

### ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ФАЗОВОГО ЭЛЛИПСА В ЭЛЕКТРОННО- ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Н. В. ТРИХАНОВА, В. А. КОЧЕГУРОВ

В [1] показано, что расчет движения электронных пучков в системах транспортировки необходимо проводить на фазовой плоскости. При этом характеристики пучка вдоль движения представляются в виде фазового эллипса, описываемого уравнением

$$\gamma x^2 + 2\alpha x x' + \beta x'^2 = \epsilon, \quad (1)$$

где  $\beta, \gamma, \epsilon$  характеризуют соответственно полуширину, полурасходимость пучка и площадь фазового эллипса.

Расчет сводится к определению параметров эллипса ( $\gamma, \alpha, \beta$ ), которые изменяются вдоль движения в зависимости от характера действующих внешних сил на электронный пучок. Следует указать, что площадь эллипса в соответствии с теоремой Лиувилля остается постоянной. Для пространства без внешних магнитных полей параметры эллипса преобразуются в соответствии с уравнением [2]:

$$\begin{pmatrix} \beta \\ \gamma \\ \alpha \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & y & y^2 \\ 1 & 1 - y & \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \gamma_0 \\ \alpha_0 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Под действием внешнего поперечного магнитного поля все частицы будут совершать движение, описываемое уравнением

$$\frac{d^2 x}{dy^2} = \frac{e c H_z}{\sqrt{W^2 - W_0^2}}, \quad (3)$$

где

- $e$  — заряд электрона,
- $c$  — скорость света,
- $W$  — полная энергия электрона,
- $W_0$  — энергия покоя электрона,
- $H_z$  — напряженность внешнего магнитного поля.

Решение уравнения (3) имеет вид:

$$\begin{aligned} x' &= -A H_z y + x'_0; \\ x &= -\frac{1}{2} A H_z y^2 + x'_0 y + x_0, \end{aligned} \quad (4)$$

где

$$A = \frac{ec}{\sqrt{W^2 - W_0^2}},$$

$y$  — продольная координата,

$x_0, x'_0$  — начальные угол и отклонение электрона.

Решая совместно уравнения (1) и (4) для данных начальных условий  $\gamma_0, \beta_0, \alpha_0, x_0, x'_0$  и внешнего магнитного поля, получим уравнение фазового эллипса при некотором значении  $y$ :

$$\gamma x^2 + 2\alpha x x' + \beta x'^2 + 2\delta x + 2\eta x' = \varepsilon_1, \quad (5)$$

где

$$\gamma = \gamma_0;$$

$$\alpha = \alpha_0 + \gamma_0 y;$$

$$\beta = \gamma_0 - 2\alpha_0 y + \beta_0;$$

$$\delta = \frac{1}{2} A H_z y^2 \gamma_0 + A H_z y (\alpha_0 - \gamma_0 y);$$

$$\eta = -\frac{1}{2} A H_z y^3 \gamma_0 + A H_z y^2 (\gamma_0 y - 2\alpha_0) + A H_z y \left( \frac{y \alpha_0}{2} + \beta_0 \right).$$

Уравнение (5) представляет собой уравнение фазового эллипса со смещенным центром. Координаты центра такого эллипса определяются:

$$x_y = -\frac{\begin{vmatrix} \delta & \alpha \\ \eta & \beta \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \gamma & \alpha \\ \alpha & \beta \end{vmatrix}} = -\frac{1}{2} A H_z y^2; \quad (6)$$

$$x'_y = \frac{\begin{vmatrix} \gamma & \delta \\ \alpha & \eta \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \gamma & \alpha \\ \alpha & \beta \end{vmatrix}} = A H_z y.$$

Нетрудно заметить, что коэффициенты  $\gamma, \alpha, \beta$  в уравнении (5) и эти же коэффициенты, вычисленные из выражения (2) для пространства дрейфа, соответственно равны. Отсюда можно сделать вывод, что действие внешнего поперечного магнитного поля при движении электронного пучка в пространстве дрейфа не искажает конфигурацию фазового эллипса, а только лишь смещает его центр. Это позволяет при расчете электронно-оптических систем с учетом внешних магнитных полей пользоваться методикой, разработанной в [1] с применением средств аналоговой вычислительной техники.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Кочегуров, Н. В. Триханова. Труды VI Межвузовской конференции по электронным ускорителям, 1966.

2. P. T. Kirstein, Journal of electronics and control. First Series, v XIV N 3, 1963.