

АЛГОРИТМ І ПРИСТРІЙ ОЦІНКИ СТІЙКОСТІ НЕЛІНІЙНИХ НЕСТАЦІОНАРНИХ СИСТЕМ, ЯКІ ДОПУСКАЮТЬ ЛІНЕАРИЗАЦІЮ

СЕРГІЙ ЮХИМЧУК

Вінницький державний технічний університет, Україна, 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95. Тел.(0432) 446848. Факс: (0432) 433375. E-mail: uhim @ vstu. vinnica.ua

Наводиться алгоритм і функціональна схема пристрою оцінки стійкості нелінійних нестационарних систем, які можливо лінеаризувати. За рахунок по тактної роботи пристрою, на який отримано патент України, він дозволяє розв'язати задачу автоматизації визначення стійкості класу систем, що розглядаються, у частотній області.

ВСТУП

При проектуванні любих автоматичних систем необхідно забезпечити їх працездатність, тобто при функціонуванні вони повинні досягти поставленої мети із заданою точністю та якістю. Зрозуміло, що успішно розв'язати такі задачі можливо лише при забезпечені нормального їх функціонування та нечутливості до неминучих сторонніх збурень, від яких у принципі неможливо позбавитися при експлуатації будь-яких автоматичних систем контролю та управління технічних і технологічних об'єктів та процесів. Тобто, автоматичні системи повинні стійко працювати, незважаючи на дію на них різноманітних збурень.

Саме тому, перша задача аналізу поведінки, яка завжди розв'язується при діагностуванні таких систем - задача оцінки їх стійкості. Причому, якщо стійкість лінійних систем, для яких справедливий принцип суперпозиції, є їх властивістю (тобто вимога стійкості таких систем визначає її структуру та значення відповідних параметрів), для визначення якої існують відносно прості математичні методи, то для нелінійних систем розв'язок задач стійкості набагато складніший. Для таких систем не існує загальних критеріїв стійкості, а існуючи критерії, як правило, мають обмежену область застосування.

Ще більше ускладнюється розв'язок задач стійкості нелінійних автоматичних систем у випадку, коли під дією неконтрольованих збурень змінюються їх параметри, тобто вони стають нестационарними. При цьому слід особливо підкреслити, що, в принципі, дуже важко забезпечити незмінність параметрів систем любого класу при їх використанні у реальних промислових умовах, в яких практично неможливо позбавитися від таких неконтрольованих збурень як температура, вологість, запиленість, вібрації, електромагнітні завади, тощо.

В інженерній практиці широко застосовуються такі методи розрахунку нелінійних систем, які дозволяють, після деяких спрощень, застосувати математичний апарат, який використовується для дослідження лінійних систем. Найпоширенішим засобом, який дозволяє здійснити таке спрощення, є лінеаризація нелінійних систем. Крім того, коли параметри систем, що можуть бути лінеаризовані, змінюються не більше ніж на 20% на деякому інтервалі часу, то, якщо використати метод заморожуваних коефіцієнтів на цьому інтервалі, то лінеаризовану нелінійну систему зі змінними параметрами можливо розглядати як лінійну із постійними параметрами, аналіз поведінки якої можливо здійснювати добре, відомими методами [1, 2].

1. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ СТІЙКОСТІ

Якщо врахувати особливості Фур'є - інтегрального методу ідентифікації ФІМІ [3], то метод, що пропонується, можливо використати для аналізу стійкості систем при випадкових їх вхідних та вихідних сигналах.

Нагадаємо основні співвідношення ФІМІ, виходячи з роботи [3]. Відомо, що для лінійних або лінеаризованих систем зв'язок між їх характеристиками та характеристиками вхідного та вихідного сигналів задається рівнянням Вінера-Хопфа:

$$R_{yx}(\tau) = \int_0^{\infty} R_x(\tau - t)g(t)dt, \quad (1)$$

де $R_{yx}(\tau)$ — взаємна кореляційна функція вихідного $y(t)$ та вхідного $x(t)$ сигналів систем, що досліджуються; $R_x(\tau)$ — кореляційна функція вхідного сигналу $x(t)$; $g(t)$ — вагова характеристика лінійної або лінеаризуючої системи.

