

Батюк С.Г.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Лядишев Д.К.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МОДЕЛЮВАННЯ ФІЛЬТРАЦІЇ В ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

Успішне вирішення наукових і технічних задач, у тому числі забезпечення якості продукції, у значній мірі залежить від якості промислових вимірювань. У сучасній промисловості затрати праці на виконання вимірювань складають близько 10% загальних затрат праці на всіх стадіях створення і експлуатації продукції, а в окремих галузях промисловості досягають 50–60% (електронна, радіотехнічна тощо). Ефективність цих затрат визначається достовірністю і відтворюваністю вимірювань.

Вимірювання технологічних параметрів в автоматизації технологічних процесів має дві мети: 1) використання в системах автоматичного регулювання режимних параметрів, тобто в замкненому контурі регулювання; 2) інформування оператора про стан технологічного об'єкту управління. Відповідно, інформаційні функції автоматизованої системи управління технологічними процесами – це не тільки просте фізичне вимірювання технологічних параметрів сенсорами, але і реалізація надзвичайно важливих функцій первинної обробки виміряних сигналів в програмованих логічних контролерах і вторинної обробки виміряних даних в системах людинно-машинного інтерфейсу.

Найважливішою функцією первинної обробки виміряних сигналів в програмованих логічних контролерах є функція фільтрації сигналів і даних. Теплоенергетичні агрегати – «повільні» технологічного об'єкту управління, які самі є фільтрами низьких частот. Оптимальна фільтрація даних на теплоенергетичних об'єктах в умовах значних промислових перевищень – актуальна технічна задача. Дослідження ефективності зовнішньої і внутрішньої фільтрації в автоматизованих системах управління і її впливу на якість регулювання в системах автоматичного регулювання і якість візуалізації для оператора – важлива задача моделювання фільтрації і аналізу практичної реалізації алгоритмів фільтрації в програмованих логічних контролерах.

Фільтри низької частоти в програмованих логічних контролерах неефективні в замкненому контурі регулювання, так як вносять додаткову інерційність в контур регулювання. Фільтри низької частоти в програмованих логічних контролерах ефективні для фільтрації сигналу перед його візуалізацією або перед його передачею в систему людинно-машинного інтерфейсу. Фільтри високої частоти, як зовнішні, так і внутрішні, практично не можуть бути реалізовані, так як мають в своєму складі ланку реального диференціювання.

Ключові слова: промислові вимірювання, алгоритми первинної обробки сигналів вимірювання, алгоритми вторинної обробки даних вимірювання, зовнішня фільтрація, внутрішня фільтрація, моделювання фільтрації, система автоматичного регулювання, фільтр низької частоти, фільтр високої частоти.

Постановка проблеми. Успішне вирішення наукових і технічних задач, у тому числі забезпечення якості продукції, у значній мірі залежить від ступеня досягнення єдності і вірогідності (точності) вимірювань. Єдність вимірювань – стан вимірювань, за якого їхні результати виражені в узаконених одиницях, а похибки або невизначеності вимірювань відомі із заданою ймовірністю і не виходять за встановлені границі. Єдність вимірювань необхідна для забезпечення порівнюваності результатів вимірювань,

проведених у різних місцях, в різний час з використанням різних методів і засобів вимірювання. Точність вимірювань – характеристика ступеня наближення результату вимірювання до істинного значення вимірюваної величини. Для конкретних умов і цілей вимірювання існує свій раціональний рівень точності, котрий недоцільно перевищувати через зростання складності відповідних вимірювань. У сучасній промисловості затрати праці на виконання вимірювань складають близько 10% загальних затрат праці на всіх стадіях створення

і експлуатації продукції, а в окремих галузях промисловості досягають 50–60% (електронна, радіотехнічна тощо). Ефективність цих затрат визначається достовірністю і відтворюваністю вимірювань.

Технологічний об'єкт управління (ТОУ) – це технологічний агрегат, який автоматизується. АСУТП (надалі просто АСУ) – автоматизована система управління технологічними процесами ТОУ. Програмно-технічною платформою АСУ є програмовані логічні контролери (ПЛК) і системи людинно-машинного інтерфейсу (ЛМІ). Оператор технологічного процесу через ЛМІ реалізує автоматизоване (за участі людини) управління технологічними процесами ТОУ. ІВС – інформаційно-вимірювальна система – підсистема в складі АСУ. ІВС – це сукупність вимірювальних каналів (ВК) технологічних параметрів (сенсори; реєструючі прилади; вхідні модулі ПЛК).

Технологічні параметри ТОУ – це параметри технологічного агрегату, які вимірюються для автоматизації технологічного агрегату. Вимірні технологічні параметри ТОУ підрозділяються за призначенням на три групи.

