

УДК 681.31

СИТНИК Б.Т., к.т.н., професор,
СИТНИК В.Б., аспірант,
МИХАЙЛЕНКО В.С., аспірант,
ВОЛОШЕНКО А.Л., магістрант (УкрДАЗТ)

Дослідження ефекту адаптації параметрів настроювання систем фільтрації-диференціювання-ідентифікації сигналів для систем керування рухомим складом

У роботі запропонована структура системи фільтрації-диференціювання-ідентифікації сигналів, яка забезпечує адаптивне диференціювання вхідного сигналу залежно від поточного співвідношення сигнал/шум, що дозволяє підвищити точність диференціювання і якість процесу керування.

Ключові слова: автоматична ідентифікація, фільтр-диференціатор, інтегральна оцінка якості, похідна сигналу.

Представив д.т.н., професор Мойсєнко В.І.

Вступ

Програма реструктуризації на залізничному транспорті України, по окремих напрямках реструктуризації, припускає, що скорочення експлуатаційних витрат повинне досягатися за рахунок удосконалення систем керування перевезеннями, впровадження автоматизації, нових технічних пристроїв, інформаційних, ресурсозберігаючих технологій, підвищення швидкості руху локомотивів.

Виконання заходів щодо скорочення витрат електроенергії передбачається за рахунок використання енергозберігаючих технологій, застосування рекуперативного гальмування (повернення в мережу електроенергії), впровадження комплексної системи керування системами тяги (гальмування), які забезпечують раціональний режим руху, оптимізують витрати палива й електроенергії при дотриманні заданого графіка руху.

Рухомий склад (РС) з розвитком нових інформаційних технологій перетерплює значний ріст якості автоматизації процесів. Однак ефективність застосування автоматичних пристроїв і систем залежить не тільки від ступеня оснащення ними електропривода, але й у значній мірі визначається якістю алгоритмів автопідстроювання пристроїв фільтрації й керування та ступенем оптимальності їхніх параметрів настроювання до змін нелінійних і нестационарних характеристик об'єкта керування, на фоні перешкод змінної інтенсивності, які змінюються в широких границях й істотно знижують якість роботи систем керування електроприводом РС.

Поліпшення якісних характеристик систем автоматичного регулювання й керування РС зв'язано, з технологічною необхідністю адаптації, із забезпеченням безпеки й здоров'ям обслуговуючого персоналу, високою швидкістю встаткування й уповільненою реакцією операторів, обумовленою обмеженими фізичними можливостями людини.

Аналіз наявних рішень

Переважає більшість сучасних наукових досліджень і промислових реалізацій адаптивних систем керування (САК) присвячено створенню робастних, нейроподібних, нечітких, інтелектуальних фільтрів і регуляторів.

Адаптивні САК й активні експертні системи (АЕС) [1-8] знаходять застосування як системи керування складними нестационарними й багатомірними об'єктами, підтримують функціонування систем у стохастичному і хаотичному станах, що істотно поліпшує їх характеристики надійності й техніко-економічні показники. Науковою основою досліджень послужили роботи вчених: Бесекерського В.А., Загарія Г.И., Заде Л.А., Лазаряна В.А., Поспелова Д.А., Тикменева Б.Н., Трахтмана Л.М., Mamdani Е.А., Цыпкина Я.З., Шубладзе А.М. Роботи цих і багатьох інших учених створили методичні й теоретичні передумови розвитку теорії адаптивних методів фільтрації, диференціювання, ідентифікації транспортних САК.

Наукова актуальність роботи полягає в розробці нової моделі дослідження ефекту адаптації параметрів настроювання систем фільтрації-диференціювання сигналів та керування РС.

Систематичне дослідження таких моделей не проводилося, якість алгоритмів автопідстроювання пристроїв фільтрації-диференціювання та керування й ступінь оптимальності параметрів настроювання пристроїв керування до нестационарних характеристик відносин оцінок випадкових корисних сигналів до перешкод не оцінювалася, порівняльний аналіз не проводився.

Приймаючи до відома вище сказане, цю роботу спрямовану на рішення наукової проблеми вдосконалювання систем керування, при наявності нестационарних характеристик об'єкта на тлі перешкод змінної інтенсивності, можна кваліфікувати як актуальну.

