

Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія

Клімов Максим Сергійович

УДК 681.5:004.4

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ
ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ ПРИ НАЯВНОСТІ ЗАПІЗНЕННЯ ТА
ЗМІННОСТІ ПЕРІОДУ ДИСКРЕТИЗАЦІЇ**

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Автореферат магістерської роботи

Краматорськ 2019

Робота виконана на кафедрі електромеханічних систем автоматизації
Донбаської державної машинобудівної академії Міністерства освіти і науки
України, м. Краматорськ.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, доцент
Шеремет Олексій Іванович,
Донбаська державна машинобудівна
академія, завідувач кафедри
«Електромеханічні системи
автоматизації».

Рецензент:

Захист відбудеться «___» грудня 2019 р. о ____ годині на засіданні державної
екзаменаційної комісії за спеціальністю 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка» в Донбаській державній машинобудівній
академії на кафедрі ЕСА за адресою: 84313, м. Краматорськ, бульвар
Машинобудівників, 39, 2-й корпус, ауд. 2133.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми.

Розвиток дискретних систем обумовлений постійно зростаючими вимогами до керування різними технологічними процесами, з одного боку, і можливостями обчислювальної техніки в забезпеченні цих вимог, з іншого боку. Так в сучасних електромеханічних системах необхідно забезпечувати переміщення з високою швидкістю (до 1 м/с) при наявності похибки, що не перевищує десятих часток відсотка. Похибка позиціонування іноді повинна бути менше 1 мкм. Виникають також завдання реалізації складних законів управління в реальному часі. Аналогові системи не можуть забезпечити таких показників через інерційність і дрейф нуля операційних підсилювачів, на яких, як правило, реалізуються пристрої управління. Широке поширення мікропроцесорів дозволяє усунути зазначені недоліки аналогових регуляторів, істотно розширити функції управління і підвищити його якість. При цьому з'являється можливість організації паралельно з управлінням тестування і моделювання. Дискретні системи також мають високу захищеність від перешкод, мають менші габарити і вагу.

У той же час аналіз і синтез дискретних систем вимагають чіткого врахування їх особливостей, вмілого використання відповідного математичного апарату, ретельної розробки алгоритмів управління, грамотного вибору апаратних і програмних засобів при їх реалізації. Всі ці питання об'єднує теорія дискретних систем автоматичного управління.

Дискретний характер регулювання в сучасних електромеханічних системах, обумовлений дискретністю функціонування силових напівпровідникових перетворювачів електроенергії, відповідно до чого реалізація алгоритмів регулювання здійснюється за допомогою цифрових регулювальних пристроїв – мікропроцесорних контролерів.

Актуальність виконаних досліджень пов'язана із широким впровадженням сучасних мікроконтролерних та мікропроцесорних засобів

систем керування у виробництво. Цей процес також відомий під назвою «діджиталізація». В широкому розумінні діджиталізація – це проникнення цифрових технологій, автоматизації та інформаційних технологій на всі рівні життя та економіки. Цей процес почався ще в минулому столітті і триває досі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Вибір напрямку досліджень здійснено у відповідності до Закону України від 11.07.2001 р. № 2623-III «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» та змінам до цього закону від 09.09.2010 р. № 2519-VI (2519-17), а також постанови Президії Національної Академії Наук України від 22.10.2010 р. № 294 «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки на період до 2020 року».

Робота виконана в рамках держбюджетної теми кафедри «Електромеханічні системи автоматизації» ДДМА, «Розробка та дослідження електронних та електромеханічних систем перетворення електричної енергії з використанням сучасних цифрових засобів автоматизації».

Мета і задачі дослідження.