Режимні параметри – технологічні параметри, стабілізація яких на заданному значенні забезпечує ефективне функціонування ТОУ. Стабілізація режимних параметрів ТОУ – це управляючі функції АСУ, які реалізуються системами автоматичного регулювання (САР) режимних параметрів в складі АСУ.

Захисні параметри – технологічні параметри, вимірювання (неперервне) або контроль (датчики-реле параметрів) яких забезпечує реалізацію захистів ТОУ від неправильного управління. Реалізація технологічних захистів на основі захисних параметрів ТОУ – це захисні функції АСУ.

Контрольні параметри – технологічні параметри, які не приймають участі в реалізації управляючих або захисних функцій АСУ, а використовуються для додаткового інформування оператора.

Інформаційні функції АСУ – це функції вимірювання технологічних (режимних, захисних і контрольних) параметрів ТОУ.

Аналіз проблеми. Вимірювання технологічних параметрів в автоматизації технологічних процесів має дві мети: 1) використання в САР режимних параметрів ТОУ, тобто в замкненому контурі регулювання; 2) інформування оператора про стан ТОУ. Відповідно, інформаційні функції АСУ – це не тільки просте фізичне вимірювання технологічних параметрів сенсорами, але і реалізація надзвичайно важливих функцій первинної

обробки вимірних сигналів в ПЛК і вторинної обробки вимірних даних в ЛМІ.

Типові функції первинної обробки даних в ПЛК

1. Фільтрація – програмно реалізована фільтрація вимірних сигналів.

2. Апроксимація – кусочно-лінійна апроксимація. Лінеаризація нелінійної характеристики вимірювання. Обмеження мінімального і максимального значень (нелінійність типу насичення).

3. Масштабування – лінійне перетворення діапазону (шкали) вимірювання.

4. Сповільнення – обмеження швидкості зміни параметру (нелінійність типу насичення).

5. Порівняння – порівняння з уставкою. РІВНО, БІЛЬШЕ, МЕНШЕ, ДІАПАЗОН. Обмеження значення (нелінійність типу насичення).

6. Гістерезис – реалізація зони нечутливості і зони повернення (двопозиційна нелінійність; релейне регулювання).

7. Алармування – формування події тривоги (аларму) технологічної (попереджувальної) або аварійної.

8. Аналітика – статистичний аналіз. Виділення найменшого, найбільшого і середнього значень. Розрахунок дисперсії.

9. Інтегрування – лінійне інтегрування параметру (площа під графіком зміни параметру).

10. Лічильник – математична інкрементація і декрементація. Обрахування дискретних подій до уставки лічильника.

11. Таймер – реалізація часових затримок на величину уставки таймеру.

12. NOT – логічна операція НІ. Значення виходу протилежне значенню входу.

13. AND – логічна операція І. Вихід = 1, якщо два входи = 1.

14. OR – логічна операція АБО. Вихід = 1, якщо хоча б один з входів = 1.

15. XOR – логічна операція виключного АБО. Вихід = 1, якщо тільки один з входів = 1.

16. Генератор – генерація аналогових і дискретних даних константних і періодичних.

17. Перетворення типів даних – вимушене явне перетворення типів даних, як правило, REAL>INT.

Типовий порядок первинної обробки аналогових сигналів (INT, REAL) в ПЛК: Сигнал > Фільтрація – Апроксимація – Масштабування – Сповільнення – Порівняння, Аналітика, Алармування > Дані.

Порядок обробки дискретних сигналів (BOOL) в ПЛК – залежить від логіки обробки і не може бути типовим.

Постановка завдання. Найважливішою функцією первинної обробки вимірних сигналів в ПЛК є функція фільтрації сигналів і даних. Теплоенергетичні ТООУ – «повільні» ТООУ, які самі є фільтрами низьких частот. Оптимальна фільтрація даних на теплоенергетичних об'єктах в умовах значних промислових перешкод – актуальна технічна задача, що може бути ефективно вирішена (наприклад, як в роботі авторів [1]). Дослідження ефективності зовнішньої і внутрішньої фільтрації в АСУ і її впливу на якість регулювання в САР і якість візуалізації для оператора – важлива задача моделювання фільтрації і аналізу практичної реалізації алгоритмів фільтрації в ПЛК.

Результати моделювання. Далі розглядаються питання класифікації похибок вимірювання, класифікації перешкод, функціонального моделювання фільтрації сигналів в САР і реалізації алгоритмів фільтрації в ПЛК. Моделі реалізовані в системі комп'ютерної математики (СКМ) MatLab Simulink.

