Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія

Мухтаров Анатолій Анатолійович

УДК 62-52:621.313.33

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ТА АЛГОРИТМІВ ІДЕНТИФІКАЦІЇ КООРДИНАТ ТА ПАРАМЕТРІВ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА В СИСТЕМАХ БЕЗДАТЧИКОВОГО ВЕКТОРНОГО КЕРУВАННЯ

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.

Сучасна промисловість ґрунтується на широкому застосуванні електричного приводу. Показник, який характеризує відносне впровадження електроприводу, тобто коефіцієнт електрифікації силових процесів, в передових галузях промисловості близький в даний час до 100%. Важливою особливістю сучасного електроприводу і характеристикою перспектив його розвитку є все більш глибоке проникнення в автоматизацію технологічних процесів виробництва.

Електропривод, що почав свій розвиток в першій третині XIX ст., безперервно вдосконалюючись, до середини 1930-х років перестав бути лише засобом приведення в рух робочих машин; 1930-і роки знаменуються перетворенням електропривода в промисловому масштабі в пристрій, що управляє робочою машиною.

Витіснення механічних систем приводу електроприводами здійснювалось завдяки наступним їх перевагам, які виявлялися поступово в ході історичного розвитку: економічності, менших енергетичних витрат, високій керованості, можливості на його основі інтенсифікації і концентрації виробництва, комплексної механізації і, нарешті, автоматизації із застосуванням керуючих засобів.

Індивідуальний автоматизований електропривод в даний час набув широкого застосування у всіх сферах життя і діяльності суспільства – від сфери промислового виробництва до сфери побуту. Завдяки особливостям вдосконалення технічних показників електроприводу, у всіх областях застосування його є основою технічного прогресу. Сучасний автоматизований електропривод – це високонадійна і економічна електромеханічна система, здатна повністю забезпечити автоматизацію будь-

якого технологічного процесу, досягати високої швидкодії і точності в роботі, поліпшити умови праці обслуговуючого персоналу.

Виготовлення асинхронних двигунів конструктивно найпростіше та найдешевше. Вони не мають щітко-колекторного вузла чи вузла ковзаючого струмознімання, що окрім високої надійності забезпечує мінімальні експлуатаційні витрати.

До недоліків асинхронних двигунів можна віднести невисокий пусковий момент, а також значний пусковий струм.

Залежно від числа фаз що живлять, розрізняють трифазні і однофазні асинхронні двигуни.

Трифазний асинхронний двигун при певних умовах може успішно виконувати свої функції і при живленні від однофазної мережі. Ці електродвигуни широко використовуються, як в промислових так і в побутових пристроях.

Дослідження методів та алгоритмів ідентифікації координат та параметрів асинхронного електропривода в системах бездатчикового векторного керування є актуальною науково-технічною задачею, оскільки альтернативний варіант закону керування, що реалізує принцип бездатчикового керування, дозволяє легко контролювати керовані координати без використання датчиків.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Вибір напряму 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 методів та алгоритмів ідентифікації координат та параметрів асинхронного електропривода в системах бездатчикового векторного керування.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалися наступні задачі:

– створення математичної моделі електромагнітних процесів у асинхронному двигуні в нерухомій відносно ротора системі координат

– розробка функціональної і структурної схем запропонованої бездатчикової системи векторного управління асинхронним двигуном

– розробка ідентифікатора частоти обертання і орієнтуючого вектора потокозчеплень ротора;

– розробка методики спільного синтезу підсистем регулювання та іденти-фікації швидкості;

– виконання синтезу ідентифікатора швидкості.

Об'єктом дослідження є асинхронний електропривод в системах бездатчикового векторного керування.

Предметом є алгоритми ідентифікації координат та параметрів асинхронного електропривода.

Методи досліджень – загальні положення та методи теорії автоматичного керування, теорії електроприводу, числові методи розв’язання диференційних рівнянь, математичного моделювання та досліджень на комп’ютерних моделях з використанням сучасних пакетів прикладних програм.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що:

1. Запропоновано алгоритм попередньої ідентифікації сталої часу (T_r) і активного опору ротора (R_r) асинхронного двигуна з використанням в якості тестового впливу гармонійного сигналу напруги, в якому різниця між істинним значенням і оцінкою T_r і R_r залежить від похибки обчислень еквівалентного опору і індуктивності розсіювання, а також від точності вимірювання значення фазочастотної характеристики.

