

(110000)

ВЫБОР РАЗРЯДНОСТИ УПРАВЛЯЮЩИХ КОДОВ ПРИ ИНТЕРПОЛЯЦИОННО-УЗЛОВОМ МЕТОДЕ КОРРЕКЦИИ ФОКУСИРОВКИ ПУЧКА В ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ ТРУБКАХ

Высокая разрешающая способность по полю экрана электронно-лучевых трубок может быть получена лишь при введении коррекции фокусировки, устраняющей искажения, обусловленные кривизной поля изображения и астигматизмом отклоняющей системы [1, 2]. Известны и описаны в литературе зонный метод [3, 4], метод полиномиальной аппроксимации [5, 6] и интерполяционно-узловой метод коррекции [7], основанный на использовании гибридных функциональных преобразователей [8]. Применение последнего особенно целесообразно при использовании цифровых разверток. Метод заключается в том, что поле изображения, как и при зонном методе, разбивается на ряд участков прямоугольной формы, в углах которых (узловые точки) с помощью соответствующих элементов аналоговой памяти в процессе настройки осуществляется точный подбор значений трех корректирующих токов: тока катушки динамической фокусировки и двух токов стигматора. Значения корректирующих токов в межузловых точках определяются интерполятором, выполняющим в пределах участка квазилинейную интерполяцию четырех узловых значений. Наличие узловых точек, значения токов в которых подбираются независимо, позволяет учесть любую асимметрию фокусировки, а применение интерполяции обеспечивает требуемую точность аппроксимации корректирующих функций при сравнительно небольшом числе участков.

На рис. 1 представлена упрощенная блок-схема устройства, реализующего интерполяционно-узловой метод коррекции. На входы устройства поступают двоичные параллельные коды, определяющие отклонения луча ЭЛТ по осям X и Y . При этом старшие разряды кодов подаются на схемы адресации, управляющие ключами аналоговой памяти. Количество старших разрядов определяет число участков коррекции и тем самым число узловых точек. Младшие разряды кодов (интерполирующие разряды) поступают на интерполятор, который вместе с блоком аналоговой памяти и ключей формирует три корректирующих напряжения. Интерполирующие функции имеют ступенчатый характер, причем число ступенек в пределах участка коррекции определяется числом используемых младших разрядов. Суммирующие усилители (СУ) преобразуют входные напряжения в токи обмоток катушки динамической фокусировки (КДФ) и стигматора (С).

Очевидно, что точность коррекции при таком методе зависит от выбора разрядности управляющих кодов, т. е. от числа участков коррекции и числа интерполирующих разрядов, которые в итоге определяют погрешность аппроксимации требуемой корректирующей функции. В общем случае необходимо рассматривать три различных корректирующих функции, соответствующие трем упомянутым выше корректирующим токам. Каждая из этих функций является функцией двух переменных: координат отклонения по оси X и Y . Решение упрощается, если учесть, что стигматор в виде сдвоенного квадруполя может быть расположен так, что плоскость асимметрии одного квадруполя совпадает с плоскостью симметрии одной из пар катушек отклоняющей системы. В этом случае [2] одна из функций, соответствующих токам квадруполя, принимает форму квадратичной параболы, а другая ста-

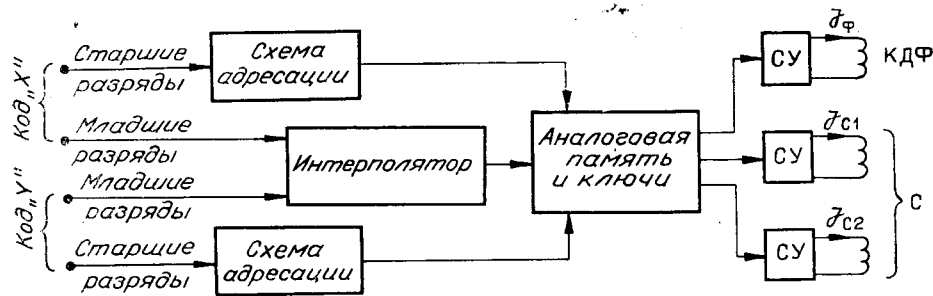


Рис. 1. Блок-схема устройства коррекции фокусировки.

новится линейной. С достаточной для инженерных целей точностью квадратичной параболой можно считать также функцию, соответствующую току катушки динамической фокусировки [1]. Если предположить далее, что поля обеих пар катушек отклоняющей системы однородны, то указанные функции будут одинаковыми для любого радиального направления луча, или, иными словами, геометрические интерпретации этих функций будут представлять собой параболоиды и конус вращения.

