ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОДИНАМІКИ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ СИСТЕМИ ШИРОКОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

МЕТІНВЕСТ®
МЕТАЛУРГІЙНИЙ КОМБІНАТ
«АЗОВСТАЛЬ»

СЕМІОЛ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО
ДНІПРОДЗЕРЖИНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО "МЕТАЛУРГІЙНИЙ КОМБІНАТ "АЗОВСТАЛЬ"
ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ "СЕМІОЛ"

2015

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ СИСТЕМИ ШИРОКОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Автори роботи

МИХАЛЬСЬКИЙ Валерій Михайлович – доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник відділу перетворення та стабілізації електромагнітних процесів Інституту електродинаміки Національної академії наук України.

ЗАГІРНЯК Михайло Васильович – заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор, ректор Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.

КЛЕПІКОВ Володимир Борисович – заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри "Автоматизовані електромеханічні системи" Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут".

ПЕРЕСАДА Сергій Михайлович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут".

САДОВОЙ Олександр Валентинович – доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи Дніпродзержинського державного технічного університету.

ШАПОВАЛ Іван Андрійович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділу перетворення та стабілізації електромагнітних процесів Інституту електродинаміки Національної академії наук України.

ЗАМЯТІН Владислав Валерійович – головний енергетик публічного акціонерного товариства "Металургійний комбінат "Азовсталь".

АНДРІЙЧЕНКО Сергій Олександрович – начальник рейкобалкового цеху публічного акціонерного товариства "Металургійний комбінат "Азовсталь".

ВОРОБЕЙЧИК Олег Станіславович – директор товариства з обмеженою відповідальністю "Семіол".

Мета роботи

Створення теорії керування та технології побудови електромеханічних систем (ЕМС), що забезпечує наукове підґрунтя для серійного виробництва і впровадження уніфікованих векторно-керованих електроприводів та енергоефективних електромеханічних систем на їх основі, та дозволяє:

- зменшити споживання первинних енергетичних ресурсів (в тому числі газу і вугілля) та негативний вплив на навколишнє середовище за рахунок зниження електроспоживання;
- зменшити енергоємність виробництва продукції підприємствами України;
- підвищити продуктивність виробництва, якість продукції, конкурентоспроможність товарів та послуг.

Структура наукової роботи

Розробка теоретичних основ підвищення енергоефективності різних галузей економіки шляхом розробки та впровадження електромеханічних систем (ЕМС)

Розвиток теорії векторного керування ЕМС, синтез алгоритмів ідентифікації, адаптивного спостереження та адаптивного керування, отримання нових загальнотеоретичних рішень основних задач керування механічними і електричними координатами в ЕМС

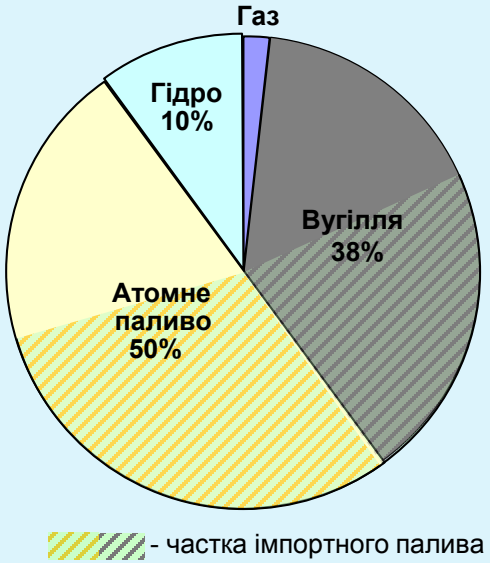
Розвиток методів широтно-імпульсної модуляції для керування напівпровідниковими перетворювачами ЕМС

Розробка методів керування та діагностики ЕМС складних технологічних об’єктів

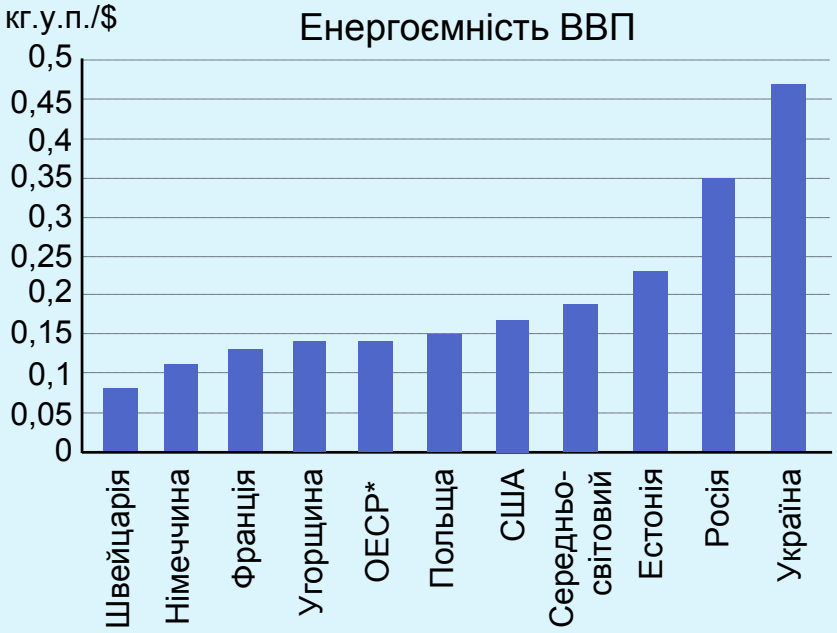
Впровадження наукових результатів в серійне виробництво регульованих електроприводів та ЕМС на їх основі, проведення системної енергоефективної автоматизації технологічних процесів і виробничих механізмів в різних галузях економіки

Енергоємність виробництва та розподіл первинних паливних ресурсів

В умовах критичної залежності України від імпорту первинних паливних ресурсів (більше 50 %) та високої енергоємності виробництва енергетична ефективність економіки є питанням національної безпеки України.



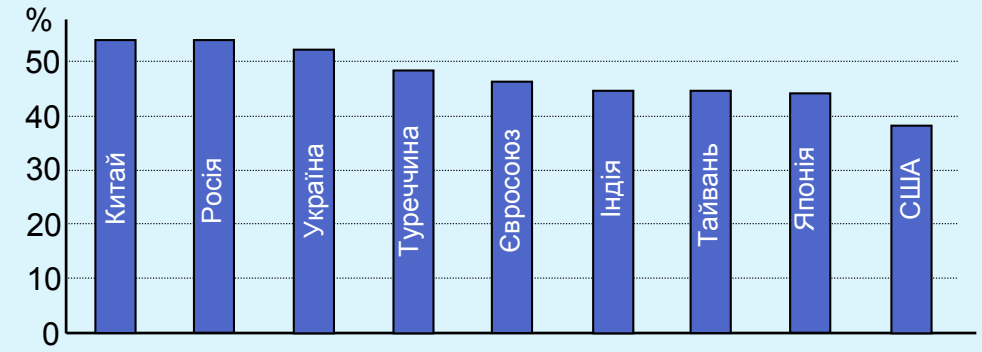
Діаграма розподілу первинних паливних ресурсів у генеруванні електричної енергії в Україні



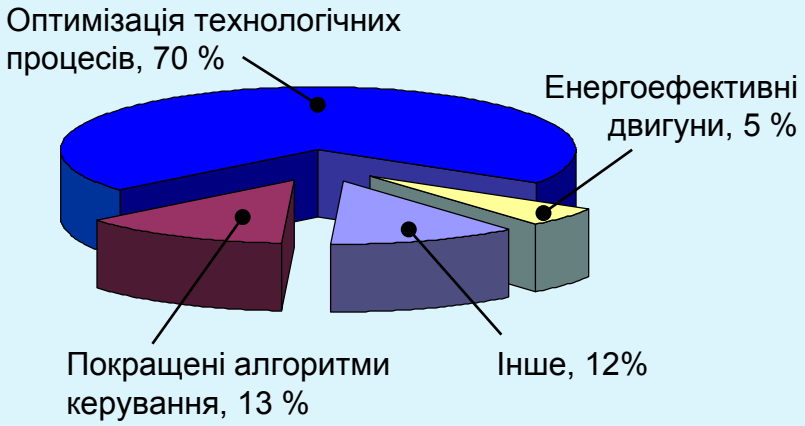
* ОЕСР - країни-члени Організації економічного співробітництва та розвитку

Потенціал підвищення енергетичної ефективності за рахунок впровадження електромеханічних систем

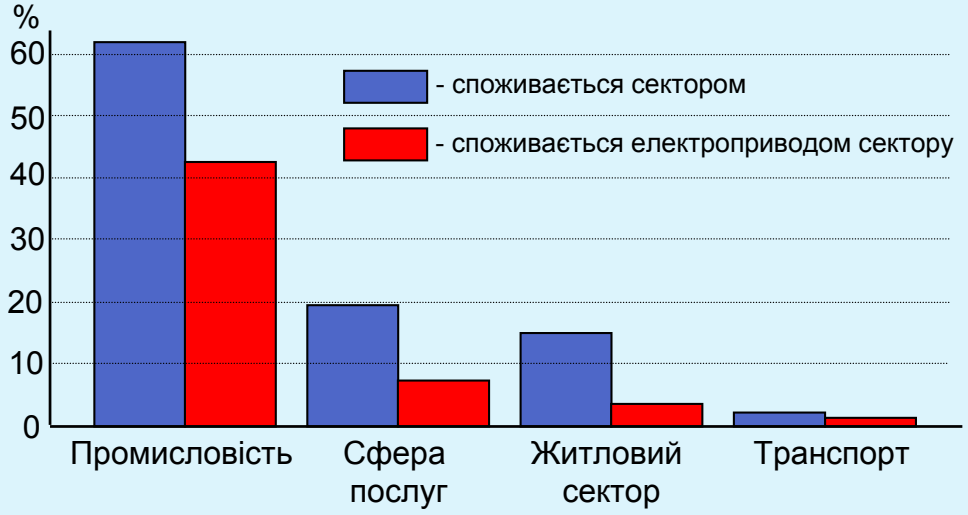
Частка електроенергії, що споживається електроприводами, від загальнонаціонального споживання



