

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОДАЧИ ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА

В. А. Водичев, Алдаири Али

Одесский национальный политехнический университет

Аннотация. Исследована автоматизированная система управления подачей фрезерного станка при стабилизации мощности резания и использовании дробных интегрально-дифференцирующих регуляторов. Найдены оптимальные соотношения параметров регуляторов, обеспечивающих оптимальные динамические и статические характеристики системы с учетом ее существенных отличий от эталонных линеаризованных САУ.

Ключевые слова: электромеханическая система стабилизации мощности резания, механизм подачи фрезерного станка, дробный пропорционально-интегральный регулятор.

Введение

При синтезе замкнутых систем управления механизмами станков для устранения статической ошибки в регулятор соответствующей координаты включают интегрирующее звено требуемого порядка, а устойчивость и желаемые динамические показатели обеспечивают дополнительными форсирующими звеньями. Однако возможности настройки получаемых ПИ- или ПИД-регуляторов не всегда позволяют получить оптимальное сочетание быстродействия, перерегулирования и точности. Причиной этого является нелинейный характер объекта управления – процесса резания металла – в описании которого присутствуют степенные функции. В таких случаях повысить точность математической модели позволяют дробно-дифференциальные уравнения [1–3], а существенное улучшение сочетания всех показателей может быть получено за счет использования регуляторов с дробным порядком интегрирования [4–8].

Материалы исследования

Целью работы является исследование автоматизированной системы управления электроприводом подачи фрезерного станка с дробным порядком астатизма с учетом характерных инерционных и нелинейных элементов.

При синтезе регуляторов рассматривают систему с единичной отрицательной обратной связью, передаточная функция разомкнутого контура которой описывается выражением:

$$H_{\text{отр}}^{\mu}(p) = \frac{bp+1}{ap^{\mu}p} \cdot \frac{1}{p+1}, \quad 0 < \mu < 1, \quad (1)$$

где a , b – параметры настройки, составляющая

$\frac{1}{p+1}$ соответствует части объекта управления с некомпенсируемой постоянной времени T_v при переходе к относительному времени $t = \frac{t_{\text{real}}}{T_v}$.

Синтезируем быстродействующую систему с порядком астатизма $1 + \mu$, $\mu \in [0,1]$ и перерегулированием не более 2.5%. С помощью генетических алгоритмов найдены оптимальные соотношения параметров (табл. 1) и получены нормированные переходные функции (рис. 1).

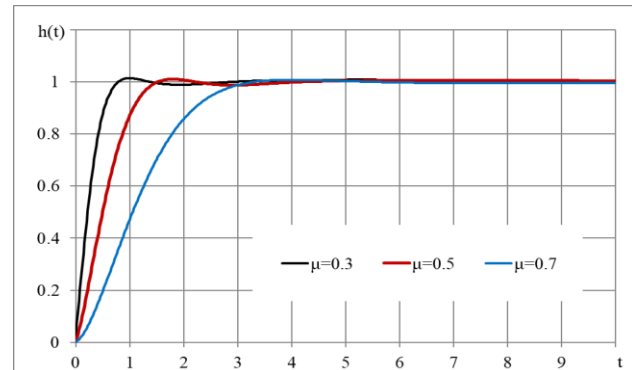


Рис. 1. Нормированные переходные функции

Таблица 1.
Оптимальные соотношения μ, a, b .

μ	a	b
0.3	0.574	2.781
0.5	2.420	6.077
0.7	11.97	13.46

Однако, полученные графики соответствуют идеализированной системе, в частности, с единичной отрицательной обратной связью.

Структурная схема системы управления подачей фрезерного станка при стабилизации мощности резания приведена на рис. 2.

Среди ее существенных особенностей необходимо отметить следующие. Во-первых, модель

процесса резания с учетом нелинейных зависимостей как эквивалентного коэффициента усиления, так и постоянных времени от подачи (управляющего воздействия) и глубины резания (возмущающего воздействия), описывается дробно-дифференциальным уравнением. Во-вторых, настроенный комплектный электропривод является колебательным звеном с малой постоянной времени T_{EP} и коэффициентом демпфирования $\xi < 1$. Учитывая существенно большую постоянную времени фильтра, принимаемую в качестве некомпенсированной постоянной времени системы, электродвигатель главного движения, являющийся источником сигнала

обратной связи, можно рассматривать, как инерционное звено первого порядка с постоянной времени T_{ED} . И наконец, сигнал обратной связи поступает в контроллер после фильтра. Но стабилизировать необходимо мощность резания, то есть сигнал до фильтра.

