

Міністерство освіти і науки України  
Донбаська державна машинобудівна академія

Огнев Олександр Геннадійович

УДК 62-83.01

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ТА АВТОМАТИЗОВАНИХ ПРИСТРОЇВ  
ІДЕНТИФІКАЦІ СИСТЕМНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ  
АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ**

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Автореферат магістерської роботи

Краматорськ 2020

Робота виконана на кафедрі електромеханічних систем автоматизації Донбаської державної машинобудівної академії Міністерства освіти і науки України, м. Краматорськ.

**Науковий керівник:**

доктор технічних наук, професор  
Шеремет Олексій Іванович,  
Донбаська державна машинобудівна  
академія, завідувач кафедри  
«Електромеханічні системи  
автоматизації».

**Рецензент:**

---

---

---

Захист відбудеться «22» грудня 2020 р. о 10:00 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

Асинхронний електропривод в силу своїх особливостей часто виступає в якості об'єкта для ідентифікації. Для різних цілей може бути необхідна як оцінка параметрів двигуна (наприклад, індуктивних або активних опорів), так і оцінка його змінних (швидкості, моменту, потокозчеплення). Досить велика частина досліджень, що проводяться в цій області, спрямована на ідентифікацію параметрів і змінних асинхронного двигуна, ґрунтуючись тільки на інформації про його електричних змінних, не використовуючи інформацію про механічні змінних (кутової швидкості або положення). Ідентифікацію параметрів асинхронного двигуна суттєво ускладнює й той факт, що експлуатація асинхронних двигунів (АД) найчастіше супроводжується різного роду аномаліями. Однією з найбільш поширених є нестабільна напруга мережі. Відхилення напруги можуть досягати 15 і більше відсотків, що перевищує допустиме значення. Зміна напруги може привести до зростання струму в обмотках асинхронного двигуна, до збільшення втрат, зростання температури обмоток АД і в результаті – до дострокового виходу двигуна з ладу. Вплив напруги живлення на електромеханічні і теплові характеристики АД, як в тривалому режимі, так і повторно-короткочасних режимах вимагає подальшого вивчення.

**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.

**Актуальність** дослідження методів та автоматизованих пристроїв ідентифікації системних властивостей асинхронного електроприводу викликана як необхідністю розробки нових алгоритмів керування, так і вимогою до підвищення надійності експлуатації двигуна і вдосконалення алгоритмів систем контролю і прогнозування працездатності електроприводів змінного струму.

**Метою роботи** є дослідження методів та автоматизованих пристроїв ідентифікації системних властивостей асинхронного електроприводу.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалися наступні **задачі**:

- здійснено математичний опис асинхронного електроприводу;
- розглянуто поняття керованості в системах автоматичного керування;
- виконано перетворення рівнянь асинхронного електроприводу для

аналізу спостережуваності;

- проведено дослідження спостережуваності асинхронного електроприводу на математичній моделі;

- проаналізовано поняття чутливості асинхронного електроприводу;

- постановлено завдання ідентифікації параметрів асинхронного електроприводу;

- розроблено пристрій ідентифікації параметрів асинхронного електропривода;

- здійснено моделювання процесів ідентифікації параметрів асинхронного електроприводу;

- розглянуто практичні аспекти застосування комп'ютерної ідентифікації параметрів автоматизованого електроприводу.

**Об'єкт дослідження** – автоматизовані пристрої та методи ідентифікації системних властивостей асинхронного електроприводу.

**Предмет дослідження** – математичні моделі процесів ідентифікації параметрів асинхронного електроприводу, побудовані з врахуванням вимог щодо чутливості та спостережуваності.

**Методи досліджень.** В роботі використано загальні положення та методи теорії керування, теорії електроприводу, лінійної алгебри, числові методи розв'язання диференційних рівнянь для розрахунків параметрів систем автоматичного керування електроприводами, перевірка ефективності отриманих теоретичних результатів здійснювалася засобами чисельного моделювання в програмному середовищі MATLAB з використанням сучасних засобів автоматизації математичних і інженерних розрахунків.

#### **Наукова новизна роботи:**

1. Запропоновано використовувати термін «порядок керованості», який при східчастих сигналах управління і нульових початкових умовах збігається з молодшим ступенем розкладання законів зміни фазових координат електропривода в ряд Маклорена.

