



УДК [621.867.3:622.612]:658.5

ІНВАРІАНТНА САР З ОПТИМІЗАЦІЄЮ КОЕФІЦІЄНТА ПЕРЕДАЧІ У МОДЕЛІ КОРИГУВАЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Степанов М.Т.

ОНАПТ (Україна)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1297-5537>E-mail: stepanov197818@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.v14i3.2352](https://doi.org/10.15673/atbp.v14i3.2352)

Анотація. У статті розглядається система автоматичного регулювання яка реалізує комбінований принцип керування з інваріантністю відносно дії контрольованих збурень. При побудові інваріантної системи автоматичного регулювання використовувався принцип двоканалності Б.Н. Петрова. За цим принципом математична модель коригувального зв'язку включає в себе математичні моделі об'єкту керування за каналами дії контрольованих збурень та каналу керування. Динамічна точність системи автоматичного регулювання інваріантної до контрольованих збурень залежить від точності завдання цих моделей зокрема їх параметрів. Результатами моделювання підтверджено, що динамічна точність системи значно залежить від значення коефіцієнта передачі у математичній моделі коригувального зв'язку і ця залежність має екстремальний характер. Коефіцієнт передачі моделі коригуючого зв'язку дорівнює відношенню коефіцієнта передачі моделі об'єкта керування за каналом дії контрольованого збурення до коефіцієнта передачі моделі об'єкта за каналом керування. В умовах параметричної невизначеності і нестационарності властивостей об'єкта керування значення цих коефіцієнтів на етапі синтезу системи автоматичного регулювання можуть бути отримані лише приблизно та в процесі експлуатації значно змінюватися. Тому запропоновано оптимальне значення коефіцієнту передачі коригувального зв'язку визначати безпосередньо при роботі системи регулювання у реальному часі з використанням екстремального пошукового алгоритму із запам'ятовуванням екстремуму. У статті наведено приклад структурної схеми такої системи. В ній передбачено не тільки реалізацію безпосередньо екстремального пошукового алгоритму, а і спеціальних алгоритмів автоматичного включення та зупинки пошукового алгоритму. Застосування цих алгоритмів дозволяє не тримати постійно увімкненим алгоритм пошуку та як наслідок знизити похибку стабілізації. Дослідження роботи системи проводилися методом імітаційного моделювання в середовищі Simulink системи MatLab. Результати моделювання підтверджують працездатність розробленої системи і ефективність її роботи в умовах зміни коефіцієнтів передачі у каналах об'єкту керування під час його експлуатації. При зміні коефіцієнтів передачі у каналах об'єкту керування система автоматично запускає алгоритм пошуку і визначає нове оптимальне значення коефіцієнту передачі коригувального зв'язку що зменшує похибку стабілізації за каналом дії контрольованого збурення.

Abstract. The article considers an automatic control system that implements the combined control principle with invariance with respect to the action of controlled disturbances. When constructing an invariant system of automatic control, the principle of two-channel Petrova B.N. was used. According to this principle, the mathematical model of corrective communication includes mathematical models of the control object on the channels of action of controlled disturbances and the control channel. The dynamic accuracy of the system of automatic control invariant to controlled perturbations depends on the accuracy of these models in particular their parameters. The simulation results confirm that the dynamic accuracy of the system significantly depends on the value of the transmission factor in the mathematical model of the corrective relationship and this dependence is extreme. The transmission factor of the corrective link model is equal to the ratio of the transfer factor of the control object model through the controlled perturbation channel to the transfer factor of the object model over the control channel. Under conditions of parametric uncertainty and non-stationary properties of the control object, the values of these coefficients at the stage of synthesis of the automatic control system can be obtained only approximately and change significantly during operation. Therefore, it is proposed to determine the optimal value of the correction factor of the corrective connection directly during the operation of the control system in real time using an extreme search algorithm with extreme memory. The article gives an example of the structural scheme of such a system. It provides not only the implementation of directly extreme search algorithm, but also special algorithms for automatically turning on and off the search algorithm. The use of these algorithms allows not to keep the search algorithm constantly on and as a result to reduce the stabilization error. Studies of the system were conducted by simulation in the Simulink environment of the MatLab system.



The simulation results confirm the efficiency of the developed system and the efficiency of its operation in the conditions of changing the transmission coefficients in the channels of the control object during its operation. When changing the transfer coefficients in the channels of the control object, the system automatically starts the search algorithm and determines the new optimal value of the transmission ratio of the corrective connection, which reduces the stabilization error in the channel of controlled perturbation.

Keywords: dynamic accuracy, automatic control system, invariance, transmission coefficient, optimization.

Ключові слова: динамічна точність, система автоматичного регулювання, інваріантність, коефіцієнт передачі, оптимізація.

Вступ

Побудова САР інваріантних до контрольованих збурень на основі принципу двоканальності Б.Н. Петрова дозволяє значною мірою компенсувати наслідки дії цих збурень і знизити похибки стабілізації. В САР яка побудована за цим принципом математична модель коригувального зв'язку включає в себе математичні моделі об'єкту керування за каналами дії контрольованих збурень та каналу керування. Динамічна точність системи інваріантної до контрольованих збурень залежить від точності завдання цих моделей, зокрема їх параметрів. Одночасно необхідно враховувати, що точна реалізація математичної моделі коригувального зв'язку не означає, що реалізований керуючий пристрій під час роботи з реальним об'єктом забезпечуватиме повну інваріантність. Це неможливо, тому що моделі ніколи не здатні відобразити всі особливості реального об'єкта.

В інженерній практиці модель коригувального зв'язку намагаються не ускладнювати та використовують у процедурі її синтезу моделі об'єкта керування низького (першого) порядку. Параметри моделі коригувального зв'язку розраховують за параметрами моделей каналів об'єкта керування, або, у випадку коли математична модель коригувального зв'язку реалізується приблизно, проводиться її параметрична оптимізація.

Для об'єктів технологічного типу параметри за каналами контрольованих збурень та керування на етапі синтезу САР відомі не точно, а в процесі експлуатації об'єкта можуть суттєво змінюватися. Зокрема до таких параметрів відноситься і коефіцієнт передачі який може змінюватися у широких діапазонах. Невідповідність фактичних значень коефіцієнтів передачі значенням застосовуваним при розрахунку параметрів моделі коригувального зв'язку буде приводити до зниження динамічної точності системи за каналом дії контрольованих збурень. Тому запропоновано оптимальне значення коефіцієнту передачі коригувального зв'язку визначати безпосередньо при роботі системи регулювання у реальному часі з використанням екстремального пошукового алгоритму із запам'ятовуванням екстремуму.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми.

