

ТЕОРЕТИЧНИЙ І НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ
ІНЖЕНЕРНОЇ АКАДЕМІЇ УКРАЇНИ

THEORETICAL AND APPLIED SCIENCE JOURNAL
ENGINEERING ACADEMY OF UKRAINE



В І С Н И К
ІНЖЕНЕРНОЇ АКАДЕМІЇ УКРАЇНИ
ВИПУСК 1

***BULLETIN OF ENGINEERING
ACADEMY OF UKRAINE***

Issue 1

Київ 2010 Kyiv

**ТЕОРЕТИЧНИЙ І НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ
ІНЖЕНЕРНОЇ АКАДЕМІЇ УКРАЇНИ**

**THEORETICAL AND APPLIED SCIENCE JOURNAL
ENGINEERING ACADEMY OF UKRAINE**

**Журнал друкує статті науковців вузів та установ
України, інших країн відповідно до рубрик:**

Авіаційна й космічна техніка
Військово-технічні проблеми
Геологія, видобування та переробка корисних
копалин
Інженерні проблеми агропромислового комплексу
Інформаційні системи, обчислювальна й електронна
техніка, системи зв'язку та приладобудування
Комунікації (транспортні системи та ін.)
Матеріалознавство
Машинобудування
Медична інженерія
Металургія
Нафтогазові технології
Охорона навколишнього середовища (інженерна
екологія) і ресурсозбереження
Стандартизація, метрологія і сертифікація
Будівництво і будіндустрія
Технологія легкої промисловості
Технологія харчової промисловості
Хімічні технології й інженерна біотехнологія
Економіка, право та керування в інженерній діяльності
Енергетика

Матеріали друкуються українською, російською або
англійською мовами.

Номер затверджено на засіданні Вченої ради
Кіровоградського національного технічного
університету

Протокол № 8 від 26.04.2010р
Вісник Інженерної академії України включений у
новий Перелік наукових фахових видань України, в
яких можуть публікуватися результати дисертаційних
робіт на здобуття наукових ступенів доктора і
кандидата наук в галузі технічних наук (Постанова
президії ВАК України від 14.04.2010 р. № 1-05/3)

Співзасновники:
Кіровоградський національний технічний
університет
Інженерна академія України
Університет внутрішніх справ

**Journal submits articles of researchers of universities
and institutions of Ukraine and other countries in
accordance with headings:**

Aviation and Space Engineering
Military and Engineering Problems
Geology, Mining and Processing of Minerals
Engineering Problems of Agroindustrial Complex
Information Systems, Computer and Electronic
Engineering, Communication Systems and Instrument
Engineering
Communications (Transport Networks and others)
Material Science
Mechanical Engineering
Medical Engineering
Metallurgy
Oil-and-Gas Technologies
Preservation of Environment (Ecological Engineering)
and Resource Saving
Standardisation, Metrology and Certification
Building and Construction Engineering
Technology of Light Industry
Technology of Food Industry
Chemical Technologies and Engineering Biotechnology
Economics, Law and Management in Engineering
Power Engineering

Materials are submitted in Ukrainian, Russian or English
languages.

The issue is approved at the meeting of Academic
Council of Kirovograd National Technical University

Protocol No. 8 dated 26.04.2010
Bulletin of Engineering academy of Ukraine is included
into the new List of Scientific special editions of
Ukraine, in which results of dissertation works may be
published for to be conferred with academic degrees of
doctor and candidate of sciences in the field of
engineering sciences (Decree of presidium of the
Ukraine HCC No. 1-05/3 dated 14.04.2010)

Cofounders:
Kirovograd National Technical University

Engineering Academy of Ukraine
University of Internal Affairs

ISBN 5-7763-8361-7

Редакційна колегія:

Головний редактор – д.т.н., проф. **В.П. Квасніков**
Відповідальний секретар – к.т.н. **В.І. Савченко**,
Редактори – **К.С. Бабіч, А.В. Дзюбаненко**

Члени редколегії:

А.І. Бабушкін - д.т.н., проф. (авіаційна і космічна техніка),
Л.Р. Вишняков – д.т.н.(матеріалознавство)
Р.Б. Гевко - д.т.н., проф. (машинобудування),
М.М. Гіроль - д.т.н., проф. (комунікації, транспортні системи та ін.),
А.М. Золотарьов - д.е.н., проф. (економіка, право і управління в інженерній справі),
Л.В. Коломієць – д.т.н., проф.. (стандартизація, метрологія і сертифікація),
В.І. Литвиненко - д.х.н. (хімічні технології та інженерна біотехнологія),
А.П. Мельник - д.т.н., проф. (нафтогазові тех..і),
В.М. Мельник - д.т.н., проф. (геологія, добування та переробка корисних копалин),
Й.С. Мисак - д.т.н., проф. (енергетика),
Ф.М. Муравченко - член-кор. НАНУ, д.т.н., проф. (авіаційна і космічна техніка),
О.О. Панасенко - д.т.н., проф. (інформаційні системи, обчислювальна й електронна техніка, системи зв'язку та приладобудування),
О.К. Тришин - академік УААН, д.с/г.н., проф. (інженерні проблеми АПК),
В.М. Сало – д.т.н., проф. (інженерні проблеми АПК)
В.В. Соловей - д.т.н., проф. (охорона навколишнього середовища і ресурсозбереження),
В.І. Ступа - д.т.н., проф. (технологія легкої промисловості),
М.І. Хвисьюк - д.м.н., проф. (медична інженерія),
М.І. Черновол – член-кор. УААН, д.т.н., проф. (матеріалознавство),
В.В. Федоренко - д.м.н., проф. (інформаційні системи, обчислювальна й електронна техніка, системи зв'язку та приладобудування)
О.Л. Шагін - д.т.н., проф. (будівництво і будіндустрія),
Є.П. Шольц-Куліков - д.т.н., проф. (технологія харчової промисловості),
С.Л. Ярошевський - д.т.н., проф. (металургія)

