

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Автоматизированный электропривод»

В. В. Логвин, В. В. Шапоров, М. Н. Погуляев

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к контрольным работам по одноименной дисциплине
для студентов специальности 1-53 01 05
«Автоматизированные электроприводы»
заочной формы обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2009

УДК 681.5(075.8)
ББК 32.965я73
Л69

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
автоматизированных и информационных систем ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 8 от 09.04.2007 г.)*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого
О. Г. Широков

Логвин, В. В.
Л69 Проектирование дискретных систем управления : метод. указания к контрол. работам по одноим. дисциплине для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» заоч. формы обучения / В. В. Логвин, В. В. Шапоров, М. Н. Погуляев. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2009. –26 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-420-777-3.

Рассмотрены вопросы построения дискретных систем управления и цифровых преобразователей информации, даны задания и рекомендации по выполнению контрольных работ. В представленных заданиях рассмотрены различные способы преобразования информации из буквенно-цифровых кодов в унитарный код.

Для студентов специальности 1-53 01 05 заочной формы обучения.

**УДК 681.5(075.8)
ББК 32.965я73**

ISBN 978-985-420-777-3

© Логвин В. В., Шапоров В. В.,
Погуляев М. Н., .2009
© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2009

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОЙ ИНФОРМАЦИИ. ИНТЕРПОЛЯТОРЫ

В системах числового программного управления (ЧПУ) рабочие органы (РО) механизмов перемещаются по опорным точкам траектории движения инструмента, изделия, схвата робота и др. Координаты опорных точек и их приращения определяются на основании чертежа детали. Движения между опорными точками задаются с помощью устройств, которые называются интерполяторами. В дальнейшем за интерполятор будем принимать устройство, на вход которого кадр за кадром подается информация в виде цифровых кодов, а на выходе выдается информация для каждой координаты в виде последовательности импульсов, т. е. в виде унитарного кода. Унитарный код по каждой координате подается непосредственно в систему управления приводом данной координаты.

Движение от одной опорной точки к другой может осуществляться по прямой или по кривой. В зависимости от этого интерполяторы могут быть линейными или нелинейными.

По виду кривой различают нелинейные интерполяторы второго, третьего порядков и выше. Принципиально любая траектория может быть аппроксимирована кривой, задаваемой в виде полинома Лагранжа:

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_n x^n.$$

Примерами нелинейных интерполяторов второго порядка являются круговые и параболические. При их применении участок траектории заменяется соответственно отрезком окружности или параболы. В практике ЧПУ наиболее широкое распространение получили линейно-круговые интерполяторы. Это вызвано тем, что в подавляющем большинстве контуры деталей машиностроения представляют собой отрезки прямых и дуги окружностей. Чем выше порядок кривой, тем сложнее устройство интерполятора, но зато при одной и той же точности упрощается программирование, т. к. требуется меньше расчетов по определению координат опорных точек.

По способу применения различают автономные и встроенные интерполяторы. В последнем случае интерполятор встраивается непосредственно в систему управления и работает в ее режиме. Это означает, что считывание и обработка информации производятся последовательно, кадр за кадром. После отработки предыдущего кадра программы в систему управления поступает следующий кадр и т. д. Уплотнение режима работы достигается тем, что интерполятор при-

стует к расшифровке последующего кадра программы до окончания отработки системой управления предыдущего кадра. Структура системы ЧПУ со встроенным интерполятором изображена на рис. 1, где обозначено БПр – блок программы, ИНТ – интерполятор, ДП – датчик положения, ϕ – обрабатываемая координата.

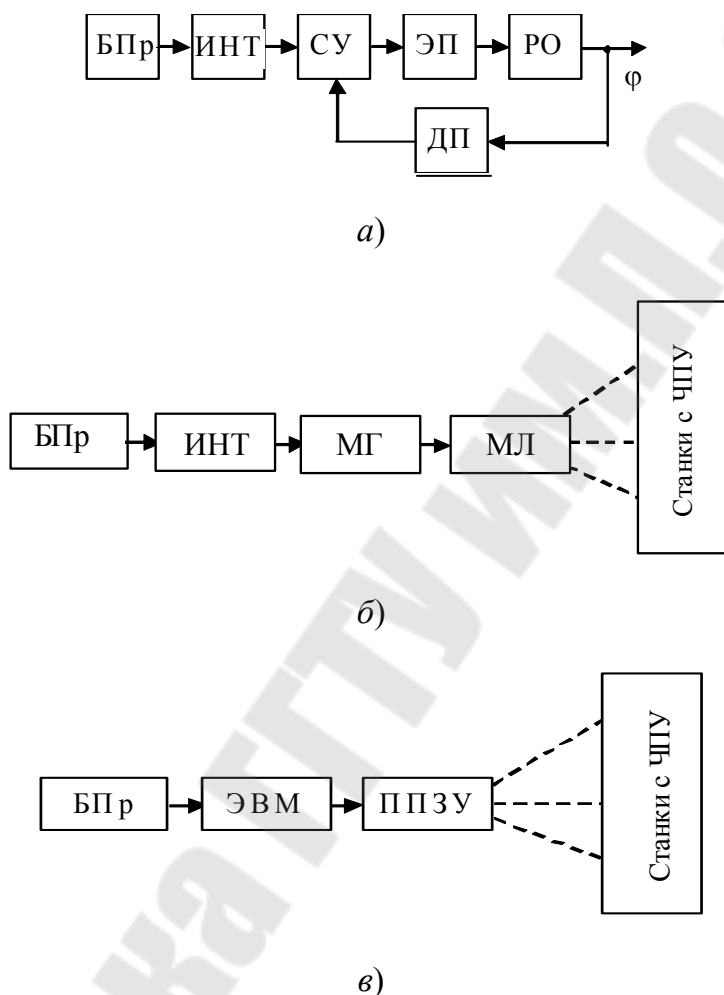


Рис. 1. Схемы использования интерполяторов

Интерполятор является весьма дорогим и сложным устройством системы ЧПУ. Наиболее полно он используется в автономной схеме (рис. 1, б).

При такой схеме один интерполятор может обслуживать несколько станков с ЧПУ и располагаться в другом цехе или даже на ином предприятии. Недостаточная гибкость схемы автономного использования интерполятора не позволила применять ее в широких масштабах. Внедрение микропроцессоров и микроЭВМ в системы ЧПУ привело к разработке аналогичной схемы, имеющей, однако, но-

вое содержание (рис. 1, в). В данном случае ЭВМ готовит программы и хранит их в перепрограммируемом запоминающем устройстве (ППЗУ), откуда по запросам они поступают в системы ЧПУ станками.

В зависимости от вида вычислительных процедур и алгоритмов функционирования различают интерполяторы, реализующие принципы разложения пространственных функций на параметрические составляющие на основе решения алгебраических и дифференциальных уравнений.

По способу реализации следует выделить аппаратное исполнение интерполятора (на базе унифицированных узлов) и программное (на базе микроЭВМ и микропроцессоров). При линейной интерполяции в кадре указываются адрес $S01$ и координаты конечной точки участка. Координаты начальной точки являются координатами конечной точки предыдущего участка и уже известны. Круговая интерполяция также задается адресом S ($S02$ – круговая интерполяция по часовой стрелке, $S03$ – то же, против часовой стрелки). Алгоритмы интерполяции разделяются на две группы: к первой относятся алгоритмы, задачей которых является определение момента выдачи единичных приращений по координатам. Частота выдачи приращений зависит от скорости изменения координаты. У алгоритмов второй группы период расчета текущих значений координат постоянен. В этой группе задачей является определение приращения координаты, накопленного за период расчета (квант времени). При его постоянстве приращения зависят от скорости изменения координат.

