

вышает 10 мВ. С выхода измерителя тока сигнал подается на инвертируемый вход компаратора, выполненного на операционном усилителе МС2. Это выходное напряжение сравнивается с опорным напряжением на инвертирующем входе. Выходной сигнал, ограниченный диодным ограничителем (Д2) на нулевом уровне, подается на подложку исследуемого транзистора и на горизонтальный вход регистрирующего устройства.

На рис. 2 представлены зависимости $V_s = f(V_n)$, снятые с помощью описанного устройства для кремниевых МОП ПТ с длиной канала 5 мкм и концентрацией акцепторной примеси в подложке N для высокоомного транзистора 10^{16} см^{-3} (а) и низкоомного 10^{18} см^{-3} (б) при температурах: 1 — 123 К, 2 — 298 К, 3 — 373 К. Величина концентрации вычисляется путем подстановки тангенса угла наклона полученных кривых в точку с $V_n = 0$ в определенное выше уравнение и последующего его решения относительно N . При этом определяется средняя концентрация по области обеднения полупроводника при напряжении на затворе, соответствующем области сильной инверсии. Изменение температуры в интервале $T = (123 \div 373) \text{ К}$ не влияет на величину определяемой концентрации, что исключает необходимость стабилизации температуры при проведении измерений.

Список литературы

1. Андреев А. Д., Борздов В. М., Дитковский В. М. // Проблемы качества и надежности изделий электронной техники, радиоэлектронной аппаратуры и средств управления: Тез. докл. НТК. Мн., 1988. С. 44.
2. Weinberg I. // 11-th IEEE Photovolt. Specialists Conf. 1975. № 5. P. 78.
3. Kasai N., Endo N., Ishitani A., Kurogi Y. // NEC. Res. a. Develop. 1984. № 74. P. 109.
4. Андреев А. Д., Мулярчик С. Г., Савотин Ю. И., Соловьев В. Г. // Весті АН БССР. Сер. фіз.-мат. наук. 1979. № 1. С. 126.
5. Gupta R. S. et al. // Phys. Stat. Sol. (a). 1988. V. 42. P. 671.
6. Bloa A. Le, Fortin B., Colin V. // Ibid. 1975. V. 29. P. 53.
7. Андреев А. Д., Бельский А. М., Кулагин Ю. А., Савотин Ю. И. // Микроэлектроника. 1976. № 5. С. 443.
8. Wada A. // IEEE Trans. Electron. Devices. 1973. V. 20. № 6. P. 602.

Поступила в редакцию 11.03.91.

УДК 681.327.12(088.8)

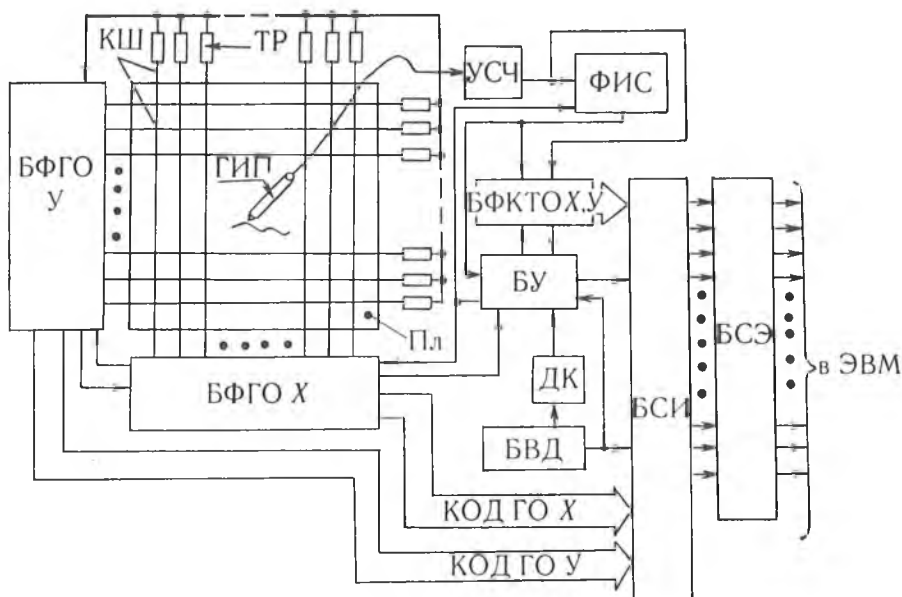
В. Г. ХАЦИРЕВИЧ

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ПЛАНШЕТНОГО УСТРОЙСТВА ГРАФИЧЕСКОГО ВВОДА

В настоящее время весьма актуальна задача кодирования и ввода в ЭВМ рукописной графической информации в режиме реального времени (РРВ).