Підписано до друку 28.04.2010р.

Ціна договірної

Адреса редакції: просп. Космонавта Комарова, 1,
корп. 11, кімн. 402, м. Київ, 03680, Україна
Тел.: +38(044)406-71-58
E-mail: kvp@nau.edu.ua

Editorial board:

Editor-in-chief – Dr. of Eng., Prof. **V.P. Kvasnikov**
Executive secretary – Cand. of Eng. **V.I. Savchenko**,
Editors – **K.S. Babich, A.V. Dzubanenko**

Members of editorial board:

A.I. Babushkyn – Dr. of Eng., Prof. (Aviation and Space Engineering),
L.R. Vyshniakov - Dr. of Eng (Material Science)
R.B. Gevko – Dr. of Eng., Prof. (Mechanical Engineering),
M.M. Giroł – Dr. of Eng., Prof. (Communications, Transport Networks and others),
A.M. Zolotaryov – Dr. of Econ., Prof. (Economics, Law and Management in Engineering),
L.V. Kolomiets – Dr. of Eng., Prof. (Standardisation, Metrology and Certification),
V.I. Lytvynenko – Dr. of Chem. (Chemical Technologies and Engineering Biotechnology),
A.P. Melnyk – Dr. of Eng., Prof. (Oil-and-Gas Technologies),
V.M. Melnyk – Dr. of Eng., Prof. (Geology, Mining and Processing of Minerals),
I.S. Mysak – Dr. of Eng., Prof. (Power Engineering),
F.M. Muravchenko – A corresponding-member of NAS, Dr. of Eng., Prof. (Aviation and Space Engineering),
O.O. Panasenko – Dr. of Eng., Prof. (Information Systems, Computer and Electronic Engineering, Communication Systems and Instrument Engineering),
O.K. Tryshyn – An Academician of UAAS, Dr. of Agr., Prof., (Engineering Problems of Agroindustrial Complex)
V.M.Salo - Dr. of Eng., Prof. (Engineering problems of agricultural Complex))
V.V. Solovey – Dr. of Eng., Prof. (Preservation of Environment (Ecological Engineering) and Resource Saving),
V.I. Stupa – Dr. of Eng., Prof. (Technology of Light Industry),
M.I. Khvysuk – Dr. of Med., Prof. (Medical Engineering),
M.I. Chernovol – A corresponding-member of UAAS, Dr. of Eng., Prof. (Material Science),
V.V. Fedorenko - Dr. of Eng., Prof. (Information Systems, Computer and Electronic Engineering, Communication Systems and Instrument Engineering)
O.L. Shagin – Dr. of Eng., Prof. (Building and Construction Engineering),
Ye.P. Sholts-Kulikov – Dr. of Eng., Prof. (Technology of Food Industry),
S.L. Yaroshevsky – Dr. of Eng., Prof. (Metallurgy)

Signed for printing on 28.04.2010p.
Agreed price
Address of Editorial Staff: Cosmonaut Komarov St., 1,
build. 11, 402 room, Kyiv, 03680, Ukraine
Tel.: +38(044)406-71-58
E-mail: kvp@nau.edu.ua

