

Різномасштабні динамічні процеси в мехатронних системах

Розглянуті процеси в мехатронних системах, які розрізняються в масштабах швидкодії на 4..10 порядків. Запропоновано методи порівняльного аналізу і процесів, визначено ряд типових нескінченно швидких процесів та елементи синтезу раціональних процесів у системах мехатроніки.

мехатроніка, динамічна система, швидкодія

Сучасний стан розвитку мехатронних систем потребує розробки і впровадження нових ефективних методів їх теоретичного і експериментального дослідження [1, 2]. Найвні в літературних джерелах [3] методи розрахунку базуються на застосуванні засобів математичних пакетів і часто являються неефективними. Причиною цього є надзвичайна складність процесів, що мають місце в мехатронних системах.

Для підвищення ефективності математичних моделей виконують спрощення моделей шляхом введення логічних умов та обмежень, які відповідають реальним умовам роботи окремих агрегатів мехатронної системи [4]. Найбільш поширеним є традиційний опис процесів введенням в математичну модель суттєвих нелінійностей характеристик (сухого тертя, насичення, тощо) [5]. Але такий підхід до опису процесів не відповідає принципам, які закладені в основу побудови мехатронних систем. Значна різниця швидкодії електронних і механічних пристроїв, які складають мехатронну систему потребує врахування особливостей різномасштабних процесів, що різняться в часі на 4..10 порядків.

В даний час в літературних джерелах відсутня інформація про особливості взаємодії різномасштабних динамічних процесів в мехатронних системах, специфіку їх аналізу та застосування з метою підвищення ефективності роботи систем. Вирішення даної наукової проблеми є актуальним і дає можливість суттєво підвищити якість розробки та аналізу мехатронних систем.

В даній статті наведено результати теоретичних і експериментальних досліджень проведені автором в даному напрямку. Основною метою досліджень є виявлення характерних особливостей (аналіз) різномасштабних динамічних процесів та розробка елементів синтезу процесів у мехатронних системах.

Різномасштабні процеси та їх швидкодія

Мехатронна система має механічну і електричну частини. В механічній частині присутні, зокрема, виконавчі пристрої. Типова мехатронна система має привод у вигляді гідроциліндра, який керується електрогідравлічним гідророзподільником (рис. 1).

Виходом електронної частини системи є сигнал $U(t)$ (рис. 1б), який подається на гідророзподільник. Процес переміщення штока $x(t)$ (рис. 1г), є порівняно повільним у порівнянні з процесами зміни керуючого сигналу $U(t)$ та процесом зміни тиску (рис. 1в) на виході гідророзподільника. Переміщення штока також є повільним процесом у порівнянні з процесом взаємодії штока з упором (рис. 1г) і процесом зміни сили тертя (рис. 1д) при зупинці і зворотному русі штока.

