

а вероятность окончания коррекции на первом проходе

$$P_w = \int_{-\infty}^{\infty} \psi_w(\varepsilon) d\varepsilon. \quad (7)$$

Полученные выше соотношения могут служить для определения параметров системы коррекции при заданных условиях. Рассчитываемыми параметрами системы являются: ширина 2Δ зоны нечувствительности корректирующего устройства; шаг q коррекции; количество w попаданий погрешности ИУ в зону $\pm\Delta$, при котором следует закончить режим коррекции.

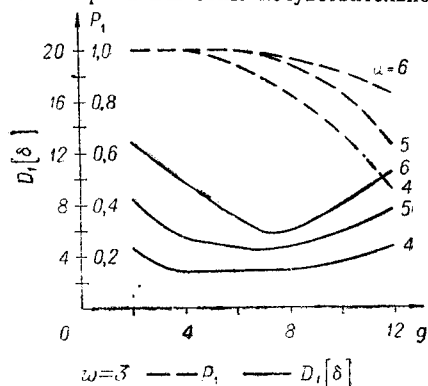


Рис. 3.

оптимальное значение относительного шага коррекции, при котором дисперсия ошибки коррекции минимальна.

На рис. 1—3 приведены графики зависимости вероятности P_1 окончания коррекции на первом проходе, а также дисперсии $D_1(\delta)$ относительной ошибки коррекции $\delta = \varepsilon/\sigma$ при условии завершения коррекции на первом проходе от относительного шага коррекции $g = \frac{q}{\sigma}$, относительной ширины зоны нечувствительности $u = \frac{\Delta}{\sigma}$ и числа w . Здесь σ — средне-

квадратическое отклонение шума y . При этом предполагается, что $\varphi(x)$ — равномерная плотность в пределах от -10σ до $+10\sigma$, а закон распределения шума — нормальный. Из кривых рис. 1—3 видно, что имеется некоторое

ЛИТЕРАТУРА

1. М. А. Земельман. Общие принципы повышения точности измерительных устройств.— Измерительная техника, 1968, № 5.
2. М. А. Земельман. Определение оптимальных параметров системы автоматической коррекции погрешностей развертывающего аналого-цифрового преобразователя.— Измерительная техника, 1966, № 6.

Поступило в редакцию
5 ноября 1969 г.,
окончательный вариант —
11 сентября 1970 г.

МДК 681.322.05

В. Г. КАТЮШКИН
(МОСКВА)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА МНОГОКАНАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ «АНАЛОГОВОЕ НАПРЯЖЕНИЕ — КОД»

Функциональную схему, отражающую принцип работы большинства типов преобразователей «аналог — код», можно представить в виде рис. 1. Преобразуемое напряжение U_n подается на схему сравнения (СС). Схема управления (СУ) производит перебор состояний регистра, и одновременно с помощью суммирующей матрицы (СМ) осуществляется соответствующее преобразование код — напряжение. Подбор необходимого

кода делается или путем поразрядного перебора, или же последовательным перебором всех кодов в регистре*.

Сравним эти способы по требуемому времени преобразования для случая применения их в схемах многоканальных преобразователей, а также оценим сложность их реализации. При сравнении будем полагать, что в обоих способах подбора кода в регистре осуществляется скачкообразное изменение кода, но выходное напряжение сравнивающего устройства изменяется с некоторым запаздыванием

$$\delta U_{\text{вых}} = \delta U_{\text{к}} (1 - e^{-t/\tau}). \quad (1)$$

Величина τ зависит как от параметров схемы сравнения, так и от параметров суммирующей матрицы.

Рассмотрим ошибки преобразования, возникающие вследствие того, что $\tau \neq 0$, а величина $\delta U_{\text{вых}}$ оценивается СС через некоторое время t_k . За ошибку γ преобразования примем отношение разности входного и выходного напряжений к максимальному значению преобразуемого напряжения. При поразрядном подборе ошибка γ_1 максимальна при сравнении напряжения, соответствующего единице старшего разряда кода:

$$\gamma_1 = 2^{-1} e^{-t'_k/\tau}. \quad (2)$$

Обычно число разрядов m и максимальная ошибка γ_1 связаны соотношением $\gamma_1 = 2^{-m}$. Тогда

$$t'_k = (m - 1) \tau \ln 2. \quad (3)$$

Поскольку при расчетах полагали $t'_k = \text{const}$, то время преобразования при поразрядном подборе для m -разрядного преобразователя равно

$$T_1 = m(m - 1) \tau \ln 2. \quad (4)$$

Если применить переменное время t_k для различных разрядов, то нетрудно показать, что при неизменной точности преобразования время преобразования будет в два раза меньше, чем по формуле (4).

