

РАСЧЕТ ФОКУСИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ОДИНОЧНЫХ ЛИНЗ ИЗ ДВУХ КОАКСИАЛЬНЫХ ЦИЛИНДРОВ С ВЫРЕЗАМИ

Т. Я. Фишкова, Е. В. Шпак

В работе [1] исследовалась иммерсионная бипотенциальная линза, состоящая из двух коаксиальных цилиндров с вырезами во внутреннем. Подобная конструкция представляет интерес также и при одинаковых потенциалах пространства предмета и изображения (одиночная линза). Из-за большей силы осесимметричной составляющей здесь можно ожидать получения режимов, в которых такая линза формирует пучок, сходящийся во всех направлениях, при меньших потенциалах на электродах, чем в иммерсионной линзе.

На рис. 1 представлена схема исследуемой одиночной бипотенциальной линзы. Длины и угловые размеры вырезов во внутреннем электроде обозначены l и 2α соответственно. Для расчета использовался аналитико-численный метод: поле линзы аппроксимировалось аналитическим выражением, а траектории и электронно-оптические параметры линзы рассчитывались численно на ЭВМ.

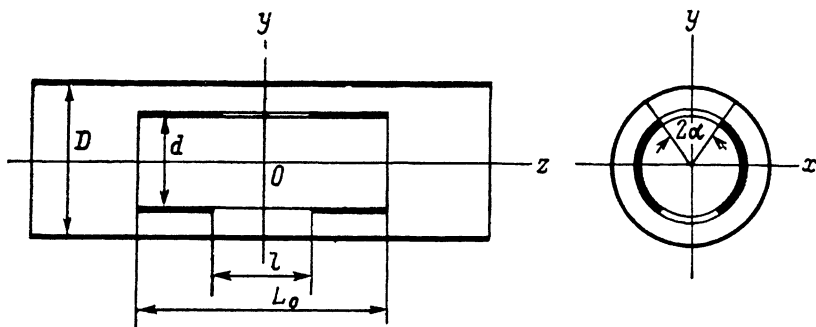


Рис. 1. Одиночная осесимметрично-квадрупольная линза.

Если длина внутреннего цилиндра выбрана достаточно большой ($L_0 \geq 2d$), а длины вырезов малы $l \leq 0.5d$, то распределение осесимметричной составляющей вдоль оси линзы можно получить с помощью эмпирической формулы (1) работы [1]. Суммируя распределения потенциала двух иммерсионных линз, образующихся при $z < 0$ и $z > 0$, получим

$$\Phi(z) = V_1 + \frac{V_2 - V_1}{2} \operatorname{th} \left(\lambda \frac{z + z_0 + \frac{L_0}{2}}{d} \right) + \frac{V_1 - V_2}{2} \operatorname{th} \left(\lambda \frac{z - z_0 - \frac{L_0}{2}}{d} \right), \quad (1)$$

где V_2 и V_1 — потенциалы внутреннего и наружного цилиндров соответственно, $\lambda = \lambda_0(2d/D + d)$, $z_0 = d/2(1 - (d/D))$, $\lambda_0 = 2.637$.

В работе [1] было показано, что наличие вырезов во внутреннем цилиндре при их длине $l \leq 0.5d$ и углах $2\alpha = 60-105^\circ$ практически не влияет на распределение осевого потенциала, но создает квадрупольную составляющую.

Уравнение проекций траектории заряженных частиц на плоскость xz в исследуемой осесимметрично-квадрупольной (ОК) линзе имеет вид [2]

$$\Phi(z) x'' + \frac{1}{2} \Phi'(z) x' + \left[\frac{\Phi''(z)}{4} - \kappa \right] x = 0, \quad (2)$$

где $\kappa = (2K_2(V_2 - V_1)/d^2)\xi$ определяет квадрупольную составляющую линзы.

Уравнение проекций траекторий на плоскость yz получается из (2) заменой $x \rightarrow y$, $x \rightarrow -x$. Квадрупольная составляющая рассчитывалась при использовании прямоугольной модели поля. При больших длинах вырезов $l \geq d$ коэффициент $\xi \approx 1$, при их уменьшении сила квадрупольной составляющей также уменьшается $\xi < 1$.

