

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА АКАДЕМІЯ
ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИЗАЦІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ ТА
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ**

УДК 62-83: 681.5.01

Ізмайлов Михайло Михайлович

**АНАЛІЗ ТА СИНТЕЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ
ДВОМАСОВИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ НА ОСНОВІ ЕТАЛОННИХ
ПОЛІНОМІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ**

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

кандидат технічних наук, доцент
Задорожня Інна Миколаївна
Донбаська державна машинобудівна академія, доцент кафедри електро-
механічних систем 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. Сучасні вимоги щодо якості готової продукції та зменшення затрат на її виготовлення висувають нові задачі при проектуванні систем керування технологічними процесами. Значним резервом стосовно задоволення цих вимог в машинобудівних та металургійних технологічних процесах є синтез оптимальних ЕМС, які забезпечують необхідні характеристики технологічного обладнання.

Аналіз та синтез САК є ключовим завданням, що вирішується при проектуванні нових систем ЕП, що, головним чином, полягає у визначенні як складу та структури САК, так і параметрів всіх її складових елементів згідно комплексу вимог, що пред'являються технологією. При цьому необхідно особливу увагу приділяти саме синтезу систем керування двомасовими ЕП як ЕМС, тобто сукупності механічних і електротехнічних пристроїв, об'єднаних спільними силовими електричними ланцюгами, ланцюгами керування, призначеними для здійснення механічного руху об'єкта) з урахуванням пружних механічних зв'язків.

Існуючі методи синтезу ЕМС, використовувані в інженерній практиці, реалізуються за допомогою класичних методів, що засновані на різних критеріях оптимізації, які, проте, не враховують ефект електромеханічної взаємодії, тому дослідження САК двомасовим ЕП на основі еталонних поліномів електро-механічної взаємодії зумовило актуальність і визначило напрям досліджень магістерської роботи.

Зв'язок роботи з планами і темами кафедри. Робота була виконана на кафедрі електромеханічних систем автоматизації Донбаської державної машинобудівної академії відповідно до тематичного плану держбюджетної науково-дослідної роботи ДР № 0117U007402 «Розробка та дослідження електронних та електромеханічних систем перетворення електричної енергії з використанням

сучасних цифрових засобів автоматизації» згідно з напрямком наукової роботи кафедри.

Мета і завдання роботи. Метою кваліфікаційної магістерської роботи є дослідження методик синтезу САК двомасовим ЕП на основі еталонних поліномів електромеханічної взаємодії, що реалізується розв'язанням наступних задач:

- виявлення особливостей сучасного ЕП як об'єкту керування;
- аналіз систем ЕП типових технологічних машин, їх режимів роботи, особливостей функціонування та вимоги, що пред'являють до ЕП;
- дослідження динаміки та особливостей протікання перехідних процесів в ЕМС технологічних машин;
- розгляд існуючих підходів до побудови оптимальних САК та методів синтезу САК двомасовими ЕП технологічних машин;
- розрахунок систем автоматичного керування двомасовим ЕП технологічних машин на основі класичних методик та з використанням еталонних поліномів електромеханічної взаємодії;
- дослідження особливості використання класичних методик та еталонних поліномів електромеханічної взаємодії для синтезу САК двомасовими ЕП на математичних моделях;
- визначення аналітичних параметрів та їх співвідношень для САК керування двомасовими ЕП, що забезпечать оптимальні перехідні процеси на основі еталонних поліномів електромеханічної взаємодії;
- оцінка перехідних процесів та якісних показників оптимальних систем автоматичного керування двомасовим ЕП;
- розробка рекомендацій щодо синтезу оптимальних регуляторів САК;
- техніко-економічне обґрунтування досліджень і оцінка їх економічної ефективності;
- розробка заходів з охорони праці та безпеки при надзвичайних ситуаціях.

Об'єкт дослідження – системи автоматичного керування двомасовими ЕП.

Предмет дослідження – перехідні процеси та їх показники якості в ЕМС двомасових ЕП для класичних методик синтезу САК та на основі еталонних поліномів електромеханічної взаємодії.