2. Розроблено методику спільного структурно-параметричного синтезу регулятора і ідентифікатора частоти обертання ротора бездатчикового асинхронного електроприводу. В основу методики покладено результати аналізу процесів, що протікають в моделях двигуна і адаптивної системи з еталонною моделлю, представлених в різних обертових системах координат.

3. Синтезований «повільно» адаптивний до зміни активного опору статора ідентифікатор частоти обертання і вектора потокозчеплення ротора асинхронного двигуна структури MRAS (Model Reference Adaptive System), а також розроблена методика параметричного синтезу адаптера і коректора нулів.

Практичне значення отриманих результатів:

Виконані дослідження мають практичну цінність, оскільки вони дозволяють підвищити точність ідентифікації параметрів асинхронних двигунів у системах векторного керування, позбутись зайвих датчиків.

Особистий внесок здобувача полягає у виконанні дослідження методів та алгоритмів ідентифікації координат та параметрів асинхронного електропривода в системах бездатчикового векторного керування.

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, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг магістерської роботи складається із 108 сторінок (95 сторінок основної частини), 19 рисунків, 18 таблиць. Список використаних джерел містить 34 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

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

У **першому розділі** розглядається модель асинхронного двигуна і математичні основи принципу векторного управління.

Однією з основних задач, що виникають при побудові моделі асинхронного електроприводу, є вибір системи координат, в якій розглядаються електромагнітні процеси в двигуні. Однак вибір тієї чи іншої системи координатних осей, очевидно, не впливає на реальні фізичні процеси, що протікають в електроприводі, а є лише способом їх опису. Залежно від розв'язуваної задачі застосовуються математичні моделі в природних координатах машини, в ортогональних координатах, нерухомих або обертових з певною частотою, в полярних координатах або безкоординатних (тензорних) моделях.

При записі математичної моделі асинхронної електричної машини приймаються такі припущення:

– активні опори фазних обмоток статора (R_S) однакові;

– геометричні осі фаз синусоїдально розподіленої обмотки статора рознесені на кут $2\pi(mp_п)$, де $p_п$ – кількість пар полюсів; виняток становить випадок $m = 2$, в якому даний кут дорівнює $\pi(mp_п)$;

– біляча клітина машини з короткозамкненим ротором може бути еквівалентована m-фазною синусоїдально розподіленою обмоткою;

– всі m фазних обмоток ротора машини (або m еквівалентних фазних обмоток ротора) мають однакові активні опори $R_г$, кількість пар полюсів $p_п$, і геометричний кут між їх осями дорівнює куту між осями фазних обмоток статора;

– всі параметри ротора приведені до обмотки статора;

– нехтуємо ефектом витиснення струмів в короткозамкненому роторі АД, оскільки частота ротора (частота ковзання) обмежена робочою ділянкою механічної характеристики двигуна і майже не позначається на величині $R_г$;

– повітряний зазор вважається рівномірним.

У **другому розділі** здійснюється розробка та дослідження алгоритмів активної попередньої ідентифікації параметрів схеми заміщення асинхронного двигуна.

Функція попередньої ідентифікації параметрів двигуна – важлива складова алгоритмічного забезпечення бездатчикового електроприводу. Залежно від ситуації, в ході попередньої ідентифікації визначаються оцінки необхідних параметрів АД, які потім використовуються в адаптивних ідентифікаторах невимірюваних координат в якості початкових значень (наближень) параметрів, що настроюються. Активна ідентифікація передбачає застосування спеціальних тестових впливів, пасивна – навпаки, ґрунтується лише на вимірах електричних змінних в робочих процесах і на оцінках координат стану, визначених за допомогою спостерігачів. У задачі попередньої ідентифікації краще саме активні алгоритми, оскільки за допомогою спеціальних тестових сигналів можна сфокусуватися саме на впливі даного параметра, не боячись при цьому порушити хід технологічного процесу.

