

УДК 681.3.535

М. С. Юхимчук-Войтко, асп.

МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ ЗАХИСТУ В УМОВАХ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРИЧНИХ ЗБУРЕНЬ

Описані системи захисту з логічними законами управління. Отримано лінеаризоване рівняння логічного управляючого пристрою, досліджені залежності коефіцієнтів гармонічної лінеаризації від діапазону зміни зсуву фаз.

Вступ

Сучасні системи автоматичного управління складними об'єктами та технологічними процесами, інтелектуальні та експертні системи, системи захисту та діагностування — це далеко не повний перелік сучасних технічних систем. Об'єднують ці системи суттєві вимоги до якості, точності і надійності, які привели до необхідності розробки і використання нових принципів управління, в тому числі і використання логічних законів управління та застосування логічних управляючих пристроїв.

Автоматичні системи з логічними законами управління класів систем, що розглядаються, є суттєво нелінійними, основним робочим режимом більшості таких систем є автоколювання. Логічні управляючі пристрої, які є складовою частиною регулятора, здійснюють перетворення вхідної інформації в управляючі команди із заданим логічним алгоритмом, тобто формують управляючий вплив — логічний закон управління, це забезпечує високу якість процесу управління, збільшення точності та надійності функціонування системи, а також високу економічність процесу управління з точки зору витрат енергоресурсу за допомогою простих технічних засобів. Так, наприклад, в сучасних системах захисту, які є складовою частиною систем «Розумний дім» та «Розумний офіс», комплекс логічних управляючих пристроїв здійснює послідовність логічних операцій керування (переключення), захисту і сигналізації. В цих системах основними функціями логічних управляючих пристроїв є контроль стану об'єкта управління, своєчасне виявлення займань, несанкціоноване проникнення в зону, що охороняється, управління ліфтами, звукове оповіщення про пожежу, відеоспостереження, відеодомофонія, радіофікація, пожежогасіння; управління виконавчими механізмами в режимах пуску, зупинок, зміни навантаження, ввімкнення регуляторів, розпізнавання аварійних ситуацій; сигналізація про них і їх попередження.

Метою роботи є розширення функціональних можливостей методів математичного моделювання поведінки автоматичних систем з логічними пристроями за рахунок урахування зміни первинних параметрів такого класу систем.

Постановка задачі

В системах захисту з логічними законами керування переключення логічного управляючого пристрою відбувається за реалізації заданих умов на його входах. При цьому параметри ланок системи визначаються її станом. Так, наприклад, в одних системах в залежності від поєднання релейних вхідних сигналів стрибком змінюється рівень управляючого впливу: у разі зменшення сигналу відхилення, коли відхилення і швидкість його зміни мінімальні, релейний управляючий вплив має максимальний рівень. Системи цього класу зберігають переваги релейних систем, а саме: високу швидкодію, простоту конструкцій, великий коефіцієнт впливу за потужністю. При цьому логічний управляючий пристрій як пристрій дискретного типу перетворює вхідну інформацію в управляючий вплив у відношенні до заданого логічного алгоритму.

Логічний управляючий пристрій цього класу має кінцеве число вхідних і вихідних каналів, станів; перехід із одного стану в інший відбувається стрибкоподібно у разі виконання певних умов на входах, тому його можна віднести до класу кінцевих автоматів. Автомат працює в дискретному часі, тобто прийом вхідної і видача вихідної інформації кожним елементом відбувається в дискретні інтервали часу — такти. Такти надходять через різні проміжки часу в залежності від характеру зміни вхідних змінних. Зміни станів дискретного автомату визиваються вхідними сигналами, які

надходять в автомат по вхідним каналах.

Існуючі методи дослідження поведінки автоматичних систем із логічними управляючими пристроями не враховують зміни параметрів релейних датчиків, що формують вхідні сигнали логічних управляючих пристроїв у разі впливу на них неконтрольованих параметричних збурень. Такі зміни можуть призвести до того, що самі автоколювання стають нестійкими. Тому потребує розв'язання задача визначення параметрів автоколювань класу систем, що розглядаються, під час зміни параметрів сигналів релейних датчиків.