В інженерній практиці при реалізації систем керування технологічними об'єктами досить часто реалізують комбіновані САР інваріантні до контрольованих збурень. Такі системи застосовуються для керування температурою у промислових печах, теплообмінних апаратах, дистиляційних колонах, концентрації та температури у хімічних реактора т.д. [1]. У англійській літературі для цих систем часто застосовують термін «feed forward control», а готові програмні модулі для реалізації таких систем інтегрують безпосередньо у бібліотеки сучасних програмних середовищ, призначених для розробки прикладного програмного забезпечення систем автоматичного керування (наприклад середовище SIMATIC PCS 7) [2]. При реалізації систем інваріантних до контрольованих збурень параметри коригувального зв'язку залишають фіксованими, що в умовах нестационарних властивостей ОК може знижувати їх динамічну точність.

Наведені в [3-5] результати досліджень показують що побудова САР інваріантних до контрольованих збурень на основі принципу двоканальності Б.Н. Петрова дозволяє значною мірою компенсувати наслідки дії цих збурень і знизити похибки стабілізації. Використання алгоритмів прогнозування контрольованих збурень на основі кубічного та гармонічного сплайнів, з оптимізацією інтервалу прогнозування у реальному часі, з використанням екстремального пошукового алгоритму із запам'ятовуванням екстремуму дозволило значною мірою покращити динамічну точність системи регулювання. Особливо актуально застосування екстремального пошукового алгоритму в умовах коли постійні часу або запізнення у каналах ОК змінюються під час його експлуатації.

Для ОК технологічного типу характерні не тільки зміни динамічних властивостей але і коефіцієнтів передачі у каналах керування та дії контрольованих збурень. Динамічна точність системи автоматичного регулювання інваріантної до контрольованих збурень залежить від точності завдання цих коефіцієнтів в моделях ОК. Попередніми результатами моделювання підтверджено, що динамічна точність системи значно залежить від значення коефіцієнта передачі у математичній моделі коригувального зв'язку і ця залежність має екстремальний характер. Це робить актуальним дослідження САР інваріантної до контрольованих збурень в умовах коли коефіцієнти передачі в каналах дії контрольованих збурень та каналі керування в процесі експлуатації об'єкта можуть суттєво змінюватися.

Мета та завдання дослідження.

Метою дослідження є підвищення динамічної точності САР інваріантної до контрольованих збурень в умовах коли коефіцієнти передачі в каналах дії контрольованих збурень та каналі керування в процесі експлуатації об'єкта можуть суттєво змінюватися. Підвищення динамічної точності САР виконується за рахунок самоналаштування коефіцієнта передачі у математичній моделі коригувального зв'язку. Налаштування коефіцієнта передачі моделі коригувального



зв'язку ведеться додатковим алгоритмом оптимізації на основі екстремального пошукового алгоритму із запам'ятовуванням екстремуму.

Для досягнення поставленої мети необхідно провести структурний та оптимальний параметричний синтез САР інваріантних до контрольованих збурень. Обґрунтувати доцільність та доповнити систему алгоритмом оптимізації коефіцієнта передачі у моделі корегувального зв'язку. Після цього провести всебічний аналіз розробленої системи.

Методи та матеріали досліджень.

Для проведення досліджень як основний метод будемо використовувати метод імітаційного моделювання в середовищі Simulink системи Matlab. Для цього на першому етапі розробимо структурні схеми САР та проведемо розрахунок коригувальних зв'язків. Структурна схема САР інваріантної до контрольованих збурень наведена на рис.1.

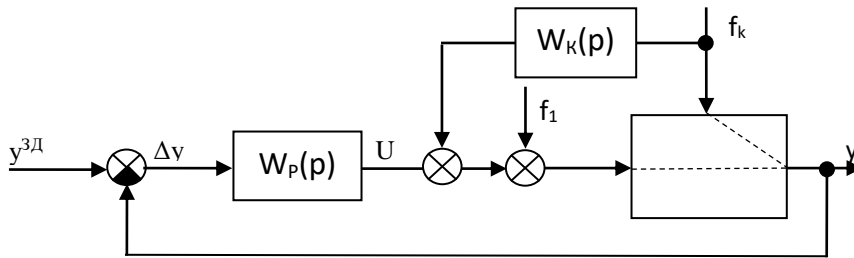


Рис. 1 – Структурна схема комбінованої САР інваріантної до контрольованих збурень.

В якості $W_p(p)$ будемо використовувати ПД - регулятор з реальним диференціатором. Для оцінки якості роботи САР в сталих режимах скористаємося інтегральним квадратичним показником якості:

$$I = \frac{1}{T} \int_0^T (\Delta y(t))^2 dt \quad (1)$$

Модель об'єкта керування розглянемо зі статичними властивостями та значно різними запізнюваннями у каналах керування та збурення. На рис.2 представлені нормовані перехідні характеристики моделі ОК за каналом керування та каналом контрольованого збурення з ілюстрацією процедури параметричної ідентифікації моделей першого порядку за методикою Мініної.

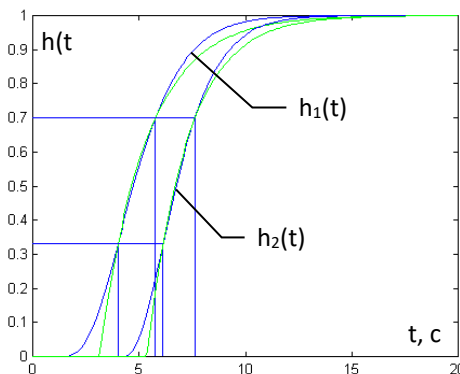


Рис. 2 – Ілюстрація процедури параметричної ідентифікації моделі ОК (методика Мініної) за каналом керування (h_1) і каналу дії контрольованого збурення (h_2).