Якщо t_0 — час взаємної кореляції вихідного та вхідного сигналів ($R_{yx}(t_0) \approx 0$), то на відрізку $[-t_0, t_0]$ дві кореляційні функції, які входять у (1), можливо розкласти у ряди Фур'є, які будуть мати вигляд:

$$R_x(\tau) = \frac{a_0}{2} + \sum_{l=1}^{\infty} a_l \cos l\omega_1 \tau, \quad (2)$$

$$R_{yx}(\tau) = \frac{a_0}{2} + \sum_{l=1}^{\infty} b_l \cos l\omega_1 \tau + \sum_{l=1}^{\infty} c_l \sin l\omega_1 \tau, \quad (3)$$

$$\text{де } \omega_1 = \frac{\pi}{t_0}, \text{ а}$$

$$\begin{cases} a_1 = \frac{1}{t_0} \int_{-t_0}^{t_0} R_x(\tau) \cos l\omega_1 \tau d\tau, \\ b_1 = \frac{1}{t_0} \int_{-t_0}^{t_0} R_{yx}(\tau) \cos l\omega_1 \tau d\tau, \\ c_1 = \frac{1}{t_0} \int_{-t_0}^{t_0} R_{yx}(\tau) \sin l\omega_1 \tau d\tau. \end{cases} \quad (4)$$

Якщо підставити (2), (3) в (1), то після нескладних перетворень, здійснених в роботі [3], можна отримати, що

$$\frac{b_0}{2} + \sum_{l=1}^{\infty} b_l \cos l\omega_1 \tau + \sum_{l=1}^{\infty} c_l \sin l\omega_1 \tau = \frac{a_0}{2} P_0 + \sum_{l=1}^{\infty} a_l P(l\omega_1) \cos l\omega_1 \tau - \sum_{l=1}^{\infty} a_l Q(l\omega_1) \sin l\omega_1 \tau. \quad (5)$$

Порівняння коефіцієнтів при однакових гармонійних складових у співвідношенні (5) приводить до системи рівнянь:

$$\begin{cases} P(0) = \frac{b_0}{a_0}, \\ b_1 = a_1 P(l\omega_1), \\ c_1 = -a_1 Q(l\omega_1). \end{cases} \quad (6)$$

А з (6) випливає, що:

$$\begin{cases} P(l\omega_1) = \frac{b_1}{a_1}, \quad l = 0, 1, 2, \dots, n; \\ Q(l\omega_1) = -\frac{c_1}{a_1}, \quad l = 0, 1, 2, \dots, n, \end{cases} \quad (7)$$

де $P(l\omega_1)$ та $Q(l\omega_1)$ — відповідно, значення дійсної та уявної частотних характеристик систем, що досліджуються, на частотах $\omega = l\omega_1$ ($l=1, 2, 3, \dots, n$), а $P(0)$ — значення дійсної частотної характеристики систем на частоті $\omega=0$ (відмітимо, що $Q(0)=0$).

Якщо використати формулювання частотного критерію Найквіста для стійкої розімкненої системи, то замкнена система буде стійкою, якщо виконується наступна умова:

$$P(l\omega_1) > -1 \text{ при будь-якому } Q(l\omega_1). \quad (8)$$

Таким чином, якщо використати умову (8), а відповідні значення частотних характеристик знайти за допомогою ФІМІ, то можна побудувати пристрій для автоматичного визначення стійкості замкнених нелі-

нійних систем, які можливо лінеаризувати, по частотних характеристиках розімкнених систем. При цьому підкреслимо, що якщо організувати потактну роботу пристрою, що пропонується, таким чином, щоб за такт його роботи параметри практично не змінювались, то такий пристрій можливо використати для оцінки стійкості нестационарних лінеаризованих систем. З викладеного зрозуміло, що таких умов можливо досягти, коли параметри не змінюються (або зміни незначні) за час t_0 . Тобто, при виконанні вищезгаданих умов можливо розв'язати задачу робастної стійкості нелінійних нестационарних систем, динамічні процеси в яких можливо описати лінійними співвідношеннями за рахунок лінеаризації.

2.АЛГОРИТМ ОЦІНКИ СТІЙКОСТІ

Якщо підсумувати вище наведене, то при умові, що за час t_0 параметри лінеаризованих систем не змінюються, або змінюються незначно, то для автоматизації процесу визначення стійкості систем, що розглядаються, необхідно:

- підрахувати значення функцій $R_{yx}(\tau)$ та $R_x(\tau)$, які входять у (1);
- визначити значення коефіцієнтів їх розкладу у ряді Фур'є за співвідношенням (6.1.4.) та за допомогою цих коефіцієнтів визначити значення дійсної $P(l\omega_1)$ та уявної $Q(l\omega_1)$ частотних характеристик систем на частотах $\omega = l\omega_1$ ($l=0, 1, \dots, n$) за допомогою виразів (6);
- провести перевірку виконання умов (8) та забезпечити індикацію виконання чи невиконання цих умов.

