

9. Mnatsakanyan E. A., Nefyodov S. V. Comparative analysis of two methods of interpolation at phase reconstruction in holographic interferometry // SPIE's Technical Symposium on High Power Lasers and Optical Computing, 14-19 January 1990.— Los Angeles, California, USA, 1990.
10. Mnatsakanyan E. A., Nefyodov S. V. Algorithms for automatic obtaining of preparations used for the counting of phase difference of holographic interferograms // Proc. of the 1-st Internat. Workshop on Automatic Processing of Fringe Patterns, Fringe'89 // Physical Research.— 1989.— 10.— P. 124.

Поступила в редакцию 14 августа 1990 г.

ДК 681.327.12(088.8)

А. М. МУХАРСКИЙ, В. Г. ХАЦИРЕВИЧ, А. К. ЯКУШЕВ

(Минск)

### РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПЛАНШЕТНОГО УСТРОЙСТВА ГРАФИЧЕСКОГО ВВОДА

В настоящее время полуавтоматические планшетные устройства графического ввода, предназначенные для кодирования и ввода графической информации с заранее подготовленного графического документа (чертежа, схемы и т. п.) [1], после соответствующей схемно-конструктивной доработки находят применение в качестве устройств ввода в ЭВМ рукописного текста и графики в реальном времени [2].

Режим реального времени (РРВ) применительно к этим устройствам — это режим, при котором происходит кодирование координат графической линии, оставляемой на листе бумаги пишущим элементом электронного пера при перемещении последнего пользователем. Режим РРВ необходим при идентификации лиц по стилю написания букв и слов [3], что очень важно в торговле, банковском деле, на контрольно-пропускных пунктах и т. п. Он также необходим при распознавании отдельных рукописных букв в человеко-машинных системах, где требуется автоматическое преобразование рукописного текста в машинописный [4].

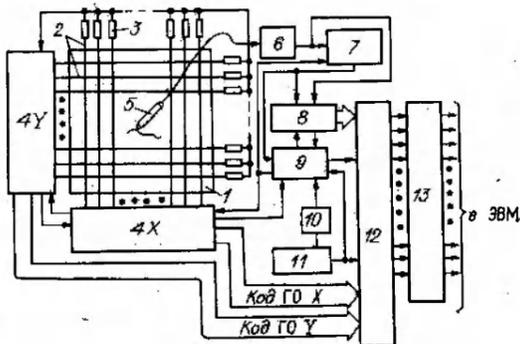
Достаточно широкое применение этот режим находит при передаче рукописного текста и графики по телефонному каналу [5], а также по радиоканалу [6] синхронно с речевой информацией. Известно, что этот режим используется в обучающих системах [7].

Таким образом, уже из этого краткого обзора можно сделать вывод, что проектирование, расчет и исследование устройств ввода рукописной графической информации (РГИ), имеющих режим реального времени, представляют актуальную научную и техническую задачу.

На рис. 1 изображена обобщенная блок-схема устройства графического ввода, обеспечивающая режим реального времени. Особенностью блок-схемы является наличие блока 11 временной дискретизации (БВД), задача этого блока — обеспечение циклического формирования кода ко-

Рис. 1. Обобщенная блок-схема устройства:

1 — планшет; 2 — координатные шины; 3 — токоограничивающие резисторы; 4X, Y — блок формирования кода грубого отсчета координатной оси X и Y соответственно; 5 — графическое индукционное перо; 6 — усилитель считывания; 7 — фазоимпульсный селектор; 8X, Y — блок формирования кода точного отсчета соответствующей координатной оси; 9 — блок управления; 10 — датчик касания; 11 — блок временной дискретизации; 12 — блок сжатия информации; 13 — блок связи с ЭВМ; коды ГО X, Y — коды грубого отсчета соответственно координатной оси X и Y



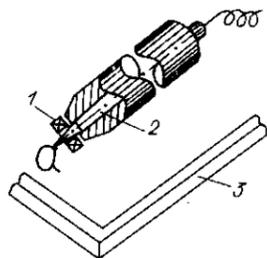


Рис. 2. Модель ГИП с проходной измерительной катушкой 1 и пишущим элементом 2; 3 — ПЛ

