

Технічні науки

УДК 681.515

Пунов Євгеній Андрійович

студент кафедри Електронних приладів та пристроїв

Національного технічного університету України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Пунов Евгений Андреевич

студент кафедры Электронных приборов и устройств

Национального технического университета Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Punov Yevhenii

Student of the Department of Electronic Devices

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Михайлов Сергій Ростиславович

кандидат технічних наук,

доцент кафедри Електронних приладів та пристроїв

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Михайлов Сергей Ростиславович

кандидат технических наук,

доцент кафедры Электронных приборов и устройств

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Mykhailov Serhii

PhD, Docent of the Department of Electronic Devices

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

**АДАПТИВНИЙ ПРОПОРЦІЙНО-ІНТЕГРАЛЬНО-
ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИЙ РЕГУЛЯТОР У РОБОТИЗОВАНИХ
СИСТЕМАХ**

**АДАПТИВНЫЙ ПРОПОРЦИОНАЛЬНО-ИНТЕГРАЛЬНО-
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ РЕГУЛЯТОР В РОБОТИЗИРОВАННЫХ
СИСТЕМАХ**

**ADAPTIVE PROPORTIONAL-INTEGRAL-DIFFERENTIAL
REGULATOR IN ROBOTIC SYSTEMS**

***Анотація.** Метою представленої магістерської дисертації є реалізація системи автоматичного налаштування коефіцієнтів ПІД регулятора, що використовується у роботизованих системах.*

Основним завданням роботи є виявлення факторів, що впливають на стабільність системи, що керується ПІД регулятором та вирішення питання налаштування коефіцієнтів при зміні цих факторів. Аналіз та побудова системи автоматичного налаштування коефіцієнтів. Пошук способів отримання даних зі зворотного зв'язку та регулювання цих даних. Створення реального прототипу системи керування на базі мікроконтролера та реалізація програмного забезпечення для роботи системи, що здатна автономно налаштовувати ПІД коефіцієнти у реальному часі. В роботі досліджено вплив зовнішніх та внутрішніх факторів на стабільність системи, обрано необхідні зворотні зв'язки для отримання даних до мікроконтролеру та створено програмне забезпечення роботи системи. Дана

робота може бути застосована у промисловості та прототипуванні для швидкого та якісного налаштування коефіцієнтів ПИД регулятора.

Ключові слова: ПИД-регулятор, роботизована система, адаптивний регулятор, мікроконтролер, зворотній зв'язок.

Аннотація. Целью представленной магистерской диссертации является реализация системы автоматической настройки коэффициентов ПИД регулятора, который используется в роботизированных системах.

Основной задачей работы является определение факторов, влияющих на стабильность системы, которые управляются ПИД регулятором и решение вопроса настройки коэффициентов при изменении этих факторов. Анализ и построение системы автоматической настройки коэффициентов. Поиск способов получения данных с обратной связи и регулирования этих данных. Создание реального прототипа системы управления на базе микроконтроллера и реализация программного обеспечения для работы системы, способной автономно настраивать ПИД коэффициенты в реальном времени. В работе исследовано влияние внешних и внутренних факторов на стабильность системы, избрана необходимая обратная связь для получения данных к микроконтроллеру и создано программное обеспечение работы системы. Данная работа может быть использована в промышленности и прототипировании для быстрой и качественной настройки коэффициентов ПИД регулятора.

Ключевые слова: ПИД-регулятор, роботизированная система, адаптивный регулятор, микроконтроллер, обратная связь.

Summary. The purpose of the submitted master's thesis is the implementation of a system for automatic tuning of the PID controller coefficients, which is used in robotic systems.

The main task of the work is to determine the factors influencing the stability of the system, which are controlled by the PID controller and to solve the issue of adjusting the coefficients when these factors change. Analysis and construction of a system for automatic adjustment of coefficients. Finding ways to get data from feedback and regulate this data. Creation of a real prototype of a control system based on a microcontroller and implementation of software for the operation of a system capable of autonomously adjusting PID coefficients in real time. In the work, the influence of external and internal factors on the stability of the system was investigated, the necessary feedback was chosen to receive data to the microcontroller, and the software for the operation of the system was created. This work can be used in industry and prototyping for fast and high-quality adjustment of the PID controller coefficients.

