

НЕЧЕТКИЙ НАСТРОЙЩИК РЕГУЛЯТОРА СКОРОСТИ ПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА

А.И. Глущенко

СТИ им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС»
Россия, 309516, Старый Оскол, Макаренко, 42
E-mail: strondutt@mail.ru

В.А. Петров

СТИ им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС»
Россия, 309516, Старый Оскол, Макаренко, 42
E-mail: 79040882508@ya.ru

М.Ю. Серов

СТИ им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС»
Россия, 309516, Старый Оскол, Макаренко, 42
E-mail: cerovmaxim1996@gmail.com

Ключевые слова: электропривод, ПИ-регулятор, нечеткий настройщик.

Аннотация: В статье рассматривается вопрос улучшения качества регулирования скорости электропривода постоянного тока. Применение классических ПИ-регуляторов не позволяет в полной мере обеспечить высокую эффективность управления такими объектами ввиду нестационарности их параметров. В этой связи, в работе анализируются существующие подходы к построению адаптивных систем управления и делается вывод о целесообразности использования нечеткой логики для построения настройщика параметров ПИ-регулятора для рассматриваемых объектов. В рамках исследования предложен и реализован настройщик, учитывающий за счет нестандартного выбора входных сигналов требования к качеству переходных процессов.

Классические ПИ-регуляторы являются наиболее распространенным типом регуляторов в промышленности [1]. При этом они обладают существенным недостатком, связанным с тем, что они являются линейными, а большинство реальных объектов управления нелинейны [2]. Например, нелинейность электроприводов постоянного тока обусловлена возможным изменением параметров электродвигателя и тиристорного преобразователя, износом механической части привода [3] и т.д. Применение линейных пропорционально-интегральных (ПИ) регуляторов в системах управления такими объектами зачастую приводит к тому, что с течением времени энергопотребление двигателя возрастает, а качество процесса регулирования снижается [4].

Эффективное управление электродвигателем постоянного тока (ДПТ) возможно на основе применения адаптивных систем управления. Рассмотрим существующие подходы к их разработке.

Адаптивную систему управления электроприводом можно построить, отказавшись от стандартных П и ПИ алгоритмов управления или взяв их за основу и реализовав оперативную настройку их параметров.

Отказ от существующих регуляторов на практике представляется затруднительным. Замена классических ПИ-регуляторов на иные алгоритмы осложнена конструктивными особенностями электроприводов, поскольку структура системы управления жестко запрограммирована и не может быть изменена. При этом возможна настройка параметров системы управления, так как большинство электроприводов позволяют использовать значения коэффициентов регулятора, полученные от вышестоящего контроллера. Исходя из вышесказанного, представляется целесообразным применение адаптивной системы управления ДПТ на базе настройщика параметров ПИ-регулятора.

Методы настройки параметров ПИ-регулятора в режиме реального времени разделяются на классические [5-6] и интеллектуальные [7]. К интеллектуальным методам настройки относятся: нечеткая логика [4, 8-13], нейронные сети [3, 7, 14, 15], генетические алгоритмы [16] и т.д. Применительно же к рассматриваемой задаче, анализ публикаций показал широкое использование нечетких настройщиков параметров регулятора скорости в системах управления электроприводом постоянного тока [8, 9, 12]. Это связано с тем, что нечеткая логика позволяет учитывать специфику объекта управления (ОУ) и использует опыт и знания специалиста в управлении этим объектом, не требуя при этом математической модели ОУ.

Однако, указанные выше нечеткие настройщики не обеспечивают в полной мере компенсацию изменения объекта управления (поддержание постоянной величины перерегулирования и времени переходных процессов) из-за использования в качестве входных переменных ошибки регулирования скорости и скорости изменения этой ошибки. То есть, например, перерегулирование в явном виде не минимизируется [17]. Для устранения данного недостатка предлагается реализация нечеткого настройщика, отличающегося тем, что на его вход будут подаваться значения перерегулирования и времени переходного процесса. Нечеткая система, реализующая настройщик, разработана при помощи инструмента Fuzzy System Designer в LabView. Термы и функции принадлежности для входных и выходных переменных показаны на рис. 1.

