

при регистрации спектров на ЭВМ с магнитными дисками достаточно большого объема целесообразно одновременно осуществлять следующие меры:

- 1) применение так называемого прямого алгоритма внешней поканальной сортировки с предварительным накоплением на диске массива, подлежащего сортировке;
- 2) предварительное преобразование исходных признаков событий в сортируемые признаки одинарной длины на стадии внешнего накопления;
- 3) предварительная группировка признаков по зонам поля данных диска на стадии внешнего накопления и внешняя сортировка заполненных частей зон;
- 4) совмещение во времени процессов приема исходных признаков в оперативную память, их преобразования с группировкой и передачи массивов на диск на стадии внешнего накопления;
- 5) оптимизация параметров алгоритмов внешнего накопления и внешней поканальной сортировки;
- 6) выбор объемов зон в поле данных на диске и их размещения в зависимости от статистического распределения признаков событий по зонам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. А. Маталин, В. И. Смирнов. Накопление и обработка информации при многомерном анализе.— В кн.: Труды 6-й конференции по ядерной электронике. Т. 3. Ч. 1. М., Атомиздат, 1965.
2. С. С. Курочкин. Многомерные анализаторы. М., Атомиздат, 1968.
3. Ю. Д. Федоров. Методы многомерной регистрации.— В кн.: Труды 7-й конференции по ядерной электронике. Т. 1. Ч. 3. М., Атомиздат, 1970.
4. В. М. Цупко-Ситников. ЭВМ в задачах физики низких энергий.— В кн.: ЭВМ в экспериментальной физике. Лекции второй школы ОИЯИ. г. Алушта, 3-7 мая 1970 г. Дубна, изд. ОИЯИ, 1970.
5. В. М. Глушков, В. П. Гладун, Л. С. Лазинский, С. Б. Погребинский. Обработка информационных массивов в автоматизированных системах управления. Киев, «Наукова думка», 1970.
6. Р. Г. Оффенгенден, Ф. Н. Березин, П. В. Лапшук, Г. Б. Любанский, П. Н. Светличный. Дискретная система для измерения многомерных распределений вероятностей. Киев, «Наукова думка», 1969.
7. Р. Г. Оффенгенден, Ф. Н. Березин, П. В. Лапшук, А. М. Шур. Миллионно-канальная измерительная система для ядерно-физических измерений.— В кн.: Труды 7-й конференции по ядерной электронике. Т. 1. Ч. 3. М., Атомиздат, 1970.
8. B. Souček, R. J. Sprigad. Megachannel analyzers.— "IEEE Trans. Nucl. Sci.", 1966, vol. NS-13, № 1.
9. Р. Г. Оффенгенден, Л. А. Головач, С. И. Пилипчак. Алгоритм для измерения распределения вероятностей произвольного входящего потока с помощью ЭВМ.— В кн.: Автоматизация научных исследований (Материалы III Всесоюзной школы). Рига, «Зинатне», 1972.
10. D. C. Hensley. List or Sort?— Some experience with the ORIC multiparameters data acquisition system.— "IEEE Trans. Nucl. Sci.", 1973, vol. NS-20, № 1.

Поступила в редакцию 10 июня 1975 г.

УДК 631.327.11

В. Л. КИПОТЬ, Ю. К. СИТНИКОВ

(Казань)

СИНТЕЗ УСТРОЙСТВ ВЫВОДА ДУГ ОКРУЖНОСТЕЙ И ЭЛЛИПСОВ НА ЭКРАН ДИСПЛЕЯ

При выводе графических элементов из ЦВМ на экран устройства графического воспроизведения информации (УГВ) необходимо осуществить преобразование цифрового описания элемента в отклоняющие

напряжения. Эта операция выполняется с помощью функциональных генераторов, к которым относятся генератор символов, генератор векторов, генераторы кривых второго порядка и некоторые другие.

