



Государственный комитет  
Совета Министров СССР  
по делам изобретений  
и открытий

О П И С А Н И Е  
ИЗОБРЕТЕНИЯ  
К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(11) 556449

(61) Дополнительное к авт. свид-ву —

(22) Заявлено 14.03.75 (21) 2113094/24

с присоединением заявки № —

(23) Приоритет —

Опубликовано 30.04.77. Бюллетень № 16

Дата опубликования описания 20.06.77

(51) М. Кл.<sup>7</sup> G 06F 15/34

(53) УДК 681.3(088.8)

(72) Авторы  
изобретения

В. А. Вишняков, Г. В. Рямский и Ю. А. Скудняков

(71) Заявитель

Минский радиотехнический институт

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ КОРНЕВЫХ  
ТРАЕКТОРИЙ

1

Изобретение относится к области вычислительной техники и автоматизированных систем управления и может быть использовано для автоматизированного воспроизведения корневых траекторий систем автоматического управления.

Известно устройство для моделирования [1], содержащее регистр адреса, дешифратор, постоянное запоминающее устройство, схему сравнения. Выход регистра адреса соединен с входом постоянного запоминающего устройства.

Недостатком известного устройства являются низкие функциональные возможности и невозможность решения широкого класса задач.

Наиболее близким техническим решением к изобретению является устройство для воспроизведения корневых траекторий [2], содержащее постоянную память, регистр команд, блок сравнения, блок синхронизации, регистр адреса, арифметический блок, блок регистров, блок счетчиков, причем первые входы арифметического блока, блока регистров и блока счетчиков соединены соответственно с первым, вторым и третьим выходами регистра команд. Первый выход арифметического блока соединен с вторым входом блока регистров, выход которого соединен с вторым входом арифметического блока. Второй выход

2

арифметического блока соединен с первым и вторым входами блока сравнения. Выход регистра команд соединен с третьим входом блока сравнения, выход которого соединен с первым входом блока синхронизации, выход которого последовательно через регистр адреса и постоянную память соединен с входом регистра команд.

Недостатками устройства являются построение отдельных типов корневых траекторий и невозможность сопряжения с ЭВМ.

С целью расширения класса решаемых задач предлагаемое устройство содержит блок сопряжения, первый, второй, третий и четвертый выходы которого соединены соответственно с третьим входом блока регистров, третьим входом арифметического блока, вторым входом блока счетчиков, вторым входом блока синхронизации. Пятый выход регистра команд соединен с первым входом блока сопряжения, второй вход которого является входом устройства.

На чертеже показана блок-схема устройства.

Устройство содержит блок 1 сопряжения, канал ЭВМ 2, арифметический блок 3, блок 4 регистров, блок 5 счетчиков, блок 6 постоянной памяти, регистр 7 адреса, регистр 8 команд, блок 9 сравнения, блок 10 синхронизации.

В основу работы устройства положен следующий алгоритм. Для построения любого типа корневого голографа составляется аналитическое уравнение. Например, уравнение Бейдикова-Теодорика

$$E_x R_n - F_n P_n = 0$$

фазовых углов

$$\pm h \omega^2 R_n F_n - \omega F_n P_n + \omega E_x R_n \pm h E_x P_n = 0$$

постоянного модуля

$$E_x P_n + \omega^2 F_n R_n + U (P_n^2 + \omega^2 R_n^2) = 0$$

секущей прямой

$$k \gamma_0 (E_x R_n - F_n P_n) - k (E_x P_n + F_n R_n) - E_n^2 - F_n^2 = 0$$

кругового образа

$$\omega k^2 (P_n^2 + R_n^2) + (x + \beta) k (E_x P_n + F_n R_n) + E_n^2 + F_n^2 = 0$$

где  $E_n$ ,  $F_n$ ,  $P_n$ ,  $R_n$  — полиномы от двух переменных  $\omega$  и  $\delta$ .

Любое уравнение с помощью ЭВМ представляется в виде коэффициентов матрицы, расположенных по степеням  $\delta$  и  $\omega$  от правого нижнего угла

$$\begin{pmatrix} C_{11} & C_{21} & \dots & C_{l1} \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2l} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_{n1} & C_{n2} & \dots & C_{nl} \end{pmatrix} \begin{matrix} \omega^{2x} \\ \omega^{2x-2} \\ \dots \\ \omega^0 \end{matrix} \quad (1)$$

