

УДК 537.533

Опыт компьютерного проектирования электронно-оптической системы электронно-оптического преобразователя с магнитной фокусировкой изображения

Ю. В. Куликов, И. Г. Прянишников

Научно-исследовательский институт импульсной техники, Москва, Россия

В. А. Тарасов

Институт общей физики РАН, Москва, Россия

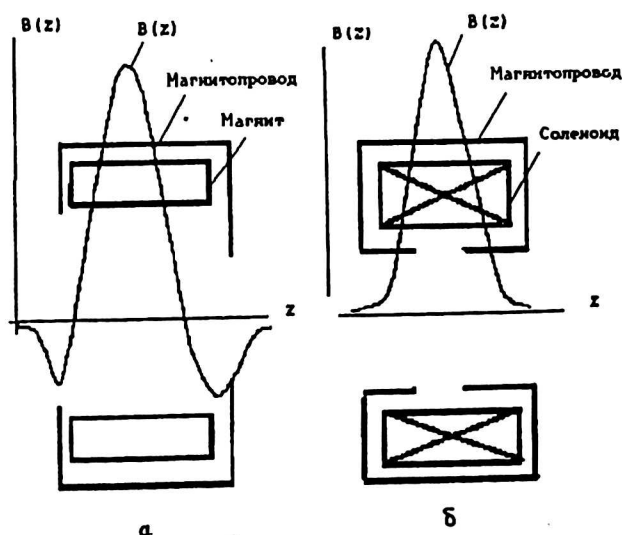
Рассмотрены некоторые аспекты создания электронно-оптического преобразователя (ЭОП) с магнитной фокусировкой, в том числе результаты компьютерного проектирования его электронно-оптической системы (ЭОС). Проектирование проводилось с использованием пакета прикладных программ ELIM-E. В результате выполненной работы удалось показать возможность создания ЭОП с магнитной фокусировкой изображения, в котором используется магнитная линза с бронированным постоянным магнитом, а также подтвердить эффективность алгоритмов, используемых в пакете прикладных программ ELIM-E.

Рассмотрим некоторые вопросы компьютерного проектирования и практической реализации электронно-оптической системы электронно-оптического преобразователя с магнитной фокусировкой изображения. Как известно, ЭОП с электростатической фокусировкой получили существенно большее распространение, чем с магнитной. Это, по-видимому, связано с рядом существенных недостатков последних. К ним, в частности, относятся необходимость применения отдельного источника питания магнитных линз, худшие массогабаритные характеристики и т. д. В ряде практических применений, где эти недостатки не являются столь существенными, магнитная фокусировка может дать определенные преимущества по сравнению с электростатической фокусировкой. Например, применение магнитной линзы в виде бронированного соленоида в ЭОП, используемом для регистрации быстропротекающих процессов, позволяет разделить функции ускорения электронного пучка с функцией фокусировки. На этой основе авторам работы [1] удалось достичь рекордного временного разрешения. Используя современные магнитные материалы, авторы попытались спроектировать и испытать магнитную линзу с использованием постоянного магнита, не требующую отдельного источника питания и тем самым снять один из существенных недостатков рассматриваемых приборов.

Представлялось также интересным сравнить электронно-оптические характеристики магнитной линзы с постоянным магнитом и эквивалентной ей по оптическому действию магнитной линзы с бронированным соленоидом. В процессе выполнения работы решалась также задача тестирования пакета прикладных программ ELIM-E [2], используемого для компьютерного проектирования. Расчет траекторий электронов в этом пакете производится на

основе метода теории аббераций [3]. Ниже следуют результаты компьютерного проектирования и практической реализации указанных выше типов магнитных линз, используемых для фокусировки изображения в ЭОП. Рассматривались два варианта магнитных линз.