Также необходимо учесть, что механическая часть, зубья фрезы, доменная структура заготовки и АЦП являются источниками шумов, которые в модели представлены генератором случайного сигнала в цепи обратной связи в пределах двух младших двоичных разрядов.

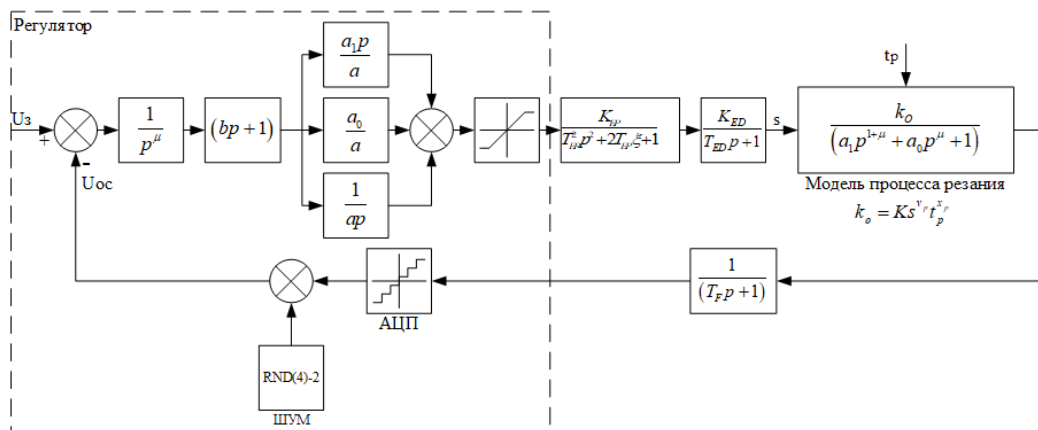


Рис. 2. Структурная схема системы управления подачей фрезерного станка при стабилизации мощности резания

С учетом описанных особенностей для $T_{EP} = 0.1, \xi = 0.707, T_{ED} = 0.1$ выполнен расчет переходных процессов мощности резания с настройкой параметров регулятора в соответствии с табл. 1. Как и ожидалось, перерегулирование увеличилось, однако лишь в 3-4 раза, не стало катастрофическим. Это является следствием особенностей настройки системы на оптимум с дробным порядком астатизма – запасы устойчивости САУ выше, чем, например, при настройке на симметричный оптимум.

Это позволяет достаточно легко скорректировать параметры регулятора и, пожертвовав быстродействием, ограничить перерегулирование на том же уровне, что и в нормированных функциях.

На рис. 3 приведен график переходного процесса мощности резания для $\mu = 0.5$ при настройке регулятора с $a = 5.3, b = 4.3$, также подобранных с помощью генетических алгоритмов. Такой результат можно считать удовлетворительным и рекомендовать полученное соотношение μ, a, b для настройки исследуемой системы.

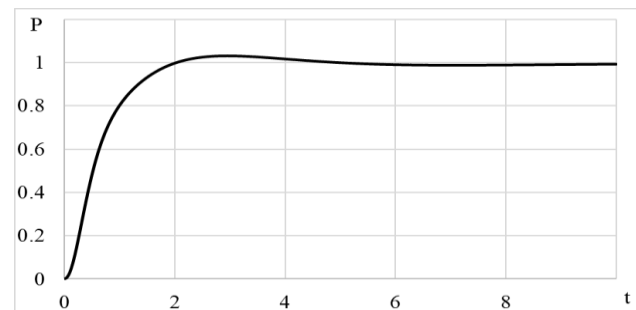


Рис. 3. График переходного процесса в системе стабилизации мощности резания

Выводы

Выполнено исследование динамических характеристик замкнутой системы управления подачей фрезерного станка при стабилизации мощности резания с учетом ряда существенных отличий от идеализированных линейных систем – некомпенсированных постоянных времени электропривода подачи, электродвигателя главного движения в качестве датчика мощности, фильтра в цепи обратной связи, нелинейного эквивалентного коэффициента усиления, зависящего от подачи и глубины резания и дробно-дифференциального уравнения, описывающего

