

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

БОРОВИКА Романа Олексійовича

«Система компенсації ударних навантажень синхронних двигунів привода металургійних машин», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – “Електротехнічні комплекси та системи”.

Актуальність теми дисертації

Основною проблемою роботи автомат-стана ТПА-350 є висока експлуатаційна аварійність синхронного двигуна головного привода. Серед виявлених причин: погіршення та пробій ізоляції обмотки якоря в місці переходу проводів з пазової ділянки в лобову частину, і рідше – обмотки збудження.

Такі обставини стали можливими в наслідок відсутності кінетичного накопичувача енергії, сенс встановлення якого втрачається із-за наявності у привідного двигуна абсолютно жорсткої механічної характеристики. Тому ситуація, що виникла вимагає розробки нового оригінального способу керування синхронним приводом, що забезпечить максимальне нівелювання дії ударних навантажень.

Дисертаційна робота Боровика Романа Олексійовича присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної задачі, яка полягає у встановленні передумов нівелювання екстремального струму якоря у режимах ударних механічних збурень при комплексному врахуванні навантаження та пружності з'єднувальної муфти завдяки вибору параметрів регулятора і оптимального рівня напруги системи збудження синхронного двигуна прокатних станів, які відрізняються способом керування приводом, жорсткістю механічної характеристики та відсутністю маховика, що дозволить уникнути руйнування магнітної системи електричної машини.

Дисертаційна робота виконана в рамках науково-дослідної роботи «Розробка рекомендацій щодо експлуатації синхронного двигуна головного привода автомат-

стана прокатки труб ТОВ “ІНТЕРПАЙП НІКО ТЬЮБ”» (згідно з договором №1120/030383 від 04.12.2012 р.) за участі здобувача як відповідального виконавця роботи.

Ступінь обґрунтованості отриманих у дисертації наукових положень, висновків і рекомендацій

Дисертаційна робота Боровика Р.О. виконана на достатньо високому науковому рівні. Ступінь обґрунтованості і достовірність наукових положень і результатів досліджень підтверджуються використанням апробованих моделей синхронних двигунів, коректним застосуванням класичних методів теоретичної електротехніки і теорії електричних машин, обґрунтованим вибором вхідних положень і прийнятих припущень під час математичного моделювання, застосуванням теоретично визначеної структури синхронного двигуна для отримання динамічних перехідних процесів, а також ефективністю розробленого методу оптимізації параметрів пружності муфти та форсування напруги живлення обмотки збудження двигуна. Якість тренду визначення параметрів системи керування оцінена коефіцієнтами детермінації, де їх значення становить не менше 0,9.

Наукова новизна отриманих результатів

Наукові положення, висновки та рекомендації в дисертаційній роботі Боровика Р.О. мають достатній рівень новизни.

Наукові положення:

1. Мінімум електродинамічних зусиль в обмотках синхронного двигуна забезпечується оптимальною амплітудою форсування збудження до початку накиду навантаження з тривалістю досягнення сталого значення не менше трьох постійних часу обмотки.

2. Мінімальна тривалість перехідного процесу струму якоря у сталому режимі прокатки забезпечується особливими налаштуваннями ПІ-регулятора збудження, параметри якого визначаються за модульним оптимумом з

коефіцієнтом підсилення інтегральної ланки 21%...25% від його розрахункового значення.

Наукові результати досліджень:

1. *Вперше* отримано аналітичні залежності поліноміального виду, які, на відміну від відомих, враховують поточний рівень навантаження та тип серійного синхронного двигуна, і дають змогу визначати раціональні параметри автоматичної системи регулювання збудження;

2. *Вперше* визначено екстремум коефіцієнта підсилення інтегральної ланки ПІ-регулятора в інтервалі 21%...25% від значення, розрахованого за модульним оптимумом, за умови номінального різко змінного навантаження та відсутності коливальності системи.