Зміст

Авіаційна й космічна техніка

Бабушкин А.А. ОСНОВЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ ЗАДАЧ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ СОЗДАНИИ СБОРОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ В САМОЛЕТОСТРОЕНИИ	8
Геологія, видобування та переробка корисних копалин	
Мисак Й.С., Івасик Я.Ф., Заяць М.Ф., Лашковська Н.М. ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПУ ЗНОШЕННЯ КУЛЬ КУЛЬОВОГО БАРАБАННОГО МЛИНА (Ш-50А)	13
Мисак Й.С., Омеляновський П.Й. ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА РОЗМЕЛОЗДАТНОСТІ ВУГІЛЛЯ МАРОК АШ, ПА, Т РОЗРАХУНКОВИМ МЕТОДОМ	18
Омеляновський П.Й., Мисак Й.С. ВИТРАТИ КУЛЬ КУЛЬОВИХ БАРАБАННИХ МЛИНІВ НА РОЗМЕЛ ТВЕРДОГО ПАЛИВА	22
Інформаційні системи, обчислювальна й електронна техніка, системи зв'язку та приладобудування	
Бабич Л.О. ЛОКАЛЬНАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СЕТЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА НА БАЗЕ CAN	28
Безвесільна О.М., Коваль А.В., Гура Є.В. СТАТИЧНІ ТА ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ПОХИБКИ НОВОГО ДВОГІРОСКОПНОГО ГРАВИМЕТРА	32
Безвесільна О.М., Остапчук А.А., Кондратюк Ж.М. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ БАЛІСТИЧНОГО ГРАВИМЕТРА	39
Безвесільна О.М., Подчашинський Ю.О. ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЕЛИЧИН НА ОСНОВІ ДВОВИМІРНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ОБ'ЄКТИ ВИМІРЮВАНЬ	42
Бурченко В.Л., Губар В.Г. ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ПЛАНУВАННЯ НА БАЗІ ПОСТІЙНО ПЛАНУЮЧОГО АГЕНТА	49
Варфоломєєв А.Ю., Дзюба В.Г., Савін В.В. МЕТОДИ АВТОМАТИЧНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА РУХОМИМИ ОБ'ЄКТАМИ	53
Гумен М.Б., Батіна О.А., Гумен Т.Ф. АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ПЕРЕТВОРЕННЯ АУДІОВІЗУАЛЬНИХ ДАНИХ	58
Квасніков В.П., Вохмянін М.М. КЕРУВАННЯ АДАПТИВНИМ МОБІЛЬНИМ РОБОТОМ ПО ЗАДАНИХ ОПЕРАТОРОМ КООРДИНАТАХ	64
Квасніков В.П., Покидько Л.М. ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ ДЕТАЛЕЙ	68
Коломієць Л.В., Джугурян Л.О. КОМПЛЕКСНА МОДУЛЬНА ОЦІНКА ЗНАТЬ З ВИКОРИСТАННЯМ АДАПТИВНИХ НАВЧАЛЬНО-КОНТРОЛЮЮЧИХ СИСТЕМ	72
Куц Ю.В., Гопієнко А.В. СПОСІБ ПРИХОВАНОГО ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ	77
Лега Ю.Г., Гончаров А.В., Філіпов В.В. ОЦІНКА ПАРАМЕТРА ПОСТІЙНОГО СИГНАЛУ ПРИ УСЧЕНОМУ ОЦІНЮВАННІ ДИСПЕРСІЇ ЕКСЦЕСНОЇ ЗАВАДИ ДРУГОГО ТИПУ	81
Лисицьна Е.С. ПОВЫШЕНИЕ РАЗЛИЧИМОСТИ ДВОИЧНЫХ СИГНАЛОВ НА ФОНЕ	88

ИНТЕНСИВНОГО ШУМА	
Ляхов А.Л., Алёшин С.П.	93
СЛОЖНАЯ СОЦИОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТЬЮ	
Мелкумян В.Г., Малютенко Т.Л.	98
МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДУ КОРЕКЦІЇ КООРДИНАТНО-ЧАСОВИХ ВИЗНАЧЕНЬ В КОМБІНОВАНОМУ РЕЖИМІ	
Михнев С.С.	102
ФОРМИРОВАНИЕ ПОДХОДОВ К ПОСТРОЕНИЮ АТОМАТИЗИРОВАННОЙ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ ОБУЧЕНИЯ	
Михнева Г.П., Пешкуров Р.О.	105
ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОБХОДА ДЕТАЛЕЙ НА КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МАШИНАХ	
Палагін В.В., Куликов Д.В.	108
СУМІСНА ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ РАДІОСИГНАЛУ НА ТЛІ НЕГАУССІВСЬКИХ ЗАВАД	
Пепа Ю.В., Окоча С.В., Ільїн О.І.	114
РОБОТА СПІРАЛЬНИХ АНТЕН В МАЛОПОТУЖНИХ ГЕНЕРАТОРАХ РАДІОЗАВАД	
Рабчун А.О.	120
АНАЛІЗ СТАТИСТИКИ НАПАДІВ В СФЕРІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ	
Родінков В.І., Коваль А.М., Юр В.В.	124
НЕЗАТУХАЮЧІ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ КОЛИВАННЯ В ЕЛЕКТРОПРИВОДАХ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	
Филоненко С.Ф., Нимченко Т.В., Косицкая Т.Н.	128
МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ РАЗРУШЕНИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ РАСТЯЖЕНИЕМ	
Шквар Є.О.	134
ВЗАЄМОДІЯ ПРИМЕЖОВИХ ШАРІВ ЗІ СЛІДАМИ ЗА ПРИСТРОЯМИ РУЙНУВАННЯ ВЕЛИКОМАСШТАБНОЇ ТУРБУЛЕНТНОСТІ	
Шутко В.М., Кучерук О.О.	141
КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ БЕЗПЕКИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ	
Юдін О.К., Луцький М.Г., Вадясов К.А.	144
ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ КРИПТОГРАФІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ НА ОСНОВІ СИСТЕМ СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ	
Інженерні проблеми агропромислового комплексу	
Аулін В.В., Бобрицький В.М., Тихий А.А.	149
ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ САМОЗАГОСТРЮВАННЯ, МІЦНОСТІ І ЗНОШУВАННЯ РІЗАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ РОГМ ТА НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ ДОВГОВІЧНОСТІ	
Ведміцький Ю.Г., Кухарчук В.В., Коваль А.М.	155
МАТЕМАТИЧНА І ЕЛЕКТРИЧНІ МОДЕЛІ МЕХАНІЧНОЇ ЧАСТИНИ ШНЕКОВИХ ДИФУЗІЙНИХ АПАРАТІВ	
Комунікації (транспортні системи та ін.)	
Белятынский А.А., Кужель Н.В.	161
МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ОСНОВАНИИ ТЕОРИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ С УЧЕТОМ ЭКОНОМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ	
Кривенко Ю.Н.	168
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОТОКОВ ЖИДКОСТИ МАЛОЙ ГЛУБИНЫ	
Найш Н.М., Бычков В.В.	174
О НАДЕЖНОСТИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПРОИЗВОДСТВА ОАО «ХК «ЛУГАНСКТЕПЛОВОЗ»	
Найш Н.М., Колегов О.В., Бешлык Д.Е., Загородний О.Ю.	178