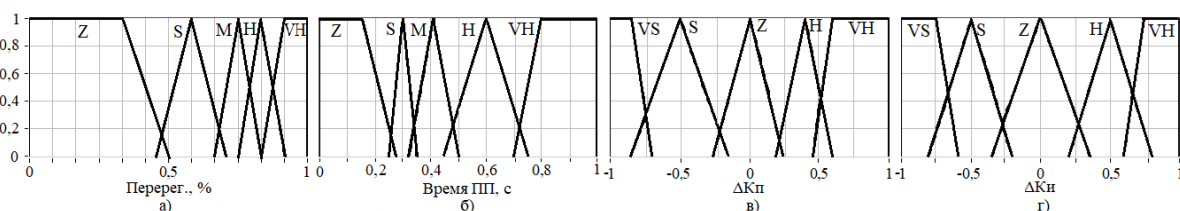


Рис. 1. Термы и функции принадлежности входных и выходных переменных: а) «Перерегулирование», б) «Время переходного процесса», в) «Корректировка коэффициента пропорциональной части», г) «Корректировка коэффициента интегральной части».

Следующим этапом разработки системы нечеткого вывода является определение правил нечеткого вывода. Разработанные правила, используемые в предлагаемом настройщике, представлены в таблице 1.

Таблица 1. База правил системы нечеткого вывода (через знак «/» записаны термы коррекции Кп и Ки соответственно).

| | Z | S | M | H | VH |
|----|------|-----|------|------|------|
| Z | H/H | Z/Z | S/Z | S/S | S/S |
| S | H/Z | Z/Z | S/S | S/S | S/S |
| M | H/Z | Z/Z | S/S | S/S | S/VS |
| H | H/Z | Z/Z | S/S | S/S | S/VS |
| VH | VS/S | H/S | Z/VS | Z/VS | Z/VS |

Исследование эффективности работы предлагаемого настройщика проводилось на электроприводе постоянного тока, входящем в состав экспериментального стенда NI-ELVIS II [3] и на его модели, построенной в Matlab (рис. 2).

Классический ПИ-регулятор скорости ($K_p = 0,01$; $K_i = 0,2$) был настроен так, чтобы при номинальных параметрах стенда обеспечивать перерегулирование около 40 % и время переходного процесса около 1,5 с, что соответствует настройкам на симметричный оптимум. Функции принадлежности входных и выходных переменных были отмасштабированы таким образом (см. выходы блока НН на рис.2), чтобы удерживать качество переходного процесса на уровне классического ПИ-регулятора при номинальных параметрах ОУ и не допускать его ухудшения при изменении параметров ОУ. Входом блока НН является рассогласование, на основании которого после каждого переходного процесса вычисляются его время и перерегулирование. Коэффициенты масштабирования данных переменных были подобраны как 0,2 и 600 соответственно.

