

УДК 681.35

Павло Альфредович Шкуліна
Сергій Васильович Ленков
Олександр Васильович Селюков

ЗАГАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО ДІАГНОСТУВАННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ БЛОКІВ ДИНАМІЧНИМ МЕТОДОМ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Значну частину об'єктів радіоелектронної техніки займають апаратні засоби, що представляють собою аналогові блоки. Вихідним станом аналогового блока являється справний стан і він визначений. У процесі функціонування аналоговий блок переходить із одного стану в інший. Перехід аналогового блока з вихідного стану в інші стани відбувається під впливом виникнення несправностей. Тому для процесу діагностування найбільш істотним варто вважати визначення оператора переходу системи в ті або інші стани.

Працездатність аналогового блоку, що працює як система автоматичного управління, найбільш об'єктивно може бути оцінена за допомогою показників якості перехідного процесу (ПП). Назвемо такі аналогові блоки динамічними. Для таких блоків використовується динамічний метод діагностування. Проте існують аналогові блоки режим функціонування яких відрізняється від режиму системи автоматичного управління. Для того щоб застосувати для їх діагностування динамічний метод, необхідно перетворити їх в динамічні блоки.

Методи одержання перехідної функції досить широко розглянуті в класичній теорії. Характеристика працездатності системи в загальному випадку може бути отримана в результаті аналізу ПП при різних несправностях, кількісно виражених варіаціями коефіцієнтів системи. Виникає завдання визначення тестових впливів на динамічний блок для створення на його виході перехідного процесу.

Формулювання мети статті. Виклад основного матеріалу

Тому на основі загального підходу до діагностування динамічних блоків динамічним методом з використанням інформаційних технологій необхідно розробити методику аналізу динамічного блока методом нулів і полюсів передаточної функції, а також розробити перевіряючий тест (ПТ) для динамічного блоку.

В роботі розглядаються динамічні блоки, що працюють як система автоматичного управління в динамічному режимі. Пропонується їх працездатність перевіряти динамічним методом діагностування. Суть динамічного методу діагностування полягає в тому, що оцінка працездатності динамічних блоків проводиться по показниках якості перехідного процесу.

Одним з головних завдань при розробці динамічного методу отримання діагностичної інформації є синтез динамічного блока із заданими показниками якості ПП, які визначаються динамічними властивостями об'єкта діагностування й повинні задовольняти вимоги до засобу діагностування. У цьому сенсі запропонований метод повинен бути адаптивним і дозволяти використовувати досить вузький клас вимірювальних пристроїв.

Динамічний блок представляє собою об'єкт регулювання. Тому аналіз динамічного блока повинен полягати в розрахунку коефіцієнта головного зворотного зв'язку (пристрою управління). Спосіб аналізу повинен бути простим, універсальним і досить точним.

При контролі технічного стану динамічного блока розробленим методом він представляє собою систему автоматичного управління, умову працездатності якої необхідно враховувати виходячи з форми, у якій заданий її стан, а також можливі шляхи оцінки працездатності системи. Проводячи діагностування блока по перехідному процесу необхідно визначити критерії, по яких приймається рішення про справний або несправний технічний стан.

Таким чином, завдання аналізу динамічного блока полягає в тому, щоб по заданій функціональній схемі визначити передаточну функцію, розрахувати перехідний процес, за яким визначити показники якості перехідного процесу й вибрати з них мінімальне число показників які характеризують технічний стан динамічного блока із заданою достовірністю.

Визначимо спосіб аналізу динамічного блока. Завдання аналізу системи полягає в тому, щоб по

заданим вхідній і вихідній величинам (або по деяких їхніх характеристиках) визначити передаточну функцію системи. Завдання аналізу спрощується, якщо відомо структурну схему системи. У цьому випадку відомий вигляд передаточної функції системи й тому необхідно визначити тільки передаточну функцію й коефіцієнти зворотного зв'язку. Якість процесу управління визначається на підставі відомих методів аналізу автоматичних систем [1]. Дані методи мають певні недоліки, які проявляються при аналізі динамічного блока з метою його діагностування. Недоліки методу нулів і полюсів передаточної функції не є визначальними у зв'язку з наявністю великої кількості прикладних програм, що дозволяють визначити корінь алгебраїчного рівняння високого порядку чисельними методами. Тому в роботі запропоновано використовувати даний метод у якості основного для аналізу динамічного блока.

Приведемо методику, яка призначена для аналізу динамічного блока методом нулів і полюсів передаточної функції для одержання перехідного процесу. Особливістю цієї методики є те, що будь-який аналоговий блок представляється динамічним блоком з перехідним процесом, показники якості якого дозволяють визначити його технічний стан.

Методика аналізу динамічного блока методом нулів і полюсів передаточної функції.