ИССЛЕДОВАНИЕ И ФОРМИРОВАНИЕ ПОДХОДОВ К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕВОЗОЧНЫМ ПРОЦЕССОМ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Чернецька Н.Б., Зайчук Т.М., Сапельников Д.В. 182
КОНТРЕЙЛЕРНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ – ОДИН З ОСНОВНИХ ВИХОДІВ З КРИЗИ

Чернецька Н.Б., Кваченюк С.Ф. 185
УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОЇЗДОУТВОРЕННЯ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Матеріалознавство

Ковальчук В.В., Задорожний А.В., Дидурик А.В., Подостроец К.А., Чистяков Е.С. 190
ОПТИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЕТЕРОПЕРЕХОДА, СОДЕРЖАЩЕГО ПЛЕНОЧНУЮ ПОДСИСТЕМУ

Машинобудування

Замота Т.Н., Аулин В.В. 196
ВЛИЯНИЕ ПЕРЕКОСА ПОРШНЯ В ГИЛЬЗЕ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИХ КОНТАКТА

Кованько В.В., Древецький В.В., Кованько О.В. 200
КОНЦЕПТУАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО СИНТЕЗУ БІОМЕХАТРОННИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ПРОКЛАДАННЯ ПІДЗЕМНИХ КОМУНІКАЦІЙ

Кучерук В.Ю., Кулаков П.І., Денищук І.О., Дудатьєв І.А. 205
ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОТОРНОГО КОЛА АСИНХРОННИХ МАШИН З ВИКОРИСТАННЯМ ФУНКЦІЙ ЧУТЛИВОСТІ

Титарчук А.О. 210
ВПЛИВ МАХОВИКА НА ДИНАМІЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ В ЛАНКАХ МЕХАНІЗМІВ МАШИНИННИХ АГРЕГАТІВ З ЕЛЕКТРОДВИГУНОМ

Охорона навколишнього середовища (інженерна екологія) і ресурсозбереження

Борисов Б.М., Джапарова А.М. 215
КОНЦЕПЦИЯ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕСУРСΟΣБЕРЕЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ВОДООБЕСПЕЧЕНИЯ, ТЕХНОЛОГИЯХ ВОДООЧИСТКИ

Тищенко О.І. 218
УПРАВЛІННЯ ВОДОГОСПОДАРСЬКО-МЕЛІОРАТИВНИМ КОМПЛЕКСОМ УКРАЇНИ

Стандартизація, метрологія і сертифікація

Мухаровський М.Я., Ахмадов О.А., Ахмадов С.О., Лампко О.Л., Сурду М.М., Сурду Д.М. 222
ОСОБЛИВОСТІ ВІДТВОРЕННЯ ТА ПЕРЕДАЧІ ОДИНИЦЬ ІНДУКТИВНОСТІ ТА ТАНГЕНСА КУТА ВТРАТ

Зенкін А.С., Годік В.О., Федін С.С., Ковальов О.І. 228
ЯКІСНА ОЦІНКА РОЗПІЗНАВАННЯ СТАНУ ПОЖЕЖОБЕЗПЕЧНОСТІ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Зенкін М.А., Здельнік З.А. 234
ВИКОРИСТАННЯ МОДУЛЬНИХ ПРИНЦИПІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ НАСОСНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ЕТАПІ ПРОЕКТУВАННЯ

Квасніков В.П., Ігнатенко П.Л. 240
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗПОДІЛУ ПОХИБОК ВИМІРЮВАННЯ

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОТОРНОГО КОЛА АСИНХРОННИХ МАШИН З ВИКОРИСТАННЯМ ФУНКЦІЙ ЧУТЛИВОСТІ

Вінницький національний технічний університет, e-mail: kucheruk@mail.ru

Запропонований метод ідентифікації параметрів роторного кола асинхронних машин за допомогою теорії чутливості і проведено його дослідження. Метод дозволяє з малою похибкою ідентифікувати взаємну індуктивність між статором і ротором, а ідентифіковані значення активного опору і індуктивності обмоток ротора використати як їх початкову оцінку при ідентифікації іншими методами.

