

Выводы

1. Получена математическая модель каупера с сотовой камерой горения при последовательном подключении проточного динамического демпфера на входе вентилятора, приводящая к нелинейной динамической системе с двумя степенями свободы.
2. Установлен характер демпфирования при изменении акустических параметров демпфирующего колебательного контура.

ЛИТЕРАТУРА

1. Басок Б. И. Проблема термоакустических колебаний и вибрационного горения /Б. И. Басок, В. В. Гоцуленко //Техническая теплофизика и промышленная теплоэнергетика: сборник научных трудов.– Д., 2009. – Вып. 1. – С. 5 – 15.
2. Гоцуленко В.В. Управление автоколебаниями при вибрационном горении /В. В. Гоцуленко, А. М. Павленко, Б. И. Басок // Промышленная теплотехника. – 2005. – Т. 27, № 1. – С. 9 – 13.
3. Гоцуленко В. В. Математичне моделювання динамічних процесів в моделі перфорованої камери горіння повітрянагрівачів доменних печей / В. В. Гоцуленко, Б. І. Басок // Промышленная теплотехника. – 2009. – Т. 31, № 5. – С.34 – 41.
4. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле / Тимошенко С.П. – М.: Наука, 1967. – 444 с.
5. Стрелков С. П. Введение в теорию колебаний / Стрелков С. П. – М.: Наука, 1964. – 437 с.
6. Казакевич В.В. Автоколебания (помпаж) в компрессорах / В.В. Казакевич. – М.: Машиностроение, 1974. – 264 с.

пост. 31.12.09

Синтез еквіваленту невідомого зовнішнього збурення в задачі стабілізації лінійного об'єкта керування засобами Simulink

СЛАВКО О.Г.

Кременчуцький державний університет імені Михайла Остроградського

Побудовано імітаційну модель системи керування з регулятором, який в реальному часі при малій апріорній інформації про зовнішнє збурення створює його еквівалент, що використовується для синтезу керуючого сигналу в задачі стабілізації лінійного об'єкта керування. Моделювання виконано засобами MATLAB / Simulink.

Построена имитационная модель системы управления с регулятором, который в реальном времени при малой априорной информации о внешнем возмущении создает его эквивалент, который используется для синтеза управляющего сигнала в задаче стабилизации линейного объекта управления. Моделирование выполнено средствами MATLAB / Simulink.

Imitational model of control system with controller, that in a real time in case of low a priori information about external disturbance creates its equivalence, which is used for controlling signal synthesis in a linear controlled object stabilization task, are developed. Modeling is made by MATLAB / Simulink.

Вступ. Автоматичне регулювання, метою якого є стабілізація певного значення регульованих змінних або їх зміну за заданим у часі законом з необхідною точністю, є важливою практичною задачею.

В проведених дослідженнях [1,2] було виявлено унікальну адаптивну здатність людини-оператора, яка, стабілізуючи динамічну систему, на відміну від технічних систем керування, застосовує оригінальний принцип, що отримав назву *активного резонансу (AP)* та полягає в здатності оператора моделювати сигнал невідомого зовнішнього збурення за допомогою власного сигналу керування.

В даній роботі створюється імітаційна модель системи керування з регулятором, що діє на основі принципу активно-резонансного керування динамічною системою в режимі реального часу при малій апріорній інформації про керований процес.

Аналіз публікацій. До найбільш поширеного типу регуляторів в задачах автоматизації технологічних процесів відносяться PID-регулятори (Proportional-Integral-Derivative) [3], що є механізмами регулювання замкнених динамічних систем зі зворотнім зв'язком. Однак, PID-регулятори мають ряд недоліків [4], які ускладнюються тим, що в сучасних системах керування динаміка часто є невідомою, регульовані параметри не можна вважати незалежними, наявний шум вимірювання регульованих параметрів, процедури підбору параметрів за стандартними методиками не завжди дають задовільний результат та ін.

Стандартом вважаються процедури синтезу H^∞ -регуляторів в рамках "2-Рікатті підходу" [5]. Однак, H^∞ -регулятори значно залежать від параметричної робастності об'єкта керування, що є суттєвим недоліком.