У САК широко використовуються пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД-) закон керування $u(t)$, виду

$$u(t) = K_{II} y(t) + \frac{1}{T_{II}} \int_0^t y(t) dt + T_D \frac{dy(t)}{dt}, \quad (1)$$

де $y(t)$ – вихідний сигнал фільтра, K_{II} , T_{II} , T_D – відповідно коефіцієнт пропорційності, постійні часу інтегрування й диференціювання.

У дискретних системах ПІД-закон керування формується за допомогою наступних виражень (кінцевих різниць):

$$\begin{aligned} y(k) &= q(k) - y_2(k) \\ \Delta y(k) &= y(k) - y(k-1) \\ \sigma(k) &= \sum_{i=1}^{k-1} y_i(i) \\ u(k) &= K_1 y(k) + K_2 \Delta y(k) + K_3 \sigma(k) \end{aligned}$$

де K_1, K_2, K_3 – лінійні комбінації коефіцієнтів K_{II}, T_{II}, T_D , $y_2(t)$ – вихідний сигнал фільтра, $q(k)$ – вхідний сигнал завдання САК.

З розглянутого можна зробити висновок про те, що в будь-якій системі необхідно визначати або похідну сигналу помилки $dy(t)/dt$, або її дискретний аналог – зміну $\Delta y(k)/T_k$ за період дискретності T_k . Наявність неконтрольованих перешкод $f(t)$ у вхідному $e(t)$ сигналі АФ, або вихідному $y_2(t)$ сигналі САК може привести до значних перекручувань у їхньому визначенні, а отже, і до значних відхилень у законі керування.

Структурна схема обчислювальної цифро-аналогової імітаційної моделі адаптивного фільтра, яку запропоновано в роботах [9-13], наведена на рис. 1.

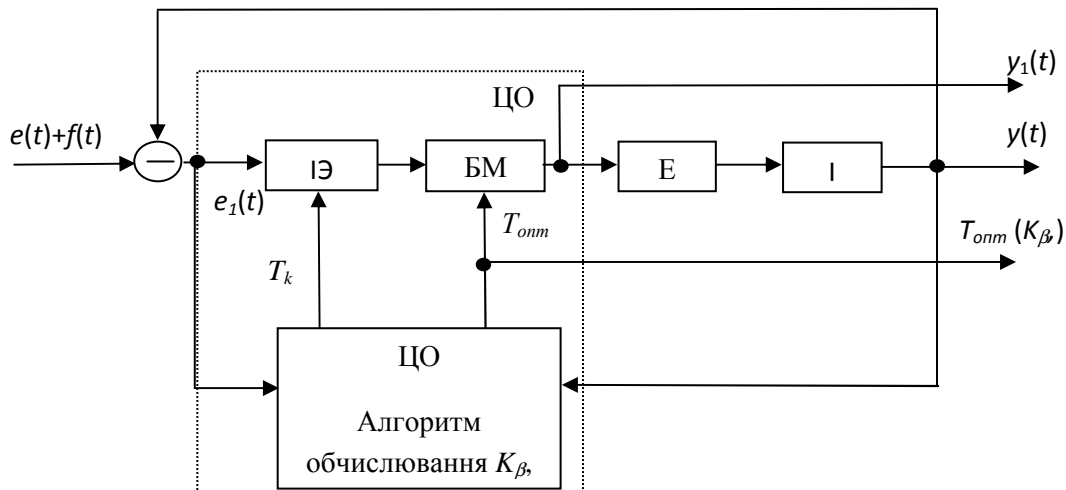


Рис. 1. Структурна схема обчислювальної цифро-аналогової імітаційної моделі адаптивного фільтра: ІӘ – імпульсний елемент, БМ – блок множення, ЦО – цифровий обчислювач, Е – екстраполятор з передатною

функцією $W_s(p) = \frac{1 - e^{-T_k p}}{p}$, І – інтегратор з передатною функцією $K(p) = \frac{1}{T_{II} p}$,

T_k – період квантування (дискретизації), K_{β} - коефіцієнт адаптації, $e(t)$ – корисний вхідний випадковий сигнал адаптивного фільтра, $e_1(t)$ - помилка фільтрації, $f(t)$ – сигнал аддитивної випадкової перешкоди на вході, $y(t)$ – вихідний сигнал фільтра, $y_1(t)$ – сигнал похідної вхідного сигналу.