Ключові слова: асинхронна машина, ротор, статор, функція чутливості.

Вступ

Трифазні асинхронні машини (АМ) загального призначення є найбільш масовою продукцією електромашинобудування. Асинхронні електроприводи складають близько 95% загальної кількості електроприводів, а АМ споживають більше половини електроенергії, що виробляється у нашій країні. Тому ефективна оцінка показників якості цих двигунів в процесі виробництва і після їх виготовлення (приймально-здавальні випробування), своєчасна діагностика причин розладу технологічного процесу є актуальним завданням.

При випробовуваннях АМ неможливо провести пряме вимірювання параметрів роторного кола (активний опір обмоток ротору R_r , індуктивність обмоток ротору L_r , взаємна індуктивність між обмотками статора і ротора L_m). Тому для визначення цих параметрів користуються методами ідентифікації. До цих методів відносяться методи затухання постійного струму в статорному колі і гармонічних коливань, які виконуються на нерухомій машині, а також методи, які використовують режими пуску та самогальмування АМ. Існуючі методи мають ряд недоліків, зв'язаних із труднощами врахування впливу прискорення, вирішення проблеми мультимодальності цільової функції ідентифікації, складності реалізації та іншими факторами.

Постановка завдання

Науковому дослідженню підлягають методи теорії чутливості при ідентифікації роторних параметрів короткозамкнених АМ звичайного виконання.

Аналіз досліджень і публікацій

Окремими питаннями визначення параметрів роторного кола асинхронних машин займаються провідні вчені України та зарубіжжя: В.О.Поджаренко, Н.А.Андрєєв, А.В.Скилягин, В.А.Веников, В.Г.Бугров та ін.

Основна частина

Як вихідну математичну модель АМ використаємо систему диференціальних рівнянь [1, 2]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{di_{s\alpha}(t)}{dt} = k[L_r(U_{s\alpha}(t) - R_s i_{s\alpha}(t)) + L_m(R_r i_{r\alpha}(t) + \omega_r(t)(L_r i_{r\beta}(t) + L_m i_{s\beta}(t)))] \\ \frac{di_{s\beta}(t)}{dt} = k[L_r(U_{s\beta}(t) - R_s i_{s\beta}(t)) + L_m(R_r i_{r\beta}(t) - \omega_r(t)(L_r i_{r\alpha}(t) + L_m i_{s\alpha}(t)))] \\ \frac{di_{r\alpha}(t)}{dt} = k[-L_m(U_{s\alpha}(t) - R_s i_{s\alpha}(t)) - L_s(R_r i_{r\alpha}(t) + \omega_r(t)(L_r i_{r\beta}(t) + L_m i_{s\beta}(t)))] \\ \frac{di_{r\beta}(t)}{dt} = k[-L_m(U_{s\beta}(t) - R_s i_{s\beta}(t)) - L_s(R_r i_{r\beta}(t) - \omega_r(t)(L_r i_{r\alpha}(t) + L_m i_{s\alpha}(t)))] \\ \frac{d\omega_r(t)}{dt} = \frac{p}{J} \cdot (M_{em}(t) - M_0(\omega_r(t))); \quad k = \frac{1}{L_s L_r - L_m^2}; \\ M_{em}(t) = \frac{mp}{2} \cdot L_m(i_{s\beta}(t)i_{r\alpha}(t) - i_{r\beta}(t)i_{s\alpha}(t)), \end{array} \right. \quad (1)$$

де $U_{s\alpha}(t) = \sqrt{2}U_m \cos(\omega t)$; $U_{s\beta}(t) = \sqrt{2}U_m \sin(\omega t)$; U_m - напруга мережі живлення; ω - кругова частота мережі живлення; $i_{s\alpha}, i_{s\beta}, i_{r\alpha}, i_{r\beta}$ - струми в обмотках статора і ротора; R_s, R_r - активні опори статора і ротора; ω_r - кутова швидкість обертання ротора; L_s, L_r - індуктивності в обмотках статора і ротора; L_m - взаємна індуктивність між обмотками статора і ротора; M_{em} - електромагнітний момент.

У широкому діапазоні кутових швидкостей момент опору (тертя у підшипниках та аеродинамічний опір) M_0 зв'язаний із ω_r нелінійною залежністю [3]:

$$M_0(\omega_r) = \text{sgn}(\omega_r) \cdot \left[M_i + (M_{\bar{m}} - M_i) \cdot \left(\frac{\omega_r}{\omega_{\bar{m}}} \right)^2 \right], \quad (2)$$

де M_i - пусковий момент; $M_{\bar{m}}$ - момент опору при номінальному навантаженні; $\omega_{\text{ном}}$ - номінальна кутова швидкість; $\text{sgn}(\dots)$ - функція знаку аргументу.

