

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Національного університету
кораблебудування
імені адмірала Макарова,
доктору технічних наук, доценту
Павлу МИХАЛІЧЕНКУ

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу Савченка Олега Валерійовича

«Синтез електроприводів з притаманними нелінійностями»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
галузі знань 14 – Електрична інженерія

Актуальність дослідження. Реальні електромеханічні системи переважно містять нелінійні ланки, параметри яких дозволяють врахувати наявність насичення, люфтів, сухого тертя, релейних перемикачів та інше. Їх синтез без урахування нелінійностей у більшості випадків дає хибні результати. Методи, використовувані при синтезі нелінійних систем, є складними для застосування в інженерних розрахунках та зазвичай застосовні лише у системах низького порядку. Натомість, в інженерній практиці розповсюджені методи параметричного синтезу із використанням гармонійної лінеаризації. Вони уможливають звичайний перебір параметрів для широкого кола задач при врахуванні бажаної точності та якості перехідних процесів. Таким чином, виникає потреба у створенні методів спрощеного синтезу нелінійної електромеханічної системи. Оскільки зазвичай елементи електромеханічної системи мають інерцію та запізнення, то замкнені нелінійні системи керування є схильними до коливань, які не загасають або повільно загасають у часі. Це робить актуальною задачу розрахунку нелінійної системи у плані оцінювання

впливу та визначення припустимої величини самих нелінійностей або визначення загальної точності системи і відпрацювання параметрів перехідного процесу за наявних нелінійностей. Тобто, синтез таких систем передбачає визначення параметрів, які забезпечують виконання існуючих вимог з урахуванням впливу нелінійних ланок. При цьому, у багатьох випадках наявність нелінійностей в окремих ланках системи дозволяє додатково покращити динамічні властивості системи. Таким чином, тема досліджень, розвинута у дисертаційній роботі, є актуальною, а результати розв'язання поставленої наукової задачі мають перспективи використання у промисловості.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею. Її основний зміст викладений на 154 сторінках друкованого тексту та містить вступ, п'ять розділів і висновки.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету й основні завдання дослідження, викладено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, а також наведено загальну характеристику дисертації.

Перший розділ містить результати аналізу видів нелінійностей у системах електропривода. Виявлено основні проблеми застосування нелінійної динамічної корекції у системах електропривода. Проведено аналіз схем електроприводів з лінеаризацією нелінійностей з оцінюванням наслідків нехтування ними. За результатами сформовано мету та поставлено задачі дослідження.

В *другому розділі* здійснено порівняльний аналіз лінійних та нелінійних систем керування, визначено вплив нелінійностей ланок на динамічні властивості електроприводів, досліджено стійкість системи керування. Було розглянуто нелінійні системи керування електроприводом машини постійного струму незалежного збудження третього і четвертого порядків, в яких, за рахунок введення нелінійних елементів до каналу зворотного зв'язку у процесі регулювання, забезпечується підвищення швидкодії при великих відхиленнях та усунення перерегулювання при досягненні встановленого режиму. Розглянуте врахування зони нечутливості схеми формування нелінійного

зворотного зв'язку, а також досліджено поведінку системи зі змінним демпфуванням у прямому колі. Досліджено системи зі змінним коефіцієнтом передачі для збільшення точності за допомогою коефіцієнта посилення системи. Визначено основні особливості розрахунку автоматичних систем, для яких здійснено корекцію динамічних параметрів ланок зі змінною інерційністю, а також наведено необхідні розрахункові формули. Обґрунтовано структуру математичної моделі електропривода з нелінійними перемикаючими сигналами.

У *третьому розділі* проведені дослідження компенсації нелінійностей електропривода за рахунок введення коригувальних сигналів до кола похибки системи. Здійснено порівняльні розрахунки від ефектів такої компенсації з використанням гальмівної і ковзної муфти. Проведено аналіз математичної моделі корекції інерційності двигуна муфтами та доведено ефективність застосування корекції перемикаючими сигналами.

У *четвертому розділі* здійснено синтез електропривода з сухим тертям шляхом впровадження та дослідження методів його компенсації, що забезпечило підвищення плавності руху, точності позиціонування та стійкості системи керування.

У *п'ятому розділі* наведено результати експериментальних досліджень електропривода з нелінійними характеристиками. Здійснено синтез та подальші дослідження системи автоматичного керування електроприводом з нелінійними коригувальними пристроями на основі динамічних перемикаючих сигналів, направлений на покращення показників якості регулювання, зменшення впливу нелінійностей об'єкта керування та підвищення ефективності функціонування системи в перехідних та усталених режимах.

У *висновках* по роботі узагальнено основні отримані наукові та практичні результати. Висновки пов'язані із матеріалами роботи та висновками за окремими розділами.

Текст дисертаційної роботи викладено послідовно, стиль викладення – доказовий. Оформлення дисертації відповідає діючим стандартам та чинним вимогам.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в обґрунтуванні структури системи автоматичного керування електроприводом з нелінійним коригуючим елементом у колі зворотного зв'язку, характеристика якого визначається математичними моделями гальмівних та ковзних муфт, що дозволило зменшити перерегулювання і підвищити швидкодію системи керування електроприводом; визначенні області стійкості та залежності між загасанням та частотою коливань перехідної характеристики від співвідношення коефіцієнтів для нелінійної системи керування, що дозволяє здійснювати практичні налаштування параметрів нелінійного регулятора для забезпечення стійкої роботи системи електропривода.