Key words: *PID-controller, robotic system, adaptive controller, microcontroller, feedback.*

Вступ. Системи автоматичного управління використовуються у різних сферах промисловості. Великого розповсюдження, наразі, набувають роботизовані системи, що керуються пропорційно-інтегрально-диференційним регулятором. Це різного роду безпілотні автомобілі, літаки, промислові роботи та ін. При створенні такої системи, що керується ПІД регулятором, виникає необхідність складного та ретельного налаштування коефіцієнтів, щоб система працювала стабільно. У випадку зміни зовнішніх або внутрішніх факторів, необхідно налаштовувати коефіцієнти регулятора заново, що тягне за собою втрати часу та грошей.

Існують роботизовані системи, де налаштування коефіцієнтів ПІД регулятора у реальному часі є необхідністю. Роботи, які отримують інформацію з, різного роду, оптичних приладів, залежать від освітленості.

Також, кожна система замінює свої внутрішні параметри з часом в силу старіння електроніки. Система автоматичного налаштування коефіцієнтів ПІД регулятора має забезпечити стабільну роботу, незважаючи на фактори, що впливають на неї. Окрім цього, процес первинного налаштування коефіцієнтів також цілком бере на себе адаптивний регулятор.

Особливості побудови адаптивного під-регулятора для роботизованих систем

Системи автоматичного управління (САУ) призначені для автоматичної зміни одного або декількох параметрів об'єкта управління з метою встановлення необхідного режиму його роботи.[1] САУ забезпечує підтримання сталості заданих значень регульованих параметрів або їх зміну по заданому закону або оптимізує певні критерії якості управління. Наприклад, до таких систем відносяться:

- системи стабілізації;
- системи програмного управління;
- системи стеження та ін.

Класична система автоматичного управління представлена на рис. 1.

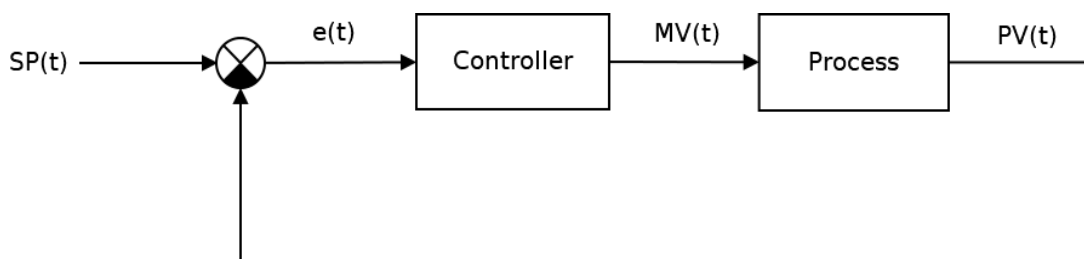


Рис. 1. Структурна схема системи автоматичного управління

Ключовим елементом будь-якої САУ є регулятор, що являє собою пристрій, який стежить за станом об'єкта управління і забезпечує необхідний закон управління. Процес управління включає в себе: обчислення помилки

управління або сигналу неузгодженості $e(t)$ як різниці між бажаною установкою (set point або SP) і поточною величиною процесу (process value або PV), після чого регулятор виробляє керуючі сигнали (manipulated value або MV).

Наразі, найбільшого розповсюдження набув ПІД регулятор, що використовується при розробці квадрокоптерів, літаків, 3D-принтерів, нагрівних систем та багато іншого. Порядку 90-95% регуляторів[2], що знаходяться в даний час в експлуатації, використовують ПІД алгоритм. Причинами такої великої популярності є простота побудови і промислового використання, ясність функціонування, придатність для вирішення більшості практичних завдань і низька вартість. Сама ідея ПІД регулятора не є новою, та являється базовим методом теорії автоматичного регулювання. Пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) регулятор формує керуючий сигнал, який є сумою трьох складових: пропорційної, інтегральної і диференціальної (рис. 2).