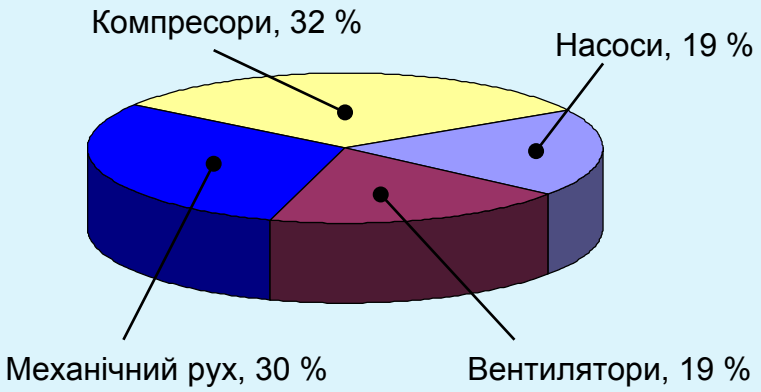
Розподіл потенціалу збереження енергії в електромеханічних системах



Споживання електроенергії секторами економіки України (від усієї генерованої)



Розподіл потреби електричної енергії по кінцевим застосуванням



Електромеханічні системи – основна база економії електроенергії

Як свідчить світовий досвід, підвищення енергетичної ефективності електромеханічних систем забезпечує зниження споживаної ними електроенергії на 20 – 30%, що в середньому становить 10% від усієї генерованої.

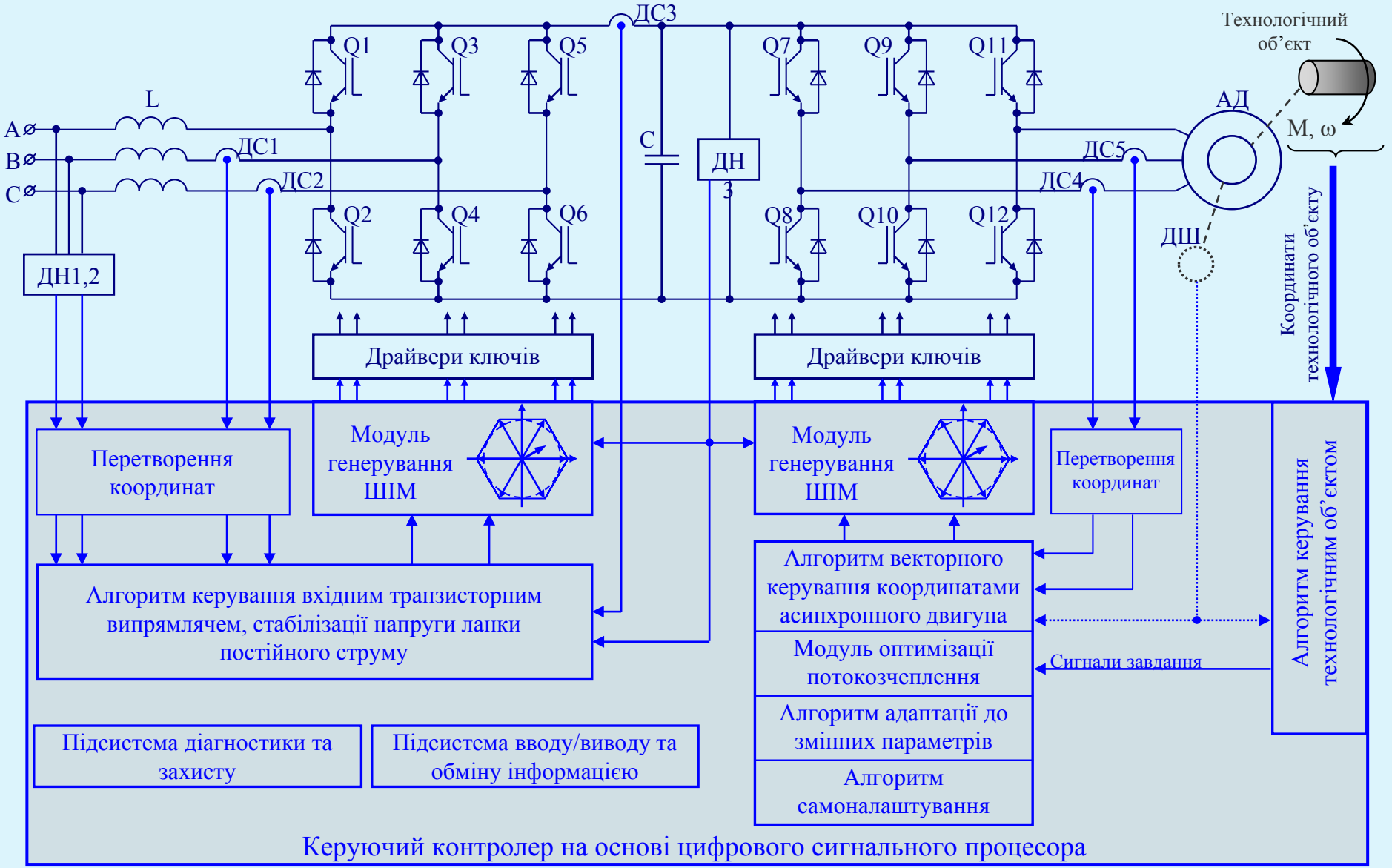
Такий результат досягається як за рахунок підвищення енергетичної ефективності процесу електромеханічного перетворення енергії, так і, головним чином, за рахунок
оптимізації технологічних процесів засобами електромеханічних систем.
Внаслідок множувального та синергетичного ефекту від оптимізації забезпечується багатократне перевищення загальною економією показників прямої економії електроенергії.

Таким чином, впровадження енергоефективних електромеханічних систем має потенціал зниження споживання електроенергії більший, ніж 10 – 15% від усієї генерованої, і є одним з головних напрямків підвищення енергетичної ефективності економіки України.

Механізм підвищення енергоефективності в електромеханічних системах

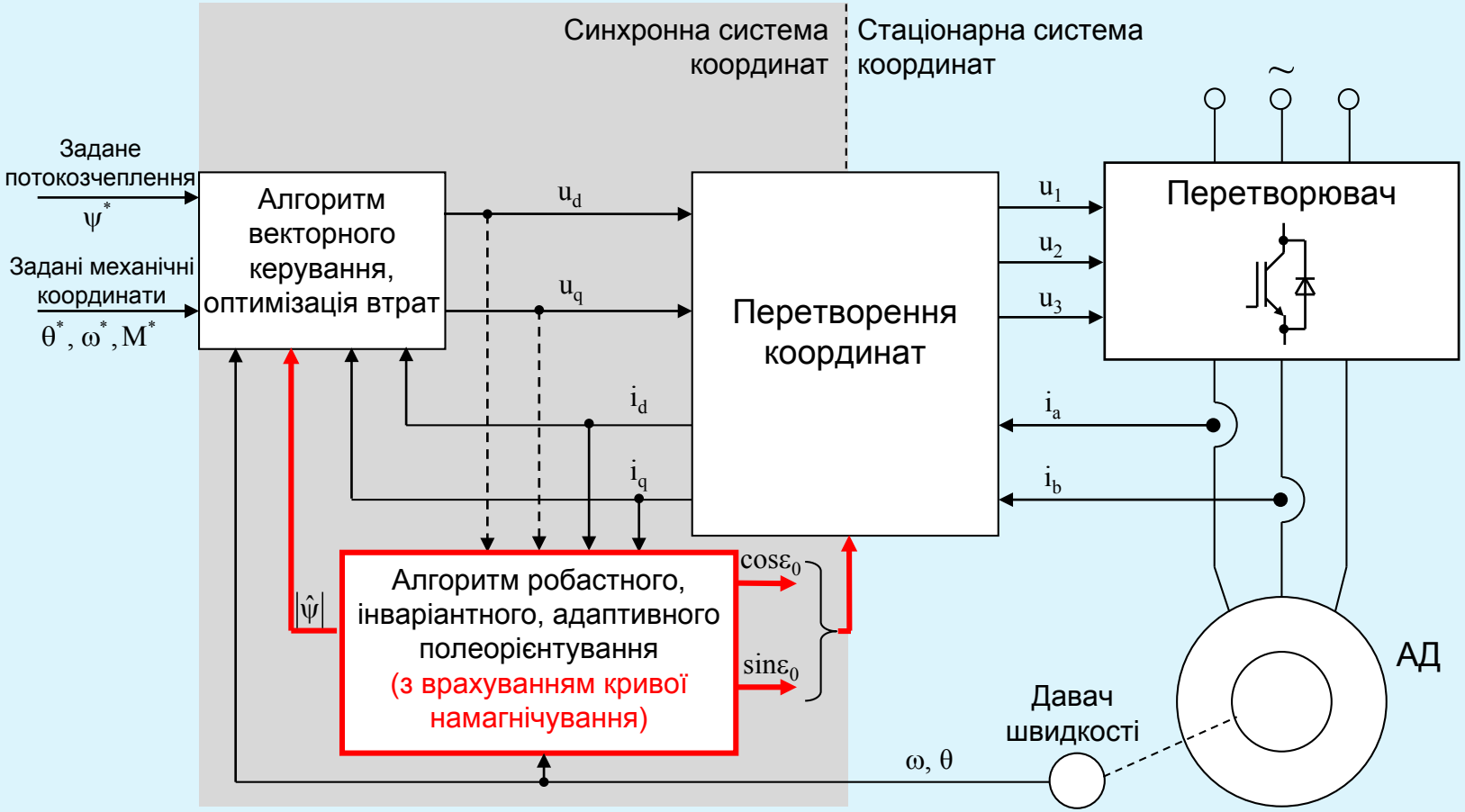
СИНЕРГЕТИЧНИЙ ЕФЕКТ: економія 1 одиниці енергії у споживача зберігає 5 одиниць енергії первинних паливних ресурсів

