

ПЕРИФЕРИЙНЫЕ УСТРОЙСТВА ЭВМ  
И СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО  
ГРАФИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ЭВМ

УДК 681.327.5.21

С. Т. ВАСЬКОВ, А. М. ОСТАПЕНКО

(Новосибирск)

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ КОДИРОВАНИЯ КООРДИНАТ  
С ПОМОЩЬЮ ПОДСТРАИВАЕМОГО  
ИНТЕРПОЛЯЦИОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Для точного измерения координат изображений и ввода их в ЭВМ применяются устройства типа «бегущий луч», в которых изображение сканируется световым пятном малого диаметра, причем положение пятна по отношению к системе координат известно в любой момент времени. В устройствах с развертками телевизионного типа это достигается использованием специальных оптических решеток, по которым перемещается световое пятно одновременно со сканированием изображения [1, 2]. Их применение позволяет существенно снизить требования к линейности раstra на экране электроннолучевой трубки (ЭЛТ). Однако шаг квантования пространственной координаты, который может быть получен с помощью решетки, слишком велик. Он значительно превышает требуемую точность и не соответствует потенциальным возможностям сканирующих систем. В этой связи необходимо обеспечить дополнительное умножение частоты следования импульсов с фотоумножителя, расположенного за решеткой.

В данной статье рассмотрен один из способов построения такой интерполирующей схемы, которая используется в сканирующем автомате СА-1 [2].

Остановимся на выборе количества линий оптической решетки. Используемые системы с ЭЛТ позволяют при диаметре пятна 30 мкм и нестабильности его диаметра в зависимости от положения на экране ЭЛТ порядка 10% обеспечить погрешность 3—5 мкм. Поэтому шаг квантования координаты, по крайней мере, не должен превышать указанной величины погрешности. Отсюда следует, что при сканировании кинокадра размером  $18 \times 24$  мм<sup>2</sup> необходимо иметь на этом поле 5000—8000 пар линий решетки. Не говоря о технологической сложности выполнения такой решетки, отметим, что при указанной выше величине диаметра светового пятна практически невозможно получить модуляцию светового потока решеткой. Поэтому при выборе ее шага приходится учитывать прежде всего размеры светового пятна.

На рис. 1 приведена форма сигнала с фотоумножителя, расположенного за решеткой. А — перепад на-

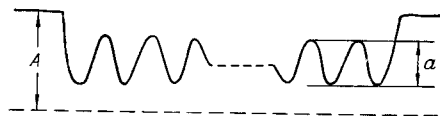


Рис. 1.

пряжения на нагрузке ФЭУ от уровня черного до уровня белого;  $a$  — амплитуда сигнала;  $m = a/A$  — коэффициент глубины модуляции. Если предположить, что закон распределения яркости по диаметру пятна близок к нормальному.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

и прозрачные и непрозрачные промежутки решетки равны, то можно получить зависимость коэффициента глубины модуляции  $m$  от шага решетки при заданном диаметре пятна

$$m = 2\Phi\left(\frac{L}{\sigma}\right) - 1, \quad (1)$$

где  $\Phi$  — функция Лапласа;  $L$  — полуширина темного промежутка.

На рис. 2 в качестве примера для решетки с шагом в 48 мкм представлена рассчитанная по формуле (1) зависимость коэффициента глубины модуляции от диаметра пятна  $d_n$ . Размер пятна для кривой 1 определялся по уровню 10%, для кривой 2 — 50% от максимальной яркости.

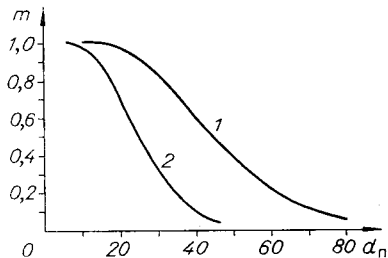


Рис. 2.

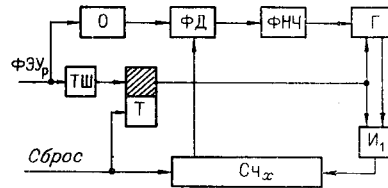


Рис. 3.

В практических случаях для четкой работы последующих схем приемлемая глубина модуляции находится в пределах 40—100%. Следует заметить, что глубину модуляции 100% получить трудно. Сказывается рассеянный свет экрана ЭЛТ, а также недостаточная оптическая плотность непрозрачных линий решетки. При диаметре пятна 30 мкм на 50%-ном уровне яркости и глубине модуляции  $m = 50\%$  по формуле (1) находим, что ширина линии должна быть порядка 30 мкм. Если использовать эту решетку для кодирования координат в направлении большей стороны кадра (24 мм), то здесь уместится около 400 линий, что недостаточно для требуемой точности отсчета координат.