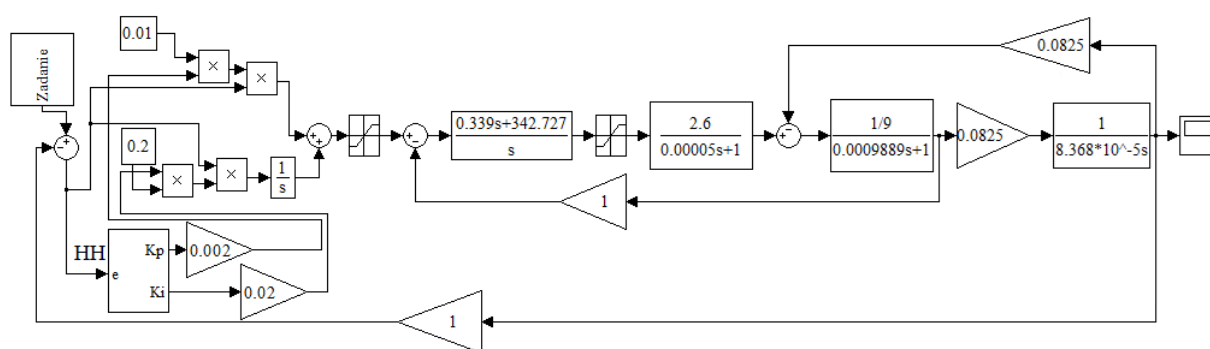


Рис. 2. Модель электропривода лабораторного стенда NI-ELVIS II с нечетким настройщиком параметров ПИ-регулятора скорости.

Результаты модельных экспериментов представлены на рис. 3-5. Суть эксперимента заключалась в сравнении работы модели электропривода лабораторного стенда NI-ELVIS II при использовании классического ПИ-регулятора и предлагаемого настройщика при номинальных параметрах ОУ и при их изменении. В момент времени 0 с и далее через равные интервалы времени (6 с) подается задание на скорость 100 рад/с и двигатель начинает разгоняться. В момент времени 3 с и далее через равные интервалы времени (6 с) задание на скорость снимается и двигатель останавливается.

В момент времени 5,5 с моделируется уменьшение массы груза на валу двигателя в два раза. Общий вид результатов приведен на рис. 3.

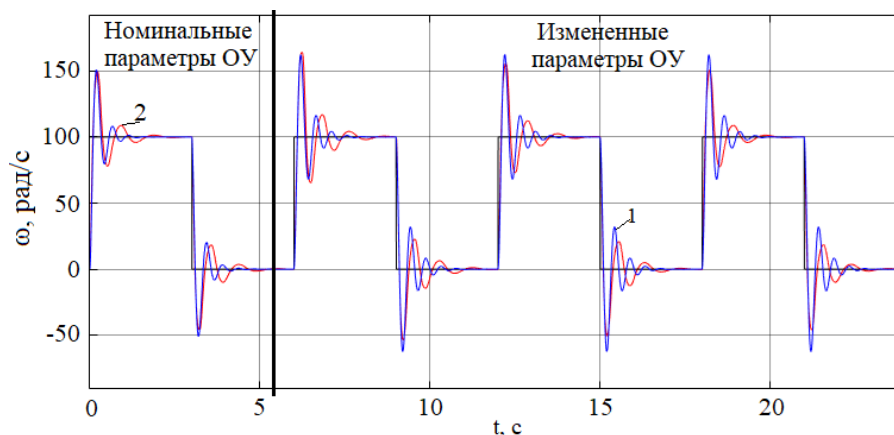


Рис. 3. Сравнение работы модели электропривода лабораторного стенда NI-ELVIS II при использовании классического ПИ-регулятора (1) и предлагаемого настройщика (2) при номинальных параметрах ОУ и при их изменении.

Сначала для обеих систем перерегулирование увеличилось с 50 до 63 % (рис 4. а). Затем предлагаемый настройщик, в отличие от системы с обычным ПИ-регулятором, за несколько переходных процессов подобрал коэффициенты регулятора (рис.5), обеспечивающие сохранение изначального качества переходного процесса (рис 4.б). Нечеткие настройщики, приведенные в работах [8, 9, 12], также были реализованы и протестированы. В аналогичных условиях ни один из них не обеспечил сохранение начального качества управления (перерегулирование по окончании настройки составило 58-62 %).