Функціональна схема розробленого уніфікованого векторно-керованого електроприводу змінного струму



Світовий пріоритет розв'язання задач векторного керування

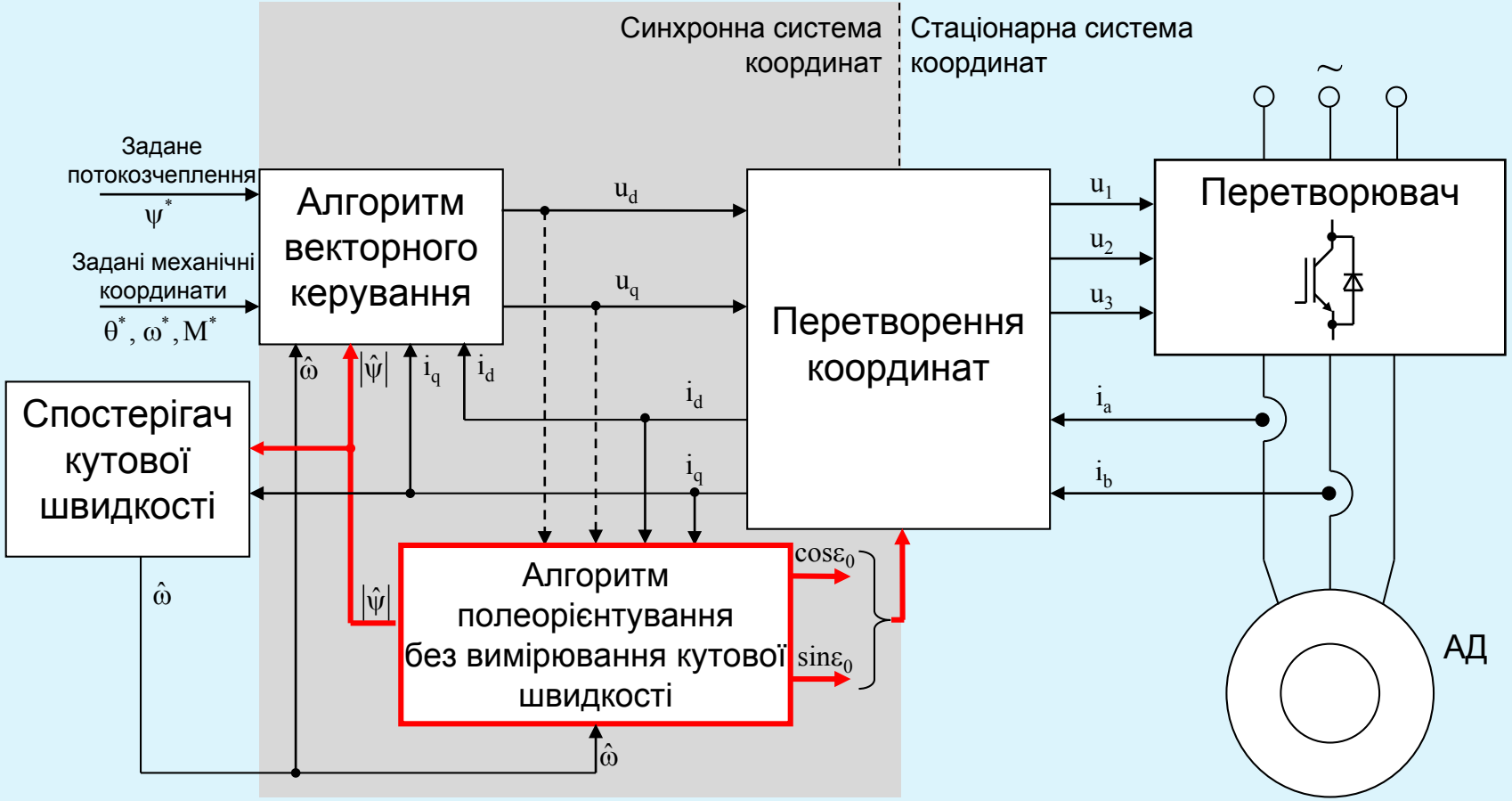
Системи робастного, інваріантного, адаптивного та оптимізованого за втратами керування асинхронними двигунами (АД)



Забезпечують недосяжну раніше точність відпрацювання механічних координат електромеханічних систем, компенсують параметричні та координатні збурення, завдяки чому мають підвищену енергетичну ефективність електромеханічного перетворення енергії.

Світовий пріоритет розв'язання задач векторного керування

Системи керування без вимірювання механічних координат

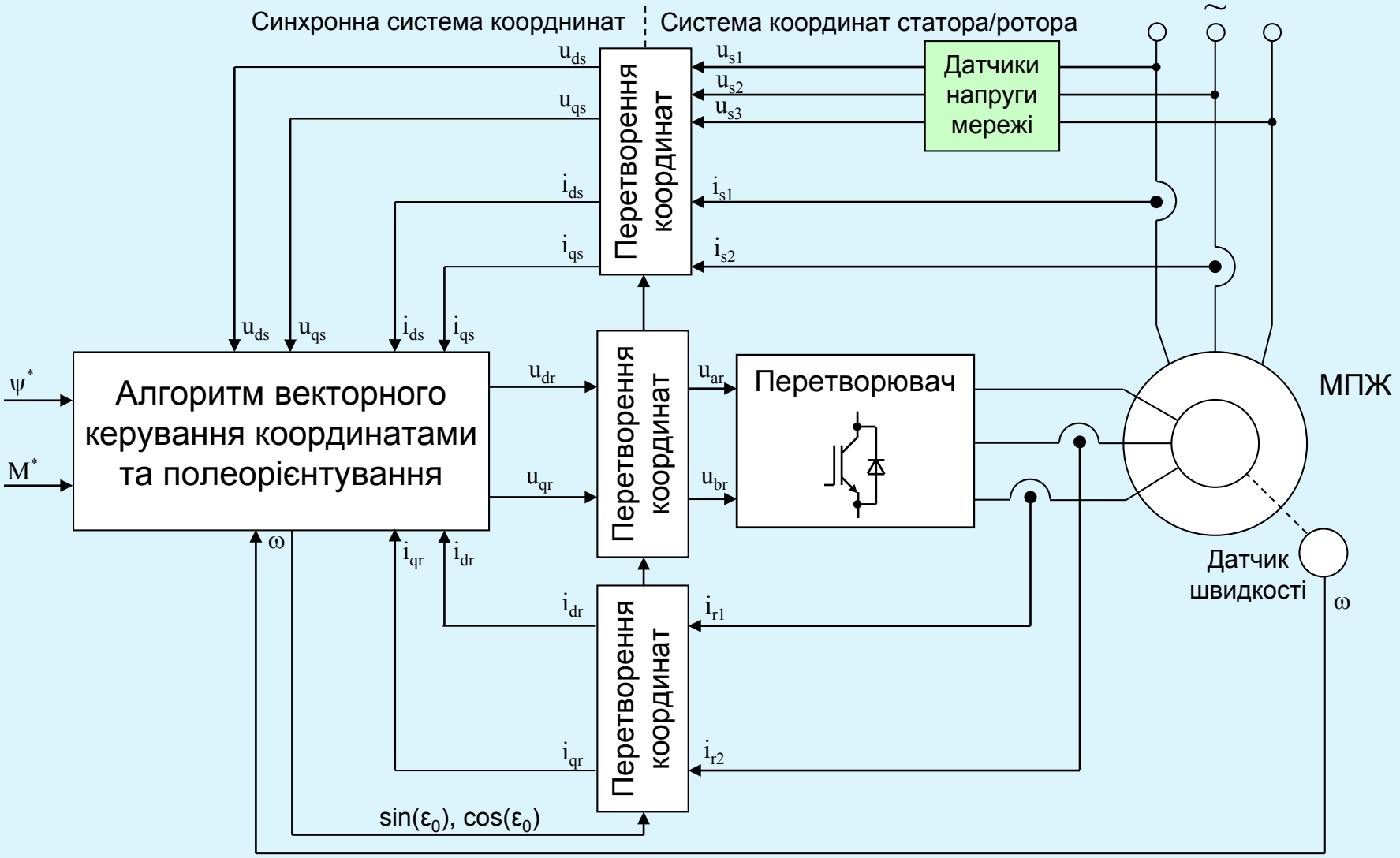


Вперше забезпечують показники якості керування кутовою швидкістю, що наближаються до існуючих в типових системах векторного керування з її вимірюванням, завдяки чому розширюється сфера застосування електромеханічних систем на технологічні об'єкти, де встановлення давача швидкості є неможливим або небажаним.