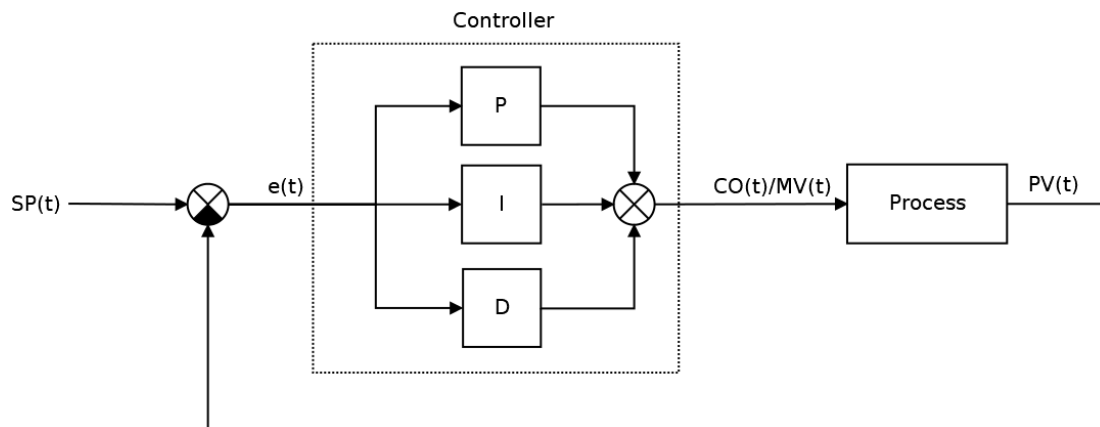


Рис. 2. САУ з ПІД регулятором

На рис. 2 $e(t)$ - помилка неузгодженості, $P = K_p \cdot e(t)$ - пропорційна, $I = K_i \cdot \int_0^t e(\tau) d\tau$ - інтегральна, $D = K_d \cdot \frac{de(t)}{dt}$ - диференціальна складові (терми)

закону керування, який в підсумковому вигляді описується наступними формулами:

$$e(t) = SP(t) - PV(t), \quad (1)$$

$$MV(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \cdot \frac{de(t)}{dt}. \quad (2)$$

При використанні ПД регулятора найбільшою проблемою є те, що при зміні якихось параметрів системи, потрібно заново налаштовувати усі коефіцієнти, тобто перероблювати математичну модель системи, проводити необхідні розрахунки, або проводити налаштування практично, вводячи нові коефіцієнти та дивлячись на реакцію системи [3]. Особливо багато часу займає налаштування ПД коефіцієнтів під час прототипування систем, коли до системи щоразу додаються або змінюються параметри (кількість датчиків та їх розміщення, контролер, живлення, електро-рушійні елементи та інше).

Ряд сучасних мікропроцесорних приладів автоматично розраховують коефіцієнти налаштування регуляторів, такі регулятори називаються адаптивними[4]. Адаптація виробляється:

1) У процесі виведення стану об'єкту на нову задану точку SP. У цьому випадку говорять про самоналаштування або самооптимізацію;

2) В процесі стабілізації стану об'єкта. У цьому випадку говорять про адаптивне управління. Адаптивне управління, яке, за самим визначенням цього терміна, має забезпечити стеження параметрів налаштування регулятора за властивостями об'єкта управління, що постійно змінюються. Адаптивні регулятори дозволяють поліпшити якість регулювання температури, наприклад, при зміні завантаження печі і зміни стану нагрівального елемента в процесі експлуатації.

В основі реалізації системи адаптивного ПД регулятора лежить зворотній зв'язок [5]. На відмінну від вже існуючих систем зі зворотнім

зв'язком, у розробленій системі використовується не сигнал виходу самого регулятора (рис.3), а сигнал додаткового незалежного сенсора (рис. 4).