Запропонований в [1,2] метод керування є прямим методом і дозволяє в режимі реального часу синтезувати еквівалент невідомого зовнішнього збурення за відсутності формальної математичної моделі об'єкта керування. При цьому стабілізація об'єкта керування виконується наступним чином [2]. Оператор протягом деякого часу створює модель керованого процесу у вигляді власного сигналу керування, еквівалентного за своєю дією на об'єкт керування сигналу невідомого зовнішнього збурення. Створивши модель, оператор переходить до її використання, а саме, апроксимує сигнал керування деякою аналітичною залежністю, прогнозує подальшу поведінку цього сигналу та вводить прогнозований сигнал в інвертованому вигляді як керуючий.

Основний матеріал. Будемо розглядати систему (рис.1), що містить об'єкт керування та регулятор, який формує сигнал керування на основі алгоритму активного резонансу (АР-регулятор). На об'єкт керування діє зовнішнє збурення. Надамо математичний опис основних елементів системи керування.

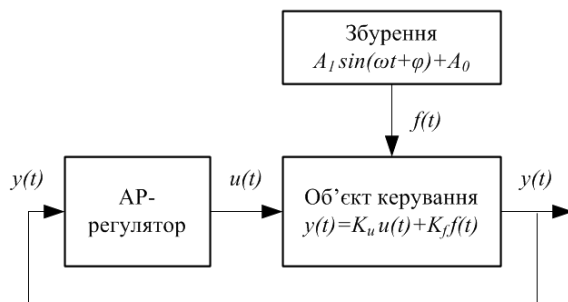


Рис. 1. Структурна схема системи керування: $u(t)$ – сигнал керування; $f(t)$ – зовнішнє збурення; $y(t)$ – реакція системи на зовнішнє збурення та керуючий сигнал

Об'єкт керування є лінійним та являє собою масштабну ланку:

$$y(t) = K_u \cdot u(t) + K_f \cdot f(t), \quad (1)$$

де t – час (с), K_u – коефіцієнт підсилення керуючого сигналу, K_f – коефіцієнт підсилення сигналу зовнішнього збурення, $u(t)$ – керуючий сигнал активно-резонансного регулятора, $f(t)$ – сигнал зовнішнього збурення.

Зміна вихідного параметру системи $y(t)$, як під дією збурення $f(t)$, так і під дією керуючого сигналу $u(t)$, описується за допомогою виразу (1).

Зовнішнє збурення являє собою не випадковий гармонічний тренд:

$$f(t) = A_1 \sin(\omega t + \varphi) + A_0, \quad (2)$$

де t – час (с), A_1 , ω , φ , A_0 – параметри гармонічного тренду (A_1 – амплітуда, ω – кутова частота, φ – фазовий зсув, A_0 – амплітудний зсув).

Алгоритм стабілізації системи є суттєво нелінійним [2], і в спрощеному вигляді при нульових початкових умовах полягає у виконанні наступних дій:

1. Створення еквіваленту сигналу невідомого зовнішнього збурення на основі динаміки об'єкта керування.

2. Апроксимація отриманого еквіваленту сигналу зовнішнього збурення деякою аналітичною залежністю.

3. Екстраполяція отриманої в п.2 залежності на період часу суттєво більший часу синтезу еквіваленту сигналу зовнішнього збурення.

4. Інвертування отриманого в п.3 сигналу та його введення в якості керуючого.

Для створення імітаційної моделі обрано пакет MATLAB / Simulink, який використовує модульно-ієрархічний принцип побудови систем з можливістю структурно-модульного програмування.

В пакеті MATLAB 7 / Simulink 6 була розроблена імітаційна модель процесу керування динамічною системою на основі АР-регулятора (рис. 2).

