



УДК 681.5.033.3

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ РЕГУЛЯТОРА В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB

OPTIMIZATION OF CONTROLLER PARAMETERS IN THE MATLAB ENVIRONMENT

Левінський М.В.¹, Левінський В.М.²Levinsky M.V.¹, Levinsky V.M.²¹ Національний університет «Одеська морська академія»,² Одеський національний технологічний університет, м. Одеса, Україна¹National University "Odesa Maritime Academy",²Odesa National University of Technology, Odesa, UkraineORCID: ¹ 0000-0002-6544-5110, ² 0000-0002-3563-528XE-mail: ¹ MaxLevinskyi@gmail.com, ² ValeryLevinskyi@gmail.com

Copyright © 2025 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.v17i2.3155

Анотація. Актуальність. Налаштування параметрів регулятора за інтегральними критеріями якості 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.

Мета. Провести тестування програми Response Optimizer у визначенні параметрів регулятора нелінійної САР за інтегральними критеріями якості.

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

Результати. Наведено приклади оптимального параметричного синтезу САР з використанням програми Response Optimizer.

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

Abstract. Relevance. Tuning controller parameters based on integral quality criteria—both in automatic control system (ACS) modeling and on real-world objects—remains a relevant task in the design of control systems, considering the conflicting requirements for achieving high dynamic accuracy in stabilizing the controlled variable and ensuring system stability.

Objective. To test the Response Optimizer program in determining the parameters of a nonlinear ACS controller using integral quality criteria.

Method. ACS modeling in the Simulink environment was chosen as the research method.

Results. Examples of optimal parametric synthesis of ACS using the Response Optimizer program are provided.

Conclusions. The Response Optimizer program can be recommended for training specialists in the automation of production processes, helping them acquire skills in tuning ACS controller parameters.

Keywords: Response Optimizer program, ACS controller parameter tuning.

Ключові слова: програма Response Optimizer, налаштування параметрів регулятора САР.

1. Вступ

Налаштування ефективних параметрів регулятора є актуальною задачею при побудові систем регулювання, зважаючи на суперечливі вимоги у забезпеченні високої динамічної точності стабілізації регульованої змінної об'єкта керування і одночасно стійкості системи. Ці вимоги до певної міри забезпечуються при використанні відомих інженерних методик [1, 2]. Однак, за допомогою програм синтезу із середовища MATLAB/Simulink, можна знайти налаштування, які краще відповідають конкретним умовам функціонування систем регулювання.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Питання аналізу і синтезу систем автоматичного регулювання (САР) засобами MATLAB/Simulink вже розглядалися авторами в попередніх статтях. Так, приклади ідентифікації параметрів об'єкта керування (ОК) в програмі IDENT за результатами активного і пасивного експерименту наведені в [3, 4], а налаштування параметрів регулятора за допомогою програми PID Tuner наведені в [5].



До недоліків програми PID Tuner можна віднести її прив'язку лише до блоку PID Controller середовища Simulink та приховані від користувача критерії пошуку налаштувань.

Більші функціональні можливості для оптимального параметричного синтезу САР має програма Response Optimizer [6]. Вона дозволяє, наприклад, знаходити оптимальні параметри регулятора, структура якого задається користувачем, за інтегральними критеріями якості, прийнятими в класичній теорії автоматичного регулювання [1].

3. Мета і завдання дослідження:

за допомогою програми Response Optimizer визначити параметри регулятора САР, які мінімізують інтегральний показник якості, та перевірити можливість застосування цих параметрів у випадку зміни часу запізнення в об'єкті керування. Це дасть змогу, до певної міри, оцінити доцільність використання програми в учбових задачах і на практиці при налагодженні САР.

4. Методи і матеріали досліджень

Дослідження тестової САР проводилося методом її моделювання в середовищі Simulink [6]. Передатна функція лінійної частини ОК визначена як $W(s) = \exp(\tau s) / (Ts + 1)^2$, де τ – час запізнення, а T – постійна часу ОК. Коефіцієнт передачі k об'єкту під час імітаційних експериментів змінювався в блоці Lookup Table. Ставилась задача визначення параметрів ПІД-регулятора k_r , T_{iz} , T_{pr} , які б мінімізували інтегральний модульний критерій $Krit(t) = \int_0^t |Error(t)| dt$ (див. рис. 1). Послідовність дій при моделюванні може бути наступною.

