

НЕЛИНЕЙНЫЙ ПИД-РЕГУЛЯТОР ДЛЯ СИСТЕМЫ МАГНИТНОЙ ЛЕВИТАЦИИ

Бураков М.В.

*Государственный университет аэрокосмического приборостроения,
г.Санкт-Петербург*

Ключевые слова: система магнитной левитации, моделирование, нелинейный ПИД-регулятор, генетический алгоритм.

Аннотация. Рассматривается модель системы магнитной левитации, которая описывает движение стальной сферы в магнитном поле. Существенная нелинейность и неустойчивость этого объекта затрудняют применение линейных регуляторов. Предлагается использовать нелинейный закон управления, реализуемый с помощью генетически обучаемого ПИД-регулятора. Результаты моделирования подтверждают эффективность рассмотренной методики, которая может быть полезна при проектировании широкого круга систем магнитной левитации.

Системы магнитной левитации (МЛ) широко используются в промышленности и на транспорте, и сфера их использования непрерывно растет [1]. Это обуславливает важность проектирования эффективных систем управления МЛ, которые могут обеспечить высокую точность и снизить энергетические затраты.

Рассмотрим математическое описание системы МЛ для металлического шарика, движущегося под воздействием электромагнитного поля.

Динамику электромагнита, в соответствии с законом Ома, можно описать уравнением:

$$u(t) = i(t)R + L \frac{di(t)}{dt}, \quad (1)$$

где R и L – сопротивление и индуктивность катушки электромагнита; u и i – приложенное напряжение и ток катушки.

Из (1) следует:

$$\frac{di(t)}{dt} = -i(t) \frac{R}{L} + \frac{u(i)}{L}. \quad (2)$$

Движение металлического шарика в магнитном поле описывает уравнение баланса силы тяжести и электромагнитной силы [2]:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = mg - k \left(\frac{i}{x} \right)^2, \quad (3)$$

где m – масса шарика, x – расстояние от центра шарика до катушки, k – коэффициент магнитной силы.

Система уравнений (2) и (3) является нелинейной моделью динамики стальной сферы в магнитном поле.

Для управления системой МЛ могут быть использованы традиционные подходы [3, 4], однако моделирование показало, что настройка линейного ПИД-регулятора может быть эффективна только узкого диапазона отклонений положений сферы от выбранной рабочей точки.

Расширение возможностей ПИД-регулятора может быть достигнуто различными способами. В [5] рассмотрен вариант организации нейросетевого супервизора, который изменяет коэффициенты ПИД-регулятора в зависимости от ситуации на объекте. В [6] исследуется трехканальная структура, подобная ПИД-регулятору, но имеющая нелинейные преобразующие функции по каждому из каналов, которые можно рассматривать как нечеткое отображение. Этот подход был применен при управлении рядом нелинейных объектов [7, 8].

Для генетической настройки нелинейного ПИД-регулятора используется схема, представленная на рис. 1 [9].