динамические свойства процесса резания. Учтено также, что в системе необходимо стабилизировать мощность резания, а не поступающий на АЦП сглаженный фильтром сигнал. Показано, что в системе с дробным порядком астатизма за счет больших запасов устойчивости незначительные изменения параметров настройки обеспечивают перерегулирование до 3 %, как в линеаризованной системе. Это позволяет рекомендовать полученные соотношения параметров для настройки исследованного класса САУ.

Список использованной литературы

1. Busher, V. Modeling and Identification of Systems with Fractional Order Integral and Differential [Text] / V. Busher, V. Yarmolovich // *Electrotechnical and Computer Systems*. – 2014. – Vol. 15, Issue 91. – P.52–56.
2. Бурого, Н. Г. Вычислительная механика [Текст] / Н. Г. Бурого. – М, 2005. – 247 с.
3. Busher, V. Synthesis and technical realization of control systems with discrete fractional integral-differentiating controllers [Text] / V. Busher, A. Aldairi // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – Kharkov : PC Technology Center, 2018. – Vol. 2, No 4 (94), (2018). – P. 63–71.
4. Petras, I. The fractional-order controllers: Methods for their synthesis and applications. [el. resource]. arHiv:math. OC/0004054v1, 11 Apr. 2000.
5. Jumarie, G. Path probability of random fractional systems defined by white noise in coarse-grained time / Application of fractional entropy. *Fractional differential calculus*, 2011, Vol. 1, No. 1. P. 45–87.
6. Fractional dynamics and control. / Baleanu D. and oth. New York: Springer, 2012. 309 p.
7. Гильмутдинов, А. Х. Дробные операторы: критерии синтеза и реализация [Текст] / А. Х. Гильмутдинов, П. А. Ушаков, М. М. Гильметдинов // *Нелинейный мир*. – 2008, №8. – С.452–463.
8. Shantanu, D. Functional Fractional Calculus for System Identification and Controls [Text] / Shantanu Das // Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – 2008. – 240 p.

References

1. Busher, V. and Yarmolovich, V. (2014). Modeling and Identification of Systems with Fractional Order Integral and Differential, *Electrotechnical and Computer Systems*, 15 (91), P.52–56. (In English).
2. Burago, N. (2005), *Computation mechanics [Vychislitel'naja mehanika]*. Moscow, 247 p. (In Russian).
3. Busher, V., (2018), Synthesis and technical realization of control systems with discrete fractional integral-differentiating controllers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 2, No 4 (94). – P. 63–71. (In English).
4. Petras, I. (2000). The fractional-order controllers: Methods for their synthesis and applications. arHiv:math. OC/0004054v1, 11 Apr. 2000. (In English).
5. Jumarie, G. (2011). Path probability of random fractional systems defined by white noise in coarse-grained time/ Application of fractional entropy. *Fractional differential calculus*, Vol. 1, No. 1, 45–87. (In English).
6. Baleanu, D., Tenreiro, Machado, J., Luo, A. (2012). *Fractional dynamics and control*. New York: Springer, 309. (In English).
7. Gilmutdinov, A., and Usakov, P., (2008). Fractal operators. Criteria of synthesis and realization [Drobnnye operatory. Kriterii sinteza I realizacii], *Nonlinear word*, – 2008, №8. – P.452–463. (In Russian).
8. Shantanu, D., (2008). *Functional Fractional Calculus for System Identification and Controls*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – 2008. – 240 p. (In English).