Вихідні дані:

1. Необхідні показники якості ПП (не більше двох) які характеризують технічний стан динамічного блока.

2. Функціональна схема динамічного блока.

Обмеження: методика застосовується тільки до лінійних динамічних блоків.

Основні етапи реалізації методики:

1. Виходячи із заданих значень діагностичних параметрів (показників якості перехідного процесу) вибираємо значення кореня характеристичного полінома замкнутої системи на комплексній площині. Для забезпечення коливальності перехідного процесу корінь повинен мати комплексне значення.

2. Знаючи, характеристичні рівняння замкнутої й розімкнутої систем і прирівнюючи коефіцієнти при однакових ступенях оператора Лапласа, одержуємо систему лінійних рівнянь.

3. Розв'язуючи систему, розрахуємо значення коефіцієнтів поліномів чисельника й знаменника аналізованого регулятора.

4. Розбиваємо отримане співвідношення у вигляді дроби на найпростіші дроби, для того, щоб представити регулятор у вигляді паралельного включення простих ланок (пропорційного, аперіодичного й коливального).

5. Визначається коефіцієнт підсилення зворотного зв'язку регулятора $K_{33}(p)$.

6. Визначається еталонні значення діагностичних параметрів $t_{ует}$.

Під "аналізом" у нашому випадку будемо розуміти розрахунок коефіцієнтів підсилення зворотного зв'язку (регулятора) $K_{33}(p)$ на виході динамічного блока, коли він справний. Динамічний блок описується передаточною функцією $K_1(p)$, (рис. 1). Розроблена методика аналізу динамічного блока представлена у вигляді алгоритму на рис. 2.

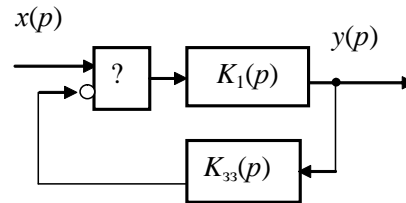


Рис. 1. Структурна схема динамічного блока.



Рис. 2. Алгоритм аналізу динамічного блока

Зображення вхідного впливу $x(p)$ по негативному зворотному зв'язку й вихідному впливу $y(p)$ замкнутого динамічного блока зв'язані диференціальним рівнянням вигляду

$$W_2(P)u(p) = W_1(P)x(p), \quad (1)$$

звідки $u(p) = \frac{W_1(P)}{W_2(P)}x(p)$, причому ступінь

полінома $W_2(P)$ повинен бути не нижче ступеня $W_1(P)$. Процеси, що протікають у замкнутій системі, описуються передаточною функцією

$$K_{\text{охв}}(p) = \frac{K_1(p)}{1 + K_1(p)K_{33}(p)} = \frac{y(p)}{x(p)}. \quad (2)$$

Зображення вихідної величини в цьому випадку буде мати вигляд

$$y(p) = \frac{K_1(p)}{1 + K_1(p)K_{33}(p)}x(p), \quad (3)$$

а перехідний процес

$$y(t) = L^{-1} \left\{ \frac{K_1(p)}{1 + K_1(p)K_{33}(p)}x(p) \right\}. \quad (4)$$

Динамічний блок з декількома входами й виходами можна розглядати як множину модулів з одним входом і виходом (рис. 1). У цьому випадку кожен модуль можна представити структурною схемою, на якій його складові зображуються у вигляді з'єднання динамічних ланок. Ця структурна схема описує фізично реалізований динамічний блок.

Динамічний блок, який представлений структурною схемою можна описати системою диференціальних рівнянь методом простору станів, що має вигляд [1]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\bar{X}(t)}{dt} &= A\bar{X}(t) + B\bar{U}(t) \\ \bar{Y}(t) &= C\bar{X}(t) + D\bar{U}(t) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

де $\bar{X}(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)]^T$ – n -мірна матриця-стовпець змінних станів;

$\bar{U}(t) = [u_1(t), u_2(t), \dots, u_m(t)]^T$ – тестовий вплив;

$\bar{Y}(t) = [y_1(t), y_2(t), \dots, y_p(t)]^T$ – реакція на вхідний вплив.

У працездатному стані динамічні блоки є такими, що управляються й спостерігаються. Елемент є таким, що управляється, якщо для будь-яких моментів часу t_0 і t_1 , $t_1 > t_0$, і будь-яких заданих станів x_0 і x_1 існує управляючий сигнал $u(t)$ ($t_0 < t < t_1$), що переводить початковий стан $x(t_0) = x_0$ у будь-який кінцевий $x(t_1) = x_1$.