3.ОПИС РОБОТИ ПРИСТРОЮ ОЦІНКИ СТІЙКОСТІ

Пристрій працює таким чином. Вхідний $x(t)$ та вихідний $y(t)$ сигнали системи, стійкість якої необхідно визначити (СК), поступають на входи корелятора, який підраховує значення кореляційних функцій $R_x(\tau)$ та $R_{yx}(\tau)$. Значення $R_x(\tau)$ та $R_{yx}(\tau)$ поступають, відповідно, на перший та другий інформаційні входи першого блоку запису та зчитування. Одночасно з початком подачі сигналів із виходів корелятора подається сигнал з виходу генератора тактових імпульсів на вхід першого лічильного тригера, а з його інверсного виходу — на вхід управління першого блоку запису та зчитування (БЗС 1). Цей сигнал дозволяє запис кодованих значень $R_x(\tau)$ та $R_{yx}(\tau)$ у БЗС 1. Тривалість запису сигналів у БЗС 1 визначається частою імпульсів, які виробляються генератором і залежить від області застосування пристрою та характеристик систем, що досліджуються. Для успішної роботи пристрою, що пропонується, в телемеханічних системах необхідно вибирати частоту імпульсів за співвідношенням:

$$f = \frac{1}{2t_u}, \quad (9)$$

де t_u — тривалість вимірювання сигналів $x(t)$ та $y(t)$.

Враховуючи відмічені раніше особливості методу, на якому базується робота пристрою, необхідно, щоб

$$t_u \approx t_0. \quad (10)$$

Зрозуміло, що частоту імпульсів, які виробляє генератор, можливо змінювати в залежності від умов використання даного пристроя та особливостей зміни параметрів систем, стійкість яких необхідно визначити. При цьому зміна частоти не впливає на роботу пристроя, робота якого розглядається.

Після закінчення часу t_u сигнал з інверсного виходу першого лічильного тригера дозволяє зчитування кодованих значень кореляційних функцій у БЗС 1, з якого вони поступають на входи першого та другого перетворювачів Фур'є, які здійснюють розклад $R_x(t)$ та $R_{yx}(t)$ у ряди Фур'є з частотою першої гармоніки ω_1 за співвідношеннями (4).

Сигнали, які відповідають значенням коефіцієнтів a_l ($l = \overline{0, n}$), поступають на інформаційний вихід першого комутатора, а значення коефіцієнтів b_l та c_l ($l = \overline{0, n}$) - відповідно, на перший та другий інформаційні входи другого комутатора. В цей момент часу подається сигнал запуску на вхід третього тригера.

Сигнал з виходу елементу АБО дозволяє проходження сигналів, які відповідають значенням a_l , на вхід першого блоку порівняння, а значення коефіцієнтів b_l та c_l , відповідно, на входи першого функціонального блоку та блоку зміни знаку.

У першому блокі порівняння реалізується операція перевірки умови $a_l=0$. Якщо ця умова виконується, то сигнал з одного із виходів даного блоку порівняння поступить на третій вхід індикатору та на одиничний вхід третього тригера, сигнал з прямого виходу якого подається на вхід елементу АБО та забороняє передачу сигналів з першого та другого комутаторів до того часу, поки не поступить сигнал запуску пристроя на нульовий вхід третього тригера. Відмітимо, що умова $a_l=0$ є умовою припинення роботи пристроя, що пропонується.

Якщо ж $a_l \neq 0$, то сигнал з першого або третього виходів першого блока порівняння подається на синхронізуючий вхід регістра пам'яті, на інформаційний вхід якого подається сигнал, відповідний значенню коефіцієнту $a_l \neq 0$.

При наявності сигналу на вході синхронізації реєстра, значення коефіцієнту a_l подаються на перший та другий функціональні блоки, на виході яких формуються сигнали, відповідні значенням $P(l\omega_1)$, $Q(l\omega_1)$ у відповідності з (7).

Ці значення АФЧХ записуються у другий блок запису та зчитування (БЗС 2) при поступленні на вхід управління БЗС 2 сигналу з виходу одновібратора. Сигнал з одновібратора подається на нульовий вхід другого тригера з прямим динамічним входом. На одиничний вхід другого тригера подається сигнал з виходу елементу АБО. Сигнал з цього тригера подає-

ться на вхід блоку затримки сигналу, причому час затримки τ , дорівнює тривалості виконання операцій, необхідних для отримання значень $P(l\omega_1)$ та $Q(l\omega_1)$ у відповідності з (7).