Наиболее распространенными среди генераторов кривых второго порядка являются устройства построения дуг окружностей и эллипсов. Для перемещения луча по окружности или эллипсу можно воспользоваться как цифровыми, так и аналоговыми устройствами.

При цифровом методе построения окружность аппроксимируется многоугольником с большим числом сторон, причем координаты каждой точки определяются по координатам предыдущего положения луча [1].

Аналоговые устройства вывода дуг окружностей и эллипсов используют метод фигур Лиссажу [2—4]. Эти устройства состоят из следующих блоков:

блок формирования гармонических напряжений, сдвинутых по фазе $\pi/2$, с амплитудами, определяемыми кодами полуосей (R_1, R_2);

блок отсчета угловых величин, преобразующий коды начального (φ_n) и конечного углов дуги (φ_k) в соответствующие временные интервалы;

блок установки координат центра (X_n, Y_n), использующий преобразование код — напряжение; он обычно является общим для всех функциональных генераторов;

блок коррекции яркости, формирующий корректирующие напряжения для поддержания постоянной яркости изображения.

Рассмотрим отдельные блоки аналоговых устройств вывода дуг окружностей и эллипсов.

Блок формирования гармонических напряжений. Можно выделить два типа таких блоков: 1) устройство, начинающее построение с произвольной фазы и обеспечивающее движение луча ЭЛТ только по части окружности или эллипса, соответствующей выводимой дуге; 2) устройство, постоянно вырабатывающее гармонические напряжения, сдвинутые на $\pi/2$; в этом случае движение луча ЭЛТ осуществляется по всей окружности или эллипсу, но подсвечивается только выводимая дуга.

К первому типу относится устройство [2], в котором гармонические напряжения получаются как результат решения уравнения $X'' + \frac{b^2}{a^2}X = 0$ с помощью структурной модели. Структурная модель представляет собой кольцо из двух интеграторов и масштабного усилителя. Кроме того, в устройство входят цифроаналоговые преобразователи и аналоговые ключи для задания начальных условий и цифруправляемые сопротивления для задания амплитуды гармонических напряжений. Достоинством такого устройства является малое время построения, определяемое временем перемещения луча по контуру выводимой дуги. Однако его техническая реализация сложна, а использование операционных усилителей и применение аналоговых цепей для задания начальных условий снижает точность построения кривых.

Второй тип устройств [3, 4] включает генератор гармонических колебаний и фазовращательную цепочку. Для задания амплитуды гармонических колебаний служат цифруправляемые сопротивления. Кроме того, в блок входит пороговый элемент, фиксирующий фазу гармонического напряжения для задания начального угла отсчета. Недостатком таких устройств является большое время построения. (Ниже будут рассмотрены методы уменьшения времени построения для этих устройств).

Период колебаний гармонического генератора определяется [4]

$$T = \frac{2\pi R_m}{V},$$

где R_m — наибольший радиус кривой; V — скорость перемещения луча при заданной яркости изображения, обусловленная яркостью экрана ЭЛТ.

Блок отсчета угловых величин. Для задания начальной и конечной точек дуги задают или координаты начальной и конечной точек, или начальный и конечный углы дуги. Чаще используется задание угловых размеров дуги [3, 4]; в этом случае в состав устройства включается блок отсчета угловых величин, использующий преобразование код — временной интервал.

Блок отсчета угловых величин может иметь как аналоговую структуру [3], так и цифровую [4].

В первом случае используется преобразование код — напряжение и затем напряжение — временной интервал. Аналоговые устройства имеют невысокую точность.

Цифровые устройства используют счетчики и генератор счетных импульсов. Эти устройства имеют высокую точность преобразования, которая ограничивается лишь быстродействием применяемых элементов и стабильностью генератора счетных импульсов. Момент совпадения числа импульсов, накопленных на счетчике с кодом угла, можно определить или с помощью цифрового компаратора, или по импульсу переполнения счетчика, в который предварительно заносится обратный код угла.