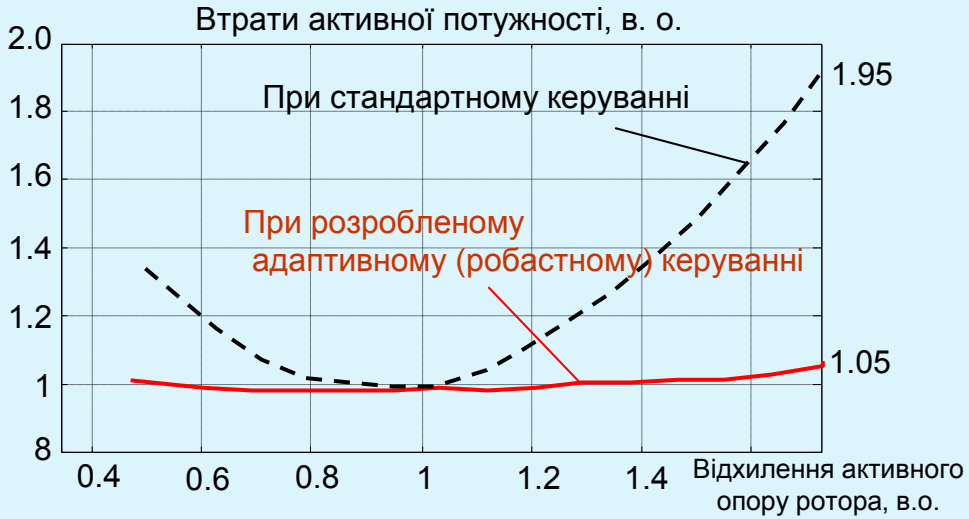
Світовий пріоритет розв'язання задач векторного керування

Системи керування машиною подвійного живлення (МПЖ)

є економічним рішенням (вдвічі дешевше стандартних) в технологічних застосуваннях з обмеженим діапазоном регулювання кутової швидкості (наприклад турбомеханізми). Забезпечують додаткову можливість регулювання коефіцієнта потужності статорного кола.



Підвищення показників енергетичної ефективності

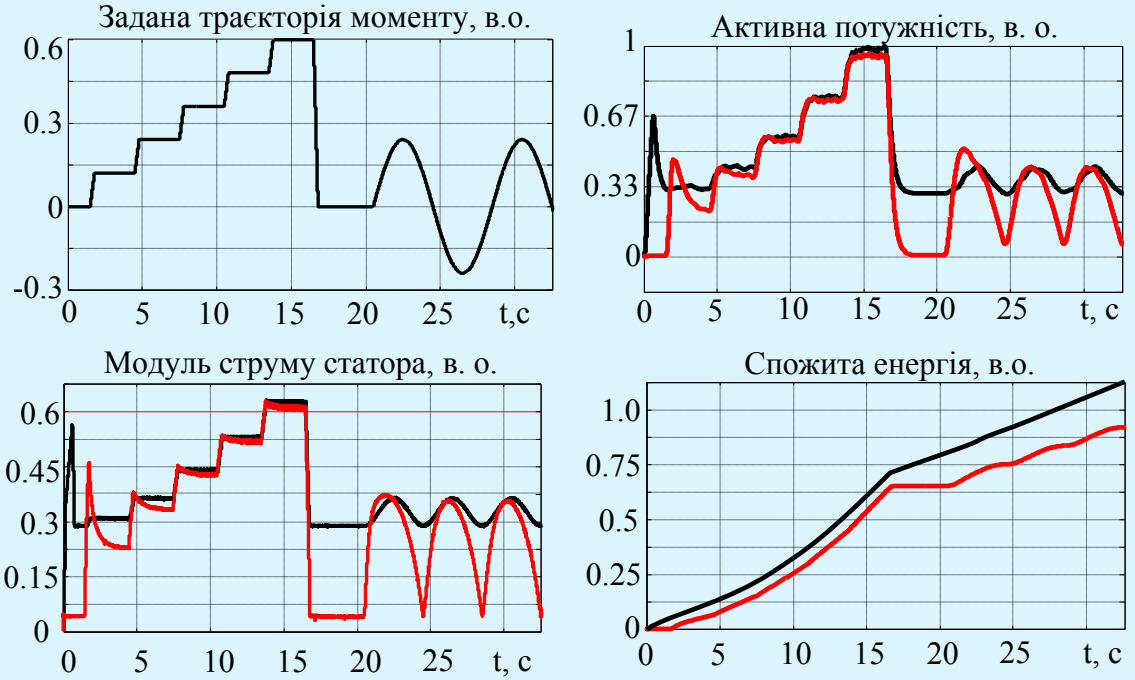


Варіації параметрів асинхронного двигуна, що змінюються при його роботі внаслідок нагріву, при стандартних алгоритмах векторного керування призводять до суттєвого зростання втрат активної потужності.

Розроблені алгоритми робастного керування дозволяють уникнути цього явища, тим самим забезпечуючи підвищені показники енергетичної ефективності процесу електромеханічного перетворення енергії.

Керування з максимізацією співвідношення момент-струм (МТА)

Відпрацювання моменту



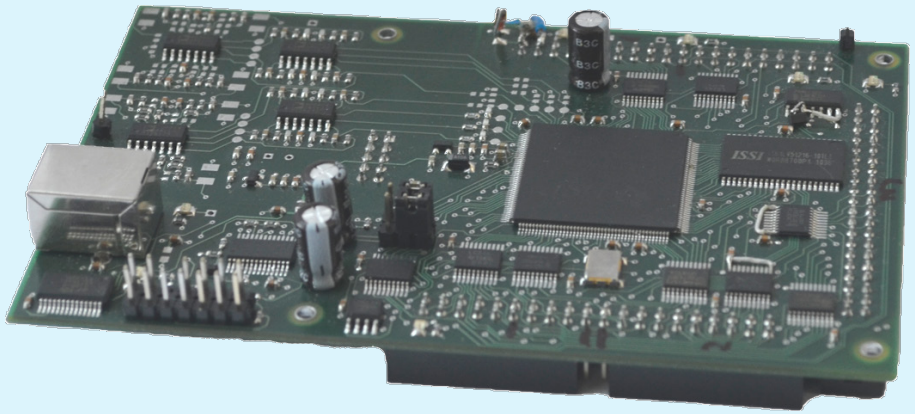
Відпрацювання заданих траєкторій механічних координат відбувається при менших струмах статора у порівнянні із традиційними способами керування. Відповідно зменшуються втрати активної потужності та підвищується максимальний момент на валу двигуна при обмеженнях вихідного струму перетворювача.

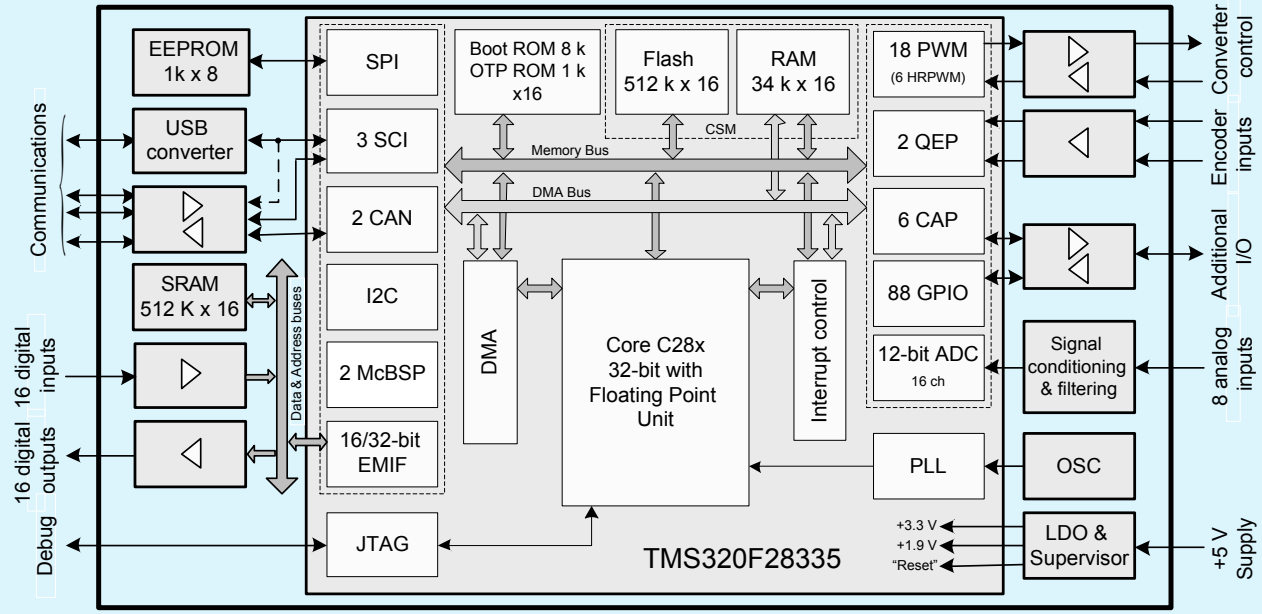
Традиційне керування

МТА керування

Уніфіковані контролери на базі цифрових сигнальних процесорів для побудови векторно-керованих електроприводів та реалізації алгоритмів керування перетворювачами

Розроблено уніфіковані контролери на основі цифрових сигнальних процесорів, а також комплекс програмного забезпечення, які дозволяють організувати серійний випуск електромеханічних систем з будь-якими типами електричних двигунів.

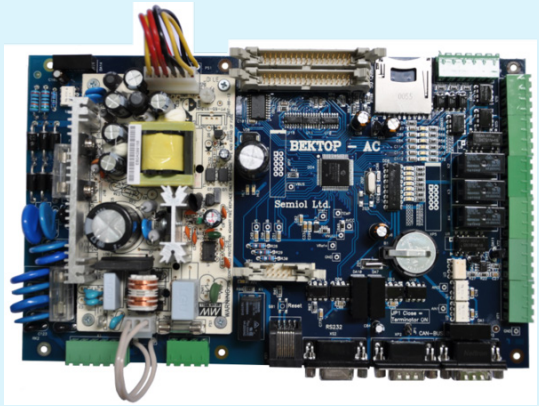




Уніфіковані векторно-керовані електроприводи

Перетворювачі частоти в складі електроприводів змінного струму "Вектор-АС"

Перетворювач частоти "Вектор"



Плата контролера ПЧ "Вектор"

Електропривод змінного струму "Вектор-АС"

Основні характеристики перетворювача частоти "Вектор".

