

Б. Я. ЖЕВЕЛЕВ, Э. Н. ЛЕОНОВИЧ, М. Я. НИКИФОРОВ,  
В. А. РУДОЙ, В. И. ТИХОНЕНКО  
(Минск)

## ПРЕЦИЗИОННОЕ УСТРОЙСТВО СЧИТЫВАНИЯ ГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Машинная обработка больших массивов графической информации (материалы космической и аэрофотосъемки, рентгенограммы, сейсмограммы и т. п.) предъявляет к аппаратуре преобразования изображений в цифровой код высокие требования по разрешающей способности и точности. Аппаратурная погрешность большинства существующих устройств ввода графической информации в ЭВМ лежит в пределах 0,1 мм, что является неприемлемым для решения ряда задач [1].

В ИТК и ЦКБ с ОП АН БССР выполнены теоретические и экспериментальные исследования, направленные на существенное повышение точностных показателей. Исследования завершены созданием макета устройства полуавтоматического кодирования графической информации.

В основе функционирования устройства лежит принцип индукционного взаимодействия двух контуров, одним из которых является прямолинейный проводник с током  $i(t)$ , а другим — круговая катушка индуктивности. Множество прямолинейных проводников, расположенных в плоскости рабочего планшета с шагом  $l$  по каждой из координатных осей, образуют матрицу опорных шин, положение которых в системе координат планшета заранее задается в устройстве. Круговая катушка индуктивности конструктивно монтируется в указателе координат, а ее центр совмещен с оптическим визиром. Позиционированием визира в считываемую точку оператор устанавливает однозначное соответствие между положением этой точки и системой координат матричного планшета [2].

Погрешность  $\Delta l$  измерения координат в устройствах данного типа обладает свойством аддитивности и определяется следующими составляющими:  $\Delta l_m$  — методическая погрешность,  $\Delta l_{ш}$  — погрешность укладки опорных шин координатной матрицы,  $\Delta l_{оп}$  — погрешность несоответствия оптической и магнитной осей съемника координат,  $\Delta l_n$  — погрешность дискретизации,  $\Delta l_c$  — динамическая погрешность (учитывается только в режиме слежения визиром по линии),  $\Delta l_o$  — погрешность разброса параметров электрических цепей.

Методическая погрешность оценивается путем численного анализа модели электромагнитной измерительной системы устройства, состоящей из прямолинейного проводника конечной длины и кругового контура катушки индуктивности. Аналитической моделью измерительной системы может служить нижеприведенное соотношение, полученное в работе [3] и устанавливающее зависимость взаимной индуктивности  $M$  двух контуров от их пространственных параметров и измеряемого расстояния между центром кругового контура съемника координат и координатной шиной:

$$M = -\frac{\mu\mu_0}{4\pi} \int_0^\pi \left[ \operatorname{arsh} \frac{x_0 + r \cos t}{[(y_0 + r \sin t)^2 + z_0^2]^{1/2}} + \right. \\ \left. + \operatorname{arsh} \frac{a - x_0 - r \cos t}{[(y_0 + r \sin t)^2 + z_0^2]^{1/2}} \right] \sin t dt, \quad (1)$$

где  $\mu$ ,  $\mu_0$  — абсолютная и относительная магнитные проницаемости соответственно;  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $z_0$  — координаты центра кругового контура в системе координат, связанной с координатной шиной;  $a$  — длина координатной

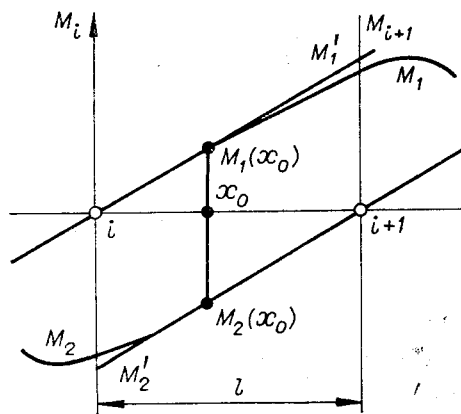


Рис. 1.

семейства амплитудно-пространственных характеристик (АПХ) координатно-измерительной системы, условно представленного на рис. 1. Координата  $x_0$  в пределах шага  $l$  вычисляется по соотношению

$$x_0 = lM_1(x_0) / [M_1(x_0) + M_2(l - x_0)], \quad (2)$$

где  $M_1(x_0)$ ,  $M_2(l - x_0)$  — рассчитанные значения взаимной индуктивности круговой катушки и двух шин, расположенных на расстоянии  $l$  друг от друга.