Метою роботи є дослідження цифрових систем керування електроприводами при наявності запізнення та змінності періоду дискретизації.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалися наступні задачі:

- виконано класифікацію імпульсних систем керування за видами модуляції;
- здійснено математичний опис імпульсного елемента для систем з амплітудно-імпульсною модуляцією першого роду;
- розглянуто ґратчасті функції та їх використання у теорії дискретних систем керування електроприводами;

- представлена математична інтерпретація процесу квантування в часі;
- здійснено аналіз функціонування типового імпульсного елемента;
- розглянуто математичні основи квантування та z-перетворення;
- проаналізовано динамічні процеси кінцевої тривалості у імпульсних системах автоматичного керування та базові принципи аналітичного синтезу регуляторів;
- проаналізовано методи керування об'єктами з великими запізненнями, а також методи дослідження цифрових керуючих систем з варійованим періодом дискретизації;
- розглянуто питання стабілізації мережевих систем управління з запізненнями, пов'язаними з втратами пакетів даних;
- виконана дискретна корекція запізнення об'єкта керування при здійсненні синтезу дискретного регулятора;
- проведено моделювання цифрової системи автоматичного управління зі змінним періодом дискретизації.

Об'єктом дослідження є цифрові системи керування електроприводами.

Предметом є вплив запізнень промислових процесів на показники якості керування, забезпечувані цифровими системами.

Методи досліджень – методи теорії автоматичного керування, теорії електроприводу, методи чисельного розв'язання диференціальних рівнянь, математичного моделювання та досліджень на імітаційних моделях за допомогою ЕОМ з використанням сучасних пакетів прикладних програм.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що:

1. Розроблено методику синтезу цифрових системи автоматичного управління зі змінним періодом дискретизації, яка дозволяє створювати моделі, придатні для програмної реалізації відповідного дискретного регулятора.

2. Виконані дослідження дозволяють розширити можливості сучасних систем керування електроприводами, наблизити їх до новітніх стандартів, що закладаються діджиталізацією та концепцією «Індустрія 4.0»

Практичне значення отриманих результатів:

За результатами виконаних досліджень може бути створено програмне забезпечення для мікроконтролера, який здійснює керування технологічним процесом.

Особистий внесок здобувача полягає у виконанні дослідження цифрових систем керування електроприводами при наявності запізнення та змінності періоду дискретизації; проведенні розрахунків та математичного моделювання

Апробація результатів магістерської роботи. Результати досліджень обговорювались на щорічній науковій конференції студентів ДДМА, м. Краматорськ, 2019 р.

Публікація результатів наукових досліджень.

Матеріали магістерської роботи опубліковано в науковій статті у фаховому виданні «Вісник Донбаської державної машинобудівної академії» (перереєстровано – Наказ МОН України № 326 від 04.04.2018).

Структура і обсяг магістерської роботи. Магістерська робота складається із вступу, шести розділів, загальних висновків, списку

використаних джерел. Загальний обсяг магістерської роботи складається із 125 сторінок (114 сторінок основної частини), 33 рисунків, 17 таблиць. Список використаних джерел містить 21 найменування.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ містить обґрунтування актуальності теми дослідження, її основну мету, наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів.

У **першому розділі** здійснено аналіз основних положень теорії дискретних систем управління.

Система автоматичного управління (САУ) називається цифровою, якщо до її складу входить хоча б одна ланка дискретної дії.

Цифрова система оперує з даними, що отримуються з неперервного сигналу шляхом вибірки його значень в рівновіддалені моменти часу. В результаті виходить часова послідовність даних, звана дискретним сигналом.

Цифрова ланка – це ланка, вихідна величина якої змінюється дискретно, тобто стрибками, навіть при плавній зміні вхідної величини.

Дискретний елемент перетворює неперервні сигнали на дискретні. Це перетворення здійснюється за рахунок квантування сигналів по рівню, часу або за рівнем і часу.

Внаслідок квантування за часом в імпульсних системах інформація між елементами передається послідовністю імпульсів. Така послідовність містить корисну інформацію тільки в тому випадку, якщо вона модульована будь-яким сигналом. Функцію модуляції в імпульсних системах виконують імпульсні елементи (модулятори), які перетворюють безперервні сигнали в послідовність імпульсів, один з параметрів яких (модульований параметр) змінюється за законом зміни вхідного безперервного сигналу (модулюючого сигналу).

В основу методу дискретних перетворень входить поняття про ґратчасту функцію. Зміщена ґратчаста функція дає можливість отримати будь-яку кількість точок між дискетами ґратчастої функції.

