

Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія

Пассажи́ров Макси́м Рома́нович

УДК 681.5:62-83

**ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ВЕКТОРНОГО КЕРУВАННЯ
АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ, СИНТЕЗОВАНОЇ МЕТОДОМ
ДИСКРЕТНОГО ЧАСОВОГО ЕКВАЛАЙЗЕРА ТА АНАЛІЗ ЇЇ
ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПЕРЕВАГ**

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.

Синтез регуляторів є центральною задачею, що вирішується у теорії автоматичного керування. В широкому розумінні ця задача полягає у визначенні складу та структури системи автоматичного керування, а також параметрів всіх її складових частин, виходячи з деякого комплексу технічних вимог. Синтез автоматизованих електромеханічних систем в інженерній практиці виконується за допомогою методів, запозичених з теорії автоматичного керування.

Задача синтезу – визначення алгоритму керування, структурної схеми та параметрів системи на базі вимог до якості процесу керування. Таким чином, синтез передбачає створення системи керування, яка відповідає тим чи іншим вимогам, що висувуються до неї проектантом.

Синтез автоматизованих електромеханічних систем виконується різноманітними методами, що знаходять своє відображення у теорії автоматичного керування.

Найбільшого розповсюдження в інженерній практиці набули методи синтезу електромеханічних систем, що спираються на задані показники якості. Як правило, вони є графоаналітичними та умовно поділяються на частотні та кореневі.

Використана методологія синтезу систем автоматичного керування електромеханічними об'єктами відрізняється від модального керування, традиційного підпорядкованого регулювання координат або метода узагальненого характеристичного полінома повною відмовою від використання бажаних характеристичних поліномів.

Такий підхід дозволяє отримати бажані динамічні та статичні властивості системи виключно виходячи з бажаної перехідної функції, яка повинна бути наближеною до природного характеру протікання перехідних процесів (монотонного, аперіодичного або коливального). Якщо перехідна

функція дещо відхиляється від природного характеру, то це може викликати перерегулювання під час виходу на усталене значення.

Метод дискретного часового еквалайзера для синтезу електроприводів з двигунами змінного струму є актуальним, оскільки він дозволяє застосовувати сучасні програмні та апаратні засоби для синтезу автоматизованих електромеханічних систем без використання стандартних характеристичних поліномів з мінімізацією участі людини в обчислювальному процесі.

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 системи векторного керування асинхронним двигуном, синтезованої методом дискретного часового еквалайзера та аналіз її експлуатаційних переваг.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалися наступні задачі:

– огляд традиційних методів синтезу автоматизованих електромеханічних систем;

– аналіз сучасних підходів щодо синтезу автоматизованих електромеханічних систем;

– здійснено критичний аналіз традиційних та сучасних методів синтезу автоматизованих електромеханічних систем;

– проаналізовано особливості розв’язання зворотних задач динаміки у автоматизованих електромеханічних системах;

– представлено поняття дискретного часового еквалайзера;

– дослідження системи векторного керування асинхронним двигуном, синтезованої методом дискретного часового еквалайзера.

Об’єктом дослідження є процеси перетворення енергії в електромеханічних системах автоматизації.

Предметом є розвиток теорії синтезу систем керування електроприводами змінного струму.

Методи досліджень – методи математичного моделювання; чисельні методи обчислень, методи теорії автоматичного керування, методи математичної статистики, методи зворотних задач динаміки.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що:

1. Запропоновано новий підхід щодо отримання бажаних динамічних та статичних властивостей системи виключно виходячи з бажаної перехідної функції, яка повинна бути наближеною до природного характеру протікання перехідних процесів (монотонного, аперіодичного або коливального).

2. Запропоновано методику здійснення синтезу систем векторного керування асинхронним двигуном методом дискретного часового еквалайзера, розроблено відповідну методику.

Практичне значення отриманих результатів:

Розширення експлуатаційних можливостей систем керування швидкістю двигуна змінного струму за рахунок використання новітніх регуляторів – дискретних часових еквалайзерів.

Особистий внесок здобувача полягає у дослідженні системи векторного керування асинхронним двигуном, синтезованої методом дискретного часового еквалайзера та здійсненні аналізу її експлуатаційних переваг.

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 116 сторінок (102 сторінки основної частини), 30 рисунків, 22 таблиці. Список використаних джерел містить 41 найменування.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

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

У **першому розділі** здійснено критичний аналіз методів синтезу автоматизованих електромеханічних систем.

Задача синтезу – визначення алгоритму керування, структурної схеми та параметрів системи на базі вимог до якості процесу керування. Таким чином, синтез передбачає створення системи керування, яка відповідає тим чи іншим вимогам, що висуваються до неї проектантом.

Синтез автоматизованих електромеханічних систем виконується різноманітними методами, що знаходять своє відображення у теорії автоматичного керування.

Найбільшого розповсюдження в інженерній практиці набули методи синтезу електромеханічних систем, що спираються на задані показники якості. Як правило, вони є графоаналітичними та умовно поділяються на частотні та кореневі.