2. Розроблена методика оцінки керованості асинхронного електроприводу. Показано, що розімкнена система «силовий напівпровідниковий перетворювач – асинхронний двигун» по напругам фаз статора має перший порядок керованості, по струмам фаз статора і електромагнітному моменту – другий, по потокозчепленню ротора і кутовій швидкості ротора – третій, а за кутом повороту ротора – четвертий.

3. Розроблена методика спостереження струмів короткозамкненого ротора, яка може бути реалізована за допомогою мікропроцесорної техніки з відповідною фільтрацією сигналів похідних фазних струмів статора. Комп'ютерне моделювання підтверджує, що при наявності інформації про параметри схеми заміщення фази асинхронного двигуна і  $\omega$  можемо з високою точністю спостерігати струми короткозамкненого ротора на підставі

інформації про напруги  $u_{1d}$ ,  $u_{1q}$  і струми  $i_{1d}$ ,  $i_{1q}$  фаз статора, отриманої шляхом безпосереднього вимірювання цих величин.

4. Запропоновано алгоритм функціонування та схему пристрою генерації функцій чутливості розімкненого асинхронного електроприводу, що дозволяє оцінити вплив відхилень параметрів на процеси і характеристики електроприводу.

5. Шляхом імітаційного моделювання підтверджено ефективність, працездатність і високу точність запропонованого методу ідентифікації і розробленого на його основі алгоритму. З використанням запропонованого методу розроблено функціональну схему пристрою ідентифікації параметрів асинхронного електроприводу.

#### **Практична цінність роботи:**

1. Результати комп'ютерного моделювання підтверджують можливість практичного застосування методу, алгоритму та пристрою ідентифікації параметрів при побудові систем управління асинхронного частотно-регульованого електроприводу.

2. За результатами виконаних досліджень в перспективі можна розробити автоматизовані пристрої для ідентифікації системних властивостей асинхронного електроприводу.

**Наукова апробація роботи.** Результати досліджень доповідались та обговорювались на наукових конференціях регіонального та міжнародного рівня: IV Всеукраїнська науково-технічна конференція «Сучасні інформаційні технології, засоби автоматизації та електропривод» (16-18 квітня 2020 року), XLII Науково-технічна конференція науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів, магістрантів і студентів (23-27 листопада 2020 року).

**Публікація результатів наукових досліджень.** Матеріали магістерської роботи опубліковано у двох тезах доповідей регіональних та міжнародних науково-технічних конференцій і одній науковій статті у фаховому виданні «Вісник Донбаської державної машинобудівної академії» (перереєстровано – Наказ МОН України № 326 від 04.04.2018).

**Особистий вклад здобувача.** Усі основні результати магістерської роботи, що виносяться на захист, здобувач отримав особисто. Зокрема, здійснено математичний опис асинхронного електроприводу, розглянуто поняття керованості в системах автоматичного керування, виконано перетворення рівнянь асинхронного електроприводу для аналізу спостережуваності, проведено дослідження спостережуваності асинхронного електроприводу на математичній моделі, проаналізовано поняття чутливості асинхронного електроприводу, постановлено завдання ідентифікації параметрів асинхронного електроприводу, розроблено пристрій ідентифікації

параметрів асинхронного електропривода, здійснено моделювання процесів ідентифікації параметрів асинхронного електроприводу, розглянуто практичні аспекти застосування комп'ютерної ідентифікації параметрів автоматизованого електроприводу, здійснено узагальнення результатів роботи.

**Структура та обсяг магістерської роботи.** Магістерська кваліфікаційна робота складається з вступу, шести розділів, загальних висновків, переліку використаних джерел.

Загальний обсяг магістерської роботи становить 116 сторінок, в тому числі 21 таблиці по тексту, 24 рисунків по тексту, перелік використаних джерел із 29 найменувань на 3 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

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

У **першому розділі** здійснено дослідження питання керованості асинхронних електроприводів.