Передатна функція фільтра по каналі $e \rightarrow y$ дорівнює $W(p) = \frac{y(p)}{e(p)} = \frac{1}{T_{omn}p + 1}$,

$$\text{де } T_{omn} \approx \frac{T_\beta}{K_\beta} \approx \frac{T_\beta \sqrt{Q}}{\sqrt{R}} \quad (2)$$

- оптимальне значення постійної часу фільтра,

T_β - необхідна постійна часу фільтра по корисному сигналі,

K_β - коефіцієнт адаптації,

Q і R - поточні значення рівнів спектральних щільностей перешкоди й корисного сигналу, відповідно.

Адаптивне диференціювання вхідних сигналів фільтра. Розглянемо вихідний сигнал на виході блоку множення, зображення якого дорівнює $y_1(p)$.

Передатна функція фільтра по каналу $e \rightarrow y_1$ буде дорівнювати

$$W_d(p) = \frac{y_1(p)}{e(p)} = \frac{T_\beta p}{\sqrt{Q} T_\beta p + 1} \quad (3)$$

Тому що $K_\beta \cong \frac{\sqrt{R}}{\sqrt{Q}}$, тобто характеризує оцінку

поточного співвідношення корисного сигналу до перешкоди, то при відсутності перешкоди, тобто при $\sqrt{Q} \rightarrow 0$, оптимальне значення постійної часу фільтра $T_{omn} \rightarrow 0$.

Наявність перешкоди викликає збільшення значення T_{omn} і фільтрацію високочастотних складових у сигналі похідної вхідного сигналу, відповідно до рівняння

$$T_{omn} \frac{dy_1(t)}{dt} + y_1(t) = T_\beta \frac{de(t)}{dt} \quad (4)$$

Таким чином, запропонована структура забезпечує адаптивне диференціювання вхідного сигналу $x(t)$ залежно від поточного співвідношення сигнал/шум, що дозволить підвищити точність диференціювання і якість процесу керування.

Дослідження адаптивного фільтра-диференціатора-ідентифікатора. У реальних динамічних системах реакція від перешкод безпосередньо складається з реакцією від керуючих впливів. Перешкода й корисний сигнал представляють адитивну суміш. Якщо реакція від перешкоди приводить до зміни масштабу реакції вихідного

сигналу від основного впливу, то в системі мають місце параметричні збурювання й перешкода, крім адитивної, може мати також і мультиплікативну складову.

Відхилення параметрів зовнішніх і параметричних впливів і збурень у припустимих межах приводить до погіршення показників якості функціонування системи. Якщо припустимий клас зовнішніх впливів широкий, то система не зможе задовільно функціонувати у всіх можливих ситуаціях, якими б динамічними властивостями вона не володіла. У цих умовах позитивний ефект може бути гарантований тільки при наявності в системі робастності або адаптації [10-13]. У робастних системах показники якості втримуються в припустимих межах при можливій зміні умов її функціонування без підтримки оптимальної якості.

В адаптивних системах організується автоматична перебудова динамічних властивостей слідом за зміною властивостей випадкових корисних зовнішніх сигналів, випадкових перешкод, випадкових параметричних і структурних змін. В адаптивних системах повинна використовуватися поточна інформація про властивості зовнішніх сигналів, проводиться аналіз цих властивостей для забезпечення правильного функціонування залежно від результатів цього аналізу.

Якщо динамічні властивості системи прагнуть до оптимальних значень для всього діапазону можливих змін, то це забезпечить максимальну ефективність функціонування.

Перевагою робастних систем є їхня простота, тому що гарантована точність нижче максимальної і не вище припустимої.

У процесі адаптації відбувається перебудова параметрів настроювання фільтрів і регуляторів у широкому діапазоні їхньої зміни. При цьому можливий вихід якого-небудь параметра за межі обмежені областю стійкого функціонування замкнутої системи фільтрації. Тому при реалізації алгоритмів адаптації необхідно враховувати обмеження на діапазон і час адаптації відповідних параметрів настроювання. Такі обмеження повинні встановлюватися при розрахунку систем на стійкість і знаходженні критичних значень параметрів, що порушують умови стійкості.

В [11] показано, що в реальних промислових системах істотні частоти спектральних щільностей корисного сигналу й перешкоди рознесені (відрізняються як мінімум в 2-5 разів). На підставі цієї умови отримане вираження (2) для T_{omn} .

При моделюванні замість генератора білого шуму може використовуватися генератор високої частоти $\omega \gg \omega_\beta$, а замість відбілюючого фільтра може встановлюватися генератор низької частоти $\omega \leq \omega_\beta$.

У кожний дискретний момент часу після настроювання параметрів фільтра його структуру

можна вважати лінійною. У цьому випадку можна використовувати результати теорії лінійних систем керування.

