

БЛОКИ МОДЕЛЮВАННЯ, РЕГУЛЮВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ

У загальному випадку термін "об'єкт керування" означає систему (технічну, біологічну, соціальну), в якій протікає керований процес.

У більшості випадків об'єкт керування можна уявити узагальненою схемою (рис.1).



x – керуюча дія, яка зумовлює якісні показники та кількісні характеристики процесу, що підлягає керуванню; f – випадкові збурюючі дії; z – детерміновані збурюючі дії; y – вихідна величина (змінна, якою необхідно керувати).

Рисунок 1 – Узагальнена схема об'єкта керування

Основна задача керування об'єктом полягає в тому, щоб, виходячи з мети автоматизації, критерію керування і фізичної природи об'єкта якомога точніше визначити і синтезувати алгоритм керування та технічні засоби для реалізації цієї мети.

Глибокий і всебічний аналіз об'єктів з точки зору керування є необхідною умовою успішного розв'язання задач автоматизації. Даний аналіз проводиться з метою визначення якісних показників і кількісних характеристик об'єктів для складання їх математичної моделі, тобто ідентифікації [3].

Ідентифікацією називається визначення параметрів і структури математичної моделі процесу, що забезпечують найкращий збіг вихідних координат моделі і самого процесу при однакових впливах.

Математичний опис об'єктів може бути представлений у вигляді формул, таблиць, графіків, алгоритмів, що кількісно описують статичні,

часові, частотні, метрологічні та інші зв'язки між вихідними і вхідними величинами об'єкта.

Кількісні характеристики об'єкта можуть бути отримані різними методами, із них найбільш поширені: аналітичні, експериментальні і комбіновані.

Найбільш розповсюдженим є експериментальний метод отримання часових характеристик об'єктів. На вхід об'єкта подається ступеневий чи імпульсний керуючий вплив, що його збурюють, а на виході фіксується реакція на ці впливи, тобто записуються перехідні чи вагові характеристики [3].

Такі припущення значною мірою полегшують визначення динамічних характеристик об'єктів регулювання, що спрощує розрахунок параметрів настроювань регуляторів.

Динамічні властивості об'єкта регулювання характеризуються диференційними рівняннями, перехідними і передатними функціями та частотними характеристиками, між якими завжди існує однозначна відповідність.

Часто промислові об'єкти регулювання мають чисте запізнення, що пояснюється наявністю послідовно включених або проміжних ємностей, у яких накопичується речовина або енергія. Передатні функції таких об'єктів відрізняються додатковим множником $e^{p\tau}$, де τ – час запізнення.

У більшості випадків промислові об'єкти управління можуть бути описані моделлю виду:

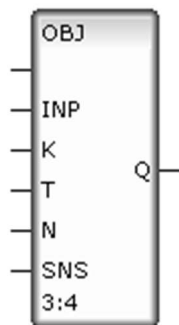
$$W_0(p) = \frac{k_0}{T_0 p + 1} \cdot e^{-\tau p},$$

де k_0 – коефіцієнт передачі; T_0 – постійна часу; τ – час запізнювання.

У SCADA-системі для моделювання роботи об'єкту управління розробниками запропоновано функціональний блок OBJ.

Модель об'єкта (OBJ)

Даний блок моделює роботу об'єкту управління для налагодження алгоритмів регулювання або підготовки демонстраційних проектів. Він являє собою комбінацію аперіодичної (інерційної) ланки першого порядку і ланки запізнювання, тобто передатна функція блоку має вигляд:



$$\Phi_a(s) = \frac{k}{T \cdot s + 1} e^{-ls},$$

де k і T – відповідно коефіцієнт посилення і постійна часу інерційної ланки першого порядку; $l > 0$ – час запізнювання.

Крім того, на вихідний сигнал блоку можна накласти перешкоду у вигляді випадкової складової синусоїдального сигналу або випадкових кидків. Тут же можна задати випадкове коливання динамічних характеристик об'єкта.

