

Основи теорії векторно-керованих електромеханічних систем змінного струму з кінематичною парою кочення
Основы теории векторно-управляемых электромеханических систем переменного тока с кинематической парой качения
Fundamentals of vector-controlled alternative current electromechanical systems with rolling pair kinematics

1. Номер державної реєстрації 0112U002404, номер реєстрації в університеті **2511-ф**.
2. **Науковий керівник** д.т.н., професор Пересада Сергій Михайлович, Пересада Сергей Михайлович, Peresada Sergei
3. **Суть розробки**, основні результати. (Трьома мовами: укр., рос., англ., обсягом не менше 1500-2000 знаків кожною мовою).

(укр.)

Розроблено узагальнені математичні моделі класу транспортних об'єктів з кінематичною парою кочення, що приводяться в рух векторно-керованими двигунами змінного струму. Розроблено нову концепцію керування координатами електромеханічних об'єктів з кінематичною парою кочення, що базується на основі декомпозиційного підходу і може бути загальнотеоретичною основою для розробки методів синтезу, які забезпечують вирішення основних задач керування тяговим моментом та вектором потокозчеплення, а також координатами транспортного об'єкта. Розроблено методи робастного та адаптивного векторного керування координатами приводних двигунів, які дозволяють вирішити проблему погіршення показників якості керування та енергетичної ефективності процесу електромеханічного перетворення енергії в умовах дії параметричних збурень. Розроблено методи енергоефективного керування моментом тягових двигунів змінного струму за рахунок впливу на модуль вектора потокозчеплення для досягнення максимізації співвідношення момент-струм та реалізації енергозощаджуючої функції "stop and go". Розвинуто теорію генерування електричної енергії в автономних системах з асинхронними генераторами, які мають ємнісне збудження.

Узагальнений теоретичний підхід дозволяє в уніфікованих системах векторного керування транспортних електромеханічних об'єктів забезпечити формування наперед заданих динамічних характеристик транспортних засобів; високу комфортність руху транспортних засобів; підвищення енергетичної ефективності в тягових та гальмівних режимах до 30 % у порівнянні з існуючими системами з параметричним керуванням, та до 10 % у порівнянні з існуючими транспортними системами на основі частотного керування; зниження втрат активної потужності до 20% від номінального рівня в умовах малих навантажень; економію електричної енергії на рівні 5 – 10 % за рахунок реалізації енергозощаджуючої функції «stop and go»; рух із максимальним тяговим зусиллям та запобігання виникнення режимів втрати зчеплення. В електромеханічних системах з асинхронними генераторами з самозбудженням забезпечується підвищення стійкості робочих режимів в умовах параметричних збурень.

(рос.)

Разработаны обобщенные математические модели класса транспортных объектов с кинематической парой качения, которые приводятся в движение векторно-управляемыми двигателями переменного тока. Разработана новая концепция управления координатами электромеханических объектов с кинематической парой качения, которая базируется на основе декомпозиционного подхода и может быть общетеоретической основой для разработки методов синтеза, обеспечивающих решение основных задач управления тяговим моментом и вектором потокозчепления, а также координатами транспортного объекта. Разработаны методы робастного и адаптивного векторного управления координатами приводных двигателей, которые позволяют решить проблему ухудшения показателей качества управления и энергетической эффективности процесса электромеханического преобразования энергии в условиях действия параметрических

возмущений. Разработаны методы энергоэффективного управления моментом тяговых двигателей переменного тока за счет воздействия на модуль вектора потокосцепления для достижения максимизации соотношения момент-ток и реализации энергосберегающей функции "stop and go". Развита теория генерации электрической энергии в автономных системах с асинхронными генераторами, которые имеют емкостное возбуждение.

Обобщенный теоретический подход позволяет в унифицированных системах векторного управления транспортных электромеханических объектов обеспечить: формирование наперед заданных динамических характеристик транспортных средств; высокую комфортность движения транспортных средств; повышение энергетической эффективности в тяговых и тормозных режимах до 30 % в сравнении с существующими системами с параметрическим управлением, и до 10 % в сравнении с системами на основе частотного управления; снижение потерь активной мощности до 20% от номинального уровня в условиях малых нагрузок; экономию электрической энергии на уровне 5 – 10 % за счет реализации энергосберегающей функции «stop and go»; движение с максимальным тяговым усилием и предотвращение возникновения режимов потери сцепления. В электромеханических системах с асинхронными генераторами с самовозбуждением обеспечивается повышение устойчивости рабочих режимов в условиях параметрических возмущений.

(англ.)

The generalized mathematical models for the class of transport objects with vector-controlled AC motors are developed. A novel decomposition based control concept for electromechanical systems with rolling pair kinematic is presented. Control algorithms development procedure based on this concept provides a solution for the basic traction control tasks. Proposed robust and adaptive control algorithms of the induction motors guarantees high performance torque-flux tracking and high energy efficiency under variation of the most critical induction motor parameters (rotor and stator resistances). Energy efficient control with maximum torque per Ampere optimization is synthesized in order to implement energy saving function "stop and go". The theory of energy generation using autonomous induction generators with capacitive excitation is developed.