Асинхронний привод на сьогоднішній день є найпоширенішим приводом серед перетворювачів електричної енергії в механічну. У переважній більшості такі приводи використовують асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором. Переваги такого електроприводу:

- простота виготовлення;
- відносна дешевизна;
- висока надійність в експлуатації;
- невисокі експлуатаційні витрати;
- можливість включення в мережу без будь-яких перетворювачів (для навантажень, котрі не мають потреб в регулюванні швидкості).

Структурно АД є складним нелінійним об'єктом з внутрішніми перехресними зв'язками між каналами регулювання збудження і моменту. Рішення задачі автономізації каналів регулювання і лінеаризації АД можливе різними методами, наприклад, введенням компенсуючих зв'язків або вибором структури і відповідних налаштувань регуляторів.

В даний час з методів технічної лінеаризації найбільше поширення одержав метод моделювання в векторній системі керування електроприводами найбільш істотних перехресних зв'язків в об'єкті регулювання з їх подальшим підсумовуванням з керуючими впливами зі знаками, протилежними знакам компенсованих зв'язків в об'єкті. Принцип прямої компенсації перехресних зв'язків між каналами регулювання моменту і стабілізації потоку АД не забезпечує стовідсоткової автономізації цих каналів. Застосування інших варіантів автономізації керування координатами, будь то відповідний структурний синтез регуляторів, або використання більш складних блоків динамічної розв'язки (наприклад, введення перехресних зв'язків по керуючим сигналам з метою отримання незалежної керованості моментною і намагнічувальною складовими струму статора), дають приблизно такі ж результати, що і пряма компенсація (або незначно кращі), однак ще більше ускладнюють систему векторного керування.

Керованість (в загальному розумінні) – це одна з найважливіших властивостей системи керування та об'єкта керування (машини, компанії, суспільства і т. п.), що описує можливість перевести систему з одного стану в інший. Дослідження системи на керованість є одним з важливих кроків у синтезі керуючих контролерів.

Під повною керованістю розуміється властивість, що складається в можливості переведення об'єкта управління з довільного початкового стану в

кінцевий стан за заданий час. У реальному асинхронному електроприводі є нелінійності і обмеження на управління, пов'язані з обмеженнями на струми, напруги та споживану потужність. Тому при обраному часу управління початкова і кінцева точки завжди належать до деякої обмеженої множини і можна говорити про керованість «у великому». Можна виділити малу околицю навколо початку координат фазового простору, в якій асинхронний електропривод описується лінійно, а час керування взяти достатньо великим, щоб управління не виходило на обмеження. Так можна вирішувати питання про керованість «в малому».

У другому розділі виконується дослідження питання спостережуваності асинхронних електроприводів.

Спостережуваність в теорії управління – це властивість системи, що показує, чи можна по виходу повністю відновити інформацію про стани системи.

В електроприводах під спостережуваністю розуміється властивість асинхронного електроприводу, що полягає в можливості відновлення всіх фазових координат по відомому закону зміни вектора спостереження.

З метою аналізу спостережуваності трифазного АД проведено комп'ютерне моделювання перехідних процесів прямого пуску двигуна АИР80А6У2. Обчислення похідних струмів статора при моделюванні процесів спостережуваності здійснювалося на підставі струмів фаз статора  $i_{1d}$ ,  $i_{1q}$  за допомогою реальних диференціюючих ланок.

Розроблена функціональна схема асинхронного електроприводу з пристроєм спостереження струмів ротора. Система керування електроприводом реалізує алгоритм частотного регулювання швидкості АД. На вхід системи керування електроприводом надходять задавальні впливи – необхідний кут повороту  $\alpha^0$  і необхідна кутова швидкість ротора  $\omega^0$ .

Можливість спостерігати струми короткозамкненого ротора дозволяє будувати ефективні алгоритми частотного керування асинхронними електроприводами без датчиків магнітного поля, включаючи алгоритми оптимального управління струмами.

У третьому розділі виконано дослідження питання чутливості асинхронних електроприводів.

Дійсні значення параметрів системи управління практично завжди відрізняються від розрахункових. Це може викликатися неточністю виготовлення окремих елементів, зміною параметрів в процесі зберігання і експлуатації, зміною зовнішніх умов і т. д. Зміна параметрів може привести до зміни статичних і динамічних властивостей системи. Цю обставину бажано врахувати заздалегідь в процесі проектування і налаштування системи.