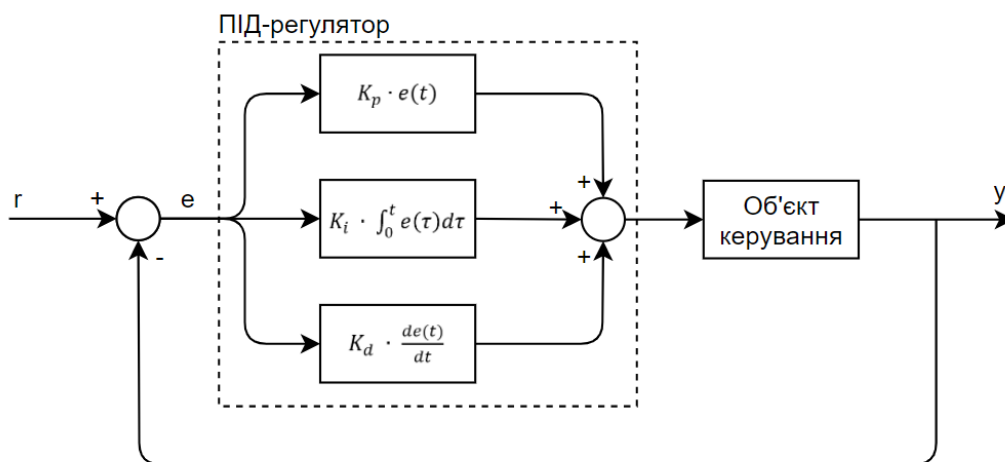


Рис. 3. Існуюча модель ПІД регулятора зі зворотнім зв'язком

Дані моделі регулятора, показані на рис.3, не використовують отриману інформацію зворотного зв'язку для налаштування коефіцієнтів, що змушує користувача самостійно налаштовувати їх. Тобто у цій моделі, зворотній зв'язок не використовується, як складова для обрахунку коефіцієнтів. Він впливає лише на початкову помилку. Окрім цього, у даному прикладі, зворотній зв'язком є вихідний сигнал об'єкту керування, а не реакція усієї системи на зміни.

При використанні додаткового сенсора, у випадку розроблюваної системи - гіроскопа, з'являється можливість проаналізувати не самі значення, що генеруються ПІД регулятором, а те, як вплинули конкретні значення на всю систему загалом. Це дає змогу оцінити всі коефіцієнти та підправити їх. На основі нових даних, знов отримати інформацію про стан системи, та знову підправити коефіцієнти. Так може продовжуватися до того часу, поки система не вийде на, встановлений користувачем, час стабілізації системи.