3. *Вдосконалено* підхід до оцінки рівня перепаду струму якоря синхронного двигуна при ударному прикладанні навантаження, що поєднує критерії керування збудженням у режимі максимального збурення та коливальності сталого режиму. Критерії використовуються для визначення кратності номінальної напруги завчасного форсування збудження в режимі неробочого ходу та регулювання пружності з'єднувальної муфти, рівні яких залежать від навантаження і визначаються розв'язанням оптимізаційної задачі за критерієм мінімуму середньоквадратичного відхилення струму якоря від його середнього значення в робочому режимі;

4. *Вдосконалено* математичну динамічну модель синхронного двигуна привода металургійних машин, яка поєднує методи алгебраїчного та структурного моделювання, оптимізаційного підходу та визначення перехідної функції регулятора системи збудження, що дало змогу дослідити вплив параметрів електромеханічної системи на показники перехідного процесу в обмотках серійної електричної машини.

5. *Отримав подальший розвиток* математичний метод розрахунку перехідних електромеханічних процесів в частині визначення параметрів регулятора збудження з врахуванням різко змінних навантажень в системах привода металургійних машин, заснований на застосуванні систем рівнянь Парка-

Горєва. Це дозволило здійснити комплексне моделювання процесів зміни струмів в обмотках потужних синхронних двигунів привода автомат-станів з урахуванням рівнів електромеханічних збурень, що підвищує конструктивну стійкість двигуна до наслідків дії ударних навантажень.

Теоретична та практична значимість результатів дисертаційного дослідження

Практична цінність роботи полягає:

1. Розроблено метод визначення раціональних значень кратності напруги форсування збудження за критерієм мінімуму середньоквадратичного відхилення поточного струму якоря від його середнього за врахування механічного навантаження для узагальненого ряду унікальних синхронних двигунів, для яких отримано лінії тренду з наданням рекомендацій щодо вибору параметрів;

2. Вдосконалено метод визначення коефіцієнтів підсилення задавача інтенсивності, пропорційної та корегованої інтегральної ланок ПІ-регулятора системи збудження зазначеного ряду двигунів та найважчих умов експлуатації;

3. Запропоновано спосіб керування, що забезпечується форсуванням напруги збудження до початку накиду навантаження з тривалістю досягнення сталого значення не менше трьох постійних часу та його вимкнення після завершення першого періоду коливань, при цьому залишкова коливальність обмежується за рахунок увімкнення ПІ-регулятора повздовжньої складової струму якоря з корегованою інтегральною ланкою.

4. Результати дисертаційної роботи прийняті до впровадження для реалізації алгоритмів у цифрових системах керування тиристорними збудниками синхронних двигунів в проєктній практиці НВП ТОВ «СИЛОВА ЕЛЕКТРОНІКА» (м. Дніпро), а також на підприємстві ТОВ «Інтерпайп Ніко Тьюб» (м. Нікополь), де матеріали дисертаційної роботи планується використовувати під час модернізації великих синхронних приводів прокатних станів.

Теоретична значимість дослідження проявляється в тому, що отримані результати можна розглядати як внесок у розвиток сучасних методів компенсації ударних навантажень механізмів металургійної та гірничої галузей.

Оцінка змісту дисертації та її завершеності

Дисертаційна робота написана кваліфіковано, державною мовою, на високому стилістичному рівні. Структура роботи є цілісною та взаємопов'язаною. Стиль викладання результатів теоретичних і практичних досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття та використання.

Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел із 83 найменувань на 10 сторінках та 8 додатків на 49 сторінках; містить 26 рисунків і 11 таблиць. Загальний обсяг роботи 9 сторінки, з них **Ошибка! Закладка не определена.** – основний текст.

У **першому розділі** виконано аналіз збитків України в наслідок ведення активних бойових дій і розглянуто перспективи використання продукції металургійного виробництва, зокрема конструкційного й трубного прокату у якості будівельних матеріалів для відновлення промислових та міських комунікацій.