Для каждого из уравнений ЭВМ вычисляет матрицу коэффициентов вида (1), затем обрабатывает к устройству через блок сопряжения. В настоящем запоминающем блоке с электрической перезаписью находится программа для формирования коэффициентов алгебраического уравнения относительно  $\omega$  при постоянном  $\delta$ . Для формирования коэффициентов алгебраического уравнения используется алгоритм Горнера по формуле

$$A_i = \sum_{r=1}^i C_{ir} \delta^{i-r} \quad (2)$$

При обращении к модулю в блок 5 счетчиков записываются значения  $n$ ,  $l$ ,  $\delta_{\text{мин}}$ . Затем запускается блок синхронизации, который управляет выборкой команд из блока постоянной памяти. Первый коэффициент  $C_{11}$  записывается в арифметический блок 3, туда же записывается значение  $\delta_{\text{мин}}$ , которое возводится в степень, происходит умножение, затем в блок 3 записывается второй коэффициент  $C_{21}$ , происходит сложение и т. д. Из счетчика  $i$  каждый раз вычитается единица. Как только счетчик  $i$  обнуляется, блок 9 сравнения выдает сигнал в блок 10 синхронизации, который заканчивает цикл команд для вычисления первого коэффициента алгебраического уравнения, передается в ЭВМ. Выбор команд начинается сначала, но из ЭВМ поступают коэф-

фициенты  $C_{21}$ ,  $C_{31}$ , ...,  $C_{n1}$  вычисляется второй коэффициент алгебраического уравнения, при этом из счетчика  $i$  вычитается единица.

После обнуления этого счетчика  $i$  процесс нахождения коэффициентов алгебраического уравнения заканчивается и начинается решение уравнения. В качестве алгоритма решения принят метод Ньютона, обладающий быстрой сходимостью и отысканием комплексных корней. Исходный полином имеет вид

$$P_n(Z) = Z^n + \sum_{r=1}^{n-1} A_r Z^{n-r}$$

За начальное приближение корня принимают значение

$$r_0 = 1 + j = x_0 + jy_0$$

Находит рекуррентные соотношения

$$\left. \begin{aligned} z_i &= A_i + x_{i-1} - y_{i-1}^2 \\ \beta_i &= x_{i-1}^2 + y_{i-1} \\ \gamma_i &= x_{i-1} + x_{i-1} - y_{i-1}^2 \\ \delta_i &= \beta_{i-1} + x_{i-1} + y_{i-1} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где  $i=1, 2, \dots, n$ ;  $\alpha_0=1$ ,  $\gamma_0=\beta_0=\delta_0=0$ .

Далее используют итерационную формулу Ньютона

$$Z_{n+1} = Z_n - \frac{f(Z_n)}{f'(Z_n)} = X_{r+1} + jy_{r+1}, \quad (4)$$

где  $X_{r+1} = X_r - \frac{\alpha \delta_r + \beta \gamma_r}{\gamma_r^2 + \delta_r^2}$ ;  $(4)$

$$Y_{r+1} = Y_r - \frac{\beta \delta_r - \gamma \alpha_r}{\gamma_r^2 - \delta_r^2}, \quad (5)$$

Итерационный процесс прекращают, если

$$|\Delta X_r| < \epsilon, |\Delta Y_r| < \epsilon, \quad (6)$$

Если  $|y_{r+1}| |x_{r+1}| - 10^6 < 0$ ,  $(7)$

то найден действительный корень  $\xi = x_{r+1}$ .

Корень исключают и получают полином

$$P_{n-1}(Z) = Z^{n-1} + b_1 Z^{n-2} + \dots + b_{n-1}. \quad (8)$$

Коэффициенты  $b_r$  вычисляют по формуле

$$b_r = \delta_{r-1} + A_r, \quad r = 1, \dots, n-2. \quad (9)$$

За начальное приближение к следующему корню берут значение  $\xi(1+j)$ , и процесс применяют к  $P_{n-1}(Z)$  и т. д.

Если условие (7) не выполняется, то найден комплексный корень. Исключают пару комплексно-сопряженных корней и получают полином

$$P_{n-2}(Z) = Z^{n-2} + b_1 Z^{n-3} + \dots + b_{n-2}. \quad (10)$$

Коэффициенты  $b_r$  вычисляют по формуле

$$b_r = A_r + 2x_{r-1} - (x_r^2 + y_r^2) b_{r-2}, \quad b_n = 1, \quad (11)$$

За начальное приближение принимают корень  $\xi(1+j)$  и процесс применяют к полиному  $P_{n-2}(Z)$ .

После вычисления коэффициентов уравнения  $A_i$  начинают решение уравнения. В блок 5 счетчика записывается значение  $n$ , в блок 4 регистров — начальное значение  $x$  и  $y$ . Если  $n=2$ , то решают квадратное уравнение, если  $n=1$ , то уравнение первой степени. В противном случае по формулам (3) находят значения  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ . Для этого выполняют команды занесения  $x$  и  $y$  в блок 3, умножение, запись в блок 4, занесение в блок 3  $y$  и  $\beta$ , умножение, пересылка из блока 4  $\alpha$ , вычитание, занесение  $A_i$  в блок 3, сложение, запись в блок 4. Аналогично вычисляют значения  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ . После этого из счетчика  $n$  вычитают единицу, если его содержимое не равно нулю, вычисляют новые значения  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ , при этом из блока 6 постоянной памяти читают те же команды.