Похибка вимірювання

Похибка вимірювання – це кількісне значення точності вимірювання. Це характеристика ступеня відхилення результату вимірювання від істинного значення вимірюваної величини. Для конкретних умов і цілей вимірювання існує свій раціональний рівень похибки, котрий недоцільно зменшувати через зростання складності відповідних вимірювань. Чим більше похибка вимірювання, тем менше точність; чим менша похибка, тим вища точність вимірювання. В лінійних системах всі похибки є адитивними, тобто додаються ($+$ або $-$) до істинного значення величини, тому вони однакові у всьому діапазоні вимірювання.

Похибки вимірювання залежать від перешкод процесу вимірювання. Похибку вимірювання класифікують за 1) джерелом походження перешкоди вимірювання і 2) способом походження перешкоди вимірювання. За джерелом походження перешкоди вирізняють внутрішню (інструментальну) і зовнішню (методичну) похибки вимірювання.

1. Внутрішня похибка вимірювання – це похибка самих компонентів ВК і залежить від типу і якості компонента (наприклад, давача). Вона не залежить від величини самого істинного значення, тому вона однакова у всьому діапазоні вимірювання.

2. Зовнішня похибка вимірювання – це результат впливу на компонент ВК зовнішніх перешкод і способу (методу) монтажу компонента (наприклад, давача). Вона не залежить від величини

самого істинного значення, тому вона однакова у всьому діапазоні вимірювання.

За способом походження перешкоди вимірювання вирізняють постійну (систематичну) і стохастичну (випадкову) похибки вимірювання.

3. Постійна похибка вимірювання (ППВ) – це постійне відхилення результату вимірювання від істинного значення вимірюваної величини. Вона не залежить від величини самого істинного значення, тому вона однакова у всьому діапазоні вимірювання.

4. Стохастична похибка вимірювання (СПВ) – це випадкове відхилення результату вимірювання від істинного значення вимірюваної величини. Вона не залежить від величини самого істинного значення, тому вона однакова у всьому діапазоні вимірювання.

До визначення СПВ

З позицій теорії ймовірності і математичної статистики СПВ є результатом дії багатьох випадкових чинників. В цьому випадку розподілення значень вимірювання підкоряється нормальному закону розподілення Гауса. Тому результат випадкового розподілення значень вимірювання характеризується двома детермінованими показниками – математичним очікуванням і дисперсією. Математичне очікування – це середнє арифметичне всіх значень вимірювання в генеральній сукупності (велика кількість вимірювань). Це і є значення вимірюваної величини. Реальна сукупність вимірювань має кінцеву кількість вимірювань і називається вибіркою вимірювань. Середнє арифметичне вибірки відрізняється від математичного очікування і характеризується дисперсією. Дисперсія – це середнє значення квадратів відхилення результатів вимірювання від середнього арифметичного вимірювань, тобто від вимірюваного значення величини (примітка: квадрат відхилення береться тому, щоб відхилення з різними знаками не компенсували один одного). Корінь квадратний із дисперсії називається середньоквадратичним відхиленням (СКВ) або стандартним відхиленням. Достовірність вимірювання характеризується довірчим діапазоном вимірювання $ДДВ = 3 \times СКВ$. Саме в цей діапазон попадають 99,9% результатів вимірювання.

Для засобів вимірювання клас точності являє собою межу основної допустимої похибки вимірювання.

Термін «межа» має статистичний характер і вказує на те, що з ймовірністю 0,999 всі випадкові відхилення вимірюваної величини вкладаються в довірчий діапазон вимірювання ДДВ.

Термін «основна» вказує на те, що клас точності нормує похибку для нормальних умов експлуатації (тобто коли задовольняються вимоги до температури, вологості і тиску навколишнього середовища і вимоги до живлення приладів). Якщо вказані технічні вимоги не виконуються, з'являється додаткова похибка і сумарна похибка перевищує клас точності приладу.

Похибка всього ВК (сумарна похибка ВК) дорівнює квадратичній сумі похибок окремих компонентів ВК. Нижче наведені формули для розрахунку відповідно відносної і абсолютної похибок ВК на основі похибок компонентів ВК (якщо діапазони вимірювання компонентів ВК однакові).

$$\varepsilon = \sqrt{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2} \quad \Delta = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}$$

Слід розрізняти похибку одноразового вимірювання і похибку багаторазового вимірювання. На практиці ці поняття часто не розрізняють, і говорять про похибки вимірювання, маючи на увазі саме похибки одноразового вимірювання. Різниця між цими поняттями принципова. Похибка одноразового вимірювання визначається класом точності приладу. Нижче наведені формули для розрахунку відповідно відносної і абсолютної похибок багаторазового вимірювання на основі похибка одноразового вимірювання і кількості (k) послідовних вимірювань (формула середньоквадратичного значення).