Такая задача возникает, например, в автоматизированных обучающих системах (АОС), когда для объективной оценки знаний обучаемых студент должен ввести в ЭВМ ответ в письменной форме. В АОС указанная задача решается путем создания планшетных устройств графического ввода (ПУГВ) с РРВ. На планшете такого устройства студент может разместить обычный лист бумаги и с помощью специального электронного пера наносимая им на бумагу графическая информация преобразуется в коды и вводится в ЭВМ системы.

При этом достигается физиологически рациональная поза пользователя, которая предохраняет его от быстрого утомления и обеспечивает длительную работу в человеко-машинной системе. ПУГВ с РРВ позволяют кодировать знания студентов в процессе письма-ответа. Поэтому они становятся основными техническими средствами для построения автоматизированного рабочего места студента в составе многопультной АОС.



Обобщенная блок-схема устройства:

Пл — планшет, КШ — координатные шины, ТР — токоограничивающие резисторы, БФКО-Х, БФКО-У — блок формирования кода грубого отсчета координатной оси Х и У соответственно; ГИП — графическое индукционное перо; УСЧ — усилитель считывания; ФИС — фазо-импульсный селектор; БФКО-Х, У — блок формирования кода точного отсчета соответствующей оси; БУ — блок управления; ДК — датчик касания; БВД — блок временной дискретизации; БСИ — блок сжатия информации; БСЭ — блок связи с ЭВМ; код ГО Х, код ГО У — код грубого отсчета соответственно координатной оси Х и У

На рисунке показана блок-схема ПУГВ, обеспечивающего ввод рукописного текста и графики студента в РРВ [1, 2]. Обязательным элементом устройства является графическое индукционное перо (ГИП) с пишущим элементом и измерительной катушкой (ИК) индуктивности, как правило, цилиндрической формы [3, 4].

Внутри ГИП располагается датчик касания (ДК). Он может быть либо бесконтактного, либо контактного типа. ДК механически связан с пишущим элементом и вырабатывает электрический сигнал при касании и отрыве острия пишущего элемента от листа бумаги. Конструктивно ГИП выполняется в виде обычной шариковой или перьевой ручки. Рассматриваемое устройство должно удовлетворять двум основным требованиям. Первое требование касается эргонометрических характеристик. Согласно этому требованию ГИП должно быть предельно простым в обращении и удобным в работе. В идеальном варианте оно не должно отличаться по форме и весу от обычной шариковой или перьевой ручки. Второе требование касается метрологических характеристик устройства. ГИП в комплекте с устройством должно обеспечить достаточно высокие метрологические характеристики, необходимые для ввода относительно мелких деталей рукописной графической информации.

Требование удобства работы с ГИП накладывает сильное ограничение на габариты ИК, от которых в значительной степени зависят и метрологические характеристики всего устройства в целом.

Разработку устройств, рационально сбалансированным по эргонометрическим и метрологическим характеристикам, можно технически правильно выполнять лишь на основе функции преобразования (ФП) ГИП. Достаточно хорошие результаты дает ФП, полученная в работе [5]. Она устанавливает аналитическую связь между конструктивными параметрами ИК, а также планшета и информационным выходным сигналом ИК:

$$e(x) = E_{\pi} \ln \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^2. \quad (1)$$

Здесь e — выходное значение импульсной ЭДС измерительной катушки, E_{π} — параметрическая ЭДС, которая, согласно работе [6], может быть найдена из выражения: $E_{\pi} = U_{\pi}(L_{\kappa}/L_{\text{ш}})$, причем L_{κ} , $L_{\text{ш}}$ — индуктивность измерительной катушки и координатной шины соответственно; U_{π} — падение напряжения на токоограничивающем резисторе при протекании через него установившегося тока опроса координатной шины; R_1 и R_2 — кратчайшие расстояния от ближайшей и наиболее удаленной точек среднего витка ИК до оси координатной шины соответственно:

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

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

где r — радиус среднего витка катушки; h — высота расположения этого витка над плоскостью укладки координатных шин планшета; x — координата точного отсчета.

