

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ԻՆՏԻՏՈՒՏ  
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ԳԻՏԱԿԱՆ ՀԱՂՈՐԴՈՒՄ ՆԱՍԿՈՒՄ ՍՈՍԵՇՆԵ

· ЕФИ-234(27)-77

И.Е.ВАСИНЮК, А.С.НАНАСЯН

МЕТОДЫ ОТСЧЕТА ПОЛОЖЕНИЯ СКАНИРУЮЩЕЙ  
АПЕРТУРЫ В ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ  
СКАНИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВАХ.



ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Научное сообщение ЕФИ-234(27)-77

И.Е.ВАСИНЮК, А.С.НАНАСЯН

МЕТОДЫ ОТСЧЕТА ПОЛОЖЕНИЯ СКАНИРУЮЩЕЙ  
АПЕРТУРЫ В ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ  
СКАНИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВАХ.

Ереван 1977

Ереванский Физический  
ИНСТИТУТ  
Зал преприготов.

Рассмотрим требования к оптико-механическим развертывающим устройствам с точки зрения зонного сканирования в поле увеличенного изображения. Существующие оптико-механические устройства с полным охватом всего кадра сканирующей строкой (например, НРД) не могут быть признаны оптимальными по двум причинам:

- 1) значительные габариты и чрезвычайно высокая точность изготовления сканирующих щелей;
- 2) значительное мертвое время при сканировании малых зон:

$$T_M = \frac{B-b}{b} T_c$$

где  $B$  - длина сканлинии  
 $b$  - ширина зоны  
 $T_c$  - период сканирования строки

Если принять длину строки равной ширине изображения зоны

$$L = b,$$

то мертвое время аннулируется, а требования к габаритам и точности изготовления упрощаются. Адаптация к переменным размерам зоны может быть достигнута изменением кратности увеличения изображения.

Требования к сканирующему диску при выбранной длине сканлинии определяются по допустимым погрешностям цифрования положения апертуры и допустимым

изменениям её размеров. Применительно к этим требованиям рассмотрим две из возможных конфигураций сканирующей щели диска: эвольвенту окружности и радиальную щель:

1. Эвольвента (рис.1)

$$\begin{aligned}x &= r_0 (\cos \varphi + \varphi \sin \varphi) \\y &= r_0 (\sin \varphi - \varphi \cos \varphi)\end{aligned}$$

по отношению к которой неподвижная щель является нормалью, практически не искажает ни форму, ни размеры апертуры на всем протяжении сканилинии. Линейная скорость движения апертуры постоянна

$$v = \omega r_0$$

а цифрование её положения может осуществляться от интерполяционного генератора, связанного по частоте с угловой скоростью вращения диска  $\omega$ .

Радиус диска определяется длиной неподвижной щели  $L$  и числом  $n$  сканирующих щелей (которое, во избежание перекрытия, должно быть больше 3).

Начальный радиус эвольвенты

$$r_0 = \frac{L}{\varphi_{\max}} = \frac{nL}{2\pi}$$

Внешний радиус

$$R = \sqrt{x_m^2 + y_m^2} = r_0 \sqrt{1 + \varphi_{\max}^2} = \frac{nL}{2\pi} \sqrt{1 + \frac{4\pi^2}{n^2}}$$

Скорость вращения диска определяется временем цифрования и передачи в ЭВМ элемента  $S_0$  увеличенного изображения. Если это время равно  $t_0$ , то линейная скорость сканирования

$$v = \frac{S_0}{t_0}$$

а угловая скорость вращения диска

$$\omega = \frac{v}{r_0} = \frac{2\pi v}{nL}$$

Число оборотов диска в минуту

$$N = 60 \frac{\omega}{2\pi} = 60 \frac{S_0}{nLt_0}$$

2. Радиальная щель.