К первой группе относятся методы оценочной функции и цифрового дифференциального анализатора, ко второй – метод цифрового интегрирования. В системе ЧПУ на базе ЭВМ широко применяется метод цифрового интегрирования. Независимо от принципа действия и реализации интерполятор моделирует в реальном масштабе времени движение изображающей точки по заданной траектории, которое воспроизводится следящими приводами станка или робота.

Исходным является чертеж детали, на основании которого технолог-программист определяет опорные точки. Движение между двумя соседними опорными точками производится по одному и тому же закону – по прямой линии, по окружности или по кривой более высокого порядка. Таким образом, для организации движения между двумя опорными точками необходим один кадр программы. Предположим, требуется смоделировать траекторию движения инструмента, изображенную на рис. 2. Между опорными точками A_1 – A_2 движение производится вдоль оси X в отрицательном направлении, между точками A_2 – A_3 –

вдоль оси Y , между точками A_3 – A_4 – вдоль оси X в положительном направлении, между точками A_4 – A_5 и A_5 – A_6 – по прямой линии с соответствующим наклоном, между точками A_5 – A_6 – по дуге окружности.

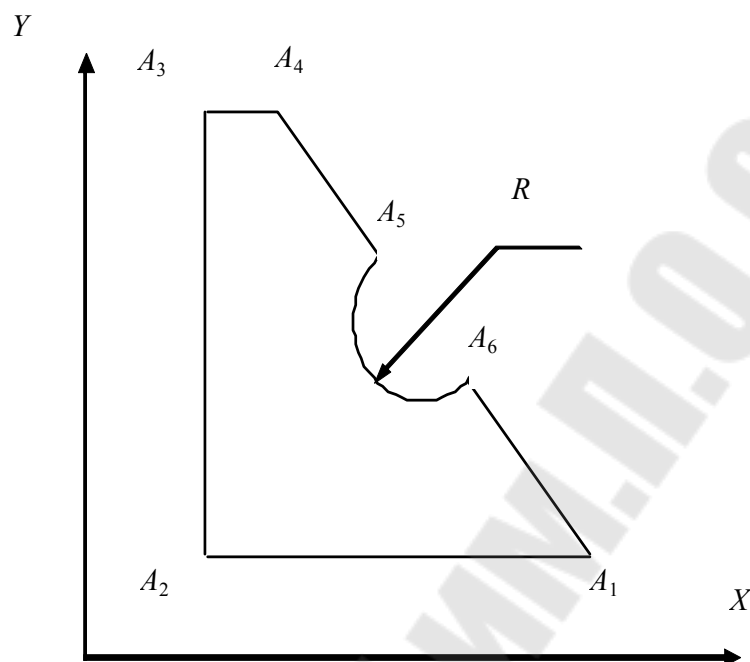


Рис. 2. Траектория движения инструмента

Простейшим интерполятором является линейный. Принципиально сколь угодно сложную кривую можно аппроксимировать с помощью отрезков прямых. Предположим, необходимо смоделировать дугу окружности A_1 – A_5 , изображенную на рис. 3,а. Она может быть аппроксимирована отрезками прямых A_1A_2 , A_2A_3 ,..., A_4A_5 . Чем больше таких отрезков, тем лучше будет приближение к действительной кривой, т. е. тем меньше погрешность δ . Однако большее число отрезков означает более трудоемкое программирование; возрастает также объем программы и программносителя. Поэтому ограничивающим фактором при аппроксимации является допустимая погрешность δ . При аппроксимации окружности N участками прямых центральный угол i -го участка найдем из соотношения

$$\alpha_i = \frac{\varphi}{2} + (i - 1)\varphi = \varphi\left(\frac{1}{2} + i - 1\right) = \varphi\left(i - \frac{1}{2}\right),$$

где $\varphi = (\pi/2)/N = \pi/(2N)$ – приращение угла на участке аппроксимации.

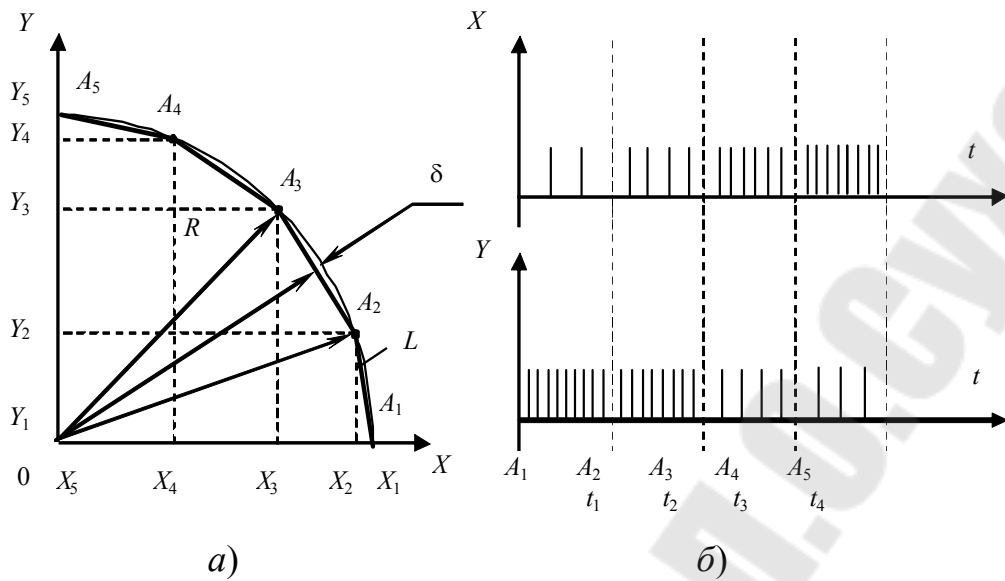


Рис. 3. Аппроксимация дуги окружности отрезками прямых (а) и последовательности импульсов на выходах линейного интерполятора (б)

Длина участка прямой L и погрешность δ (в первом приближении $\delta \ll R$) связаны соотношением

$$L = 2 \cdot \sqrt{2R\delta}.$$

С другой стороны, $L = 2 \cdot R \cdot \sin \varphi / 2$, что позволяет определить приращения координат в первом квадранте при известных L и φ :

$$\Delta x_i = L \cos\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\left(i - \frac{1}{2}\right)\right);$$

$$\Delta y_i = L \sin\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\left(i - \frac{1}{2}\right)\right).$$

Скорость движения на траектории v_1 определяется требованиями технологии. Цикл работы интерполятора, т. е. время отработки кадра

$$\Delta t_i = t_{i+1} - t_i = \sqrt{(\Delta x_i)^2 + (\Delta y_i)^2} / v_i.$$

Тогда скорость движения по координатам:

$$v_{xi} = \frac{\Delta x_i}{\Delta y_i} = \frac{\Delta x_i}{\sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2}} v_i = \frac{\Delta x_i}{\Delta k_i} v_i;$$

$$v_{yi} = \frac{\Delta y_i}{\Delta t_i} = \frac{\Delta y_i}{\sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2}} v_i = \frac{\Delta y_i}{\Delta k_i} v_i;$$

За время i -го цикла по координате X должно быть выдано $N_{xi} = \Delta x_i / h$ импульсов с частотой

$$f_{xi} = \frac{N_{xi}}{\Delta t_i} = \frac{\Delta x_i v_i}{h \Delta k_i},$$

а по координате Y с частотой

$$f_{yi} = \frac{\Delta y_i v_i}{h \Delta k_i},$$

где h – цена деления импульса.