RESEARCH OF THE AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF THE FEEDING ELECTRIC DRIVE IN THE MILLING MACHINE

V. Vodichev, Aldairi Ali

Odessa National Polytechnic University

Abstract. Fractional $PI^{\alpha}D^{\beta}$ -regulators in astatic closed-loop control systems allow to significantly improve the dynamic performance due to the increase in stability stocks with simultaneous expansion of the bandwidth of the circuit. In addition, when an object can be described by fractional-differential equations, or in its mathematical model power functions of fractional order are present, such regulators more accurately compensate for such features of the object. The purpose of the work is to study the automated control system of the feeding electric drive in the milling machine with a fractional order of astatism taking into account the essential inertial and nonlinear elements. The research of dynamic characteristics of the closed control system of the feeding of the milling machine during the stabilization of the cutting power, taking into account a number of significant differences from idealized linear systems - several small time constants (electric drive, electric motor of the main motion as a power sensor, a filter in the feedback circuit), nonlinear equivalent

gain, which depends on the feed and depth of the cutting, and the fractional differential equation, which describes the dynamic properties of the cutting process. It is also taken into account that the system needs to stabilize the power of cutting, but not the filtered smoothed signal, which is fed to an analog-to-digital converter in a microprocessor control system. It is shown that in a system with a fractional order of astaticism by minor changes in the configuration parameters provide the same small (up to 3%) overregulation, as in the reference linearized system. This allows you to recommend the received parity of parameters for setting up the studied class of automated control systems.

Keywords: Electrotechnical system, astatic closed loop system, fractional proportional-integrally-differentiating regulator, optimal dynamic and static properties.

ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОДАЧІ ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА

В. В. Водічев, Алдаїрі Алі

Одеський національний політехнічний університет

Анотація. Дробові пропорційно-інтегрально-диференційні регулятори в астатичних замкнених системах управління дозволяють істотно поліпшити динамічні показники за рахунок підвищення запасів стійкості при одночасному розширенні смуги пропускання контуру. Крім того, коли об'єкт може бути описаний дробовими диференційними рівняннями або в його математичній моделі присутні статичні функції дробового порядку, такі регулятори точніше компенсують особливості об'єкта. Метою роботи є дослідження автоматизованої системи керування електроприводом подачі фрезерного верстата з дробовим порядком астатизму з урахуванням характерних інерційних і нелінійних елементів. Виконано дослідження динамічних характеристик замкненої системи управління подачею фрезерного верстата при стабілізації потужності різання з урахуванням низки істотних відмінностей від ідеалізованих лінійних систем - кількох малих постійних часу (електроприводу подачі, електродвигуна головного руху в якості датчика потужності, фільтра в ланцюзі зворотного зв'язку), нелінійного еквівалентного коефіцієнта посилення, що залежить від подачі і глибини різання і дробово-диференціального рівняння, яке описує динамічні властивості процесу різання. Враховано, що в системі необхідно стабілізувати потужність різання, а не згладжений фільтром сигнал у зворотному зв'язку. Показано, що в системі з дробовим порядком астатизму незначні зміни параметрів регулятора забезпечують перерегулювання до 3%, як і у еталонної системи. Це дозволяє рекомендувати отримані співвідношення параметрів для налаштування дослідженого класу САУ.

Ключові слова: електромеханічна система стабілізації потужності різання, механізм подачі фрезерного верстата, дробовий пропорційно-інтегрально-диференційний регулятор.

Получено 25.11.2018



Водічев Владимир Анатольевич, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой электромеханических систем с компьютерным управлением Одесского национального политехнического университета. Просп. Шевченко, 1, Одесса, Украина, E-mail: vva@eei.opu.ua, с.: +38(050)2347722

Vladimir Vodichev, Dr. of Science, Professor, Head of the Department of electromechanical system with computer control, Odessa National Polytechnic University, Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine

E-mail: vva@eei.opu.ua, с.: +38(050)2347722

ORCID ID: 0000-0002-7204-1149



Алдаїри Алі, аспирант кафедры электромеханических систем с компьютерным управлением, Одесский национальный политехнический университет. Просп. Шевченко, 1, Одесса, Украина, 65044. E-mail: tom_ford1986@hotmail.com, с.: +38(063)1233331

Aldairi Ali, postgraduate student, Department of electromechanical systems with computer control, Odessa National Polytechnic University, Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine. E-mail: tom_ford1986@hotmail.com, с.: +38(063)1233331

ORCID ID: 0000-0001-9078-1442