



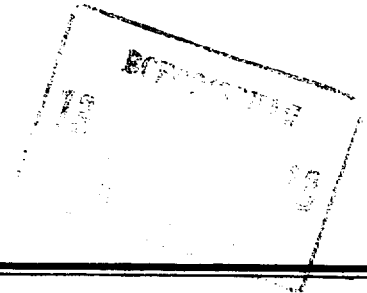
СОЮЗ СОВЕТСКИХ  
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ  
РЕСПУБЛИК

(19) SU <sup>(11)</sup> 1229724 A1

(51) 4 G 05 B 11/26

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР  
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ И АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ



(21) 3759755/24-24  
(22) 22.06.84  
(46) 07.05.86. Бюл. № 17  
(71) Минский радиотехнический институт  
(72) В. П. Кузнецов, Ф. В. Фурман,  
А. П. Пашкевич, Е. П. Кукареко  
и Э. Ф. Черняк  
(53) 62-50(088.8)  
(56) Авторское свидетельство СССР  
№ 830299, кл. G 05 B 11/14, 1981.  
Авторское свидетельство СССР  
№ 1092462, кл. G 05 B 15/02, 1983.

(54) ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ

(57) Изобретение относится к системам управления. Цель изобретения — повышение быстродействия и расширения области применения — достигается тем, что в систему, содержащую сравнивающее устройство, датчик скорости, первый сумматор, блок усиления, двигатель, датчик скорости, введены второй сумматор, блок умножения, два мультиплексора и логический блок. 3 ил.

(19) SU <sup>(11)</sup> 1229724 A1

Изобретение относится к автоматическому регулированию и может быть применено для управления электромеханическими исполнительными механизмами с неопределенными параметрами, например в промышленных роботах и манипуляторах, в станках с числовым программным управлением и др.

Цель изобретения — повышение быстродействия и расширение области применения системы.

На фиг. 1 приведена блок-схема цифровой системы управления; на фиг. 2 — траектории движения системы на фазовой плоскости; на фиг. 3 — временные диаграммы работы логического блока.

Система содержит сравнивающее устройство 1, первый сумматор 2, блок 3 усиления, двигатель 4, датчик 5 перемещения, датчик 6 скорости, второй сумматор 7, блок 8 умножения, первый 9 и второй 10 мультиплексоры, логический блок 11.

Сравнивающее устройство 1 формирует сигнал ошибки в дополнительном коде  $[x]_{\text{доп}}$  и построено на базе реверсивного счетчика. В зависимости от направления вращения импульсы от датчика 5 перемещения поступают на суммирующий либо вычитающий входы счетчика. По сигналу «Пуск», приходящему на третий вход сравнивающего устройства 1, в реверсивный счетчик записывается значение кода задания  $[x_3]_{\text{доп}}$ , поданного на второй вход сравнивающего устройства 1. В качестве датчика 5 перемещения используется фотоэлектрический датчик инкрементального типа, имеющий две выходные шины. При этом он формирует в зависимости от направления вращения последовательность импульсов на одной из шин, на второй шине будет высокий уровень. На выходе датчика скорости формируется дополнительный код сигнала  $[g\dot{x}]_{\text{доп}}$ , где величина коэффициента  $g$  зависит от сигнала на втором входе датчика скорости. Датчик 6 скорости работает по принципу подсчета числа импульсов от датчика 5 перемещения за интервал времени, величина которого определяется уровнем сигнала на втором входе датчика 6 скорости. Если на второй вход датчика 6 скорости подан уровень логической «1», то обеспечивается равенство  $g = c$ , и на выходе датчика 6 скорости присутствует сигнал  $[c\dot{x}]_{\text{доп}}$ , если подан уровень логического «0», то  $g = \alpha$ , и на выходе датчика 6 скорости будет сигнал  $[\alpha\dot{x}]_{\text{доп}}$ .