Обычно приращения координат подаются на вход интерполятора в двоичном коде, что позволяет записать

$$\frac{f_{xi}}{f_{yi}} = \frac{a_{n,x} 2^n + a_{n-1,x} 2^{n-1} + \dots + a_{1,x} 2^1 + a_{0,x} 2^0}{a_{n,y} 2^n + a_{n-1,y} 2^{n-1} + \dots + a_{1,y} 2^1 + a_{0,y} 2^0} = \frac{K_x}{K_y},$$

где $a_{0,x}, a_{1,x}, \dots, a_{0,y}, a_{1,y}, \dots$ – коэффициенты разрядов кодов, принимающие значения 0 и 1; K_x, K_y – коды перемещений по осям.

Из последнего выражения следует, что для воспроизведения отрезка прямой достаточно, чтобы отношение частот следования импульсов унитарных кодов по координатам было равно отношению соответствующих приращений координат. Этот вывод справедлив и для пространственной линейной аппроксимации, скорость воспроизведения интерполируемого участка траектории определяется абсолютным значением частот следования импульсов на выходах интерполятора:

$$f_{xi} = f_g (a_{n,x} 2^n + a_{n-1,x} 2^{n-1} + \dots + a_{0,x} 2^0),$$

$$f_{yi} = f_g (a_{n,y} 2^n + a_{n-1,y} 2^{n-1} + \dots + a_{0,y} 2^0),$$

$$f_{zi} = f_g (a_{n,z} 2^n + a_{n-1,z} 2^{n-1} + \dots + a_{0,z} 2^0),$$

$$f_g = N_{vi} / \Delta L_i = N_{vi} / \sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2 + \Delta z_i^2},$$

где f_g – частота генератора; N – количество импульсов.

На рис. 3, б приведена последовательность импульсов унитарного кода на выходах интерполятора, обеспечивающих движение изображающей точки по заданной траектории со скоростью $v_i = \text{const}$, $i = 1, \dots, 4$.

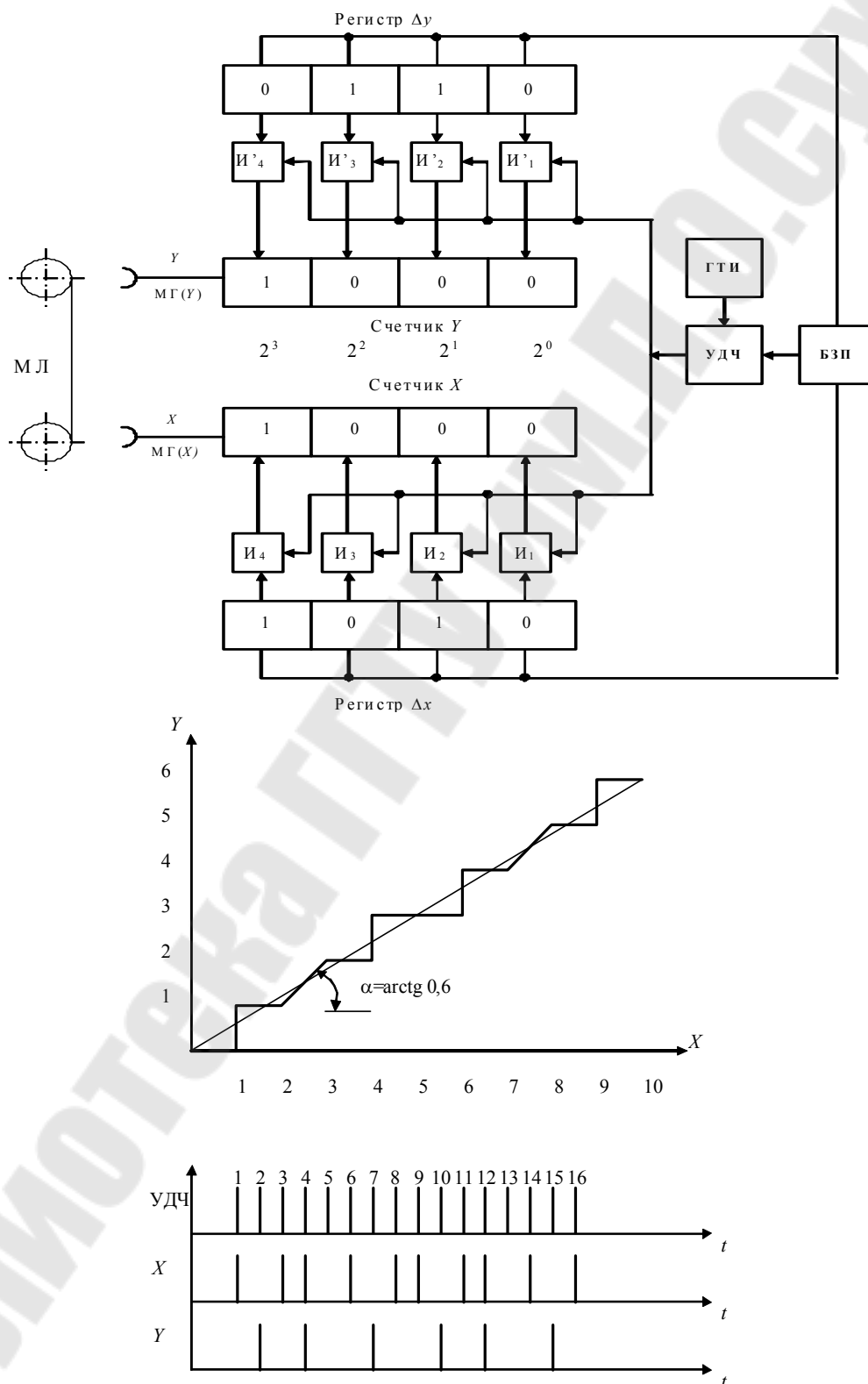


Рис. 4. Упрощенная схема линейного интерполятора и график движения РО

Линейный интерполятор может рассматриваться как преобразователь числового кода в унитарный. Упрощенная схема линейного интерполятора изображена на рис. 4.

Из блока задания программы (БЗП) информация о приращениях по координатам в заданном кадре программы в двоичном коде поступает в соответствующие регистры Δx и Δy , а о скорости перемещения – на управляемый делитель частоты (УДЧ). В свою очередь УДЧ соединен с генератором тактовых импульсов (ГТИ), работающим с постоянной частотой. Регистр Δx соединен со счетчиком X через вентили I_1, \dots, I_4 , которые представляют собой схемы совпадения. Аналогичным образом выполнена часть схемы, относящаяся к оси Y . Количество разрядов n в регистрах и счетчиках определяется максимальным приращением координат и может быть найдено из формулы

$$n \geq \frac{\lg(N_{\max} + 1)}{\lg 2},$$

где N_{\max} – максимальное число, которое должно быть записано в регистре. На схеме, представленной на рис. 4, для упрощения изображено четыре разряда. Работу линейного интерполятора рассмотрим на примере.