Лінійний n -мірний елемент (1) є таким, що повністю управляються тільки тоді, коли матриця

$$X(t)_{[t_k; t_{k+1}]} = e^{A(t_{k+1}-t_k)}X(t_k) + \int_{t_k}^{t_{k+1}} C e^{A(t_{k+1}-\tau)} B U(\tau) d\tau. \quad (10)$$

Перший доданок у виразі (10) визначається початковими умовами, другий доданок – вхідним впливом. Введемо позначення

$$K = [B \ AB \ A^2B \ \dots \ A^{n-1}B]^T \quad (6)$$

має ранг рівний n : $\text{rank} = n$ [2].

Елемент $x(t)$ є таким, що спостерігається, якщо в момент спостереження t_0 можна однозначно визначити $x(t_0)$ за даними виміру $y(t)$ на кінцевому інтервалі часу $t_0 < t < t_1$, $t_1 > t_0$. Для того щоб елемент був таким, що повністю управляється й спостерігається необхідно й достатньо, щоб ранг складеної матриці K^H виду $[C^T \ A^T C^T \ A^{2T} C^T \ \dots \ (A^{n-1})^T C^T]$ дорівнював n [2], тобто,

$$\text{rank}[K^H] = \text{rank}[C^T \ A^T C^T \ A^{2T} C^T \ \dots \ (A^{n-1})^T C^T] = n. \quad (7)$$

При виконанні умов (2), (3) система рівнянь для елемента приводиться до вигляду

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\bar{X}(t)}{dt} &= A_k \bar{X}(t) + B_k \bar{U}(t) \\ \bar{Y}(t) &= C_k \bar{X}(t) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

де A_k, B_k, C_k мають вигляд

$$A_k = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -a_0 & -a_1 & -a_2 & \dots & -a_{n-1} \end{bmatrix},$$

$$B_k = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix},$$

$$C_k = [b_0 \ b_1 \ \dots \ b_m \ 0 \ \dots \ 0]. \quad (9)$$

Це дозволяє визначити параметри ПТ для діагностування динамічного блоку динамічним методом.

Для побудови ПТ введемо обмеження. Елемент є таким, що управляються і спостерігається з одним входом і виходом. Відоме розташування нулів і полюсів комплексної передаточної функції для елемента на комплексній площині. Так як робоча точка динамічного блоку перебуває на середині лінійної ділянки його вольтамперної характеристики, то обмежимося тільки двома різнополярними сигналами у вигляді одичної функції $l(t)$ у якості перевіряючого тесту. Тому спочатку необхідно знайти числові значення їхньої амплітуди ψ_1 і ψ_2 .

Для рішення цієї задачі була використана перетворена система рівнянь (8), що зв'яже вхідний і вихідний сигнал в динамічному блоці.

Рішення (10) на інтервалі часу $[t_k; t_{k+1}]$ (інтервал дії одного імпульсу в ПТ має вигляд

$\Phi(t_{k+1} - t_k) = e^{A(t_{k+1}-t_k)}$ й представимо рішення (10) у вигляді

$$X(t)_{[t_k; t_{k+1}]} = \Phi(t_{k+1} - t_k)X(t_k) + \int_{t_k}^{t_{k+1}} C\Phi(t_{k+1} - \tau)BU(\tau) d\tau. \quad (11)$$

Одержимо загальне рішення для (11) на вираз (11) замість t_k, t_{k+1} підставляються значення довільному k -ому інтервалі часу. Для цього у $t_k=k$ і $t_{k+1}=(k+1)T$. Вираз (11) набуває вигляду

$$X(t)_{[kT; (k+1)T]} = \Phi[(k+1)T - kT]X(kT) + \int_{kT}^{(k+1)T} C\Phi[(k+1)T - \tau]BU(\tau) d\tau. \quad (12)$$

Підставимо у вираз (8) замість узагальненого значення вхідної змінної $U(\tau)$ значення амплітуди імпульсів у перевіряючому тесті. На інтервалах $[t_k=k; t_{k+1}=(k+1)T]$ амплітуда імпульсів у ПТ величина постійна, це дозволяє представити вираз (12) у вигляді

$$X(t)_{[kT; (k+1)T]} = \Phi[(k+1)T - kT]X(kT) + \int_{kT}^{(k+1)T} C\Phi[(k+1)T - \tau]B\psi_k d\tau. \quad (13)$$

Після взяття визначеного інтеграла у виразі (13) одержимо

$$X(t)_{[kT; (k+1)T]} = \Phi[(k+1)T - kT]X(kT) + [\Phi(T) - I]A^{-1}B\psi_k, \quad (14)$$

де I – одинична матриця.