Уменьшение шага квантования может быть достигнуто заполнением каждого периода сигнала решетки импульсами, расстояние между которыми принимается за единицу дискретности [1, 2]. Применение для этой цели генератора, синхронизируемого сигналом решетки ограничено, поскольку в этом случае практически нельзя получить большой коэффициент заполнения по ряду причин. Основная причина — воздействие на сигнал решетки помех, к которым относятся шумы фотоумножителя и люминофора ЭЛТ, вызванные его дефектами и приводящие иногда к полному пропаданию сигнала. Кроме того, применение простых схем разверток не позволяет получить достаточно равномерное движение пятна по экрану ЭЛТ, что приводит к изменению частоты сигнала с фотоумножителя, стоящего за решеткой. Но даже при линейном изменении тока в отклоняющих катушках существуют симметричные искажения раstra, обусловленные плоским экраном ЭЛТ. Например, в применяемой системе с отклоняющей катушкой, отстоящей от экрана на

расстоянии 120 мм, и при смещении пятна на 12 мм от центра экрана происходит увеличение частоты на 1%. В результате названных причин синхронизация генератора получается неустойчивой, и такой метод приведет к недопустимым ошибкам в отсчете координат.

Известный способ квантования координат [1], при котором частота следования импульсов генератора во много раз выше частоты сигнала решетки и на каждом его периоде подсчитывается цена дискретности, не устраняет ошибки в отсчете координат при воздействии помех.

Лучшие результаты можно получить, используя схему фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) (рис. 3), которая позволяет уменьшить шаг квантования координат, оставляя его постоянным по всему полю кадра. Это достигается с помощью интерполяционного генератора Г, частота которого в  $n$  раз выше частоты сигнала решетки и изменяется в соответствии с искажениями раstra. Сигнал, пропорциональный разности фаз сигналов решетки и счетчика Сч<sub>х</sub>, на котором происходит деление частоты, с фазового детектора ФД поступает на генератор, изменяя его частоту.

Перед появлением сигнала решетки состояние системы ФАПЧ выбирается так, что начальные частоты сигналов счетчика и решетки равны. Установка начальной разности фаз  $\Delta\varphi_0 = \frac{\pi}{2}$ , при которой на выходе фазового детектора устанавливается нулевое значение управляющего сигнала, осуществляется сбросом в конце строки счетчика Сч<sub>х</sub> в соответствующее положение. Кроме того, необходимо, чтобы импульсы с генератора поступали на вход счетчика начиная с момента появления первой линии решетки. Для этой цели первый импульс решетки (см. рис. 1) формируется триггером Шмидта ТШ и переводит триггер Т в положение, при котором схема совпадения И<sub>1</sub> открыта, и на вход счетчика поступают импульсы с генератора, который до этого момента находился в заторможенном состоянии. В конце строки осуществляется сброс схемы в начальное состояние. Таким образом, начало координат совпадает с границей первой линии решетки. Предполагается, что эта линия нанесена без разрывов. Если обеспечить такую работу схемы ФАПЧ, то в начальный момент импульсы генератора будут синхронизированы сигналом решетки и в дальнейшем происходит плавная подстройка частоты и фазы сигнала генератора в соответствии с изменением частоты сигнала решетки.

В режиме слежения, согласно [3], появляется разность фаз

$$\Delta\varphi = \arccos\left(-\frac{\Delta\omega n}{\Delta\omega_r}\right),$$

где  $\Delta\omega = \omega_p - \omega_{0p}$  — разность текущей и начальной частот сигнала решетки за счет изменения скорости движения светового пятна по экрану;  $\Delta\omega_r$  — изменение частоты подстраиваемого генератора в полосе удержания ФАПЧ. Используя это выражение, можно получить оценку допустимой нелинейности развертки в направлении строки.