$$\frac{\varepsilon}{\sqrt{k}} \quad \frac{\Delta}{\sqrt{k}}$$

При багаторазовому вимірюванні навіть на низькоточному приладі можливо отримати високу точність вимірювання. Наприклад, для 100 вимірювань похибка вимірювання знижується квадратично, тобто в 10 разів. Так як в перехідному процесі в САР динамічне вимірювання є одноразовим, а статичне – багаторазовим, то клас точності ВК впливає на якість перехідного процесу (динамічні показники якості), але не впливає на точність стабілізації в кінці перехідного процесу (статичний показник якості) – ПІ-регулятор при будь-якій стохастичній похибці вимірювання забезпечує нульову статичну помилку регулювання.

До визначення похибки вимірювання компоненту ВК

Внутрішня ППВ компонента ВК виникає внаслідок несправності компоненту. Зовнішня ППВ виникає внаслідок неправильного монтажу і неправильної експлуатації компоненту ВК, елек-

тростатичного наведення і неправильного заземлення (виникає додаткова різниця потенціалів, тобто напруга). Сумарну внутрішню і зовнішню ППВ об'єднують в єдину ППВ.

Кожний компонент ВК має внутрішню СПВ, яка характеризується класом точності компонента. Клас точності визначає значення ДДВ цього компоненту.

Наприклад, ВК виміряв значення температури 30 градусів. ДДВ, обчислений на основі класу точності ВК, є, наприклад, 5 градусів. Це означає, що вимірний параметр з ймовірністю 99,9% знаходиться в діапазоні 30 ± 5 градусів, тобто в діапазоні 25...35 градусів.

Зовнішня СПВ – це результат впливу на компонент ВК зовнішніх стохастичних перешкод внаслідок, в основному, електромагнітного наведення від силових кабелів і потужного електротехнічного обладнання (яке працює під великим струмом, так як «наводить струм, а не напруга»).

Пригнічення похибки (= пригнічення перешкоди = пригнічення впливу перешкоди) – зменшення похибки до прийнятного рівня, котрий недоцільно зменшувати через зростання складності засобів і алгоритмів пригнічення похибки.

Пригнічення ППВ полягає в усуненні джерела виникнення ППВ, тобто в ремонті компоненту ВК, правильному монтажі і правильній експлуатації компоненту ВК, ліквідації електростатичного наведення і правильного заземлення.

Радикальний спосіб пригнічення ППВ – коректування похибки адитивним зміщенням на величину похибки виміряного значення параметру або заданого значення виміряного регульованого параметру. Легше всього це зробити в ПЛК, можливо зробити в багатоканальному реєстраторі. Але це хибний шлях і виправданий тільки як тимчасовий засіб.

Внутрішня СПВ компоненту ВК не може бути пригнічена, вона може бути тільки врахована при визначенні ДДВ всього ВК. ДДВ ВК розраховується на основі паспортних ДДВ компонентів ВК.

Зовнішня СПВ компоненту ВК пригнічується фільтрацією вхідних (вимірних) сигналів. Використовуються фільтри низьких частот (ФНЧ), фільтри високих частот (ФВЧ) і фільтри смути частот (ФСЧ).

На рисунку 1 представлені функціональні моделі ФНЧ, ФВЧ і ФСЧ в СКМ Matlab Simulink.

ФНЧ пропускає з входу на вихід сигнали низьких частот, а пригнічує сигнали високих частот. Пригнічення високих частот полягає в зменшенні амплітуди вихідного сигналу, а частота вихід-