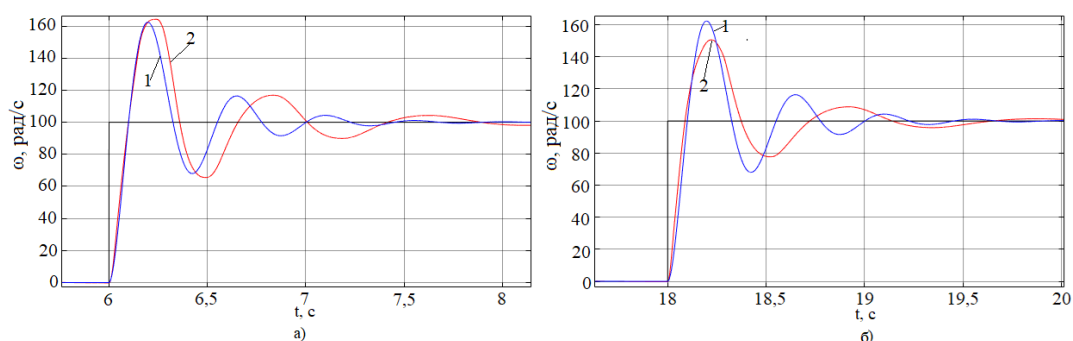


Рис. 4. Работа модели электропривода с ПИ-регулятором скорости (1) и предлагаемым нечетким настройщиком (2) при изменившихся параметрах ОУ (а – первый переходный процесс после изменения ОУ, б – настройщик подобрал коэффициенты регулятора).

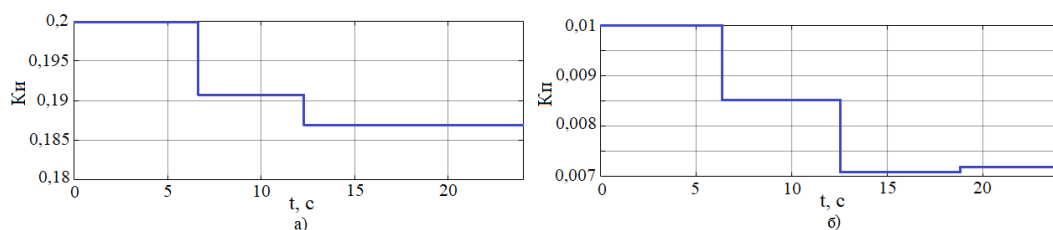


Рис. 5. Изменение K_i (а) и K_p (б) для опыта с предлагаемым нечетким настройщиком.

Далее было произведено исследование эффективности предлагаемого настройщика на лабораторном стенде NI-ELVIS II. Натурный эксперимент был проведен аналогично модельному. Изменение момента инерции достигалось сменой маховика на валу. Произведенные изменения ОУ сначала вызывают ухудшение качества переходных процессов, как в системе с классическим ПИ-регулятором, так и в системе с предлагаемым настройщиком – увеличение перерегулирования с 40 до 55 % (рис 6. а).

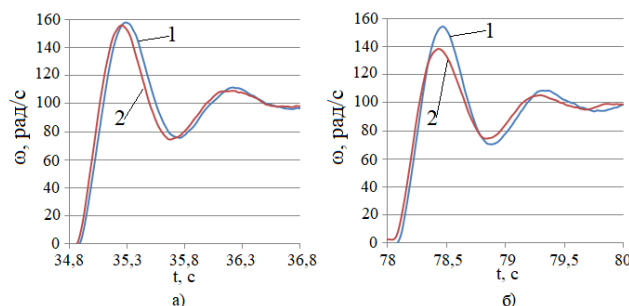


Рис. 6. Работа электропривода с классическим ПИ-регулятором скорости (1) и с предлагаемым нечетким настройщиком (2) при изменившихся параметрах ОУ (а–первый переходный процесс после изменения ОУ, б – настройщик подобрал параметры регулятора).

Результаты экспериментов показывают улучшение качества регулирования при использовании предлагаемого настройщика параметров ПИ-регулятора как на модели, так и для реального электропривода. Это подтверждает его способность обеспечивать сохранение качества переходного процесса при изменении параметров ОУ.