Під чутливістю розуміється властивість асинхронного електроприводу змінювати процеси при зміні первинних параметрів. Центральне місце тут



займають функції чутливості, що представляють собою частинні похідні від величин або процесів за параметрами або за функціями відхилень.

Встановлено, що асинхронний двигун і силовий напівпровідниковий перетворювач мають властивість повної керованості. Отже, виконаний на їх основі розімкнутий електропривод буде мати властивість повної керованості.

Запропоновано використовувати термін «порядок керованості», який при східчастих сигналах управління і нульових початкових умовах збігається з молодшим ступенем розкладання законів зміни фазових координат електропривода в ряд Маклорена.

Показано, що розімкнена система «силовий напівпровідниковий перетворювач – асинхронний двигун» по напругам фаз статора має перший порядок керованості, по струмам фаз статора і електромагнітному моменту – другий, по потокозчепленню ротора і кутовій швидкості ротора – третій, а за кутом повороту ротора – четвертий.

За допомогою математичного опису узагальненої електричної машини проведено дослідження спостережливості струмів короткозамкненого ротора асинхронного двигуна. Отримані вирази не підлягають безпосередньому вимірюванню фазних струмів короткозамкненого ротора. В якості змінних в цих виразах фігурують напруги фаз статора, струми фаз статора і їх похідні.

Можливість спостерігати струми короткозамкненого ротора дозволить здійснювати ідентифікацію параметрів асинхронного електроприводу і реалізовувати алгоритми частотного управління, включаючи векторне управління, без датчиків магнітного поля.

Запропоновано структуру пристрою генерації функцій чутливості розімкненого асинхронного електроприводу, що дозволяє оцінити вплив відхилень параметрів на процеси і характеристики електроприводу.

**У четвертому розділі** здійснена постановка задача ідентифікації системних властивостей асинхронного електроприводу.

Для ефективного управління асинхронним двигуном, що працює в складі частотно-регульованого електроприводу, необхідно знати поточні значення його параметрів – таких як активні опори й індуктивності фаз обмоток статора і ротора, взаємна індуктивність, сумарний момент інерції рухомих частин і статичний момент.

Перераховані параметри в процесі функціонування електроприводу можуть змінюватися в силу багатьох причин, наприклад, таких, як нагрівання та охолодження обмоток, зміна стану магнітного кола і інші. Таким чином, для реалізації більш точних алгоритмів управління, що забезпечують ефективне енерго- і ресурсозбереження, необхідна оцінка (ідентифікація) перерахованих параметрів.

Безпосередньому спостереженню і вимірюванню у трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором підлягають керовані процеси – струми фаз обмотки статора  $i_{1A}(t)$ ,  $i_{1B}(t)$ ,  $i_{1C}(t)$ , напруги фаз обмотки статора  $u_{1A}(t)$ ,  $u_{1B}(t)$ ,  $u_{1C}(t)$ , кутова швидкість  $\omega(t)$  і кутове

прискорення  $\omega'(t)$ . При побудові алгоритмів управління частотнорегульованого асинхронного електроприводу широко використовується математичний опис узагальненої машини. В зв'язку з цим невід'ємною частиною систем управління подібних електроприводів є перетворювач координат, що дозволяє переводити параметри трифазного асинхронного двигуна у величини узагальненої електричної машини і навпаки. Тому при ідентифікації параметрів будемо користуватися математичним описом узагальненої електричної машини.

Таким чином, спостережуваними і керованими процесами є струми  $i_{1d}(t)$ ,  $i_{1q}(t)$  і напруги  $u_{1d}(t)$ ,  $u_{1q}(t)$  фаз обмотки статора узагальненої машини, кутова швидкість  $\omega(t)$  і кутове прискорення  $\omega'(t)$ . При цьому оцінки підлягають такі параметри узагальненої машини: активні опори фаз обмоток статора  $R_1$  і ротора  $R_2$ , індуктивності фаз обмоток статора  $L_1$  і ротора  $L_2$  взаємна індуктивність  $M_m$ , сумарний момент інерції рухомих частин  $J_\Sigma$  і статичний момент  $M_c$ .