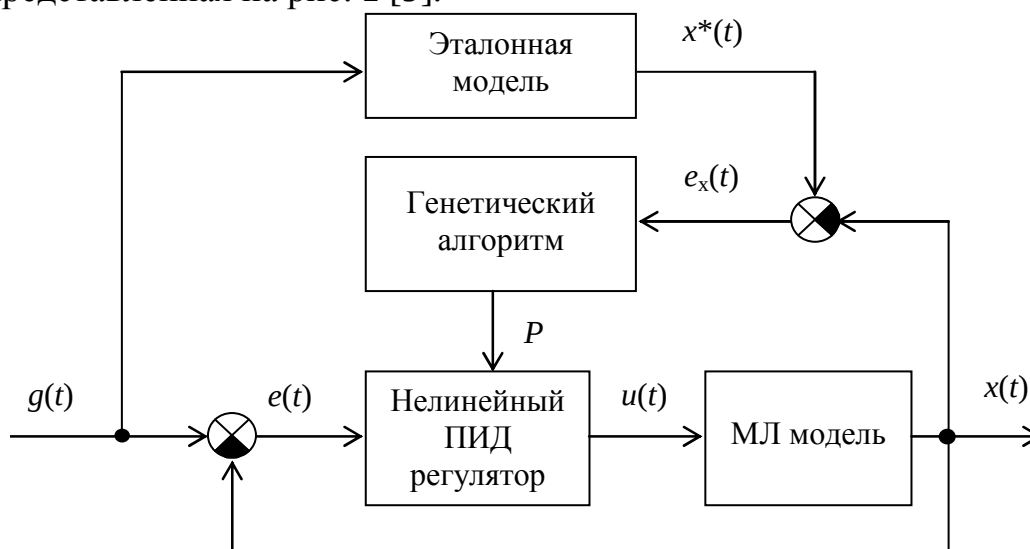


Рис. 1. Генетическое обучение ПИД-регулятора

Вектор P на рис. 1 является хромосомой, которая кодирует параметры трех каналов ПИД-регулятора. Совокупность хромосом, с каждой из которых связывается оценка пригодности, образует популяцию.

При моделировании были использованы следующие параметры системы МЛ: $m = 0.0012$ кг, $k = 0.000124$, $R = 59$ Ом, $L = 0.65$ Гн.

На рис. 2 нелинейные преобразующие функции, которые были получены для каждого из каналов ПИД-регулятора после генетической оптимизации. Нормированная базовая шкала каждого канала разбивается на равные участки, при этом помимо 4 точек, описывающих нечетно-симметричную кусочно-линейную преобразующую функцию, каждый канал имеет собственный коэффициент усиления. Таким образом, длина хромосомы при моделировании составляла 15 действительных чисел. Оптимизация выполнялась с помощью расширения *GA tool MatLab* [10].

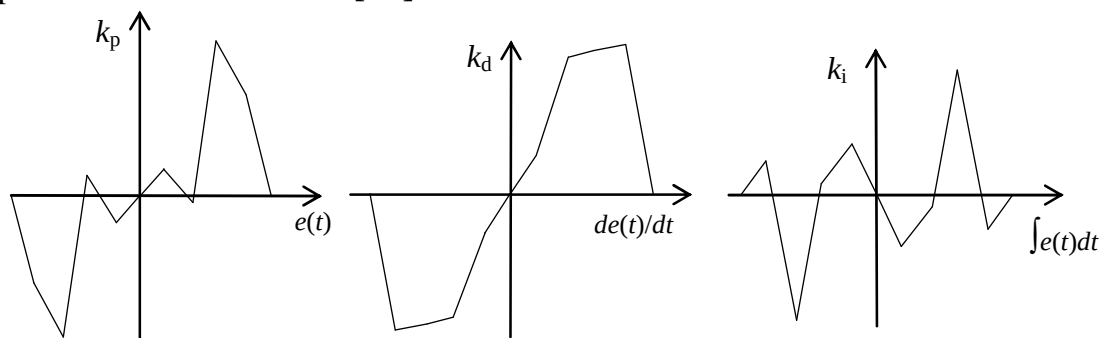


Рис. 2. Нелинейные преобразующие функции каналов ПИД-регулятора

На рис. 3 и 4 представлены переходные процессы, полученные при моделировании в *Simulink MatLab*.

