

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

ВІДГУК

кандидата технічних наук

Садового Олексія Степановича

на дисертаційну роботу Савченка Олега Валерійовича

"Синтез електроприводів з притаманними нелінійностями",

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка,
галузь знань – Електрична інженерія

Актуальність теми дисертаційної роботи.

Електроприводи характеризуються наявністю низки притаманних нелінійностей, які виникають унаслідок фізичних процесів, що відбуваються в електричній машині, силовому перетворювачі, механічній частині привода та елементах системи керування. До найбільш поширених належать сухе тертя, зони нечутливості, обмеження керуючих впливів, насичення магнітних кіл, люфти механічних передач, комутаційні та перемикаючі елементи, а також інші нелінійні фактори, які суттєво впливають на статичні та динамічні характеристики електропривода. За таких умов застосування традиційних методів синтезу, що базуються на лінеаризованих математичних моделях, не завжди забезпечує необхідний рівень якості керування в широкому діапазоні режимів експлуатації.

У зв'язку з цим важливого значення набуває розроблення методів синтезу електроприводів із урахуванням властивих їм нелінійностей, що дозволяють підвищити якість перехідних процесів, забезпечити необхідний запас стійкості

та покращити точність регулювання. Особливу увагу доцільно приділяти системам із нелінійними зворотними зв'язками, змінними параметрами демпфування та коефіцієнта підсилення, а також методам динамічної корекції, які передбачають зміну структури або параметрів системи в процесі її функціонування. Урахування зазначених нелінійних явищ є необхідною умовою побудови високоефективних систем автоматизованого електропривода, оскільки їх ігнорування може призводити до погіршення показників якості керування, виникнення автоколивань, зниження стійкості та інших небажаних режимів роботи системи.

Структура та зміст основних положень дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел із 165 найменувань та додатків. Загальний обсяг роботи становить 206 сторінок, у тому числі 100 рисунків і 10 таблиць.

За структурою та змістом дисертаційна робота відповідає представленому матеріалу, який викладено логічно і послідовно, текстовий – у лаконічній формі. Формулювання основних положень відповідають загальноприйнятій термінології в галузі електричної інженерії.

У **вступі** обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульована її мета і наведені основні задачі для її досягнення, що є цілком достатніми, визначені об'єкт та предмет досліджень, комплекс методів досліджень та обґрунтування достовірності їх результатів. Сформульовані наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, наведені відомості про апробацію результатів дисертації на науково-практичних конференціях і наукових семінарах, об'єм і структуру рукопису.

Перший розділ містить аналіз, які нелінійності має електропривод. Виявлено, які проблеми нелінійної динамічної корекції мають електроприводи. Також проведено аналіз схем електроприводів з лінеаризацією нелінійностей і на що впливають нехтування ними. Сформовано мету та постановку задачі дослідження.

В другому розділі проведено порівняльний аналіз лінійних і 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 вводу нелінійних елементів у каналі зворотного зв'язку в процесі регулювання, забезпечується підвищення швидкодії при великих відхиленнях та усунення перерегулювання при досягненні встановленого режиму. Розглянуто врахування зони нечутливості схеми формування нелінійного зворотного зв'язку, а також системи зі змінним демпфуванням у прямому колі.

Розглянуто системи зі змінним коефіцієнтом передачі для збільшення точності за допомогою коефіцієнта посилення системи. Розглянуто деякі особливості розрахунку автоматичних систем, у яких здійснено корекцію динамічних параметрів ланок зі змінною інерційністю, а також наведено необхідні розрахункові формули. Наведена математична модель електропривода з нелінійними перемикаючими сигналами.

В третьому розділі проведено дослідження компенсації нелінійностей електропривода за рахунок введення коригувальних сигналів в коло помилки системи. Розрахунки робляться у порівнянні ефектів такої компенсації з використанням гальмівної і прослизуючої муфти. Проведено аналіз математичної моделі корекції інерційності двигуна муфтами. Доведено ефективність використання корекції перемикаючими сигналами.

В четвертому розділі проведено синтез електропривода з сухим тертям шляхом розробки та дослідження методів його компенсації, що забезпечують підвищення плавності руху, точності позиціонування та стійкості системи керування.

В п'ятому розділі проведено експериментальне дослідження електроприводу з нелінійними характеристиками. Проведено синтез та дослідження системи автоматичного керування електроприводом з нелінійними коригуючими пристроями на основі динамічних перемикаючих сигналів, який спрямовано на покращення показників якості регулювання, зменшення впливу

нелінійностей об'єкта керування та підвищення ефективності функціонування системи в перехідних та усталених режимах.

У **загальних висновках** сформульовані основні результати дисертаційної роботи.

