

Академик АН УССР Г. Е. ПУХОВ, И. Д. МАЕРГОЙЗ,  
В. И. ГУМЕНЮК-СЫЧЕВСКИЙ

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВВОДА ГРАФИЧЕСКОЙ  
ИНФОРМАЦИИ В ЭВМ

1. В описанных (<sup>1</sup>) устройствах черчение производится на проводящей поверхности пером, которое является измерительным электродом. Поэтому эти устройства являются двухтактными и в них точка прикосновения пера определяется как точка пересечения эквипотенциалей, на которых находится перо во время каждого из тактов. Поскольку при черчении перо движется, то измеряемые им на каждом такте напряжения соответствуют не одной точке, а двум различным точкам прикосновения, что

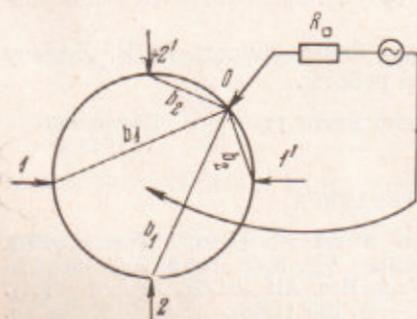


Рис. 1

приводит к некоторой погрешности. Другим источником погрешности является нестабильность контакта между пером и проводящим листом, которая может привести к смещению (временной перестановке) тактов. Отмеченные трудности технически преодолимы. Однако их можно обойти совсем иным путем, если создать устройство, в котором перо является не измерительным, а токовводящим электродом. В таком устройстве при движении пера меняется место ввода тока в проводящий лист, а, следовательно, меняется и распределение потенциала в нем. Через определен-

ные промежутки времени неподвижно установленными измерительными электродами одновременно измеряются напряжения, по которым должны определяться координаты токовводящего пера. Главное достоинство такого типа устройства состоит в возможности черчения на обычном листе бумаги, расположенном поверх проводящего листа, осуществляется емкостный ввод тока в проводящий лист.

2. Рассмотрим устройство, представляющее собой круглый проводящий лист радиуса  $a$ , к границе которого присоединены две пары «точечных» измерительных электродов  $1-1'$  и  $2-2'$  (рис. 1). Источник питания одним полюсом подключается к перу, другим — к токовводящему «точечному» электроду, присоединенному к границе круга в точке  $0$ . Напряжения, измеряемые электродами  $1-1'$  и  $2-2'$  обозначим через  $U_1$  и  $U_2$ . Задача состоит в определении координат точки прикосновения пера по этим напряжениям и току  $I$  через лист.

При любом положении пера распределение потенциала в проводящем листе моделирует функцию Грина задачи Неймана для уравнения Лапласа, аналитическое выражение которой для круга может быть найдено (<sup>2</sup>). Однако наиболее просто формулы для координат точки пера можно найти, если не пользоваться выражением для функции Грина, а применить принцип взаимности. Согласно этому принципу координаты токовводящего пера совпадают с координатами измерительного электрода-пера, имеющего относительно точки  $0$  потенциал  $U_1$ , когда через электроды  $1-1'$  в проводящий лист вводится ток  $I$ , и потенциал  $U_2$ , когда ток  $I$  вводится через электроды  $2-2'$ .

Распределение потенциала в листе, когда ток  $I$  вводится через электроды  $1-1'$ , идентично распределению потенциала поля двухпроводной линии <sup>(1)</sup>. Поэтому

$$U_1 = \frac{I}{2\pi\gamma h} \ln \frac{r_2 b_2}{r_1 b_1} = \frac{U_{\square}}{2\pi} \ln \frac{r_1 b_2}{r_1 b_1}, \quad (1)$$

где  $r_1$  и  $r_2$  — расстояния точки прикосновения пера до электродов  $1$  и  $1'$ .

Аналогично

$$U_2 = \frac{U_{\square}}{2\pi} \ln \frac{r_2 b_2}{r_2 b_1}. \quad (2)$$

Из (1) и (2) находим

$$\frac{r_1}{r_1'} = \frac{b_1}{b_2} e^{2\pi U_1 / U_{\square}}, \quad \frac{r_2}{r_2'} = \frac{b_1}{b_2} e^{2\pi U_2 / U_{\square}}. \quad (3)$$

Пусть  $x$  и  $y$  — координаты точки пера, тогда из (3) следует

$$x^2 + y^2 - 2d_1 x + a^2 = 0, \quad x^2 + y^2 - 2d_2 y + a^2 = 0, \quad (4)$$

$$d_1 = \left( 1 + \frac{b_1^2}{b_2^2} e^{4\pi U_1 / U_{\square}} \right) / \left( 1 - \frac{b_1^2}{b_2^2} e^{4\pi U_1 / U_{\square}} \right),$$

$$d_2 = \left( 1 + \frac{b_1^2}{b_2^2} e^{4\pi U_2 / U_{\square}} \right) / \left( 1 - \frac{b_1^2}{b_2^2} e^{4\pi U_2 / U_{\square}} \right). \quad (5)$$

Из (4) выводим

$$y = \frac{d_1}{d_2} x; \quad (6)$$

$$x = d_1 d_2^2 / (d_1^2 + d_2^2) - (\text{sign } d_1) \cdot \sqrt{d_1^2 d_2^4 / (d_1^2 + d_2^2)^2 - a^2 d_2^2 / (d_1^2 + d_2^2)}. \quad (7)$$

Измеряемые напряжения  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_{\square}$  подаются через преобразователь аналог — код в вычислительную машину, где по формулам (5) — (7) находятся координаты точки прикосновения пера. Соответствующие этим координатам напряжения подаются на устройство индикации.

3. При емкостном вводе тока в проводящий круг через обычный лист бумаги напряжение источника распределяется между последовательно соединенными емкостным сопротивлением перехода перо — проводящий лист и омическим сопротивлением, обусловленным растеканием тока в самом проводящем листе. Поскольку емкость перехода перо — проводящий лист очень мала, то для повышения уровня потенциала в проводящем круге необходимо, с одной стороны, повышать частоту источника, а, с другой стороны, сопротивление  $R_{\square}$  проводящего листа. Расчеты показывают, что при частоте  $1 \text{ Мгц}$  и сопротивлении  $R_{\square} = 10 \text{ Мом}$  сопротивление емкостного перехода и омическое сопротивление растекания тока в листе будут одного порядка; следовательно, и величина потенциала в листе будет того же порядка, что и питающее напряжение. Проводящий круг можно изготовить из электропроводной бумаги, определенные сорта которой имеют сопротивление на квадрат порядка нескольких десятков Мом <sup>(2)</sup>. Для целей преобразования измеряемого напряжения из аналоговой формы в цифровую иногда целесообразно понизить частоту, что приведет к понижению уровня потенциала в проводящем листе. В этом случае измеряемые напряжения следует подавать на преобразователь аналог — код через усилители.

Вопросы технической реализации здесь не обсуждаются.

Институт кибернетики  
Академии наук УССР  
Киев

Поступило  
12 IV 1971

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Г. Е. Пухов, И. Д. Маергойз и др., ДАН, 200, № 1, 1971. <sup>2</sup> Л. В. Канторович, В. И. Крылов, Приближенные методы высшего анализа, М., 1962.  
<sup>3</sup> П. Ф. Фильчаков, В. И. Паичишин, Моделирование потенциальных полей на электропроводной бумаге, Киев, 1961.