Методи досліджень. В роботі використано загальні положення та методи теорії автоматичного керування, теорії електроприводу, лінійної алгебри, числові методи розв’язання диференційних рівнянь для розрахунків та дослідження САК двомасових ЕП, методи чисельного моделювання зі складу програмного середовища сучасних пакетів прикладних програм використано для розрахунку та досліджень перехідних процесів.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що запропоновано використання методики синтезу САК на основі еталонних поліномів електромеханічної взаємодії для двомасових ЕП, що дозволить для широкого класу ЕП технологічних машин реалізувати процеси мінімальної коливальності та заданої швидкодії з граничним ступенем демпфування коливань.

Практична цінність роботи полягає в тому, що запропонований метод синтезу регуляторів САК двомасовими ЕП на основі еталонних поліномів електромеханічної взаємодії дозволить покращити показники динаміки ЕМС технологічних об’єктів, забезпечити необхідне обмеження проміжних координат і формування високих показників динамічних характеристик, що загалом сприяє суттєвому покращенню техніко-економічних показників функціонування ЕП технологічних машин, може бути рекомендований до використання в інженерній практиці як при створенні нових, так і модернізації існуючих систем керування технологічними об’єктами.

Наукова апробація роботи. Результати досліджень доповідалися на наукових конференціях регіонального та міжнародного рівня: Міжнародній науковій інтернет-конференції «Інформаційне суспільство: Технологічні, економічні та технічні аспекти становлення» (13 листопада 2018 р., м. Тернопіль), Міжнародній молодіжній науково-технічній конференції «Молода наука – роботизація і нанотехнології сучасного машинобудування» (9-10 квітня 2019 р., м. Краматорськ), XL науково-технічній конференції науково-педагогічних

працівників, докторантів, аспірантів, магістрантів і студентів (16-20 квітня 2018 р., м. Краматорськ), ХІІ науково-технічна конференція науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів, магістрантів і студентів (16-20 квітня 2019 р., м. Краматорськ), Х Міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційно-комп'ютерні технології – 2019» (18–20 квітня 2019 р., м. Житомир), ІІ Всеукраїнській науково-технічній конференції «Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення» (14-15 листопада 2019 р., м. Житомир).

Особистий вклад здобувача. Виконано розрахунок та оцінку перехідних процесів в САК двомасовим ЕП технологічних машин на основі класичних методик та з використанням еталонних поліномів електромеханічної взаємодії, визначено оптимальні закони регулювання та виконано синтез регуляторів САК двомасових ЕП на основі еталонних поліномів електромеханічної взаємодії, сформульовано рекомендації щодо синтезу САК ЕП технологічних машин.

Публікації. Матеріали магістерської роботи опубліковано в чотирьох тезах доповідей регіональних та міжнародних науково-технічних конференцій.

Структура та обсяг магістерської роботи. Магістерська кваліфікаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, загальних висновків, переліку використаних літературних джерел та додатків.

Обсяг загальної частини магістерської роботи становить 141 сторінку, в тому числі 17 таблиць по тексту, з яких 3 на 4 сторінках, 28 рисунків по тексту, також робота містить перелік посилань на використані літературні джерела зі 126 найменувань на 14 сторінках та 2 додатки на 9 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовані актуальність і доцільність магістерської роботи, показаний зв'язок з науковими програмами, темами, сформульовано мету і задачі наукового дослідження. Відзначений особистий внесок здобувача, викладено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено відомості про їх апробацію, публікацію та впровадження.

В першому розділі проведено аналіз стану та перспектив розвитку електроприводу, проаналізовано основні режими роботи, особливості функціонування та загальні вимоги до електроприводів сучасних промислових машин, розглянуто електропривод, як об'єкт керування та з'ясовано, що для електроприводів промислових машин актуальною залишається задача забезпечення оптимальних динамічних характеристик безпосередньо в перехідних режимах, а синергетичний підхід при синтезі систем керування цими електроприводами зумовлює значне розширення завдань, яка на локальному рівні, так і на рівні функціонування всього технологічного комплексу, спрямованих на підвищення його працездатності і живучості, що, зокрема визначило мету та задачі дослідження магістерської роботи.