Напруга живлення	380 В, -10% +15%
Частота мережі живлення	50 Гц ±2%
Вихідний струм	до 800 А
Кількість дискретних входів	6
Кількість дискретних виходів	
«сухий контакт»	3
«відкритий колектор»	6
Кількість аналогових входів	2
Кількість аналогових виходів	1
Комунікаційні інтерфейси	CAN, RS-232, RS-485
Вбудований пульт керування	4 строки по 20 символів, 8 кнопок

Застосування перетворювача частоти «Вектор» дозволяє:
- знизити витрату електроенергії на 30-50% при неповному навантаженні;
- збільшити коефіцієнт потужності практично до одиниці;
- збільшити термін служби електродвигуна і приводних механізмів;
- керувати електродвигуном відповідно до вимог технологічного процесу.

Уніфіковані векторно-керовані електроприводи

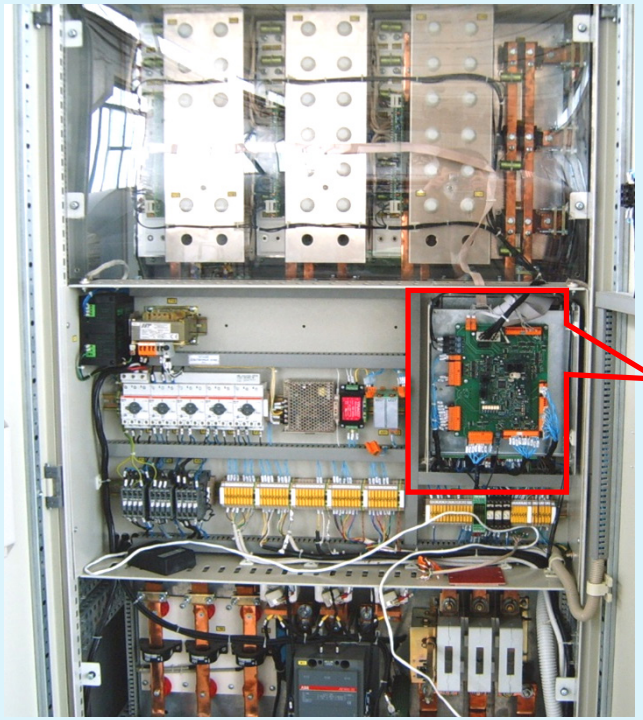
Розроблені алгоритми векторного керування моментом тягового двигуна відповідають кращим світовим стандартам та забезпечують:

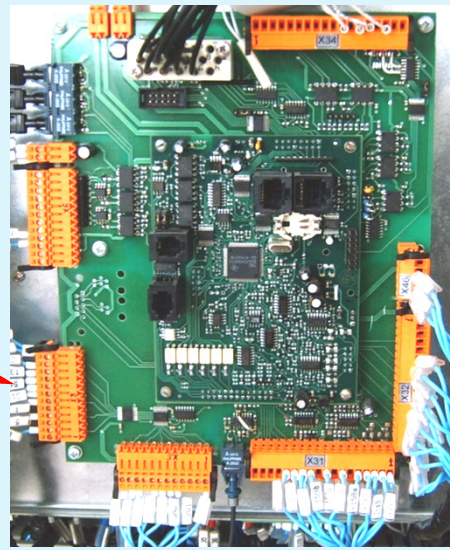
- підвищення енергетичної ефективності на 25 – 30% у порівнянні із традиційними системами (з реостатним регулюванням) та на 10 % у порівнянні з існуючими з частотним керуванням;
- динамічні характеристики транспортного засобу, які гарантують комфортність руху в усіх робочих режимах.

Промисловий зразок векторного асинхронного електроприводу для перспективних моделей трамвайних вагонів і тролейбусів

Уніфіковані векторно-керовані електроприводи

Вітрогенератор потужністю 400 кВА на основі машини подвійного живлення з реверсивним перетворювачем в колі ротора





Електропривод насосу потужністю 750 кВт на основі машини подвійного живлення. Напруга на статорі – 6 кВ, напруга в колі ротора 400 В.

Застосування електроприводів "Вектор-АС" в технологічних процесах на металургійному підприємстві ПАТ "МК "Азовсталь"

Електропривод рольганга чорнової лінії стану 1000 ПАТ "МК "Азовсталь"

Чорнова лінія стану 1000 ПАТ "МК "Азовсталь"

Електроприводи розпилювального рольганга стану 650 ОКС РБЦ ПАТ "МК "Азовсталь"

Рольганги стану 650 ОКС РБЦ ПАТ "МК "Азовсталь"

Електроприводи подачі свердл і пилки ПАТ "МК "Азовсталь"

Перетворювачі частоти електроприводів подачі свердл і пилки ПАТ "МК "Азовсталь"

Електропривод обертання свердла ПСС «Вагнер» ПАТ "МК "Азовсталь"

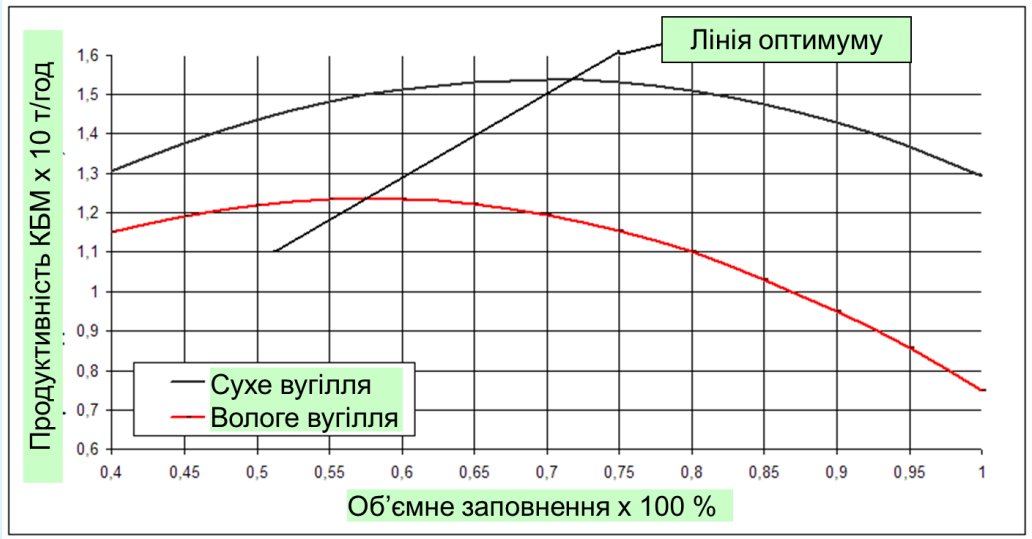
Кульовий барабанний млин

Кульові барабанні млини (КБМ) широко застосовуються у важкій промисловості для приготування вугільного пилу, який використовується як паливо для парових котлів та компонент пиловугільної суміші для вдування в доменні печі.

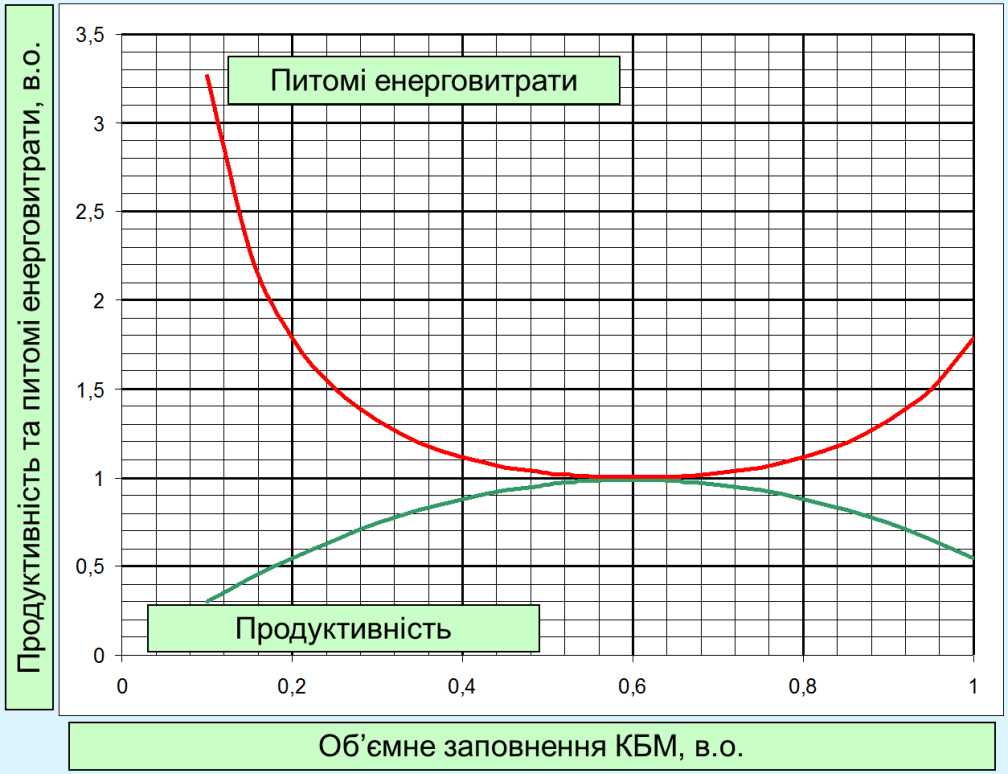
Система автоматичного завантаження млина

Система керування електроприводами живильників сирого вугілля КБМ 287/410 ВАТ «Краматорськтеплоенерго»