На рис. 2 наведена обчислювальна модель дослідження адаптивного фільтра-диференціатора-ідентифікатора, що містить три послідовно з'єднаних

адаптивних фільтрів (рис.1) [12] і один неадаптивний фільтр виконаний на підсилювачі Gain_2 і Integrator. На виході 1 кожного адаптивного фільтра присутній фільтрований сигнал, а на виході 2 – фільтрована похідна вхідного сигналу. На рис. 3 - рис. 6 наведені результати моделювання схеми, яка показана на рис. 2.

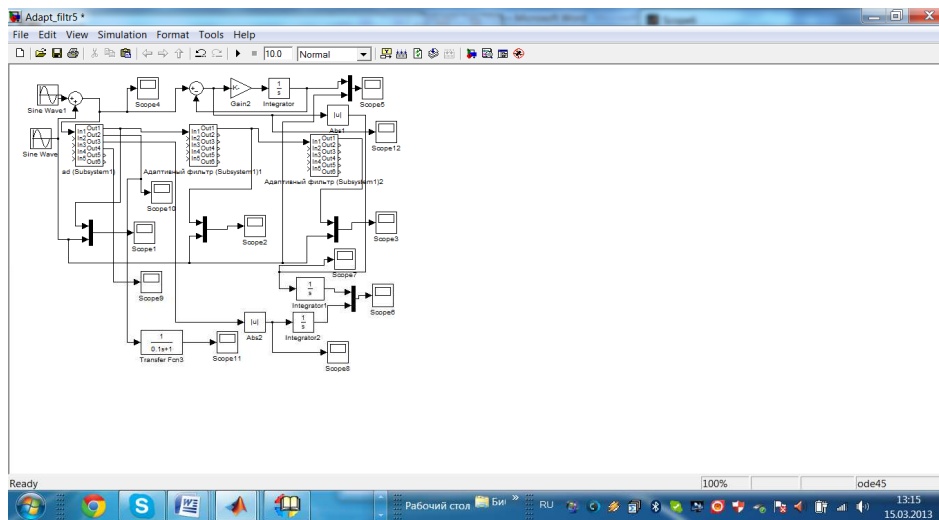


Рис. 2. Обчислювальна модель дослідження адаптивного фільтра-диференціатора-ідентифікатора

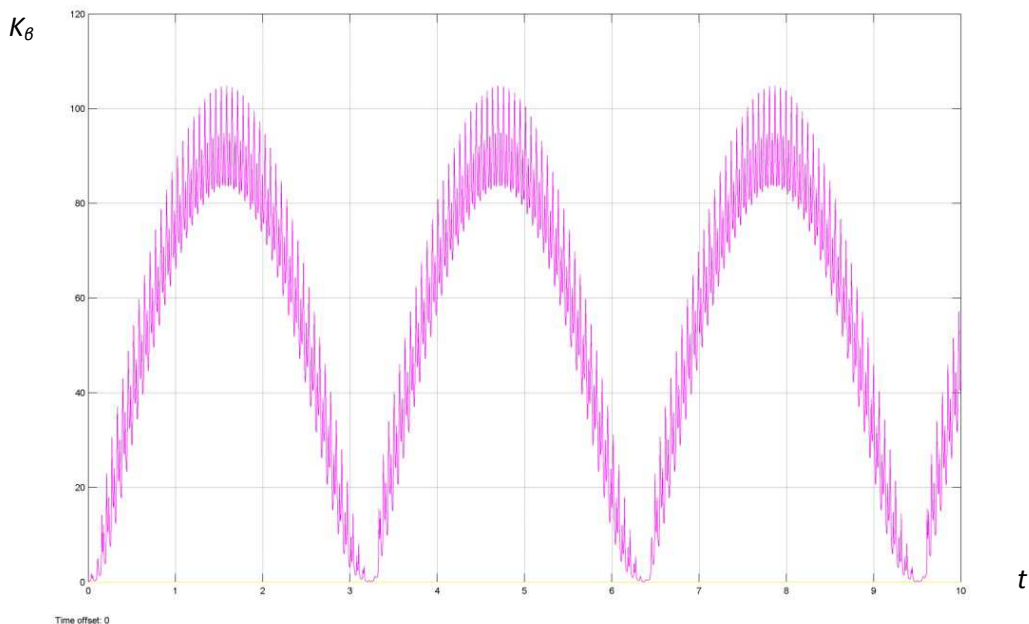


Рис. 3. Графік зміни коефіцієнта адаптації $K_{\beta} \cong \frac{\sqrt{R}}{\sqrt{Q}}$