Определим теперь время преобразования T_2 для случая подбора кода в режиме счетчика, который осуществляет постепенное увеличение кода от нуля до максимального с последовательностью в один дискрет за такт t_k'' . В этом случае ошибка с увеличением числа k тактов возрастает и максимальна при $k = k_{\text{max}} = 2^m - 1$. Относительное значение ошибки γ_2 преобразования при этом равно

$$\gamma_2 \approx 2^{-m} \sum_{i=1}^{2^m} \alpha^i, \quad (5)$$

где $\alpha = e^{-t_k''/\tau}$. При определении времени преобразования T_2 необходимо учитывать и то, что после набора максимального кода происходит сброс регистра на нулевое значение кода. Необходимое время $t_{\text{в}}$ восстановления может быть найдено из равенства $e^{-t_{\text{в}}/\tau} = 2^{-m}$. Отсюда $t_{\text{в}} = m \tau \ln 2$. При сравнении поразрядного подбора с подбором в режиме счетчика будем полагать ошибки преобразования равными, т. е.

$\gamma_2 = \gamma_1 = 2^{-m}$. Значит, в уравнении (5) $\sum_{i=1}^{2^m} \alpha^i = 1$. Отсюда $t_k'' = \tau$, а

$$T_2 = \tau (2^m + m) \ln 2. \quad (6)$$

Отношение ξ требуемого времени преобразования напряжения в код при подборе кода в режиме счетчика ко времени преобразования при поразрядном подборе для случая равенства ошибок γ преобразования имеет следующий вид:

$$\xi = (2^m + m)/m(m - 1). \quad (7)$$

Для различных значений m оно приведено в таблице. Для всех чисел m одноканальный преобразователь с поразрядным подбором имеет преимущество в быстродействии.

* Э. И. Гиттис. Преобразователи информации для электронных цифровых вычислительных устройств. М.—Л., Госэнергоиздат, 1961.

m	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ξ	1,85	2,33	3,22	4,72	7,24	11,5	18,7	31,1	52,5	90	157

Однако в многоканальном преобразователе с поразрядным подбором за время T_1 можно преобразовать только одно напряжение, а в преобразователе со счетным подбором за время T_2 можно преобразовать в общем случае n напряжений.

Если напряжения $U_1 - U_n$ имеют примерно одинаковые спектры, то отношение ξ (см. таблицу) и число n напряжений могут определять выбор способа преобразования, т. е. при $n > \xi$ имеет преимущество преобразователь с подбором кода в режиме счетчика, а при $n < \xi$ — с поразрядным подбором. Если напряжения имеют разные спектры, то на выбор типа схемы влияет также распределение спектров. Для заранее известных пределов изменения спектра преобразуемого напряжения в каждом из каналов в многоканальном преобразователе с поразрядным подбором кода можно организовать опрос каналов не с одинаковой частотой. Каналы, в которых аналоговые напряжения изменяются в r раз быстрее других, можно опрашивать в r раз чаще. За счет этого можно получить дополнительный выигрыш в суммарном времени преобразования в некоторое число K раз. Величина K может быть найдена, если известен закон распределения спектров в каналах. В соответствии со спектром выбираются частоты опроса. Например, если у n -канального преобразователя 1-й канал опрашивается с частотой F , 2-й канал с частотой $2F$, i -й канал соответственно с частотой iF , то $K = \frac{2n}{1+n}$.

Произведем предварительную оценку сложности обоих видов преобразователей. Как видно из сравнения рис. 2, где изображена функциональная схема преобразователя с счетчиком, и рис. 3, где представлена функциональная схема n -канального преобразователя с поразрядным подбором, логические схемы многоканальных преобразователей обоих типов могут быть даны примерно в одинаковой форме.

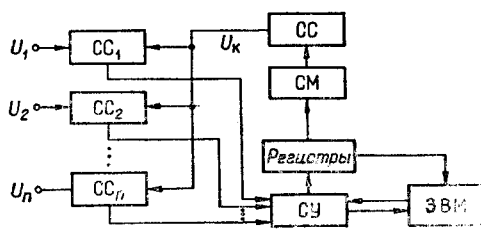


Рис. 2.

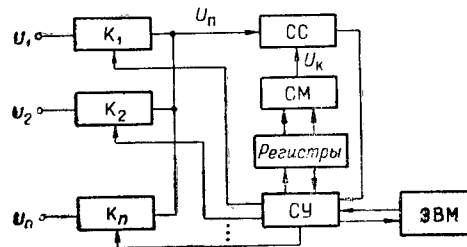


Рис. 3.

Для n -канального преобразователя с поразрядным подбором необходимо n схем ключей, а для подбора в режиме счетчика нужно n схем сравнения. Регистры в обоих случаях имеют по m триггеров с выходом на СМ. Во втором случае после СМ обычно ставят усилитель, в первом — СС.