Применение в качестве преобразователей счетчиков и цифровых компараторов накладывает жесткие требования на время установления кода в счетчике, которое должно быть в несколько раз меньше периода генератора счетных импульсов. Это приводит к необходимости применения синхронных счетчиков на быстродействующих элементах, что усложняет схему преобразователя.

Устройство с применением счетчиков, в которые предварительно заносится обратный код угла, позволяет использовать последовательные счетчики. Устройство этого типа имеет более простую структуру и обеспечивает достаточную точность преобразования.

Блок коррекции яркости. Яркость линии обратно пропорциональна скорости движения луча. При изменении скорости луча в процессе построения графического элемента необходимо для поддержания постоянной яркости формировать корректирующее напряжение, пропорциональное скорости движения луча, которое подается на модулятор ЭЛТ.

Скорость движения луча при перемещении по эллипсу

$$V = \sqrt{\omega^2 R_1^2 \cos^2 \omega t + \omega^2 R_2^2 \sin^2 \omega t}.$$

При $R_1 = R_2$ (окружность) получаем $V = \omega R$.

Таким образом, при построении окружности корректирующее напряжение пропорционально радиусу окружности.

В случае эллипса скорость движения можно вычислить по приближенной формуле

$$V = a\omega (R_1 |\cos \omega t| + R_2 |\sin \omega t|)$$

и подавать на модулятор корректирующее напряжение, пропорциональное приближенному значению скорости.

Структурные методы уменьшения времени построения. Блок-схема устройства вывода дуг окружностей и эллипсов показана на рис. 1. Устройство содержит генератор гармонических колебаний (ГГК) и фазовращательную цепочку (ФВ), служащие для формирования гармонических напряжений, аналоговые ключи (K_x , K_y) и цифрууправляемые сопротивления (ЦУС_x , ЦУС_y). Для задания начального угла отсчета используется нуль-орган (Н-О). Блок отсчета угловых величин состоит из генератора счетных импульсов (ГСИ) и счетчиков (Сч_{ϕ_n} , Сч_{ϕ_k}). Блок

Если дуга не проходит через точку отсчета, то применяется следующий алгоритм вывода: в момент времени, соответствующий нулевому углу, запускаются счетчики отсчета углов; при совпадении кода начального угла дуги с числом импульсов, накопленных на счетчике, включается подсвет луча и начинается построение дуги; построение дуги оканчивается в момент совпадения кода конечного угла дуги с числом импульсов на соответствующем счетчике (рис. 2, а). Время построения дуги не превышает T .

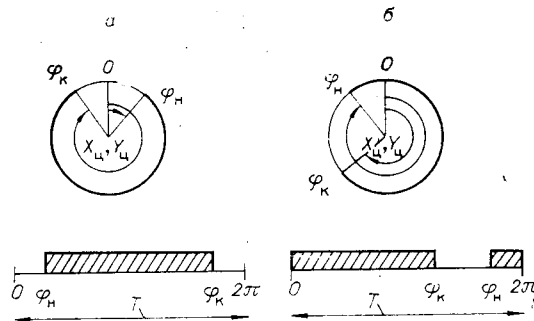


Рис. 2.

Если дуга проходит через точку отсчета, то подсвет луча включается в момент времени, соответствующий нулевому углу, вместе с запуском счетчиков. В момент совпадения кода конечного угла дуги с числом импульсов на счетчике подсвет луча выключается и построение продолжается без подсвета до момента времени, соответствующего начальному углу дуги, затем подсвет луча вновь включается и построение продолжается до нулевого угла (см. рис. 2, б). В этом случае время построения также не превышает T .