Визначено особливості конструкцій прокатних агрегатів, із зазначенням відмінностей в їх технології роботи. Зроблено огляд чинників якості безшовних труб і їх забезпечення засобами головного привода. До їх основних характеристик віднесено стабілізацію швидкості обертання привода не залежно від навантаження і спроможність захвату заготовки у валки.

Проведена попередня оцінка аварійності автомат-стану ТПА-350, оснащеного синхронним приводом. Виявлено головні фактори руйнації обмоток двигуна, які розділені на складові термічного і механічного впливу. А також здійснено оцінку фінансових втрат при проведенні усіх видів ремонтів у результаті руйнації магнітної системи синхронного приводу.

У **другому розділі** на базі безпосередньої реєстрації фактичних даних з використанням системи контролю параметрів електроприводу наведено

результати детальної перевірки режимних параметрів електромеханічної системи реверсивного автомат-стану з синхронним приводом, який експлуатується у режимах з періодичним ударним навантаженням.

Увесь комплекс досліджень підтвердив працездатність електромеханічної системи, а також доведено відсутність аномальних режимів роботи двигуна. Поруч з тим встановлено, що існуючий спосіб керування системою збудження викликає у момент накиду максимального збурення виникнення значних електродинамічних зусиль, які стають причиною руйнації котушок синхронного привода.

Отриманий висновок дав можливість сформулювати напрям дослідження який і, є актуальною науковою задачею.

У **третьому розділі** проведено критичний аналіз відомих способів компенсації ударних навантажень. Встановлено, що основними серед них є демпфування ударних навантажень регулюванням жорсткості пружного елемента та рівнем форсування напруги живлення збудження. При цьому форсування повинно починатися до початку накиду навантаження у термін не менше трьох постійних часу обмотки збудження.

Сформульовано умови розрахунку оптимізаційної задачі, де фактори впливу є пружність з'єднувальної муфти і рівень форсування збудження, а функція мети інтегральний критерій мінімуму незміщеного середньоквадратичного відхилення поточного значення струму якоря від його середнього.

Приведено результат математичного моделювання процесів накиду різко змінного навантаження за умов врахування отриманих розрахунків оптимізаційної задачі. За виглядом отриманих залежностей було наочно доведено суттєве зниження перепаду струму якоря, що продемонструвало ефективність метода демпфування екстремальних навантажень.

У **четвертому розділі** розглянуто відомі механічні та електромагнітні способи компенсації ударних навантажень засобами автоматичних регуляторів. Встановлено, що усі відомі автоматичні системи компенсації не спроможні компенсувати максимальні збурення, а можуть бути задіяні тільки для гасіння

залишкової коливальності. Тому в розділі наведено вивід адаптованої моделі СД для отримання перехідної функції регулятора контуру збудження призначеного для стабілізації повздовжнього струму якоря, і який дає бажаний результат ефективної компенсації залишкової коливальності системи. Встановлено факт часткової коливальності системи при використанні розрахункового коефіцієнта інтегральної ланки ПІ-регулятора і отримано відповідний поправочний коефіцієнт, який робить систему стабільною.

Доведено, що в таких системах автоматична частина керування збудженням повинна працювати по різному на ланках максимального збурення та залишкової коливальності, що наочно продемонстровано на результатах математичного моделювання режиму накиду ударного навантаження.

У **п'ятому розділі** проведено комплекс досліджень для ряду унікальних синхронних двигунів. Метою таких випробувань є розповсюдження отриманих методів розрахунку на механізми металургійної та гірничо-видобувної галузей.

Автором отримано поліноміальні залежності рівня форсування від навантаження та конкретного типу двигуна. Точність поліномів оцінена за допомогою коефіцієнтів детермінації, де їх значення отримано рівня не менше 0,9. Слід уточнити, що отримані результати мають тонке налагодження за результатами вирішення оптимізаційної задачі. Щодо розрахунку параметрів підсилення задавача інтенсивності та параметрів ПІ-регулятора, то їх визначено лише для самих важких умов роботи системи. Ці результати отримано у вигляді таблиці для кожного типу двигуна і може бути використано для автоматизації на будь-якій цифровій платформі.