Пример

Пусть приращения координат в кадре составляют $\Delta x = X_2 - X_1 = 1$ мм, $\Delta y = Y_2 - Y_1 = 0,6$ мм. При цене одного импульса (дискретности системы) $h = 0,1$ мм/имп величины приращений в элементарных шагах составят $\Delta x = 10$, $\Delta y = 6$ или в двоичном коде $\Delta x = 1010$, $\Delta y = 0110$. Эти числа вводятся в регистры Δx и Δy . В счетчики X и Y для ускорения процесса счета введены постоянные числа, равные машинной единице 1000. Производя вычисления, можно убедиться, что ее наличие сказывается лишь на скорости счета. Интерполятор будет работать и в случае, если в счетчиках первоначальное число будет 0000, однако при этом для движения от одной опорной точки к другой потребуется большее число импульсов от ГТИ. От УДЧ сигналы поступают на схемы совпадения I_1-I_4 и I_1-I_4 . Другие входы этих схем соединены с соответствующими разрядами регистров Δx и Δy . Таким образом, импульсы от УДЧ проходят в счетчик только тогда, когда на обоих входах схем совпадения имеется 1. Другими словами, при поступлении каждого тактового импульса от УДЧ к числу, имеющемуся в счетчике, добавляется число, записанное в соответствующем

регистре, т. е. в счетчик X добавляется величина $\Delta x = 1010$, а в счетчик Y добавляется $\Delta y = 0110$.

При переполнении счетчиков появляются импульсы, подаваемые на выход интерполятора. Они могут быть использованы в схеме управления станком непосредственно или записаны на магнитную ленту МЛ с помощью магнитных головок (МГ) X и Y . Для рассматриваемого примера состояние элементов схемы интерполятора приведено в таблице 1. Информация, записанная в колонках «сигнал X » и «сигнал Y », и является программой перемещения РО станка, записанной в унитарном коде.

Таблица 1

| Номер тактового импульса | Координата X | | Координата Y | |
|--------------------------|--------------------|------------|--------------------|------------|
| | Состояние счетчика | Сигнал X | Состояние счетчика | Сигнал X |
| 0 | 1000 | 0 | 1000 | 0 |
| 1 | 0010 | 1 | 1110 | 0 |
| 2 | 1100 | 0 | 0100 | 1 |
| 3 | 0110 | 1 | 1010 | 0 |
| 4 | 0000 | 1 | 0000 | 1 |
| 5 | 1010 | 0 | 0110 | 0 |
| 6 | 0100 | 1 | 1100 | 0 |
| 7 | 1110 | 0 | 0010 | 1 |
| 8 | 1000 | 1 | 1000 | 0 |
| 9 | 0010 | 1 | 1110 | 0 |
| 10 | 1100 | 0 | 0100 | 1 |
| 11 | 0110 | 1 | 1010 | 0 |
| 12 | 0000 | 1 | 0000 | 1 |
| 13 | 1010 | 0 | 0110 | 0 |
| 14 | 0100 | 1 | 1100 | 0 |
| 15 | 1110 | 0 | 0010 | 1 |
| 16 | 1000 | 1 | 1000 | 0 |

Окончание процесса счета фиксируется по количеству выходных импульсов. К этому времени по оси X должно быть выдано 10 импульсов, а по оси Y – 6.

График движения РО, соответствующий полученной программе, приведен на рис. 4. Естественно, что угол наклона аппроксимирующей

прямой должен быть равен заданному: $a = \arctg(\Delta y/\Delta x) = \arctg 0,6$. Для фиксации окончания процесса интерполирования интерполяторы обычно снабжаются (на схеме не показано) дополнительными регистрами Δx и Δy , из которых вычитаются сигналы по соответствующим осям. Когда в обоих дополнительных регистрах образуется 0, интерполяция на данном участке заканчивается, и схема переходит к интерполяции следующего участка.

Выходные импульсы интерполятора по осям X и Y приведены на рис. 4 (там же показаны импульсы УДЧ, поступающие на вход интерполятора).

Задание 1

Получить график движения рабочего органа при использовании линейного интерполятора (рис. 4), совмещенный с диаграммой тактовых импульсов от УДЧ и выходных сигналов X и Y . Составить таблицу преобразования двоичного кода в унитарный по координатам X и Y с указанием состояния счетчика при каждом тактовом импульсе. Пояснить ход расчетов и построений.

Приращения координат даны в таблицах 2 и 3:

Таблица 2

| | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|----|
| Последняя цифра зачетной книжки | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| ΔX , мм | 15 | 14 | 13 | 12 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 16 |

Таблица 3

| | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|---|---|----|----|----|----|----|----|----|---|
| Предпоследняя цифра зачетной книжки | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| ΔY , мм | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 15 | 14 | 16 | 6 |

ЛИНЕЙНАЯ ИНТЕРПОЛЯЦИЯ ПО МЕТОДУ ОЦЕНОЧНОЙ ФУНКЦИИ

Метод оценочной функции (МОФ), при котором моделируется алгебраическое уравнение воспроизводимой кривой, широко используется в современных устройствах ЧПУ.

Покажем применение МОФ для воспроизведения линейного участка траектории рабочего органа. Для этого запишем уравнение отрезка прямой в виде

$$y_i \Delta x = x_i \Delta y,$$

где x_i, y_i – координаты промежуточной точки траектории; $\Delta x, \Delta y$ – заданные в кадре приращения.

Оценочную функцию i -й точки траектории F_i определим в виде

$$F_i = y_i \Delta x - x_i \Delta y.$$

Из последнего выражения видно, что если точка, отображающая заданную траекторию, отвечает уравнению прямой, то $F_i = 0$. Таким образом, заданная прямая делит плоскость на две полуплоскости, в одной из которых оценочная функция F_i положительна, а в другой – отрицательна. В этих полуплоскостях точка находится соответственно выше и ниже заданной прямой. На этом основан алгоритм оценочной функции, при котором с определенной частотой, задаваемой блоком задания скорости, анализируется знак оценочной функции. В зависимости от этого знака выдается сигнал приращения по одной из координат. Масштаб приращений выбирается так, что единица приращения соответствует единице младшего разряда слова системы ЧПУ.

Начало воспроизводимого участка прямой условно совмещается с началом координат. Движение рабочего органа при линейной интерполяции по МОФ показано на рис. 5.

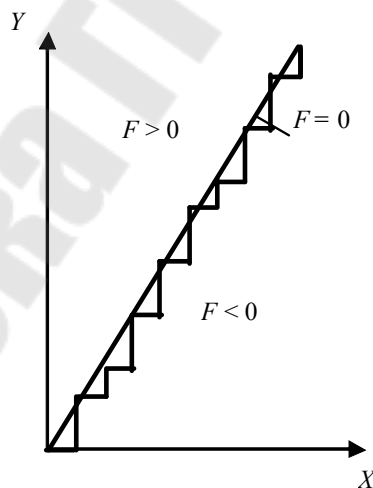


Рис. 5. Линейная интерполяция по методу оценочной функции (элементарные приращения соответствуют одному движению по осям координат)

Определив, что $F_i \geq 0$, выдают один управляющий импульс в направлении координаты X и вновь определяют знак оценочной функции. Если определено $F_i < 0$, то выдается один импульс для дви-

жения в направлении координаты Y . Заметим, что всякий раз после подачи управляющего импульса заново определяется знак оценочной функции. Если после очередного импульса он не изменился, то движение продолжается в том же направлении. Составим выражение для определения очередного значения оценочной функции F_{i+1} через ее предыдущее значение F_i . После единичного шага по оси $X (F_i > 0)$ получим

$$F_{i+1} = y_i \Delta x - (x_i + 1) \Delta y = y_i \Delta x - x_i \Delta y - \Delta y = F_i - \Delta y.$$

После единичного шага по оси $Y (F_i < 0)$ запишем

$$F_{i+1} = (y_i + 1) \Delta x - x_i \Delta y = y_i \Delta x - x_i \Delta y + \Delta x = F_i + \Delta x.$$

На этом принципе строится структура линейного интерполятора по МОФ (рис. 6).