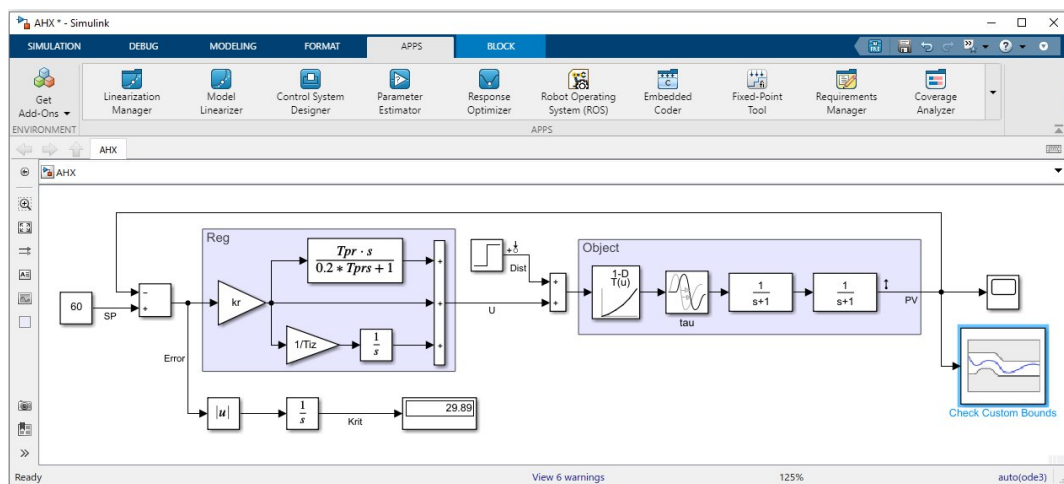


Рис. 1 Схема моделювання тестової САР в Simulink
Fig. 1 Scheme of simulation of test ATS in Simulink

Параметри ПІД-регулятора, які на початку можуть бути визначені за інженерними методиками [1, 2], доцільно задати в m-файлі (рис. 2). В Simulink-моделі САР початкові умови в динамічних ланках треба виставити таким чином, щоб забезпечити рух регульованої змінної $PV(t)$ ОК лише при зміні зовнішнього збурення $Dist(t)$. Для контролю за змінами $PV(t)$ можна задати регламентні зони в блоці Check Custom Bounds.

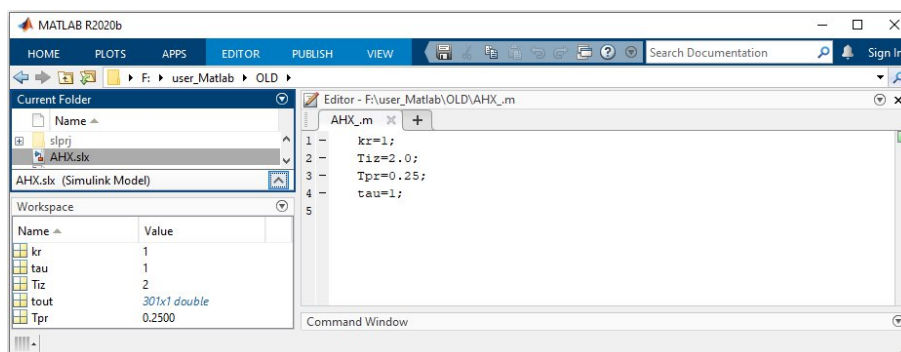


Рис. 2 Приклад встановлення початкових параметрів ПІД-регулятора
Fig. 2 Example of the PID controller initial parameters settings

Виклик програми Response Optimizer здійснюється на вкладці APPS середовища Simulink. В програмі пропонуються багато варіантів оптимізації САР, з яких для визначення параметрів регулятора за інтегральними критеріями треба на панелі інструментів натиснути на кнопку New і обрати варіант Signal Property (див рис. 3а).