Generalized theoretical approach allows designing vector controlled electromechanical systems for electric vehicles with following properties: vehicles dynamical properties can be assigned on the design stage; high comfort level of vehicle movement; improved energy efficiency during acceleration and braking (up to 30% in comparison with conventional parametric control and up to 10 % in comparison with traditional voltage-frequency control); reduced active power loss during low load operation (up to 20 %); saving up to 5 – 10% of electrical energy due to “stop and go” function realization; movement with maximum traction and prevention of slip. For the systems with induction generators improved stability properties under parameter variation is achieved.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності (заявка на патент, патент, свідоцтво на авторське право). Немає.

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Науково технічний рівень виконаної роботи відповідає світовому рівню та перевищує його за окремими показниками.

Існуючі методи векторного керування в ЕМСАК забезпечують показники якості керування, що не задовольняють вимоги значної кількості транспортних використань, а також не оптимізують функціонування об'єктів транспорту з електричною тягою.

Більшість алгоритмів практичного спрямування, у тому числі і реалізовані у комерційних виробках світових виробників (ABB, Siemens, Schneider та інші) мають обмежене теоретичне обґрунтування, або можуть лише умовно називатися такими, тому що вони базуються на суттєвих спрощеннях. Як результат такого підходу існуючі системи не забезпечують асимптотичного регулювання механічних координат і модуля вектора потокосцеплення, мають обмежений діапазон регулювання, можуть втратити стійкість при

роботі на малих швидкостях, а також у генераторному режимі, мають значну чутливість до варіацій параметрів електричної машини та технологічного об'єкту.

Відмінною рисою алгоритмів векторного керування асинхронними двигунами на основі розробленої в проекті теорії є глобальне асимптотичне відпрацювання заданих траєкторії зміни моменту-потокозчеплення із властивостями слабкої чутливості та адаптації до змін найбільш критичних параметрів об'єкту керування. Це дозволяє забезпечити реалізацію спеціальних функцій керування транспортним засобом, таких як максимізація тягового зусилля, запобігання ковзання та юзу, режим "traction control". Додатково, розроблений алгоритм векторного керування з оптимізацією момент-струм забезпечує роботу системи в режимі, наближеному до оптимізації активних втрат, а також реалізацію енерго-ощаджуючої функції руху "stop and go".

Розроблений в роботі теоретичний базис для побудови систем генерування енергії на основі асинхронних генераторів дозволяє розширити області їх застосування завдяки виявленим новим аналітичним залежностям для визначення границь самозбудження, колапсу напруги та статичних характеристик асинхронного генератора із самозбудженням при активному та активно-індуктивному навантаженнях.

Високий рівень отриманих результатів підтверджено публікаціями у високо рейтингових журналах спільноти IEEE та доповідями на провідних закордонних конференціях.

6. Економічна привабливість для просування на ринок (вартість реалізації проекту, терміни впровадження та окупності, показники).

Для впровадження розробок у серійну продукцію необхідно близько 1500 тис. грн. інвестицій. Термін впровадження складає близько одного року. Потенційний обсяг реалізації на ринку України складає орієнтовно 450 000 тис грн. Економічний ефект від впровадження розробок для економіки України досягається за рахунок імпортозаміщення, створення нових робочих місць для виробництва електромеханічних систем тягового призначення, економії електроенергії та підвищення екологічності транспортних засобів.

7. **Потенційні користувачі:** машинобудівні підприємства, які випускають транспортні засоби з електричною тягою, зокрема ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» м. Кременчук, Луцький автомобільний завод (корпорація «Богдан»), м. Луцьк, Львівський автобусний завод, м. Львів, підприємства електротехнічного профілю, такі як ПАТ «Плутон», м. Запоріжжя, Державне НВП «Електронмаш», ЗАТ «Запорізький електроапаратний завод», та інші.

8. **Стан готовності розробки результати розробки реалізовано у промисловому дослідному зразку тягового асинхронного електроприводу потужністю 200 кВт для перспективних моделей тролейбусів та трамвайних вагонів.**

9. **Існуючі результати впровадження промисловий дослідний зразок пройшов стендові випробування та рекомендований до проведення експлуатаційних випробувань.** В науково-дослідній лабораторії «Векторно-керовані електромеханічні системи змінного струму» (кімната 408-20) зібрані експериментальні установки за зразки електромеханічних систем змінного струму, в яких реалізовано результати теоретичних досліджень.

10. Назва підрозділу:

Кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу НТУУ «КПІ», тел. 406-83-56, e-mail: sergei.peresada@gmail.com, www.epa.kpi.ua.

11. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання (вагомі): (монографії, підручники, посібники, наукові статті, дисертації, інші публікації).

1. M.Bodson & O.Kiselychnyk, "Analysis of triggered self-excitation in induction generators and experimental validation," IEEE Trans. Energy Conversion, vol. 27, issue 2. – 2012. – P. 238–249.