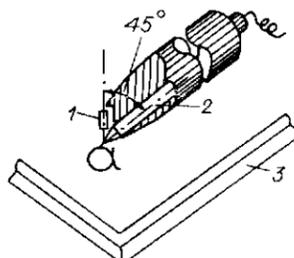


Рис. 3. Модель ГИП с накладной измерительной катушкой: 1 — ИК; 2 — ПЭ; 3 — ПЛ

ординат РГИ с учетом скорости перемещения пера, а также формирование кода времени продолжительности пауз между буквами и словами. К следующей отличительной особенности блок-схемы можно также отнести наличие блока 12 сжатия информации, который обычно применяют в тех случаях, когда необходимо передавать коды РГИ по телефонным линиям связи [5].

Обязательным элементом устройства с режимом РВ является индукционное графическое перо 5 (ГИП) с пишущим элементом [8]. Внутри ГИП располагается датчик 10 касания (ДК). Он может быть либо бесконтактного, либо контактного типа. ДК связан механически с пишущим элементом и вырабатывает электрический сигнал при касании и отрыве пишущего элемента от листа бумаги. Конструктивно ГИП выполняется в виде обычной шариковой или перьевой ручки, имеющей, как правило, цилиндрическую катушку индуктивности.

Требования удобства пользования ГИП накладывают сильное ограничение на габариты индукционных измерительных катушек (ИК). Они могут быть как проходного (рис. 2), так и накладного (рис. 3) типа. Накладные катушки располагаются снаружи острия пера примерно под углом  $45^\circ$  к его продольной оси. Вследствие выноса катушки за пределы острия пера обеспечивается меньшая погрешность считывания координат, вызываемая наклоном пера, по сравнению с вариантом пера с проходной катушкой. Кроме того, с помощью несложного механического регулировочного устройства, встроенного в корпус пера, можно вручную в некоторых пределах изменять угол наклона катушки (до начала письма), что, в свою очередь, позволяет учесть особенности манеры письма пользователя и тем самым снизить погрешность считывания, вызываемую наклоном пера конкретного пользователя. Диаметр накладных катушек не зависит от диаметра пишущего элемента, что достаточно важно при смене пишущих элементов различного диаметра, например стержня от шариковой ручки на графитовый стержень или фломастер. В отличие от проходных катушек накладные катушки могут содержать небольшие по габаритам ферритовые сердечники, которые повышают чувствительность катушек как первичного преобразователя электромагнитного поля координатной шины в электрический выходной сигнал.

В связи с отмеченными особенностями применение накладных катушек более перспективно по отношению к проходным.

Основной характеристикой ГИП является его функция преобразования. Она определяет связь между входной величиной — координатой ( $X$  или  $Y$ ) точного отсчета точки прикосновения острия пера к планшету с бумагой в окрестности выбранной (опрашиваемой) координатной шины (КШ) (рис. 4) — и выходным значением ЭДС —  $e$  катушки (ИК) ГИП.

Согласно [9] функция преобразования (ФП) позиционно-чувствительного элемента является наиболее важной характеристикой, определяющей основные технические параметры преобразователей неэлектрических величин в электрические сигналы и коды.

Достаточно хорошие результаты расчета основных параметров блока 8 формирования кода точного отсчета (БФКТО), а следовательно, и всего устройства в целом дает выражение ФП, полученное в [10]:

$$e(x) = E_n \ln(R_1/R_2)^2. \quad (1)$$

Здесь  $E_n$  — параметрическая ЭДС, которая согласно [11] может быть найдена из выражения

$$E_n = U_n (L_n/L_{ш}),$$

где  $L_n$ ,  $L_{ш}$  — индуктивность измерительной катушки и координатной шины соответственно;  $U_n$  — падение напряжения на токоограничивающем резисторе при протекании через него установившегося значения тока опроса координатной шины;  $R_1$  и  $R_2$  — кратчайшие расстояния от ближайшей и наиболее удаленной точек среднего витка диаметром  $D_{ср}$  до оси координатной шины соответственно (см. рис. 4). Непосредственно из построений чертежа можно видеть, что

$$R_1^2 = (x + r)^2 + h^2;$$

$$R_2^2 = (x - r)^2 + h^2,$$

где  $r$  — радиус среднего витка катушки;  $h$  — высота расположения этого витка над плоскостью укладки координатных шин планшета.