Применение описанных методов позволяет сократить максимальное время построения до величины

$$T_{nm} = 1,25T + \left(1 + \frac{R_m}{l}\right) t_{уст}.$$

Анализ точности построения дуг. Если задана точность построения графических элементов на экране дисплея Δl , то можно оценить необходимое число разрядов кодов полуосей и кодов углов. Число отсчетов по радиусу можно найти из неравенства $N_R \geq \frac{R_m}{\Delta l}$. Число отсчетов по углу определяется как $N_\varphi \geq \frac{2\pi R_m}{\Delta l}$. Это же выражение определяет коэффициент пересчета счетчиков углов.

Частота генератора счетных импульсов $f = N_\varphi / T$.

Оценим искажение формы окружности с учетом влияния параметров отдельных узлов. Рассмотрим выражения для напряжений, снимаемых с цифруправляемых сопротивлений при построении окружности максимального радиуса. Будем учитывать суммарное отклонение амплитуды гармонических сигналов за счет амплитудной нестабильности генератора гармонических колебаний и неточности цифруправляемых сопротивлений $\delta U_m = \Delta U / U_m$, коэффициент гармоник на выходе цифруправляемых сопротивлений k и суммарный фазовый сдвиг за счет отклонения сдвига фаз от $\pi/2$ фазовращательной цепочки и фазовых сдвигов других узлов $\Delta\varphi$:

$$U_x = U_m(1 + \delta U_m) \sin \omega t + k U_m(1 + \delta U_m) \sin 2\omega t; \quad (1)$$

$$U_y = U_m(1 + \delta U_m) \cos(\omega t + \Delta\varphi) + k U_m(1 + \delta U_m) \cos(2\omega t + \Delta\varphi).$$

Учитывая малость δU_m , k , $\Delta\varphi$ и отбрасывая члены второго порядка малости, из выражения (1) получим

$$U_x = U_m(\sin \omega t + \delta U_m \sin \omega t + k \sin 2\omega t); \quad (2)$$

$$U_y = U_m(\cos \omega t + \delta U_m \cos \omega t + k \cos 2\omega t - \Delta\varphi \sin \omega t).$$

Выражение для радиуса с точностью до малых первого порядка

$$U_R = \sqrt{U_x^2 + U_y^2} = U_m \sqrt{1 + 2\delta U_m + 2k \cos \omega t - \Delta\varphi \sin 2\omega t} \approx \\ \approx U_m \left(1 + \delta U_m + k \cos \omega t - \frac{\Delta\varphi}{2} \sin 2\omega t \right)$$

или

$$\delta R = \delta U = \frac{U_R - U_m}{U_m} = \delta U_m + k \cos \omega t - \frac{\Delta\varphi}{2} \sin 2\omega t, \quad (3)$$

где $\delta R = \Delta R/R_m$ — относительная погрешность радиуса при максимальном радиусе окружности.

В соответствии с (3) δR имеет максимальное значение, определяемое как

$$|\delta R_m| = |\delta U_m| + \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{k^2}{8\Delta\varphi^2} + \frac{k}{2|\Delta\varphi|}} \sqrt{\frac{k^2}{16\Delta\varphi^2} + \frac{1}{2}} \left[k - \left(\frac{k}{4|\Delta\varphi|} - \right. \right. \\ \left. \left. - \sqrt{\frac{k^2}{16\Delta\varphi^2} + \frac{1}{2}} \right) \Delta\varphi \right]. \quad (4)$$

Знак максимального значения δR_m определяется знаком δU_m .

При $k \gg \Delta\varphi$ выражение (4) принимает вид

$$|\delta R_m| = |\delta U_m| + k.$$

При $k \ll \Delta\varphi$

$$|\delta R_m| = |\delta U_m| + \frac{|\Delta\varphi|}{2}.$$

Отсюда следует, что максимальное искажение за счет гармоник равно k , а за счет неточности сдвига фаз — $\Delta\varphi/2$.

Для приближенной оценки относительной погрешности радиуса можно пользоваться выражением

$$|\delta R_m| = |\delta U_m| + k + \frac{|\Delta\varphi|}{2}.$$

Эта величина всегда больше, чем точное значение δR_m из выражения (4).