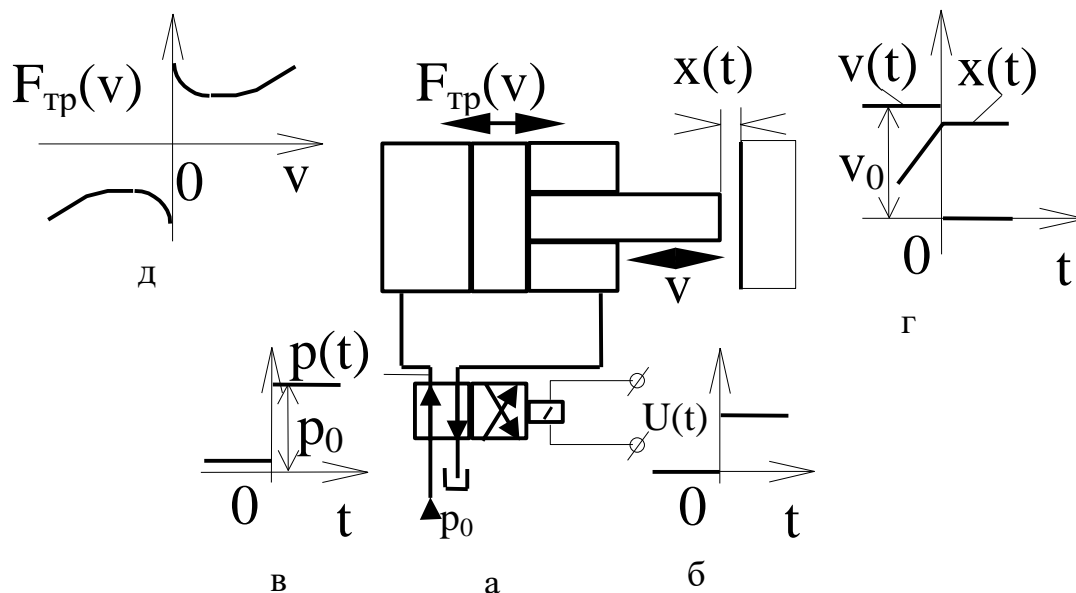


Рисунок 1 - Схематичне зображення типового вузла мехатронної системи (а) та різномасштабні процеси, які в ній протікають: б – нескінченно швидкий процес зміни керуючого сигналу, який формується електронною частиною системи; в – процес середньої швидкодії, який характеризує зміну тиску на виході гідророзподільника при його переключенні; г – графіки зміни параметрів руху штока при його взаємодії з упором; д – нескінченно швидкий процес зміни сили тертя при зміні знака швидкості штока.

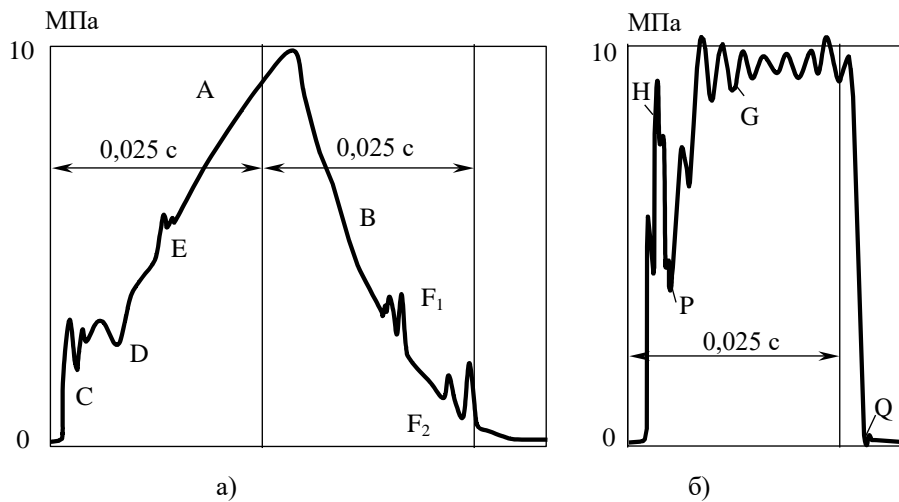
Швидкодія окремого елемента мехатронної системи та процесу, який в ньому протікає, характеризується або часом спрацювання, або характерним значенням частоти, яке має елемент. В якості характерного значення частоти доцільно взяти полосу пропускання частот окремого елемента [6] або характерну (власну) частоту динамічного процесу, який протікає в елементі мехатронної системи.

Механічна частина мехатронної системи має полосу пропускання частот ω_n порядку 10 Гц. Окремі вузли механічної частини мають полосу пропускання частот близько 100 Гц і вище. Електронна частина мехатронної системи характеризується половою пропускання частот порядку десятка кілогерц – 10 кГц .. 100 кГц і мегагерц – 1 МГц .. 10 МГц. Хоча окремі блоки електронної частини системи мають характерні частоти порядку гігагерц – 1 ГГц і вище.