При синтезі регуляторів розробники вирішують зазвичай дві задачі. Перша задача полягає в забезпеченні необхідних динамічних показників якості проектованої системи. Друге задача полягає в досягненні необхідної точності цієї системи.

Перша задача є складним інженерним завданням, оскільки збільшення швидкодії системи призводить до підвищення коливального характеру перехідних процесів. Це в свою чергу веде до використання більш дорогої елементної бази, що дозволяє протікати в САУ сигналам з великими значеннями амплітуд. Використання згладжувальних фільтрів, що усувають сплески сигналів, призводить до зменшення швидкодії і, відповідно, до підвищення тривалості перехідного процесу, а також до ускладнення системи. Тому розробники САК намагаються знайти оптимальне

співвідношення між швидкодією і коливальним характером процесів, що протікають, перебуваючи при цьому в рамках технічного завдання.

Друга задача в порівнянні з першою є більш простою. Оскільки забезпечення необхідної точності може досягатися за рахунок зміни коефіцієнта передачі розімкнутого контуру або за рахунок збільшення порядку астатизму, або за рахунок введення в алгоритм керування компенсуючих зв'язків з задавальним або збурювальним впливом.

За способом реалізації виділяють два види регуляторів САУ: аналогові і цифрові.

Аналогові регулятори реалізуються на основі операційних підсилювачів. В основному такого виду регулятори проектуються на базі частотних методів синтезу.

Цифрові регулятори будуються на основі мікропроцесорної техніки. У більшості випадків такі регулятори синтезуються на основі методу модального управління, хоча в деяких випадках можуть використовуватися частотні методи синтезу.

У **другому розділі** досліджуються зворотні задачі динаміки та принцип симетрії у автоматизованих електромеханічних системах.

В результаті розв'язання зворотних задач динаміки визначаються сили, під дією яких система рухається за заданою траєкторією. Якщо вважати рушійні сили керуючими, то в математичному сенсі розв'язання зворотних задач динаміки являє собою синтез алгоритму керування, що забезпечує потрібні динамічні показники системи.

Основною ідеєю, що лежить в основі перетворення структурних схем, є симетрія, як один із засадничих принципів методології наукового пізнання. Принцип симетрії властивий матерії у всіх її проявах та використовується для виконання досліджень у різноманітних областях знань.

Розв'язання зворотних задач динаміки з використанням принципу симетрії структурних схем може бути основою для виконання синтезу систем автоматичного керування технічними об'єктами.

Проблема синтезу систем автоматичного керування з необхідними динамічними властивостями пов'язана з концепцією зворотних задач динаміки, у результаті розв'язання котрих за заданим законом руху системи визначаються керуючі впливи, під дією яких цей рух здійснюється. У найбільш широкому розумінні зміст зворотних задач динаміки включає визначення законів керування рухом динамічних систем за умови відтворення бажаних траєкторій.

Визначення законів керування рухом динамічних систем складає зміст структурно-алгоритмічного синтезу. З іншої сторони, визначення параметрів динамічної системи є задачею параметричного синтезу, коли структура системи керування припускається відомою априорі. Обидві ці задачі складають основу теорії автоматичного керування.

У **третьому розділі** наводиться поняття дискретного часового еквалайзера.

При синтезі регулятора, названого дискретним часовим еквалайзером, жодним чином не використовується теорія стандартних характеристичних поліномів (на відміну від більшості методів синтезу). Основні засадничі принципи, що дозволяють виконувати синтез автоматизованих електромеханічних систем без використання теорії стандартних поліномів:

1. Об'єкт керування слід привести до однієї передатної функції або, якщо це можливо, структурно представити у вигляді однієї зі стандартних форм (якнайкраще для цього підходить перша канонічна форма керованості).

2. Потрібно виконати зворотне перетворення від об'єкта керування. Результатом перетворення може бути передатна функція або структурна схема оберненої (дзеркальної) моделі. При наявності у складі об'єкта інтеграторів, не потрібно виконувати їх компенсацію.

3. Для практичної реалізації принципу симетрії структурних схем до прямої гілки замкненої системи слід ввести блок модифікації зворотного перетворення, який являє собою інтегруючу ланку. При цьому замкнена система, що складається із об'єкта керування, дзеркальної моделі та блока модифікації буде мати певну реальну та передбачувану динаміку.

4. Виходячи із переваг дискретних регуляторів, бажану динаміку автоматизованої електромеханічної системи потрібно задати у вигляді квантованої перехідної функції.

5. Необхідно синтезувати дискретний регулятор, що забезпечить технічну реалізацію квантованої бажаної перехідної функції.

Під час синтезу за допомогою традиційних підходів (з використанням стандартних характеристичних поліномів) проєктант не має можливості формувати потрібну перехідну функцію на всьому часовому діапазоні її існування або на деякій ділянці. Він може обирати лише стандартні форми перехідних функцій. Поставимо задачу уніфікації вибору бажаних перехідних функцій, що можуть реалізовуватись за допомогою дискретних регуляторів певної структури.

