



- [13]. Bioinformatics Laboratory, U., 2022. Mosaic Display. [online] Orangedatamining.com. Available at: <<https://orangedatamining.com/widget-catalog/visualize/mosaicdisplay>> [Accessed 25 March 2022].
- [14]. Bioinformatics Laboratory, U., 2022. Pythagorean Tree. [online] Orangedatamining.com. Available at: <<https://orangedatamining.com/widget-catalog/visualize/pythagoreantree>> [Accessed 26 March 2022].
- [15]. Bioinformatics Laboratory, U., 2022. Save Data. [online] Orangedatamining.com. Available at: <<https://orangedatamining.com/widget-catalog/data/save>> [Accessed 26 March 2022].

Отримана в редакції 28.01.2022. Прийнята до друку 22.02.2022. Received 28 January 2022. Approved 22 February 2022. Available in Internet 15 March 2022.

УДК 681.5.033.3

ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМИ PID TUNER MATLAB

Левінський М.В.¹, Левінський В.М.²

¹ Національний університет «Одеська морська академія», ² Одеський національний технологічний університет, м. Одеса, Україна

ORCID: ¹ 0000-0002-6544-5110, ² 0000-0002-3563-528X

E-mail: ¹ MaxLevinskyi@gmail.com, ² ValeryLevinskyi@gmail.com

Copyright © 2021 by author and the journal “Automation of technological and business – processes”.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI: 10.15673/atbp.v14i1.2275

Анотація. Актуальність. Налаштування ефективних параметрів регулятора як при моделюванні САР, так і на реальному об'єкті, залишається актуальною задачею при побудові систем регулювання, зважаючи на суперечливі вимоги у забезпеченні високої динамічної точності стабілізації регульованої змінної і стійкості системи. Ця задача потребує крім знань теорії автоматичного керування, також і навиків застосування сучасних пакетів програм MATLAB, що забезпечують аналіз і синтез систем керування.

Мета. Провести тестування програми PID Tuner у визначенні параметрів регулятора нелінійної САР при різних значеннях запізнення в каналі регулювання.

Метод. В якості методу дослідження обрано моделювання САР в середовищі Simulink.

Результати. Наведено експериментальні дані, які характеризують роботоспроможність програми PID Tuner в умовах зміни часу запізнення в об'єкті керування.

Висновки. Програма PID Tuner може бути рекомендована для підготовки спеціалістів з автоматизації виробничих процесів в отриманні навичок з налаштування параметрів регулятора САР.

Abstract. Topicality. Adjusting effective controller parameters both during ACS (automatic control system) simulation and with real control object, remains topical task during control systems design, because of the contradicting requirements: to ensure high dynamic accuracy of the controlled variable stabilization and system stability. This task requires not only knowledge of the Automatic Control Theory but also skills of using modern MATLAB programs which provide functionality of control systems analysis and synthesis.

Goal. To carry out testing of PID Tuner program when tuning controller parameters of the non-linear ACS with different time delay values in the control channel.

Means. ACS modelling in Simulink environment was chosen as means of research.

Results. Experimental data, which describe performance efficiency of the PID Tuner program in the conditions of control object time delay change, is shown.

Conclusions. PID Tuner Program can be recommended for training of specialists in automatic control to obtain skills in ACS controller parameters tuning.

Ключові слова: програма PID Tuner MATLAB, налаштування параметрів регулятора САР.

Key words: MATLAB PID Tuner program, ACS controller parameters tuning.

1. Вступ

Налаштування ефективних параметрів регулятора як при моделюванні системи автоматичного регулювання (САР), так і на реальному об'єкті керування (ОК), залишається актуальною задачею при побудові систем регулювання, зважаючи на суперечливі вимоги у забезпеченні високої динамічної точності стабілізації регульованої змінної і



одночасно стійкості системи. Ця задача потребує, крім знань теорії автоматичного керування, також і навиків застосування сучасних пакетів програм MATLAB, що забезпечують аналіз і синтез систем керування.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Для налаштування структури і параметрів регулятора САР і коригуючих зв'язків в середовищі MATLAB використовують пакет програм Control System Designer [1], який включає до свого складу графічні методи (Bode, Closed-Loop Bode, Root Locus, Nichols Editors) та автоматизовані методи (PID, Optimization, IMC Tunings, LQS Synthesis, Loop Shaping). Більшість з цих методів потребує теоретичної підготовки як мінімум в рамках [2,3] та наявності відповідних навиків, що створює певні проблеми для користувача при їх використанні.