Передавальні функції моделей першого порядку по каналу керування та по каналу контрольованих збурень.

$$W_{uy}(p) = \frac{1.2e^{-3.1p}}{2.2p+1} \quad W_{fk}(p) = \frac{e^{-5.4p}}{1.9p+1} \quad (2)$$

Передатна функція коригувального зв'язку матиме такий вигляд:

$$W^k(p) = -\frac{e^{-5.4p}}{\frac{1.9p+1}{1.2e^{-3.1p}} \cdot \frac{2.2p+1}{1.9p+1}} = -\frac{1}{1.2} * \frac{2.2p+1}{1.9p+1} * e^{-2.3p} \quad (3)$$

Коефіцієнт передачі коригувального зв'язку виділимо окремо і позначимо $k_m = 1/1.2$. Фізично реалізована передатна функція коригувального зв'язку матиме наступний вигляд:



$$W^k(p) = -k_m * \frac{2.2p + 1}{1.9p + 1} * e^{-2.3p} \tag{4}$$

Структурна схема САР прийме наступний вигляд (рис. 3).

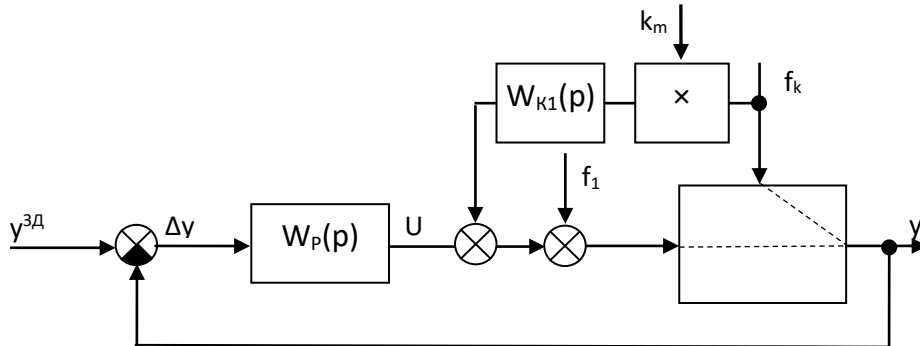


Рис. 3 – Структурна схема комбінованої САР інваріантної до контрольованих збурень з виділеним окремо коефіцієнтом передачі коригувального зв'язку.

На першому етапі проведемо дослідження роботи звичайної замкнутої САР без коригувального зв'язку у порівнянні з САР інваріантної до контрольованих збурень в умовах дії збурень випадкового характеру. Для цього проведемо оптимальний параметричний синтез (ОПС) САР без коригувального зв'язку за каналом дії неконтрольованих збурень f_1 . Результати ОПС наведено на рис.4.

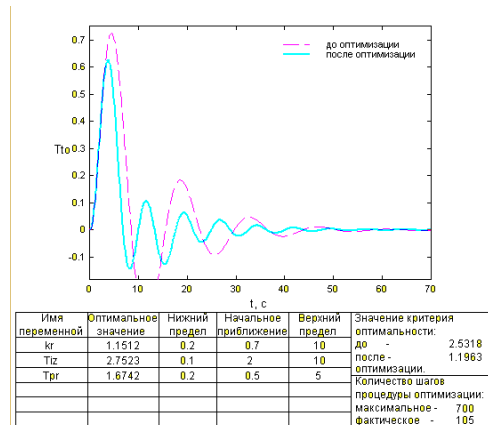


Рис.4 – Результати оптимального параметричного синтезу ПІД регулятора.

Реалізація випадкового процесу контрольованих збурень, а також його статичні та динамічні характеристики наведені на рис. 5.

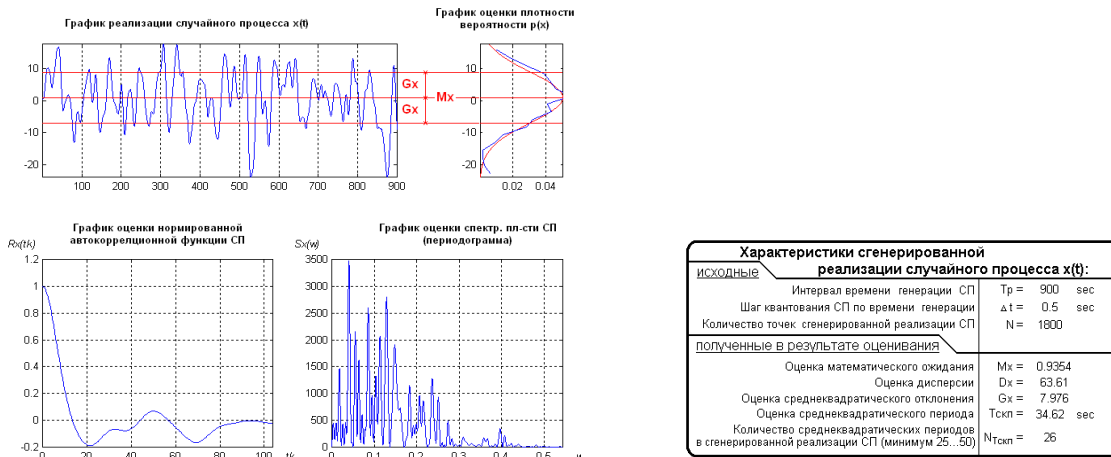


Рис. 5 – Реалізація контрольованих збурень та їх імовірнісні характеристики.

Результати досліджень та їх обговорення



Для проведення попередніх досліджень роботи комбінованої САР в умовах зміни коефіцієнтів передачі в каналі керування та каналі дії контрольованих збурень була розроблена схема моделювання в середовищі Simulink. Фрагмент схеми моделювання наведений на рис. 6. Моделювання на перших етапах будемо проводити без дії неконтрольованих збурень. Це дозволить більш точно оцінити ефективність компенсування наслідків дії контрольованих збурень і зниження похибки стабілізації.