Для оценки заданной точности при условии, что ошибка при подстройке не должна превышать дискретности квантования координат, т. е. сдвиг по фазе между подстраиваемыми сигналами не больше  $\pi/n$  [4], получим:

$$\arccos\left(-\frac{\Delta\omega n}{\Delta\omega_r}\right) - \frac{\pi}{2} \leq \frac{\pi}{n},$$

или

$$\sin \frac{\pi}{n} \geq \frac{\Delta\omega n}{\Delta\omega_r}.$$

Отсюда можно получить допустимое абсолютное изменение частоты сигнала с ФЭУ, стоящего за решеткой

$$\Delta\omega \leq \frac{\Delta\omega_r}{n} \sin \frac{\pi}{n}. \quad (2)$$

Наличие в цепи обратной связи ФАПЧ инерционного звена — фильтра низкой частоты (ФНЧ) — позволяет ослабить влияние помех, причем, согласно [4], использование делителя в кольце обратной связи ФАПЧ увеличивает в  $n$  раз постоянную времени ФНЧ.

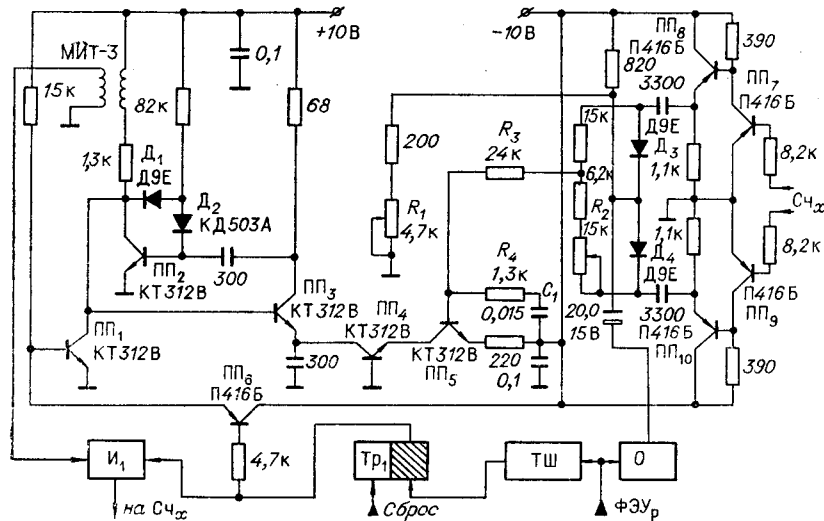


Рис. 4.

Экспериментальная проверка принципа автоподстройки проводилась на сканирующем автомате СА-1. Принципиальная схема системы ФАПЧ приведена на рис. 4. Ограниченный сигнал с нагрузки фотоумножителя, стоящего за решеткой, и симметричный сигнал со счетчика поступают на входы фазового детектора. Напряжение разности фаз с фазового детектора через пропорционально-интегрирующий фильтр ( $R_3, R_4, C_1$ ) подается на вход генератора (ПП<sub>1</sub>—ПП<sub>5</sub>), частота следования импульсов которого изменяется таким образом, что, поделенная на  $n$  счетчиком Сч<sub>х</sub>, она становится равной частоте опорного сигнала с ограничителя О. Начальная частота генератора устанавливается потенциометром  $R_1$ . Для оценки погрешности в определении координат измерялся сдвиг по фазе в режиме синхронизации сигналов решетки и генератора, которые наблюдались на осциллографе. Частота сигнала решетки изменялась относительно средней частоты 30 кГц в соответствии с нелинейностью строчной развертки, которая достигала 70%. Решетка состояла из 256 линий на участке 24 мм. Коэффициент глубины модуляции составлял 50—70%. Схема была проверена для коэффициентов деления  $n=8, n=64$ . При этом сдвиг по фазе не превышал допустимого, согласно формуле (2). Для изучения поведения ФАПЧ при воздействии помех имитировались шумы люминофора и разрывы линий решетки. Уменьшение сигнала с ФЭУ, стоящего за решеткой, в 10—15 раз не нарушало синхронизации. Отсутствие 3—4 периодов сигнала решетки также не вызывало погрешности в отсчете координат более чем на дискретность квантования, которая при  $n=8$  составляла 12 мкм.

## ЛИТЕРАТУРА

1. В. Ф. Борисовский и др. Сканирующий автомат на электроннолучевой трубке. Препринт ОИЯИ Р10-3631. Дубна, 1967.
2. С. Т. Васильков и др. Сканирующий автомат для ввода в ЭЦВМ фильмовой информации.— Автометрия, 1970, № 2.
3. М. Р. Капланов, В. А. Левин. Автоматическая подстройка частоты. М.—Л., Госэнергоиздат, 1962.
4. Б. А. Чупраков. Частотная модуляция в системе фазовой АПЧ с делением частоты в кольце обратной связи.— Вопросы радиоэлектроники, серия РТ, 1969, вып. 1.

*Поступила в редакцию  
11 февраля 1971 г.*

---