Фільтри нижніх частот, верхніх частот, смуговий

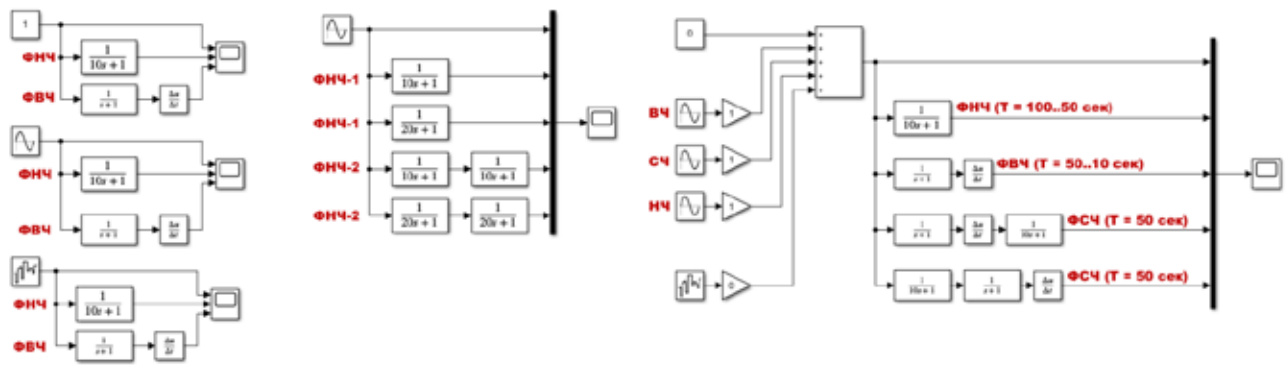


Рис. 1. Моделі ФНЧ, ФВЧ, ФСЧ в СКМ Matlab Simulink

ного сигналу зберігається. Приклади ФНЧ 1-го і 2-го порядків – аперіодичні ланки 1-го і 2-го порядків. Частота відфільтрованого і пригніченого сигналів визначається так званою частотою частотою зрізу. Частота зрізу – це частота, вище якої потужність вихідного сигналу (квадрат амплітуди) фільтра зменшується вдвічі від потужності в смузі пропускання (тобто, амплітуда вихідного сигналу зменшується до $\sim 70\%$ від вхідного сигналу).

ФВЧ пропускає з входу на вихід сигнали високих частот, а пригнічує сигнали низьких частот. Пригнічення низьких частот полягає в зменшенні амплітуди вихідного сигналу, а частота вихідного сигналу зберігається. Приклади ФВЧ 1-го і 2-го порядків – ланки реального диференціювання 1-го і 2-го порядків. Частота відфільтрованого і пригніченого сигналів визначається так званою частотою частотою зрізу. Частота зрізу – це частота, нижче якої потужність (квадрат амплітуди) вихідного сигналу фільтра зменшується вдвічі від потужності в смузі пропускання (тобто, амплітуда вихідного сигналу зменшується до $\sim 70\%$ від вхідного сигналу).

ФСЧ пропускає з входу на вихід сигнали смуги частот f_1 і f_2 , а пригнічує сигнали нижчих за f_1 частот і вищих за f_2 частот. Пригнічення низьких і високих частот полягає в зменшенні амплітуди вихідного сигналу, а частота вихідного сигналу зберігається. ФСЧ є послідовним з'єднанням: або ФНЧ (фільтрація нижчих за f_2 частот) і ФВЧ (фільтрація вищих за f_1 частот); або ФВЧ (фільтрація вищих за f_1 частот) і ФНЧ (фільтрація нижчих за f_2 частот). Частоти відфільтрованого і пригніченого сигналів визначаються так званими частотами зрізу. Частоти зрізу – це дві частоти, нижче якої і вище якої потужність вихідного сигналу (квадрат амплітуди) фільтра зменшується вдвічі від потужності в смузі пропускання (тобто, амплітуда

вихідного сигналу зменшується до $\sim 70\%$ від вхідного сигналу).

Вплив ППВ і СПВ на роботу САР

ППВ є найбільш небезпечною похибкою. ППВ можливо пригнітити 2-ма способами: 1) усунути джерело похибки; 2) відкоректувати значення задавача на величину похибки (наприклад, якщо справжня температура 30 градусів, а давач показує 25 градусів, то в САР потрібно задавати значення 25 градусів, «тримаючи в умі», що насправді це 30 градусів; так само з виведенням значення на ПП/РП – треба «тримати в умі», що насправді показуються не 25, а 30 градусів). Крім того, ППВ важко, а в багатьох випадках неможливо виявити.

Внутрішня СПВ компоненту ВК враховується при визначенні ДДВ всього ВК на основі класів точності компонентів ВК.

ППВ і СПВ по різному (навіть протилежно) впливають на якість регулювання, тобто на якість перехідних процесів в САР. ППВ не впливає на динаміку перехідного процесу і його динамічні показники, але впливає на статичну похибку регулювання (відхилення від завдання в сталому значенні регульованого параметру в кінці перехідного процесу). СПВ впливає на динаміку перехідного процесу і його динамічні показники, але не впливає на статичну похибку регулювання (відхилення від завдання в сталому значенні регульованого параметру в кінці перехідного процесу).

Зовнішня СПВ має бути пригнічена фільтрацією. Розрізняють зовнішню і внутрішню фільтрацію ВК. Зовнішня фільтрація – це використання зовнішніх до ВК і ПЛК фільтрів.

Зовнішня фільтрація

- Екранування компонентів ВК і ПЛК від електромагнітних наведень шляхом встановлення в спеціалізовані металеві шафи з їх заземленням.

Це запобігає проникненню паразитних струмів в електричні кола компонентів ВК.