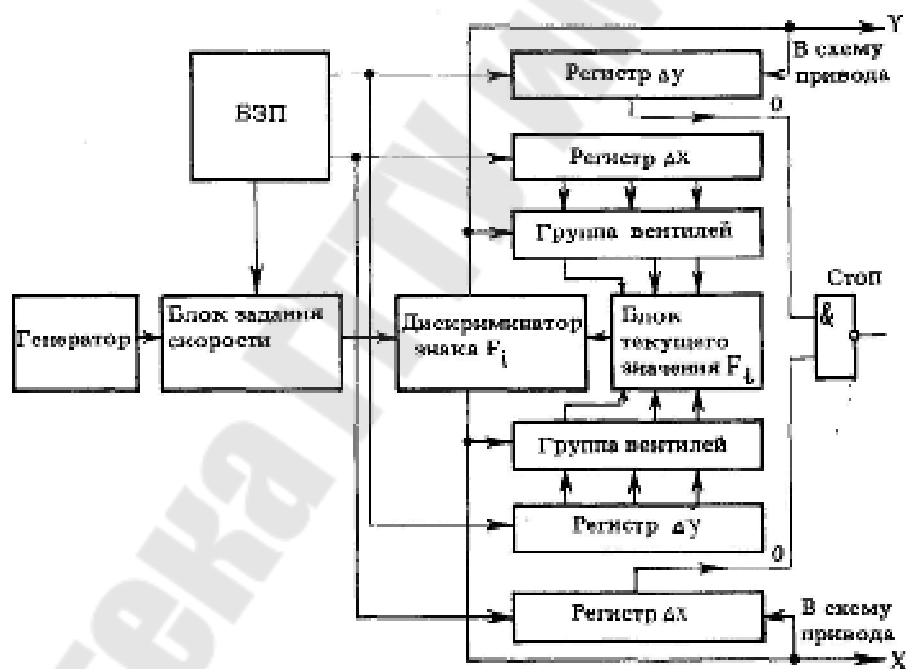


Рис. 6. Функциональная схема линейного интерполятора по методу оценочной функции

Из блока задания программы информация о величинах приращений координат поступает в регистры Δx и Δy , а о величине скорости подачи – в блок задания скорости (БЗС), который может быть построен по принципу управляемого делителя частоты. В регистре F_i хранится текущее значение оценочной функции.

Допустим, что по дискриминатору знак F_i отрицательный. В этом случае импульс, поступающий от БЗС, будет направлен в привод подачи по оси Y , уменьшит содержимое регистра Δy на единицу для определения момента окончания интерполяции; этот же импульс откроет группу вентилей, благодаря чему содержимое регистра ΔX добавится к текущему значению F_i , сформировав новое значение оценочной функции F_{i+1} .

Если же знак оценочной функции положительный, то аналогичным образом работает нижняя половина схемы. После отработки перемещений в регистрах Δx и Δy образуются логические нули и формируется команда СТОП. Рассмотренный алгоритм МОФ отличается простотой, но имеет недостаток – в нем отсутствует управление одновременно по обеим координатам, что приводит к большой затрате управляющих импульсов и, следовательно, времени интерполяции.

Алгоритм линейной интерполяции по методу оценочной функции может быть усовершенствован путем выдачи приращения по максимальной координате на каждом кванте времен (рис. 7). Максимальной может быть любая из координат X, Y, Z, \dots . Ход алгоритма, таким образом, зависит от того, по какой из координат задано максимальное приращение. Для того чтобы уменьшить разнообразие алгоритмов управления, целесообразно перейти от реальных координат объекта X, Y, Z, \dots к абстрактным координатам $\alpha, \beta, \gamma, \dots$, причем максимальную координату всегда обозначают через α . Это обозначение вводится при интерпретации кадра; обратная операция, т. е. переход от координат $\alpha, \beta, \gamma, \dots$ к координатам X, Y, Z, \dots осуществляется на выходе системы.