Рассмотрим функции, выполняемые СУ в обоих вариантах. В варианте рис. 3 после получения сигнала от ЭВМ, состоящего из кода номера напряжения, СУ подключает это напряжение через соответствующий ключ на СС и осуществляет поразрядный подбор, устанавливая соответствующий данному напряжению код. СУ в варианте рис. 2 осуществляет работу регистра в режиме счетчика и вырабатывает код номера напряжения (для отправки его в ЭВМ), в СС которого осуществилось условие равенства величины преобразуемого напряжения и напряжения с выхода СМ. Практическая реализация таких схем показала, что СУ в обоих вариантах, хотя и имеют различные задачи, но по сложности реализации существенно не отличаются.

Сравнение структурных схем преобразователей с поразрядным подбором и подбором в режиме счетчика позволяет заключить, что если они рассчитаны на одинаковое число каналов преобразования, то по сложности изготовления примерно одинаковы. Однако в настоящее время изготовить СС с требуемыми параметрами для преобразователя значительно сложнее, чем изготовить ключ для переключения каналов. Поскольку в n -канальном преобразователе с подбором в режиме счетчика необходимо иметь n схем сравнения, а в поразрядном подборе только одну, то изготовление преобразователя для большого числа каналов проще с поразрядным подбором кода даже в случае одинаковых требований к величине постоянной времени τ . Кроме того, сложность изготовления существенно зависит от величины τ , которая определяет требования всех узлов преобразователя.

Переходные процессы в триггере, которыми при расчетах пренебрегали, должны быть существенно меньше τ , чтобы не привести к уменьшению быстродействия. Если же будут применены низкочастотные триггеры, то потребуется уменьшение времени τ для получения нужного быстродействия всего преобразователя. Поэтому весьма важно выбрать тот способ подбора кода, при котором величина τ может быть больше, т. е. для известного числа каналов n руководствоваться при выборе способа подбора кода приведенными выше неравенствами и зависимостью $\xi(m)$ [см. (7)].

Статья не исчерпывает всех сторон оценки рассматриваемых способов преобразования и особенно вопросов, связанных с оценкой сложности. Такая оценка особенно затруднительна вследствие прогресса в разработке новых приборов, которые входят в схемы преобразователей, а также в развитии схем отдельных узлов преобразователей. Поэтому более точная оценка сложности может быть сделана на основе учета свойств принятых при разработке элементов и узлов преобразователей.

Поступило в редакцию
29 июня 1970 г.

УДК 681.327

А. М. КОВАЛЕВ, В. И. КОТОВ, А. П. ЯКИМОВИЧ
(НОВОСИБИРСК)

СВЕТОВОЕ ПЕРО, АППАРАТУРНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЖИМА ТРАССИРОВКИ

Среди различных функциональных блоков систем графического взаимодействия (СГВ) человека с ЭВМ важное место занимает световое перо. Световое перо (СП) позволяет вводить графическую информацию в ЭВМ, редактировать буквенно-цифровые тексты, стирать элементы изображений и, используя «световые кнопки», передавать команды вычислительной машине [1]. Все эти виды работ со световым пером оводятся к двум основным режимам — режиму детектирования и режиму трассировки.

Упрощенно принцип действия системы СП в режиме детектирования (рис. 1) заключается в том, что электрический импульс, сформированный пером от вспышки люминофора ЭЛТ, открывая схему И, производит передачу в ЭВМ координат изображаемого элемента, его адреса в буферной памяти (БП) СГВ или же другого слова, сформированного устройством управления (УУ).

Собственно световое перо, предназначенное для формирования сигнала «вижу свет», состоит из приемника света (П) и формирователя электрического импульса (Ф). Приемник света обычно состоит из оптической системы, создающей поле зрения пера и увеличивающей чувствительность СП, и какого-нибудь фотопреобразователя. Оптическая система и фотопреобразователь могут быть разделены; в этом случае свет подводится к фотопреобразователю световодом.

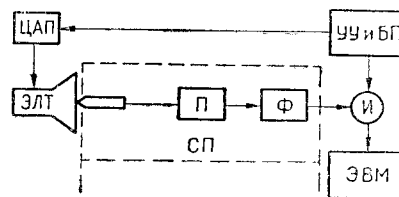


Рис. 1.

Основные требования к световому перу следующие: 1) малая задержка импульса светового пера относительно импульса подсветки элемента изображения; 2) помехоустойчивость; 3) хорошая разрешающая способность.

Большое значение с точки зрения быстродействия светового пера имеет выбор ЭЛТ и фотопреобразователя. Как известно, время послесвечения и задержка возгорания различных люминофоров изменяются в широких пределах — от долей микросекунд до нескольких десятков секунд. Причем эти параметры уменьшаются с уменьшением длины волны свечения люминофора и зависят от физико-химических свойств люминофора.

В системе «Экран» была выбрана ЭЛТ с люминофором типа В, имеющим двухслойную структуру и спектральную характеристику свечения, приведенную на рис. 2 (кривая 1). Первый слой люминофора — мелкозернистый, с малым временем послесве-