С учетом этих упрощений определим максимальную погрешность аппроксимации. Очевидно, что погрешность ступенчатой интерполяции зависит от числа ступенек, т. е. от числа интерполирующих разрядов кодов.

На рис. 2 представлен крайний участок корректирующей функции, в котором погрешность принимает наибольшее значение, так как на этом участке функция имеет наибольшую производную. Изображенная на рисунке прямая линия соответствует идеальной линейной интерполяции, ломаная линия — ступенчатой. Наибольшая погрешность интерполяции имеет место в точке $\rho=1$, и, исходя из рисунка,

$$\Delta J' = J_{N-1}/2^q,$$

где q — число интерполирующих разрядов. Поскольку $\rho_{N-1} = 1 - (1/N)$, то $J_{N-1} = J_m(2N-1)/N^2$ и, следовательно,

$$\Delta J' = J_m(2N-1)/(N^2 2^q).$$

Отметим, что случай $q=0$ соответствует зонной коррекции, т. е. максимальная погрешность аппроксимации при зонной коррекции равна

$$(\Delta J_z)_{\max} = J_m(2N-1)/N^2, \text{ или } (\delta J_z)_{\max} = (2N-1)/N^2. \quad (1)$$

При интерполяционно-узловом методе коррекции число интерполирующих разрядов q должно быть выбрано таким образом, чтобы выполнялось условие $\Delta J' \leq (\Delta J)_{\max}$. Пользуясь соответствующими выражениями, запишем

$$J_m(2N-1)/(N^2 2^q) \leq J_m/(4N^2),$$

откуда после несложных преобразований находим

$$q \geq \lg[4(2^q - 1)]/\lg 2. \quad (2)$$

Характерно, что существенное увеличение q , хотя и дает лучшее приближение к интерполирующей прямой, нецелесообразно, так как погрешности аппроксимации требуемой функции в ряде точек лишь возрастают. Отсюда же вытекает, что при заданном числе участков погрешность

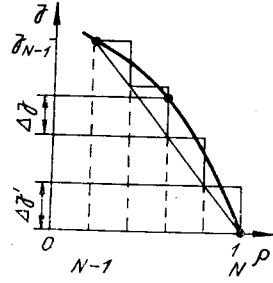


Рис. 2. Определение погрешности ступенчатой интерполяции.

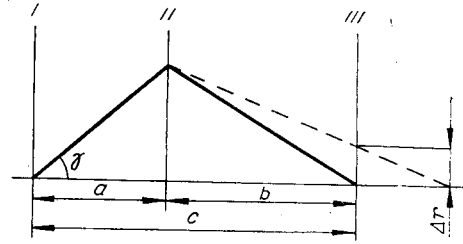


Рис. 3. Траектория крайнего луча пучка в ЭЛТ.

коррекции не может быть уменьшена путем увеличения числа интерполирующих разрядов сверх q .

Для инженерных расчетов целесообразно располагать данными о связи между числами используемых старших p и младших q разрядов, с одной стороны, и потерей разрешающей способности ЭЛТ — с другой. Определим эту связь, воспользовавшись рис. 3, на котором сплошной линией изображен крайний луч отклоненного электронного пучка ЭЛТ для случая, когда токи основной фокусирующей системы, катушки динамической фокусировки и стигматора подобраны оптимальным образом. Ось электронного пучка условно выпрямлена. В плоскости I находится кроссовер ЭЛТ, в плоскости II — основная фокусирующая система, система динамической фокусировки и стигматор, в плоскости III — экран ЭЛТ. С учетом того, что отклоняющая система и фокусирующая система обычно расположены рядом, будем считать, что плоскость отклоняющей системы совпадает с плоскостью II . Тогда траектория луча определяется результирующей оптической силой

$$1/f = 1/f_o + 1/f_\phi + 1/f_c,$$

где f — результирующее фокусное расстояние; f_o , f_ϕ и f_c — соответственно фокусные расстояния основной фокусирующей системы, динамической фокусировки и стигматора. С учетом выражений, приведенных в [1],

$$1/f \cong 0,01 (J_o W_o)^2 / (R_o U_a) + 0,01 (J_\phi W_\phi)^2 / (R_\phi U_a) + 0,24 J_c W_c l / (R_c^2 \sqrt{U_a}), \quad (3)$$

где J_o , J_ϕ , J_c — токи упомянутых элементов; W_o , W_ϕ , W_c — их витки; R_o , R_ϕ , R_c — средние радиусы обмоток; U_a — ускоряющее напряжение ЭЛТ, l — длина стигматора.