В первом варианте (рисунок, а) это была линза с бронированным постоянным магнитом, во втором — линза в виде бронированного соленоида (см. рисунок, б). В качестве постоянного магнита использовались короткие стержни из материала Nd—Fe—В в специальной оправке. Подбирая число и ориентацию стержней, можно получить распределение магнитного поля на оси, весьма близкое к требуемому. Геометрия и возбуждение магнитопровода для указанных магнитных линз подбирались таким образом, чтобы получить одинаковые значения увеличения и длины прибора. При вычислениях полученное экспериментально-осевое распределение магнитного поля линзы с бронированным постоянным магнитом аппроксимировалось с графической точностью полем трех соленоидов, поле бронированного соленоида вычислялось по формуле Дюрандо [4]. Осевые распределения магнитного поля для обеих линз также приведены на рисунке.



Варианты магнитных линз:

*а — магнитная линза с бронированным постоянным магнитом;
б — с бронированным соленоидом*

Далее вычислялись основные электронно-оптические характеристики ЭОС — увеличение, положение изображения, временные и пространственные искажения, временное и пространственное разрешение. Расчетные значения статических и динамических характеристик рассматриваемых обоих вариантов ЭОС оказались весьма близкими. На основе проведенного проектирования были изготовлены макетные образцы двух вариантов ЭОП и проведено их экспериментальное исследование. Некоторые результаты компьютерного моделирования и экспериментальной проверки макетов ЭОП с магнитной фокусировкой приведены в таблице.

Фокусирующая система	Увеличение в центре	Разрешение на краю, штр/мм	Угол поворота изображения, град
Бронированный соленоид (ELIM-E, расчет)	2	30	239
Бронированный соленоид (эксперимент)	$2 \pm 0,05$	30 ± 1	240 ± 2
Бронированный постоянный магнит (ELIM-E, расчет)	2	10	183
Бронированный постоянный магнит (эксперимент)	$2 \pm 0,05$	10 ± 1	183 ± 2

Как видно из таблицы, расчетные характеристики для обоих вариантов достаточно хорошо соответствуют эксперименту, что является существенным подтверждением правильности алгоритмов, используемых в пакете прикладных программ ELIM-E. Следует заметить, что разрешение на краю поля ЭОП с бронированным постоянным магнитом существенно ниже, чем с бронированным соленоидом. Это объясняется большей кривизной изображения в первом случае, что связано с большей осевой протяженностью распределения магнитного поля в линзе с бронированным постоянным магнитом по сравнению с бронированным соленоидом. Наличие двух зон с отрицательными значениями в осевом распределении магнитного поля линзы с бронированным постоянным магнитом позволило получить полный угол поворота изображения, близким к 180 град. В результате выполненной работы удалось показать возможность создания ЭОП с магнитной фокусировкой, в котором используется магнитная линза с бронированным постоянным магнитом. Удалось также обеспечить поворот изображения почти на 180 град, характерный для ЭОП с электростатической фокусировкой.

Таким образом, на практике удалось снять одно из существенных ограничений, препятствующих более широкому применению магнитной фокусировки в ЭОП. С другой стороны, такая линза весьма перспективна при решении задачи достижения рекордного временного разрешения.

Л и т е р а т у р а

1. Kinoshita K., Ito M., Suizama M. Analysis of space charge effects in the femtosecond streak tube. — SPIE, 1988. Vol. 981.
2. Куликов Ю. В. Об опыте создания программно-методического обеспечения для расчета эмиссионных электронно-оптических изображающих систем//Прикладная физика, 1996. № 3.
3. P'in V. P., Kateshov V. A., Kulikov Yu. V., Monastyrsky M. A. Emission-Imaging Electron-Optical System Design. — Adv. electronics and electron physics, 1990. V. 78. Acad. Press.
4. Durandean P. Ann. fac. Science Univ. Toulouse, 1957. V. 21.

Experience of computer designing of electron-optical system of the streak tube with magnetically focused of the image

Yu. V. Kulikov, I. G. Pryanishnikov

Research Institute of Pulse techniques, Moscow, Russia

V. A. Tarasov

General Physics Institute of RAS, Moscow, Russia

Some aspects of creation of the magnetically focused streak tube, including results of computer designing of its electron-optical system are calculated. The designing was carried out with use of a package of the programs ELIM-E. As a result of the work it was possible to show an opportunity of creation of streak tube with magnetically focused, in which the magnetic lens with the armored permanent magnet is used, and also to confirm efficiency of algorithms used in a package of the programs ELIM-E.