Были рассчитаны кардинальные элементы одиночной ОК линзы для различных углов выреза во внутреннем электроде при соотношении диаметров цилиндров $d/D = 0.8$ и длине вырезов $l = 0.5d$. На рис. 2 приведены зависимости фокусных расстояний (кривые 1, 2) и положений фокусов (кривые 3, 4) от отношения потенциалов при углах $2\alpha = 60^\circ$. Величины

5. K_2 . l определялись на основании данных работ [1, 3]. Для указанных выше геометрических линзы $L=0.55d$, $\xi=0.60$, $K_2=0.64$. Фокусные расстояния и положения фокусов (расстояния от центра линзы до фокальной плоскости) при $l=d/2$. $2\alpha=105^\circ$ для наиболее интересной

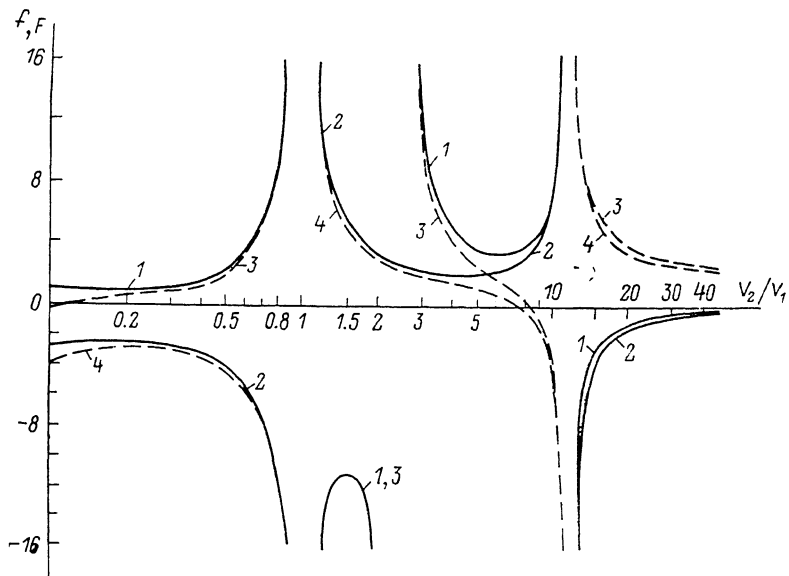


Рис. 2. Зависимости фокусных расстояний f и положений фокусов F от отношения потенциалов на электродах.

1 - f_x , 2 - f_y , 3 - F_x , 4 - F_y .

области режимов, когда фокусные расстояния в плоскостях xz и yz положительны $f_x > 0$, $f_y > 0$, даны в таблице. Фокусные расстояния и положения фокусов, приведенные на рис. 2 и в таблице, выражены в единицах внутреннего диаметра линзы d .

При $V_2/V_1 < 1$ линза является замедляющей, энергия частиц в области выреза мала, влияние квадрупольной составляющей является преобладающим и одиночная ОК линза по своему действию близка к квадрупольной. Аналогичный эффект получается и при малых ускорениях $V_2/V_1 < 2$. В этих режимах различия в фокусирующих свойствах одиночной и иммерсионной [1] ОК линз невелики. Однако наиболее интересная область режимов линзы, когда действия квадрупольной и осесимметричной составляющих соизмеряемы и линза становится собирающей в обеих плоскостях, в одиночной ОК линзе шире, причем начало этой области сдвигается в сторону меньших значений V_2/V_1 . Так, одиночная линза с длиной вырезов $l=0.5d$ и их угловым размером $2\alpha=60^\circ$ становится собирающей в обеих плоскостях,

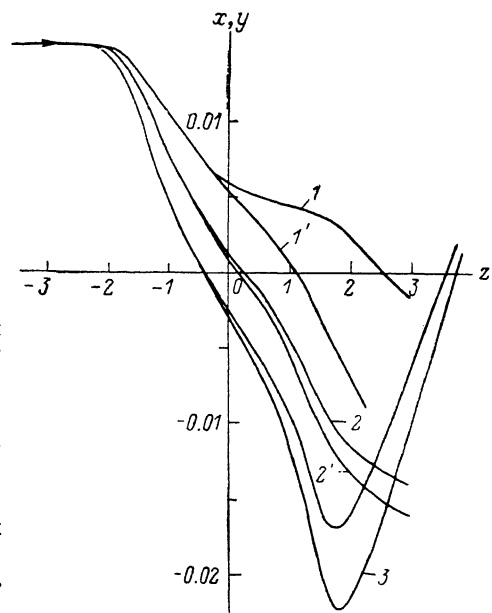


Рис. 3. Траектории в линзе с $d/D=0.8$, $2\alpha=60^\circ$, $l=d/2$ при различных отношениях потенциалов на электродах.