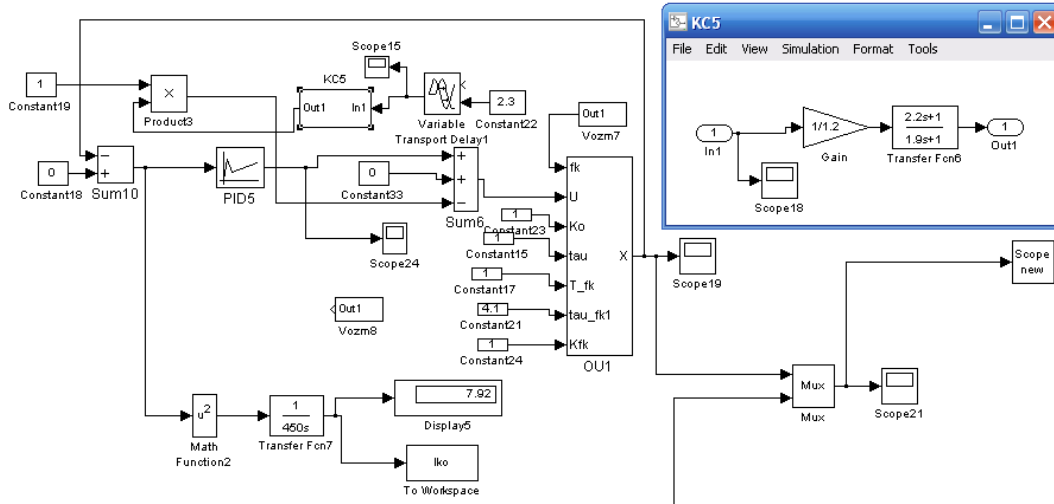


Рис. 6 – Фрагмент схеми моделювання для проведення досліджень роботи комбінованої САР.

На рис. 7 наведені результати моделювання звичайної САР яка реалізує принцип керування за відхиленням і САР інваріантної до контрольованих збурень. Введення коригувального зв'язку значно знижує похибки стабілізації.

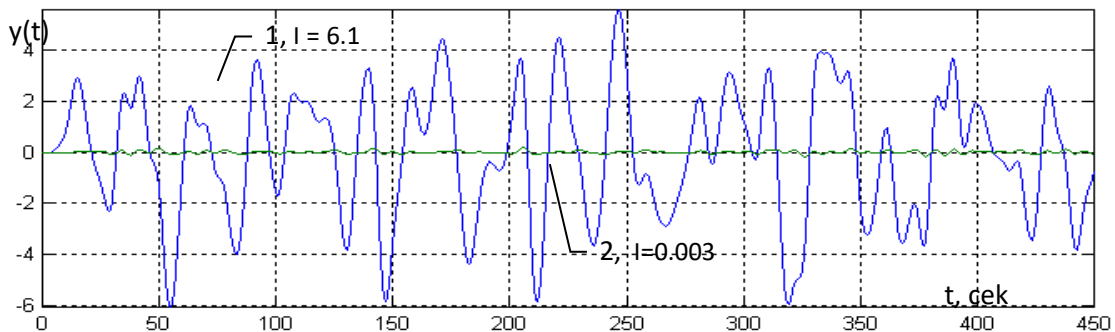


Рис. 7 – Результати моделювання базової замкнутої САР (1) та інваріантної САР (2).

При невідповідності коефіцієнту передачі коригувального зв'язку (k_m) коефіцієнтам передачі у каналах керування та контрольованих збурень похибки стабілізації починають збільшуватися. При невідповідності близько 10% оцінка дисперсії змінюється у рази що відображено прикладом на рис.8.

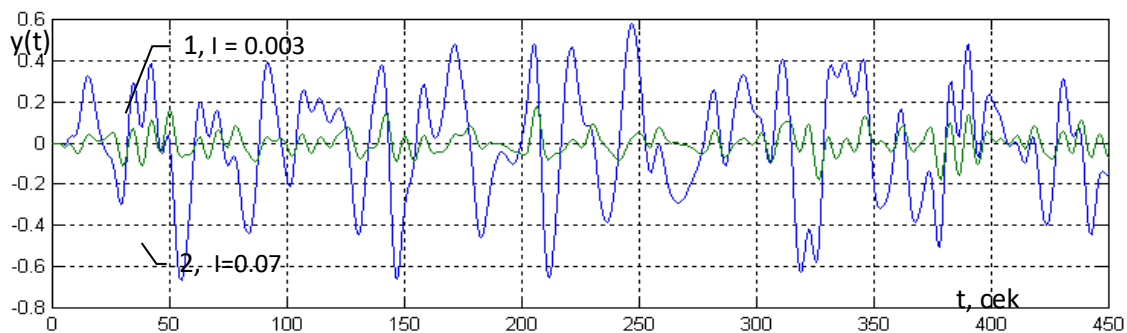


Рис. 8 – Результати моделювання інваріантної САР при номінальному значенні k_m (1) і зменшеному на 10% значенні ($0.9 k_m$) (2).

Залежність показника якості I (оцінка дисперсії) від коефіцієнту k_m має екстремальний характер (рис. 9) де екстремум показника якості I досягається коли k_m буде дорівнювати відношенню коефіцієнта передачі у каналі дії



контрольованих збурень до коефіцієнта передачі у каналі керування. З графіків залежності I від коефіцієнту k_m можна бачити, що 50% відхилення k_m від номінального значення призводить до значного росту I але значення I залишається значно нижчим ніж в звичайній САР яка реалізує принцип керування за відхиленням. Це дозволяє реалізувати налаштування k_m з використанням пошукових алгоритмів, в яких присутні втрати на пошук, залишаючи при цьому досить високу динамічну точність інваріантної САР навіть на етапі пошуку оптимального значення k_m .

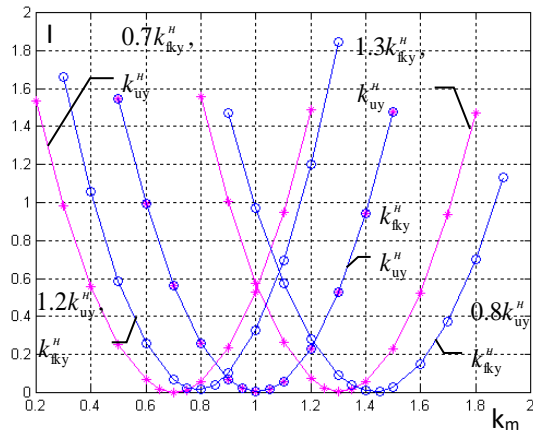


Рис. 9 – Залежність критерію оптимальності від коефіцієнту передачі коригувального зв'язку в інваріантній САР при різних значеннях нормованих коефіцієнтів передачі k_{uy}^H і k_{iky}^H в каналі керування та каналі дії контрольованих збурень.