Використовуючи відомі підходи, з рівнянь лінійної частини та гармонічного лінеаризованого рівняння логічного управляючого пристрою можна отримати характеристичне рівняння системи, з якого визначаються відповідні параметри автоколювань системи у разі впливу на логічний управляючий пристрій параметричних збурень, що приводять до змін параметрів релейних датчиків.

Зовнішні збурення, або індустріальні радіозавади (ІРЗ), створені різного роду електроприладами, лініями електропередач і іншими приладами, системами мобільного зв'язку займають особливе місце серед параметричних збурень, що впливають на роботу релейних систем з логічними управляючими пристроями. Більшість з них характеризується суцільним спектром в діапазоні радіочастот. Їх джерела часто розміщені у безпосередній близькості до систем, що розглядаються. Тому, не дивлячись на меншу потужність таких завад, вони у значній мірі визначають електромагнітну ситуацію (ЕМС) і їх усунення є однією з основних задач у забезпеченні нормальних умов роботи будь-яких автоматичних систем [1].

Необхідність мінімізації сумарних витрат на придушення ІРЗ потребує комплексного підходу під час створення систем керування. Для його здійснення необхідно мати аналітичний апарат, який пов'язує всі управляючі характеристики завад у місці їх виникнення, середовища поширення ІРЗ, завадостійкості рецепторів — з характеристиками з сумарною ІРЗ в місці розміщення автоматичних систем і далі — з показниками якості роботи таких систем [1].

Враховуючи, що автоматичні системи часто експлуатуються у суттєво різних умовах, такий аналітичний апарат повинен забезпечувати можливість врахування впливу різноманітних джерел класу завад, що розглядаються.

Для диференціальної оцінки впливу завад на різні автоматичні системи необхідно знати статистичні характеристики завад, тобто необхідно описати завади апаратом випадкових процесів.

У загальному випадку ІРЗ є випадковими процесами з будь-яким ступенем зосередженості за часом і частотою, з різним ступенем детермінованості або випадковості [1]. Для таких умов найчастіше неможливо створити математичні моделі таких завад для різноманітних умов їх виникнення і, відповідно, позбутися апаратним шляхом їх впливу на показники якості автоматичних систем. Зміна таких показників найчастіше відбувається за рахунок того, що параметри автоматичних систем будуть відрізнятися від розрахункових через вплив вищезазначених збурень, характеристики яких змінюються у порівнянні з апріорними, або ж така зміна параметрів може відбуватися за рахунок впливу збурень, які не враховувались під час проектування автоматичних систем.

Моделювання систем з логічними управляючими пристроями

Динаміка автоматичних систем класу, який розглядається, описується лінійними диференціальними рівняннями, нелінійними рівняннями і рівнянням логічного управляючого пристрою. В цих системах автоколювання використовуються в якості основного робочого режиму, так як під час створення високочастотних автоколювань збільшується точність системи і зменшується вплив зміни параметрів об'єкта на процес регулювання. Тому під час проектування автоматичних систем з логічним управляючим пристроєм необхідно використовувати коливальний режим з метою виключення можливості виникнення небезпечних або небажаних режимів і забезпечення потрібного режиму. Як показано в [1], дослідження таких систем за допомогою методу гармонічної лінеаризації дозволяє наближено визначити умови існування періодичних режимів, знайти залежність їх амплітуди і частоти від величини стрибкоподібного або повільно змінного збурення і параметрів системи, визначити границі стійкості.

Особливості моделювання систем з логічними пристроями розглянемо на прикладі автоматичної системи, що керується простим детермінованим асинхронним кінцевим автоматом, в якій моменти переходів із одного стану в інший визначаються характером зміни вхідних змінних. Під час реалізації на входах автомата за певних умов здійснюється ступінчасте керування виконавчим пристроєм (рис. 1).