- Прокладання сигнальних кабелів окремо від силових кабелів, тобто в окремих кабельних каналах і в окремих металевих трубах. Це запобігає електромагнітному наведенню і, відповідно, проникненню паразитних струмів в електричні кола компонентів ВК.

- Використання скручених пар (біфілярні провідники – розташовані один біля одного провідники; біфілярна скручена або вита пара – twisted pair – скручені навколо один одного два провідники) для: 1) зменшення площі електромагнітного наведення за рахунок біфілярності провідників і, відповідно, зменшення електромагнітного наведення паразитних струмів; 2) додаткової взаємної компенсації наведених паразитних струмів в плюсовому і мінусовому провідниках за рахунок взаємно-протилежних напрямів струмів в плюсовому і мінусовому провідниках внаслідок різнополярності плюсового і мінусового провідників.

- Заземлення екранів кабелів. Заземлення металевих труб, в яких прокладені сигнальні кабелі. Електромагнітно наведені паразитні струми «стікають в землю» і не проникають в електричні кола компонентів ВК.

Правильне заземлення – заземлення системи в одній точці; тобто точки заземлення всіх приладів повинні бути індивідуально підключені до єдиної спільної заземленої точки заземлення системи (бажано до металевого шасі шафи). Фізичне заземлення в одній фізичній точці заземлення запобігає виникненню паразитних струмів в провідниках між заземленими точками заземлення.

Внутрішня фільтрація – програмна фільтрація в ПЛК

Програмна фільтрація в ПЛК здійснюється або функціональними блоками (графічна мова ПЛК), або різницевами рівняннями (текстова мова ПЛК) ФНЧ – аперіодичними ланками 1-го або 2-го порядків. ФВЧ і ФСЧ в ПЛК не використовуються, так як 1) корисний сигнал завжди низькочастотний (тобто він може пригнічуватись); 2) сам ОУ і сама САР є ФНЧ (тобто сам ОУ і сама САР пригнічує високочастотні перешкоди); 3) програмно ФВЧ і ФСЧ (відповідно програмний реальний диференціатор і програмна інтегродиференціальна ланка) в ПЛК реалізується неефективно (неефективною є реалізація саме операції ідеального диференціювання).

Задача внутрішньої фільтрації сигналу в ПЛК – відфільтрувати корисний сигнал (значення регу-

льованого параметру) і пригнітити перешкоду. Корисний сигнал завжди низькочастотний. Якщо сигнал перешкоди високочастотний, то треба використовувати ФНЧ, і це ефективно. Якщо сигнал перешкоди нижчої частоти, ніж корисний, то треба використовувати ФВЧ, що неефективно. Саме тому зовнішні фільтри не мають пропускати на вхід САР низькочастотну перешкоду, так як вона буде фактично однакової частоти з корисним сигналом (в цьому випадку САР буде реагувати на перешкоду як на корисний сигнал хибним регулюванням, що неприпустимо). Саме тому зовнішні фільтри для САР мають бути ФВЧ, або, краще, ФСЧ (пригнічувати низькочастотну перешкоду; пропускати більш високочастотний корисний сигнал; пригнічувати ще більш високочастотну перешкоду). Це відрізняється від радіоприладів (смартфонів), де принципово використовуються внутрішні ФНЧ, які пригнічують високочастотну перешкоду (атмосферні електромагнітні наведення) і пропускають низькочастотний корисний сигнал (голосовий сигнал).

Слід розрізняти ВК з виходом на показуючий або реєструючий прилад (ВК-ПРП) і ВК з виходом на регулятор в ПЛК (ВК-РЕГ).

Для ВК-ПРП внутрішня програмна фільтрація засобами ФНЧ є ефективною, так як відфільтрований сигнал без високочастотних перешкод краще візуалізується. Для ВК-РЕГ внутрішня програмна фільтрація засобами ФНЧ є неефективною, так як це означає введення в зворотний зв'язок додаткової аперіодичної ланки 1-го порядку, тобто послідовне підключення до ОУ додаткової аперіодичної ланки 1-го порядку (тобто ускладнення ОУ – він стає більш інерційним – і погіршення якості регулювання). Сам ОУ і сама САР вже є ФНЧ.

Висновок. Фільтрацію засобами ФНЧ в ПЛК використовувати тільки для ВК з виходом на показуючий або реєструючий прилад, але не використовувати для фільтрації в замкненому контурі регулювання.

Загальні висновки щодо фільтрації

Нижче викладені результати функціонального моделювання фільтрації САР режимного параметру.

На рисунку 2 представлена функціональна модель фільтрації виміряного сигналу в ПЛК в СКМ Matlab Simulink. Моделювались зовнішні і внутрішні фільтри як ФНЧ і як ФВЧ.