Активна попередня ідентифікація параметрів АД, обмотка статора якого живиться від транзисторного широтно-імпульсного перетворювача (ШІП), може проводитися за допомогою тестових впливів різної форми. Розглянемо процес початкового намагнічування двигуна подачею постійної напруги по одній з осей машини при нульових початкових умовах.

У **третьому розділі** виконується синтез адаптивного ідентифікатора частоти обертання ротора асинхронного двигуна.

Відмова від датчиків змінних механічного руху електроприводу, з'єднання перетворювача частоти (і системи управління) з двигуном тільки силовим кабелем при векторному керуванні АД обумовлюють необхідність непрямого визначення ряду координат стану. Це, перш за все, частота обертання ротора і фаза орієнтуючого (опорного) вектора – вектора потокозчеплення ротора – щодо нерухомого статора. Обчислення їх оцінок здійснюється на основі виміряних струмів і напруг статора двигуна за допомогою спеціальних алгоритмів ідентифікації (ідентифікаторів).

Найбільшого поширення в практиці асинхронного електроприводу отримали замкнуті по вихідний координаті ідентифікатори. Зокрема, це алгоритми, побудовані на основі адаптивних систем з задавальною (еталонною) моделлю (MRAS – Model Reference Adaptive System) [18].

При синтезі алгоритмів поточної ідентифікації істотно змінюваних параметрів потрібно вирішити ті ж завдання, що і при синтезі алгоритмів ідентифікації невимірюваних координат. Крім того, необхідно врахувати наявність похибок у оцінках координат, що виникають саме внаслідок можливих відхилень оцінок параметрів від дійсних значень.

Алгоритми поточної ідентифікації змінних параметрів не обов'язково повинні бути окремою структурою, вони можуть і входити до складу алгоритму ідентифікації невимірюваних координат.

Алгоритми ідентифікації змінних параметрів доцільно відключати на час перехідних процесів в електроприводі (або робити їх «повільними», вважаючи, що параметри є квазістаціонарними), щоб уникнути впливу динамічних помилок в роботі ідентифікаторів координат стану. А оскільки бездатчикові електроприводи працюють в основному в сталих режимах, то таке обмеження можна вважати незначним.

Для реалізації класичних принципів векторного керування автоматизованим електроприводом необхідна повна і достовірна інформація про поточні значення змінних стану. Разом з тим, в силу конструктивних особливостей асинхронного двигуна, електромагнітні змінні його роторного кола (струм і потокозчеплення ротора) важкодоступні для прямого визначення за допомогою вимірювальних перетворювачів.

У цих умовах поточний стан об’єкта керування оцінюється непрямо за допомогою ідентифікаторів стану, що представляють собою обчислювальні пристрої, які працюють в реальному масштабі часу. Математична структура подібних обчислювальних пристроїв, призначених для аналогової або цифрової реалізації, будується за рівняннями динаміки, що описують електромагнітні процеси в асинхронному двигуні.

При побудові векторних систем керування виникає також задача отримання інформації про швидкість обертання приводу. Тут можливі два підходи. Перший полягає в установці датчика швидкості на валу. Другий підхід полягає в тому, щоб оцінювати швидкість побічно за рахунок введення в структуру ідентифікатора моделі електромеханічних процесів в автоматизованому електроприводі (АЕП) в тому чи іншому вигляді.

У **четвертому розділі** здійснено техніко-економічне обґрунтування виконаних досліджень. Розраховано оціночні результати вкладу магістра у наукові дослідження по магістерському проекту.

У **п’ятому 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

В ході дослідження безпошукового методу активної попередньої ідентифікації параметрів схеми заміщення асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором при лінійному зміненні напруги статора було виявлено, що величину індуктивності статора асинхронного електроприводу можливо оцінити тільки після тривалого інтервалу часу, що в свою чергу призводить до виходу на обмеження по ресурсу перетворювача частоти або неприпустимих значень струму статора.