На вхід автомата з релейних датчиків надходять дві координати: U_x ; U_y , кожна з яких може приймати додатне, від'ємне або нульове значення.

Алгоритм кінцевого автомата з двома вхідними координатами може бути заданий логічною функцією

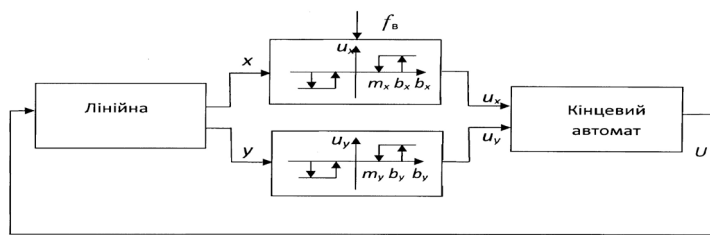


Рис. 1. Функціональна схема автоматичної системи, що керується кінцевим автоматом

$$U = F(u_x, u_y). \tag{1}$$

В цьому випадку логічна функція є функцією двох тризначних змінних U_x і U_y . Алгоритм, який реалізується логічним управляючим пристроєм, може бути описаний, наприклад, такою перемикальною функцією:

$$U = \begin{cases} U_1 \equiv [(U_y \wedge U_x) \vee U_y]; \\ U_2 \equiv [U_x \vee (U_y \wedge U'_x)]; \\ 0 \equiv [\bar{U}_x \wedge \bar{U}_y \wedge \bar{U}'_x \wedge \bar{U}'_y]; \\ -U_2 \equiv [U'_x \vee (U_x \wedge U'_y)]; \\ -U_1 \equiv [(U'_y \wedge U'_x) \vee U'_y], \end{cases} \tag{2}$$

де символ \equiv означає «в тому і тільки в тому випадку, якщо»; \vee — «або»; \wedge — «і»; $\bar{}$ — «ні».

Для запису алгоритму автомата в двійковому алфавіті подамо кожен вхідну тризначну змінну U_x , U_y у вигляді двох двозначних змінних U_x , U'_x , U_y , U'_y , які приймають значення: $u_x \rightarrow U_x$; $u'_x \rightarrow U'_x$, 0; $u_y \rightarrow U_y$, 0; $u'_y \rightarrow U'_y$, 0, де позначено $U'_x = -U_x$; $U'_y = -U_y$.

Дворівневий управляючий вплив U , який приймає значення $\pm U_1$, $\pm U_2$, 0, де $U_2 = kU_1$ і $k < 1$, в двійковому алфавіті подамо як чотири вихідні координати z_1, z_2, z_3, z_4 . Вони можуть приймати такі значення: $z_1 \rightarrow 0$ або U_1 ; $z_2 \rightarrow 0$ або $(-U_1)$; $z_3 \rightarrow 0$ або $+U_2$; $z_4 \rightarrow 0$ або $(-U_2)$.

На теперішній час одним із найпотужніших засобів наближеного опису нелінійних систем є метод гармонічної лінеаризації.

Він також використовується для дослідження автоматичних систем, що керуються кінцевими автоматами. Відмінність методу гармонічної лінеаризації для такого класу систем полягає у знаходженні коефіцієнтів гармонічної лінеаризації шляхом розкладання вихідного сигналу таких систем у подвійний ряд Фур'є [1]. Така особливість зумовлюється таким фактом, що на вхід логічного управляючого пристрою, як правило, надходить сума двох гармонічних сигналів $x(t)$, $y(t)$ з однаковими частотами. Наведемо методику визначення коефіцієнтів гармонічної лінеаризації за допомогою розкладання логічної функції, що описує кінцевий автомат з релейним перетворенням сигналів, у подвійний ряд Фур'є, на відміну від класичних методик, які використовують звичайний ряд Фур'є.