Моделювання зовнішньої і внутрішньої фільтрації в типовій теплоенергетичній САР дало наступні результати (типівість промислової САР як теплоенергетичної визначена «повільними»

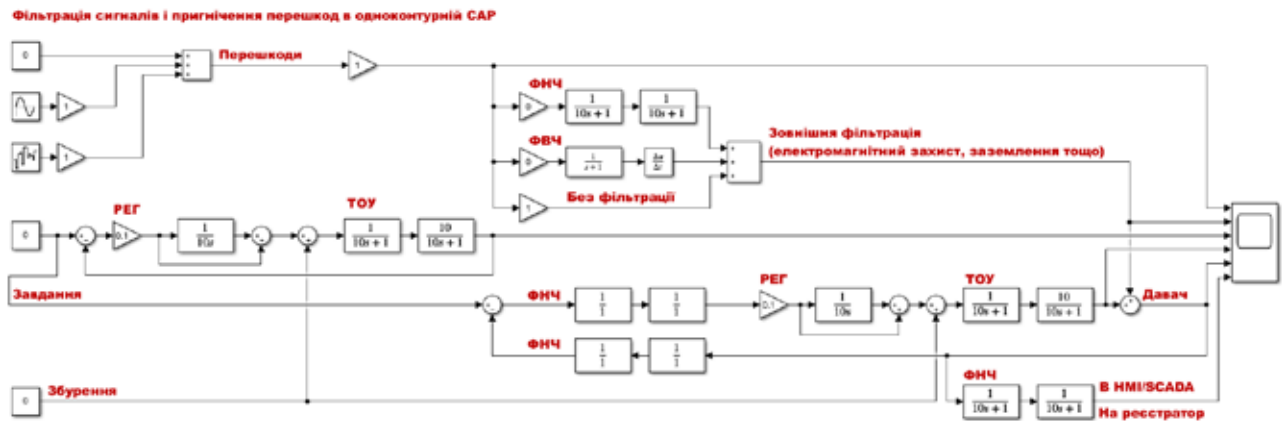


Рис. 2. Моделювання фільтрації в САР режмового параметру в СКМ Matlab Simulink

параметрами об'єкту управління і «повільними» параметрами ПІ-регулятору).

Зовнішня фільтрація є більш ефективною, ніж внутрішня, хоча і набагато дорожчою. Треба використовувати дорогі зовнішні фільтри у вигляді електромагнітних екранів, дорогих скручених пар, сучасної кабельної системи, сучасної системи заземлення. Ці фільтри є фільтрами низьких частот (ФНЧ), тобто зовнішня фільтрація (фільтрація екрануванням і заземленням) є низькочастотною фільтрацією.

Треба розрізнити, для чого використовується відфільтрований сигнал – для регулювання чи виключно для інформації (візуалізації, алармування, архівації). Задачею класичної зовнішньої фільтрації є пригнічення високочастотних перешкод і пропускання низькочастотних сигналів, які вважаються корисними, тобто робочими; це ФНЧ. Але для промислових ТОУ цього недостатньо, так як не всі низькочастотні сигнали є корисними, а можуть бути низькочастотними перешкодами; САР такі перешкоди не відрізняє від низькочастотних коливань регульованих параметрів і реагує хибним регулюванням; крім того, сама САР є ФНЧ, тобто практично не реагує на високочастотні перешкоди. Введення додаткових внутрішніх ФНЧ в замкнений контур регулювання погіршує якість регулювання. Таким чином, з позицій регулювання як зовнішня, так і внутрішня низькочастотна фільтрація (ФНЧ) є неефективною. Навпаки, ефективною є високочастотна (краще смугова) фільтрація перешкод; але: 1) високочастотна фільтрація (ФВЧ) і смугова фільтрація (ФСЧ) практично не можуть бути реалізовані, як зовнішньо (екрануванням), так і внутрішньо (програмно); всі фільтри, які практично можливо реалізувати, є ФНЧ; 2) високочастотна фільтрація перешкод може пригнічувати корисний низько-

частотний сигнал (а не тільки шкідливу низькочастотну перешкоду).

Зовнішня і внутрішня низькочастотна фільтрація (ФНЧ) є ефективною саме для інформаційних задач (систем), де немає замкнених контурів регулювання. Ефективна зовнішня фільтрація реалізується ефективним екрануванням. Ефективна внутрішня фільтрація реалізується програмно розробленими ФНЧ; переважно достатньо аперіодичної ланки 1-го порядку, інколи 2-го порядку. Для промислових інформаційних систем високочастотна і смугова фільтрації (ФВЧ і ФСЧ) не мають сенсу; високочастотна фільтрація (ФВЧ) зрідка має сенс тільки для швидкісних технологічних процесів, наприклад, для зварювання (необхідно відфільтрувати корисні високочастотні сигнали і пригнітити низькочастотну перешкоду, як правило, за живленням, тобто частотою змінного струму 50 Гц). В загальному випадку, найбільш шкідливими для інформаційних систем є саме відносно низькочастотні перешкоди частотою 50 Гц, продуковані електромагнітним наведенням. Задача зовнішньої і внутрішньої фільтрації для інформаційних систем – пригнітити перешкоду 50 Гц і відфільтрувати (пропустити на вихід) корисний низькочастотний сигнал (частотою, меншою за 50 Гц).