Второй сумматор 7 позволяет получать дополнительный код разности или суммы кода  $[-\beta]_{\text{доп}}$  и кода  $[g\dot{x}]_{\text{доп}}$ , подаваемого на первый вход сумматора 7. Если на второй вход подан уровень логической «1» ( $x_3 < 0$ ), производится операция суммирования. Если на второй вход второго сумматора 7 подан уровень логического «0» ( $x_3 > 0$ ), то из кода  $[-\beta]_{\text{доп}}$  вычитается код, подаваемый на первый вход второго сумматора 7.

Блок 8 умножения выполняет операцию умножения кода задания  $[x_3]_{\text{доп}}$  на код, подаваемый на первый вход. На первый выход блока 8 умножения подается результат произведения, а на второй выход — знак величины  $[x_3]_{\text{доп}}$ , т. е. уровень «0», если  $x_3 > 0$  и уровень «1», если  $x_3 < 0$ .

Если на третий вход мультиплексора 9 подан уровень логической «1», то на выход мультиплексора 9 пройдет сигнал с первого входа, если подан уровень «0», то на выход пройдет сигнал со второго входа первого мультиплексора 9.

Первый сумматор 2 позволяет получить сумму двух чисел, представленных в параллельном дополнительном коде.

Второй мультиплексор 10 осуществляет коммутацию входов 1, 5, 6 в зависимости от состояния сигналов  $Q_1, Q_2, Q_3$  на входах 2, 3, 4. Если  $Q_2 = 1$ , к выходу второго мультиплексора 10 подключен первый вход, если  $Q_2 (\bar{Q}_1 Q_3 + Q_1 \bar{Q}_3) = 1$ , то подключен шестой вход, если  $\bar{Q}_2 (\bar{Q}_1 \bar{Q}_3 + Q_1 Q_3) = 1$ , то подключен пятый вход.

Логический блок 11 управляет работой датчика 6 скорости, первого мультиплексора 9, второго мультиплексора 10, т. е. определяет режим работы системы в целом.

Блок 3 усиления осуществляет операцию преобразования сигнала управления, представленного в дополнительном коде  $[U]_{\text{доп}}$  в длительность импульса с последующим усилением. В качестве усилителя мощности используется мостовая схема реверсивного усилителя мощности, в диагональ которого включен двигатель 4. Направление вращения двигателя определяется знаковым разрядом кода  $[U]_{\text{доп}}$  на выходе второго мультиплексора 10.

Система работает следующим образом.

Входными сигналами являются сигнал задания  $[x_3]_{\text{доп}}$  и сигнал «Пуск», формируемые функциональными элементами системы управления верхнего уровня.

Фазовая траектория системы при отработке задания  $[x_3]_{\text{доп}}$  состоит из участков разгона, торможения и линейного участка.

При включении напряжения питания устанавливается нулевой код ошибки на выходе сравнивающего устройства 1 и нулевой код скорости на выходе датчика 6 скорости. Логический блок 11 при этом переходит в исходное состояние ( $Q_1 = 1, Q_2 = 1$ ), что соответствует работе системы в линейном режиме и фиксации рабочего органа в исходном положении.

Рассмотрим случай, когда входное задание  $x_3$  отрицательно (знаковый разряд «1»), фазовые траектории системы изображены на фиг. 2. Началу отработки задания (момент  $t_0$ ) соответствует подача кода задания  $[x_3]_{\text{доп}}$  на второй вход сравнивающего устройства 1. При поступлении сигнала «Пуск» код  $[x_3]_{\text{доп}}$  записывается в реверсивном счетчике сравнивающего устройства 1, после чего сигнал

ошибки  $[x_3]_{\text{доп}}$  с выхода сравнивающего устройства 1 записывается в регистр блока 8 умножения.

