

УДК 621.385

РАСЧЕТ ОТКЛОНЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ТИПА "МЕАНДР"

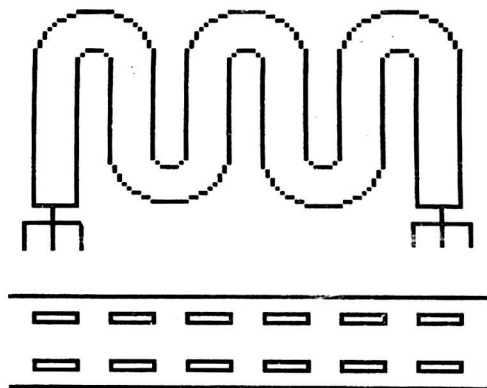
И. Ш. Белуга

НИИ ПЛАТАН, Фрязино, Россия

Рассчитана система, предназначенная для отклонения электронного пучка в устройствах, анализирующих быстропротекающие процессы.

Одна из возможных отклоняющих систем времяанализирующих электронно-оптических преобразователей — система типа "меандр". Задача ее расчета поставлена в отделе фотоэлектроники Института общей физики РАН.

Рассчитываемая система показана на рисунке. Известные отклоняющие системы конденсаторного типа состоят из двух сплошных пластин, между которыми прикладывается отклоняющая разность потенциалов. В меандровой системе вместо пластин используются волнообразно изогнутые ленточные проводники (меандры). На вход каждого меандра подается импульсный отклоняющий потенциал. Знаки этих потенциалов противоположны, так что в средней плоскости, в которой идет неотклоненный пучок, отклоняющий потенциал равен нулю. Импульс подается на вход через коаксиальную линию, выход — на такую же линию.



Отклоняющая система типа "меандр"

На верхней части рисунка виден один меандр. Второй такой же находится под ним. На нижней части даны поперечные сечения обоих меандров, каждое из шести сечений проводников. Горизонтальные прямые линии — это сечения проводящих плоскостей, экранирующих систему.

Размеры рассчитываемой системы следующие: прямоугольное сечение ленты имеет стороны 2,0 и 0,3 мм; зазор между меандрами — 2,1 мм, между меандром и экраном — 0,6 мм, между сечениями одного меандра 1,6 мм. Общая длина системы в горизонтальном направлении равна $6 \times 2,0 + 5 \times 1,6 = 20$ мм. Размер в перпендикулярном направлении 10 мм.

Меандровая отклоняющая система (ОС) представляет собой сложную трехмерную структуру, не поддающуюся прямому расчету. Но наша конкретная система может быть рассчитана приближенно методами многопроводных линий [1]. Если рассмотреть поперечное сечение соответствующей многопроводной линии, показанное на нижней части рисунка, то можно рассчитать взаимные емкости между этими проводниками (слово "проводник" означает поперечное сечение ленты). Оказывается, что емкость проводника на экран в 15 раз больше, чем вза-

имная емкость между соседними проводниками одного меандра. На этом основании можно пренебречь взаимодействием между проводниками многопроводной линии и считать, что импульс отклоняющего потенциала движется со скоростью света вдоль волнообразного проводника над плоскостью. При этом мы пренебрегаем и отражением от изгибов проводника на том же основании — сильное взаимодействие между проводником и экраном.

Электростатическое поле в поперечном сечении многопроводной линии, в соответствии с представлениями теории таких линий [1], чисто поперечное и удовлетворяет уравнению Лапласа. Нас интересует прежде всего среднее сечение, в котором идет пучок. Потенциалы проводников в этой задаче зависят от времени в соответствии с законом движения бегущего импульса. Для численного решения двумерной электростатической задачи применен метод, описанный в работе [2].

Разработана программа расчета меандровой ОС.

Входными величинами в этой программе являются:

энергия электронов в эВ ($U_э$);

высота импульса отклоняющего потенциала (U_{max});

время подъема импульса (τ);

отклонение момента влета электрона относительно начала импульса на входе в меандр;

размеры ОС.

Выходными величинами являются:

отклонение на выходе из ОС и на экране;

скорость развертки v_p (производная отклонения на экране по времени влета).

Предложенная модель расчета ОС — первая. Ниже приведено описание второй упрощенной модели — плоского конденсатора с бегущим импульсом.

Электрон летит между обкладками плоского конденсатора. Движение — в направлении оси x , отклоняющая сила действует в направлении оси y . Пластины конденсатора совпадают с плоскостями $y = \pm d$. Потенциал отклоняющего поля на верхней пластине равен $+U_{от}$, на нижней $-U_{от}$. Напряженность отклоняющего поля $E_y = -U_{от}/d$. Конденсатор находится в пределах от $x = 0$ до $x = l$. Электрон влетает в ОС в точке $x = 0, y = 0$ в направлении оси x со скоростью $v_э = (e/m)^{1/2} (2U_э)^{1/2} = 4,193 \cdot 10^8 (2U_э)^{1/2}$ мм/с. Здесь $U_э$ — энергия электрона в эВ. Компонента E_x в плоском конденсаторе равна нулю, так что скорость $v_x = v_э$ постоянна.