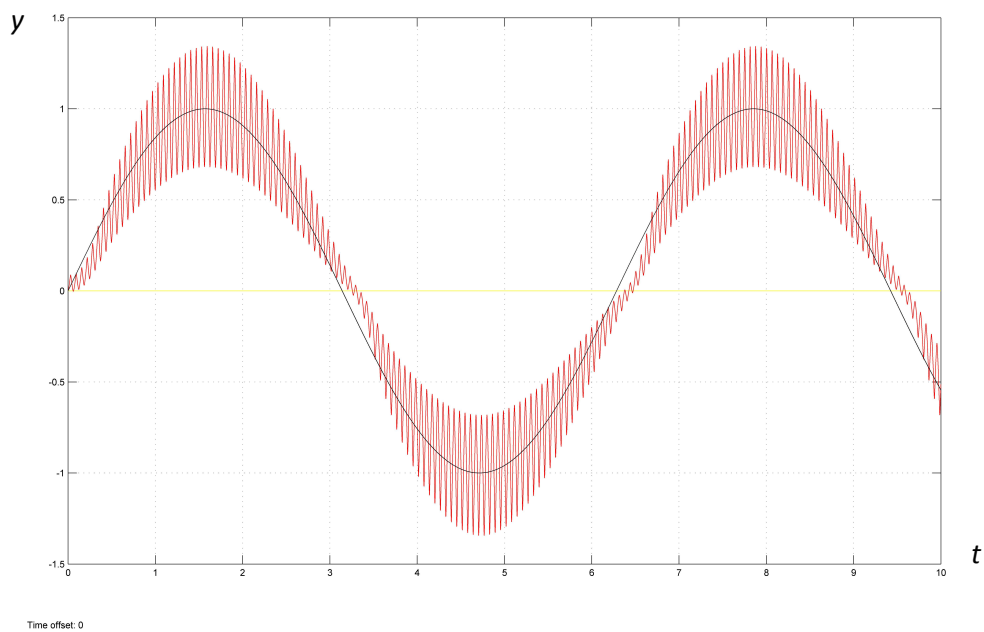


Рис. 4. Графіки зміни вихідного сигналу адаптивного фільтра