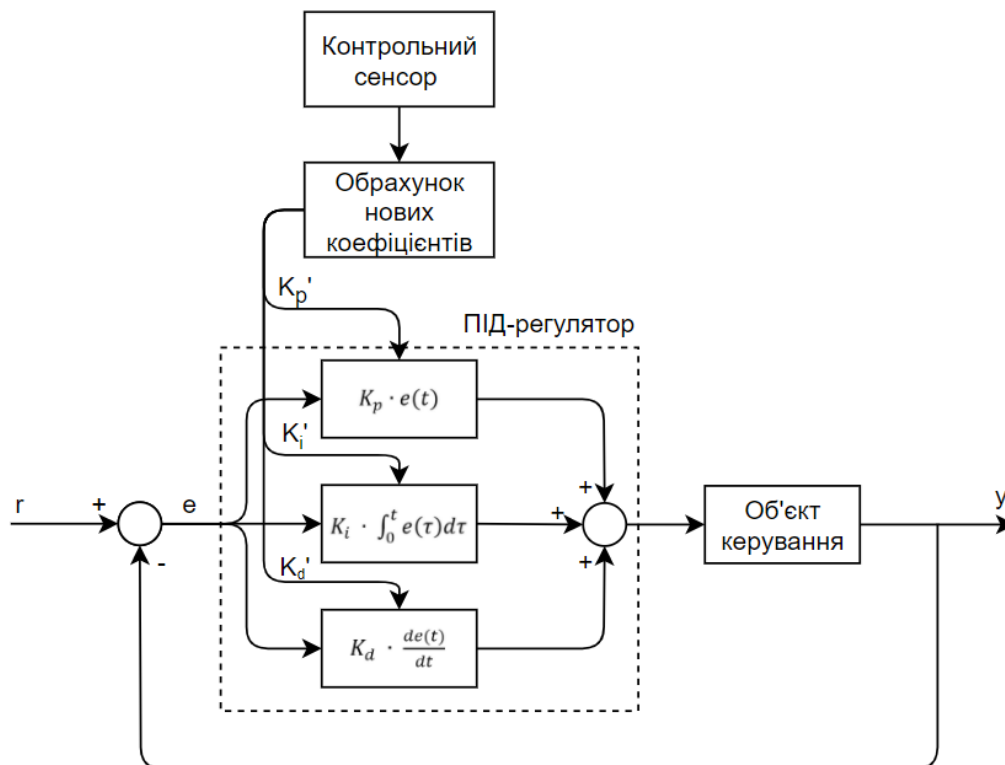


Рис. 4. Модель ПІД регулятора зі зворотним зв'язком контрольного сенсора

Слід відмітити, що у якості контрольного сенсора, для різних видів роботизованих систем потрібно використовувати різні датчики. Наприклад, якщо система орієнтується у просторі за допомогою оптичних датчиків і фізично змінює своє положення, то в якості контрольного сенсора потрібно обрати гіроскоп, що надасть можливість слідкувати за реакцією системи на розрахунки ПІД-регулятора. Таким чином, таке регулювання буде схоже на ручне налаштування, так як за зміну коефіцієнтів відповідає незалежний блок, що «спостерігає» за системою ззовні.

Алгоритм опрацювання значень зворотного зв'язку показаний на рис. 5. Загалом, даний алгоритм є головним у всій програмі, адже саме у ньому відбувається налаштування коефіцієнтів. У реалізованому прикладі використовується найпростіша методика налаштування параметрів

(збільшення або зменшення параметрів системи на задану константу), але можна запрограмувати будь-який метод знаходження коефіцієнтів.