В отличие от обычной модели плоского конденсатора, потенциал $U_{от}$ зависит не только от времени, но и от координаты x . Если $t = 0$ в момент начала импульса на входе, при $x = 0$, то $(U_{от})_{x=0} = at$, где $a = U_{max}/\tau$, U_{max} — вершина импульса, τ — его ширина. В дальнейшем отсчитываем время от момента влета электрона в ОС, в точке $x = 0$. Если влет отстает от начала импульса на t_0 , то $(U_{от})_{x=0} = a(t + t_0)$.

Скорость движения импульса вдоль оси x равна $v_{имп} = c (Ш/P)$, где c — скорость света, P — длина средней линии "полуволны" меандра; $Ш$ — шаг многопроводной линии. В нашей системе $P = 10,05$, $Ш = 2 + 1,6 = 3,6$, откуда $v_{имп} = 1,0737$ мм/с, что соответствует энергии электрона $U_э = 32\ 732$ эВ.

В произвольной точке x

$$U_{от} = a(t + t_0 - (x/v_{имп})) \quad \text{— (бегущий импульс!).}$$

Для движущегося электрона $x = v_s t$, так что электрон видит $U_{от} = a (\xi t + t_0)$, где величина

$$\xi = 1 - (v_s/v_{имп})$$

характеризует рассогласование бегущего вдоль оси x импульса и электрона.

Уравнение движения электрона вдоль оси y имеет вид:

$$d^2 y / dt^2 = (e/m)(U_{max}/\tau)(\xi t + t_0).$$

Дважды интегрируя это уравнение по t с нулевыми начальными значениями

$$(y)_{t=0} = 0, \quad (dy/dt)_{t=0} = 0,$$

получаем координаты электрона на выходе из ОС и на экране (при $x = l$ и $x = x_{эк}$ соответственно). Внутри системы движение по y ускоренное, а от $x = l$ до $x = x_{эк}$ — равномерное, по прямой.

Окончательные формулы таковы:

$$(y)_{x=l} = (U_{max}/\tau)(1/d) \left(l^2 / 2U_s \right) [t_0/2 + (\xi/6)(l/v_s)];$$

$$(y)_{x=x_{эк}} = v_p \left(t_0 + \xi(l/2v_s) \left(L^1/L \right) \right).$$

Здесь

$$L = x_{эк} - l/2;$$

$$L^1 = x_{эк} - 2l/3;$$

$$v_p = (U_{max}/\tau)(1/d)(Ll/2U_s);$$

v_p — скорость развертки.

При $\xi = 0$ (при точном согласовании скоростей) получаем известные формулы для плоского конденсатора.

Видно, что скорость развертки не зависит от момента влета t_0 , тогда как отклонение зависит от него. С уменьшением t_0 отклонение убывает. Причина в том, что электрон попадает ближе к началу импульса. Отмечаем, что эти выводы подтверждаются и при расчете по первой модели.

Можно предположить, что для хорошего согласования электрон должен в средней точке ОС попасть в середину импульса. Тогда следует взять $t_0 = t_{ср}$, где

$$t_{ср} = (\tau/2) + l/2v_{имп} - l/2v_s.$$

Если при этом получается слишком большое отклонение (электрон попадает на меандр), то следует взять $t_0 = t_{ср} + T_{см}$ при $T_{см} < 0$.

При оценке реальной системы по второй модели величину d следует брать большей, чем половина зазора между меандрами. Мы оценили емкость шести проводников в поперечном сечении меандра на среднюю плоскость, разделяющую два меандра, и нашли, что для $(1/d)$ следует брать значение 0,854 вместо $(1/1,05) = 0,95$.

Приводим результаты расчета нашей системы при $U_{\max} = 1250$ В, $x_{\text{эк}} = 260$ мм. В верхней строке — результаты расчета по первой модели, в нижней — по второй. Для скорости развертки совпадение хорошее. Расчет отклонений по первой модели проведен при $T_{\text{см}} = -30 \cdot 10^{-12}$ с, во второй модели взято $T_{\text{см}} = -20 \cdot 10^{-12}$ с, чтобы получить удовлетворительное совпадение с первой моделью. Несмотря на это различие, расчеты в целом подтверждают один другого и выглядят так (см. таблицу).

U_s	$(y)_{x=1}$	$(y)_{x=x_{\text{эк}}}$	v_p/c
30 000	0,934	26,97	2,93
	1,017	26,64	2,97
35 000	0,893	23,15	2,52
	0,946	22,91	2,54
40 000	0,842	20,29	2,21
	0,879	20,10	2,23

Л и т е р а т у р а

1. Силин Р. А., Сазонов В. П. Замедляющие системы. — М.: Сов. радио, 1996.
2. Белуга И. Ш., Хоменко В. М., Чурсин А. Г. О решении двумерных задач электростатики методом интегральных уравнений // Машинное проектирование устройств и систем СВЧ: Межвуз. сб. науч. тр. — М., МИРЭА, 1979. С. 191—205.

COMPUTATION OF DEFLECTION SYSTEM OF MEANDER TYPE

I. Sh. Beluga
PLATAN RI, Fryazino, Russia

A system intended for deflection of an electron beam in devices which investigate short processes is computed.