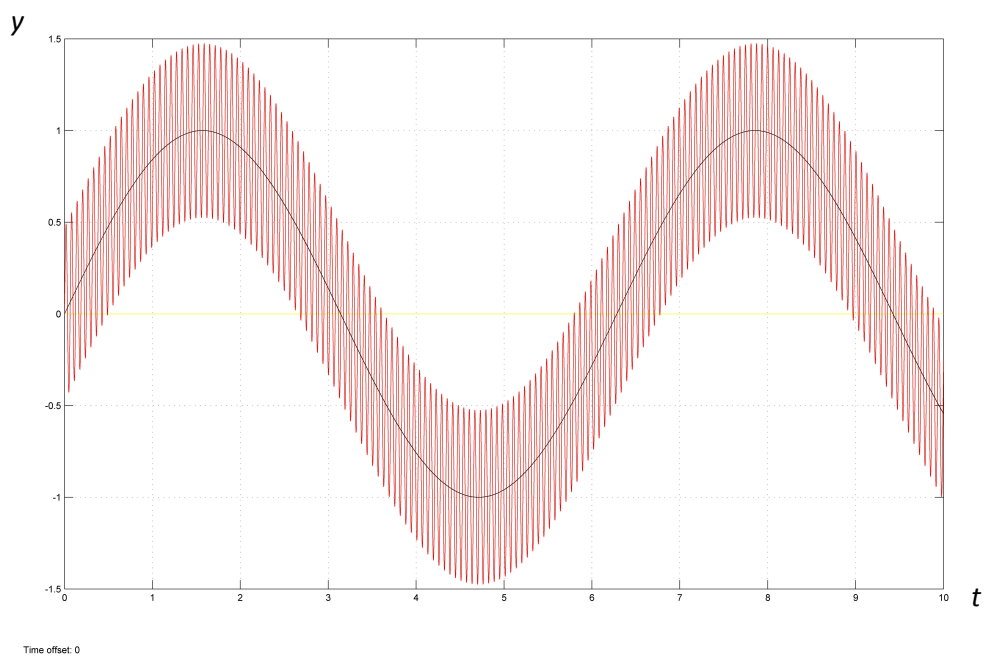
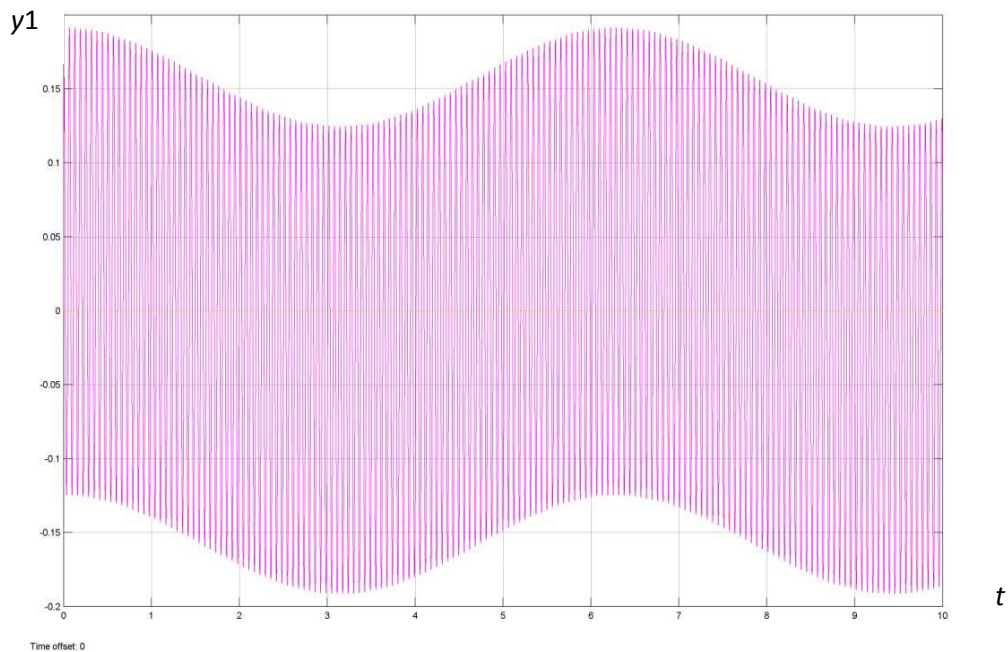
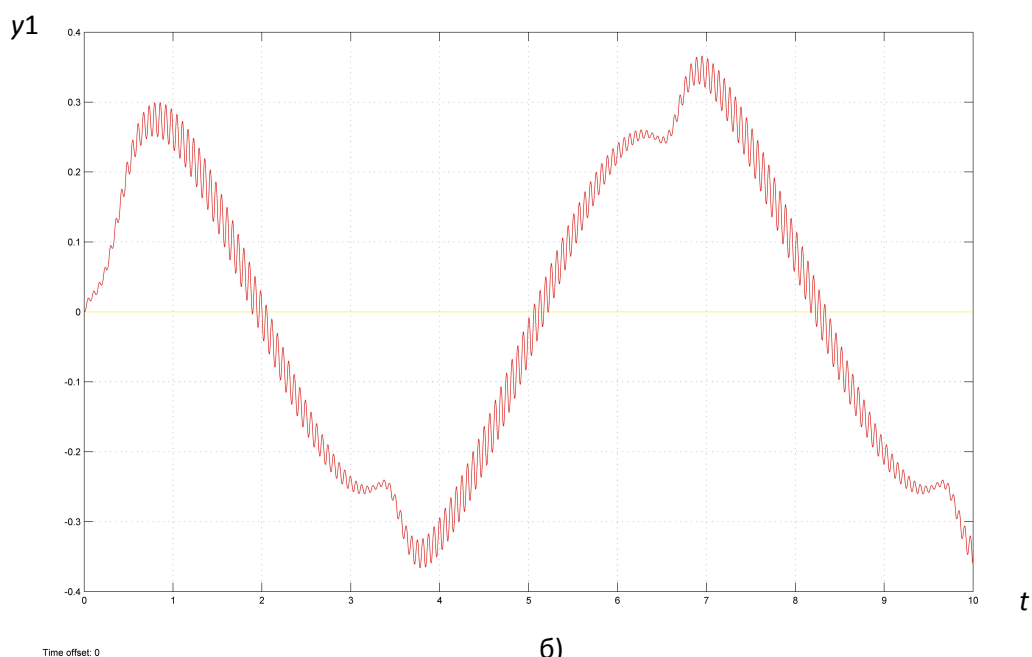