У **п'ятому розділі** здійснено техніко-економічне обґрунтування виконаних досліджень. Розраховано оціночні результати вкладу магістра у наукові дослідження по тематиці кваліфікаційної роботи магістра.

У **шостому розділі** наведено результати аналізу з охорони праці, а саме аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, заходи щодо забезпечення безпечних умов праці, розглянуто дії при надзвичайних ситуаціях.

## ВИСНОВКИ

Сучасне діагностування електроприводів здійснюється шляхом вимірювання та контролю кількісних і якісних значень параметрів електроприводу, аналізом і обробкою їх результатів. Різноманітність електроприводів визначила велику кількість методів і засобів діагностування, що відрізняються способами реалізації, конструктивним виконанням і розташуванням щодо електроприводу, ступенем автоматизації і універсальності, принципами впливу на електропривод, формою обробки та подання інформації про стан об'єкта, режимами роботи і рядом інших ознак.

До апаратних засобів діагностування відносять прилади, пульти, стенди та спеціальні обчислювальні пристрої. Апаратні засоби, об'єднані з електроприводом конструктивно, називаються вбудованими. До них відносяться прилади для вимірювання струму, напруги, частоти, потужності, пристрої індикації, реле, світловипромінюючі діоди, пристрої контролю ізоляції та ін.

Зовнішні апаратні засоби виконуються окремо від електроприводу і підключаються до нього лише в процесі діагностування. Такими засобами є комбіновані прилади для вимірювання в колах постійного і змінного струму, тестери логічного стану, електронно-променеві та цифрові осцилографи, переносні вимірювальні комплекти і т.п.

Засоби діагностування називаються спеціалізованими, якщо вони призначені тільки для однотипних електроприводів, і універсальними, якщо призначені для різних по конструктивному рішенню і функціональному призначенню електроприводів. Останні технічно більш складні і включають в себе, як правило, обчислювальні машини з гнучкими пристроями керування і програмування.

Програмні засоби діагностування є програми, записані в пристрої пам'яті програмованих контролерів, мікропроцесорних систем керування електроприводами, керованих обчислювальних машин. Програми можуть забезпечувати діагностування електропривода в процесі використання його за прямим призначенням (робочі програми) або при короткочасному перериванні функціонування електроприводу (спеціальні випробувальні програми). Програмні засоби в поєднанні з апаратними утворюють програмно-апаратні засоби діагностування, які дозволяють вирішувати завдання самодіагностування електроприводу.

За ступенем автоматизації засоби можуть бути ручними, які вимагають участі оператора, автоматизованими (сигнатурні, логічні аналізатори), які вимагають участі оператора лише в підключенні їх до електроприводів і виборі режимів його діагностування, і автоматичними, вирішуваними завдання діагностування без участі оператора.

Залежно від форм обробки та подання інформації засоби діагностування можуть бути аналоговими, цифровими, аналого-цифровими.

Засоби діагностування можуть бути активними (при впливі тестового сигналу на електропривод і оцінки реакції на цей сигнал) і пасивними (виконують лише вимірювання, обробку та оцінку сигналів, що характеризують технічний стан електроприводу).

З усього різноманіття засобів діагностування найбільш перспективні і в міру впровадження в електроприводі мікропроцесорних пристроїв знаходять все більше застосування автоматичні програмно-апаратні цифрові засоби.

Сукупність засобів і об'єкта діагностування, що здійснює діагностування за правилами, встановленими відповідною нормативно-технічною документацією, являє собою систему діагностування.

## АНОТАЦІЯ

Огнев О. Г. Дослідження методів та автоматизованих пристроїв ідентифікації системних властивостей асинхронного електроприводу.

Магістерська робота за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ, 2020.

Магістерська кваліфікаційна робота складається з вступу, шести розділів, загальних висновків, переліку використаних джерел.

Загальний обсяг магістерської роботи становить 116 сторінок, в тому числі 21 таблиці по тексту, 24 рисунків по тексту, перелік використаних джерел із 29 найменувань на 3 сторінках.

Основні наукові результати магістерської роботи:

1. Запропоновано використовувати термін «порядок керованості», який при східчастих сигналах управління і нульових початкових умовах збігається з молодшим ступенем розкладання законів зміни фазових координат електропривода в ряд Маклорена.