По заднему фронту импульса «Пуск» логический блок 11 переходит из состояния  $Q_1=1, Q_2=1$  в состояние  $Q=0, Q_2=0$ . Низкому уровню на первом выходе логического блока 11 соответствует сигнал  $[\alpha\dot{x}]_{\text{доп}}$  на выходе датчика 6 скорости. Второй сумматор 7 производит операцию суммирования  $[\alpha\dot{x} - \beta]_{\text{доп}}$ . В блоке 8 умножения это выражение умножается на величину  $[x_3]_{\text{доп}}$ , и результат произведения  $V = [x_3(\alpha\dot{x} - \beta)]_{\text{доп}}$  подается на второй вход первого мультиплексора 9. Низкий уровень логического «0» на третьем входе первого мультиплексора подключает на его выход сигнал  $V$  с второго входа, который в дальнейшем суммируется с сигналом  $[x]_{\text{доп}}$  в первом сумматоре 2. Таким образом сигнал на выходе сумматора 2 равен  $[x + V]_{\text{доп}}$ .

На первом интервале управления при  $x_3 < 0$  входные сигналы второго мультиплексора 10 равны  $Q_1=0, Q_2=0, Q_3=1$ , что соответствует подключению на его выход кода управления  $[+U_m]_{\text{доп}}$ . Этот сигнал поступает на вход блока 3 усиления, где преобразуется в длительность импульса и усиливается на усилителе мощности, построенном по мостовой схеме, знаковый разряд кода  $[+U_m]_{\text{доп}}$  однозначно определяет направление вращения двигателя.

Таким образом осуществляется максимальный разгон двигателя, а длительность интервала разгона  $(t_1 - t_0)$  при фиксированном значении  $x_3$  зависит от величины электромеханической постоянной времени двигателя. Пренебрегая электромагнитными переходными процессами в двигателе, его динамику описывают в безразмерных координатах дифференциальным уравнением

$$\ddot{x}(t) T_{эм} + \dot{x}(t) = U, |U| \leq 1,$$

где электромеханическая постоянная времени  $T_{эм} \in [T_{мин}, T_{макс}]$  принимает произвольное значение из заданного интервала и остается неизменной в процессе одного перемещения. Для заданного начального условия  $x_3$  и произвольной величины электромеханической постоянной времени  $T_{эм}$  уравнения фазовых траекторий системы на интервалах  $(t_0, t_1)$  и  $(t_1, t_2)$  имеют вид

$$\int_{x_1(t_0)}^{x_1(t_1)} dx_1 = T_{эм} \int_{x_2(t_0)}^{x_2(t_2)} \frac{x_2 dx_2}{(1 - x_2)}$$

и

$$\int_{x_1(t_1)}^{x_1(t_2)} dx_1 = -T_{эм} \int_{x_2(t_1)}^{x_2(t_2)} \frac{x_2 dx_2}{(1 + x_2)}$$

где  $x_1 = x, x_2 = \dot{x}, U = +1$  на первом интервале,  $U = -1$  на втором интервале (при  $x_3 < 0$ ).

Учитывая, что система позиционная, т. е.  $x_1(t_0) = x_3, x_2(t_0) = 0, x_2(t_2) = 0, x_1(t_2) = 0$ , вычислив соответствующие интегралы и записав отношение левых и правых частей приведенных выражений, получим уравнение оптимальной линии переключения в виде  $x(t_1) = x_3(-\dot{x} + \ln|1 + \dot{x}|) / (\ln|1 - \dot{x}| + \ln|1 + \dot{x}|) = x_3 f(x(t_1))$ , которой на фиг. 2 соответствует кривая RB.

Таким образом, в предлагаемой системе обеспечиваются оптимальные по быстродействию переходные процессы при переходе из состояния  $x(t_0) = x_3, \dot{x}(t_0) = 0$  в состояние  $x(t_2) = 0, \dot{x}(t_2) = 0$  для произвольных значений  $T_{эм}$ , если переключение управляющего воздействия происходит на кривой RB. Аппроксимируем линию переключения RB для заданного  $x_3$  прямой CB, уравнение которой имеет вид

$$x(t_1) - |x_3|(\alpha\dot{x}(t_1) + \beta \operatorname{sgn} x_3) = 0$$

$$\text{или } x(t_1) + x_3(-\alpha\dot{x}(t_1) \operatorname{sgn} x_3 - \beta) = 0,$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  — постоянные коэффициенты, которые задают положение прямой CB, аппроксимирующей оптимальную линию переключения RB ( $\alpha > 0, \beta > 0$ ). Координаты точек C и B определим из условия пересечения фазовыми траекториями разгона при граничных значениях  $T_{эм}$  линии переключения RB. Эффективность такой аппроксимации обусловлена ограниченным диапазоном изменения электромеханической постоянной времени (обычно  $T_{макс}/T_{мин} \in [1, 3]$ ), для которого оптимальная линия переключения достаточно точно аппроксимируется прямой.