Практичне значення результатів дослідження. Основними практичними результатами дисертаційної роботи є розробка структури випробувального стенду для проведення фізичних експериментів з метою підтвердження адекватності теоретичних положень проведеного дослідження; розроблення методики синтезу систем електроприводів; розроблення пакету розрахункових програм у середовищі Matlab для параметричного синтезу електроприводів з нелінійностями; підготовка численних об'єктів авторського права у розрізі тематики досліджень.

Методи досліджень, використані в дисертаційній роботі: параметричний синтез систем керування, методи гармонійної лінеаризації, графо-аналітичні методи, методи структурного синтезу систем керування, методи експериментальних досліджень.

Наукова обґрунтованість результатів досліджень та відповідність темі дисертації. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечується коректним застосуванням відомих методів досліджень, збігом теоретичних положень з результатами експериментальних досліджень.

Наукова обґрунтованість представлених результатів визначається наступним:

- визначено наявність та вид аналітичної залежності між математичними моделями, що описують гальмівні та ковзні муфти у компенсації інерційності двигуна з її корекцією шляхом перемикавання сигналів у колі зворотного зв'язку;
- обґрунтовано закономірності між коефіцієнтами передачі розімкнутої системи керування та межею виникнення автоколивань у нелінійних електроприводах;
- знайдені залежності між декрементом загасання та частотою коливань у перехідній характеристиці нелінійних електроприводів від співвідношення динамічних коефіцієнтів елементів їх силової частини;
- визначено аналітичну залежність між корекцією перемиканням сигналів та показниками якості керування нелінійних електроприводів.

Результати роботи не суперечать фундаментальним фізичним і математичним закономірностям, та усталеним уявленням щодо досліджуваного класу об'єктів. Результати досліджень у формі узагальнюючих положень, висновків і рекомендацій є логічними та науково обґрунтованими, пройшли належну апробацію на науково-технічних конференціях і наукових семінарах та відповідають темі дисертації.

Повнота викладення основних результатів дослідження в наукових працях. Основні результати дослідження повною мірою викладені у 120 друкованих працях, серед яких 6 статей у фахових виданнях, 10 статей у закордонних виданнях, 16 публікацій у збірниках праць міжнародних і всеукраїнських конференцій, 12 патентів на корисну модель, а також 33 статті у закордонних виданнях і 40 публікацій у збірниках праць міжнародних і всеукраїнських конференцій, які додатково підтверджують наукові результати, отримані в дисертації.

Рівень виконання поставленого наукового завдання та оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності. Сформоване наукове завдання виконане в повному обсязі відповідно до мети та задач дисертаційної роботи на достатньо високому рівні, що підтверджується публікацією наукових положень дисертації у зазначених у тексті дисертації рецензованих і авторитетних фахових виданнях. Здобувач, з огляду на рівень матеріалів,

наведених у дисертації та досвід особистого професійного спілкування, достатньою мірою оволодів методологією наукових досліджень у цілому та її особливостями, характерними для електричної інженерії, здатний самостійно формулювати наукові завдання, формувати і реалізовувати оригінальні ідеї щодо нових підходів щодо їх вирішення, що доведено на прикладі фізичних моделей, використаних у роботі. Вважаю, що у здобувача сформовано необхідні компетентності для проведення самостійних наукових досліджень.

Дискусійні положення та зауваження щодо дисертації.

1. При аналізі отриманих результатів доцільно було б приділити більше уваги їх порівнянню з відомими результатами інших авторів, окремо виділивши свій внесок.

2. Так як у роботі переважають результати математичного моделювання, додаткові експериментальні дослідження могли б значно підсилили її практичну цінність.

3. При аналізі стійкості реальних систем необхідно додатково зазначити та прокоментувати вплив можливого розкиду параметрів їх елементів на отримані результати.

4. Опис лабораторного стенду слід було доповнити більш детальною інформацією щодо його функціональних можливостей та особливостей реалізації, що дозволило б додатково підкреслити його авторську унікальність.

Вищезазначене не стосується основних положень та результатів дисертаційної роботи, не знижує її наукової та практичної цінності і не впливає на загальний позитивний висновок по роботі.

Загальна оцінка дисертаційної роботи та висновки. Враховуючи вищезазначене вважаю, що надана на оцінку дисертаційна робота виконана на достатньому науковому рівні, представлені наукові результати достовірні, мають наукову новизну, основні положення висвітлені достатньо повно і практично значимі. Дисертація є завершеною науковою кваліфікаційною працею за актуальною темою і вирішує наукову задачу синтезу електроприводів з притаманними нелінійностями.

За актуальністю обраної теми, обсягом та рівнем проведених досліджень, повнотою вирішення наукових та практичних задач, новизною і ступенем обґрунтованості отриманих результатів та практичних висновків дисертаційна робота відповідає чинним вимогам до дисертацій доктора філософії, а за змістом поданого в ній матеріалу – заявленій спеціальності.

Представлена дисертаційна робота відповідає вимогам наказу МОН України №40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України №44 від 12 січня 2022 року у чинних редакціях, а її автор, Савченко Олег Валерійович, заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка галузі знань 14 – Електрична інженерія.

Офіційний опонент,

доктор технічних наук, доцент,

завідувач кафедри електротехніки

Кременчуцького національного університету

імені Михайла Остроградського МОН України

 В'ячеслав ПРУС