З метою експериментального обґрунтування методів аналізу і синтезу різномасштабних динамічних процесів проведені експериментальні дослідження виконавчого пристрою мехатронної системи. Схема пристрою відповідає наведеній на рис. 1а. В процесі експериментів визначено зусилля (тиск) на поршні гідроциліндра при його взаємодії з упором.

Експериментальні дослідження проведені для потужного виконавчого привода у вигляді гідроциліндра з діаметром поршня 160 мм, який керується швидкодійним гідравлічним струменевим розподільником високого тиску 5..25 МПа. Час переключення такого розподільника складає 1..5мс. Експериментальні дослідження полягали у вимірах процесу зміни тиску в поршневій порожнині гідроциліндра, який взаємодіє з упором при переключенні гідророзподільника і подачі рідини під тиском в поршневу порожнину гідроциліндра.

Виміри здійснено при різних положеннях регульованого упора, що обумовило суттєво різні об'єми робочої (поршневої) порожнини гідроциліндра (рис. 2).



а –об’єм порожнини гідроциліндра 1500см³; б –255см³

Рисунок 2 - Експериментально визначені процеси зміни тиску в поршневій порожнині гідроциліндра, шток якого взаємодіє із упором

Процеси зміни тиску наведені на рисунках є порівняно швидкими для гідропривода. Загальний час процесів складає 0,025с та 0,05с. Більш повільний процес (див. рис. 2а) має чітко виражену основну плавно змінну (аперіодичну) складову, що зображена у вигляді плавних кривих А і В. Основна складова процесу має час спрацювання порядку 0,03с.

На основну складову накладено більш швидкі процеси. На початку процесу простежується коливальна складова процесу С, яка затухає в інтервалі часу близько 0,003с, що в десять разів менше часу основного процесу. Коливальна складова процесу С має характерну частоту порядку 103 Гц. Подібну швидкодію мають також коливальні складові процесу F1 і F2, які мають характерні частоти порядку 103 Гц. Ще більш швидкою є коливальна складова процесу Е. Характерна частота даної складової знаходиться в межах 2·103..104Гц. Складова процесу D є більш повільною. Її характерна частота знаходиться в межах 280..320Гц.

Процес наведений на рис. 2а допускає розділення своїх складових як по швидкодії так і по характеру складових (аперіодичні та коливальні). В даному випадку має місце суперпозиція складових процесу.

Процес наведений на рис. 2б є більш складним. В ньому відбувається взаємодія (інтерференція) складових. Основна складова має вигляд коливального процесу G з характерною частотою порядку 103 Гц. З нею взаємодіє більш високочастотна складова, яка проявляється у ділянці процесу P із чітко вираженими пульсаціями з частотами 2·103..104 Гц.

В подальшому дана складова процесу затухає тобто відбувається дифузія складової. В даному процесі має місце підсилення (кумуляція) розмаху коливань на ділянці H. В процесі також спостерігається суттєво високочастотна складова Q з характерною частотою 104..105 Гц.

Порівняння різномасштабних динамічних процесів

Процеси з різними масштабами швидкодії порівнюються між собою та із деякими базовими процесами. В якості базового процесу $x = x(t)$ приймається механічний процес середнього масштабу швидкодії (ωп порядку 10 ..104 Гц). Цей процес визначає рівномірний механічний рух, який найбільш зручно інтерпретувати рухом стрілок годинника.

Порівняння швидкості росту (швидкодії) та величини двох процесів y і x ілюструється графічно на площині послідовних змін стану системи двох процесів (рис.3).