З графіків рис.9 видно що ефективність інваріантної САР в значній мірі залежить від точності завдання коефіцієнта передачі k_m у моделі коригувального зв'язку. Ця залежність має екстремальний характер і в умовах параметричної невизначеності і нестационарних властивостей ОК оптимальне значення коефіцієнта передачі k_m може бути знайдено автоматично з використанням спеціальних екстремальних пошукових систем.

Структурна схема інваріантної САР з екстремальним пошуковим алгоритмом оптимального значення коефіцієнта передачі k_m в моделі коригувального зв'язку представлена на рис. 10.

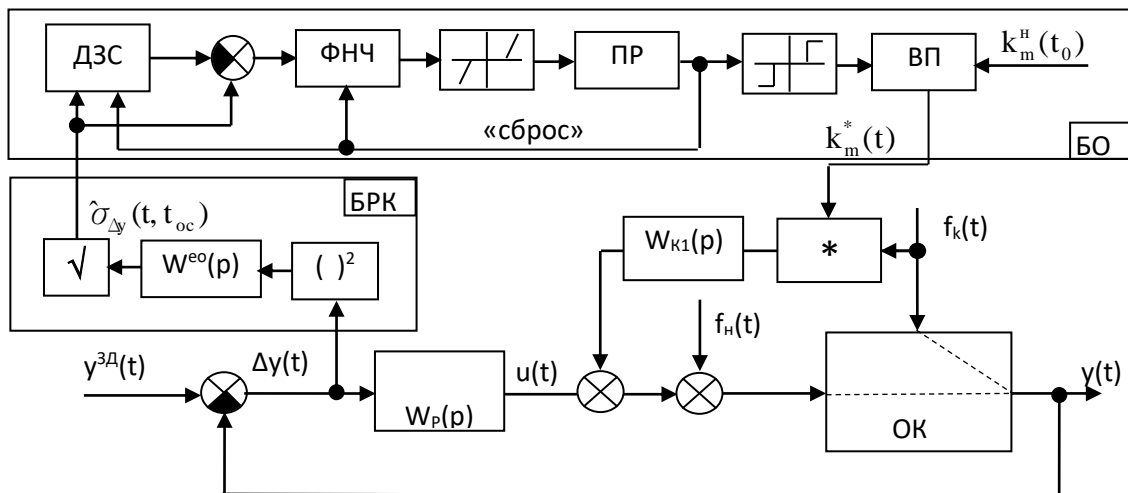


Рис. 10 – Структурна схема інваріантної САР з оптимізацією коефіцієнта передачі k_m в моделі коригувального зв'язку.

Для оптимізації коефіцієнта передачі k_m в моделі коригувального зв'язку структурна схема інваріантної САР була доповнена блоком розрахунку критерію «БРК» і блоком оптимізації «БО». У «БРК» виконується розрахунок оцінки середньоквадратичного відхилення помилки регулювання $\hat{\sigma}_{\Delta y}(t, t_{oc})$ на ковзному інтервалі часу. Розрахунок $\hat{\sigma}_{\Delta y}(t, t_{oc})$ виконується методом експоненціального осереднення. У «БО» детектор зростаючого сигналу (ДЗС) перетворює $\hat{\sigma}_{\Delta y}(t, t_{oc})$ в зворотний сигнал і «пропускає» через себе тільки його зростаюче значення. У тому випадку, якщо сигнал починає зменшуватися, то на виході детектора залишається максимальне значення сигналу. Фільтр низьких частот (ФНЧ) і зона нечутливості (ДТ) служать захистом від шумів, попереджаючи неправильні реверси. Пристрій реверсу (ПР) видає імпульс на 3-х позиційне реле, яке змушує виконавчий пристрій (ВП) (інтегратор) змінювати на своєму



виході значення $k_m^*(t)$. У момент реверсу через запізнення (його значення відповідає еквівалентному запізнюванню в каналі керування) видається сигнал «скидання», який обнуляє ФНЧ, і на вихід ДВС записує поточне значення сигналу зворотного $\hat{\sigma}_{\Delta y}(t, t_{oc})$.

При замиканні контуру оптимізації ВП починає змінювати коефіцієнта передачі k_m в моделі коригувального зв'язку від початкового значення $k_m^H(t_0)$ в бік збільшення або зменшення в залежності від початкових умов. Розраховане значення $\hat{\sigma}_{\Delta y}(t, t_{oc})$ перетвориться в зворотний сигнал і надходить на вхід ДЗС. Якщо напрямок зміни k_m^H вибрано невдало і сигнал зворотний $\hat{\sigma}_{\Delta y}(t, t_{oc})$ падатиме, то різниця сигналів на вході в ФНЧ буде збільшуватися і при перевищенні зони нечутливості відбудеться спрацювання ПР, сформується імпульс на 3-х позиційне реле, яке переключиться і інтегратор почне змінювати сигнал k_m^H в протилежному напрямку. Цей напрямок вже буде правильним. У цьому випадку сигнал зворотний $\hat{\sigma}_{\Delta y}(t, t_{oc})$ буде зростати, а сигнал на вході ФНЧ буде дорівнювати нулю. Це буде тривати до тих пір, поки k_m^H не стане відповідати мінімуму $\hat{\sigma}_{\Delta y}(t, t_{oc})$. Оскільки в об'єкті і в пристрої управління є запізнювання, то k_m^H буде продовжувати змінюватися в тому ж напрямку. Тоді ДВС перестане пропускати через себе сигнал зворотний $\hat{\sigma}_{\Delta y}(t, t_{oc})$, запам'ятавши його максимальне значення. При цьому сигнал на вході ФНЧ почне зростати по модулю. Коли він досягне зони нечутливості, пристрій реверсу сформує імпульс і змінить стан 3-х позиційного реле керуючого ВП. Через час запізнення ФНЧ буде обнулено, а на виході ДВС буде записано поточне значення сигналу зворотного $\hat{\sigma}_{\Delta y}(t, t_{oc})$. k_m^H почне змінюватися в новому напрямку і робота керуючого пристрою повториться.

Дослідження роботи представленої САР проводилися методом імітаційного моделювання в середовищі Simulink. Схема моделювання САР представлена на рис. 11. Схема моделювання доповнена алгоритмом автоматичного запуску процесу оптимізації k_m та алгоритмом фіксації оптимального значення k_m при завершенні процедури пошуку.