Визначимо вектор стану АМ:

$$\mathbf{I} = [I_1; I_2; I_3; I_4; I_5]^T = [i_{s\alpha}; i_{s\beta}; i_{r\alpha}; i_{r\beta}; \omega_r]^T. \quad (3)$$

Запишемо параметри ротора АМ у вигляді вектора:

$$\mathbf{A} = [A_1; A_2; A_3]^T = [R_r; L_r; L_m]^T. \quad (4)$$

Використавши (3) та (4), запишемо математичну модель АМ (1) у формі $\frac{d}{dt}\mathbf{I} = \mathbf{F}(\mathbf{I}, \mathbf{A}, t)$:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{A_2(U_{s\alpha} - R_s I_1) + A_3(A_1 I_3 + I_5(A_2 I_4 + A_3 I_2))}{L_s A_2 - A_3^2} \\ \frac{A_2(U_{s\beta} - R_s I_2) + A_3(A_1 I_4 - I_5(A_2 I_3 + A_3 I_1))}{L_s A_2 - A_3^2} \\ \frac{-A_3(U_{s\alpha} - R_s I_1) - L_s(A_1 I_3 + I_5(A_2 I_4 + A_3 I_2))}{L_s A_2 - A_3^2} \\ \frac{-A_3(U_{s\beta} - R_s I_2) - L_s(A_1 I_4 - I_5(A_2 I_3 + A_3 I_1))}{L_s A_2 - A_3^2} \\ \frac{p}{J} \cdot \left(\frac{mp}{2} \cdot A_3 \cdot (I_2 I_3 - I_1 I_4) - M_0(I_5) \right) \end{bmatrix} = [F_1; F_2; F_3; F_4; F_5]^T. \quad (5)$$

Тоді задача ідентифікації внутрішніх параметрів АМ полягає в знаходженні значень вектору \mathbf{A} при спостереженні неповного вектору стану \mathbf{I} .

Для i -тої компоненти вектору \mathbf{I} з достатньою для практики точністю можна прийняти:

$$I_i(t) = I_i^i(t) + \sum_{j=1}^l u_{ij}(t) \cdot a_j, \quad (6)$$

де $I_i^i(t)$ - номінальний рух системи (5), який зумовлений номінальними значеннями параметрів \mathbf{A}^i ; $u_{ij}(t)$ - функція чутливості координати $I_i(t)$ до зміни параметру A_j ; l - розмірність вектору \mathbf{A} ;

$$\mathbf{a} = \mathbf{A}^i - \mathbf{A}. \quad (7)$$

Функції чутливості $u_{ij}(t)$ визначаються як:

$$\frac{\partial u_{ij}(t)}{\partial t} = \sum_{\mu=1}^n \left(\frac{\partial F_i}{\partial I_\mu} \right)^i \cdot u_{\mu i}(t) + \left(\frac{\partial F_i}{\partial A_j} \right)^i, \quad u_{ij}(0) = 0. \quad (8)$$

В матричній формі запису рівняння (6), (8) будуть мати вигляд:

$$\mathbf{I}(t) = \mathbf{I}^i(t) + \mathbf{u}(t) \cdot \mathbf{a}; \quad (9)$$

$$\frac{\partial \mathbf{u}(t)}{\partial t} = \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{I}} \cdot \mathbf{u}(t) + \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{A}}; \quad \mathbf{u}(0) = 0. \quad (10)$$

Номинальний рух $\mathbf{I}^i(t)$ визначиться із рівняння

$$\frac{d\mathbf{I}^i(t)}{dt} = \mathbf{F}(\mathbf{I}^i, \mathbf{A}^i, t), \quad \mathbf{I}^i(0) = 0. \quad (11)$$

В процесі спільного розв'язку рівнянь (10) і (11) розраховується номинальний рух $\mathbf{I}^i(t)$ і матриця чутливостей $\mathbf{u}(t)$ в множині точок t_1, t_2, \dots, t_r . Далі, на основі отриманих даних про $\mathbf{I}^i(t)$, $\mathbf{u}(t)$ і результатів спостережень $\mathbf{I}(t)$ в точках t_1, t_2, \dots, t_r визначаються невідомі значення всіх компонент вектору \mathbf{a} .

Використаємо квадратичний критерій якості ідентифікації

$$Q = \sum_{k=1}^r \left[I_i^*(t_k) - I_i^i(t_k) - \sum_{j=1}^l u_{ij}(t_k) \cdot a_j \right]^2 \quad (12)$$

і необхідну умову мінімуму Q

$$\frac{dQ}{da_\mu} = 2 \cdot \sum_{i=1}^s \sum_{k=1}^r \left[I_i^*(t_k) - I_i^i(t_k) - \sum_{j=1}^l u_{ij}(t_k) \cdot a_j \right] \cdot u_{i\mu}(t_k) = 0; \quad \mu = 1, 2, \dots, l, \quad (13)$$

де $\mathbf{I}^* = [i_{\alpha\alpha}; i_{\beta\beta}; \omega_r]^T$ - компоненти вектору стану \mathbf{I} , які вимірюються; s - кількість вимірних параметрів, що забезпечують можливість знаходження всіх компонент вектору \mathbf{a} із системи лінійних рівнянь:

$$\sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^l \left[\sum_{k=1}^r u_{ij}(t_k) \cdot u_{i\mu}(t_k) \right] \cdot a_j = \sum_{i=1}^s \sum_{k=1}^r \left[I_i^*(t_k) - I_i^i(t_k) \right] \cdot u_{i\mu}(t_k), \quad (14)$$

$$\mu = 1, 2, \dots, l.$$

Часткові похідні $\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{I}^*}$, $\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{A}}$ та функції чутливості розраховуються як в [4].