Движение апертуры, образуемой пересечением радиальной щели с прямой неподвижной щелью, нелинейно во времени (рис.2)

$$x = R \operatorname{tg} \omega t = R \operatorname{tg} \varphi$$

Это усложняет задачу цифрования положения апертуры по сравнению с эвольвентной разверткой. Рассмотрим несколько возможных вариантов решения задачи:

а) линейная интерполяция по всей длине неподвижной щели с допустимой погрешностью из условия

$$\operatorname{tg} \varphi \approx \varphi \quad \text{при} \quad R \gg L$$

б) равномерная интерполяция с применением опорной решетки.

в) интерполяция с автоподстройкой шага вдоль сканилинии по опорной решетке.

г) применение интерполяционного генератора с девиацией частоты по заданному закону.

Остановимся на сравнительном анализе и возможной реализации каждого из вариантов.

А. Положение апертуры отсчитывается с помощью интерполяционного генератора фиксированной частоты.

Если частота генератора выбрана таким образом, что положение апертуры, регистрируемое счетчиком, равно истинному положению на границах маски, погрешность определения положения составляет

$$\Delta x = x' - x = \frac{L}{\Phi} \omega t - R \operatorname{tg} \varphi = \frac{L}{2\pi \arctg(L/2R)} \omega t - R \operatorname{tg} \omega t \quad (1)$$

Графики этой погрешности как функции угла откло-

нения сканирующей щели, вычисленные для различных отношений  $L/R$ , приведены на рис.3.

По заданной длине маски (неподвижной щели)  $L$  и допустимой погрешности  $\Delta X$  из формулы (1) можно определить основные параметры сканирующего диска: радиус  $R = R(L, \Delta X)$  и число сканирующих щелей

$$N \leq \frac{2\sqrt{L}}{(K+1)\phi}$$

где  $K$  — отношение промежутка между единичными сканами (темный период) к времени сканирования маски (светлый период).

Точное согласование положения апертуры, регистрируемое счетчиком, с истинным положением на границах маски можно обеспечить автоподстройкой частоты интерполяционного генератора по количеству отсчетов за полный период сканирования [1]

$$n = \frac{(1+K)L}{x_0}$$

где  $x_0$  — цена отсчета.

Б. Метод определения текущего значения апертуры (или сканирующего луча) с использованием опорной решетки находит применение в ряде сканирующих устройств (например, НРД [2]). Применительно к сканирующему диску с радиальными щелями представляет интерес взаимосвязь между шагом опорной решетки и погрешностью определения апертуры в пределах шага вследствие неравномерности скорости развертки.

Скорость развертки

$$v = \frac{dx}{dt} = R\omega \sec^2 \omega t$$

Временной интервал развертки шага решетки

$$\Delta t = \frac{l_0}{v} = \frac{l_0}{R\omega \sec^2 \omega t} = \frac{l_0}{R\omega} \cdot \cos^2 \psi$$

где  $l_0$  — шаг решетки

Имея интерполяционный генератор фиксированной частоты с синфазным запуском в момент сканирования штриха решетки и остановкой по просчете  $N_0 - 1$  периодов, можно организовать деление каждого из этих интервалов на  $N_0$  частей. Поскольку этот интервал непостоянен и зависит от положения сканирующей щели относительно маски, то точное деление возможно только для минимального интервала, т.е. на краях маски, в остальных же случаях получится временный "излишек"

$$\delta t = \Delta t - \Delta t_{\min} = \frac{l_0}{R\omega} \left( \cos^2 \psi - \cos^2 \frac{\phi}{2} \right),$$

обуславливающий погрешность на конце интервала

$$\Delta X = v \delta t$$

Эта погрешность имеет максимальное значение посередине маски ( $\psi = 0$ )

$$\Delta X_m = R\omega \cdot \frac{l_0}{R\omega} \left( 1 - \cos^2 \frac{\phi}{2} \right) = l_0 \sin^2 \frac{\phi}{2} = l_0 \frac{(4z)^2}{(L/2)^2 + R^2}$$