Для одержання рішення при реалізації всієї ПТ однаковий для всіх інтервалів часу $[t_k=k; t_{k+1}=(k+1)T]$, вираз (14) представляється у вигляді уведемо позначення $W = [\Phi(T) - I]A^{-1}B$. Оскільки аналітичний вираз не залежить від k і має вигляд,

$$X(t)_{[kT; (k+1)T]} = \Phi[(k+1)T - kT]X(kT) + W\psi_k. \quad (15)$$

При нульових початкових умовах і одному амплітудою $\psi_0=1(t)$, на інтервалі часу $[0; T]$ вираз вхідному впливі у вигляді одиничної функції з (15) приймає вигляд

$$X(t)_{[0; T]} = \Phi[T - 0]X(0) + W\psi_0 = W\psi_0. \quad (16)$$

Вираз (16) у момент часу $t=T$ з урахуванням початкових умов і прийнятих позначень має вигляд

$$X(t)_{[0; T]} = W\psi_0.$$

При вхідному тестовому впливі у вигляді часу $[T; 2T]$ вираз (15) має вигляд одиничної функції з амплітудою ψ_1 на інтервалі

$$X(t)_{[T; 2T]} = \Phi[T]X(T) + W\psi_1 = \Phi[T]W\psi_0 + W\psi_1. \quad (17)$$

Аналогічним способом проводиться послідовна W за дужки реакція на ПТ визначається підстановка для всіх інтервалів часу. Після виносу виразом

$$X[(k_0 + 1)T] = \left\{ \Phi(T)^n \psi_0 + [\Phi(T)]^{n-1} \psi_1 + [\Phi(T)]^{n-2} \psi_2, \dots, \psi_n I_n \right\} W. \quad (18)$$

Оскільки T, ψ_0, k_0 відомі, знайдемо з виразу перевіряючому тесті. Для цього перетворимо вираз (18) значення амплітуди одиничної функції в (18) шляхом нормування по ψ_0 до вигляду

$$\frac{X[(k_0 + 1)T]}{\psi_0} = \left\{ \Phi(T)^n \psi_0 + [\Phi(T)]^{n-1} \psi_1 + [\Phi(T)]^{n-2} \psi_2, \dots, \psi_n I_n \right\} \frac{W}{\psi_0}. \quad (19)$$

Необхідно знайти значення ψ_k , при яких сигнал двох різнополярних одиничних функцій з на виході дорівнює нулю. Прирівняємо вираз (19) до нуля й знайдемо чисельні значення, при яких амплітудами ψ_1 (21) і ψ_2 (21).

Висновки

1. Розроблено загальний підхід до діагностування динамічних блоків динамічним методом з використанням інформаційних технологій.

2. Розроблено методику аналізу динамічного блока методом нулів і полюсів передаточної функції.

3. Визначено аналітичні залежності перевіряючих тестів для широкого класу лінійних динамічних пристроїв. Застосування розроблених перевіряючих тестів для динамічного методу відповідає вимогам діагностування при проведенні контролю технічного стану аналогових блоків.

Відповідно до методики, викладеної в [3], перша відносна амплітуда розраховується по формулі

$$\frac{\psi_1}{\psi_0} = - \sum_{i=1}^n e^{v_i T}. \quad (20)$$

Амплітуда другого імпульсу в тестовому впливі протилежна за знаком і розраховується відповідно до виразу

$$\frac{\psi_2}{\psi_0} = - \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n e^{(v_i + v_j) T}. \quad (21)$$

Таким чином, перевіряючий тест для динамічного блоку являє собою послідовність

Література

- 1. Зайцев Г.Ф.** Теорія автоматичного управління / Г.Ф. Зайцев, В.К. Стеклов, О.І. Бріцький. – К.: Техніка, 2002. – 688 с. **2. Алексеенко А.Г.** Микросхемотехніка: учеб. пособие для вузов. – 2-е изд. / А.Г. Алексеенко, И.И. Шагурин. – М.: Радио и связь, 1990. – 496 с. **3. Шкуліпа П.А.** Методика визначення діагностичних параметрів аналогових пристроїв динамічним методом // VIII Міжнародна науково-практична конференція "Військова освіта і наука: сьогодення та майбутнє". – Київ, 2012, - С. 113.
-

В работе приведен общий подход к диагностированию динамических блоков динамическим методом с использованием информационных технологий. Разработана методика анализа динамического блока методом нулей и полюсов передаточной функции. Разрабатывается проверяющий тест для динамического блока, что работает как система автоматического управления для динамического метода диагностирования. Это позволяет применить динамический метод диагностирования к широкому классу аналоговых блоков.

Ключевые слова: динамический метод, проверяющий тест, динамический блок.

General approach is brought in work to diagnostic dynamic block by dynamic method with use information technology. The designed methods of the analysis of the dynamic block by method of the zeroes and pole to transmission function. It is developed inspecting test for dynamic block that works as system of the autocontrol for dynamic diagnostic method. This allows to use the dynamic diagnostic method to broad class analog block.

Key words: dynamic method, inspecting test, dynamic block.