Значение  $E_n$ , найденное при известных (приятых) значениях  $L_n$ ,  $L_{ш}$ ,  $U_n$ ,  $r$  и  $h$ , можно проверить экспериментально осциллографическим методом. Для этого из выражения

$$\ln(R_1/R_2)^2 = 1$$

необходимо найти «параметрическое» значение  $x_n$ . В точке относительно оси координатной шины  $3$  с координатой  $x_n$  должно соблюдаться условие  $e(x_n) = E_n$ . Примем  $E_n = 160$  мВ, что находится в пределах типичных значений параметрической ЭДС при разработке устройств с небольшим рабочим полем планшета  $160 \times 160$  мм, координатные шины которого коммутировались транзисторными ключами типа КТ315Г. Исследование выражения (1) на экстремум дает два важных параметра устройства: максимальное значение сигнала считывания

$$e(x)_{\max} = E_n \ln \frac{\Theta + r}{\Theta - r} \quad (2)$$

и координату  $\Theta$  точки, в которой возникает максимальный сигнал считывания. Эта координата является функцией конструктивных параметров катушки ГИП:

$$\Theta = \sqrt{r^2 + h^2}. \quad (3)$$

Выражение ФП позволяет определить чувствительность  $S_n$  ГИП к перемещению его относительно оси координатной шины. Ее можно найти как

$$S_n = \frac{de(x)}{dx} = 4E_n \frac{r(\Theta^2 - x^2)}{(R_1 R_2)^2}. \quad (4)$$

В свою очередь, данное выражение позволяет найти три вида максимальной чувствительности, соответствующие пяти характеристическим точкам (точкам перегиба) функции преобразования.

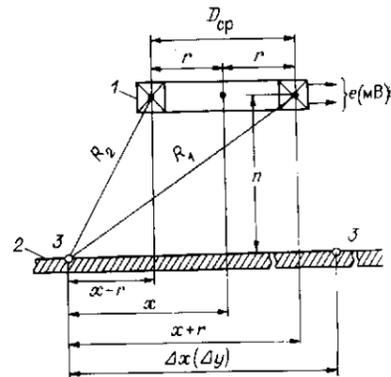


Рис. 4. Расчет величины шага укладки координатных шин планшета:  
1 — ИК; 2 — ПМ; 3 — КШ

Чувствительность  $S_{п_1}$  первого вида наблюдается в окрестности точки с координатой  $X = 0$ . Ее можно найти следующим образом:

$$S_{п_1} = S_{п}|_{x=0} = 4E_{п} \frac{r}{\Theta^2}. \quad (5)$$

Чувствительность  $S_{п_2}$  второго вида, которая имеет место относительно оси шины в окрестности точек соответственно с координатой

Чувствительность  $S_{п_3}$  третьего вида наблюдают в окрестности точек соответственно с координатой

$$x_{4,5} = \sqrt{\Theta(\Theta - 2h)}. \quad (8)$$

Эта чувствительность является максимальной чувствительностью на восходящих участках ФП. Ее можно найти как

$$S_{п_3} = S_{п}|_{x=x_4, x_5} = E_{п} \frac{r}{h(\Theta - h)}. \quad (9)$$

Выражение (2) также позволяет найти координаты точек, в которых чувствительность преобразования равна нулю.

Соотношения (5), (7), (9) дают возможность разработчику устройства оперативно выбрать рабочий участок ФП исходя из принятых значений  $r$  и  $h$  по критерию обеспечения максимальной чувствительности преобразования, а соответственно с помощью выражений (6), (8) можно ориентировочно (без учета нелинейности ФП) определить координаты удаления от оси шины преобразуемого участка плоскости, соответствующего выбранному участку ФП (т. е. отмеченные выражения в совокупности дают возможность оперативно оценить амплитудно-пространственные параметры ФП конкретного ГИП по критерию чувствительности).