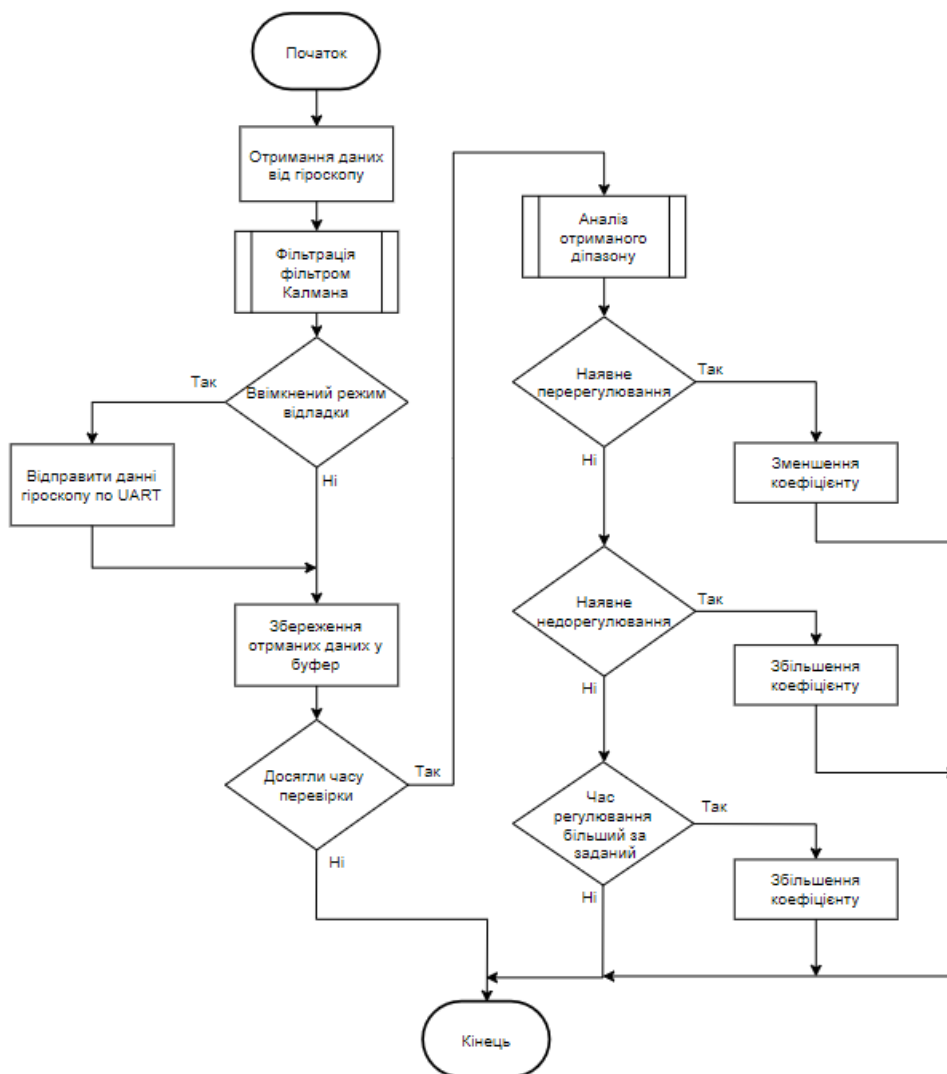


Рис. 5. Алгоритм обробки зворотного зв'язку

Перш за все, дані отримані від контрольного сенсору – гіроскопу, фільтруються задля забезпечення більш стабільного сигналу та фільтрації шумів.

Другим етапом є накопичення отриманих даних у буфері до того моменту, поки не пройде час регулювання. Час регулювання задається під час налаштування базових параметрів. Час регулювання – це час, який повинен

пройти між підналаштуванням коефіцієнтів. Цей параметр необхідно вибирати виходячи із самої системи, так як дуже малий час не дасть набратися достатній кількості даних для подальшої оцінки, що може привести до неправдивих результатів. Наприклад, щоб побачити динаміку системи з заданими параметрами, необхідно, щоб ПІД-регулятор зробив декілька коливань. Якщо зробити висновок лише на тому, функція пішла вгору, чи вниз, можна отримати невірні висновки про подальше налаштування коефіцієнтів. Якщо ж зробити час регулювання дуже великим, то система буде налаштовуватися занадто довго.

У ситуації у якій система досягла часу регулювання, отриманий масив даних передається у функцію, що аналізує отримані значення функції. Дані значення розбиваються на десять піддіапазонів, та у кожного діапазону обирається локальний мінімум на локальний максимум. Далі аналізується зміна локальних екстремумів, а також різниця між ними, що дає змогу оцінити поточний стан системи та зробити висновки щодо коефіцієнтів.