Таким чином, за структурою та змістом дисертаційна робота Савченка Олега Валерійовича відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України та предметній області спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Наукова новизна результатів роботи полягає у наступному:

- запропоновано структуру системи автоматичного керування електроприводом, яка відрізняється тим, що містить у колі зворотного зв'язку нелінійний коригуючий елемент, характеристика якого визначається математичними моделями гальмівних та ковзних муфт, що дозволило покращити динамічні характеристики електропривода, зокрема, зменшити перерегулювання і підвищити швидкодію;

- для запропонованої нелінійної системи керування визначено області стійкості та залежності між загасанням та частотою коливань перехідної характеристики від співвідношення коефіцієнтів системи, що дає змогу налаштовувати параметри нелінійного регулятора для забезпечення стійкої роботи електропривода.

Практичне значення отриманих здобувачем результатів полягає у наступному:

- розроблено та запатентовано стенд для проведення натурного експерименту з метою підтвердити адекватність теоретичних положень;
- запропоновано методику синтезу нелінійних електроприводів;
- розроблено пакет розрахункових програм у середовищі MathLab, для параметричного синтезу нелінійних електроприводів;
- 12 патентів на корисну модель.

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.

Наукова обґрунтованість представлених результатів підтверджена достатнім їх збігом з результатом натурного експерименту.

Крім того, результати роботи не суперечать фундаментальним фізичним і математичним закономірностям, або традиційним усталеним уявленням де таких закономірностей немає. Результати досліджень (у формі узагальнюючих положень, висновків і рекомендацій) є логічними, пройшли 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 праць, серед них 5 статей у фахових виданнях згідно з переліком, який затверджено ВАК України, 10 статей у закордонних виданнях, 16 публікацій у збірниках праць міжнародних і національних конференцій, 12 патентів на корисну модель, а також 33 статті у закордонних виданнях і 40 публікацій у збірниках праць міжнародних і національних конференцій, що додатково відображає наукові результати дисертації.

Рівень виконання поставленого наукового завдання та оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності.

Поставлене наукове завдання виконане в повному обсязі (у відповідності до мети та задач дисертаційної роботи) і на достатньо високому рівні, що підтверджується публікацією наукових положень дисертації в різних

рецензованих і авторитетних фахових виданнях, означених вище. Здобувач, судячи з матеріалів дисертації та особистого професійного спілкування достатньо оволодів методологією наукових досліджень взагалі, і її особливостями, пов'язаними із галуззю електричної інженерії, зокрема. Здатний самостійно формулювати наукові завдання, формувати і реалізовувати оригінальні ідеї щодо нових засобів їх вирішення (наприклад, фізичні моделі, що їх використано в роботі). Вважаю, що у здобувача сформовані необхідні компетенції для самостійної науково-дослідної роботи.

Дискусійні положення та зауваження щодо дисертації.

1. Для покращення сприйняття матеріалу доцільно було б доповнити огляд узагальнюючою таблицею або схемою, у якій були б систематизовані основні види нелінійностей, їх причини виникнення та вплив на характеристики електропривода.

2. Дисертаційна робота дещо перевантажені графічним матеріалом (100 рисунків). Сприйняття, на мій погляд, спростилося б у разі перенесення частини рисунків у додатки.

3. При аналізі моделей електропривода доцільно було б коротко обґрунтувати вибір параметрів досліджуваних двигунів, що дозволило б повніше оцінити можливість поширення отриманих результатів на інші типи електроприводів.

4. У деяких підрозділах розділу повторюється однакова послідовність викладення математичних перетворень для різних структур систем, тому окремі етапи можна було б подати в більш узагальненому вигляді, що зробило б виклад компактнішим без втрати змістовності.

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 вищезначене 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.

Підбиваючи підсумки вважаю, що дисертаційна робота Савченка Олега Валерійовича "Синтез електроприводів з притаманними нелінійностями" представлена до захисту на спеціалізованій вченій раді відповідає вимогам 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 від 12 січня 2022 року № 44 (зі змінами, внесеними згідно з Постановами Кабінету міністрів України: від 21 березня 2022 року № 341; від 19 травня 2023 року № 502; від 03 травня 2024 року № 507), а також вимогам до оформлення дисертаційної роботи, затвердженим Наказом Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 року № 40 (зі змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства освіти і науки України від 31 травня 2019 року № 759), а її автор, Савченко Олег Валерійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, галузь знань 14 – Електрична інженерія.

Офіційний опонент,
кандидат технічних наук, доцент,
декан Інженерно-енергетичного
факультету
Миколаївського національного
аграрного університету

Олексій САДОВИЙ