Следует отметить, что чувствительность третьего вида существует только при соотношении  $r/h > \sqrt{3}$ , что следует из выражения (8). При таком соотношении геометрических параметров измерительной катушки ГИП чувствительность второго и третьего видов можно получить большую, чем чувствительность первого вида, которая имеет теоретический предел:

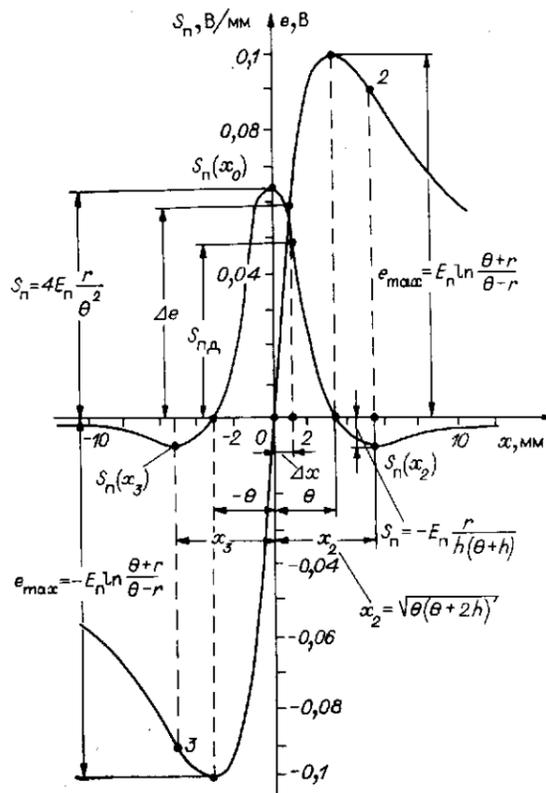
$$S_{п_1 \max} = S_{п}|_{x=0, h=0} = \frac{4E_{п}}{r}.$$

Обычно в реальных ГИП, применяемых в планшетных устройствах с РРВ, имеет место соотношение  $r/h < \sqrt{3}$ . Причина этого — высокая миниатюрность катушек (отсюда малые значения  $r$ ) и наличие графитового пипущего элемента, что вызывает сравнительно высокие значения  $h$ . При соотношении  $r/h < \sqrt{3}$  чувствительность второго и третьего видов (в этом случае последняя может быть вычислена по формуле (4)) ниже чувствительности первого вида и тем более ее максимального (теоретического) значения. Степень расхождения зависит от того, насколько отношение  $r/h$  меньше  $\sqrt{3}$ . На рис. 5 представлены зависимости  $e = f(x)$  и  $S_{п} = f(x)$ , построенные в соответствии с формулами (1) и (4) для случая  $r = 1$  мм,  $h = 3$  мм и  $E_{п} = 160$  мВ.

Вид зависимости  $S_{п} = f(x)$  показывает, что максимальную чувствительность для данного случая обеспечивает восходящая часть  $OA$  (участок возрастания) ФП. На этом участке чувствительность не является постоянной величиной, а изменяется от нулевого до максимального зна-

Рис. 5. Характеристики и параметры ГИП:

функции преобразования  $e = f(x)$ ; функция чувствительности  $S_n = f'(x)$ ;  $\Delta x$  — диапазон координатного преобразования;  $\Delta e$  — выходной электрический диапазон



чения. В связи с этим возникает вопрос о том, какое значение чувствительности  $S_{пд}$  взять в качестве исходного, определяющего верхнюю границу рабочего участка ФП. Здесь нужно исходить из конкретных требований, предъявляемых к БФКТО устройства, согласно техническому заданию (ТЗ), составленному на проектируемое устройство. Предположим, что согласно ТЗ чувствительность  $S_{пд}$  должна быть в пределах  $(50 \pm 5\%)$  мВ/мм. В этом случае координатный диапазон  $\Delta x$  преобразования координаты в код точного отсчета может быть принят равным 1,0 мм, что соответствует чувствительности  $S_{пд} = 49,28$  мВ/мм и электрическому диапазону  $\Delta e = 58,8$  мВ.

Принятые по критерию чувствительности величины  $\Delta x$  и  $\Delta e$  — основные исходные данные для проектируемого устройства. Так,  $\Delta x$  обуславливает такой важный технологический параметр, как шаг укладки координатных шин планшета, а  $\Delta e$  определяет разрешающую способность БФКТО и является исходной величиной для расчета усилительно-преобразовательного тракта этого блока.