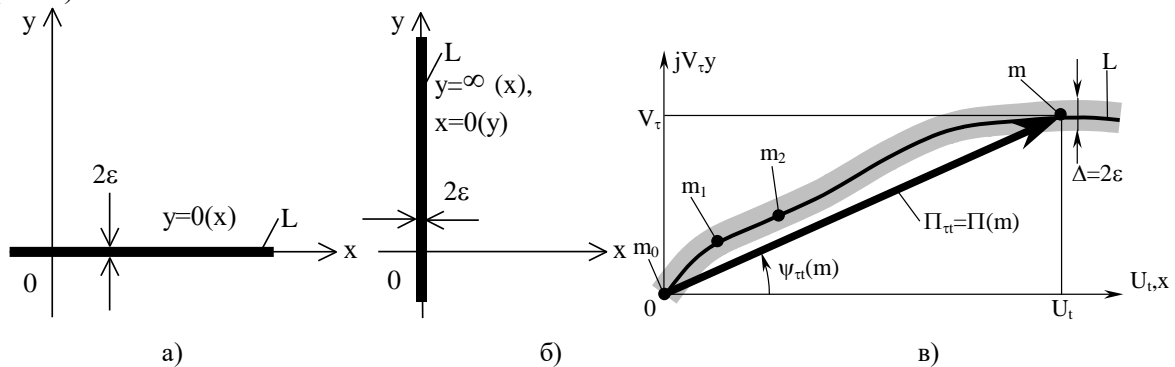


Рисунок 3 - Площина послідовних змін стану системи двох процесів y і x :

а – процес y є нескінченно малим у порівнянні з процесом x ; б – процес y є нескінченно швидким у порівнянні з процесом x ; в – процеси x і y є порівнянними, тобто мають один масштаб

Лінія L та полоса $2ε=Δ$ встановлює в графічному вигляді взаємний зв'язок процесів x і y (рис. 3в).

Для опису взаємного зв'язку процесів використовується міра зв'язку m , яка змінюється послідовно: $m=m_0, m_1, m_2, .. m, .. ∞$

Якщо масштаби швидкодії процесів є різними, міра взаємного зв'язку процесів являє собою величину, подібну до часу. Її можна трактувати як віртуальний час. Віртуальний час для процесів із однаковими масштабами швидкодії співпадає із звичайним часом.

В загальному випадку віртуальний час змінюється інакше ніж звичайний час. Він може сповільнюватись або пришвидшуватись відносно звичайного часу. Мають місце випадки, коли віртуальний час буде від'ємним, тобто процес буде проходити в часі в зворотному напрямку від майбутнього до минулого. Це звичайно справедливе лише для процесів з непорівняними масштабами швидкодії.

В кожній точці з мірою зв'язку m взаємне співвідношення процесів характеризується значенням процесів x і y (рис.3в).

Порівняння швидкості росту та величини двох процесів характеризується співвідношеннями їх приростів. Інтегральні прирости визначають приріст процесу від точки з мірою $m=m_0$ до точки m і складають U_t і $V_τ$. Відношення інтегральних приростів характеризується радіусом-вектором $\vec{\Pi}_τ = \vec{\Pi}(m)$. Кутове положення радіуса

вектора визначено у вигляді $ψ_τ = \arctg \frac{V_τ}{U_t}$. Модуль радіуса вектора $\Pi(m)$ зв'язаний із

поточними значеннями приростів процесів співвідношенням $\Pi(m) = \sqrt{U_t^2 + V_τ^2}$.

З використанням комплексних чисел одержимо комплексне значення вектора взаємного зв'язку(порівняння) двох процесів у вигляді

$$\Pi_τ(jm) = \Pi(m)e^{jψ_τ(m)}, \quad j = \sqrt{-1}.$$

Вектор взаємного зв'язку служить для порівняння двох процесів. Порівняння здійснюється по величині аргументу комплексного вектора: якщо процеси x і y є порівнянними, то $0 < ψ_τ < \frac{\pi}{2}$ (для першого квадранта площини), якщо процес $y=0(x)$, то значення аргументу $ψ_τ \approx 0$ і маємо процес y нескінченно малий в порівнянні з

процесом x (для даного значення міри взаємного зв'язку m), якщо процес $y = \infty(x)$, то значення аргументу $\psi_{\tau} \approx \frac{\pi}{2}$ і маємо процес y нескінченно швидкий в порівнянні з процесом x .

