

Поиск нелинейной функции для ПИД-регулятора

Гринюк Д. А., Сухорукова И. Г., Оробей И. О.

Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники
Белорусский государственный технологический университет
Минск, Республика Беларусь
e-mail: hryniuk@tut.by

Аннотация—Представляются исследования по исследованию возможности нелинейного преобразования сигнала ошибки в классическом ПИД-регуляторе. Оценку нелинейного преобразования производились по модифицированному интегральному критерию качества путем имитационного моделирования в среде Matlab. Среди спектра предложенных функций наилучшими характеристиками проявились у логарифмической функции.

Ключевые слова: нелинейные регуляторы; интегральные критерии качества; ПИД-регулятор.

I. ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее распространенных регуляторов на практике является ПИД-регулятор (пропорционально-интегральный регулятор). Его широко применение связана с универсальностью и большим количеством инструментов для анализа линейных систем. Но у алгоритма присутствуют и недостатки, в первую очередь, интегральное насыщение и регулирование объектов с существенным запаздыванием.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Существуют различные пути повышения регуляторов и уменьшения интегрального насыщения. В частности в регуляторах очень часто используется функция отключения интегрирующей составляющей при большом значении величины рассогласования. Современные вычислительные возможности микропроцессорной техники позволяют реализовать различные алгоритмы, что позволяет не ограничивать себя при исследованиях.

Известны работы [1-5], которые позволяют исключить интегральное насыщение за счет нелинейных преобразований ошибки. Путем выдвижения одинаковых требований к качеству настройки, предлагается сравнить потенциальные возможности нескольких нелинейных решений с учетом классической структуры ПИД-регулятора.

В качестве нелинейной функции выбирались:

$$F(e) = \text{sign}(e) \ln(|e| + 1); \quad (1)$$

$$F(e) = \text{sign}(e) \sqrt{|e|}; \quad (2)$$

$$F(e) = \text{sign}(e) \cdot \left(\sqrt{|e| + 0,0025} - 0,05 \right); \quad (3)$$

$$F(e) = e^3, \quad (4)$$

$$F(e) = e^7, \quad (5)$$

$$F(e) = \text{tg}(e), \quad (6)$$

$$F(e) = \text{arctg}(e), \quad (7)$$

$$F(e) = \sinh(e), \quad (8)$$

$$F(e) = \text{tgh}(e), \quad (9)$$

Структурная схема управления, для которой проводились исследования, представлена на рис. 1.

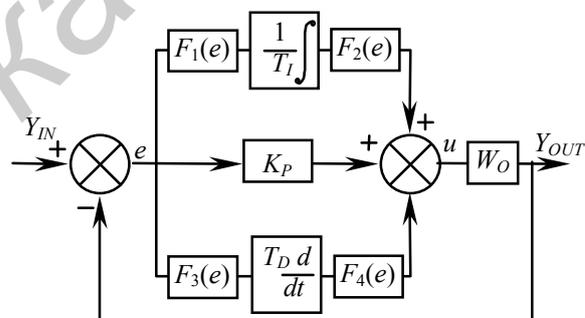


Рис. 1. Общая структура моделирования. Y_{IN} – управляющее воздействие, Y_{OUT} – выходной параметр, e – ошибка управления, u – управляющее воздействие, F – нелинейная функция от ошибки, K_P , T_I , T_D – настройки регулятора, p – оператор Лапласа, W_O – передаточная функция объекта

Кроме, это исследовалась структура с переключением, смысл алгоритма работы которой – переход с аналогового на позиционный режимы в зависимости от уровня ошибки. При аналоговом режиме использовалась нелинейный ПИ-регулятор с использованием (1). Оптимизации подвергались значения настройки ПИ-регулятора и уровень переключения между режимами. Для выше указанных нелинейностей, а также классического ПИД-регулятора, ищались настройки исходя из минимизации интегрального критерия

$$J = \int_0^{\infty} t^2 |e| dt \rightarrow \min. \quad (10)$$

Минимизация данного критерия для большого класса объектов получить компромиссные настройки, которые обеспечивают одновременно небольшое перерегулирование и время переходного процесса. В качестве общего объекта была выбрана передаточная функция со следующими параметрами:

$$W_O = \frac{1}{900p^2 + 60zp + 1} \exp(-\tau p), \quad (11)$$

где z – коэффициент колебательности; τ – время запаздывание.

Величина коэффициента колебательности и время запаздывание принимала фиксированные значения $z = [0,5 \ 0,75 \ 1 \ 1,1 \ 1,2 \ 1,5 \ 2]$ и $\tau = [0,5 \ 5 \ 10 \ 25 \ 40]$.

Поиск настроек осуществлялся в программном пакете MatLAB путем численного моделирования, вычислением интегрального критерия переходного процесса на фиксированном диапазоне и с последующей корректировкой K_p , T_I и T_D .

Поскольку одной из задач нелинейной структуры было борьба с интегральным насыщением, то после поиска для линейного объекта вводилось звено ограничения на управляющее воздействие и оптимизация проводилась повторно.

III. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Количество полученных данных велико для представления в рамках небольшой статьи. Безусловного лидера нет на исследованном диапазоне значений z и времени запаздывания. Для примера приведем данные для лучших комбинаций функции при $z = 1,2$ (табл. 1 – табл.3) при разных значениях запаздывания.