В другому розділі проведено аналіз та синтез систем автоматичного керування двомасовим електроприводом, зокрема, проаналізовано типові системи керування двомасовим електроприводом технологічних машин, їх структурні схеми та методи синтезу, що дозволяють отримати оптимальні перехідні процеси, представлено обґрунтування вибору критеріїв оптимізації електромеханічних систем та методів оцінки якості процесів керування, в тому числі, за умов електромеханічної взаємодії.

В третьому розділі реалізовано синтез систем автоматичного керування двомасовим електроприводом та їх оптимізація на основі еталонних поліномів електромеханічної взаємодії, а саме, представлено загальні підходи до синтезу електромеханічних систем методом стандартних форм характеристичних

поліномів, чисельним методом здійснено пошук параметрів системи автоматичного керування двомасового електроприводу та їх співвідношень, що забезпечують оптимальні перехідні процеси, представлено аналіз властивостей системи керування двомасовим електроприводом при синтезі параметрів на основі еталонних поліномів електромеханічної взаємодії, надано практичні рекомендації з їх налаштування, акцентовано увагу на тому, що пружна двомасова електромеханічна система може бути описана характеристичним поліномом, коефіцієнти якого для реалізації «інерційного» демпфірування повинні обов'язково враховувати варіацію параметрів механічної частини.

В четвертому розділі виконано техніко-економічне обґрунтування досліджень і оцінена їх економічна ефективність, що підтвердило конкурентоспроможність проекту, середній рівень наукової новизни, високий рівень практичної значущості проекту та великий рівень вкладу магістра у наукові дослідження по магістерському проекту.

В п'ятому розділі проаналізовано небезпечні і шкідливі виробничі фактори, розроблено заходи щодо забезпечення безпечних і комфортних умов праці на робочих місцях, оцінено ефективність заходів з охорони праці.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній магістерській роботі на основі виконаних досліджень розглянута та розв'язана актуальна науково-практична задача аналізу та синтезу систем автоматичного керування двомасовим електроприводом на основі еталонних поліномів електромеханічної взаємодії.

Основні результати, що отримані в магістерській роботі внаслідок дослідження, наступні:

- здійснено аналіз стану та перспектив розвитку ЕП;
- розглянуті особливості сучасного ЕП як об'єкту керування з аналізом його типових режимів роботи, особливостей функціонування та загальні вимоги, що пред'являються до ЕП технологічних машин;
- виконано дослідження динаміки та визначено основні чинники, що істотно впливають на особливості протікання перехідних процесів в ЕМС технологічних машин;
- розглянуто існуючі підходи до побудови оптимальних САК та методи синтезу САК двомасовими ЕП технологічних машин;
- виконано обґрунтування вибору критеріїв оптимізації ЕМС та методів оцінки якості процесів керування, в тому числі і за умов електромеханічної взаємодії процесів в ЕМС;
- з використанням узагальнених структурних схем САК двомасовим ЕП технологічних машин здійснено розрахунок їх параметрів на основі методу стандартних форм ХП та з використанням еталонних поліномів електро-механічної взаємодії;
- в результаті досліджень доведено, що метод синтезу САК на основі стандартних форм ХП повною мірою вказує на фізичний зміст процесів електромеханічної взаємодії, оскільки бажаний розподіл коренів залежить від інерційного зв'язку, регламентованого коефіцієнтом розподілу інерційних мас γ ;

– визначено аналітичні параметрів та їх співвідношень для САК двомасовими ЕП, що забезпечать оптимальні перехідні процеси на основі еталонних поліномів електромеханічної взаємодії;

– дослідження ми доведено, що при вирішенні задач синтезу САК ЕП з демпфуванням пружних механічних коливань величину середньгеометричного кореня Ω_0 не можна обирати довільно, а тільки в залежності від коефіцієнтів відповідної стандартної форми і частоти пружних коливань;