Більш комфортним для застосування є метод, реалізований в програмі PID Tuner, в рамках якого автоматично проводиться лінеаризація моделі ОК та подальший розрахунок параметрів ПІД-регулятора.

3. Мета і завдання дослідження:

провести тестування програми PID Tuner у визначенні параметрів регулятора нелінійної САР при різних значеннях запізнення в каналі регулювання. Це дасть змогу, до певної міри, оцінити доцільність використання програми в учбових задачах і на практиці при налагодженні САР.

4. Методи і матеріали досліджень

В якості методу дослідження обрано моделювання тестової САР в середовищі Simulink [4]. При цьому передатна функція лінійної частини ОК визначена як $W(s) = \exp(\tau) / (Ts + 1)^2$, де τ – час запізнення, а T – постійна часу ОК. Коефіцієнт передачі k об'єкту під час імітаційних експериментів змінювався в блоці Lookup Table (див. рис. 1).

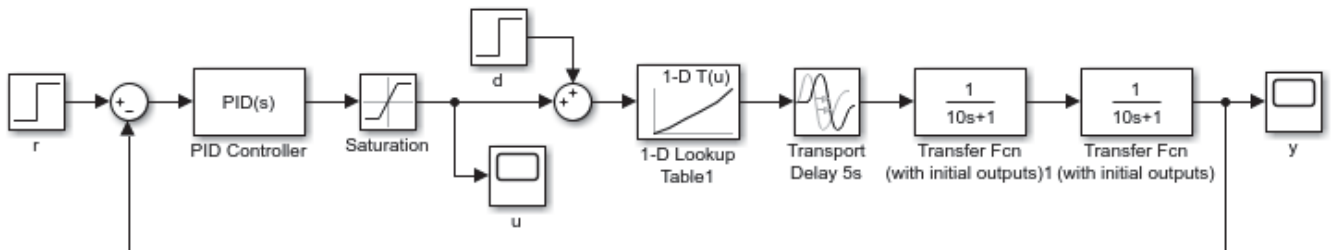


Рис. 1. – Схема моделювання тестової САР в Simulink

Початкові параметри ПІД-регулятора з бібліотеки Simulink (рис. 2) забезпечували стійкі перехідні процеси в САР під дією змін заданого значення та збурення.

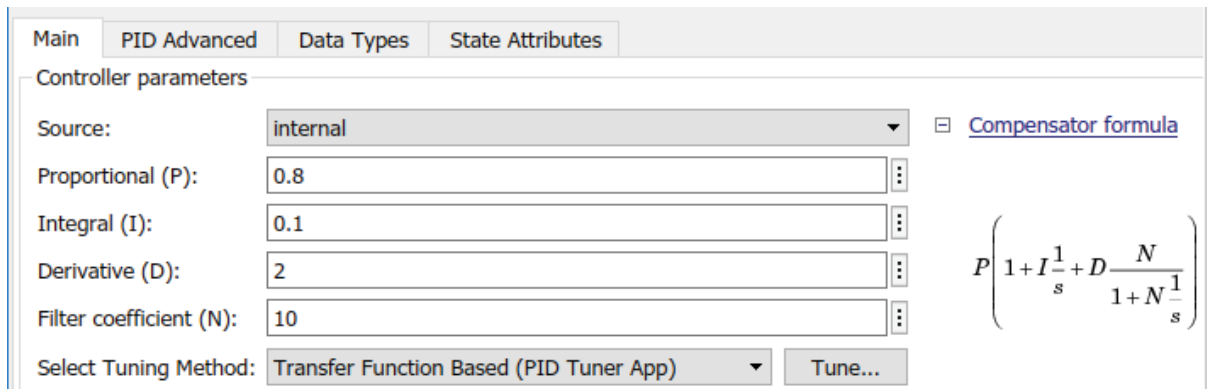


Рис. 2 – Приклад встановлення параметрів ПІД-регулятора

Після натискання на кнопку Tune у вікні вибору параметрів регулятора (див. рис. 2) програма PID Tuner автоматично визначала лінеаризовану модель ОК і розраховувала значення параметрів регулятора, які забезпечують компроміс якості перехідних процесів по каналу відтворення змін заданого значення (Reference tracking) та по каналу зовнішніх збурень (Input Disturbance rejection). Приклад результатів роботи програми наведений на рис. 3.