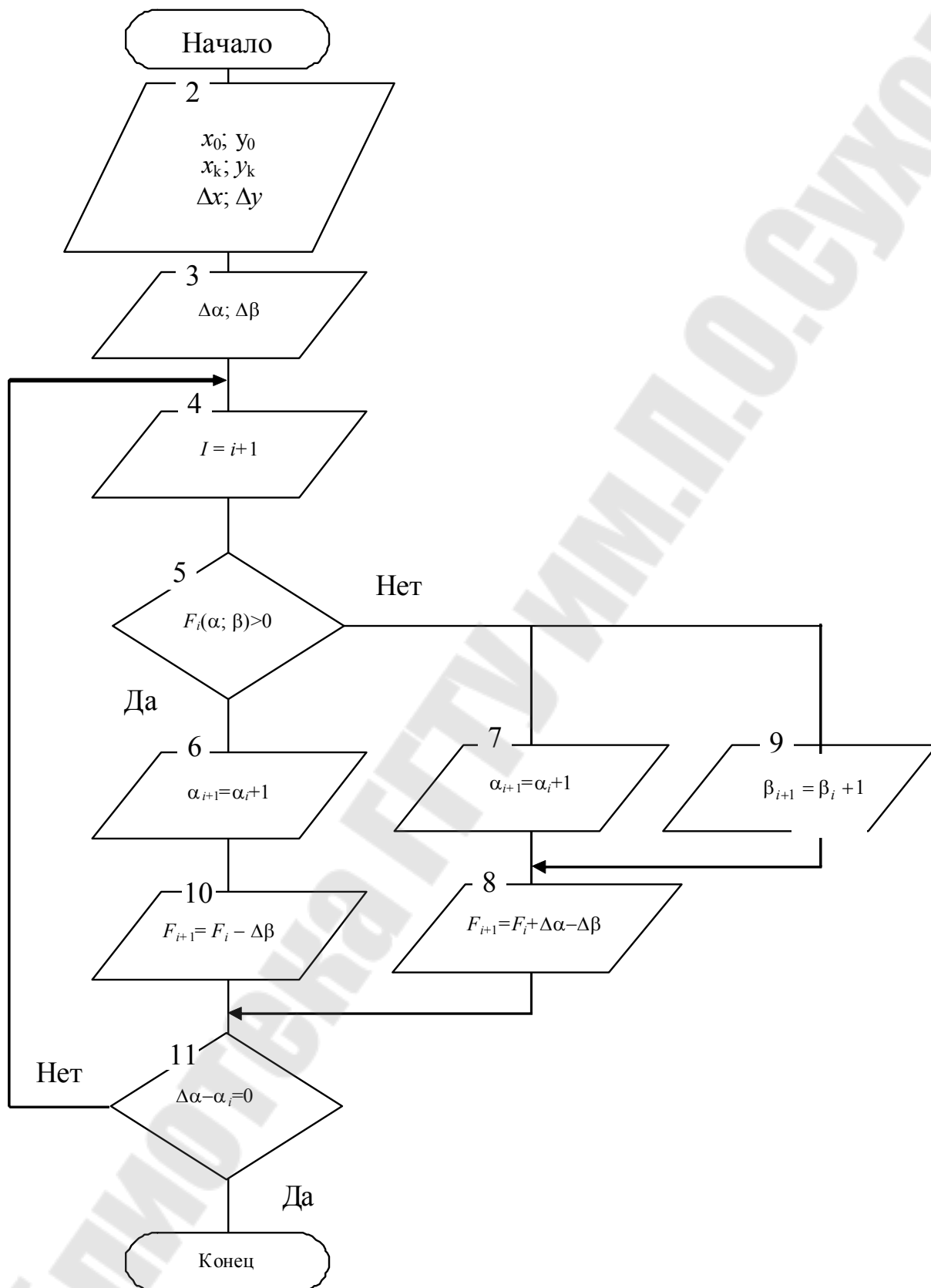


Рис. 7. Усовершенствованный алгоритм линейной интерполяции по методу оценочной функции

Максимальную координату α будем откладывать по оси абсцисс. Тогда при положительном значении оценочной функции ($F_i > 0$) осуществляем приращение по оси α , а при $F_i < 0$ – одновременно по обеим координатам α и β . При $F_i > 0$ $\alpha_{i+1} = \alpha_i + 1$; $F_{i+1} = F_i - \Delta\beta$, а при $F_i \leq 0$ получим $F_{i+1} = F_i + \Delta\alpha - \Delta\beta$, $\alpha_{i+1} = \alpha_i + 1$; $\beta_{i+1} = \beta_i + 1$.

Например, зададимся приращениями в кадре в машинных единицах $\Delta\alpha = 10$, $\Delta\beta = 6$. Траектория движения построена на рис. 8. Как видно, усовершенствованный алгоритм эффективнее. В данном примере требуется 10 шагов вместо 16 при использовании обычного алгоритма. При отработке траектории прямой под углом 45° скорость движения максимально может вырасти в 2 раза. Контроль окончания отработки кадра можно вести лишь по максимальной координате. Максимальная скорость подачи вдоль одной координатной оси $v_{\max} = h / T_{\Pi}$, где h – значение единичного шага (дискретность подачи); T_{Π} – время реализации алгоритма подачи.

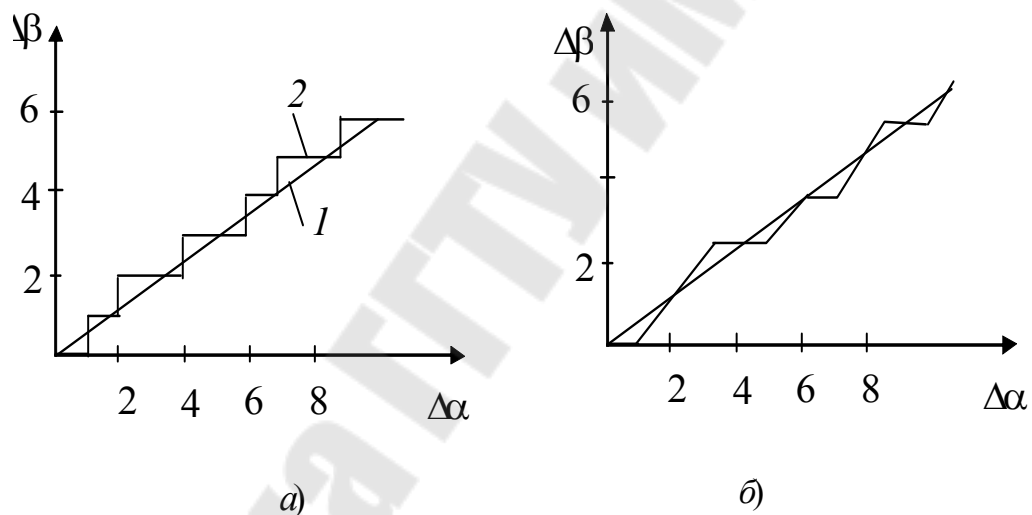


Рис. 8. Линейная интерполяция по методу оценочной функции для обычного алгоритма (а) и усовершенствованного (б):

1 – заданная траектория; 2 – фактическая

Максимальная контурная скорость зависит от числа одновременно работающих координат K : $v_{k\max} = (h/T_{\Pi})\sqrt{K}$ и имеет наибольшее значение, когда приращения равны.

Оценку быстродействия системы ЧПУ, работающей по методу оценочной функции, дают в виде максимальной частоты выходных импульсов на привод по одной координате: $f_{\max} = 1/ T_{\Pi}$. Необходимая частота f выдачи сигналов управления (шагов) определяется заданной скоростью подачи v_n и углами наклона траектории к осям координат

$$f = \frac{1}{h} - \frac{v\Delta\alpha}{\sqrt{\Delta\alpha^2 + \Delta\beta^2 + \Delta\gamma^2 + \dots}},$$

где $\Delta\alpha$, $\Delta\beta$, $\Delta\gamma$ – приращения координат.

Подготовка исходных данных для линейной интерполяции по методу оценочной функции производится в следующем порядке: 1) определяются приращения в кадре по осям Δx , Δy , Δz в соответствии с которыми назначаются обобщенные координаты α , β , γ , причем максимальной координате присваивается наименование α ; 2) определяется частота шагов интерполяции.

Задание 2

Получить график движения рабочего органа при использовании линейного интерполятора, функционирующего по методу оценочной функции. Составить таблицу получения двоичного кода по координатам X и Y с указанием состояния оценочной функции. Пояснить ход расчетов и построений. Приращения координат даны в таблицах 4 и 5:

Таблица 4

| | | | | | | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|
| Последняя цифра зачетной книжки | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| ΔX, мм | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |

Таблица 5

| | | | | | | | | | | |
|--|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|
| Предпоследняя цифра зачетной книжки | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| ΔY, мм | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 |

Задание 3

Получить график движения рабочего органа при использовании линейного интерполятора, функционирующего по усовершенствованному методу оценочной функции. Составить таблицу получения двоичного кода по координатам X и Y с указанием состояния оценочной функции. Данные для расчетов взять из задания 2. Сделать заключение о сравнении двух методов.

КРУГОВАЯ ИНТЕРПОЛЯЦИЯ ПО МЕТОДУ ОЦЕНОЧНОЙ ФУНКЦИИ

Применение метода оценочной функции при круговой интерполяции осуществляется в том же порядке, что и при линейной интерполяции. Уравнение окружности запишем в форме

$$x_i^2 + y_i^2 = R^2.$$

Оценочной функцией F_i для окружности является выражение

$$F_i = x_i^2 + y_i^2 - R^2,$$

где x_i, y_i – текущие значения координат траектории; R – радиус окружности.

Знак оценочной функции в предыдущем такте управления определяет операцию в последующем такте. Для интерполирования дуги окружности задается номер квадранта и координаты начальной x_0, y_0 и конечной x_k, y_k точек дуги. Для воспроизведения дуги окружности в положительном направлении (против часовой стрелки) в первом квадранте осуществляется следующий алгоритм управления (рис. 9).