Табл. 1. РЕЗУЛЬТАТЫ ОПТИМИЗАЦИИ КОЭФФИЦИЕНТОВ РЕГУЛЯТОРОВ ПРИ ВРЕМЕНИ ЗАПАЗДЫВАНИЯ 5 СЕК

| Функция преобразования согласно рис. 1. | T_i | K_p | T_d | Инт. ошибка |
|---|-------|-------|--------|-------------|
| (1) на F1 (6) на F2 | 10,10 | 19,25 | 121,9 | 1460,78 |
| Линейный | 15,84 | 11,39 | 110,29 | 2250,27 |
| Только (1) на F1 | 12,14 | 10,59 | 103,36 | 2379,67 |
| (6) на F1 и на F2 | 19,97 | 16,56 | 109,8 | 2648,49 |
| (1) на F1 (8) на F2 до Td | 12,81 | 10,63 | 95,379 | 2674,85 |
| (9) на F1 (8) на F2 до Td | 14,46 | 10,35 | 93,837 | 2844,39 |
| (9) на F1 после (8) на F2 после Td | 17,71 | 9,439 | 83,433 | 3534,89 |

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1) линейный регулятор имеет преимущества по интегральному критерию только для объектов с малыми значениями z и величины запаздывания. Свои преимущества реализуются за счет большой величины коэффициента усиления. При введении ограничений на управляющее воздействие преимущества линейного регулятора исчезают;

2) в случае, когда запаздывание сравнимо с постоянной времени или даже несколько больше нелинейные преобразования обеспечивают преимущества не только по интегральному критерию, но другим качествам переходного процесса. И здесь снова преимущества за нелинейными функциями логарифм, тангенс, арктангенс.

Табл. 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ОПТИМИЗАЦИИ КОЭФФИЦИЕНТОВ РЕГУЛЯТОРОВ ПРИ ВРЕМЕНИ ЗАПАЗДЫВАНИЯ 25 СЕК

| Функция преобразования согласно рис. 1. | T_i | K_p | T_d | Инт. ошибка |
|---|-------|-------|-------|-------------|
| (1) на F1 до Td (7) на F2 до Td | 19,26 | 4,29 | 53,44 | 9872,567 |
| (1) на F1 (6) на F2 | 40,30 | 2,10 | 26,75 | 78900,09 |
| (7) на F1 до Td (6) на F2 до Td | 47,33 | 1,96 | 24,78 | 90554,14 |
| (9) на F1 (8) на F2 до Td | 46,85 | 1,79 | 25,80 | 96431,46 |
| (1) на F1 (8) на F2 до Td | 41,91 | 1,79 | 25,48 | 97832,06 |
| (9) на F1 после (8) на F2 после Td | 59,09 | 1,67 | 24,48 | 99511,60 |
| линейный | 57,12 | 1,77 | 29,77 | 104800,0 |
| только (1) на F1 | 42,16 | 1,71 | 26,36 | 106492,8 |

Табл. 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОПТИМИЗАЦИИ КОЭФФИЦИЕНТОВ РЕГУЛЯТОРОВ ПРИ ВРЕМЕНИ ЗАПАЗДЫВАНИЯ 0,5 СЕК

| Функция преобразования согласно рис. 1. | T_i | K_p | T_d | Инт. ошибка |
|---|-------|-------|--------|-------------|
| (1) на F1 (6) на F2 | 10,10 | 19,25 | 121,9 | 1460,78 |
| Линейный | 15,84 | 11,39 | 110,29 | 2250,27 |
| Только (1) на F1 до Td | 12,14 | 10,59 | 103,36 | 2379,67 |
| (6) на F1 и на F2 | 19,97 | 16,56 | 109,8 | 2648,49 |
| (1) на F1 (8) на F2 до Td | 12,81 | 10,63 | 95,379 | 2674,85 |
| (9) на F1 (8) на F2 до Td | 14,46 | 10,35 | 93,837 | 2844,39 |
| (9) на F1 после (8) на F2 после Td | 17,71 | 9,439 | 83,433 | 3534,89 |

3) алгоритм с переключение не позволяет получить высокий результат на выбранном диапазоне исследования.

4) использование функций с введением в степень и извлечением корня не продемонстрировали хороших результатов. Скорее всего это обусловлено нулевой величиной производной (или бесконечностью) при значении ошибки равной 0. Введение смещений функций усложнит процесс настройки при практическом использовании.

Окончательные выводы для прикладного использования можно будет сделать только при тестировании работы алгоритмов еще по каналу возмущения и работе при наличии помех.

А. Список использованных источников

- [1] Олссон Г., Пиани Дж. Цифровые системы автоматизации и управления. — СПб.: Невский проспект, 2001. — 557 с.
- [2] Пат. 5,570,282 США МКИ G05B 013/02. Multivariable nonlinear process controller P.D. Hansen, P.C. Badavas; The Foxboro Company. — № 333161; Заявл. 29.10.1996; Опубл. 01.11.1994; НКИ 700/41. — 15 с.
- [3] Пат. 5,570,282 США МКИ G05B 005/01. Positional control method and system utilizing same R.A. Morse; D.P. Chia; K.A. Stoddard; GMF Robotics Corporation. — № 865763; Заявл. 23.02.1988; Опубл. 22.05.1986; НКИ 318/616. — 8 с.
- [4] Пат 2120655 РФ МКИ G05B011/36. Пропорционально-интегральный регулятор с ограничениями выходных сигналов/ Говоров А.А., Баженов А.В., Говоров С.А. — № 98102222; Заявл. 19.08.1997; Опубл. 11.01.1995. — 5 с.
- [5] Пат 2120654 РФ МКИ G05B011/36. Пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор с ограничениями выходных сигналов/ Говоров А.А., Баженов А.В., Говоров С.А.. — № 98101674; Заявл. 19.08.1997; Опубл. 11.01.1995. — 6 с.