Користувачу програми надається можливість на графіках порівняти показники якості САР при початкових налаштуваннях регулятора (варіант Blok response) та отриманих в результаті розрахунків (варіант Tuned response), в тому числі і запаси стійкості по критерію Найквіста в частотній області. Подальшу корекцію налаштувань регулятора можна провести в ручному режимі, змінюючи положення повзунків Response Time та Transient Behavior у вікні програми. Після натискання на кнопку Update Block обрані параметри завантажуються в ПІД-регулятор програми Simulink. Це дозволяє оперативно перевірити коректність їх визначення при моделюванні нелінійної САР (рис. 4).



5. Результати досліджень

Щоб оцінити роботоспроможність алгоритмів програми PID Tuner, проведені експерименти з імітаційною моделлю CAP за рис. 1 при різних значеннях часу запізнення τ_{OK} та незмінних інших параметрах моделі, результати яких наведені на рис. 5.

Після одержання обчислених (Tuned) параметрів ПІД-регулятора для кожного варіанту змін τ було проведено моделювання нелінійної CAP в Simulink, яке підтвердило подібність характеру перехідних процесів із тими, що були в програмі PID Tuner. Окремо слід відзначити варіант із $\tau = 20$ с, в якому CAP із початковими параметрами ПІД-регулятора (варіант Block) виявилася нестійкою. Тим не менш, в програмі PID Tuner були обчислені параметри ПІД-регулятора (варіант Tuned), які при перевірці нелінійної CAP в Simulink дали стійкі перехідні процеси.