Задаваясь допустимой погрешностью  $\Delta X_m$ , находим взаимосвязь между шагом решетки и радиусом диска при данной длине маски  $L$ :

$$l_0 = \left[ 1 + \left( \frac{2R}{L} \right)^2 \right] \Delta X_m$$

или

$$R = \frac{L}{2} \sqrt{\frac{l_0}{\Delta X_m} - 1}$$

В. Реализация интерполяции со следящей автоподстройкой частоты интерполяционного генератора предполагает наличие фазового дискриминатора, чувствительного к разности между временем просчета  $N_0$  периодов генератора

ра и текущим интервалом развертки шага решетки  $\Delta t$ . По этой разности частота генератора подстраивается из условия деления на  $n$  частей текущего интервала. Погрешность в данном методе определяется изменением следующего интервала по отношению к текущему.

$$\Delta t = \frac{l_0}{R\omega} \cos^2 \varphi = \frac{l_0}{R\omega} \cdot \frac{R^2}{R^2 + x^2}$$

Изменение интервала  $\Delta t$  на длине шага решетки  $l_0$

$$\delta t \approx \frac{d(\Delta t)}{dt} l_0 = - \frac{2Rx l_0^2}{\omega(R^2 + x^2)}$$

откуда погрешность на конце интервала

$$\Delta x = v \delta t = - \frac{2x l_0^2}{R^2 + x^2}$$

Наибольшая погрешность имеет место при максимальном изменении скорости, т.е. на краях маски ( $x = \pm L/2$ );

$$|\Delta x_m| = \frac{L l_0^2}{R^2 + (L/2)^2}$$

При прочих равных условиях эта погрешность в  $\frac{L}{4l_0}$  раз меньше, чем для случая с фиксированной частотой. Соответственно, при заданной погрешности, радиус диска может быть взят меньшим:

$$R = \frac{L}{2} \sqrt{\frac{4l_0}{L} \cdot \frac{l_0}{\Delta x_m} - 1}$$

Г. Режим интерполяции со следящей автоподстройкой частоты можно заменить принудительной девиацией частоты генератора по закону, соответствующему изменению линейной скорости апертуры вдоль маски.

Опорная решетка при этом в принципе не требуется, а погрешности определения положения, как в случае развертки эвольвентными щелями, будут зависеть от точнос-

ти изготовления самих щелей.

Если  $x_0$  - цена отсчета расстояний, то частота интерполяции должна изменяться по закону:

$$f = \frac{v}{x_0} = \frac{R\omega}{x_0} \text{гек}^2 \omega t$$

Практическая реализация такой кривой средствами электроники затруднительна, поэтому рассмотрим приближенные способы.

Так, полагая в некотором интервале

$$x = R \text{tg} \varphi \approx R \left( \varphi + \frac{a}{3} \varphi^3 \right)$$

$$v = \frac{dx}{dt} = R\omega \left( 1 + \right.$$

можем задать

$$f = \frac{v}{x_0} = \frac{R\omega}{x_0} (1 + a\omega^2 t^2)$$

Такая парабола сравнительно легко получается двойным интегрированием перепада напряжения.

Другое приближение - гиперболические функции.

$$\text{Полагая } x \approx R \frac{\omega}{2} \text{sh} dt$$

$$v = R\omega \text{ch} dt$$

Имеем

$$f = \frac{R\omega}{x_0} \text{ch} dt$$

Последнюю функцию можно получить интегрированием аналогового значения текущего состояния счетчика интерполяции (счетчика положения апертуры).

Сравнительный анализ указывает на несколько лучшее приближение гиперболической функции по сравнению с параболической ( $\sim$  в 1,3 раза). Разумеется, могут быть предложены другие приближающие функции.

Средняя частота поддерживается схемой АПЧ аналогично автоподстройке частоты в случае линейной интерпо-

ляции.