Система (14) запишеться:

$$\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \left[\sum_{k=1}^r u_{ij}(t_k) \cdot u_{i\mu}(t_k) \right] \cdot a_j = \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^r \left[I_i^*(t_k) - I_i^i(t_k) \right] \cdot u_{i\mu}(t_k), \quad (15)$$

$$\mu = 1, 2, \dots, l.$$

Після певних математичних перетворень систему рівнянь (15) можна записати:

$$\left\{ \begin{aligned} & \left[\sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^r u_{i1}^2(t_k) \right] \cdot a_1 + \left[\sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^r u_{i2}(t_k) \cdot u_{i1}(t_k) \right] \cdot a_2 + \left[\sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^r u_{i3}(t_k) \cdot u_{i1}(t_k) \right] \cdot a_3 = \\ & \quad = \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^r \left[I_i^*(t_k) - I_i^i(t_k) \right] \cdot u_{i1}(t_k); \\ & \left[\sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^r u_{i1}(t_k) \cdot u_{i2}(t_k) \right] \cdot a_1 + \left[\sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^r u_{i2}^2(t_k) \right] \cdot a_2 + \left[\sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^r u_{i2}(t_k) \cdot u_{i3}(t_k) \right] \cdot a_3 = \\ & \quad = \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^r \left[I_i^*(t_k) - I_i^i(t_k) \right] \cdot u_{i2}(t_k); \\ & \left[\sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^r u_{i1}(t_k) \cdot u_{i3}(t_k) \right] \cdot a_1 + \left[\sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^r u_{i2}(t_k) \cdot u_{i3}(t_k) \right] \cdot a_2 + \left[\sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^r u_{i3}^2(t_k) \right] \cdot a_3 = \\ & \quad = \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^r \left[I_i^*(t_k) - I_i^i(t_k) \right] \cdot u_{i3}(t_k). \end{aligned} \right. \quad (16)$$

В матричній формі систему рівнянь (16) можна записати:

$$\mathbf{X} \cdot \mathbf{a} = \mathbf{Y}. \quad (18)$$

Розв'язок системи (17) відносно елементів вектору \mathbf{a} матиме вигляд:

$$\begin{cases}
 a_X = X_{3,1}X_{1,2}X_{2,3} + X_{1,1}X_{3,3}X_{2,2} + X_{1,3}X_{2,1}X_{3,2} - X_{1,1}X_{3,2}X_{2,3} - X_{1,2}X_{2,1}X_{3,3} - X_{1,3}X_{3,1}X_{2,2}; \\
 a_1 = \frac{Y_2X_{1,3}X_{3,2} - X_{2,3}Y_1X_{3,2} - X_{3,3}X_{1,2}Y_2 + X_{3,3}Y_1X_{2,2} + Y_3X_{1,2}X_{2,3} - Y_3X_{1,3}X_{2,2}}{a_X}; \\
 a_2 = \frac{Y_3X_{2,1}X_{1,3} - X_{2,1}Y_1X_{3,3} + X_{3,3}X_{1,1}Y_2 - X_{1,1}Y_3X_{2,3} - Y_2X_{3,1}X_{1,3} + Y_1X_{2,3}X_{3,1}}{a_X}; \\
 a_3 = \frac{Y_2X_{3,1}X_{1,2} - X_{1,1}Y_2X_{3,2} - X_{1,2}X_{2,1}Y_3 + X_{1,1}Y_3X_{2,2} + Y_1X_{2,1}X_{3,2} - Y_1X_{3,1}X_{2,2}}{a_X}.
 \end{cases} \quad (19)$$



Рис. 1. Алгоритм ідентифікації роторних параметрів ЕМ за допомогою функцій чутливості

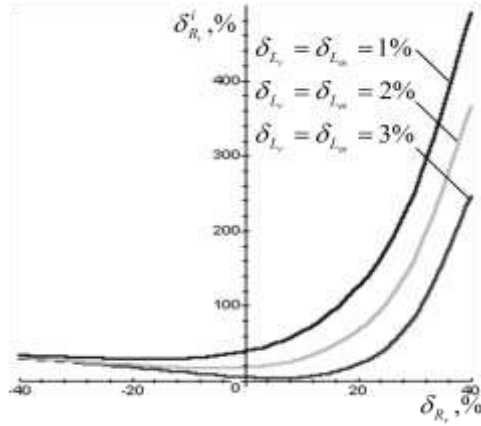


Рис. 2. Залежність відносної похибки ідентифікації R_r $\delta_{R_r}^i$ від відносного відхилення δ_{R_r}

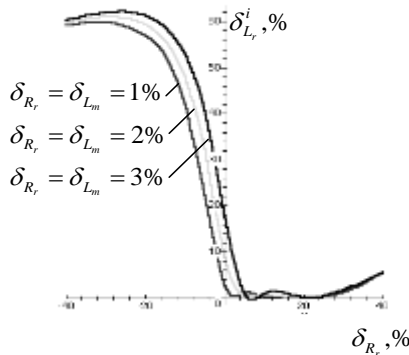


Рис. 3. Залежність відносної похибки ідентифікації L_r $\delta_{L_r}^i$ від відносного відхилення δ_{R_r}