Ефективність керування кульовим барабанним млином



Залежність продуктивності КБМ від об'ємного заповнення барабану

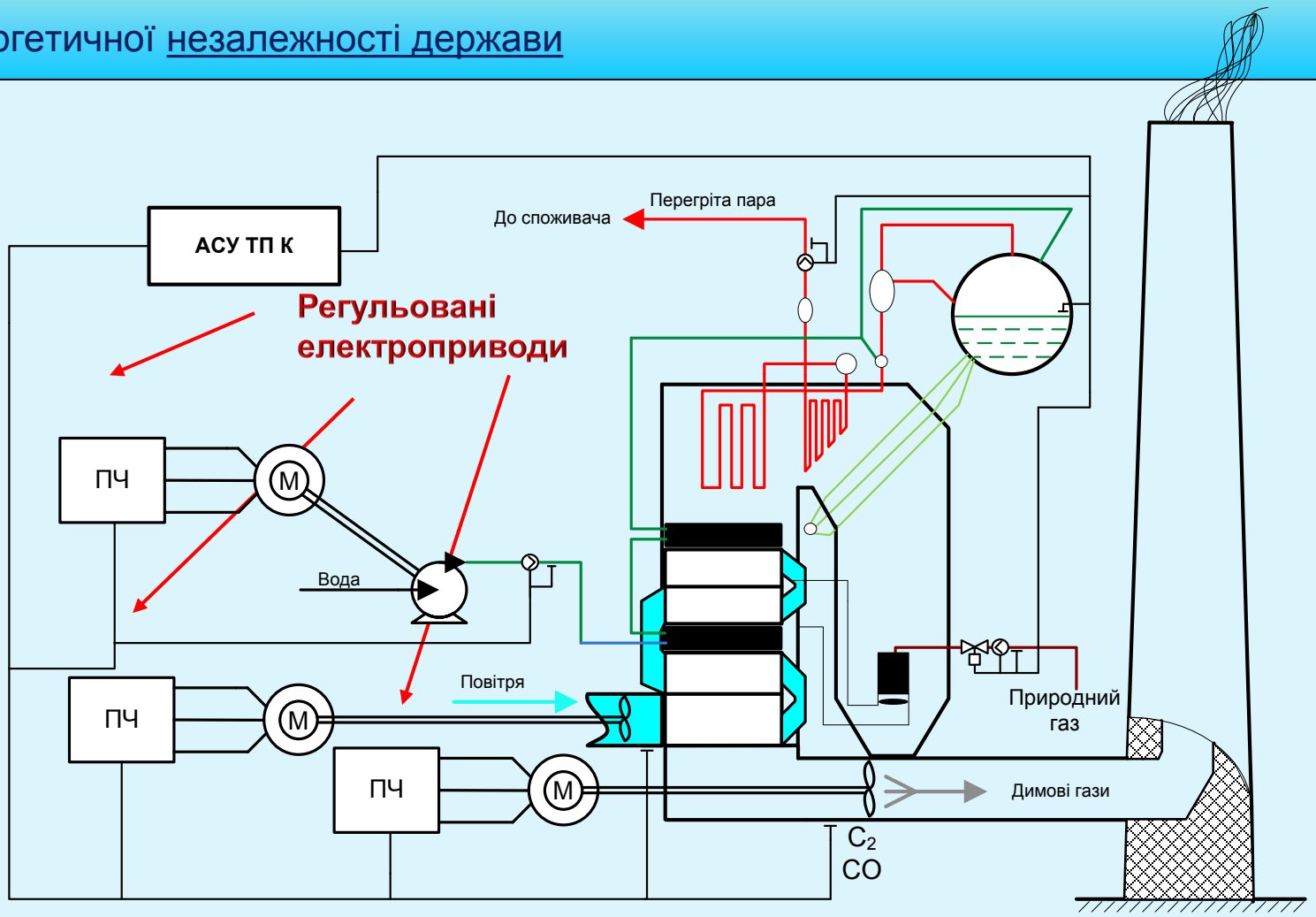


Залежність продуктивності та питомих енерговитрат КБМ на помол сирого вугілля від об'ємного заповнення барабану

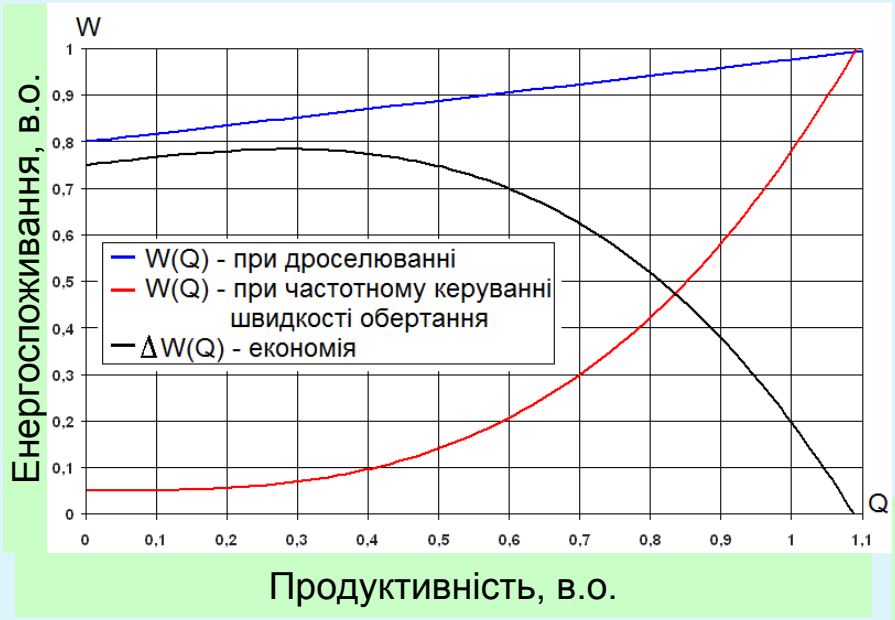
Ефект від впровадження керованих електроприводів живильників сирого вугілля на 4-х КБМ ВАТ «Краматорськтеплоенерго»

Автоматизовані системи керування котлоагрегатами з частотно-регульованими електроприводами турбомеханізмів

Парові котлоагрегати є потужними споживачами органічних енергоресурсів, тому поліпшення їх енергетичної ефективності сприяє підвищенню рівня енергетичної незалежності держави

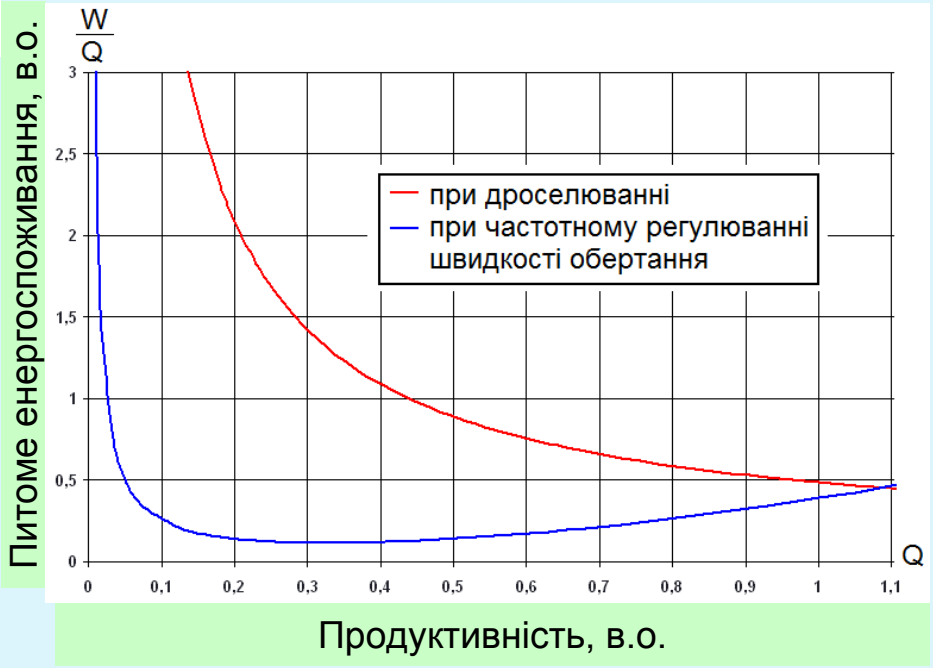


Ефективність керування турбомеханізмами



*Залежність енергоспоживання від продуктивності турбомеханізму

*Залежність питомого енергоспоживання від продуктивності турбомеханізму



Автоматизовані системи керування котлоагрегатами з частотно-регульованими електроприводами турбомеханізмів

Станція машиніста котла

Впровадження АСУ ТП на двох котлоагрегатах БКЗ-220-100-Ф ПАТ "ДніпроАЗОТ" дозволило:

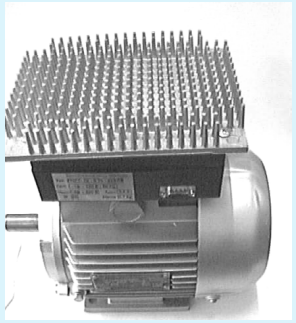
Електропривод димососу

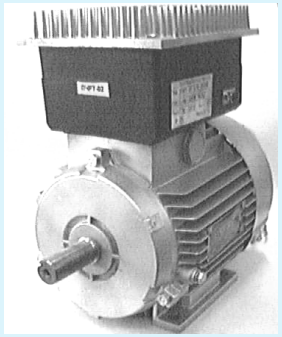
* знизити втрати тепла з димовими газами на 4,44 Гкал/год і заощаджувати щороку 2 815,6 тис. м3 природного газу;

* отримати щорічну економію електроенергії, що споживається турбомеханізмами, в обсязі 3 821 тис.кВт·год;

* заощадити протягом 2006-2014 років 62 275 794 грн., в тому числі
10 252 800 грн. за рахунок економії електроенергії та
52 022 994 грн. за рахунок економії природного газу.