Таким образом в момент времени  $t_1$ , когда функция переключения на выходе первого сумматора

$$\varphi_1(x, \dot{x}, x_3) = x + x_3(\alpha\dot{x} - \beta), x_3 < 0$$

изменит знак, то логический блок 11 перейдет в новое состояние  $Q_1=1, Q_2=0$ , что соответствует подключению на выход второго мультиплексора его пятого входа. В результате сигнал  $U(t)$  изменит знак на противоположный, обеспечивая динамическое торможение двигателя 4 на интервале  $(t_1, t_2)$ . Некоторое время  $\tau$  логический блок 11 после момента  $t_1$  не реагирует на изменение состояния второго входа. Величина  $\tau$  определяется инерционностью датчика 6 скорости и исключает ложные переключения логического блока 11.

Высокому уровню на первом выходе логического блока 11 соответствует сигнал  $[x\dot{x}]_{\text{доп}}$  на выходе датчика 6 скорости, который подается на первый вход мультиплексора 9. Так как с первого выхода логического блока 11 на третий вход первого мультиплексора 9 подается уровень логической «1», то код сигнала  $[x\dot{x}]_{\text{доп}}$  с первого входа первого мультиплексора 9 подается на второй вход сумматора 2. Сигнал на выходе сумматора 2 равен  $[x + x\dot{x}]_{\text{доп}}$ . В момент вре-

мени  $t_2$ , когда функция  $\varphi_2(x, \dot{x}) = x + c\dot{x}$  на выходе первого сумматора 2 поменяет знак (прямая MN фиг. 2), изменится и уровень знакового разряда на выходе второго мультиплексора 10, который подается на второй вход логического блока 11. Логический блок 11 возвращается в исходное состояние  $Q_1=1$ ,  $Q_2=1$ . На третьем интервале управления входные сигналы второго мультиплексора 10 равны  $Q_1=1$ ,  $Q_2=1$ ,  $Q_3=1$ . Это соответствует подключению на его выход кода сигнала  $[x+c\dot{x}]_{\text{доп}}$  с первого входа. На изменение состояния сигнала на втором входе логический блок 11 реагирует только при появлении уровня логического «0» на его втором выходе ( $Q_2=0$ ), поэтому в дальнейшем система работает как линейная под действием сигналов скоростной и позиционной обратной связи. Наличие линейного интервала управления позволяет компенсировать влияние малых неучтенных в модели параметров и обеспечивает, таким образом, грубость системы.

При  $x > 0$  работа системы аналогична с той лишь разницей, что во втором сумматоре 7 производится операция вычитания с получением кода разности  $[-\beta - \alpha x]_{\text{доп}}$ , а на четвертом входе второго мультиплексора 10 появится уровень  $Q_3=0$ , что изменит последовательность подключения кодов  $[+U_m]_{\text{доп}}$  и  $[-U_m]_{\text{доп}}$  к выходу второго мультиплексора 10.

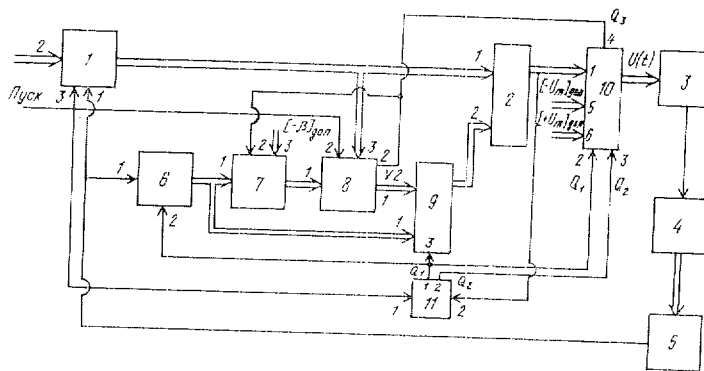
В предлагаемой системе обеспечивается инвариантность процессов в системе к изменению электромеханической постоянной времени, что достигается за счет реализации линейной функции переключения, зависящей от начального состояния системы.