На основе геометрического анализа квазилинейного участка АПХ, соответствующего шагу  $l$  укладки координатных шин, и экстраполированной по значению производной  $\left. \frac{\partial M(x_0, y_0, z_0)}{\partial x_0} \right|_{x_0=0}$  АПХ можно получить соотношение для оценки методической погрешности:

$$\Delta L_M = l \frac{M_1' M_2' (\delta M_2 - \delta M_1)}{(M_1' + M_2') [M_1' (1 - \delta M_1) + M_2' (1 - \delta M_2)]}, \quad (3)$$

где  $M_1$  и  $M_2$  — экстраполированные значения взаимной индуктивности для катушки индуктивности и двух смежных шин;  $\delta M_1$  и  $\delta M_2$  — параметр нелинейности реальной характеристики, определяемый из соотношения

$$\delta M_i = (M_i' - M_i)(M_i')^{-1}, \quad i = 1, 2. \quad (4)$$

В таблице приведены результаты расчета погрешности  $\Delta L_M$  (в мм) по данным численного анализа выражения (1) при следующих условиях:  $l = 4$ ,  $r = 35$ ,  $a = 840$ ,  $y_0 = 420$  мм для трех значений  $z_0$ .

Анализ таблицы показывает, что методическая погрешность для рассматриваемого метода может быть получена достаточно малой. Результаты практически не ухудшаются при движении вдоль координатной шины, так как квазилинейный характер АПХ на выбранном участке  $l$  не нарушается.

Технологическая погрешность  $\Delta L_M$  изготовления координатной матрицы может достигать не более 0,01 мм. То же относится к погрешности  $\Delta L_{оп}$ , вызываемой несовпадением оптической и магнитной осей съемника координат. Быстродействие современных элементов позволяет свести динамическую погрешность к величине, не превышающей 0,005 мм.

$z_0$	$x_0$								
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
1	0,0	0,0004	0,0009	0,0003	0,0	0,0002	0,0008	0,0003	0,0
3	0,0	0,0021	0,0052	0,0018	0,0	0,0016	0,0048	0,0019	0,0
5	0,0	0,0027	0,0054	0,0022	0,0	0,0019	0,0051	0,0020	0,0

натной шины;  $r$  — радиус приемного контура;  $t$  — параметр интегрирования.

Конечная длина  $a$  координатной шины и флуктуации координаты  $z_0$  приводят к соответствующим изменениям значений  $M$ . В рассматриваемом устройстве влияние этих факторов практически устранено за счет формирования точного отсчета положения съемника между соседними шинами на основе анализа амплитуд сигналов, индуцированных от двух смежных шин за один цикл измерения. Главные преимущества данного метода выявляются при использовании квазилинейного участка

Погрешность  $\Delta l_d$  дискретизации, полученная на основе численного анализа выражения (1) и экспериментальных данных, составляет 0,05% от величины шага укладки координатных шин  $l$ , т. е. для  $l = 4$  мм  $\Delta l_d \approx 0,001$  мм.

Погрешность  $\Delta l_a$ , вызываемая разбросом параметров электрических цепей, сводится к пренебрежимо малой величине за счет использования соответствующих технических решений. Разброс амплитуды индуцированного сигнала составляет в результате не более 0,01%.

Таким образом, суммарная максимальная погрешность не превосходит величины  $\pm 0,02$  мм при разрешающей способности 0,001 мм. Полученный результат подтверждается проведенными испытаниями макета устройства [4], структурная схема которого представлена на рис. 2. В состав макета входят планшет (ПЛ), коммутаторы шин X (КХ) и Y (КУ), блок управления (БУ), стабилизатор тока (СТ), съемник координат (СК), накапливающий интегратор (НИ), анализатор фаз (АФ), аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и решающее устройство (РУ). Измерение каждой координаты происходит за два цикла. В первом цикле блок управления через коммутатор шин X поочередно формирует импульсы тока в шинах планшета. Стабилизацию импульсов тока по амплитуде и форме осуществляет стабилизатор тока. Сигнал, наводимый в катушке индуктивности съемника координат, поступает на анализатор фазы. Как только фаза такого сигнала изменится на  $180^\circ$ , что соответствует опросу импульсом тока одной из двух координатных шин, в зоне которых находится съемник координат, появится сигнал на выходе анализатора фаз.

При этом сигнал на выходе накапливающего интегратора, полученный за счет многократного потактного опроса каждой шины планшета, определяется выражением  $\Sigma = k^{-1} N \int A dt$ , где  $N$  — число тактов опроса;

$k$  — коэффициент интегрирования;  $A$  — сигнал, снимаемый с катушки индуктивности;  $\tau$  — продолжительность каждого такта. Амплитуда данного сигнала преобразуется в цифровой код амплитудно-цифровым преобразователем и поступает на решающее устройство. По сигналу с анализатора фаз происходит фиксирование кода, соответствующего удалению центра катушки индуктивности от выбранной координатной шины.