Після закінчення часу τ , із виходу одновібратора подається імпульс, який дозволяє запис значень $P(l\omega_1)$ та $Q(l\omega_1)$ у БЗС 2.

Одночасно з моментом подачі імпульсу з одновібратора на вхід БЗС 2, подається сигнал, код якого дорівнює одиниці, на вхід другого блоку зміни знаку та сигнал нуля - на вхід третього блоку порівняння. На другі вхіди другого та третього блоків порівняння подаються, відповідно, значення $P(l\omega_1)$ та $Q(l\omega_1)$.

При виконанні умов (8) для кожного значення $P(l\omega_1)$ та $Q(l\omega_1)$ з'явиться сигнал на виході другого елементу I. Зрозуміло, що для того, щоб прийняти рішення про стійкість системи, яка досліджується, умови (8) повинні виконуватися для всіх $P(l\omega_1)$ та $Q(l\omega_1)$ ($l = \overline{0, n}$). Якщо умови (8) виконуються для всіх значень l ($l = \overline{0, n}$), то на виході другого елементу I сигнал з'явиться $n+1$ разів.

Подальша робота даного пристроя присвячена перевірці виконання умов (8) для всіх значень гармонічних складових (5). Для того, щоб здійснити таку перевірку, сигнал з виходу другого елементу I подається на лічильний вхід лічильника, який здійснює підрахунок кількості імпульсів, які поступають з другого елементу I. Сигнал, відповідний коду значень l ($l = \overline{0, n}$) з лічильника, подається на другий вхід четвертого блоку порівняння, на перший вхід якого подається код числа гармонічних складових $L=n+1$ рядів (2) та (3). Якщо умови (8) будуть виконані для всіх знайдених значень $P(l\omega_1)$ та $Q(l\omega_1)$, то з'явиться сигнал на другому виході четвертого блоку порівняння, який подається на перший вхід блоку індикації, що засвідчує стійкість системи, що контролюється (СК). Поява такого сигналу є ознакою припинення роботи пристроя.

Якщо ж умови (8) не виконуються хоча б для однієї гармонічної складової, то з'являться сигнали на інших виходах другого та третього блоків порівнянь, які будуть подані на входи третього елементу I, з якого сигнал поступить на другий вхід індикатору. Поява такого сигналу є ознакою того, що система, яка досліджується, є нестійкою та також є ознакою припинення роботи пристроя.

Окремо відзначимо, що короткий імпульс з виходу другого елементу I подається також на вхід інвертора, на виході якого з'явиться сигнал, відповідний рівню логічного нуля, який подається на вхід першого елементу I, на виході якого буде рівень логічного нуля, який подається на вхід елементу АБО та забороняє зчитування сигналів з комутаторів. Після того, як імпульс з другого елементу I запишеться у лічильник, на вхід інвертора буде поданий сигнал, відповідний рівню логічної одиниці, а на його виході з'явиться сигнал, відповідний рівню логічного нуля.

Якщо ж число гармонічних складових $L=l+1$ менше числа, яке підраховане в лічильнику та яке подається на вхід четвертого блоку порівняння, то з'явиться сигнал на першому виході четвертого блоку порівняння.

Цей сигнал буде поданий на другий вхід першого елементу I, з виходу якого буде поданий на вхід елементу АБО, що дозволить подальше зчитування сигналів з комутаторів та перевірку умов (8).