– визначено, що для кожного стандартного ХП, що визначається коефіцієнтами A_i , існує строго певне значення γ , при цьому для досягнення мінімальної коливальності та заданої швидкодії ЕП необхідно варіювати параметри механічної частини ЕМС – частоту вільних коливань Ω_{12} та γ ;

– досліджено особливості використання класичних методик та еталонних поліномів електромеханічної взаємодії для синтезу САК двомасовими ЕП на математичних моделях;

– визначено, що не тільки значення параметрів ЕМС забезпечують бажаний характер перехідних процесів, але важливі також і співвідношення між ними, при цьому ЕЧ та МЧ повної ЕМС знаходяться у взаємозв'язку;

– встановлено, що при синтезі САК методом стандартних ХП в ЕМС областю значень коефіцієнтів співвідношення інерційних мас $2 < \gamma < 5$ значно ефективніше реалізувати розподіл коренів для випадку електромеханічної взаємодії;

– практика проектування САК ЕП технологічних машин із застосуванням методу стандартних форм ХП свідчить, що отримані в результаті синтезу параметри не завжди можуть бути фізично реалізовані, при цьому розрахунок вимагає варіації одночасно всіх коефіцієнтів ЕМС, проте реалізація процесів в ЕМС з граничним ступнем демпфування пружних механічних коливань можлива для систем модального керування;

– результати магістерської роботи можуть бути корисні при проектуванні оптимальних САК двомасовими ЕП технологічних машин з покращеними показниками динаміки ЕМС;

– виконано техніко-економічне обґрунтування досліджень і здійснено оцінку їх економічної ефективності, а саме, визначено оцінку конкурентоспроможності проекту та підтверджено його конкурентоспроможність, середній рівень наукової новизни, високий рівень практичної значущості проекту та великий рівень вкладу магістра у наукові дослідження по магістерському проекту;

– в рамках розділу з охорони праці та безпеки при надзвичайних ситуаціях проаналізовано небезпечні і шкідливі виробничі фактори, розроблено заходи щодо забезпечення безпечних і комфортних умов праці на робочих місцях, оцінено ефективність заходів з охорони праці.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

1. Особливості синтезу параметрів систем автоматичного керування електроприводами технологічних машин за умов астатичності / І.М. Задорожня, М. М. Ізмайлов, В. А. Сіротюк, О.С. Шелудяков // Міжнародна наукова інтернет-конференція «Інформаційне суспільство: Технологічні, економічні та технічні аспекти становлення (випуск 33)» / Збірник тез доповідей: випуск 33. – Частина 1. – Тернопіль. – 2018. – С. 28–30.

2. Аспекти оптимізації електромеханічного перетворення енергії в електроприводах технологічних машин з урахуванням пружних зв'язків / Ізмайлов М.М., Сіротюк В. А., Тунгасова К.В., Задорожній М.О. // Молода наука – роботизація і нано-технології сучасного машинобудування: збірник наукових праць Міжнародної молодіжної науково-технічної конференції / за заг. ред. С. В. Ковалевського, д-ра техн. наук., проф. – Краматорськ : ДДМА, 2019. – С. 100-102.

3. Використання технології модульного програмування при проектуванні систем керування електроприводами / М. М. Ізмайлов, В. А. Сіротюк, М. В. Рібоженко, Є. С. Волошин, І. М. Задорожня // Тези доповідей X Міжнародної науково-технічної конференції «Інформаційно-комп'ютерні технології – 2019» (18–20 квітня 2019 р.). – Житомир: ЖДТУ, 2019. – С. 124-125.

4. Шляхи оптимізації параметрів систем автоматичного керування електроприводами важких машин на основі ефекту резонансної електромеханічної взаємодії / М. М. Ізмайлов, В. А. Сіротюк, М. В. Рібоженко, Б. І. Держановський, І. М. Задорожня // Тези доповідей II Всеукраїнської науково-технічної конференції «Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення», м. Житомир, 14 – 15 листопада 2019 р. – Житомир: Житомирська політехніка, 2019. – С. 119-120.