Рис. 5. Графіки зміни вихідного сигналу неадаптивного фільтра



a)



б)

Рис. 6. Графіки зміни вихідних сигналів похідних а) неадаптивного і б) адаптивного фільтрів

Аналіз графіків рис. 1 – рис. 7 дозволяє зробити наступні висновки:

1. Коефіцієнт адаптації від адаптивного фільтра змінюється від 0.01 до 120 тобто в 12000 разів, що забезпечує надійну і сталу роботу контуру керування

РО при наявності завад, що змінюються у широких межах (рис. 3),

2. Сигнал завади на виході неадаптивного фільтра (рис. 5) значно вище ніж на виході адаптивного фільтрів (рис.4);

3. Похідна на виході неадаптивного фільтра (рис. 6а) практично відсутня у порівнянні з похідною на виході адаптивного фільтра (рис. 6 б);

4. Модуль сигналу інтегральної оцінки помилки і адаптивного фільтра (рис. 7б) на 20% нижче ніж у неадаптивного (рис. 7а).

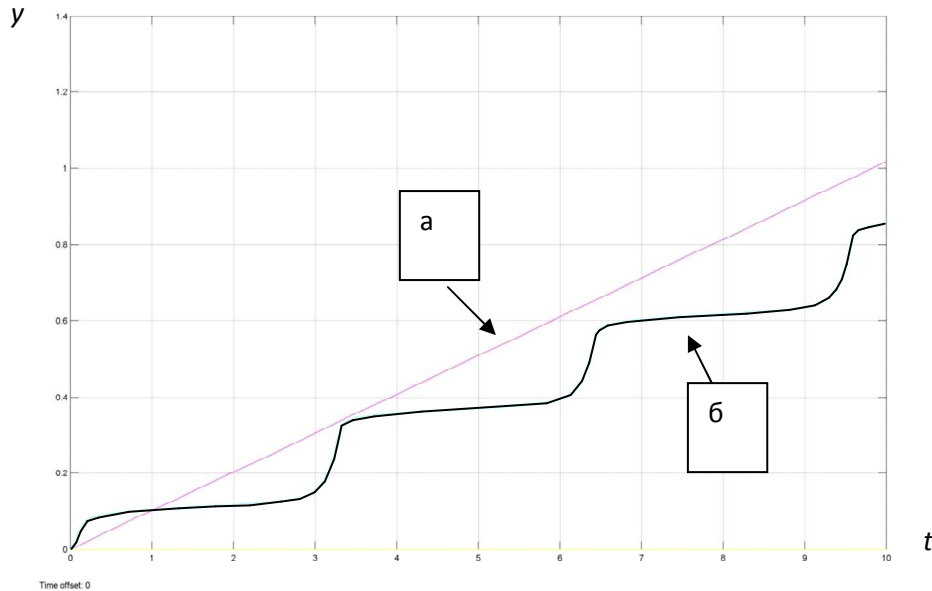


Рис. 7. Графік зміни модулів сигналів інтегральних оцінок помилок а) неадаптивного і б) адаптивного фільтрів

У роботі отримане нове рішення актуальній науково-практичній задачі вдосконалення систем керування, при наявності нестационарних характеристик об'єкта на тлі перешкод змінної інтенсивності, що забезпечує поліпшення якісних характеристик систем автоматичного регулювання й керування електроприводом рухомого складу, що пов'язано з технологічною необхідністю адаптації, із забезпеченням безпеки й здоров'ям обслуговуючого персоналу, високою швидкістю встаткування й уповільненою реакцією операторів, обумовленою обмеженими фізичними можливостями людини.

Висновки

Автоматична ідентифікація статистичних параметрів випадкових сигналів і перешкод дозволяє враховувати їхню зміну в оптимальних параметрах настроювання систем керування. Досліджено структуру адаптивного фільтра-диференціатора, що забезпечує фільтрацію й адаптивне диференціювання вхідного сигналу $e(t)$, залежно від поточного співвідношення сигнал-шум, що дозволило від на 20%, по інтегральному квадратичному критерії якості, підвищити якість системи керування. Цей фільтр має додатковий параметричний вихід T_{omn} (рис.1), на якому є присутнім ідентифікований сигнал, дорівнюючий поточному співвідношенню сигнал-шум й який

використається для додаткового настроювання регуляторів, при зміні коефіцієнта адаптації в діапазоні від 0.01 до 120, тобто до 12000 разів. У процесі адаптації відбувається перебудова параметрів настроювання фільтрів і регуляторів у зазначеному діапазоні їхньої зміни. При цьому можливий вихід якого-небудь параметра за межі, обмежені областю стійкого функціонування замкнутої системи фільтрації. Тому при реалізації алгоритмів адаптації враховані обмеження на діапазон і час адаптації відповідних параметрів настроювання. Такі обмеження встановлені при розрахунку системи фільтрації на стійкість і знаходженні критичних значень параметрів, що порушують умови стійкості.