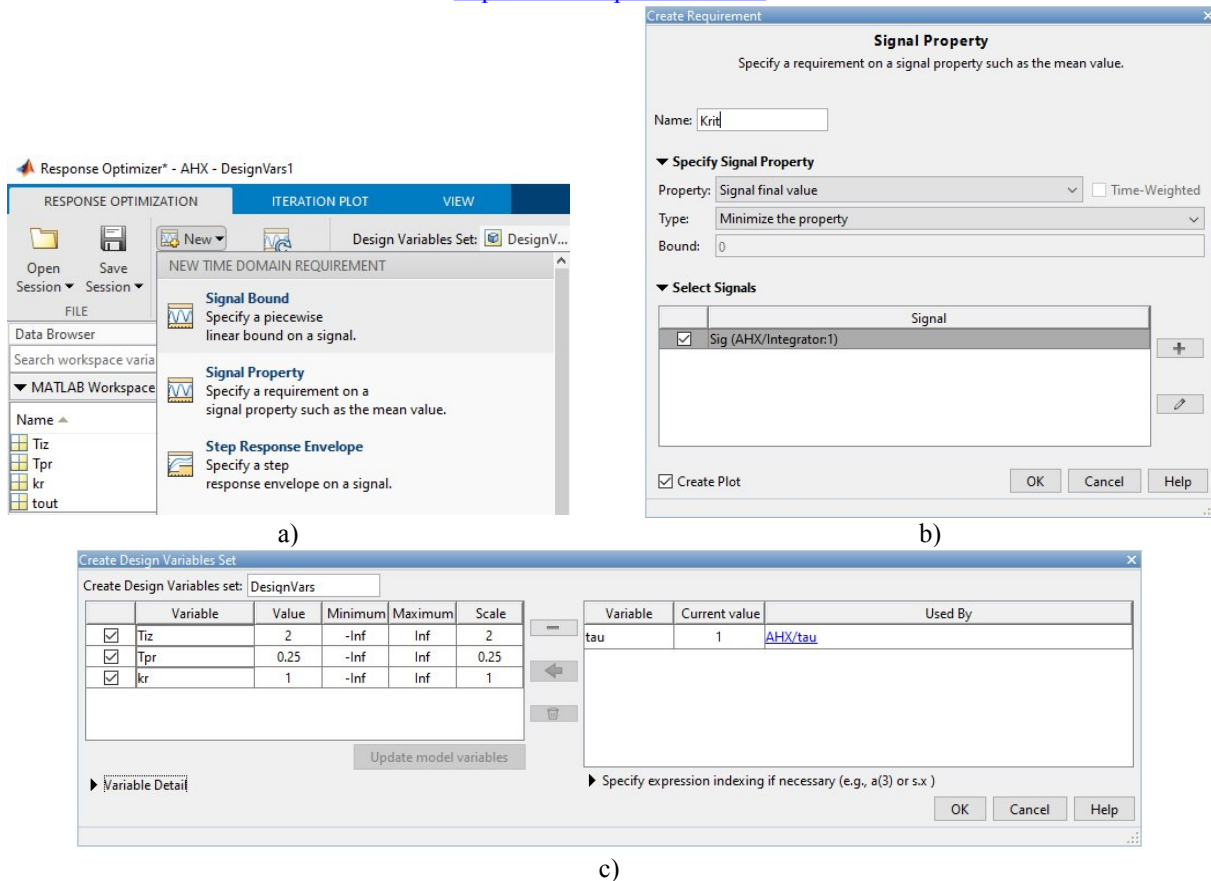


Рис. 3 Приклади налаштування в програмі Response Optimizer:
 а) вибір варіанту оптимізації; б) вибір властивостей сигналу критерія;
 в) вибір параметрів регулятора для оптимізації

Fig. 3 Examples of settings in the Response Optimizer program:
 a) selection of optimization option; б) selection of criterion signal properties;
 в) selection of controller parameters for optimization

Далі у вікні, що з'являється, слід обирати варіант для визначення властивостей сигналу, який характеризує критерій оптимізації $Krit$ (див. рис. 3б).