Приклади застосування регульованого електроприводу





- Пріоритетним напрямком на найближчі роки слід вважати модернізацію електроприводів турбомеханізмів (насосів, компресорів, вентиляторів, димосмоків та ін., в першу чергу в ЖКГ), термін окупності яких становить від 6-х до 12 місяців.

- Розроблено і впроваджено на заводі ім. Т.Г. Шевченка (Харківська область) регульований перетворювач частоти ПЧРТ-03 для енергозберігаючого електроприводу.

- Модернізація електроприводу на насосній станції 2-го підйому (смт. Солоницівка) забезпечила:

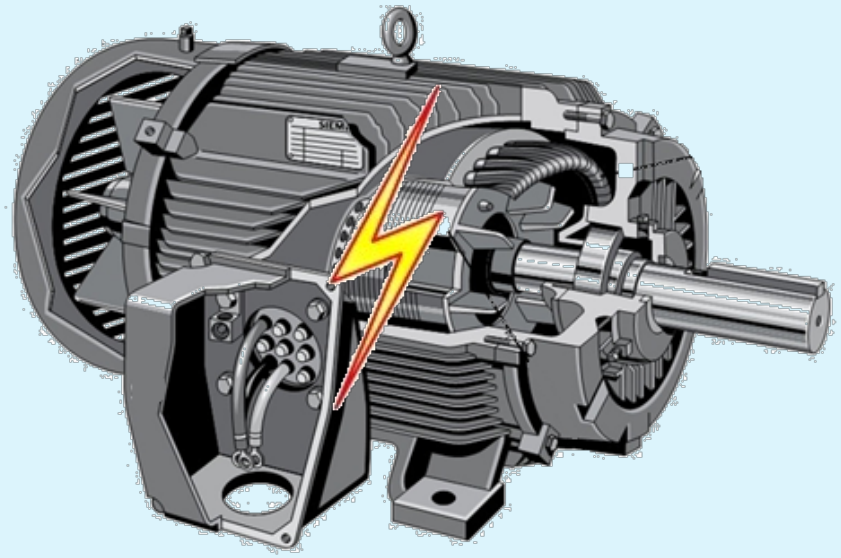
- економію електроенергії на суму 40,0 тис грн . на кожен електропривод;
- скорочення числа поривів водопровідних мереж з 60 до 8-10 на рік;
- економію води - 20%;
- термін окупності - 3 міс.

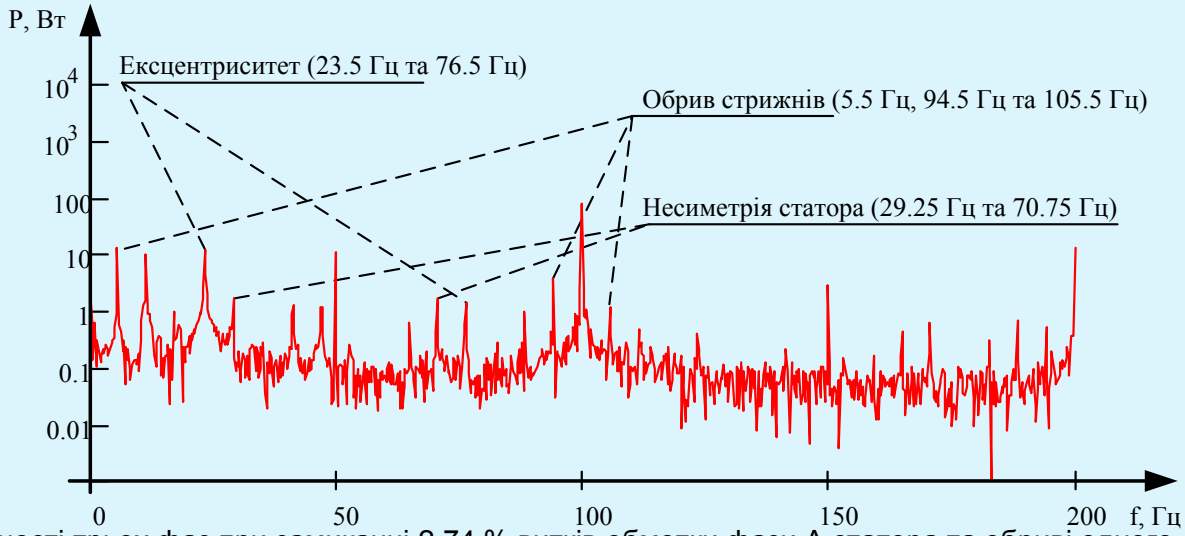
Діагностика силових елементів електроприводів

Спектральний аналіз кривих миттєвих значень споживаної двигунами потужності показав можливість підвищення ефективності заходів енергозбереження засобами електропривода за рахунок:

- своєчасної діагностики дефектів елементів електромеханічних систем на стадії їх розвитку, що дозволяє прогнозувати появу та запобігати виникненню аварійних ситуацій, тим самим прогнозувати видатки на ремонтні операції;

- прогнозу залишкового ресурсу елементів електромеханічної системи, що дозволяє планувати видатки на ремонт та заміну обладнання.





Спектр сумарної потужності трьох фаз при замиканні 2,74 % витків обмотки фази А статора та обриві одного стрижня ротора

Міжнародне визнання наукових результатів підтверджено публікаціями у закордонних виданнях з високим імпакт-фактором

1638 цитувань в 1425 документах системи SCOPUS. Індекс Хірша 18.

IEEE

Institute of Electrical and Electronics Engineers

IFAC

International Federation of Automatic Control

IEEE TRANSACTIONS ON
CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY
A PUBLICATION OF THE IEEE CONTROL SYSTEMS SOCIETY

IEEE TRANSACTIONS ON
AUTOMATIC CONTROL
A PUBLICATION OF THE IEEE CONTROL SYSTEMS SOCIETY

IEEE TRANSACTIONS ON
ENERGY CONVERSION
IEEE POWER & ENERGY SOCIETY

IEEE TRANSACTIONS ON
INDUSTRIAL ELECTRONICS

automatica
A Journal of IFAC The International Federation of Automatic Control

Control Engineering Practice

INTERNATIONAL JOURNAL OF
Adaptive Control and Signal Processing

Mechatronics
The Science of Intelligent Machines

The United States of America

The Director of the United States Patent and Trademark Office

Has received an application for a patent for a new and useful invention. The title and description of the invention are enclosed. The requirements of law have been complied with, and it has been determined that a patent on the invention shall be granted under the law.

Therefore, this

United States Patent

Grants to the person(s) having title to this patent the right to exclude others from making, using, offering for sale, or selling the invention throughout the United States of America or importing the invention into the United States of America for the term set forth below, subject to the payment of maintenance fees as provided by law.

If this application was filed prior to June 8, 1995, the term of this patent is the longer of seventeen years from the date of grant of this patent or twenty years from the earliest effective U.S. filing date of the application, subject to any statutory extension.

If this application was filed on or after June 8, 1995, the term of this patent is twenty years from the U.S. filing date, subject to any statutory extension. If the application contains a specific reference to an earlier filed application or applications under 35 U.S.C. 120, 121 or 365(c), the term of the patent is twenty years from the date on which the earliest application was filed, subject to any statutory extensions.

Jon W. Dudas

Director of the United States Patent and Trademark Office

US006826065B2

(12) **United States Patent**
Chekhet et al.

(10) **Patent No.: US 6,826,065 B2**
(45) **Date of Patent: Nov. 30, 2004**

(54) **METHOD OF COMMUTATION OF CURRENT BY BI-DIRECTIONAL SWITCHES OF MATRIX CONVERTERS**

(76) Inventors: **Eduard Mikhaylovich Chekhet**, 39, Moskovskaya str., app. 33, Kiev, 01015 (UA); **Vladimir Nikolaevich Sobolev**, 20 Davydova str., app. 47, Kiev, 02147 (UA); **Valeriy Michaylovich Mikhalsky**, 6-bl, Mate Zalki str., app. 130, Kiev, 04211 (UA)

(*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 441 days.

(21) Appl. No.: **10/101,133**

(22) Filed: **Mar. 19, 2002**

(65) **Prior Publication Data**

US 2002/0135234 A1 Sep. 26, 2002

(30) **Foreign Application Priority Data**

Mar. 22, 2001 (UA) 2001031933

(51) **Int. Cl.**[7] **H02M 5/27**
(52) **U.S. Cl.** **363/159**; 363/163
(58) **Field of Search** 363/157, 159, 363/163, 164, 165

(56) **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

5,594,636 A * 1/1997 Schauder 363/160
5,892,677 A * 4/1999 Chang 363/152
5,909,367 A * 6/1999 Change 363/163
5,949,672 A * 9/1999 Bernet 363/159
6,519,170 B2 * 2/2003 Lacaze et al. 363/152
6,711,038 B2 * 3/2004 Ziegler et al. 363/123

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

EP 0311057 A1 * 5/2003 ..... H02M/5/27

* cited by examiner

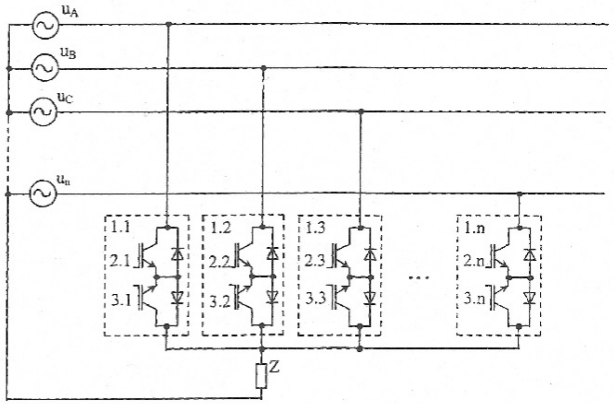
Primary Examiner—Adolf Berhane
(74) *Attorney, Agent, or Firm*—I. Zborovsky

(57) **ABSTRACT**

A method of commutation of current by separately controlled in each direction bi-directional switches of a matrix converter (MC) with at least three input phases, which allows to provide a safe step-by-step commutation of the current by MC switches without using information of the load current polarity and of the exact relation of mains voltages at the moment of step-by-step commutations beginning.