Применение предложенной позиционной системы особенно эффективно при управлении электроприводами промышленных роботов, занятых на операциях подачи и снятия заготовок, операциях погрузки, разгрузки и др. Электромеханическая постоянная времени этих приводов изменяется в два, три раза за счет изменения пространственного расположения последующих звеньев кинематической цепи робота и массы груза в схвате. Для данного диапазона изменения  $T_{\text{мех}}$

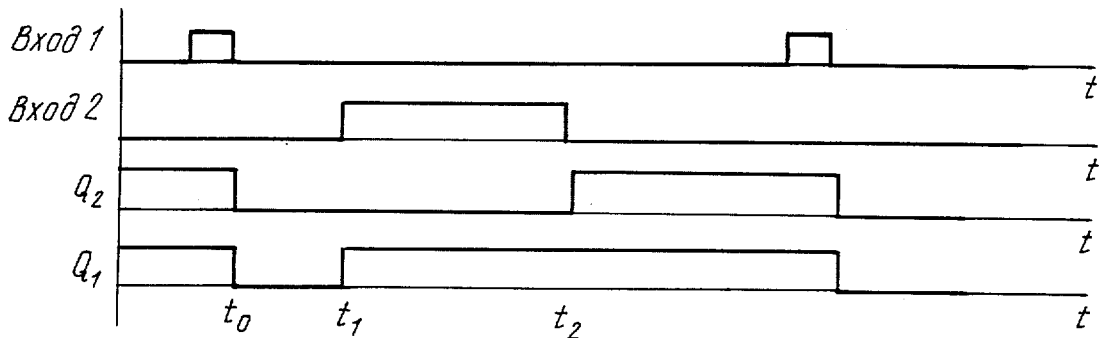
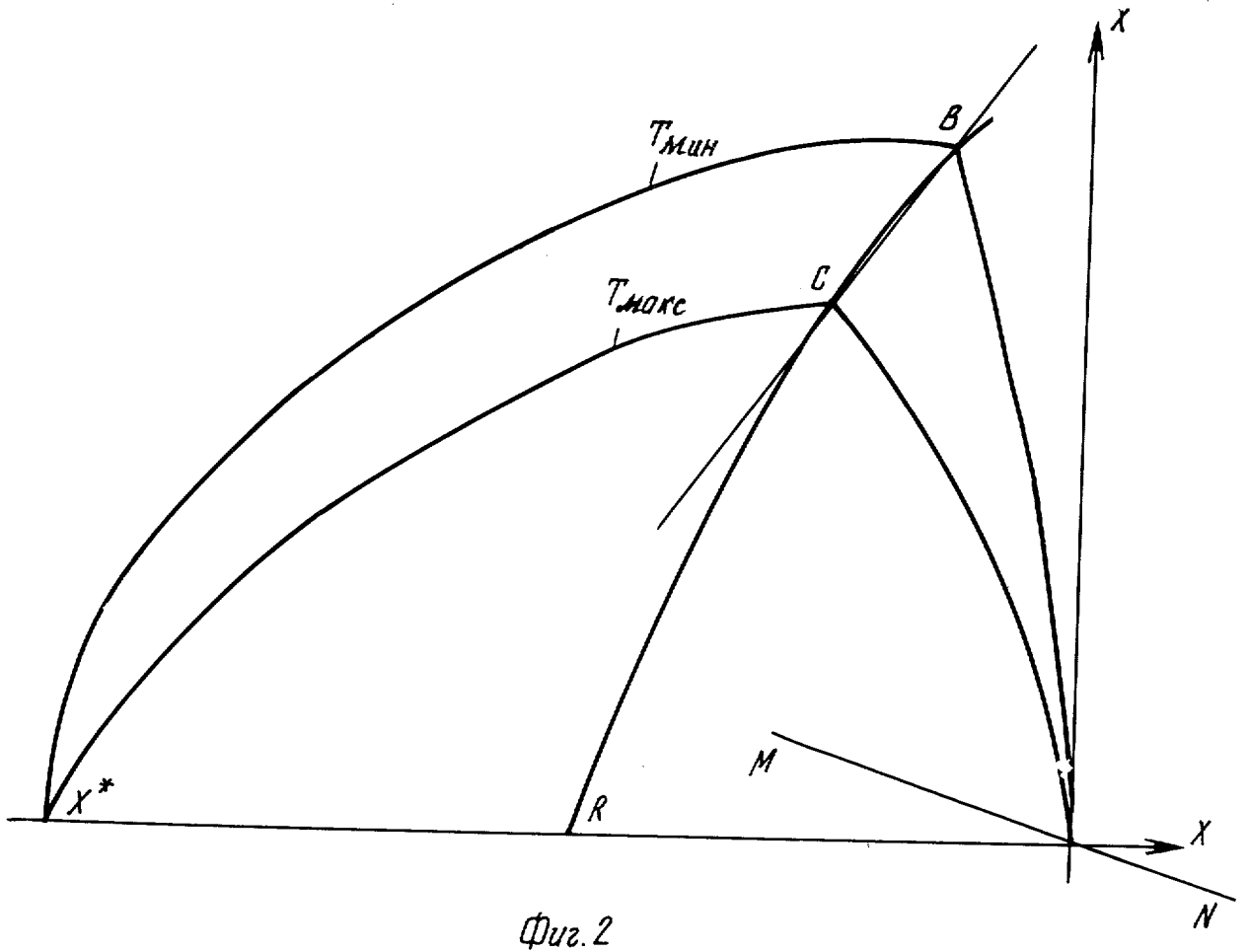
( $T_{\text{мех.}}/T_{\text{мин.}} < 3$ ) потери быстродействия в предлагаемой позиционной системе за счет принятой аппроксимации оптимальной линии переключения не превышают 1,5%.