Після цього на панелі інструментів програми Response Optimizer у випадяючому списку Design Variables Set обирається варіант New і у вікні, що з'являється, обираються параметри регулятора k_r , T_{iz} , T_{pr} та можливі межі їх зміни (див. рис. 3с).

Вибір графіків із результатами оптимізації здійснюється в випадяючому списку Data to Plot на панелі інструментів. Кількість і розташування графіків можна задати на вкладці View програми Response Optimizer. Власне процес оптимізації здійснюється після натискання на кнопку Optimize (див. рис. 4).

5. Результати досліджень

Графіки, отримані за результатами оптимізації, дають змогу по-кроково побачити зміни параметрів налаштування регулятора k_r , T_{iz} , T_{pr} і критерію $Krit$, а також зміни регульованої змінної $PV(t)$ в межах регламентних зон (див. рис. 4). Кінцеві значення параметрів також представлені в робочому просторі Matlab Workspace.

Якщо провести моделювання САР з початковими і кінцевими значеннями параметрів регулятора, можна графічно порівняти зміни $PV(t)$ під дією зовнішнього збурення $Dist(t)$ (див. рис. 5а).

На рис. 5б показані результати досліджень перехідних процесів в САР при різних значеннях часу запізнення τ в об'єкті керування, які в даному випадку свідчать про те, що отримані оптимальні параметри регулятора забезпечують стійкий характер процесів незважаючи на значні зміни τ .

6. Обговорення результатів

В цілому можна відмітити, процедура оптимального параметричного синтезу САР в програмі Response Optimizer достатньо проста в реалізації, її результати наочні, і тому легко запам'ятовуються.

7. Висновки

Тестування програми Response Optimizer підтвердило її роботоспроможність при визначенні параметрів ПД-регулятора нелінійної САР за інтегральними критеріями якості. Дана програма може бути рекомендована для підготовки спеціалістів з автоматизації виробничих процесів в отриманні навичок з налаштування параметрів регулятора САР.

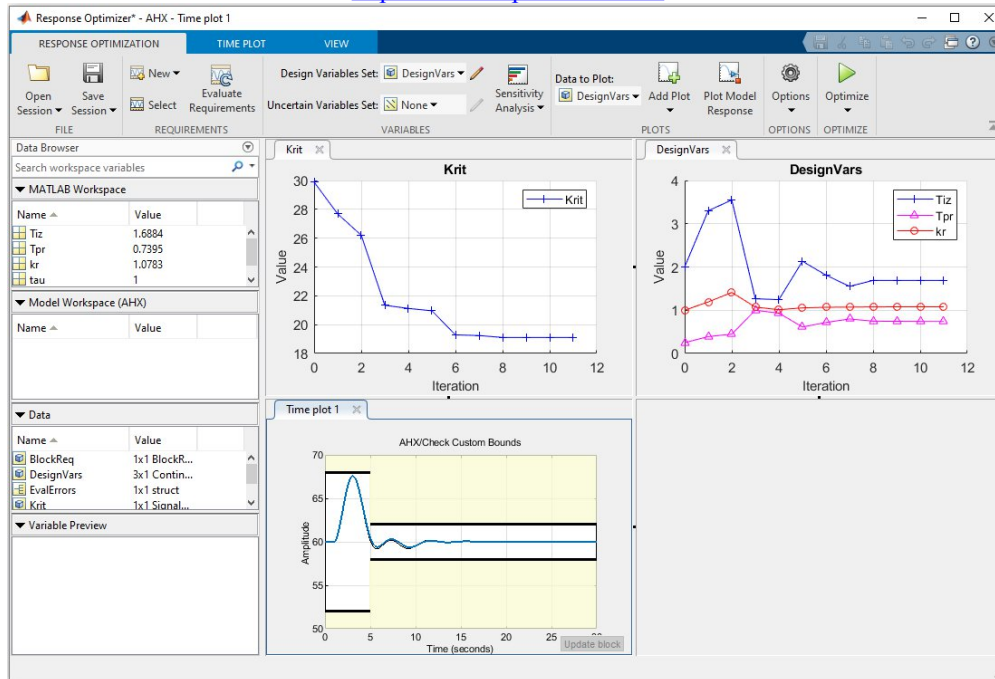


Рис. 4. Вигляд вікна програми Response Optimizer із результатами оптимізації
 Fig. 4. Response Optimizer window with optimization results

