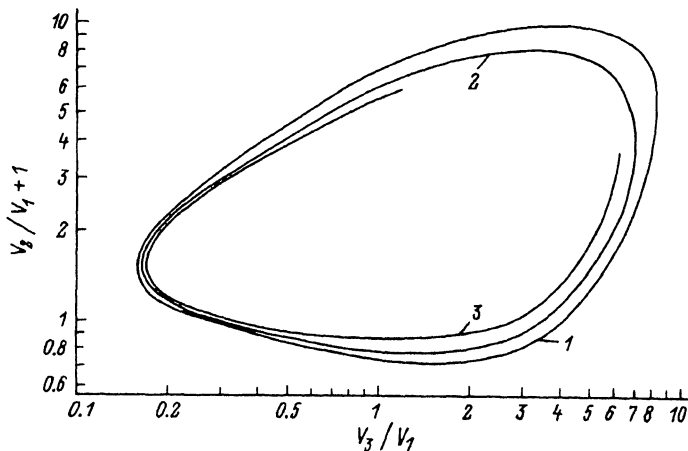


Рис. 2. Зависимости потенциалов на электродах линзы при  $P = G = 6$ .  
 1 —  $\omega = 0.3$ , 2 — 2, 3 — 3.

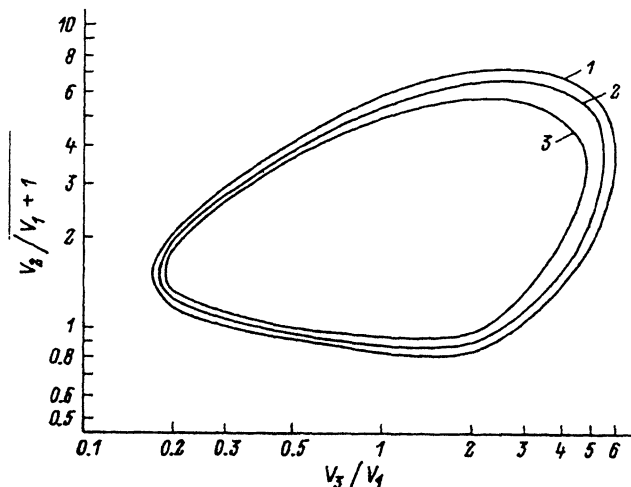


Рис. 3. Зависимости потенциалов при  $P = 4$ ,  $G = 6$ .  
 1 —  $\omega = 0.3$ , 2 — 1, 3 — 1.4.

ветвь кривой смещается вниз, а нижняя — вверх, так что кривые находятся внутри кривой 1.

На рис. 2 приведены зависимости  $V_2/V_1 + 1 = f(V_3/V_1)$  для случая, когда расстояния от кроссоверов на входе и выходе до реперной плоскости совпадают  $P = G = 6$ . Кривые 1-3 соответствуют значениям параметра  $\omega$  — 0.3, 2 и 3. Кривая 1 ( $\omega = 0.3$ ) также практически совпадает с соответствующей кривой с нулевым эмиттансом. С увеличением параметра  $\omega$  кривые смещаются от кривой 1, находясь внутри нее. Влияние возрастания  $\omega$  сказывается значительно сильнее, чем в предыдущем случае ( $P = 6$ ,  $G = 2$ ) (рис. 1).

На рис. 3 те же кривые приведены для случая  $P = 4$ ,  $G = 6$ , они соответствуют значениям  $\omega$  — 0.3, 1 и 1.4. При  $\omega = 1$  кривая 2 является замкнутой и находится внутри области, ограничиваемой кривой 1. С даль-

$V_3/V_1$	$V_2/V_1$					
	$k = \frac{4}{3}$		$k = 2$		$k = 4$	
0.2	0.131	1.27	0.152	1.21	0.184	1.16
1.2	-0.250	5.95	-0.221	5.58	-0.173	4.93
5.0	0.394	7.10	0.464	6.61	0.702	6.01

вейшим увеличением  $\omega$  сохраняется только нижняя часть кривой. Верхняя часть кривой / отличается от нижней тем, что при больших значениях  $V_2/V_1$  главные плоскости и фокальная плоскость пространства объектов смещены ближе к предмету. С увеличением параметра  $\omega$  кроссовер на выходе всегда сдвигается от положения изображения при  $\omega = 0$  в сторону фокальной плоскости линзы. Для того чтобы его положение осталось неизменным ( $P = G = 6$  в данном случае), необходимо ослаблять линзу. При этом положение фокальной плоскости  $F_1$  приближается к кроссоверу на входе быстрее для режимов, соответствующих верхней части кривой. При  $F_1 \geq P$  линза кроссовера не формирует. При дальнейшем увеличении параметра  $\omega \geq 2$  для заданного значения  $P = 4$  сформировать кроссовер на расстоянии  $G = 6$  от центра линзы невозможно.

Были проведены расчеты для различных фазовых граничных контуров в кроссовере на входе вида (1) при  $\omega = 1$ ,  $Px = 4$ ,  $G = 6$ . Результаты расчета даны в таблице.

Для контуров, ограничивающих большую площадь на фазовой плоскости  $rr'$ , отличие от кривых с нулевым эмиттансом больше.

Из проведенных расчетов можно сделать следующие выводы. При уменьшении параметра  $\omega = R_0/R'_0$  зависимости  $V_2/V_1 = \varphi(V_3/V_1)$  при заданном положении кроссоверов на входе и выходе приближаются к тем же зависимостям, при которых неизменными поддерживаются положения предмета и изображения. С увеличением  $\omega$  кривые смещаются таким образом, что оказываются внутри тех же кривых, соответствующих меньшим значениям  $\omega$ . При дальнейшем увеличении кривые становятся незамкнутыми, причем сначала исчезает верхняя часть кривых. Возрастание эмиттанса за счет увеличения разброса углов и возрастания размеров пучка сказывается на изменении хода кривых противоположным образом. Влияние увеличения размера пучка (или уменьшение угловых размеров) сказывается тем сильнее, чем больше выходное плечо  $G$  относительно входного  $P$ .

### Список литературы

- [1] Фишкова Т.Я., Шпак Е.В. // ЖТФ. 1987. Т. 57. Вып. 4. С. 817-820.  
 [2] Harting E., Read F.H. Electrostatic Lenses. Amsterdam-Oxford-New York: Elsevier Sci. Publish. Company, 1976. 322 p.

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

Поступило в Редакцию  
 18 июля 1991 г.