2. M. Bodson & O. Kiselychnyk, "The complex Hurwitz test for the analysis of spontaneous self-excitation in induction generators," *IEEE Trans. on Automatic Control*, Vol. 58, No. 2. – 2013. pp. 449 – 454.
3. S. Peresada, S. Kovbasa, D. Prystupa and S. Lyshevski Identification of Induction Motor Parameters Adaptively Controlling Stator Currents // *Proc. of IEEE 39th Annual Conference of Industrial Electronics, IECON-2013, Vienna, Austria, 9 – 13 Nov., 2013*, – pp. 8468 – 8473.
4. S. Peresada, S. Kovbasa, D. Prystupa, S. Lyashevskyi Identification of Induction Motor Parameters for Self-Commissioning Procedure: A New Algorithm and Experimental Verification // *Proc. ISIE 2014 23rd Int. Symp. on Ind. Electr., Istanbul, 01 - 04 Jun., 2014*, pp. 818-823.
5. Kiselychnyk, O., Jihong Wang, Bodson, M., Pushkar, M., "Steady-state and dynamic characteristics of self-excited induction generators with resistive-inductive loads" // *Proc. of International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM), 18-20 June 2014*. pp.625 – 630.
6. S. Peresada, S. Kovbasa, D. Prystupa Adaptive Observers for Self Commissioning of Induction Motor Drives: Theory and Experiment // *Proceedings on IEEE International Conference on Intelligent Energy and Power Systems, IEPS-2014, Kyiv, June 2–6, 2014*. pp. 240-245.
7. S. Peresada, S. Kovbasa, V. Trandafilov, V. Pyzhov Sliding Mode Observer Based Control of Induction Motors: Experimental Study // *Proceedings on IEEE International Conference on Intelligent Energy and Power Systems, IEPS-2014, Kyiv, June 2–6, 2014*. – pp. 261–265.
8. S. Dymko, S. Peresada, R. Leidhold Torque Control of Saturated Induction Motor with Torque per Ampere Ratio Maximization // *Proceedings on IEEE International Conference on Intelligent Energy and Power Systems, IEPS-2014, Kyiv, June 2–6, 2014*. pp.251-256.
9. С. М. Пересада, В. Н. Трандафилов Общетеоретическое решение задачи наблюдения вектора потокосцепления ротора асинхронного двигателя с использованием скользящих режимов // «Технічна електродинаміка». – №3. – Київ. – 2013. – С. 20–25.
10. Пересада С.М., Ковбаса С.Н., Дымко С.С. Робастифицированное бездатчиковое векторное управление асинхронным двигателем на основе адаптивного наблюдателя пониженного порядка // «Технічна електродинаміка». – №2. – Київ. – 2012– с.81-82.
11. Пересада С.М., Коноплінський М.А. Ідентифікація активних опорів асинхронного двигуна за допомогою адаптивного спостерігача потокосцеплення // «Технічна електродинаміка». – №1. – Київ. – 2013. – С. 40–48.
12. Пересада С.М., Онанко А.Ю. Унифицированные системы обработки углового положения, построенные на основе принципа пассивности // «Технічна електродинаміка». – №2. – Київ. – 2013 . – С. 36 – 42.
13. Adaptive control of stator currents for self-commissioning of induction motor drives/ S. Peresada, S. Kovbasa, D. Prystupa, S. Lyashevskyi// «Технічна електродинаміка». – №5. – Київ. – 2013. – с. 24 – 31.
14. С. М. Пересада, В. Н. Трандафилов Инвариантность наблюдателей вектора потокосцепления ротора при прямом векторном управлении асинхронными двигателями // «Технічна електродинаміка». – №6. – Київ. – 2014. – С. 41–48.
15. Пересада С . М., Ковбаса С . Н., Онанко А . Ю. Выбор системы полеориентирования при векторном управлении асинхронными двигателями // «Технічна електродинаміка». – №4. – Київ. – 2014. – С.102-104.
16. S. Peresada, S. Lyshevsky, S. Kovbasa and M. Konoplnsky Identification Of Stator And Rotor Resistances Of Induction Motors // *Electrotechnic and computer systems*, –Vol. 09(85). –Odessa. –2013. P. 7 – 15.
17. Воронко А. Б. Алгоритм формирования заданного потокосцепления в системах векторного управления асинхронными двигателями в режиме ослабления поля для транспортных применений // *Технічна електродинаміка* – №5. – Київ. – 2014. – С. 119 – 121.

18. О. Kiselychnyk, J.Wang, M.Bodson and M.Pushkar, "Maximum power extraction from self-excited induction generator,"– Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2014. – Вип. 2 2014.– с.70-77.

12. Фото або слайди (декілька з фото) презентації розробки в електронному вигляді



Дослідний зразок тягового електроприводу потужністю 200 кВт

Посилання на відео-сюжет в новинах на каналі ТВІ.
<http://epa.kpi.ua/news.php#n117>