Література

1. Лазарян В.А. Динамика транспортных средств. Избранные труды / В.А. Лазарян. - К.: Наукова думка, 1985. - 528 с.
2. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического регулирования. Изд. 3-е, доп. / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. - М.: Наука, 1975. - 752 с.
3. Загарий Г.И., Шубладзе А.М. Синтез систем управления на основе критерия максимальной степени устойчивости / Г.И. Загарий, А.М. Шубладзе. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 104 с.

4. *Адаптивные системы идентификации* / [Кику А.Г., Костюк В.И., Краскевич В.Е., Сильвестров А.Н., Шпит С.В.]. – К.: Техніка, 1975. – 288 с.
 5. *Дейч А.М.* Методы идентификации динамических объектов / А.М. Дейч. – М.: Энергия, 1979. – 240 с.
 6. *Растринин Р.А.* Введение в идентификацию объектов управления / Р.А. Растринин, Н.Е. Маджаров. – М.: Энергия, 1977. – 216 с.
 7. *Марков С.И.* Идентификация параметров колебательных систем автоматического регулирования / С.И. Марков, В.М. Минаев, Б.Н. Артамонов. – Л.: Энергия, 1975. – 96 с.
 8. *Цыпкин Я.З.* Адаптация и обучение в автоматических системах / Я.З. Цыпкин. – М.: Наука, 1968. – 400 с.
 9. *Сытник Б.Т.* Синтез структуры и моделирование адаптивных цифровых фильтров и систем управления с нестационарными характеристиками. Часть 1 / Б.Т. Сытник, В.Б. Сытник // Информційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2003. – № 6. – С. 18 – 24.
 10. *Сытник Б.Т.* Синтез структуры и моделирование адаптивных цифровых фильтров и систем управления с нестационарными характеристиками. Часть 2. / Б.Т. Сытник, В.Б. Сытник, С.И. Яцько // Информційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2004. – № 1. – С. 62 – 66.
 11. *Гусев П.В., Загарий Г.И., Сытник Б.Т.* Адаптивный фильтр. Патент України 11427, Бюл. № 14, 1996.
 12. *Сытник В.Б.* Адаптивная фильтрация и дифференцирование сигналов в системах автоматического управления / В.Б. Сытник // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2012. – №4. – С.42-46.
 13. *Авт. свідоцтво № 47196*, реєстр. 14.01.2013, МОН України, Державний департамент інтелектуальної власності. Комп'ютерна програма "Адаптивний профіль диференціатор-ідентифікатор" ("The adaptive profile differentiator-identifier") / В.Б. Сытник; заявка від 13.11.2012 № 47499
- Б.Т. Сытник, В.Б. Сытник, В.С. Михайленко, А.Л. Волошенко.** Исследование эффекта адаптации параметров настройки систем фильтрации-дифференцирования-идентификации сигналов для систем управления подвижным составом. В работе предложена структура системы фильтрации-дифференцирования-идентификации сигналов, которая обеспечивает адаптивное дифференцирование входного сигнала в зависимости от текущего соотношения сигнал/шум и позволяет повысить точность дифференцирования и качество процесса управления.
- Ключевые слова:** автоматическая идентификация, фильтр-дифференциатор, интегральная оценка качества, производная сигнала.
-
- B.T. Sytnik, V.B. Sytnik, V.S. Mykhaylenko, A.L. Voloshenko.** Research of the settings adaptation effect of the filtration-differentiation-identification signals system for the rolling-stock control system. The structure of the system of signal filtration-differentiation-identification which provides adaptive differentiation of input signal depending on the current signal/noise (s/n) ratio and allows to improve the accuracy of differentiation and the quality of control process has been presented in the article.
- Key words:** automatic identification, filter of differentiation, integral estimation of quality, derivative of the signal.
- Рецензент д.т.н., професор Лістровий С.В. (УкрДАЗТ)
- Поступила 8.04.2013 р.*