#### Формула изобретения

Цифровая система управления, содержащая сравнивающее устройство, датчик скорости, первый сумматор, а также последовательно соединенные блок усиления и двигатель, связанный с датчиком перемещения, выход которого подключен к первым входам сравнивающего устройства и датчика скорости, второй и третий входы сравнивающего устройства подключены к соответствующим входам системы, а выход — к первому входу первого сумматора, отличающаяся тем, что, с целью повышения быстродействия и расширения области применения системы в нее введены второй сумматор, блок умножения, первый и второй мультиплексоры, логический блок, причем выход датчика скорости подключен к первому входу первого мультиплексора и через последовательно соединенные второй сумматор и блок умножения — к второму входу первого мультиплексора, выход которого соединен с вторым входом первого сумматора, третий вход сравнивающего устройства соединен с вторым входом блока умножения и первым входом логического блока, выход первого сумматора через первый вход второго мультиплексора подключен к входу блока усиления, а его знаковый разряд к второму входу логического блока, первый выход которого соединен с вторыми входами датчика скорости и второго мультиплексора и третьим входом первого мультиплексора, а второй выход — с третьим входом второго мультиплексора, второй выход блока умножения подключен к второму входу второго сумматора и четвертому входу второго мультиплексора, третий вход блока умножения соединен с выходом сравнивающего устройства, пятый и шестой входы второго мультиплексора, а также третий вход второго сумматора подключены к соответствующим кодовым шинам.



Фиг. 1



Редактор С. Патрушева  
Заказ 2228/47

Составитель Ф. Фурман  
Техред И. Верес  
Тираж 836

Корректор Т. Колб  
Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета СССР  
по делам изобретений и открытий  
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5  
Филиал ППП «Патент», г. Ужгород, ул. Проектная, 4