Вхідним по відношенню до модельованого об'єкту є вхід INP. Входи K , T та N використовуються для завдання відповідно коефіцієнта підсилення, постійної часу і часу запізнювання. Останні два параметри задаються в тактах перерахунку, максимальне значення часу запізнювання становить 4 такти.

Вхід SNS призначений для управління випадковими перешкодами, що вносяться в роботу об'єкта. Значення 1 окремих бітів цього входу включає наступні перешкоди:

1 біт – додавання до вихідного сигналу випадкової величини в діапазоні від 0 до 1%;

2 біт – формування піка величиною 25% від значення виходу з імовірністю 0,01;

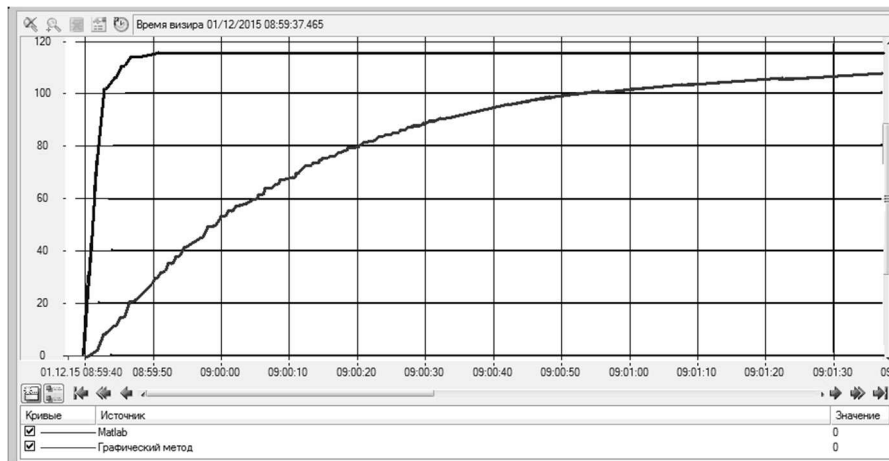
3 біт – додавання до виходу синусоїдального сигналу з амплітудою 2% від значення виходу;

5 біт – випадкове збільшення коефіцієнта посилення в діапазоні від 0 до 2%;

6 біт – випадкове збільшення постійної часу в діапазоні від 0 до 2%;

7 біт – випадкова зміна на 1 часу запізнювання.

Перші три перешкоди додаються до виходу блоку після формування його нового значення. Динамічні характеристики об'єкта (останні три перешкоди) коригуються до перерахунку блоку.



Процесом регулювання, а відповідно, і якістю керування САР визначаються, якщо задано: об'єкт регулювання, тип і місце збурення на систему; обрано тип регулятора (закон регулювання) і розраховані параметри його налаштувань. При оцінці якості регулювання розглядають перехідний процес, який викликаний типовим збуренням відповідної форми і величини. Показники або параметри перехідного процесу є критеріями якості регулювання [3].

При заданому об'єкті управління якість регулювання у ньому визначається обраним типом регулятора і залежить від характеру, величини і місця прикладення збурювальних дій.

Якість перехідних процесів у системі визначається сукупністю показників, які можуть бути умовно розділені на прямі і непрямі. Ті та інші широко використовуються в процесі виконання розрахунків з вибору регулятора і його налаштувань [3].

Прямі критерії якості регулювання [3].

1. Максимальне динамічне відхилення $X^{\max}$.

Максимальне динамічне відхилення (динамічна похибка) дорівнює максимальному відхиленню регульованої величини від заданої у процесі регулювання. Відносна величина цього показника називається динамічним коефіцієнтом регулювання і характеризує ступінь впливу регулятора на відхилення регульованої величини.

2. Час регулювання $t_{н/пр}$.