Для обеспечения заданной точности построения относительная погрешность радиуса должна удовлетворять неравенству $R_m |\delta R_m| \leq \Delta l$.

Оценим погрешность блока отсчета углов при построении дуг окружности. В этом случае погрешность определяется нестабильностью нулевой точки отсчета и погрешностью преобразования код — временной интервал. Если в качестве нулевой точки отсчета выбрана точка перехода синусоиды через нуль, то погрешность будет вносить только нестабильность порога нуль-органа.

Пусть U_n — напряжение порога, ему соответствует угол φ_1 , тогда $U_n = U_r \sin \varphi_1$. Если напряжение порога изменится на величину ΔU_n , то изменится и угол:

$$U_n + \Delta U_n = U_r \sin(\varphi_1 + \Delta\theta_1) \approx U_r \sin \varphi_1 + \Delta\theta_1 U_r \cos \varphi_1.$$

Если фиксируется переход через нуль, то $U_n = 0$, $\varphi_1 = 0$:

$$\Delta U_n = \Delta\theta_1 U_r$$

или

$$\Delta\theta_1 = \frac{\Delta U_n}{U_r} = \delta U_n.$$

Оценим ошибку преобразования код — временной интервал за счет ухода частоты генератора гармонических колебаний и генератора счет-

ных импульсов. Обозначим: F — частота генератора гармонических колебаний, δF — относительный уход этой частоты, f и δf — аналогичные величины для генератора счетных импульсов. Ошибка преобразования будет составлять

$$\Delta T = \frac{1}{F(1+\delta F)} - \frac{N_{\Phi}}{f(1+\delta f)} \approx \frac{1}{F} (\delta f - \delta F) = T (\delta f - \delta F)$$

или в угловых величинах

$$\Delta \Theta_2 = 2\pi \frac{\Delta T}{T} = 2\pi (\delta f - \delta F).$$

Погрешность по дуге составляет

$$\delta l_{\Theta} = \frac{\Delta l_{\Theta}}{R_m} = \Delta \Theta = \Delta \Theta_1 + \Delta \Theta_2 = \delta U_{\pi} + 2\pi (\delta f - \delta F).$$

Эта величина должна удовлетворять неравенству

$$R_m [\delta U_{\pi} + 2\pi (\delta f - \delta F)] \leq \Delta l. \quad (5)$$

Если в устройстве четыре нуля-органа и отсчет углов производится в одном квадранте, то погрешность преобразования код — временной интервал уменьшится в четыре раза, но добавится величина погрешности сдвига фаз в фазовращательной цепочке, поэтому выражение (5) принимает вид

$$R_m [\delta U_{\pi} + \Delta \varphi + \frac{\pi}{2} (\delta f - \delta F)] \leq \Delta l.$$

Полученные выражения позволяют оценить погрешность построения дуг окружности как по радиусу, так и по углу, из этих же соотношений можно рассчитать требования к узлам устройства вывода дуг окружности по заданной точности построения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. К. Ситников, А. Г. Таюрский. Имитация окружности многоугольником с большим числом сторон.— В кн.: Ввод и вывод графической информации в цифровых вычислительных машинах. Казань, Изд-во Казан. ун-та, 1972.
2. Ю. К. Ситников. Об использовании результатов моделирования уравнения второго порядка для построения фигуры Лиссажу.— В кн.: Ввод и вывод графической информации в цифровых вычислительных машинах. Казань, Изд-во Казан. ун-та, 1972.
3. М. С. Безродный. Основы построения устройств оперативного вывода информации. М., «Энергия», 1973.
4. В. Л. Кипоть. О методе вычерчивания дуг окружностей на экране ЭЛТ.— В кн.: Средства графического взаимодействия оператора с ЦВМ. Казань, Изд-во Казан. ун-та, 1973.

*Поступила в редакцию 9 июля 1973 г.;
окончательный вариант — 9 октября 1974 г.*