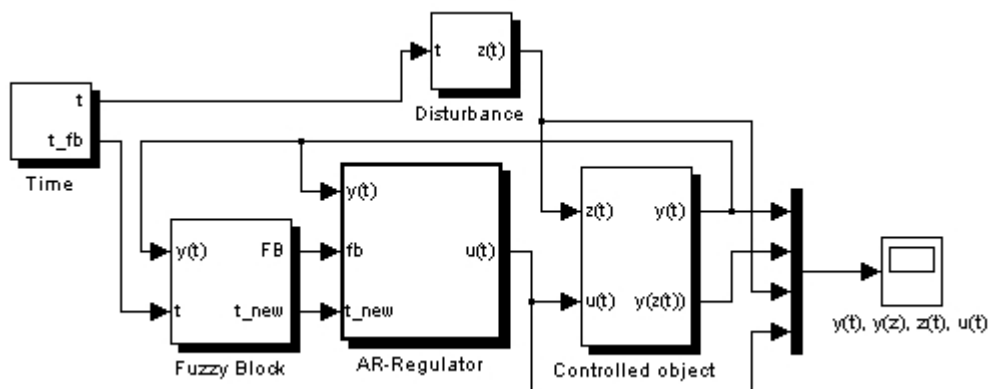


Рис. 2. Схема імітаційної моделі: Time – блок генерування часу, Fuzzy Block – блок прийняття рішення про необхідність керування, Disturbance – блок генерування зовнішніх збурень, AR-Regulator – активно-резонансний регулятор, Controlled Object – об'єкт керування

Імітаційна модель складається з наступних блоків: блоку (підсистеми) генерування часу, блоку генерування зовнішнього збурення, блоку прийняття рішення про необхідність керування, блоку активно-резонансного регулятора та блоку об'єкта керування.

Розглянемо детальніше блок регулятора.

АР-регулятор складається з двох блоків:

1) блоку, що формує керуючий сигнал за алгоритмом активного резонансу;

2) блоку, в якому формується нульовий сигнал керування.

У випадку, коли некерована реакція об'єкта наближається до заданого положення або не виходить за певні (заздалегідь задані) межі, необхідності здійснювати керування об'єктом немає. При цьому блок прийняття рішення про необхідність керування не ініціалізує блок регулятора, тому керуючий сигнал АР-регулятора є нульовим.

У випадку, коли некерована реакція об'єкта виходить за певні (заздалегідь задані) межі та це відхилення з кожним часовим проміжком збільшується, наявна необхідність керування об'єктом. При цьому блок прийняття рішення про необхідність керування ініціалізує блок АР-регулятора та керуючий сигнал формується за алгоритмом активного резонансу.

Блок, що формує керуючий сигнал за алгоритмом активного резонансу, складається з трьох підсистем:

1) підсистема моделювання (створення) еквіваленту невідомого зовнішнього збурення;

2) підсистема апроксимації змодельованого зовнішнього збурення;

3) підсистема формування сигналу керування (екстраполяція та інвертування апроксимованого еквіваленту зовнішнього збурення).

Процедура проведення моделювання полягала у наступному [6]:

1. Обиралися коефіцієнти підсилення K_u та K_f об'єкта керування, що описаний виразом (1), рівні один одному.

2. Обиралися параметри A_1 , ω , φ , A_0 сигналу зовнішнього збурення $f(t)$, що описано виразом (2).

3. Обирався час (кількість часових відліків) спостереження за керованою реакцією $y(t)$ об'єкта керування, протягом якого АР-регулятором має виконуватись синтез еквіваленту невідомого зовнішнього збурення.

4. Створений еквівалент зовнішньому збуренню апроксимувався наступною залежністю:

$$f_a(t) = A_1' \sin(\omega' t + \varphi') + A_0', \quad (3)$$

де t – час (с), A_1' , ω' , φ' , A_0' – параметри гармонічного

тренду, що знаходились методом найменших квадратів.

При цьому залежно від початкових значень параметрів виразу (3), яким апроксимувався еквівалент зовнішнього збурення, можливі два варіанти:

1) недооцінення створеного еквіваленту зовнішнього збурення,

2) переоцінення створеного еквіваленту зовнішнього збурення.

5. На основі отриманої апроксимації виконувалась екстраполяція значень еквіваленту сигналу зовнішнього збурення на період часу значно більший часу спостереження за сигналом керованої реакції об'єкта, а саме до кінця півперіоду апроксимуючої залежності (3).