Вихідний сигнал імпульсного елемента визначається величиною вхідного сигналу тільки в дискретні моменти часу на початку кожного

періоду повторення імпульсів і в подальшому не залежить від зміни вхідного сигналу до початку наступного періоду повторення. Тому досить знати значення вхідного сигналу тільки в дискретні моменти часу, тобто в моменти nT_0 , де n – ціле число.

На основі цього неперервну функцію на вході імпульсного елемента можна замінити так званої ґратчастою функцією. Ґратчастою функцією називається функція дискретного аргументу, значення якої визначено в дискретні моменти часу $t = nT_0$. Між цими моментами функція дорівнює нулю.

У **другому розділі** аналізуються основні положення теорії сучасних наукових досліджень та методів їх проведення.

Безпосередня мета сучасної науки – отримання знань про об'єктивний і про суб'єктивний світ, осягнення об'єктивної істини. Завдання сучасної науки:

- збирання, опис, аналіз, узагальнення та пояснення фактів;
- виявлення законів руху в природі, суспільстві, мислення і пізнання;
- систематизація отриманих знань;
- пояснення сутності явищ і процесів;
- прогнозування подій, явищ і процесів;
- встановлення напрямків і форм практичного використання отриманих знань.

Науку можна розглядати як систему, що складається:

- з теорії;
- методології, методики і техніки досліджень;
- практики впровадження отриманих результатів.

Якщо науку розглядати з точки зору взаємодії суб'єкта та об'єкта пізнання, то вона включає в себе наступні елементи:

- об'єкт (предмет) – те, що вивчає конкретна наука, на що направлене наукове пізнання;

- суб'єкт – конкретний дослідник, науковець, фахівець наукової організації, організація;

- наукову діяльність суб'єктів, які застосовують певні прийоми, операції, методи для досягнення об'єктивної істини і виявлення законів дійсності.

Фундаментальні наукові дослідження – це експериментальна або теоретична діяльність, спрямована на отримання нових знань про основні закономірності будови, функціонування і розвитку людини, суспільства, навколишнього природного середовища.

Прикладні наукові дослідження – це дослідження, спрямовані переважно на застосування нових знань для досягнення практичних цілей і вирішення конкретних практично значимих задач. Іншими словами, вони спрямовані на вирішення проблем використання наукових знань, отриманих в результаті фундаментальних досліджень, в практичній діяльності людей.

У **третьому розділі** аналізуються динамічні процеси кінцевої тривалості у імпульсних системах автоматичного керування та базові принципи аналітичного синтезу регуляторів. Наводяться рівняння аналітичного синтезу регуляторів, які забезпечують кінцеву тривалість перехідних процесів.

У **четвертому розділі** досліджуються цифрові системи керування електроприводами при наявності запізнення та змінності періоду дискретизації.

Тимчасові затримки (або запізнювання) досить часто спостерігаються в промислових процесах, пов'язаних з транспортуванням чи перемішуванням. Вони призводять до того, що інформація про хід процесу надходить до регулятора пізніше, ніж це потрібно, що може призвести до нестійкості замкнутої системи.

Складність управління об'єктами з тимчасовими затримками характеризується відношенням величини запізнювання до постійної часу

об'єкту: чим воно більше, тим важче домогтися необхідної якості регулювання.

Якість управління об'єктами можна покращити двома способами:

- зменшенням запізнювання в об'єкті шляхом внесення конструктивних змін;
- застосуванням більш складної структури системи управління, що дозволяє зменшити негативний вплив запізнювання.

Однією із структур, призначених для управління об'єктами із запізнюванням, є предикатор Сміта – це така модель об'єкта управління, що дозволяє передбачити поведінку об'єкта з транспортним запізненням (наприклад, товщину листа металу на виході з прокатного стану, коли товщина визначається керованою величиною).

У **п'ятому розділі** здійснено техніко-економічне обґрунтування виконаних досліджень. Розраховано оціночні результати вкладу магістра у наукові дослідження по магістерському проекту.

У **шостому розділі** наведено результати аналізу з охорони праці, а саме аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, заходи щодо забезпечення безпечних умов праці і дії при надзвичайних ситуаціях.