При разработке устройства, реализующего блок-схему, представленную на рис. 1, необходимо иметь в виду следующее. Для того чтобы формирование кода точного отсчета было путем использования восходящего (более крутого) участка ФП, необходимо выполнить два условия [12—14].

Во-первых, должно быть выполнено требование, касающееся конструкции планшета, а именно чтобы максимальный шаг укладки координатных шин планшета находился в пределах  $(0,5—0,8)\theta$  [12—14]. Во-вторых, в блок-схеме следует осуществлять фазоимпульсную селекцию сигнала считывания. Для отмеченной селекции служит фазоимпульсный селектор 7 (ФИС). Этот блок выдает выходной сигнал, используя переверт фазы сигнала считывания. Переверт происходит в тот момент, когда ближайшая опрашиваемая шина, находящаяся справа от катушки ГИП, становится ближайшей опрашиваемой шиной, но уже находящейся слева от катушки, при условии, что опрос шин идет справа налево и сверху вниз в сторону начала координат планшета.

Выходной сигнал ФИС служит для переключения работы схемы с операции формирования кода грубого отсчета на операцию формирования кода точного отсчета. Хорошие результаты фазовой селекции сигнала считывания дает схема ФИС, описанная в составе устройств [12—14] с повышенной точностью считывания координат.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чеголин П. М., Леонович Э. Н., Савенков В. П. Автоматизация преобразования сложных форм графической информации.— Минск: Наука и техника, 1973.
2. Pat. 4609776 USA. Coordinate input device with display/Muracomí Azuma, Taguchi Yoshimori, Yamanami Tsuguga.— Publ. 02.09.86.
3. Denning Romíne R. Dynamic signatures for personal identity verification // Proc. Int. Carnahan Conf. Secur. Technol: Electron. Crime Conntermeas, Gothenburg, Aug. 12—14, 1986.— Lexington, Ky, 1986.— P. 103.
4. Заявка 3029241 ФРГ Verfahren und Vorrichtung zum Selbststíigen Übertragen eines handschriftlichen Textes in Maschinenschrift/Rennings Manfred.— Оpubл. 09.09.82.
5. Коэн Чарлз. Передача рукописного текста и рисунков по телефонным каналам // Электроника.— 1982.— 55, № 3.
6. Прокопьев А. Ф. Средства механизации и автоматизации в пятаках.— М.: Воениздат, 1976.
7. Компьютеры/Под ред. Г. Хелмса.— М.: Мир, 1986.— Т. 3.
8. Кукель И. П., Хациревич В. Г., Якушев А. К. Оценка погрешности преобразования координаты в планшетных устройствах графического ввода // Автометрия.— 1987.— № 3.
9. Повицкий П. В. Электрические измерения неэлектрических величин.— Л.: Энергия, 1975.
10. Леонович Э. Н., Хациревич В. Г., Кулешов А. Я. Оценка возможностей одного способа считывания графической информации // Научно-техн. сб. «Вычислительная техника в машиностроении».— Минск: ИТК АН БССР, 1981.— Вып. 2.
11. Хациревич В. Г., Леонович Э. Н., Кулешов А. Я., Якушев А. К. Количественная оценка основных параметров индукционной измерительной системы устройства графического ввода.— Минск, 1988.— (Препр./АН БССР. ИТК: 10).
12. А. с. 1372343 А1 СССР. Устройство для считывания графической информации/ В. Г. Хациревич, А. М. Мухарский, А. К. Якушев.— Оpubл. 07.02.88, Бюл. № 5.
13. А. с. 1506460 А1 СССР. Устройство для считывания графической информации/ В. Г. Хациревич, А. М. Мухарский, А. К. Якушев.— Оpubл. 07.09.89, Бюл. № 33.
14. А. с. 1529264 А1 СССР. Устройство для считывания графической информации/ В. Г. Хациревич, А. М. Мухарский, А. К. Якушев.— Оpubл. 15.12.89, Бюл. № 46.

*Поступила в редакцию 10 июля 1990 г.*