Для функції двох дійсних змінних $f(x, y)$, яка має період 2π як для змінної $x(t)$, так і для $y(t)$, яка інтегрується в квадраті $Q = [-\pi, \pi; -\pi, \pi]$, подвійний ряд Фур'є в уявній формі запишемо у вигляді

$$f(x, y) \approx \sum_{n,m=-\infty}^{\infty} \lambda_{n,m} e^{(nx+my)i}, \tag{3}$$

де коефіцієнти визначаються виразом

$$\lambda_{nm} = \frac{1}{4\pi^2} \iint_Q f(x, y) e^{-(vx+\mu y)i} dx dy. \tag{4}$$

В уявній формі подвійний ряд Фур'є буде мати вигляд

$$f(x, y) \approx \sum_{n,m=0}^{\infty} [a_{nm} \cos nx \cos my + b_{nm} \cos nx \sin my + c_{nm} \sin nx \cos my + d_{nm} \sin nx \sin my], \quad (5)$$

де коефіцієнти

$$a_{n,m} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{[Q]} f(x, y) \cos nx \cos my dx dy; \quad b_{n,m} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{[Q]} f(x, y) \cos nx \sin my dx dy; \quad (6)$$

$$c_{n,m} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{[Q]} f(x, y) \sin nx \cos my dx dy; \quad d_{n,m} = \frac{1}{\pi^2} \iint_{[Q]} f(x, y) \sin nx \sin my dx dy.$$

Отже, для математичного моделювання поведінки релейних систем з логічними управляючими пристроями будемо використовувати метод гармонічної лінеаризації, особливістю якого, на відміну від класичних підходів є знаходження коефіцієнтів гармонічної лінеаризації за допомогою подвійного ряду Фур'є.

Якщо лінійна частина системи за відсутності зовнішнього збурення описується такими рівняннями

$$Q_1(p)x = -R_1(p)U; \quad Q_2(p)y = R_2(p)x, \quad (7)$$

то будемо вважати, що шуканий періодичний розв'язок для сигналів y і x буде мало відрізнятися від гармонічного, тому вважатимемо, що $y(t)$ змінюється за законом

$$y(t) = A_y \sin \omega t. \quad (8)$$

Тоді $x(t)$ буде змінюватися за законом

$$x(t) = A_x \sin(\omega t + \phi). \quad (9)$$

За наявності в релейних елементах гістерезиса вихідні сигнали U_x та U_y визначаються не лише значеннями вхідних сигналів X , Y , але і знаком їх похідних \dot{X} , \dot{Y} . В цьому випадку лінеаризоване рівняння логічного управляючого пристрою з релейним перетворювачем буде мати вигляд [2]

$$F(x, \dot{x}, y, \dot{y}) = \left(\frac{c_{10}}{A_y} + \frac{a_{10}}{A_y \omega} p \right) y + \left(\frac{b_{01}}{A_x} + \frac{a_{01}}{A_y \omega} \right) x, \quad (10)$$

де A_x , A_y — амплітуди вхідних сигналів X і Y , відповідно; ω — частота вхідних сигналів; p — оператор Лапласа.

Визначимо коефіцієнти c_{10} , a_{10} , b_{01} , a_{01} та, відповідно, і вигляд виразу (10) за умови, що параметри релейних перетворювачів (вхідний сигнал релейних елементів і ширина зони нечутливості) змінюються за лінійними законами. Ці закони зміни характерні для впливу на систему таких параметричних збурень, як температура, вологість, запиленість.