Исследование выражения (1) на экстремум дает два важных параметра устройства: максимальное значение сигнала считывания

$$e(x)_{\max} = E_{\pi} \ln \frac{\theta + r}{\theta - r} \quad (2)$$

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

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

Выражение для ФП позволяет определить чувствительность S_{π} ГИП к перемещению его относительно оси координатной шины:

$$S_{\pi} = \frac{de(x)}{dx} = 4E_{\pi} \frac{r(\theta^2 - x^2)}{(R_1 \cdot R_2)^2}. \quad (4)$$

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

Чувствительность S_{π_1} первого вида наблюдается в окрестности точки с координатой $x_1 = 0$. Ее можно найти следующим образом:

$$S_{\pi_1} = S_{\pi} |_{x_1=0} = 4E_{\pi} \frac{r}{\theta^3}. \quad (5)$$

Чувствительность S_{π_2} второго вида имеет место относительно оси шины в окрестности точек соответственно с координатой:

$$x_{2,3} = \sqrt{\theta(\theta \pm 2h)}. \quad (6)$$

Она характеризует максимальную чувствительность ниспадающих участков ФП. S_{π_2} можно найти из условия:

$$S_{\pi_2} = S_{\pi} |_{x=x_2, x_3} = -E_{\pi} \frac{r}{h(\theta \pm h)}. \quad (7)$$

Чувствительность S_{π_3} третьего вида наблюдают в окрестности точек соответственно с координатой:

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

Эта чувствительность считается максимальной на восходящих участках ФП. Ее можно найти так:

$$S_{\pi_3} = S_{\pi} |_{x=x_4, x_5} = E_{\pi} \frac{r}{h(\theta - h)}. \quad (9)$$

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

Соотношения (5, 7) дают возможность разработчику устройства оперативно выбрать рабочий участок ФП исходя из принятых значений r и h по критерию обеспечения максимальной чувствительности преобразования. С помощью выражений (6, 8) можно ориентировочно (без учета

нелинейности ФП) определить координаты удаления от оси шины преобразуемого участка плоскости, соответствующего выбранному участку ФП. То есть 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:

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

Обычно в реальных ГИП, применяемых в планшетных устройствах с РРВ, имеет место соотношение $r/h < \sqrt{3}$. Причиной этого является высокая миниатюрность катушек (отсюда малые значения r) и наличие графитового пишущего элемента, что вызывает сравнительно высокие значения h . При соотношении $r/h < \sqrt{3}$ чувствительность второго вида и чувствительность третьего вида (в этом случае последняя может быть вычислена по формуле (4)) ниже чувствительности первого вида и ее максимального теоретического значения. Степень расхождения зависит от того, насколько отношение r/h меньше $\sqrt{3}$. Исходя из требований получения высоких эргонометрических характеристик (согласно приоритета человеческого фактора), примем $r = 1$ мм, $h = 3$ мм. Измерительная катушка с такими параметрами обеспечивает конструкцию ГИП с высоким удобством в работе. Зададимся значениями $E_{\Pi} = 160$ мВ и $x = 1$ мм, которые находятся в пределах типичных значений параметрической ЭДС и шага укладки шин для устройства с небольшим форматом планшета (примерно 160×160 мм).

Теперь согласно выражениям (1) и (4) можно получить электрический рабочий диапазон ИК, равный $0 \div 59$ мВ при чувствительности ее к перемещению не хуже 49 мВ/мм. Такие метрологические параметры обеспечивают разрядность ЦАП блока ФКТО не менее 8—9 разрядов при простом схемотехническом решении усилительного тракта. Отсюда можно видеть, что достигается вполне приемлемый компромисс между противоречивыми требованиями к устройству.

Список литературы

1. Хациревич В. Г., Мухарский А. М., Якушев А. К. Устройство для считывания графической информации: А. с. 1372343 СССР // БИ. 1988. № 5.
2. Хациревич В. Г., Мухарский А. М., Якушев А. К. Устройство для считывания графической информации: А. с. 1506460 СССР // БИ. 1989. № 33.
3. Хациревич В. Г., Мухарский А. М., Якушев А. К. Устройство для считывания графической информации: А. с. 1529264 СССР // БИ. 1989. № 46.
4. Хациревич В. Г., Кукель И. Н., Якушев А. К. // Автометрия. 1987. № 3. С. 26.
5. Хациревич В. Г., Леонович Э. Н., Кулешов А. Я. // Вычислительная техника в машиностроении. Мн., 1981. Вып. 2. С. 62.
6. Хациревич В. Г., Леонович Э. Н., Кулешов А. Я., Якушев А. К. Количественная оценка основных параметров индукционной измерительной системы планшетного устройства графического ввода. Мн., 1988. Препринт № 10. 20 с.

Поступила в редакцию 04.04.91.