Час регулювання визначається тривалістю перехідного процесу і дорівнює проміжку часу від моменту відхилення регульованої величини від задання до повернення її регулятором до заданого значення з визначеною ступінню точності:

$$|X_{\text{задане}} - X(t)| \leq \Delta$$

Щоб охарактеризувати дію регулятора, час регулювання виражають відносно величини запізнення в об'єкті τ або відносно його постійної часу $T_{об}$. Тривалість перехідного процесу може бути різною в залежності від параметрів налаштувань обраного типового регулятора; вона не може бути менше певного визначеного значення, мінімального для конкретного реального регулятора з вибраним типовим законом регулювання. Цей мінімальний час властивий граничним аперіодичним процесам регулювання. У всіх інших випадках час регулювання збільшується (для затягнутих аперіодичних, або для коливальних процесів). У мінімізації часу $t^{п/пр}$ може ставитися одна із задач оптимізації налаштувань регулятора.

3. Перерегулювання σ .

Перерегулювання визначається за формулою:

$$\sigma = \frac{X^{\max 1} - X_{\text{задане}}}{X_{\text{задане}}} * 100\%$$

де $X^{\max 1}$ – значення першого максимуму, $X_{\text{задане}}$ – задане значення параметру.

Чим більше σ , тим інтенсивніший коливальний процес, тим він триваліший; чим менше перерегулювання, тим менша перша максимальна амплітуда коливання в перехідному процесі:

- для аперіодичних процесів $\sigma = 0$;
- для коливальних затухаючих перехідних процесів $0 < \sigma < 100\%$.
- при коливальному незатухаючому процесі $\sigma = 100\%$;
- при коливаннях, що розходяться $\sigma > 100\%$.

4. Остаточне відхилення ΔX .

Остаточне відхилення (статична помилка) – це відхилення регульованої величини від заданого значення, яке залишається після закінчення перехідного процесу.

Непрямі критерії якості регулювання [3]:

а) критерії запасу стійкості:

1. Ступінь стійкості η .

Ступінь стійкості визначається абсолютним значенням дійсної частини найближчого до уявної осі кореня характеристичного рівняння стійкої системи і є нижньою оцінкою інтенсивності затухання перехідного процесу.

2. Показник коливальності M .

Показник коливальності знаходиться як відношенню значення максимуму АЧХ замкнутої САР. Чим більший показник коливальності M , тим менше запас стійкості. А при $M \rightarrow \infty$ система знаходиться на межі коливальної стійкості. Як правило, вважається, що величина M повинна знаходитись в межах 1,2 – 2,4. Розрахунок САР на заданий показник коливальності M проводиться безпосередньо за звичайними АФЧХ розімкнутої системи (об'єкта і регулятора) і здійснюється також в два етапи: в просторі параметрів визначається спочатку границя області, що відповідає необхідному запасу стійкості (заданому M), а потім в цій області шукається точка зі значеннями налаштувань регулятора, що забезпечують екстремум додаткового критерія якості.

3. Ступінь затухання ψ .

Ступінню затухання називається відношення різниці двох сусідніх позитивних амплітуд найбільш повільно затухаючої складової перехідного процесу, якою наприкінці процесу і визначається поведінка регульованої величини, до першої із сусідніх амплітуд.

Ступінь затухання:

- $\psi = 0$ для незатухаючого процесу;
- $\psi = 1$ для аперіодичного процесу;
- $0 < \psi < 1$ при коливальному затухаючому процесі.

У розрахунках з використанням критеріїв якості показник коливальності M і ступені затухання необхідно оперувати не звичайними, а так званими розширеними АФЧХ розімкнутої системи (об'єкта і регулятора). Розрахунок САР на задану ступінь затухання (показник коливальності) використовує побудову в площині (просторі) параметрів настройки регулятора в середині області стійкості системи лінії (поверхні) рівного затухання (заданого показника коливальності), яка відповідає контуру заданого значення M в комплексній площині коренів. Маючи лінію рівного показника коливальності (чи лінію рівного затухання) в площині параметрів налаштувань регулятора, вирішується задача вибору на цій лінії оптимальних налаштувань регулятора.