При цьому значення відповідних коефіцієнтів визначаються за допомогою розкладу логічної функції, що описує кінцевий автомат з релейним перетворювачів сигналів, у подвійний ряд Фур'є за допомогою співвідношень, які визначаються за умов, що параметри релейних перетворювачів змінюються за лінійними законами:

$$a_{10} = \frac{1}{2\pi^2} \iint_{2\pi} F(x, x, y, \dot{y}) \cos \Psi_y d\Psi_y d\Psi_x = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} F(x, x, y, \dot{y}) \cos \Psi_y d\Psi_y; \quad (11)$$

$$a_{01} = \frac{1}{2\pi^2} \iint_{2\pi} F(x, \dot{x}, y, \dot{y}) \cos \Psi_x d\Psi_y d\Psi_x = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} F(x, \dot{x}, y, \dot{y}) \cos \Psi_x d\Psi_x; \quad (12)$$

$$b_{01} = \frac{1}{2\pi^2} \iint_{2\pi} F(x, x, y, \dot{y}) \sin \Psi_x d\Psi_x d\Psi_y = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} F(x, \dot{x}, y, \dot{y}) \sin \Psi_x d\Psi_x; \quad (13)$$

$$c_{10} = \frac{1}{2\pi^2} \iint_{2\pi} F(x, \dot{x}, y, \dot{y}) \sin \Psi_y d\Psi_y \Psi d\Psi_x = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} F(x, \dot{x}, y, \dot{y}) \sin \Psi_y d\Psi_y, \quad (14)$$

де

$$\Psi_y = \omega t; \quad (15)$$

$$\Psi_x = \omega t + \phi, \quad (16)$$

а ω — частота сигналу $y(t)$; ϕ — зсув фаз між сигналами $y(t)$, $x(t)$.

Будемо вважати, що у разі впливу таких параметричних збурень, як температура, запиленість, вологість параметри вихідного сигналу релейної ланки з гістерезисом B та ширини зони нечутливості C будуть змінюватись за лінійними законами, тобто:

$$B(t) = b_0 \pm bt, \quad b \ll b_0; \quad (17)$$

$$C(t) = c_0 \pm ct, \quad c \ll c_0. \quad (18)$$

В роботі [3] отримані вирази для коефіцієнтів гармонічної лінеаризації з урахуванням впливу параметричних збурень та виразів (17), (18). Але важливим остається питання впливу зсуву фаз $\phi(\omega)$ між вхідними сигналами релейних датчиків на ці коефіцієнти.

Аналіз результатів моделювання

В процесі роботи системи зі зміною параметрів об'єкта в широких межах змінюється зсув фаз $\phi(\omega)$ між вхідними сигналами релейних датчиків. У випадку перевищення визначеного, граничного значення зсуву фаз ϕ змінюється послідовність переключення вхідних сигналів автомата, що приводить до зміни форми управляючого впливу, границь інтегрування і підінтегральної функції, тобто до зміни виразів коефіцієнтів гармонічної лінеаризації.

В процесі моделювання досліджені залежності значень коефіцієнтів гармонічної лінеаризації логічного перетворювача (рис. 2) та (рис. 3) та доведена неперервність зміни коефіцієнтів під час переходу зсуву фаз через граничні значення. Також визначено, що амплітуда і частота коливань змінюються неперервно за неперервної зміни параметрів об'єкта, не дивлячись на те, що на різних інтервалах зміни зсуву фаз ϕ коефіцієнти гармонічної лінеаризації рівняння логічного управляючого перетворювача описуються різними виразами. Тому, якщо для формулювання логічного алгоритму використовується відхилення регульовальної величини y і внутрішня випереджувальна координата об'єкта x , параметри якого суттєво змінюються в процесі роботи і розглядаються «заморожені коефіцієнти» його рівняння, необхідно врахувати відповідний зсув фаз ϕ між сигналами y та x за наближеного визначення періодичних режимів. При цьому очевидно, що коефіцієнти гармонічної лінеаризації потрібно визначати для відповідного діапазону зміни зсуву фаз ϕ .