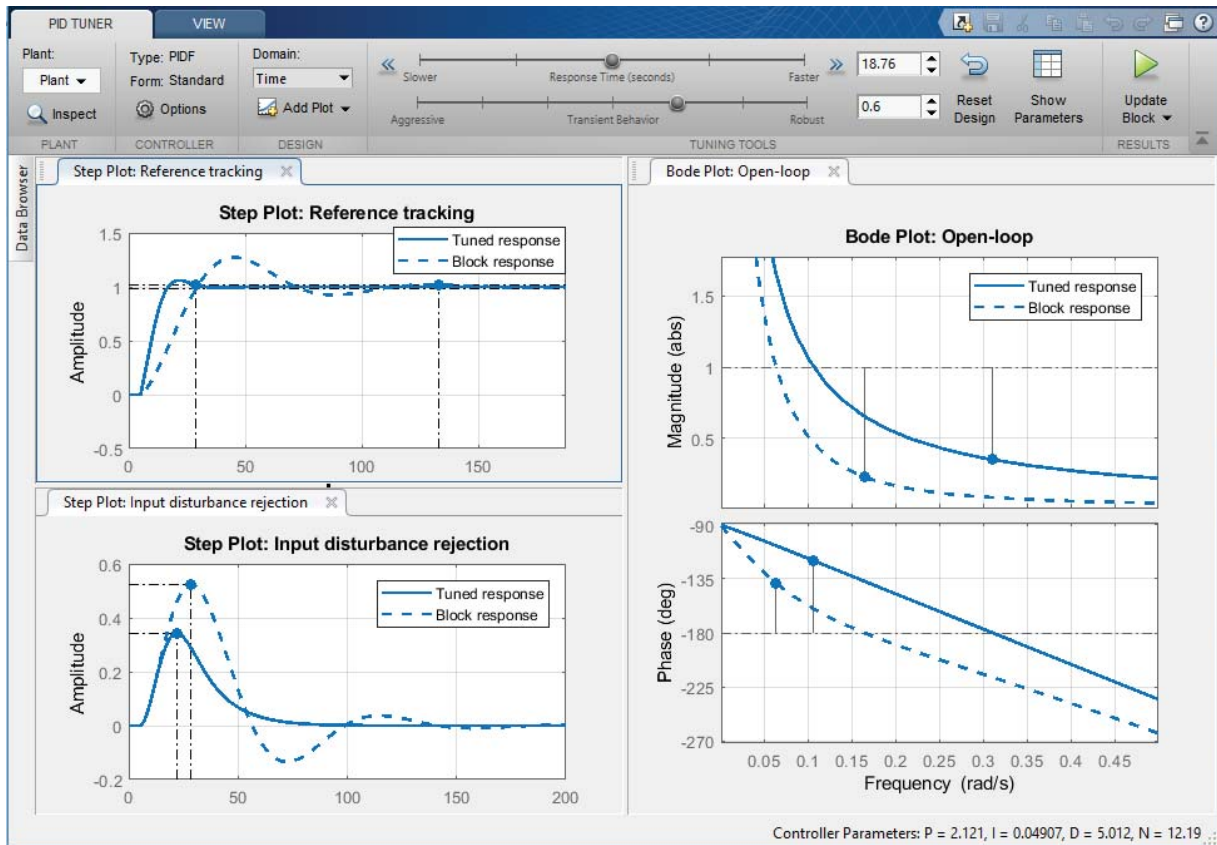


Рис. 3 – Результати роботи програми PID Tuner

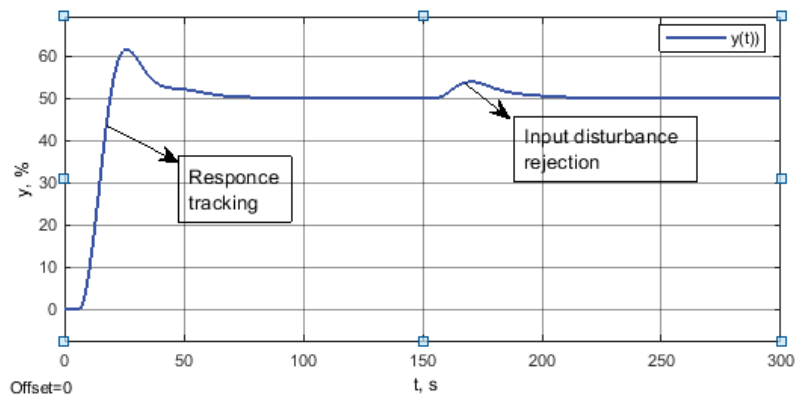


Рис. 4 – Приклад графіку регульованої змінної в програмі Simulink з обраними в програмі PID Tuner параметрами ПІД-регулятора



Controller Parameters		
	Tuned	Block
P	2.0887	0.8
I	0.063738	0.1
D	3.7393	2
N	12.1852	10

Performance and Robustness		
	Tuned	Block
Rise time	14 seconds	21.3 seconds
Settling time	45.3 seconds	70.6 seconds
Overshoot	5.05 %	12.7 %
Peak	1.05	1.13
Gain margin	25 dB @ 1.41 rad/s	37 dB @ 1.23 rad/s
Phase margin	69 deg @ 0.107 rad/s	56.1 deg @ 0.0636 rad/s
Closed-loop stability	Stable	Stable

$\tau = 1$ c

Controller Parameters		
	Tuned	Block
P	2.1211	0.8
I	0.049072	0.1
D	5.0116	2
N	12.1852	10

Performance and Robustness		
	Tuned	Block
Rise time	8.55 seconds	17.7 seconds
Settling time	28.5 seconds	133 seconds
Overshoot	5.88 %	27.2 %
Peak	1.06	1.27
Gain margin	9.2 dB @ 0.311 rad/s	12.9 dB @ 0.164 rad/s
Phase margin	60 deg @ 0.107 rad/s	41.5 deg @ 0.0636 rad/s
Closed-loop stability	Stable	Stable

$\tau = 5$ c

Рис. 5 – Вплив часу запізнення τ ОК на обчислені параметри ПІД-регулятора та показники якості САР

Controller Parameters		
	Tuned	Block
P	1.3503	0.8
I	0.037951	0.1
D	5.3428	2
N	7.2264	10

Performance and Robustness		
	Tuned	Block
Rise time	12.8 seconds	15.8 seconds
Settling time	73.9 seconds	280 seconds
Overshoot	5.96 %	55.9 %
Peak	1.06	1.56
Gain margin	7.19 dB @ 0.166 rad/s	4.67 dB @ 0.092 rad/s
Phase margin	64.5 deg @ 0.0632 rad/s	23.3 deg @ 0.0636 rad/s
Closed-loop stability	Stable	Stable

$\tau = 10$ c

Controller Parameters		
	Tuned	Block
P	1.1069	0.8
I	0.034303	0.1
D	5.7046	2
N	5.3752	10

Performance and Robustness		
	Tuned	Block
Rise time	15.4 seconds	15.5 seconds
Settling time	93.6 seconds	1.79e+03 seconds
Overshoot	10.3 %	91.6 %
Peak	1.1	1.92
Gain margin	5.98 dB @ 0.118 rad/s	0.793 dB @ 0.068 rad/s
Phase margin	64.5 deg @ 0.047 rad/s	5.09 deg @ 0.0636 rad/s
Closed-loop stability	Stable	Stable

$\tau = 15$ c

Controller Parameters	
	Tuned
P	0.42457
I	0.05385
D	0
N	100

Performance and Robustness	
	Tuned
Rise time	36.4 seconds
Settling time	121 seconds
Overshoot	7.5 %
Peak	1.07
Gain margin	8.22 dB @ 0.0649 rad/s
Phase margin	60 deg @ 0.0236 rad/s
Closed-loop stability	Stable

$\tau = 20$ c

Рис. 5 – (закінчення) Вплив часу запізнення τ ОК на обчислені параметри ПІД-регулятора та показники якості САР

6. Обговорення результатів

Під час експериментів було виявлено, що зміна коефіцієнта передачі ОК в діапазоні $k = 0,8 \dots 1,2$ не впливає на роботоспроможність програми PID Tuner.