У **четвертому розділі** виконується дослідження системи векторного керування асинхронним двигуном, синтезованої методом дискретного часового еквалайзера.

Система векторного керування електроприводом змінного струму потребує наявності наступних складових:

- системи стабілізації поточозчеплення (ССП) для керування струмом I_{su} та поточозчепленням Ψ_o (у залежності від того, за яким з векторів поточозчеплень орієнтовано двофазну ортогональну систему координат, це може бути або поточозчеплення ротора, або статора);

- системи керування швидкістю (СКШ) для керування струмом I_{sv} та швидкістю ω .

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

Дискретний часовий еквалайзер має перспективи для апаратної реалізації у вигляді окремого пристрою, який забезпечує можливість для виконання діагностики та комфортного діалогу з користувачем і реалізує весь необхідний набір функцій.

Використана методологія синтезу систем автоматичного керування електромеханічними об'єктами відрізняється від модального керування, традиційного підпорядкованого регулювання координат або метода узагальненого характеристичного полінома повною відмовою від використання бажаних характеристичних поліномів. Такий підхід дозволяє отримати бажані динамічні та статичні властивості системи виключно виходячи з бажаної перехідної функції, яка повинна бути наближеною до природного характеру протікання перехідних процесів (монотонного, аперіодичного або коливального). Якщо перехідна функція дещо відхиляється від природного характеру, то це може викликати перерегулювання під час виходу на усталене значення.

Позитивною рисою систем керування електроприводами, синтезованих на базі дискретного часового еквалайзера, є необхідність вимірювання лише основної вихідної координати.

При застосуванні блока модифікації зворотного перетворення у вигляді інтегруючої ланки система з дискретним часовим еквалайзером стає астатичною, а для здійснення впливу на пропорційну складову системи з метою підвищення динамічної точності і зниження чутливості до параметричних та координатних збурень доцільним є використання комбінованого керування на базі двох дискретних часових еквалайзерів – основного та компенсуючого.

АНОТАЦІЯ

Пассажиrow М.Р. Дослідження системи векторного керування асинхронним двигуном, синтезованої методом дискретного часового еквалайзера та аналіз її експлуатаційних переваг.

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 116 сторінок (102 сторінок основної частини), 30 рисунків, 22 таблиці. Список використаних джерел містить 41 найменування.

Метою роботи є дослідження системи векторного керування асинхронним двигуном, синтезованої методом дискретного часового еквалайзера та аналіз її експлуатаційних переваг

Основні наукові результати магістерської роботи:

1. Розглянутий метод синтезу систем автоматичного керування електроприводами змінного струму, який відрізняється повною відмовою від використання бажаних характеристичних поліномів.

2. Запропоновано новий підхід щодо отримання бажаних динамічних та статичних властивостей системи виключно виходячи з бажаної перехідної функції, яка повинна бути наближеною до природного характеру протікання перехідних процесів.

3. Підтверджено, що при застосуванні блока модифікації зворотного перетворення у вигляді інтегруючої ланки система з дискретним часовим еквалайзером стає астатичною, а при здійсненні впливу на пропорційну складову системи з метою підвищення динамічної точності і зниження чутливості до параметричних та координатних збурень.

Ключові слова: ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА, КОНЦЕПЦІЯ ЗВОРОТНИХ ЗАДАЧ ДИНАМІКИ, ДИСКРЕТНИЙ ЧАСОВИЙ ЕКВАЛАЙЗЕР

ANNOTATION

Passazhyrov M.R. Investigation of an induction motor vector control system synthesized by the discrete time equalizer method and analysis of its operational advantages.

Master's work in specialty 141 – "Power engineering, 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 thesis consists of 116 pages (102 pages of the main part), 30 figures, 22 tables. The list of sources used contains 41 items.

The purpose of this work is to study the vector control system of an induction motor, synthesized by the method of discrete time equalizer and to analyze its operational advantages.

The main scientific results of the master's work:

1. The method of automatic control systems synthesis of electric drives of alternating current is considered, which differs completely from the use of the desired characteristic polynomials.

2. A new approach is proposed to obtain the desired dynamic and static properties of the system solely on the basis of the desired transition function, which should be approximate to the natural nature of the transients.

3. It is confirmed that when applying the block conversion modification in the form of an integrating unit, the system with a discrete time equalizer becomes astatic, and when exercising the effect on the proportional component of the system in order to increase the dynamic accuracy and reduce the sensitivity to parametric and coordinate perturbations.

Keywords: ELECTROMECHANICAL SYSTEM, CONCEPT OF REAL DYNAMIC PROBLEMS, DISCRETE TIME EQUALIZER

Пассажи́ров Макси́м Рома́нович

**ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ВЕКТОРНОГО КЕРУВАННЯ
АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ, СИНТЕЗОВАНОЇ МЕТОДОМ
ДИСКРЕТНОГО ЧАСОВОГО ЕКВАЛАЙЗЕРА ТА АНАЛІЗ ЇЇ
ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПЕРЕВАГ**

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