2. Розроблена методика оцінки керованості асинхронного електроприводу. Показано, що розімкнена система «силовий напівпровідниковий перетворювач – асинхронний двигун» по напругам фаз статора має перший порядок керованості, по струмам фаз статора і електромагнітному моменту – другий, по потокозчепленню ротора і кутовій швидкості ротора – третій, а за кутом повороту ротора – четвертий.

3. Розроблена методика спостереження струмів короткозамкненого ротора, яка може бути реалізована за допомогою мікропроцесорної техніки з відповідною фільтрацією сигналів похідних фазних струмів статора. Комп'ютерне моделювання підтверджує, що при наявності інформації про параметри схеми заміщення фази асинхронного двигуна і  $\omega$  можемо з високою точністю спостерігати струми короткозамкненого ротора на підставі інформації про напруги  $u_{1d}$ ,  $u_{1q}$  і струмах  $i_{1d}$ ,  $i_{1q}$  фаз статора, отриманої шляхом безпосереднього вимірювання цих величин.

4. Запропоновано алгоритм функціонування та схему пристрою генерації функцій чутливості розімкненого асинхронного електроприводу, що дозволяє оцінити вплив відхилень параметрів на процеси і характеристики електроприводу.

5. Шляхом імітаційного моделювання підтверджено ефективність, працездатність і високу точність запропонованого методу ідентифікації і розробленого на його основі алгоритму. З використанням запропонованого методу розроблено функціональну схему пристрою ідентифікації параметрів асинхронного електроприводу.

Ключові слова: АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД,  
ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ, КЕРОВАНІСТЬ,  
СПОСТЕРЕЖУВАНІСТЬ, ОБ'ЄКТ КЕРУВАННЯ

## ANNOTATION

Ognev O.G. Research of methods and automated devices for identification of asynchronous electric drive system properties.

Master's thesis in specialty 141 – "Electricity, Electrical Engineering and Electromechanics", Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk, 2020.

Master's thesis consists of an introduction, six sections, general conclusions, a list of the used sources.

The total volume of the master's work is 116 pages, including 21 tables on the text, 24 figures on the text, the list of the used sources from 29 names on 3 pages.

The main scientific results of the master's thesis:

1. It is proposed to use the term "controllability order", which at step control signals and zero initial conditions coincides with the lower degree of decomposition of the laws of change of phase coordinates of the electric drive in the McLaren series.

2. The technique of an estimation of controllability of the asynchronous electric drive is developed. It is shown that the open system "power semiconductor converter - induction motor" has the first order of control over stator phase voltages, second order for stator phase currents and electromagnetic torque, third for rotor flux coupling and rotor angular velocity, and fourth for rotation angle.

3. A method for monitoring the currents of a short-circuited rotor, which can be implemented using microprocessor technology with appropriate filtering of signals of the derived phase currents of the stator. Computer simulation confirms that in the presence of information about the parameters of the phase substitution circuit of an induction motor and  $\omega$  we can observe with high accuracy the currents of the short-circuited rotor based on information about voltages  $u_{1d}$ ,  $u_{1q}$  and currents  $i_{1d}$ ,  $i_{1q}$  of the stator phases obtained by direct measurement of these values.

4. The algorithm of functioning and the scheme of the device of generation of functions of sensitivity of the open asynchronous electric drive that allows to estimate influence of deviations of parameters on processes and characteristics of the electric drive are offered.

5. The efficiency, efficiency and high accuracy of the proposed method of identification and the algorithm developed on its basis are confirmed by simulation modeling. Using the proposed method, a functional diagram of the device for identifying the parameters of the asynchronous electric drive is developed.

Keywords: ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE, IDENTIFICATION PARAMETERS, CONTROLLABILITY, OBSERVABILITY, CONTROL OBJECT

Огнев Александр Геннадійович

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ТА АВТОМАТИЗОВАНИХ ПРИСТРОЇВ  
ІДЕНТИФІКАЦІЇ СИСТЕМНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ  
АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ**

Підп. до друку

Формат 60×90/16

Офсетний друк

---

Умов. друк. арк. – 0,58

Тираж 1 прим.

Замовлення №

---

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