Применение предложенного настройщика, использующего в качестве входных переменных перерегулирование и время переходного процесса, привело к снижению величины перерегулирования (при измененных значениях параметров объекта управления) на 15% относительно классического ПИ-регулятора для реального электропривода на стенде и на 13% – для модели этого электропривода в MatLab. При этом время переходного процесса оставалось неизменным. Его использование в системах управления электроприводом позволит добиться более высокого качества регулирования и сохранять его при изменениях объекта управления.

Список литературы

1. Vilanova R., Visioli A. PID Control in the Third Millennium. Lessons Learned and New Approaches. London: Springer, 2012.
2. Berner J., Soltész K., Hägglund T., Åström K. J. An experimental comparison of PID autotuners // Control Engineering Practice. 2018. Vol. 73. P. 124-133.
3. Еременко Ю.И., Глущенко А.И., Петров В.А. Об адаптивной настройке пропорционально-интегрального регулятора скорости на физической модели электропривода постоянного тока // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 11. С. 101–112.
4. Rigatos G.G. Adaptive fuzzy control of DC motors using state and output feedback // Elect. Power Syst. Res. 2009. Vol. 79, No. 11. P. 1579-1592.
5. Alexandrov A.G., Palenov M. V. Self-tuning PID-I controller // IFAC Proceedings Volumes. 2011. Vol. 44, No. 3. P. 3635-3640.
6. Saxena S., Hote Y.V. Simple approach to design PID controller via internal model control // Arabian journal for science and engineering. 2016. Vol. 41, No. 9. P. 3473–3489.
7. Бобиков А.И., Сурков И.И. Нейросетевое управление скоростью двигателя постоянного тока // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2015. № 52. С. 105-112.
8. Кудинов Ю.И. и др. Построение и настройка нечеткого ПИД-регулятора // Информатика и системы управления. 2016. № 3. С. 86-96.
9. Ahmed H., Rajoriya A. A Hybrid of Sliding Mode Control and Fuzzy Gain Scheduling PID Control using Fuzzy Supervisory Switched System for DC Motor Speed Control System // International Journal of Grid and Distributed Computing. 2016. Vol. 9, No. 5. P. 41-54.
10. Umesh K.B., Rakesh N. Speed Control of DC Motor Using Fuzzy PID Controller // Advance in Electronic and Electric Engineering. 2013. Vol. 3, No 9. P. 1209-1220.
11. Anantwar H., Lakshmikantha B. R., Sundar S. Fuzzy self-tuning PI controller based inverter control for voltage regulation in off-grid hybrid power system // Energy Procedia. 2017. Vol. 117. P. 409–416.
12. Huang J., Wang J., Fang H. An anti-windup self-tuning fuzzy PID controller for speed control of brushless DC motor // Automatica. 2017. Vol. 58, No 3. P. 321-335.
13. Algreer M.M.F., Kuraz Y.R.M. Design Fuzzy Self Tuning of PID Controller for Chopper-Fed DC Motor Drive // Al-Rafidain Engineering. 2008. Vol. 16, No. 2. P. 54-66.
14. Цвенгер И. Г., Низамов И. Р. Применение нейросетевых регуляторов в системах управления электроприводами // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20, № 8. С. 111-114.
15. Евгений А.А. Нейросетевой регулятор системы управления квадрокоптером // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5. С. 61-67.
16. Narayan D. P., Dr. Pratibha T. Comparison between Speed Control DC Motor Using Genetic Algorithm and PSO-PID Algorithm // International Journal of Electrical Engineering & Technology. 2017. Vol. 8, No. 1. P. 17-25.
17. Петров В.А., Серов М.Ю. Нечеткий настройщик параметров ПИ-регулятора скорости электропривода постоянного тока // Сборник трудов XIII Международной научно-практической конференции «Современные сложные системы управления» НТCS '2018. Старый Оскол: ООО «ТНТ», 2018г. С. 76-80.