Типові нескінченно швидкі процеси

В мехатронних системах мають місце нескінченно швидкі процеси різних видів. З метою аналізу процесів виділені характерні нескінченно швидкі процеси, зокрема: обмежені та необмежені процеси; аперіодичні та коливальні; симетричні та косиметричні; додатньо визначені та знаковмінні; періодичної та неперіодичної дії, зокрема, процеси з нескінченно малим та нескінченно великим періодом; монотонні та розривні; однозначні та багатозначні.

Графіки деяких типових процесів наведено на рис.4.

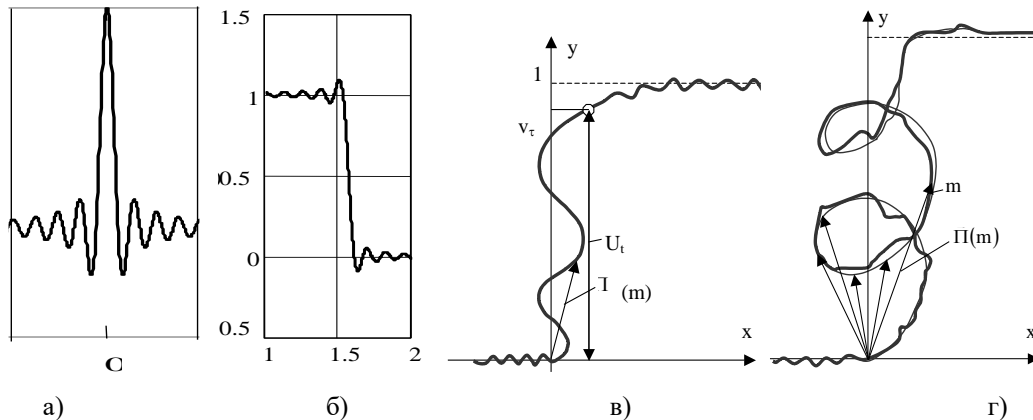


Рисунок 4 - Типові обмежені нескінченно швидкі процеси: а – симетричний коливальний; б – косиметричний; в - багатозначний; г – петлеподібний нескінченно швидкий процес.

Елементи синтезу нескінченно швидких процесів

Нескінченно швидкі процеси в мехатронних системах враховуються з метою підвищення точності математичного моделювання систем. Математичне моделювання дає можливість розробити раціональні та оптимальні закони керування в мехатронних системах. При математичному моделюванні ставиться задача поетапного ускладнення математичної моделі. Одним із перспективних напрямків вирішення даної проблеми є синтез динамічних моделей процесів, які реалізують різномасштабні процеси в мехатронних системах. Розроблено ряд методів синтезу різномасштабних процесів, зокрема: метод суперпозиції процесів, який полягає в складенні незалежних процесів; інтерференція процесів близьких масштабів із одержанням результуючого процесу із особливими властивостями; ротація процесів, коли в певному часовому проміжку група нескінченно швидких процесів періодично змінює свій склад і конкретний результат дії кожного складового процесу; конвертація процесів, яка приводить до заміни одного процесу на інший, якісно відмінний від попереднього; трансформація процесів, яка приводить до зміни параметрів, що впливає на вид і характер нескінченно швидкого процесу; кумуляція нескінченно швидкого процесу, яка полягає в різкому підсиленні його певної властивості за рахунок зниження якісних показників інших властивостей; циркуляція нескінченно швидких процесів, яка полягає у циклічній зміні двох і більше процесів; ініціалізація процесу, яка супроводжується його розвитком по причині несуттєвих зовнішніх збурень; генерація, що полягає у породженні одного або кількох процесів під дією ситуативних умов і необхідних обставин; розщеплення (розгалуження) нескінченно швидкого процесу на ряд складових по кушовій або розгалуженій схемі; сходження (злиття) набору процесів у один або кілька більш загальних ніж вихідні процеси; дифузія (згасання) процесу під дією об'єктивних чинників.