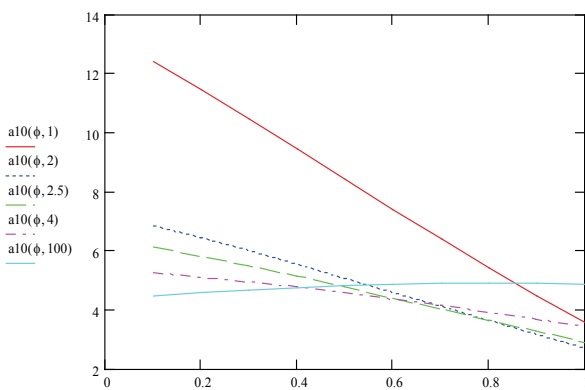


Рис. 2. Залежність коефіцієнта гармонічної лінеаризації a_{10} від зсуву ϕ

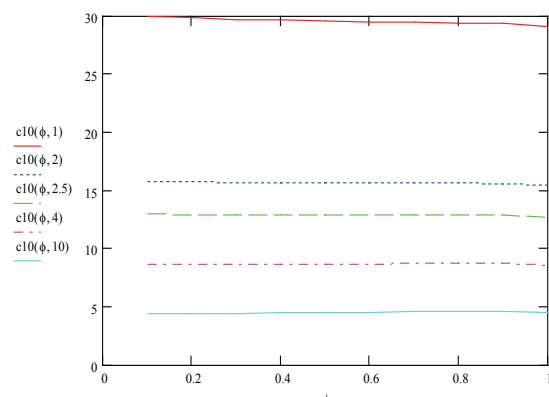


Рис. 3. Залежність коефіцієнта гармонічної лінеаризації c_{10} від зсуву ϕ

Таким чином, в процесі роботи системи у разі зміни параметрів об'єкта в широких межах змінюється зсув фаз $\phi(\omega)$ між вхідними сигналами релейних датчиків. У разі перевищення визначеного

ного, граничного значення зсуву фаз ϕ змінюється послідовність переключення вхідних сигналів автомата, що приводить до зміни форми управляючого впливу, границь інтегрування і підінтегральної функції, тобто до зміни виразів коефіцієнтів гармонічної лінеаризації.

Висновки

Розклад логічної функції двох змінних в подвійний ряд Фур'є дозволив отримати лінеаризоване рівняння логічного управляючого пристрою, для формування алгоритму роботи якого використовуються два сигнали з однаковою частотою та зсувом фаз $\phi(\omega)$ та вирази для коефіцієнтів Фур'є, в умовах, що розглядаються.

Досліджені залежності коефіцієнтів гармонічної лінеаризації від діапазону зміни зсуву фаз ϕ .

Запропонований в роботі спосіб дозволяє визначити залежність амплітуди і частоти від параметрів системи та знайти границю стійкості системи як границю виникнення автоколиваний в площині параметрів і виділити область існування автоколиваний.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Никифоров В. О. Управление в условиях неопределенности: чувствительность, адаптация, робастность / В. О. Никифоров, А. В. Ушаков. — СПб. : СПбГИТМО(ТУ)-Петербург, 2002. — 232 с.
2. Юхимчук С. В. Обобщение метода гармонической линейризации для исследования нелинейных электромеханических систем с переменными параметрами / С. В. Юхимчук // Изв. вузов Электромеханика. — 1994. — № 2. — С. 9—15.
3. Юхимчук-Войтко М. С. Гармонічна лінеаризація САУ, що керується кінцевим автоматом під час параметричних збурень [Електронний ресурс] / М. С. Юхимчук-Войтко // Наукові праці ВНТУ. — 2009. — № 3. — Режим доступу : <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/vntu>.
4. Мирошник И. В. Нелинейные системы. Анализ и управления / И. В. Мирошник. — СПб. : СПбГИТМО(ТУ)-Петербург, 2002. — 169 с.
5. Brockett R. A. Stabilization problem. In book: Open Problems in Mathematical Systems and Control Theory / R. A. Brockett. — Springer, 1999. — 288 p.

Рекомендована кафедрою комп'ютерних систем управління

Стаття надійшла до редакції 30.03.11
Рекомендована до друку 18.04.11

Юхимчук-Войтко Марія Сергіївна — аспірантка кафедри комп'ютерних систем управління.
Вінницький національний технічний університет, Вінниця