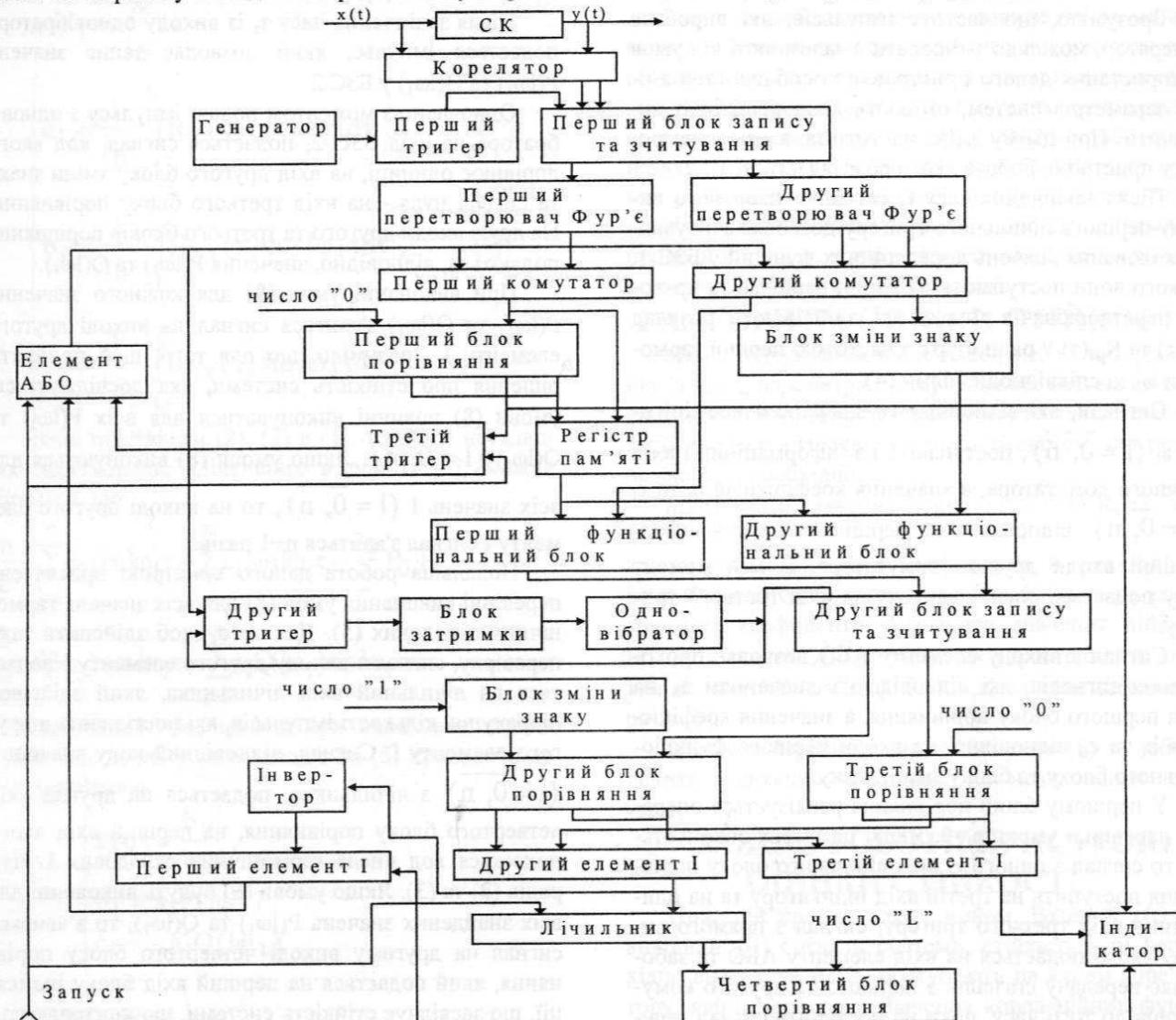


Рис.6.1. Функціональна схема пристрою для визначення стійкості систем, які можливо лінеаризувати.

ВИСНОВКИ

Таким чином, запропонований пристрій працює потактно до моменту появи сигналу на одному із виходів індикатору. Новий цикл перевірки на стійкість починається після подачі сигналу запуску, який приводить лічильник та третій триггер у початковий стан. При цьому слід підкреслити, що момент подачі сигналу запуску необхідно узгоджувати із тривалістю імпульсів, які генеруються генератором тактових імпульсів.

На завершення статті відзначимо, що пристрій, який запропоновано, розв'язує задачу визначення стійкості систем, що досліджуються, у ході їх нормальної експлуатації, без подачі тестових сигналів, не порушуючи їх функціонування. Важливим є те, що використання коефіцієнтів рядів Фур'є для розв'язку порівняння (1), як відзначено в роботі [3], дозволяє підвищити точність розв'язку в зв'язку з тим, що при-

використанні таких коефіцієнтів завжди здійснюється фільтрація аддитивної перешкоди з нульовим середнім, тобто вони володіють регуляризаційними властивостями у більшій ступені, ніж будь-яка інша система ортогональних функцій.

ЛІТЕРАТУРА

- Д'Анжело Г. "Линейные системы с переменными параметрами". - М.: Мир, 1974. - 288 с.
- Заде А., Дезоер Ч. "Теория линейных систем": Пер. с англ. -М.: Наука, 1970.- 703с.
- Мокин Б.И., Корбич Ю. "Математические модели контроля и управления в энергетике" - К.: Техника, 1990, Зелена Гура: Изд-во Высшей инженерной школы, 1990. - 192 с.
- Патент 29994 України, MKI G 05 B 23/02. "Пристрій для визначення стійкості систем управління"/С.В.Юхимчук, Х.М.Батиха.-№93006169; Заявл. 16.07.93; Опубл. 25.12.98; Бюл. №6.- 16с.