Во втором цикле блок управления опрашивает импульсами тока предыдущую шину и в решающем устройстве фиксируется код, соответствующий удалению данной шины от центра катушки индуктивности. После выполнения обоих циклов измерения решающее устройство в соответствии с формулой (2) вычисляет точное значение координаты  $x_0$ . Испытания узла считывания координат макета дали следующие результаты: максимальная аппаратная погрешность считывания  $\pm 0,02$  мм; разрешающая способность 0,001 мм; быстродействие 200 точ./с.

Создание макета устройства, имеющего качественно новый уровень основных метрологических параметров при доступной массовому производству технологии изготовления основных узлов, существенно расширяет круг задач, решаемых с помощью устройств графического ввода, открывает новые возможности их применения как прецизионных датчиков позиционирования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Леонович Э. Н., Жевелев Б. Я. Анализ комплекса основных параметров УГВ в соответствии со статистическими данными запросов пользователей. — В кн.: Автоматизация процессов проектирования. Минск: ИТК АН БССР, 1982, вып. 2.

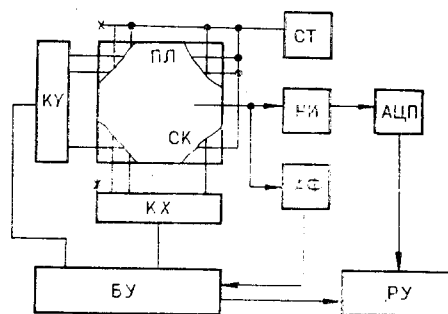


Рис. 2.

2. Чеголин П. М. и др. Автоматизация преобразования сложных форм графической информации.— Минск: Наука и техника, 1973.
3. Леонович Э. Н., Рухленко А. С. Об одном подходе к расчету АПХ электромагнитной измерительной системы УГВ.— В кн.: Автоматизация проектирования в машиностроении. Минск: ИТК АН БССР, 1981, вып. 3.
4. Светлов П. И. и др. Устройство для считывания графической информации. (Автор. свид-во № 987646).— БИ, 1983, № 1.

Поступила в редакцию 24 июля 1982 г.

УДК 550.837

В. Н. ОВЧИННИКОВ, И. М. ФЕДОРОВ

(Свердловск)

### УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ Z-ПАРАМЕТРОВ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКОВ

Устройство предназначено для выявления незначительной медленно протекающей деградации Z-параметров линейных пассивных четырехполюсников. Искомые параметры  $Z_{ij}$  находятся из опытов холостого хода со стороны входных или выходных зажимов четырехполюсника измерением соответствующих значений напряжений  $U_i$ , токов  $I_j$  и последующим делением указанных величин:  $Z_{ij} = U_i/I_j$  ( $i, j = 1, 2$ ).

Исследуемой системой является, в частности, полевая четырехточечная установка методов срединного градиента или дипольного профилирования, используемая для измерения модуля удельного сопротивления  $\rho$  горных пород [1]. Такая установка состоит из двух пар электродов, расположенных, например, на поверхности земли и являющихся зажимами четырехполюсника. Важнейший параметр подобной системы — прямое передаточное сопротивление  $Z_{21} = U_2/I_1 \sim \rho$ , где  $I_1$  — ток в цепи питающих электродов, возбуждающий исследуемую систему;  $U_2$  — разность потенциалов между приемными электродами в режиме холостого хода. Отметим, что изучение зависимости  $\rho$  от времени актуально с практической и научной точек зрения, ибо позволяет получить важную косвенную информацию о динамике напряженного состояния горных пород и о современных движениях земной коры [2].

Для получения полноценных полевых материалов измерения величины  $\rho$  должны выполняться в течение весьма значительного интервала времени. Результаты наблюдений целесообразно фиксировать в оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ) аппаратуры и выводить при ее периодическом обслуживании. Необходимые быстродействие и объем памяти сравнительно невелики. Единичный измерительный цикл достаточно длителен (до нескольких минут), относительная погрешность оцифровки искомой временной зависимости параметра  $Z_{ij}(t)$  — около 0,1% при существенно большей допустимой погрешности определения начального значения  $Z_{ij}(0)$ , которая может достигать нескольких процентов. И, наконец, аппаратура должна быть помехоустойчивой и экономичной по питанию.

Указанным требованиям удовлетворяет автоматическая система, содержащая аналоговый частотно-избирательный узел, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и микро-ЭВМ, которая используется для улучшения метрологических характеристик АЦП и вычисления искомых величин, пропорциональных, например, значениям  $Z_{21}(t)$ .

Функциональная схема установки представлена на рис. 1. Ее состав: аналоговый тракт из дифференциального усилителя  $I$ , аттенуато-