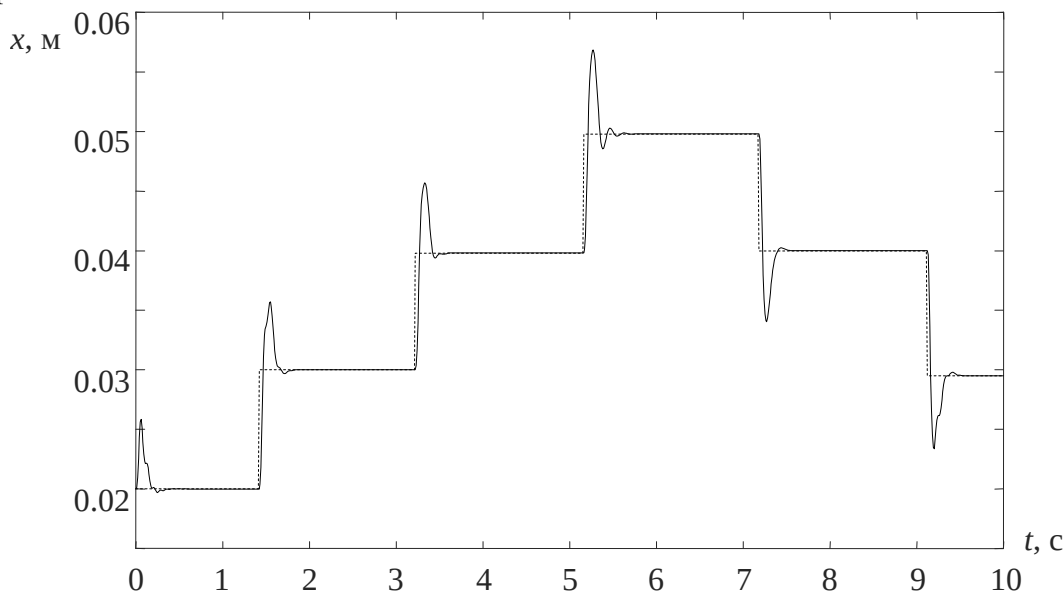


Рис. 3. Переходные процессы в системе: задающее воздействие (пунктир); положение сферы (сплошная)

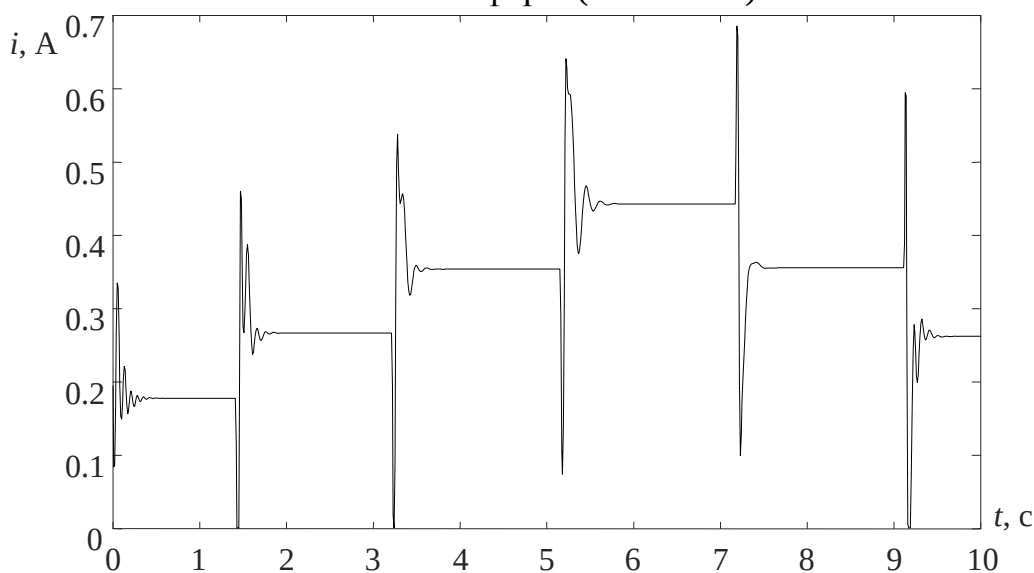


Рис. 4. Изменение силы тока во время переходного процесса

Как показывают рис. 3 и 4, предлагаемый вариант организации системы управления МЛ обеспечивает приемлемое качество управления, при этом потребляемая сила тока не превышает допустимые значения. Таким образом, использование нелинейного ПИД-регулятора с переменным коэффициентом усиления может являться одной из альтернатив при проектировании перспективных систем управления МЛ.

Список литературы

1. Yaghoubi H. The most important maglev applications // Journal of Engineering, 2013. Vol. 1, pp. 1-19.
2. Wong T. Design of a magnetic levitation system, IEEE Transactions on Education. 1986. Vol. 29, pp. 196-200.
3. Kumar P., Minz S. Control of Magnetic Levitation System Using PD and PID controller // International Journal of Scientific Research and Education, Vol. 4 (8) 2016, pp. 5596-5602.