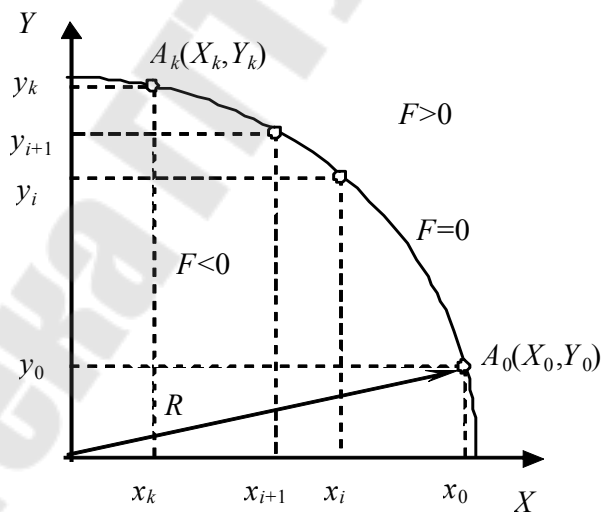


Рис. 9. Круговая интерполяция по методу оценочной функции

Если $F_i \geq 0$ (точка находится вне окружности или на ней), то очередной шаг делается вдоль отрицательного направления оси X , т. е. $x_{i+1} = x_i - 1$; если $F_i < 0$ (точка находится внутри окружности), то очередной шаг делается в положительном направлении оси Y , т. е. $y_{i+1} = y_i + 1$.

После очередного шага по оси X получим новое значение оценочной функции:

$$F_{i+1} = (x_i - 1)^2 + y_i^2 - R^2 = F_i - 2x_i + 1,$$

которое отличается от предыдущего на величину $(-2x_i + 1)$. После шага по оси Y новое значение оценочной функции

$$F_{i+1} = x_i^2 + (y_i + 1)^2 - R^2 = F_i + 2y_i + 1$$

отличается от предыдущего на величину $2y_i + 1$.

В таблице 6 для примера приведено вычисление шагов, необходимых для воспроизведения дуги окружности с параметрами $K = 20$; $x_n = 20$; $y_0 = 0$:

Таблица 6

| № п/п | Оценочная функция | Шаг по осям | | Текущие координаты | |
|-------|---------------------------------------|-------------|-----|--------------------|-------|
| | | X | Y | X_i | Y_i |
| 0 | $F_0 = 0$ | – | – | 20 | 0 |
| 1 | $F_1 = 0 - 2 \cdot 20 + 1 = -39$ | 1 | 0 | 19 | 0 |
| 2 | $F_2 = -39 + 2 \cdot 0 + 1 = -38$ | 0 | 1 | 19 | 1 |
| 3 | $F_3 = -38 + 2 \cdot 1 + 1 = -35$ | 0 | 1 | 19 | 2 |
| 4 | $F_4 = -35 + 2 \cdot 2 + 1 = -30$ | 0 | 1 | 19 | 3 |
| 5 | $F_5 = -30 + 2 \cdot 3 + 1 = -23$ | 0 | 1 | 19 | 4 |
| 6 | $F_6 = -23 + 2 \cdot 4 + 1 = -14$ | 0 | 1 | 19 | 5 |
| 7 | $F_7 = -14 + 2 \cdot 5 + 1 = -3$ | 0 | 1 | 19 | 6 |
| 8 | $F_8 = -3 - 2 \cdot 6 + 1 = +10$ | 0 | 1 | 19 | 7 |
| 9 | $F_9 = 10 - 2 \cdot 19 + 1 = -27$ | 1 | 0 | 18 | 7 |
| 10 | $F_{10} = -27 + 2 \cdot 7 + 1 = -12$ | 0 | 1 | 18 | 8 |
| 11 | $F_{11} = -12 + 2 \cdot 8 + 1 = +5$ | 0 | 1 | 18 | 9 |
| 12 | $F_{12} = +5 - 2 \cdot 18 + 1 = -30$ | 1 | 0 | 17 | 9 |
| 13 | $F_{13} = -30 - 2 \cdot 9 + 1 = -11$ | 0 | 1 | 17 | 10 |
| 14 | $F_{14} = -11 + 2 \cdot 10 + 1 = +10$ | 0 | 1 | 17 | 11 |
| 15 | $F_{15} = +10 - 2 \cdot 17 + 1 = -23$ | 1 | 0 | 16 | 11 |
| 16 | $F_{16} = -23 + 2 \cdot 11 + 1 = 0$ | 0 | 1 | 16 | 12 |
| 17 | $F_{17} = 0 - 2 \cdot 16 + 1 = -31$ | 1 | 0 | 15 | 12 |
| 18 | $F_{18} = -31 + 2 \cdot 12 + 1 = -6$ | 0 | 1 | 15 | 13 |
| 19 | $F_{19} = -6 + 2 \cdot 13 + 1 = +21$ | 0 | 1 | 15 | 14 |

Окончание табл. 6

| № п/п | Оценочная функция | Шаг по осям | | Текущие координаты | |
|----------|---------------------------------------|-------------|---|-----------------------|----------------|
| | | X | Y | X _i | Y _i |
| 20 | $F_{20} = 21 - 2 \cdot 15 + 1 = -8$ | 1 | 0 | 14 | 14 |
| 21 | $F_{21} = -8 + 2 \cdot 14 + 1 = +21$ | 0 | 1 | 14 | 15 |
| 22 | $F_{22} = 21 - 2 \cdot 14 + 1 = -6$ | 1 | 0 | 13 | 15 |
| 23 | $F_{23} = -6 + 2 \cdot 15 + 1 = +25$ | 0 | 1 | 13 | 16 |
| 24 | $F_{24} = 25 - 2 \cdot 13 + 1 = 0$ | 1 | 0 | 12 | 16 |
| 25 | $F_{25} = 0 - 2 \cdot 12 + 1 = -23$ | 1 | 0 | 11 | 16 |
| 26 | $F_{26} = -23 - 2 \cdot 16 + 1 = +10$ | 0 | 1 | 11 | 17 |
| 27 | $F_{27} = +10 - 2 \cdot 11 + 1 = -11$ | 1 | 0 | 10 | 17 |
| 28 | $F_{28} = -11 + 2 \cdot 17 + 1 = +24$ | 0 | 1 | 10 | 18 |
| 29 | $F_{29} = +29 - 2 \cdot 10 + 1 = +5$ | 1 | 0 | 9 | 18 |
| 30 | $F_{30} = +5 - 2 \cdot 9 + 1 = -12$ | 1 | 0 | 8 | 18 |
| 31 | $F_{31} = -12 - 2 \cdot 18 + 1 = +25$ | 0 | 1 | 8 | 19 |
| 32 | $F_{32} = +25 - 2 \cdot 8 + 1 = +10$ | 1 | 0 | 7 | 19 |
| 33 | $F_{33} = +10 - 2 \cdot 7 + 1 = -3$ | 1 | 0 | 6 | 19 |
| 34 | $F_{34} = -3 - 2 \cdot 19 + 1 = +36$ | 0 | 1 | 6 | 20 |
| 35 | $F_{35} = +36 - 2 \cdot 6 + 1 = +25$ | 1 | 0 | 5 | 20 |
| 36 | $F_{36} = +25 - 2 \cdot 6 + 1 = +16$ | 1 | 0 | 4 | 20 |
| 37 | $F_{37} = +16 - 2 \cdot 4 + 1 = +9$ | 1 | 0 | 3 | 20 |
| 38 | $F_{38} = +9 - 2 \cdot 3 + 1 = +4$ | 1 | 0 | 2 | 20 |
| 39 | $F_{39} = +4 - 2 \cdot 2 + 1 = +1$ | 1 | 0 | 1 | 20 |
| 40 | $F_{40} = +1 - 2 \cdot 1 + 1 = 0$ | 1 | 0 | 0 | 20 |

Воспроизведение дуги окружности, построенной с помощью рассматриваемого алгоритма, показано на рис. 10.