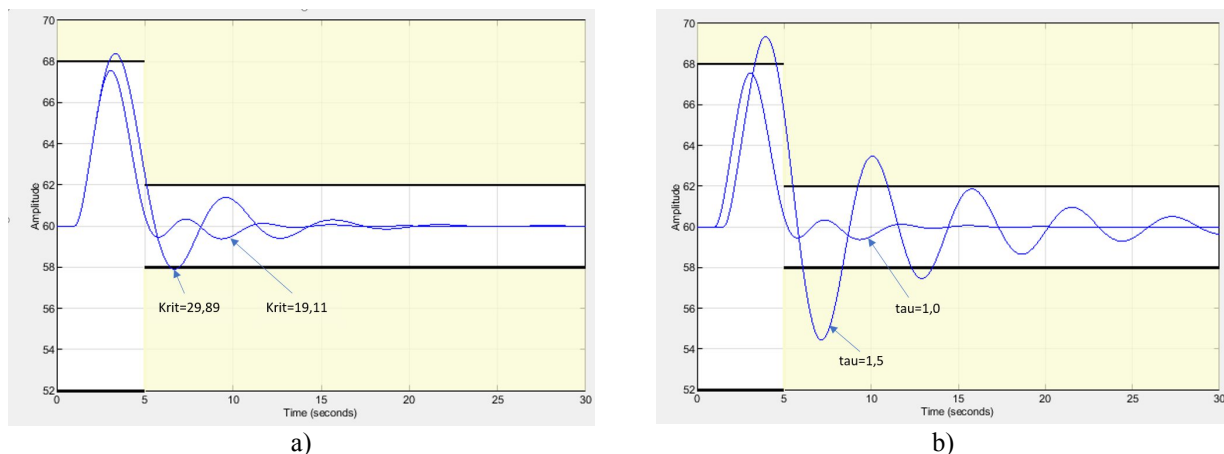


Рис. 5 Результати зміни $PV(t)$ при моделюванні САР:
 а) до та після оптимізації; б) при різних значеннях часу запізнення
 Fig. 5 Results of $PV(t)$ change in the simulation of the ACS:
 а) before and after optimization; б) at different values of the delay time

Список використаних джерел

[1] Karl Johan Astrom and Tore Haggglund. *Advanced PID control*. USA: ISA, 2006.
 [2] Sigurd Skogestad. Simple analytic rules for model reduction and PID controller tuning. *Journal of Process Control*, 2003, no. 13, p. 291-309.
 [3] Левінський М., Левінський В. Параметрична ідентифікація моделі об'єкта керування за результатами активного експерименту. *Automation of Technological and Business Processes*, 2023, 15(2), p. 35-40. <https://doi.org/10.15673/atbp.v15i2.2523>
 [4] Левінський М., Левінський В. Приклади аналізу сталих процесів в системі автоматичного регулювання засобами MATLAB. *Automation of Technological and Business Processes*, 2020, 12(2), p. 48-52. <https://doi.org/10.15673/atbp.v12i2.1810>
 [5] Левінський М., Левінський В. Тестування програми PID Tuner MATLAB. *Automation of Technological and Business Processes*, 2022, 14(1), p. 13-17. <https://doi.org/10.15673/atbp.v14i1.2275>
 [6] <https://www.mathworks.com/help/control/ref/controlsystemtuner-app.html>
 Отримана в редакції 07.04.2025. Прийнята до друку 12.05.2025. Received 07 April 2025. Approved 12 May 2025. Available in Internet 30 June 2025