Вказані методи синтезу реалізовані при моделюванні мехатронних систем, зокрема мехатронної системи, яка описується лінійним диференціальним рівнянням 160 порядку.

В лінійній мехатронній системі має місце принцип суперпозиції. Тому основним методом синтезу вибрано суперпозицію процесів. По причині похибок розрахунку і графічного виводу інформації на розрахунковому процесі простежується ротація процесів різних масштабів та послідовне поглинання нескінченно швидких процесів (рис.5).

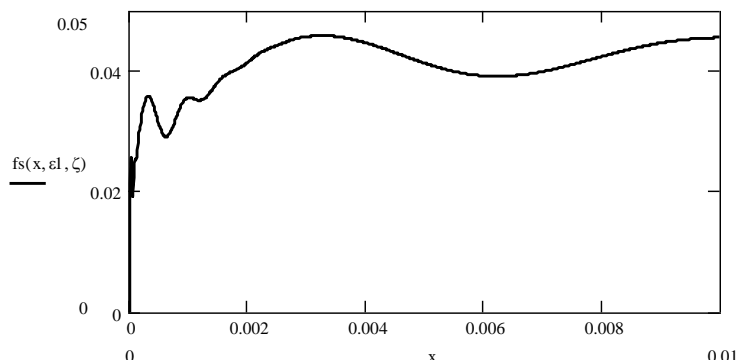


Рисунок 5 - Результати синтезу різномасштабних процесів, які виникають в лінійній мехатронній системі

Встановлено, що в мехатронних системах мають місце різномасштабні динамічні процеси, які розрізняють по швидкості протікання в $10^4..10^{10}$ раз, розроблені методи порівняння різномасштабних процесів.

Запропоновано розрізняти аперіодичні і коливальні процеси, обмежені та необмежені процеси, симетричні та кососиметричні однозначні та багатозначні процеси. На основі цього здійснено аналіз нескінченно швидких перехідних та нескінченно малих періодичних процесів у мехатронних системах.

Розроблена методика синтезу різномасштабних динамічних процесів у мехатронних системах, яка базується на застосуванні різних способів синтезу, зокрема, суперпозиції, інтерференції, ротації, конвертації, циркуляції, генерації та дифузії різномасштабних процесів.

Як напрямок подальших досліджень рекомендується розробка цілісної системи дослідження різномасштабних процесів у мехатронних системах, визначення базових (превалюючих) масштабів процесів, суттєвих та несуттєвих різномасштабних процесів.

Список літератури

1. Егоров О.Д., Подураев Ю.В. Конструирование мехатронных модулей. – М.: Высш. Шк., 2004. – 360с.
2. Спыну Г.А., Шевченко А.В, Мехатроника в машиностроении.// Вестник НТУУ КПИ, №40, 2001, С. 216-226.
3. Гультяев А. Имитационное моделирование в среде Windows. – С-Пб.: КОРОНАпринт, 1999. – 288с.
4. Скляревский А.Н. Динамические процессы в электрогидравлическом следящем приводе с эталонной моделью // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. Запоріжжя. – 2002-№1. – С.99-102.
5. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування. – К.: Либідь, 1997. – 544с.

В статье рассматриваются процессы в механотронных системах, которые различаются в масштабах скорости на $4..10$ порядков. Предложен метод сравнительного анализа и процессы, определен ряд типовых бесконечно быстрых процессов и элементы синтеза рациональных процессов в системах механотроники.

In the article the processes in the mechanotronic systems which differentiate in the scales of speed on $4..10$ orders are examined. The method of comparative analysis and processes are offered, the row of model infinitely rapid processes and elements of synthesis of rational processes in the systems of mechanotronics are defined.

Одержано 1.10.05