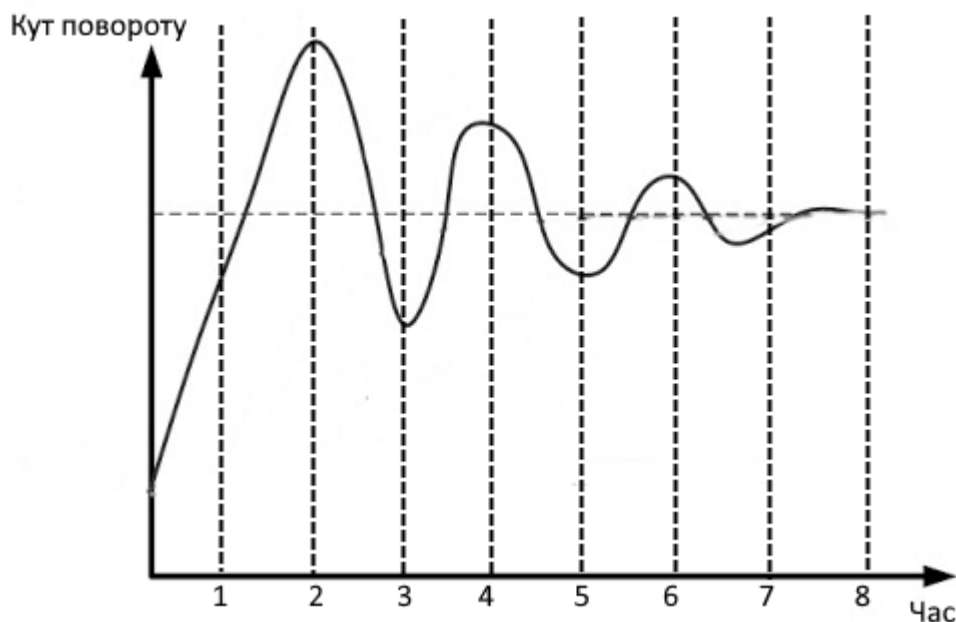


Рис. 6. Візуалізація оцінки поточного стану системи

Таким чином, якщо система помічає постійну зміну максимумів і мінімумів і при цьому різниця між ними зростає, то можна зробити висновок, що система знаходиться у стані перерегулювання. Якщо ж різниця між екстремумами зменшується, то в такому випадку система вважає, що коефіцієнти підібрані вірно і очікується повна стабілізація системи.

Як тільки отримується результат, що система стабілізувалася, порівнюється час, котрий пройшов з моменту запуску процесу налаштування до моменту стабілізації, та порівнюється з тим, що був заданий при базовому налаштуванні. Якщо час стабілізації більший ніж заданий, то програма збільшує коефіцієнти та запускає процес налаштування спочатку.

Висновки. Досліджені дані щодо конструктивних особливостей, та параметрів побудови ПІД-регуляторів для роботизованих систем дали необхідну інформацію про те, що слід враховувати під час проектування адаптивної роботизованої системи на основі ПІД-регулятора. Було проведено огляд основних проблем адаптивних ПІД-регуляторів та питань стосовно модернізації та автоматизації системи. Наразі існує декілька алгоритмів роботи адаптивних регуляторів, найперспективнішим з яких є система, що використовує нейронні мережі для налаштування початкових коефіцієнтів та адаптації під час роботи самої установки. При огляді було зроблено висновок, що усі адаптивні регулятори так, чи інакше потребують постійного контролю та правок зі сторони людини.

Таким чином, систему, розроблену на мікроконтролері STM32F405RGT6 можна вважати універсальною для різних видів роботизованих систем.

Література

1. Власов К.П. [Текст]: Теория автоматического управления. Основные положения. Примеры расчета / К.П. Власов: Навчальний посібник, 2-е видання, 2013. 531 с., ISBN 978-966-8324-84-0.
2. Лазарева Т.Я., Мартемьянов Ю.Ф. [Текст]: Основы теории автоматического управления / Т.Я. Лазарева: Навчальний посібник, 2-е видання, вид. Тамб. дер. техн. ун-та, 2004. 352 с., ISBN 5-8265-0149-9
3. Hogenauer E. [Текст]: An economical class of digital filters for decimation and interpolation // Acoustics, Speech, and Signal Processing [see also IEEE Transactions on Signal Processing, 1981. Vol. 29. No. 2. PP. 155-162.
4. Huang Y., Yasunobu S. [Текст]: A general practical design method for fuzzy PID control from conventional PID control / The Ninth IEEE International Conference on Fuzzy Systems, FUZZ IEEE 2000. Vol. 2. PP. 969-972.
5. Pereira D.S., Pinto J.O.P. [Текст] Genetic algorithm based system identification and PID tuning for optimum adaptive control. Advanced Intelligent Mechatronics. Proceedings, 2005 IEEE/ASME International Conference on. 2005. PP. 801-806.