ВИСНОВКИ

На підставі наведених прикладів був приведений доволі значний огляд наукових статей та інших публікацій, в яких так чи інакше зачіпаються питання забезпечення стійкості і необхідної якості систем автоматичного керування об'єктами з змінюваним часом запізнювання або систем з варійованим періодом дискретності. На зібраному, таким чином, аналітичному матеріалі приводиться деяка класифікація методів аналізу та синтезу таких систем і робиться висновок про те, що найчастіше у публікаціях розглядаються окремі приватні випадки побудови системи автоматики.

Найбільш загальними методами створення стійких систем автоматичного керування об'єктами з перемінним часом запізнювання або систем з варійованим (випадковим) періодом дискретизації є імовірнісні методи, методи теорії робастних систем управління.

Важливою частиною роботи є розділ, присвячений моделюванню систем автоматичного керування об'єктами з перемінним часом запізнювання або систем з варійованим (випадковим) періодом дискретизації. Розглядається моделювання мережевих систем автоматики в середовищі MATLAB/TrueTime як найбільш загальний метод аналізу досліджуваних систем. На конкретному прикладі двигуна постійного струму продемонстровано можливості моделювання як змінного часу запізнювання, так і змінного (випадкового) періоду дискретизації.

АНОТАЦІЯ

Клімов М.С. Дослідження цифрових систем керування електроприводами при наявності запізнення та змінності періоду дискретизації.

Магістерська робота за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ, 2019.

Магістерська робота складається із вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг магістерської роботи складається із 125 сторінок (114 сторінок основної частини), 33 рисунків, 17 таблиць. Список використаних джерел містить 21 найменування.

Метою роботи є дослідження цифрових систем керування електроприводами при наявності запізнення та змінності періоду дискретизації.

Основні наукові результати магістерської роботи:

1. Вдосконалено дискретна система автоматичного керування може бути успішно застосована для керування складними електромеханічними об'єктами, зокрема об'єктами, що потребують значної точності позиціонування робочих органів.

2. Розроблено модель системи автоматичного керування об'єктами зі змінним часом запізнювання та системи з варійованим періодом дискретизації, яку можна розглядати як найбільш загальний метод аналізу досліджуваних систем у програмному середовищі MATLAB/TrueTime.

3. На прикладі двигуна постійного струму продемонстровано можливості моделювання як змінного часу запізнювання, так і змінного періоду дискретизації.

Ключові слова: ЦИФРОВА СИСТЕМА, ЗАПІЗНЕННЯ, ПЕРІОД ДИСКРЕТИЗАЦІЇ, ДВИГУН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ

ANNOTATION

Klimov M.S. Investigation of digital drive control systems in the presence of delay and variability of the sampling period.

Master's Degree in Specialty 141 – "Electricity, Electrical Engineering and Electromechanics", Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk, 2019.

The master's thesis consists of an introduction, six sections, general conclusions, a list of sources used. The total volume of the master's work consists of 125 pages (114 pages of the main part), 33 figures, 17 tables. The list of sources used contains 21 items.

The purpose of the study is to study digital drive control systems in the presence of delay and variability of the sampling period.

The main scientific results of the master's work:

1. An advanced discrete automatic control system can be successfully applied to control complex electromechanical objects, in particular objects that require significant positioning accuracy of the working bodies.

2. A model of the automatic control of objects with variable time delay and a system with a variable sampling period is developed, which can be considered as the most common method of analysis of the studied systems in the MATLAB/TrueTime software environment.

3. The example of a DC motor demonstrates the ability to model both a variable delay time and a variable sampling period.

Keywords: DIGITAL SYSTEM, DELAY, SAMPLING PERIOD, DC MOTOR, MATH MODEL

Клімов Максим Сергійович

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ
ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ ПРИ НАЯВНОСТІ ЗАПІЗНЕННЯ ТА
ЗМІННОСТІ ПЕРІОДУ ДИСКРЕТИЗАЦІЇ**

Підп. до друку	Формат 60×90/16	Офсетний друк
Умов. друк. арк. – 0,58	Тираж 1 прим.	Замовлення №

ДДМА, 84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72