6. Як керуючий сигнал на ділянці спостереження за керованою реакцією об'єкта вводився синтезований АР-регулятором еквівалент зовнішнього збурення. На наступному часовому інтервалі як керуючий вводився в інвертованому відносно ординати останньої точки вигляді екстрапольований сигнал синтезованого еквіваленту апроксимованої залежності.

7. Для заданих коефіцієнтів підсилення та параметрів зовнішнього збурення фіксувались керована $y(t)$ та некерована $y_{unctrl}(t)$ реакції об'єкта керування.

В табл.1 наведено приклади коефіцієнтів підсилення керуючого та збурюючого сигналів і параметрів зовнішнього збурення.

Як зовнішнє збурення також використовувалась адитивна комбінація не випадкового гармонічного тренду та випадкового збурення у вигляді стаціонарного шуму з рівномірним розподілом (рис.3.б).

Гармонічний тренд описано рівнянням (2). Шум характеризується автокореляційною функцією:

$$R_y(\tau) = \sigma^2 e^{-\alpha|\tau|}$$

та спектральною щільністю:

$$S(\omega) = \frac{2\sigma\alpha}{\pi(\omega + \alpha)},$$

де α – параметр згасання, σ – середньоквадратичне значення шуму, τ – часовий зсув.

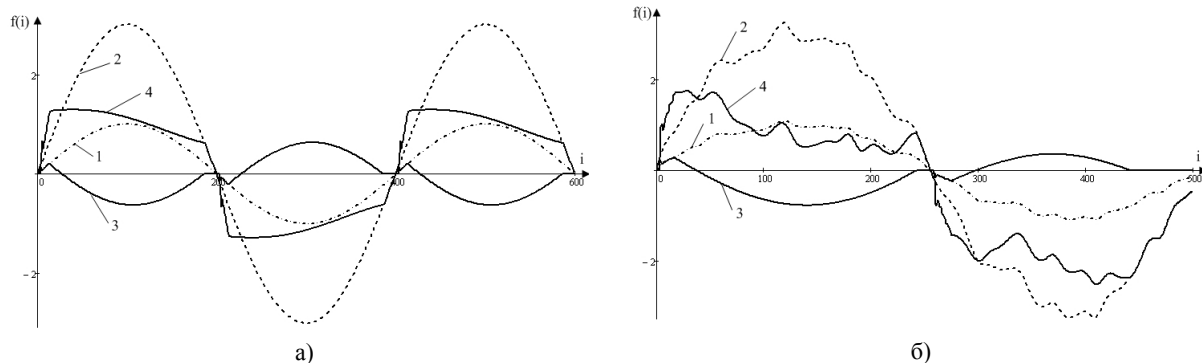


Рис. 3. Залежність керованого та некерованого сигналів виходу системи від часу: 1 – зовнішнє збурення $f(t)$, 2 – некерована реакція системи на зовнішнє збурення $y_{unctrl}(t)$, 3 – сигнал керування $u(t)$, 4 – керована реакція системи $y(t)$; $i = t/\Delta t$ – безрозмірний час, $\Delta t = 0,01$ (с) – інтервал дискретизації, t – час моделювання: а) $t = 6$ (с), б) $t = 5$ (с).

На рис. 3 (а) наведено залежність керованого та некерованого сигналів виходу системи від часу моделювання у випадках недооцінки при апроксимації змодельо-

ваного еквіваленту сигналу зовнішнього збурення при коефіцієнтах підсилення $K_u = K_f = 3$ та наступних параметрах зовнішнього збурення: $A_1 = 1$, $\omega = \pi/2$, $\varphi = 0$, $A_0 = 0$.