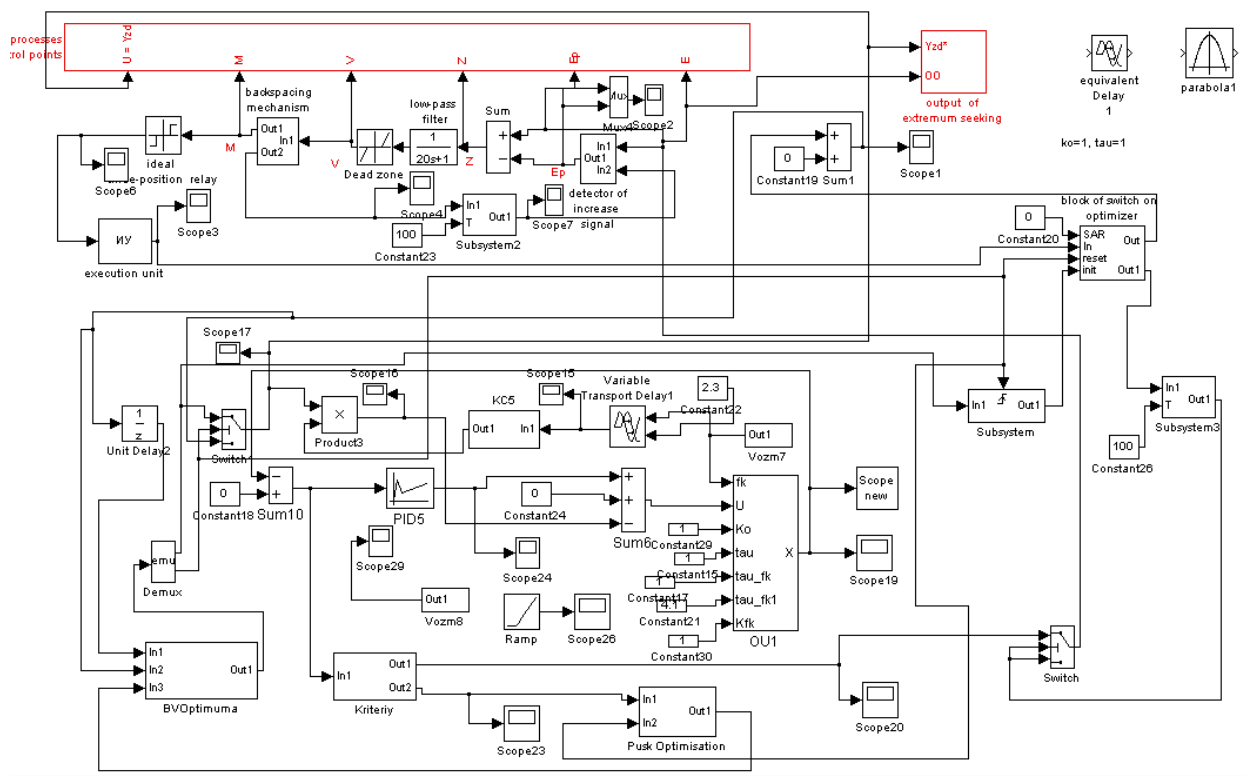


Рис. 11 – Схема моделювання інваріантної САР з алгоритмом автоматичної оптимізації коефіцієнта передачі k_m в моделі коригувального зв'язку.

На рис. 12 і 13 представлені фрагменти моделювання САР при фіксованих значеннях коефіцієнтів передачі моделі ОК.

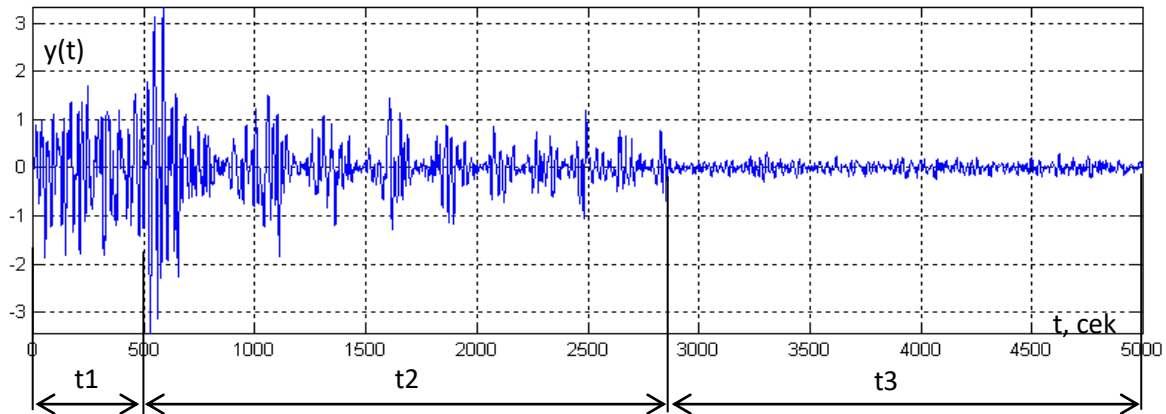


Рис. 12 – Динаміка зміни регульованої змінної при моделюванні інваріантної САР при початковому значенні $k_m^H(t_0) = 0.7k_m^*$ і роботі пошукового алгоритму оптимізації k_m . (інтервал часу t1 – алгоритм оптимізації k_m відключено $k_m = k_m^H(t_0) = 0.7k_m^*$; інтервал часу t2 – включений алгоритм оптимізації k_m виконується пошук оптимального значення k_m ; інтервал часу t3 - алгоритм оптимізації k_m автоматично відключено оптимальне значення визначено і зафіксовано $k_m = k_m^*$)