На рис. 4 приведены графики погрешностей для случая, когда частота интерполяционного генератора изменяется по закону:

$$f = \frac{Rb\omega}{x_0} \operatorname{ch}(a\omega t)$$

где коэффициенты  $a$  и  $b$  подобраны таким образом, что функции

$$x = R \operatorname{tg} \varphi$$

$$x' = Rb \operatorname{sh}(a\varphi)$$

и

совпадают при  $\varphi = 0$ ,  $\varphi = \pm \varphi_m$  и  $\varphi = \pm 0,625 \varphi_m$

где  $\varphi_m = \phi/2$ .

Сравнение погрешностей данного способа компенсации нелинейности развертки с погрешностями при линейной интерполяции показывает, что при прочих равных условиях (длина маски, допустимая погрешность) принудительная девиация частоты по указанному закону позволяет на порядок уменьшить радиус сканирующего диска.

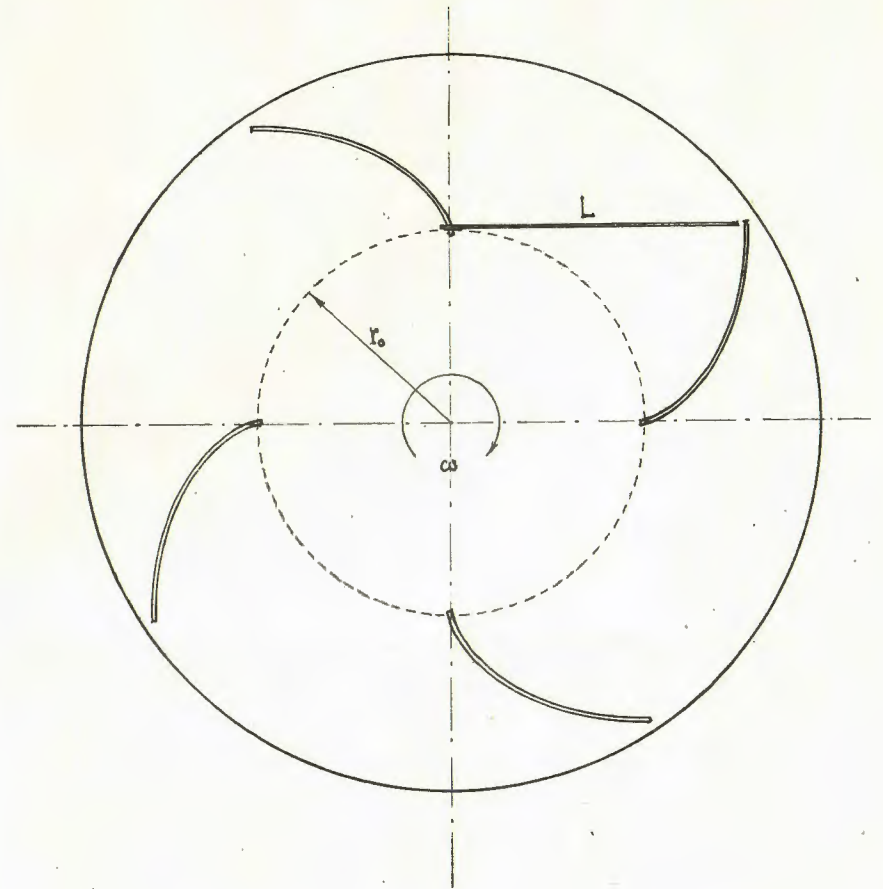


Рис. I

-II-

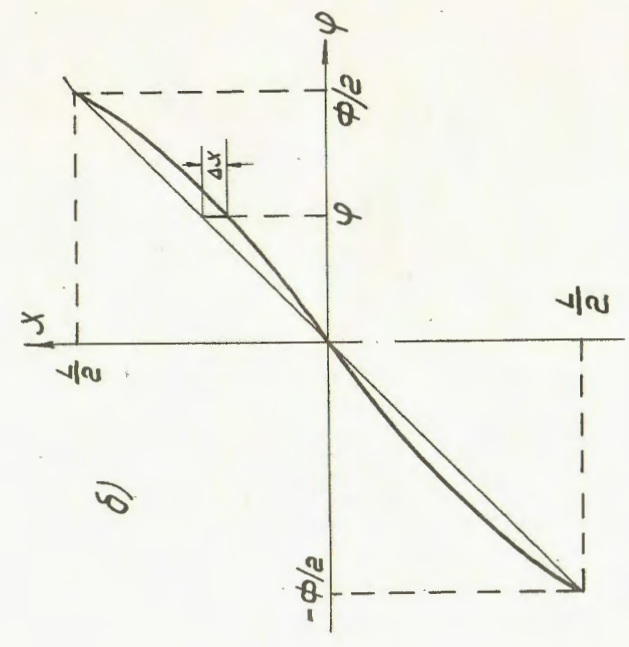
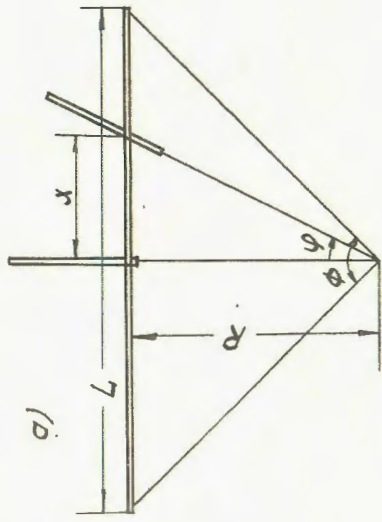