Таблиця 1. Приклади коефіцієнтів підсилення та параметрів зовнішнього збурення

Коефіцієнти підсилення		Параметри збурення $f(t)$				Час t, c
K_u	K_f	A_1	ω	φ	A_0	
3	3	1	$\pi/2$	0	0	6
3	3	1	$\pi/2$	$-\pi/12$	0	6
2	2	2	$\pi/2$	$-\pi/12$	0	5
6	6	2	π	0	0	3

Обчислимо дисперсію Var вихідного сигналу системи керування $y(t)$ на одному періоді сигналу зовнішнього збурення. Для наведених в табл.1 значень коефіцієнтів підсилення та параметрів зовнішнього збурення дисперсія Var вихідного сигналу системи керування $y(t)$ наступна (відповідно рядкам таблиці):

- 1) $Var = 1,051703$; 2) $Var = 0,657863$;
3) $Var = 1,505243$; 4) $Var = 64,32093$.

Для адитивної комбінації невинного гармонічного тренду та стаціонарного шуму з рівномірним розподілом $Var = 1,95255$.

Введемо позначення для відношення відхилень некеруваної $y_{unctrl}(t)$ та керуваної $y(t)$ реакцій об'єкта керування:

$$Var_{Ratio} = \frac{y_{unctrl}(t)}{y(t)}. \quad (4)$$

Для наведених в табл.1 значень коефіцієнтів підсилення та параметрів зовнішнього збурення відношення відхилень за формулою (4) (відповідно рядкам таблиці) на одному періоді сигналу зовнішнього збурення буде наступним:

- 1) $Var_{Ratio} = 4,278774$; 2) $Var_{Ratio} = 6,558769$;
3) $Var_{Ratio} = 5,095991$; 4) $Var_{Ratio} = 1,119387$.

Для адитивної комбінації невинного гармонічного тренду та стаціонарного шуму з рівномірним розподілом $Var_{Ratio} = 2,552547$.

Отримані оцінки корелюють з висновками, зробленими в роботах [1,2] про ефективність алгоритму активного резонансу. Таким чином, створена імітаційна модель для стабілізації лінійного об'єкта (1) поблизу деякого положення дозволяє проводити адекватне моделювання систем з невідомим зовнішнім збуренням у реальному часі.

Висновки

В роботі вперше створено імітаційну модель системи керування з регулятором на основі принципу активно-резонансного керування динамічною системою в режимі реального часу при малій апріорній інформації про керований процес для лінійного об'єкта керування засобами MATLAB / Simulink.

Розроблена модель дозволяє реалізувати різні процедури апроксимації та екстраполяції синтезованого еквіваленту для різних видів гармонічного невідомого зовнішнього збурення, і дослідити, які саме методи є оптимальними для керування динамічною системою на основі активного резонансу.

Також ця модель буде корисною для визначення області допустимих параметрів лінійного об'єкта керування та гармонічного зовнішнього збурення та дослідження процесу стабілізації нелінійних об'єктів керування на основі алгоритму АР.

Результати даної роботи використовуються для проектування та розробки регуляторів з використанням алгоритму АР.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гученко М.І. Активний резонанс – принцип реакції оператора на вхідний сигнал у системі компенсаційного стеження. – Адаптивні системи автоматичного управління. Міжвідомчий науково-технічний збірник. №4(24) "Системні технології". – Дніпропетровськ, 2001, – С. 30-38.
2. Гученко М.І. Активно-резонансний алгоритм стабілізації. – Нові технології. Науковий вісник Інституту економіки та нових технологій ім. Ю.І. Кравченка, № 1(2), 2003, – С. 57-61.
3. Astrom K.J., Hagglund T. PID Controllers: Theory, Design and Tuning. 2nd edition. Instrument Society of America, Research Triangle Park. – North Carolina, USA. – 1995. – 343 p.
4. Holger Lutz, Wolfgang Wendt. Taschenbuch der Regelungstechnik. – Auflage Frankfurt am Main: Harri Deutsch Verlag. – 2005.
5. Егунов Н.Д., Пупков К.А. Методы классической и современной теории автоматического управления. Синтез регуляторов систем автоматического управления. В 5 тт. Т. 3, Изд.2. – 2004. – 616 с.
6. Гученко Н.И., Славко Е.Г., Серик М.Ю., Иванова М.Н. Исследование влияния времени моделирования сигнала возмущения на точность стабилизации управляемой системы. – Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету, № 2/2006(37). – Кременчук, 2006. – С. 12-15.