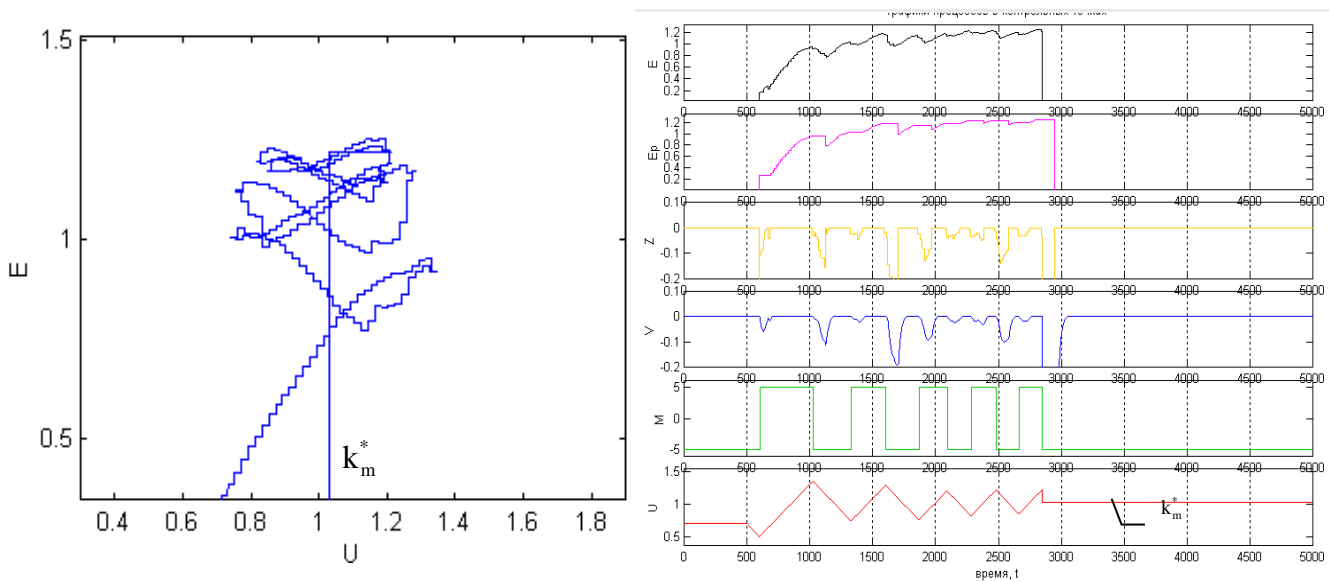


Рис. 13 – Відображення процесу пошуку екстремуму в часі і на фазовій площині при моделюванні інваріантної САР з оптимізацією коефіцієнта передачі k_m в моделі коригувального зв'язку при фіксованих значеннях нормованих коефіцієнтів передачі в моделі ОК і початковому значенні $k_m = 0.7k_m^*$ (позначення осей графіків відповідають позначенням координат САР на схемі моделювання, k_m^* - оптимальне значення коефіцієнта передачі k_m).

На рис. 14 і 15 представлені фрагменти моделювання САР при лінійній зміні коефіцієнту передачі моделі ОК за каналом дії контрольованого збурення k_{ky} .

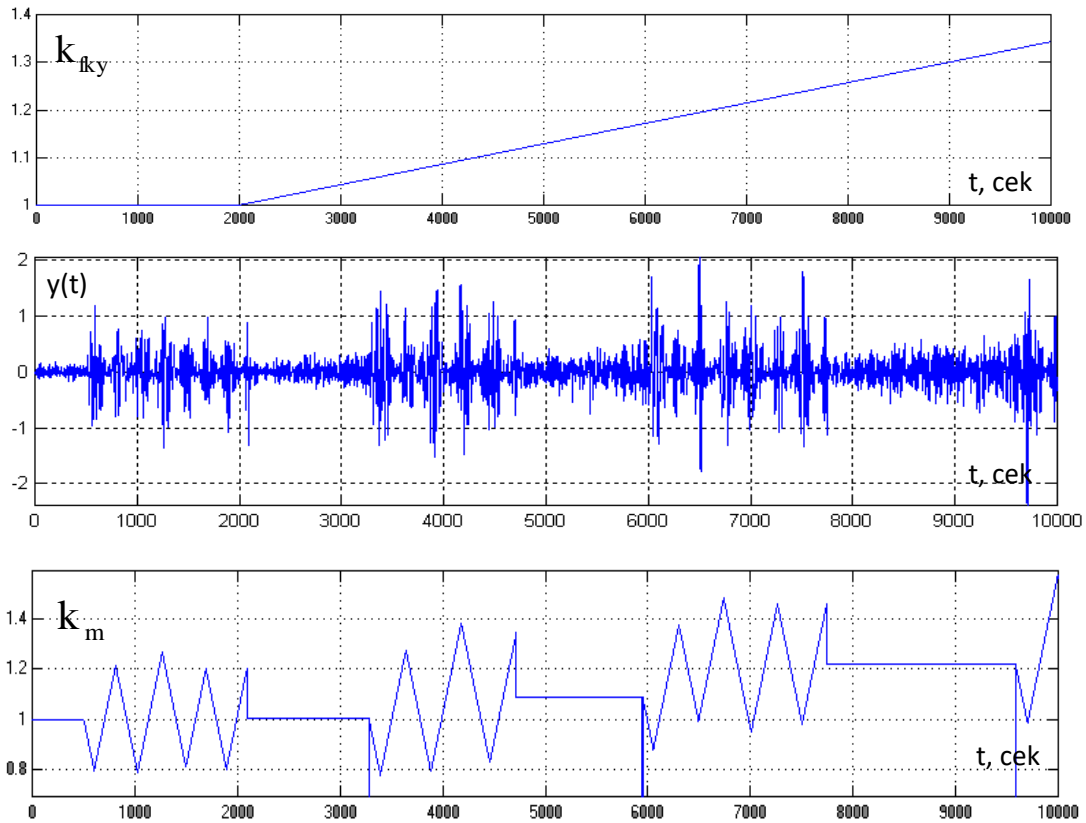


Рис. 14 – Динаміка зміни коефіцієнту передачі моделі ОК за каналом дії контрольованого збурення k_{ky} , регульованої змінної $y(t)$ та коефіцієнта k_m при моделюванні роботи інваріантної САР і роботи пошукового алгоритму оптимізації k_m .