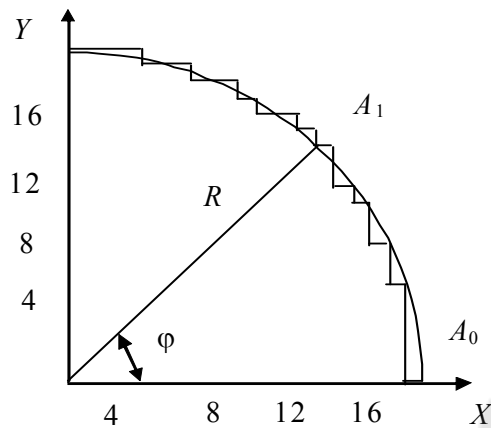


Рис. 10. Дуга окружности, построенная по методу оценочной функции

Алгоритм выработки управляющих воздействий на приводы станка зависят от принятого направления обхода дуги (по часовой стрелке или против), а также от номера квадранта прямоугольной системы координат, в котором выполняется обход.

Возможные варианты управления приводами приведены в таблице 7:

Таблица 7

| Номер квадранта | Направление шага обхода дуги | | | |
|-----------------|------------------------------|----------|------------------------|----------|
| | по часовой стрелке | | против часовой стрелки | |
| | $F \leq 0$ | $F > 0$ | $F \leq 0$ | $F > 0$ |
| 1 | По оси X | По оси Y | По оси Y | По оси X |
| 2 | По оси Y | По оси X | По оси X | По оси Y |
| 3 | По оси X | По оси Y | По оси Y | По оси X |
| 4 | По оси Y | По оси X | По оси X | По оси Y |

Вычисление значения оценочной функции на каждом шаге перемещения осуществляется с использованием результата, полученного на предыдущем шаге. Оценочная функция после выполнения шага F_{i+1} отличается от функция F_i , определенной до перемещения, на величину $2X_{i+1}$, если движение выполнялось по оси X, или на $2Y_{i+1}$, если движение выполнялось по оси Y. Оценочная функция после шага перемещения вдоль оси X определяется уравнением $F_{i+1} = F_i + 2X_i + 1$; после перемещения вдоль Y уравнением $F_{i+1} = F_i + 2Y_i + 1$. Например, если $F_i = 20$, $X_i = -5$, то $F_{i+1} = 20 + 2(-5) + 1 = 11$.

При расчете оценочной функции учитывается направление дви-

жения вдоль координатной оси. Если движение осуществляется по направлению оси, то координаты точек подставляются в уравнение с их фактическими знаками $\pm X$; $\pm Y$. Если движение выполняется против направления оси, то координатам точки меняется знак на противоположный $-(\pm X)$; $-(\pm Y)$.

Например, если $X_i = -5$, то при движении по направлению оси X в формулу F_{i+1} подставляется $X_i = -5$. При движении против направления оси подставляется $X_i = 5$.

Выполнение задания рекомендуется осуществлять в следующем порядке:

1. Построить с соблюдением выбранного масштаба заданную дугу окружности в прямоугольной системе координат XOY .

2. Определить квадрант системы координат, в которой расположена дуга и задаться направлением ее обхода.

3. По таблице 7 определить оси, вдоль которых будут задаваться шаги перемещения в зависимости от знака оценочной функции.

4. Выполнить расчёт параметров движения для всех точек интерполирования заданной дуги окружности. В начальной точке дуга оценочная функция $F_i = 0$. Для определения оценочных функций в последующих точках пользоваться выражениями

$$F_{i+1} = F_i + 2X_i + 1 \text{ и } F_{i+1} = F_i + 2Y_i + 1.$$

Расчет свести в таблицу.

5. Построить на графике заданной дуги расчетную траекторию движения рабочего органа станка.

Погрешность интерполяции по МОФ не превышает заданного значения дискретности. Важным достоинством МОФ являются простота стыковки с шаговым электроприводом и небольшая требуемая разрядность устройства ЧПУ, определяемая максимальными значениями координат при заданной дискретности.

Недостатки МОФ заключаются в сравнительно небольшой контурной скорости, что определяется ценой шага и быстродействием устройства ЧПУ, а также в необходимости преобразования унитарного кода для связи устройства ЧПУ с циклическими датчиками положения типа вращающегося трансформатора и индуктосина.

Метод оценочной функции используется в устройствах ЧПУ типа Н-33, Н-55 и др.

Задание 4

Построить траекторию движения рабочего органа станка при использовании интерполятора, построенного по МОФ, совмещенную с выходными импульсами унитарного кода по каждой координате. Пояснить ход расчетов. Приращения координат даны в таблицах 8 и 9.

Таблица 8

| | | | | | | | | | | |
|--|--------------------|----|----|---|---|------------------------|----|----|---|----|
| Последняя цифра зачетной книжки | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Радиус дуги, R мм | 11 | 10 | 12 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 9 | 12 |
| Направление обхода дуги | По часовой стрелке | | | | | Против часовой стрелки | | | | |

Таблица 9

| | | | | | | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Предпоследняя цифра зачетной книжки | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Номер квадранта | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 |

Литература

1. Петренко, Ю. Н. Системы программного управления технологическими комплексами : учеб. пособие / Ю. Н. Петренко. – Минск : ПИОН, 2002. – 300 с.

2. Ильин, О. П. Системы программного управления производственными установками и робототехническими комплексами / О. П. Ильин. – Минск : Выш. шк., 1988. – 285 с.

3. Гжиров, Р. И. Программирование обработки на станках ЧПУ : справочник / Р. И. Гжиров, П. П. Серебеницкий. – Ленинград : Машиностроение, 1990. – 588 с.

Содержание

| | |
|--|----|
| Преобразование программной информации. Интерполяторы | 3 |
| Линейная интерполяция по методу оценочной функции | 12 |
| Круговая интерполяция по методу оценочной функции | 19 |
| Литература | 25 |

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

Логвин Владимир Васильевич
Шапоров Владимир Владимирович
Погуляев Михаил Никифорович

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

**Методические указания
к контрольным работам по одноименной дисциплине
для студентов специальности 1-53 01 05
«Автоматизированные электроприводы»
заочной формы обучения**

Электронный аналог печатного издания

Редактор *Н. И. Жукова*
Компьютерная верстка *Е. В. Темная*

Подписано в печать

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Цифровая печать. Усл. печ. л. 1,63. Уч.-изд. л. 1,40.

Изд. № 77.

E-mail: ic@gstu.gomel.by
<http://www.gstu.gomel.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:
Издательский центр учреждения образования
«Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого».
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.