Так як АСУ є як автоматичною, так і інформаційною системою (включає в себе як ІВС в складі САР, так і автономні ІВС), то зовнішня і внутрішня низькочастотна фільтрація є необхідною для АСУ (саме для автономних ІВС, які є невід'ємною частиною АСУ; автономні інформаційні функції є такі ж важливі, як і функції регулювання).

Таким чином, фінансові вкладення в коштовну зовнішню фільтрацію є ефективними і рекомендованими, так як зменшать загальну вартість володіння (ТСО – total cost of ownership) АСУТП за період життєвого циклу ТОУ.

Висновки і рекомендації. 1. Зовнішня низькочастотна фільтрація (апаратно реалізоване екранування від електромагнітних наведень) програмно-технічних засобів САР є неефективною, так як вона пропускає на вхід регулятора низькочастотну перешкоду, яку регулятор не може відрізнити від низькочастотного вимірюваного параметру, сприймає як зміну регульованого параметру і відповідно реалізують регульовальну дію, яка, в даному випадку, є зайвою і помилковою. Екранування має сенс виключно як засіб запобігання електромагнітних уражень апаратури САР. 2. Використання внутрішнього ФНЧ в ПЛК (програмно реалізованого ФНЧ в ПЛК) в замкне-

ному контурі регулювання є неефективним, так як фактично вносить додаткову інерційність в контур регулювання. Так як ОУ сам ФНЧ, то високочастотні перешкоди практично не впливають на якість регулювання в САР. 3. Використання внутрішнього ФНЧ в ПЛК є ефективним для фільтрації сигналу, який передається для візуалізації на реєструючий прилад або в НМІ/SCADA-систему. 4. Як внутрішній програмний ФВЧ в ПЛК, так і зовнішня апаратна високочастотна фільтрація не може бути реалізована, так як ФВЧ повинен мати в своєму складі ланку реального диференціювання, що практично неможливо реалізувати як апаратно, так і програмно.

Список літератури:

1. Батюк С.Г., Олійник С.Ю. Методика оптимальної фільтрації даних температурного контролю турбогенераторів в умовах значних промислових перешкод. *Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси і системи*. 2009. № 1 (23). С. 147–151.

Batiuk S.G., Liadyshev D.K. SIMULATION OF FILTRATION IN HEAT AND POWER SYSTEMS OF AUTOMATIC CONTROL

The successful solution of scientific and technical problems, including product quality assurance, largely depends on the quality of industrial measurements. In modern industry, labor costs for measurements are about 10% of total labor costs at all stages of creation and operation of products, and in some industries reach 50-60% (electronic, radio, etc.). The efficiency of these costs is determined by the reliability and reproducibility of measurements.

Measurement of technological parameters in the automation of technological processes has two purposes: 1) the use in systems of automatic control of mode parameters, ie in a closed control loop; 2) informing the operator about the state of the technological control object. Accordingly, the information functions of the automated process control system are not only simple physical measurement of technological parameters by sensors, but also the implementation of extremely important functions of primary processing of measured signals in programmed logic controllers and secondary processing of measured data in human-machine interface systems.

The most important function of the primary processing of measured signals in programmable logic controllers is the function of filtering signals and data. Heat generating units are "slow" technological control objects, which are themselves low-pass filters. Optimal data filtering at thermal power facilities in the conditions of significant industrial obstacles is an urgent technical task. The study of the efficiency of external and internal filtering in automated control systems and its impact on the quality of control in automatic control systems and visualization quality for the operator is an important task of modeling filtering and analysis of practical implementation of filtering algorithms in programmable logic controllers.

Low-pass filters in programmable logic controllers are inefficient in a closed control loop, as they bring additional inertia to the control loop. Low-pass filters in programmable logic controllers are effective for filtering a signal before it is visualized or before it is transmitted to the human-machine interface system. High-pass filters, both external and internal, can hardly be implemented, as they include a link of real differentiation.

Key words: *industrial measurements, algorithms of primary processing of measurement signals, algorithms of secondary processing of measurement data, external filtering, internal filtering, filtering modeling, automatic control system, low frequency filter, high frequency filter.*