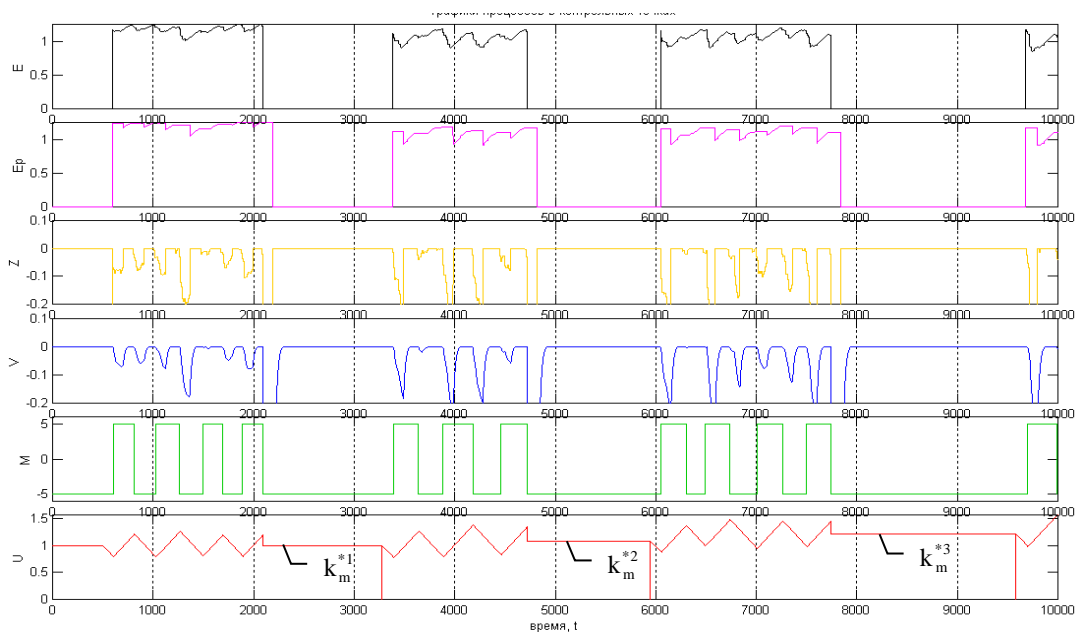


Рис. 15 – Відображення процесу пошуку екстремуму в часі при моделюванні інваріантної САР з оптимізацією коефіцієнту передачі k_m в моделі коригувального зв'язку при лінійній зміні значення нормованого коефіцієнту передачі в моделі ОК (позначення осей графіків відповідають позначенням координат САР на схемі моделювання, k_m^* - оптимальне значення коефіцієнту передачі k_m).



Аналізуючи результати (рис. 14 та 15) можна зробити висновок що система працює коректно і ефективно відслідковує зміни коефіцієнта передачі k_{ky} періодично вмикаючи пошуковий алгоритм оптимізації k_m і фіксуєчи його нове оптимальне значення k_m^* при якому забезпечується мінімальне поточне значення показника якості I (оцінка дисперсії похибки регулювання). При лінійному зростанні коефіцієнту передачі моделі ОК за каналом дії контрольованого збурення k_{ky} показник якості I (оцінка дисперсії похибки регулювання) у відповідності до рис. 9 починає збільшуватися, система вмикає роботу пошукового алгоритму оптимізації k_m та визначає його нове оптимальне значення k_m^* і фіксує відповідне значення I . При подальшому збільшенні показника I яке пов'язане зі зміною k_{ky} система повторно визначає нове оптимальне значення k_m^* . Періодичне вмикання пошукового алгоритму оптимізації k_m дозволяє зменшити негативний вплив його роботи на динамічну точність САР.

Висновки

Результати моделювання підтверджують працездатність розробленої системи і ефективність її роботи в умовах зміни коефіцієнтів передачі у каналах об'єкту керування під час його експлуатації. При зміні коефіцієнтів передачі у каналах об'єкту керування система автоматично запускає алгоритм пошуку і визначає нове оптимальне значення коефіцієнту передачі коригувального зв'язку k_m^* що зменшує похибку стабілізації за каналом дії контрольованого збурення. Система з досить високою точністю визначає оптимальні значення k_m^* як при фіксованих значеннях коефіцієнтів передачі у каналах ОК так і при їх зміні. До недоліків системи можна віднести втрати на пошук, що виникають при її роботі. Зменшення втрат на пошук виконано шляхом застосування спеціальних алгоритмів які у разі необхідності вмикають алгоритм пошуку k_m^* на нетривалий час.

Список використаних джерел

- [1]. [1] SIMATIC Dynamic Disturbance 1.0, Beitrags-ID: 38755516. Siemens AG, 10/2009. 28p.
- [2]. Siemens AG, Sektor Industry: Online-Hilfe zur PCS7 Advanced Process Library V7.1, Nov. 2008.
- [3]. Степанов М.Т., Хобін В.А. Система автоматичного регулювання інваріантна до контрольованих збурень з прогнозуванням сигналу корекції по кубічному сплайну // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. – Одеса, 2020. – № 1. – Т. 12. – С. 67 – 74.
- [4]. Степанов М.Т., Хобін В.А. Прогнозирование вынужденного движения и его применение в системах гарантирующего управления // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. – Одеса, 2011. – № 5-6. – С. 20 – 25
- [5]. Пикина Г.А., Кузнецов М.С. Синтез линейных прогностических алгоритмов регулирования // Новое в российской электроэнергетике. 2009. № 10. С. 40-44.

References

- [1]. SIMATIC Dynamic Disturbance 1.0, Beitrags-ID: 38755516. Siemens AG, 10/2009. 28p.
- [2]. Siemens AG, Sektor Industry: Online-Hilfe zur PCS7 Advanced Process Library V7.1, Nov. 2008.
- [3]. M.T. Stepanov et al. "Systema avtomatychnogo reguluvannya invariantna do kontrolovanых zburen z prognozuvannyam sygnalu korekciyi po kubichnomu splajnu", Avtomatizatsiya tehnologichnih ta biznes-protsesiv", no.1, vol 12, pp.67-74, 2020.
- [4]. M.T. Stepanov et al. "Prognozirovaniye vyinuzhdenного dvizheniya i ego primeneniye v sistemah garantiruyushego upravleniya", Avtomatizatsiya tehnologichnih ta biznes-protsesiv", no.5-6, pp.20-25, 2011.
- [5]. G.A. Pikina et al. "Sintez lineynykh prognosticheskikh algoritmov regulirovaniya", Novoe v rossiyskoy elektroenergetike 2009, vol. 10. pp. 40-44.

Отримана в редакції 01.09.2022. Прийнята до друку 12.09.2022. Received 01 September 2022. Approved 12 September 2022. Available in Internet 30 September 2022.