4. Mustapha B.M., Jiya J.D. Sliding mode control of a magnetic levitation system // International Journal of Engineering and Applied Sciences, 2014. Vol. 6 (2), pp. 14-17.
5. Бураков М.В., Зайцев А.А. Супервизор ПИД-регулятора на базе динамической нейронной сети // Мехатроника, автоматика и робототехника. 2018. №2. С. 191-193.
6. Бураков М.В., Кирпичников А.П. Нечеткий регулятор ПИД-типа для нелинейного объекта // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т.18, №4. С. 242-244.
7. Бураков М.В. Нелинейные ПИД-регуляторы для управления электроприводом // Автоматизированный электропривод и промышленная электроника: труды шестой Всероссийской научно-практической конференции, 25–27 ноября 2014г. – Новокузнецк: СибГИУ, 2014. – С. 12-17.
8. Burakov M.V., Kurbanov V.G. Fuzzy PID controller for nonlinear plant // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2016, Vol. 11, no. 9, pp. 5745-5748.
9. Бураков М.В., Коновалов А.С., Яковец О.Б. Эволюционный синтез нечетких регуляторов // Информационно-управляющие системы. 2015. №6. С. 28-33.
10. Бураков М.В. Генетический алгоритм: теория и практика. СПб.: ГУАП, 2008. 164с.

Сведения об авторе:

Бураков Михаил Владимирович – к.т.н., доцент, доцент кафедры управления и информатики в технических системах, ГУАП, г.Санкт-Петербург.

NONLINEAR PID-CONTROLLER FOR MAGNETIC LEVITATION SYSTEMS

Burakov M.V.

Keywords: magnetic levitation system, simulation, non-linear PID controller, genetic algorithm.

Abstract. A model of the magnetic levitation system, which describes the movement of the steel sphere in a magnetic field, is considered. The substantial nonlinearity and instability of this object make it difficult to use linear regulators. It is proposed to use a nonlinear control law that is implemented using a genetically trained PID controller. The simulation results confirm the effectiveness of the considered methodology, which can be useful in designing a wide range of magnetic levitation systems.

References

1. Yaghoubi H. The most important maglev applications // Journal of Engineering, 2013. Vol. 1, pp. 1-19.
2. Wong T. Design of a magnetic levitation system, IEEE Transactions on Education. 1986. Vol. 29, pp. 196-200.
3. Kumar P., Minz S. Control of Magnetic Levitation System Using PD and PID controller // International Journal of Scientific Research and Education, Vol. 4 (8) 2016. pp. 5596-5602.
4. Mustapha B. M., Jiya J. D. Sliding mode control of a magnetic levitation system // International Journal of Engineering and Applied Sciences, 2014. Vol. 6 (2). pp. 14-17.
5. Burakov M.V., Zaytsev A.A. Dynamic Neural Network PID Controller Supervisor // Mechatronics, automation and robotics. 2018. №2. P.191-193.
6. Burakov M.V., Kirpichnikov A.P. Fuzzy PID Controller for Nonlinear Plant // Bulletin of Kazan technological University, 2015, vol.18, no 4, pp. 242–244.
7. Burakov M.V. Nonlinear PID controllers for motor control // Automated electric drive and industrial electronics: proceedings of the sixth all-Russian scientific and practical conference, 25–27 November 2014. - Novokuznetsk: SibSIU, 2014. - P.12-17.
8. Burakov M.V., Kurbanov V.G. Fuzzy PID controller for nonlinear plant // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2016, Vol. 11, no. 9, pp. 5745-5748.
9. Burakov M.V., Konovalov A.S., Yakovets O.B. Evolutionary synthesis of fuzzy controllers // Information and Control Systems, 2015, no. 6, pp. 28-33.
10. Burakov M.V. Genetic Algorithms: Theory and Practice. Saint-Petersburg: GUAP Publ., 2008. 164 p.