б) інтегральні критерії якості:

1. Абсолютний інтегральний критерій:

Абсолютний інтегральний критерій, який визначає площу, яка знаходиться між кривою відхилення $X(t)$ і вісю часу:

$$I_1 = \int_0^{\infty} |X(t)| dt$$

2 Лінійний інтегральний критерій:

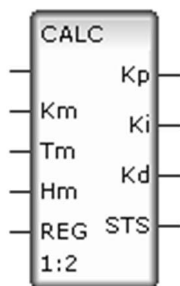
$$I_2 = \int_0^{\infty} X(t) dt$$

3 Квадратичний інтегральний критерій:

$$I_3 = \int_0^{\infty} X^2(t) dt$$

Оптимальний перехідний процес відповідає мінімуму вказаних інтегралів. Найбільш широке розповсюдження отримав квадратичний інтегральний критерій [3].

У SCADA-системі для визначення оптимальних налаштувань регулятора розробниками запропоновано функціональний блок **CALC**.



Цей блок розраховує коефіцієнти PID-регулятора на основі параметрів математичної моделі об'єкта першого порядку із запізненням.

Входи блоку мають таке призначення:

K_m – коефіцієнт посилення моделі об'єкта;

T_m – постійна часу моделі об'єкта;

H_m – час запізнювання моделі об'єкта;

Reg – вибір типу регулятора:

0 – PI-регулятор;

1 – PID-регулятор.

На вхідні параметри накладаються наступні вимоги:

– значення входів повинні бути невід'ємні;

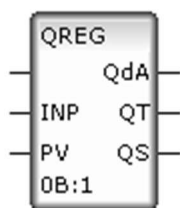
- коефіцієнт передачі і стала часу об'єкта управління повинні бути більше нуля;
- відношення запізнювання до постійної часу має лежати в межах від 0 до 2.

Виходи даного блоку використовуються наступним чином:

- Kp – коефіцієнт при пропорційній складовій;
- Ki – коефіцієнт при інтегральній складовій;
- Kd – коефіцієнт при диференціальній складовій;
- STS – прапор помилки входних параметрів:
 - 0 – входні дані задовільняють вимогам;
 - 1 – входні дані не відповідають вимогам.

Постійна часу і запізнювання об'єкту управління задаються у тактах перерахунку.

Для оцінки якості перехідних процесів у САР у SCADA-системі розробниками запропоновано функціональний блок **QREG**.



На вхід INP подається значення регульованого параметра, на вхід PV – завдання.

На виходах формуються такі значення:

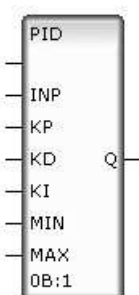
QdA – максимум абсолютного значення неузгодженості (перший стрибок при зміні завдання виключається);

QT – кількість тактів з моменту зміни завдання, на яких неузгодженість перевищувала 1% завдання;

QS – накопичується сума модуля неузгодженості. При підсумовуванні не враховуються значення менше 0.5%.

При зміні завдання (PV) виходи обнуляються.

Ланка PID (PID)



Цей блок формує вихідне значення по ПІД-закону від величини, поданої на вхід INP:

$$Q_i = K_P * INP_i + \frac{K_D * (INP_i - INP_{i-1})}{\Delta t} + K_I * \Delta t * \sum_{k=1}^i INP_k$$

де i - поточний такт перерахунку, K_P , K_D і K_I - відповідно коефіцієнти припропорційній, диференціальній і інтегральній складових, Δt - період перерахунку блоку в секундах (тривалість такту).

Модуль сигналу, що подається на вхід INP від'ємного значення передається на вихід. Далі при подачі на вхід INP не від'ємного значення регулювання починається з встановленої величини.

Для обмеження величини керуючого впливу використовуються входи блоку MIN і MAX. Якщо величина управління менше MIN, то $Q = \text{MIN}$, якщо величина управління більше MAX, то $Q = \text{MAX}$, при цьому в обох випадках накопичення інтегральної складової закону регулювання припиняється.

Даний блок обчислює величину керуючого впливу за значенням неузгодженості регульованої величини і завдання, яке попередньо треба обчислювати за допомогою блоку X-Y.

Введення в алгоритм параметра Δt виключає необхідність перерахунку налаштувань регулятора при зміні періоду перерахунку.

Так як при виконанні лабораторної роботи відсутній об'єкт управління, то для моделювання його роботи використовується функція моделі об'єкту.