Когда закончен процесс вычисления  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ , из блока 4 и блок 3 читается  $j$ , возводит в квадрат и заносится в блок 4, затем читается  $\delta$  в блок 3, возводится в квадрат, читается  $\gamma^2$  из блока 4, складывается в блоке 3 с  $\delta^2$  и заносится в блок 4. Из блока 4 читается  $\alpha$  и  $\gamma$  в блок 3, происходит умножение и заносится в блок 4, из блока 4 читается  $\gamma$  и  $\delta$ , умножаются, читается  $\alpha\beta$ , вычитается, читается  $\gamma^2 + \beta$  из блока 4, производится деление, читается значение  $x$ , происходит вычитание, запись в блок 4.

Аналогично вычисляется выражение (5). Затем  $x_{i+1}$  и  $x_i$  заносится в блок 4 из блока 3, происходит вычитание, занесение в блок 3  $\epsilon$ , вычитание по модулю, и в блоке 9 сравнения анализируется знак сумматора блока 3, если он равен 0, то процесс начинается с вычисления новых значений  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ , но с новым значением  $x$ . Если знак сумматора блока 3 отрицательный, то блок 10 синхронизации меняет адрес на 1. Происходит выборка следующих команд для реализации выражения (6). При этом, если  $\Delta y > \epsilon$ , то осуществляется переход к вычислению значений  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ , для чего блок 10 синхронизации записывает соответствующий код в регистр 7 адреса. В противном случае к содержимому адреса прибавляется единица, и читаются из блока 6 новые команды. В блок 3 заносится значения  $y$ ,  $x$ , происходит деление, занесение из ЭВМ значения  $\epsilon$ , вычитание.

Если знак сумматора блока 3 равен 0, то найден действительный корень, и начинается вычисление коэффициентов полинома  $P_{n-1}(Z)$ . Для этого  $x$  заносится в блок 3, извлекается корень и пересылается в ЭВМ; в счетчик  $n$  заносится значение  $n-1$ , в блок 3  $A_i$  и  $x$ , производится умножение, чтение  $A_i$ , сложение в блоке 3, запись сумматора в блок 4 и пересылка в ЭВМ, из  $x$  вычитается единица. Если содержимое счетчика  $n$  не равно 0, то вычисляются следующие коэффициенты  $b_i$ . В противном случае начинается вычисление  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ . В случае нахождения комплексного корня по формуле (11) считаются коэффициенты  $b_i$ .

После нахождения всех корней уравнений к значению  $\delta VCr$  прибавляют единицу, слова находят корни алгебраического уравнения относительно  $y$  и его решения. В моменты работы устройства, когда не требуется обмена данными, ЭВМ обрабатывает результаты найденных точек хвостового голографа, т. е. определяется устойчивость, вычисляются показатели качества и т. д. Обмен данными осуществляется в режиме аппаратной приостановки.

Когда содержимое счетчика  $\delta$  достигает значения  $\delta_{max}$ , блок 9 сравнения подает на блок 10 синхронизации сигнал, по которому в блок 1 сопряжения поступает сигнал окончания работы устройства, осуществляется окончание работы блока 1 сопряжения.

Наличие постоянной памяти с электрической перезаписью позволяет записать другую программу для аппаратной реализации других функциональных зависимостей, что делает устройство универсальным. Для увеличения быстродействия устройства запрос на прием данных осуществляется раньше, данные заносится в блок регистров, поэтому исключается время на ожидание данных.

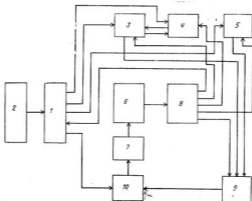
#### Формула изобретения

Устройство для вычисления корней траекторий, содержащее постоянную память, регистр команд, блок сравнения, блок синхронизации, регистр адреса, арифметический блок, блок регистра, блок счетчиков, причем первые входы арифметического блока, блоки регистров и блока счетчиков соединены соответственно с первым, вторым и третьим выходами регистра команд, первый выход арифметического блока соединен с вторым входом блока регистров, выход которого соединен с вторым входом арифметического блока, второй выход арифметического блока и выход блока счетчиков соединены соответственно с первым и вторым входами блока сравнения, выход регистра команд соединен с третьим входом блока сравнения, выход которого соединен с первым входом блока синхронизации, выход которого последовательно через регистр адреса и постоянную память соединен с входом регистра команд, отличающееся тем, что, с целью расширения класса решаемых задач, устройство содержит блок сопряжения, первый, второй, третий и четвертый выходы которого соединены соответственно с третьим входом блока регистров, третьим входом арифметического блока, вторым входом блока счетчиков, вторым входом блока синхронизации, пятый выход регистра команд соединен с первым входом блока сопряжения, второй вход которого является входом устройства.

Источники информации, принятые во внимание при экспертизе:

1. Пат. св. № 392503, кл. G 06F 15/34, 10.08.71.

2. Пат. св. № 408313, кл. G 06F 15/34, 04.01.72 (прототип).



Составитель В. Девятков

Редактор Т. Рыбалова

Техред Е. Хмелева

Корректор О. Тюрина

Заказ 1549/13

Изд. № 414

Тираж 815

Подписное

ЦНИИПИ Государственного комитета Совета Министров СССР

по делам изобретений и открытий

113635, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Типография, пр. Сапунова, 2