Моделювання САР в Simulink проводилося із кроком квантування за часом $\Delta t = 0,1$ сек. Такий крок був обраний свідомо як найпоширеніший, що встановлюється на промислових контролерах при реалізації ПІД-регулятора. На



жаль, програма PID Tuner не враховує обмеження, які накладаються кроком квантування, і тому для деяких варіантів обчислення Д-складової алгоритму можна отримати фізично нездійсненні значення параметру N - Filter Coefficient.

7. Висновки

Тестування програми PID Tuner підтвердило її роботоспроможність при визначенні параметрів ПІД-регулятора нелінійної САР при різних значеннях запізнення в каналі регулювання. Дана програма комфортна для використання і може бути рекомендована для підготовки спеціалістів з автоматизації виробничих процесів в отриманні навичок з налаштування параметрів регулятора САР.

Список використаних джерел

- [1] <https://www.mathworks.com/help/control/ug/getting-started-with-the-control-system-designer.html>
- [2] Karl Johan Astrom and Tore Hagglund. *Advanced PID control*. USA: ISA, 2006.
- [3] Sigurd Skogestad, "Simple analytic rules for model reduction and PID controller tuning" *Journal of Process Control*, no. 13, pp. 291-309, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0959-1524\(02\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0959-1524(02)00062-8)
- [4] Дьяконов В. *Simulink 5/6/7: Самоучитель*. Москва: ДМК-Пресс, 2008.

References

- [1] <https://www.mathworks.com/help/control/ug/getting-started-with-the-control-system-designer.html>
- [2] Karl Johan Astrom and Tore Hagglund. *Advanced PID control*. USA: ISA, 2006.
- [3] Sigurd Skogestad, "Simple analytic rules for model reduction and PID controller tuning" *Journal of Process Control*, no. 13, pp. 291-309, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0959-1524\(02\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0959-1524(02)00062-8)
- [4] Dyakonov V. *Simulink 5/6/7: Samouchitel*. Moskva: DMK-Press, 2008.

Отримана в редакції 31.01.2022. Прийнята до друку 22.02.2022. Received 31 January 2022. Approved 22 February 2022. Available in Internet 15 March 2022.

УДК 004.42

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДОЗУВАННЯ РІДКИХ ПРОДУКТІВ

Голубєв Л.П.¹, Резніков С.А.²

^{1,2}Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", проспект Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна
ORCID: ¹ 0000-0002-2980-8017, ² 0000-0002-0323-4457
E-mail: ¹ golubevl@ukr.net, ² reznikov_sa@ukr.net

Copyright © 2021 by author and the journal "Automation of technological and business – processes".
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI: 10.15673/atbp.v14i1.2276

Анотація. У статті виконано дослідження дозування рідких продуктів. У роботі харчових, текстильних та фасувальних підприємств операції дозування виконуються дуже часто. Тому проблема автоматизації цих операцій стоїть особливо гостро. Автоматизація дозування дозволяє вивільнити робітників для виконання інших операцій, забезпечити більш точне дозування продукту. Авторами розроблено новий підхід до виконання операції порційного дозування рідких продуктів. Він заснований на застосуванні для управління дозуванням мікропроцесорної системи, а як порційний датчик використаний тензодатчик, що забезпечує високу точність вимірювань. В якості мікропроцесорної системи була використана плата Arduino UNO. Розроблено макет автоматизованої системи дозування рідких продуктів. Проектування мікропроцесорної системи управління виконувалось за допомогою системи FProg, яка дозволяє використовувати засоби візуального програмування, що суттєво прискорює та спрощує процес проектування. Перед початком роботи системи виконується калібрування тензодатчика, встановлення ваги в нульове положення та облік ваги тари. У процесі роботи здійснюється зважування порції рідини і, якщо досягнуто задане значення, припиняється її подача. Інформація про поточне значення ваги рідини, що дозується, і кількість виконаних дозувань відображається на LCD екрані. Розроблена система є універсальною – її можна використовувати для великого спектру рідин, що дозуються, а також, після невеликої доробки, і для сипких продуктів. Невелика вартість