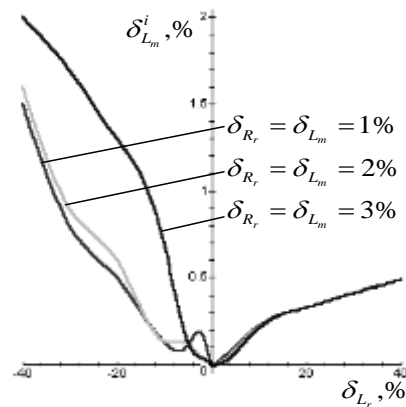


Рис. 4. Залежність відносної похибки ідентифікації L_m $\delta_{L_m}^i$ від відносного відхилення δ_{L_r}

Реальні значення параметрів розраховуються як

$$\mathbf{A} = \mathbf{A}^i + \mathbf{a}. \quad (20)$$

Із використанням розробленого математичного апарату ідентифікації можна запропонувати алгоритм ідентифікації, зображений на рис. 1.

Дослідження розробленого методу ідентифікації проведено за допомогою його моделювання методами чисельного експерименту. Алгоритм моделювання здійснено в такій послідовності:

1. Генерація значень $\mathbf{I}^i(t), \mathbf{u}^i(t)$ при номінальних значеннях параметрів R_r^i, L_r^i, L_m^i .

2. Генерація (імітація вимірювань) значень $\mathbf{I}^*(t), \mathbf{u}(t)$ при значеннях параметрів R_r, L_r, L_m із відносними відхиленнями:

$$\delta_{R_r} = \frac{R_r^i - R_r}{R_r^i} \times 100\%; \delta_{L_r} = \frac{L_r^i - L_r}{L_r^i} \times 100\%; \delta_{L_m} = \frac{L_m^i - L_m}{L_m^i} \times 100\%.$$

3. Здійснення розрахунків за формулами (17) - (20) з підрахунком відносних похибок ідентифікації:

$$\delta_{R_r}^i = \frac{|a_1|}{R_r} \times 100\%; \delta_{L_r}^i = \frac{|a_2|}{L_r} \times 100\%; \delta_{L_m}^i = \frac{|a_3|}{L_m} \times 100\%.$$

Дослідження алгоритму ідентифікації здійснено для АМ типу 4А71А4 з параметрами $p = 2, m = 3, R_s = 13.39$ Ом, $R_r = 15.08$ Ом, $L_m = 0.624$ Гн, $L_s = 0.663$ Гн, $L_r = 0.7015$ Гн, $J = 0.0011$ кгм². Результати досліджень наведені на рисунках 2 – 4. Аналіз результатів моделювання алгоритму ідентифікації за допомогою функцій чутливості показує:

1. Алгоритм ідентифікації працює досить швидко, оскільки в процесі ідентифікації необхідно проводити обчислення лише за формулами (17) – (20). Підрахунки $\mathbf{I}^i(t), \mathbf{u}^i(t)$ здійснюються попередньо.

2. Для оцінки невідомих параметрів не потрібно задавати їх початкові значення.

3. Залежності відносних похибок ідентифікації від відносних відхилень параметрів носять суттєво нелінійний характер. Це пояснюється мультимодальністю цільової функції ідентифікації і великою жорсткістю математичної моделі ЕМ.

4. Найменшу похибку ідентифікації даний алгоритм дає при ідентифікації взаємної індуктивності L_m . Похибки ідентифікації R_r та L_r мають більші значення. Це вказує на доцільність використання запропонованого методу для поетапної ідентифікації параметрів R_r та L_r з іншими методами ідентифікації, наприклад, з методами інваріантного поглиблення [5], які можуть реалізовувати поточний контроль похибки та сходи мості процесу ідентифікації [6]. Ідентифіковані параметри R_r та L_r при цьому використовуються як початкова їх оцінка.

Висновки

Досліджений метод ідентифікації параметрів роторного кола асинхронних машин за допомогою теорії чутливості дозволяє з малою похибкою ідентифікувати взаємну індуктивність між статором і ротором, а ідентифіковані значення активного опору і індуктивності обмоток ротора використати як їх початкову оцінку при ідентифікації іншими методами.

Список літературних джерел

1. Поджаренко В.О., Кучерук В.Ю. До питання про ідентифікацію внутрішніх параметрів електричних машин. // Вісник Вінницького політехнічного інституту, №1(2), 1994, с.10-13.

2. Кучерук В.Ю. Огляд методів математичного моделювання електричних машин. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах.-1999.-№2.-с.17-23.

3. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах.- М.: Высш.шк., 1985.-536с.

4. Кучерук В.Ю. Про вибір робочих режимів електричної машини при визначенні її параметрів. //Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах, Хмельницький, №1, 1998, с.85-87.

5. Н.В. Андреев, В.А. Поджаренко, А.В. Скилягин Задача идентификации параметров электромеханической системы.//Автоматика, 1993, №3, с.32-37.