Повнота викладення основних результатів дисертаційної роботи в надрукованих автором фахових публікаціях та інших наукових працях

Основні результати досліджень автора за темою дисертації видано в 10 друкованих працях, з них яких 5 – у фахових виданнях, 1 – у виданні, що індексується Web of science, 2 – матеріалах конференцій, 1 – патент України і 1 – патент на корисну модель. Публікації за тематикою дисертації підтверджують

оприлюднення всіх отриманих результатів. В авторефераті та публікаціях у фахових виданнях зміст дисертаційної роботи розкрито повністю.

Зауваження по дисертаційній роботі

У п.1.3 першого розділу дисертаційної роботи наведено оцінку тенденцій зростання вартості ремонту електродвигуна зважаючи на зміну ціни на мідь, яка наведена в доларах США. Які причини орієнтування на ціни активних матеріалів у валюті? Яка корисна інформація може бути отримана у такому випадку?

У другому розділі дисертаційної роботи встановлено відсутність аварійних режимів роботи привідного двигуна автомат-стану ТПА-350. При цьому висувається гіпотеза щодо неправильного керування системою збудження, що приводить до виникнення періодичних значних електродинамічних зусиль в обмотках двигуна. Чи регламентується такий спосіб керування технологією виготовлення безшовних труб?

Пункт 3.3 (стор. 61) на рис. 3.1 наведено результати моделювання процесу накиду ударного навантаження. В роботі також стверджується, що величина теплового навантаження на обмотки двигуна визначаються площею під експериментальними кривими. Чи не вважаєте автор, що додаткове регулювання тривалості завчасного форсування у межах 3...5 постійних часу дасть раціональні межі теплового навантаження обмоток при врахуванні раціональних зростання максимуму найбільшого збурення та мінімуму перепаду струму якоря, що зменшить динамічні удари.

4. У п. 4.4 (стор. 82-87) на прикладі двигуна СДС3-18-49-20УХЛ4 здійснена перевірка методу визначення параметрів задавача інтенсивності. Зрозуміло, що коефіцієнт його підсилення також впливає на рівень теплового навантаження обмоток. Було б доречним здійснити пошук раціонального значення коефіцієнта підсилення для отримання мінімуму розігріву обмоток двигуна.

5. У п. 5.1 і 5.2 пропонується отримати параметри форсировки різних типів двигунів із функціональною залежністю від інтервалу навантажень. Для експериментальних кривих рис. 5.1 стор. 94 задіяно форми лінії тренду у вигляді

поліномів другого порядку. Чому так і чи можливо підвищити якість трендів для інших способів апроксимації?

Наведений перелік недоліків і зауважень не зменшує наукову та практичну цінності виконаних теоретичних та експериментальних досліджень та роботи в цілому.

Загальний висновок

Дисертаційна робота Боровика Романа Олексійовича на тему: **“Система компенсації ударних навантажень синхронних двигунів привода металургійних машин”** є завершеною працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані результати. Робота відповідає вимогам, які встановлені у п.п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», а її автор – Боровик Роман Олексійович – заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 «Електротехнічні комплекси та системи».

Офіційний опонент:

Доцент кафедри електроприводу та автоматизації
промислових установок,
Національного університету «Запорізька політехніка»
МОН України, кандидат технічних наук, доцент

Олена НАЗАРОВА

Підпис Назарової О.С. засвідчую
вчений секретар
Національного університету «Запорізька політехніка»
МОН України, кандидат соціологічних наук, доцент



Віктор КУЗЬМІН

Відрук отриманий
Вч. секр. 20.08.2020
Кудряков А.В.
23.03.2020