АНОТАЦІЯ

Ізмайлов М.М. Аналіз та синтез систем автоматичного керування двомасовим електроприводом на основі еталонних поліномів електромеханічної взаємодії.

Магістерська робота зі спеціальності: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ, 2019.

Концепція синергетичного керування є одним із прикладів інтеграції, що базується на гармонійному поєднанні сформованих методів проектування як складних об'єктів. Для електроприводів промислових машин та їх допоміжних механізмів актуальною є задача забезпечення оптимальних динамічних характеристик безпосередньо в перехідних режимах, при цьому електропривод розглядається як цілісна активна система, в якій повинно забезпечуватися керування не тільки деякими вихідними – технологічними змінними, характерне для традиційних систем, а й іншими, які визначають загальний стан складного об'єкта і його характеристики.

Синергетичний підхід при синтезі систем автоматичного керування електроприводами зумовлює значне розширення завдань, що вирішуються системою керування, яка на локальному рівні, так і на рівні функціонування всього технологічного комплексу, спрямованих на підвищення його працездатності і живучості.

Широкі можливості і перспективи для вирішення проблеми забезпечення необхідних динамічних якостей електроприводу відкриваються при використанні сучасних швидкодіючих ЕП, оскільки в деяких випадках завдяки раціональному вибору параметрів незмінної частини системи і регуляторів або організації додаткових керуючих впливів вдається практично без додаткових економічних витрат забезпечити бажану якість регулювання координат електромеханічних систем, наприклад, у контексті проблеми зменшення негативного впливу пружних зв'язків.

В роботі були запропоновані та в результаті досліджень були визначені параметри системи автоматичного керування двомасовим електроприводом та їх співвідношення, які згідно методики синтезу на основі стандартних форм характеристичних поліномів за умови електромеханічної взаємодії забезпечать оптимальний перехідний процес з бажаним розподілом коренів, відповідною швидкодією та максимальним демпфуванням.

Ключові слова: електропривод, електромеханічна система, аналіз, синтез, система автоматичного керування, показники якості, електромеханічна взаємодія, поліном.

ABSTRACT

Izmaylov M.M. **Analysis and synthesis of automatic control systems for dual mass actuator based on reference polynomials of electromechanical interaction.**

Master's thesis on the specialty 141 «Electric power, electrical engineering and electromechanical» Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk, 2019.

The concept of synergetic management is one example of integration based on a harmonious combination of prevailing methods for designing complex objects.

For electric drives of industrial machines and their auxiliary mechanisms, the task of ensuring optimal dynamic characteristics directly in transient conditions is relevant, while the electric drive is considered as an integral active system in which not only some initial variables must be controlled - technological variables that are characteristic of traditional systems, but also others, which determine the general condition of a complex object and its characteristics.

The synergetic approach to the synthesis of automatic control systems of two-mass electric drives leads to a significant expansion of the tasks solved by the control system, which is at the local level and at the level of functioning of the entire complex, aimed at increasing its performance and survivability.

Broad opportunities and prospects for solving the problem of ensuring the necessary dynamic qualities of the electric drive are opened using modern high-speed electric drives, because in some cases, due to the rational choice of the parameters of the invariable part of the system and the regulators or the organization of additional control actions, it is possible to provide the desired quality of coordinate control of electromechanical systems with virtually no additional economic costs by reducing negatively about the influence of the elastic ties.

As a result of the research, the parameters of the electromechanical system and their relationships were determined, which, according to the synthesis procedure based on standard forms of characteristic polynomials in electromechanical interaction, will provide an optimal transient process with the desired root distribution, the desired speed and maximum damping.

Keywords: dual mass actuator, electromechanical system, analysis, synthesis, automatic control systems, quality indicators, electromechanical interaction, polynomial

Підп. до друку

Формат 60×90/16

Офсетний друк

Умов. друк. арк. – 0,6

Тираж ___ прим.

Замовлення №

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