Рис. 2

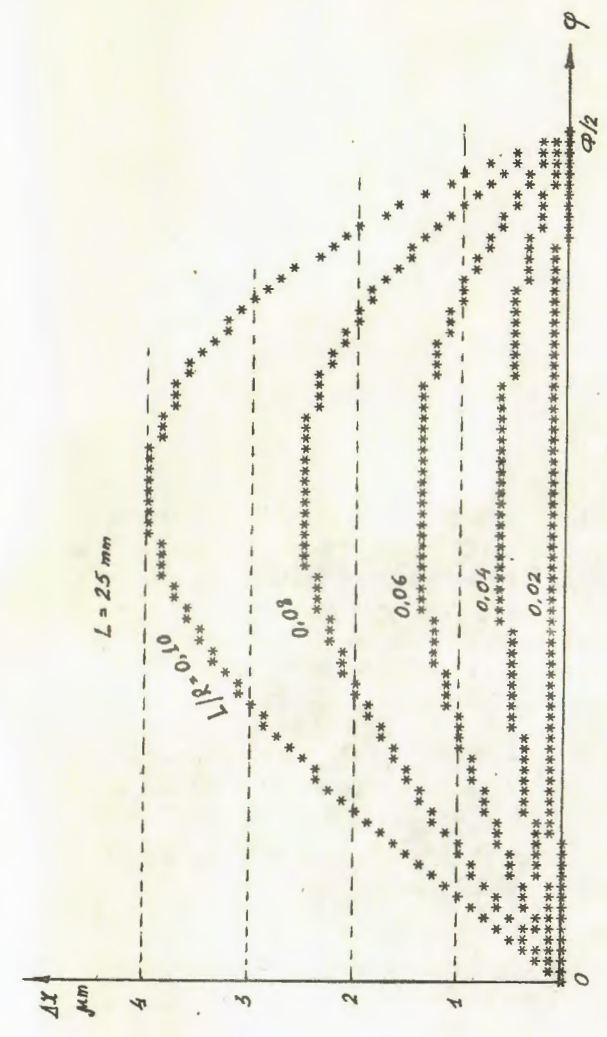


Рис. 3

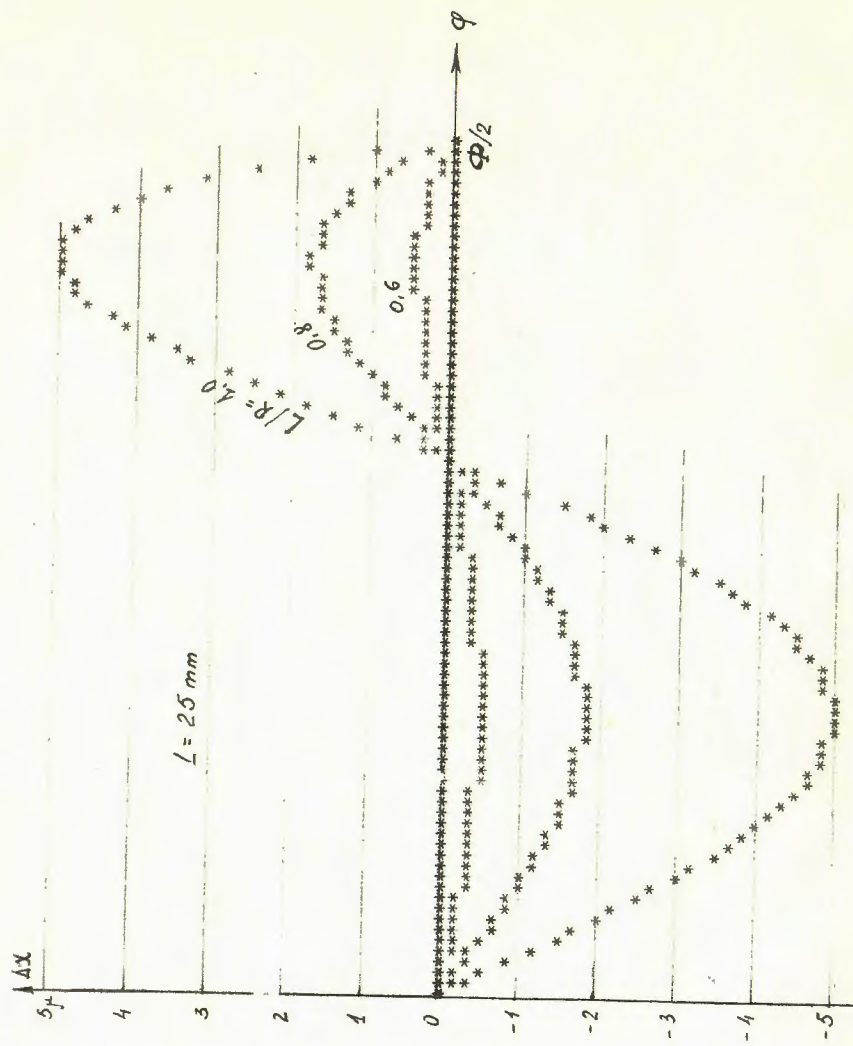


Рис. 4

ЛИТЕРАТУРА

1. И.Е.Васинюк, В.Г.Волчинский . "Устройство отсчета координаты сканирования", ЕФИ-167(76), 1976.
2. M. Benot et al "The HPD MARK-2 Flying-Spot Digitizer at CERN", CERN, 68-4, 1968
3. H. Brettel "HPD Grating Channel for Circular Curved Glass Fibres", CERN, DD/73/12, 1973.

Рукопись поступила 22-го июня 1977 г.

Ереванский Физический  
ИНСТИТУТ  
Зал прикритов.

Редактор Л.П.Мукаян  
Тех.редактор А.С.Абрамян

Заказ 1057                      ВФ- 03324                      Тираж 299

---

Подписано к печати 26/УП-77г.Формат издания 30х40

1.0 уч.изд.л. Ц . 7 к.

---

Издано Отделом научно-технической информации  
Ереванского физического института, Ереван-36, пер.Мар-  
каряна 2.