Если корректирующие функции аппроксимируются в соответствии с описываемым методом, то будет иметь место некоторая погрешность результирующей оптической силы, обусловленная погрешностями токов ΔJ_ϕ и ΔJ_c , которую найдем как полный дифференциал выражения (3):

$$\Delta \left(\frac{1}{f} \right) = 2 \left(0,01 \frac{W_\phi^2}{R_\phi U_a} J_\phi^2 \right) \frac{\Delta J_\phi}{J_\phi} + \left(0,24 \frac{W_c l}{R_c^2 \sqrt{U_a}} J_c \right) \frac{\Delta J_c}{J_c}.$$

Поскольку относительные погрешности аппроксимации равны (обе корректирующие функции являются квадратичными параболой), а выражения в скобках соответствуют оптическим силам элементов, то можно записать

$$\Delta (1/f) = \delta (2/f_\phi + 1/f_c),$$

где $\delta = \Delta J_\phi / J_\phi = \Delta J_c / J_c$.

С другой стороны,

$$\Delta(1/f) = 1/(f - \Delta f) - 1/f,$$

откуда $\Delta f = f - 1/[\Delta(1/f) + 1/f]$, т. е. погрешность аппроксимации приводит к погрешности результирующего фокусного расстояния. Соответственно изменится траектория электронного луча, что отображено на рис. 3 штриховой линией. Величина Δr соответствует увеличению радиуса пятна на экране ЭЛТ, приводящему к снижению разрешающей способности в данной точке экрана. В соответствии с [9]

$$\Delta r = \frac{\Delta f}{f} \frac{1}{1 - (\Delta f/f)} \gamma c$$

или после подстановок и упрощений

$$\Delta r = \delta(2/f_\phi + 1/f_c) f c \gamma. \quad (4)$$

Величины c и γ обозначены на рис. 3. Для определения величины f можно воспользоваться выражением

$$1/f = 1/a + 1/b$$

(величины a и b обозначены на рис. 3), что же касается величин f_ϕ и f_c , то, поскольку они зависят от аберраций отклоняющей системы, предпочтительнее экспериментальный способ их определения. Пользуясь выражениями (2) и (4), положив $\delta = (\delta J)_{\max}$, нетрудно найти требуемые значения p и q при заданном Δr .

В качестве примера приведем результаты расчетов для следующих исходных данных: $\Delta r = 3$ мкм; $a = 0,3$ м; $b = 0,2$ м; $c = a + b = 0,5$ м; $\gamma = 0,006$; $f_\phi = 40$ м; $f_c = 2$ м. По приведенным формулам получим $p = 3$; $q = 5$. Отметим, что на основании выражения (1) при зонном методе коррекции потребовалась бы разбивка поля изображения на 256 участков по каждой из осей, тогда как при интерполяционно-узловом методе достаточно использовать 8 участков.

Разумеется, что при практической реализации метода, кроме погрешности аппроксимации, должны быть учтены все другие факторы, которые могут привести к снижению разрешающей способности, как, например, точность подбора и стабильность узловых значений корректирующих токов, стабильность и точность коэффициентов передачи электронных цепей, стабильность параметров самих корректирующих элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бонштедт Б. Э., Маркович М. Г. Фокусировка и отклонение пучков в электронно-лучевых приборах. М., «Сов. радио», 1967.
2. Маркович М. Г. Динамическая коррекция астигматизма в приемных электронно-лучевых трубках.— «Вопросы радиоэлектроники. Сер. Техника телевидения», 1969, вып. 1, с. 80.
3. Берлин Н. И., Горелов А. А., Кац Б. М., Маркович М. Г., Овчинников Е. К., Цуккерман И. И. Высокоточная измерительная телевизионная система.— «Техника кино и телевидения», 1970, № 3, с. 43.
4. Брыкин В. К., Глиненко К. С., Грицкив З. Д., Коломенский В. Ж., Педан А. Д., Свихнушин В. М., Туркинов Г. А. Сканирующий узел на базе ЭЛТ для обработки на ЭВМ снимков с трековых камер.— Материалы конференции «Автоматизация научных исследований на основе применения ЭВМ». Новосибирск, 1974, с. 18.

5. Горелов А. А., Горелик С. Л., Маркович М. Г. Исправление астигматизма при отклонении электронного пучка в приемных электронно-лучевых трубках.— «Вопросы радиоэлектроники. Сер. Техника телевидения», 1970, вып. 3, с. 100.
6. Ляхов А. П. Система коррекции aberrаций электронного пучка проекционной трубки для представления информации. М., «Энергия», 1973.
9. Глиненко К. С., Грицкий З. Д., Педан А. Д. О расчете положения фокусирующей катушки в приемных электронно-лучевых трубках.— «Вопросы радиоэлектроники. Сер. Техника телевидения», 1967, вып. 2, с. 51.

Поступила в редакцию 10 июня 1977 г.