У зв'язку з цим в якості альтернативи запропоновано алгоритм попередньої ідентифікації сталої часу і активного опору ротора асинхронного двигуна з використанням в якості тестового впливу гармонійного сигналу напруги, в якому різниця між істинним значенням і оцінкою T_r і R_r залежить від похибки обчислень еквівалентного опору і індуктивності розсіювання, а також від точності вимірювання значення фазочастотної характеристики.

У магістерській роботі запропоновано методику спільного структурно-параметричного синтезу регулятора і ідентифікатора частоти обертання ротора бездатчикового асинхронного електроприводу. В основу методики покладено результати аналізу процесів, що протікають в моделях двигуна і адаптивної системи з еталонною моделлю, представлених в різних обертових системах координат.

Синтезований «повільно» адаптивний до зміни активного опору статора ідентифікатор частоти обертання і вектора потокозчеплення ротора асинхронного двигуна структури MRAS, а також розроблена методика параметричного синтезу адаптера і коректора нулів.

АНОТАЦІЯ

Мухтаров А.А. Дослідження методів та алгоритмів ідентифікації координат та параметрів асинхронного електропривода в системах бездатчикового векторного керування.

Магістерська робота за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ, 2019.

Магістерська робота складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг магістерської роботи складається із 108 сторінок (95 сторінок основної частини), 19 рисунків, 18 таблиць. Список використаних джерел містить 34 найменувань.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є дослідження методів та алгоритмів ідентифікації координат та параметрів асинхронного електропривода в системах бездатчикового векторного керування.

Основні наукові та практичні результати магістерської роботи:

1. Розроблено алгоритм попередньої ідентифікації сталої часу і активного опору ротора асинхронного двигуна з використанням в якості тестового впливу гармонійного сигналу напруги, в якому різниця між істинним значенням і оцінкою T_r і R_r залежить від похибки обчислень еквівалентного опору і індуктивності розсіювання, а також від точності вимірювання значення фазочастотної характеристики.

2. Запропоновано методику спільного структурно-параметричного синтезу регулятора і ідентифікатора частоти обертання ротора бездатчикового асинхронного електроприводу

3. Синтезований «повільно» адаптивний до зміни активного опору статора ідентифікатор частоти обертання і вектора потокозчеплення ротора асинхронного двигуна структури MRAS, а також розроблена методика параметричного синтезу адаптера і коректора нулів.

Ключові слова: ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА, ІДЕНТИФІКАЦІЯ, АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД, БЕЗДАТЧИКОВЕ КЕРУВАННЯ

ANNOTATION

Mukhtarov A.A. Investigation of methods and algorithms for identification of coordinates and parameters of asynchronous electric drive in systems of sensorless vector control.

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, five sections, general conclusions, a list of sources used. The total volume of master's work consists of 108 pages (95 pages of the main part), 19 drawings, 18 tables. The list of sources used contains 34 items.

The purpose of the master's qualification work is to study methods and algorithms for identifying the coordinates and parameters of asynchronous electric drive in systems of sensorless vector control.

The main scientific and practical results of the master's work:

1. An algorithm for preliminary identification of constant time and active impedance of the rotor of an induction motor using a harmonic voltage signal, in which the difference between the true value and the estimate of Tr and Rr depends on the error of calculations of equivalent resistance and the inductance of scattering and measurement of scattering the value of the frequency response.

2. The technique of joint structural-parametric synthesis of the controller and the rotor speed id of the sensorless asynchronous electric drive is proposed

3. Synthesized "slowly" adaptive to the change of the stator active resistance, the id of rotation speed and the vector of rotor coupling of the asynchronous motor of the MRAS structure, as well as the method of parametric synthesis of the adapter and the zero corrector.

Keywords: ELECTROMECHANICAL SYSTEM, IDENTIFICATION, ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE, SENSORLESS CONTROL

Мухтаров Анатолій Анатолійович

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ТА АЛГОРИТМІВ ІДЕНТИФІКАЦІЇ КООРДИНАТ ТА ПАРАМЕТРІВ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА В СИСТЕМАХ БЕЗДАТЧИКОВОГО ВЕКТОРНОГО КЕРУВАННЯ

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