1, 1' - 5; 2, 2' - 10; 3, 3' - 20; 1', 2', 3' - плоскость yz ; 1, 2, 3 - xz .

начиная с $V_2/V_1=2.4$, в то время как иммерсионная линза с теми же параметрами вырезов — с $V_2/V_1=4.3$. Сравнение результатов для одиночной и иммерсионной ОК линз в режимах сбора в обеих плоскостях при одинаковых отношениях диаметров цилиндров, углов вырезов и соотношениях потенциалов показало, что одиночная линза сильнее иммерсионной в обеих плоскостях.

$\frac{V_2}{V_1}$	f_x	f_y	F_x	F_y
3	48.2	1.92	48.1	1.48
4	9.02	1.81	6.14	1.17
5	4.78	1.86	3.51	0.81
6	3.62	2.04	2.21	0.60
8	3.89	2.98	0.32	-0.58
10	6.50	6.42	-2.31	-4.18
11	12.81	12.82	-9.23	-12.78

При увеличении отношения потенциалов V_2/V_1 на электродах сила осесимметричной линзы растет быстрее, чем квадрупольной, так как растет осевой потенциал в области вырезов, и линза является фокусирующей в двух направлениях вплоть до $V_2/V_1 \approx 10$ при $2\alpha = 60^\circ$ и $V_2/V_1 \approx 11$ при $2\alpha = 105^\circ$. На рис. 3 приведены траектории частиц в этой области для $2\alpha = 60^\circ$ (кривые 1, 1', 2, 2'). При дальнейшем увеличении отношения потенциалов V_2/V_1 траектории начинают пересекать ось z дважды (кривые 3, 3'). Величины x , y , z на рис. 3 выражены в единицах d .

Проведенные расчеты подтвердили перспективность применения ОК линзы простой конструкции и всего двумя питающими напряжениями с целью получения сходящихся астигматичных пучков заряженных частиц. При этом предпочтительнее геометрия ОК линзы с малыми ($l \sim 0.5d$) длинами вырезов, так как нужные режимы достигаются при небольших напряжениях на электродах $V_2 = (2.5-10)V_1$. Такие линзы могут быть использованы для вытягивания и формирования пучков в различных электронных и ионных приборах и установках, в тракте которых имеются элементы с некруглой апертурой.

Список литературы

- [1] Фишкова Т. Я., Шнак Е. В. // ЖТФ. 1989. Т. 59. Вып. 4. С. 128—134.
 [2] Фишкова Т. Я., Шнак Е. В., Цаплина Н. А. // ЖТФ. 1984. Т. 54. Вып. 6. С. 1179—1182.
 [3] Gregory B. C., Sander K. F. // J. Electr. Control. 1962. Vol. 13. N 2. P. 123—136.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Поступило в Редакцию
17 декабря 1988 г.

СЖАТИЕ РАДИОИМПУЛЬСОВ С ПОМОЩЬЮ ЭФФЕКТА НЕРЕЗОНАНСНОГО СПИНОВОГО ЭХА В АНСАМБЛЕ ОПТИЧЕСКИ ОРИЕНТИРОВАННЫХ АТОМОВ

Н. А. Доватор, Р. А. Житников

В настоящее время наряду с цифровыми широко применяются также аналоговые методы обработки импульсных сигналов, основанные на различных физических эффектах и позволяющие вести обработку в реальном масштабе времени [1].

Одним из таких аналоговых методов является сжатие радиоимпульсов с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ), основанное на эффекте спинового эха Хана [2]. Суть его состоит в том, что после взаимодействия сигнального ЛЧМ импульса с ансамблем спинов на него воздействуют управляющим ЛЧМ импульсом с такой же, как у сигнального, величиной девиации частоты, но большей амплитудой и в два раза меньшей длительностью. Взаимодействие спинового ансамбля с этими импульсами приводит к возникновению эхо-сигнала в виде узкого радиоимпульса с длительностью, значительно меньшей, чем у сигнального.

Другой метод сжатия импульсов предложен в [3, 4]. Согласно этому предложению сжатия ЛЧМ импульсов можно добиться и без применения управляющего ЛЧМ импульса.