It is suggested variants of implementing the proposed invention in the three phase-to-three phase MC with a space vector modulation (SVM) which provides the synthesis of space vectors of the output voltage and input current of zero and non-zero stationary vectors during each SVM cycle, with dividing the mains voltage period into six intervals with boundaries being determined by moments of input phase voltage polarity changing. Due to special method of zero vector forming and its alternating with non-zero vectors it is possible to provide a safe commutation of current even under very significant distortions of the mains voltage waveform. All the commutations of the MC switches are expedient and do not create the additional dynamical losses.

4 Claims, 4 Drawing Sheets



Certificate of Grant of Patent

The Patent Office

PATENTS • DESIGNS • COPYRIGHT • TRADE MARKS

Patent Number: GB2377326

Proprietor(s): Eduard M Chekhet
Vladymyr N Sobolev
Valeriy M Mikhalsky

Inventor(s): Eduard M Chekhet
Vladymyr N Sobolev
Valeriy M Mikhalsky

This is to Certify that, in accordance with the Patents Act 1977,

a Patent has been granted to the proprietor(s) for an invention entitled "**A method of commutation of current by bi-directional switches of matrix converters**" disclosed in an application filed **15 March 2002**.

Dated 29 June 2005

Ron Marchant
Comptroller General of Patents,
Designs and Trade Marks
UNITED KINGDOM PATENT OFFICE

The attention of the proprietor(s) is drawn to the important notes overleaf.

(12) UK Patent (19) GB (11) 2 377 326 (13) B

(45) Date of publication: **29.06.2005**

(54) Title of the invention: A method of commutation of current by bi-directional switches of matrix converters

(51) Int Cl[7]: **H02M** 5/297 1/00

(21) Application No: **0206211.5**

(22) Date of Filing: **15.03.2002**

(30) Priority Data:
(31) **2001031933** (32) **22.03.2001** (33) **UA**
(31) **2002021439** (32) **20.02.2002** (33) **UA**

(43) Date A Publication: **08.01.2003**

(52) UK CL (Edition X):
H2F FFCT F9H4 F9J18 F9K3 F9K7 F9L1 F9L2 F9P1 F9T4B F91DR

(56) Documents Cited:
EP 1306964 A1
WO 2002/043235 A2
WO 2001/041290 A2
WO 2003/026110 A2
WO 2001/073932 A1

(58) Field of Search:
As for published application 2377326 A *viz:*
UK CL (Edition T) **H2F** FCXS FCXT FCXX FFCS FFCT FFCX FPCT F6A F6B
INT CL[7] **H02M** 1/00 1/08 1/084 1/088 5/27 5/293 5/297
Other: **ONLINE: EPODOC, PAJ, WPI, INSPEC**
updated as appropriate

(72) Inventor(s):
Eduard Mikhaylovich Chekhet
Vladymyr Nikolaevich Sobolev
Valeriy Mikhaylovich Mikhalsky

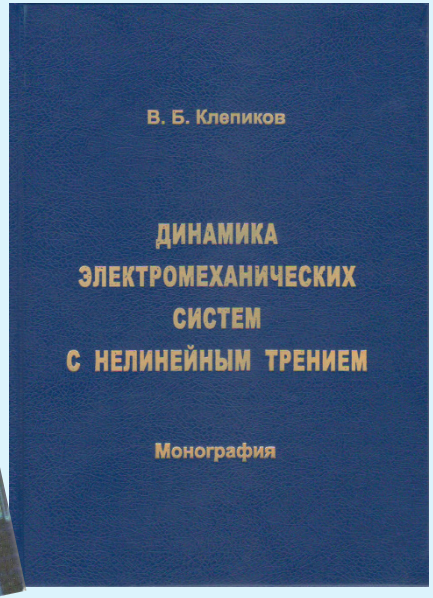
(73) Proprietor(s):
Eduard Mikhaylovich Chekhet
39 Moskovskaya str, app 33, Kiev, 01015, Ukraine

Vladymyr Nikolaevich Sobolev
20 Davydova str, app 47, Kiev, 02147, Ukraine

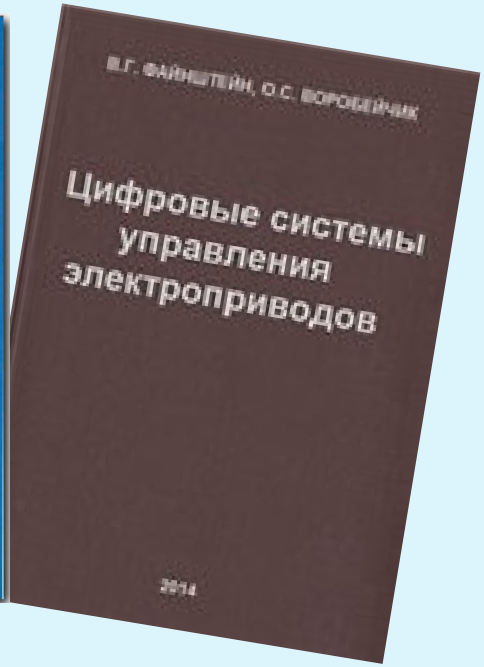
Valeriy Mikhaylovich Mikhalsky
6-bi,Mate Zalki str, app 130, KIEV, 04211, Ukraine

(74) Agent and/or Address for Service:
Graham Jones & Company
77 Beaconsfield Road, Blackheath, LONDON, SE3 7LG, United Kingdom

В.М. МИХАЛЬСЬКИЙ
ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ВХОДІ І ВИХОДІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ ТА НАПРУГИ З ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ

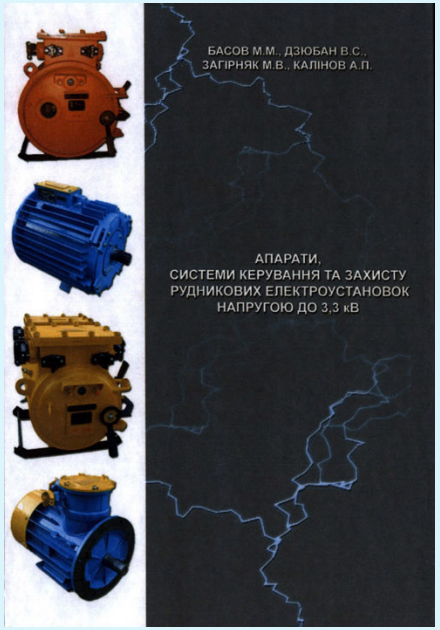

В. Б. Клепиков
ДИНАМИКА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С НЕЛИНЕЙНЫМ ТРЕНИЕМ
Монография

А.В.Садовой, Б.В.Сухинин, Ю.В.Сохина, А.Л.Дерец
РЕЛЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ


Цифровые системы управления электроприводов

М. В. Загірняк, Д. Г. Мамчур, А. П. Калінов, А. В. Чумачова
ДІАГНОСТИКА АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ СПЕКТРА СПОЖИВАНОЇ ПОТУЖНОСТІ

М. В. Загирняк, Д. И. Родькин, Ю. В. Ромашихин, А. П. Черный
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ


БАСОВ М.М., ДЗЮБАН В.С., ЗАГІРНЯК М.В., КАЛІНОВ А.П.
АПАРАТИ, СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА ЗАХИСТУ РУДНИКОВИХ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК НАПРУГОЮ ДО 3,3 кВ

М. В. Загирняк, В. В. Прус, Б. И. Невзлин
ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ВЗАИМОСВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН, АППАРАТОВ И ТРАНСФОРМАТОРОВ С ОБОБЩЕННЫМ ЛИНЕЙНЫМ РАЗМЕРОМ

ВИСНОВКИ

На основі розвитку теорії векторного керування отримано теоретичне узагальнення та нове вирішення актуальної науково-практичної проблеми синтезу та аналізу електромеханічних систем з векторно-керованими електроприводами. Вирішення проблеми дозволило розробити і впровадити на практиці високоефективні ЕМС з основними типами привідних двигунів, що мають підвищені динамічні та енергетичні характеристики.

Розроблено концепцію керування класом ЕМС на основі декомпозиційного підходу, яка створює загальнотеоретичну базу для конструктивного синтезу нелінійних ЕМС, алгоритми керування в яких базуються на фундаментальних властивостях електромеханічних перетворювачів, завдяки чому мають фізично обґрунтовану структуру. Методи синтезу алгоритмів векторного керування, розроблені на основі запропонованої концепції, забезпечують вирішення основних задач керування координатами ЕМС з досягненням заданих властивостей.

Розроблено методи синтезу алгоритмів ідентифікації, адаптивного спостереження та прямого адаптивного керування, які є теоретичною основою для побудови широкого класу ЕМС. Загальнотеоретичні вирішення задач адаптивного керування в ЕМС вперше забезпечують: глобальне асимптотичне відпрацювання механічних та електричних координат в ЕМС з синхронними двигунами при повній параметричній невизначеності; асимптотичне відпрацювання заданих траєкторій змін кутової швидкості та модуля вектора потокозчеплення ротора асинхронних двигунів з одночасною ідентифікацією активних опорів статора і ротора. Розроблені адаптивні системи вперше забезпечують повну компенсацію негативного впливу параметричних збурень на динамічні та енергетичні характеристики ЕМС.

Запропоновано новий метод максимізації співвдношення момент-струм при векторному керуванні асинхронними двигунами, який знижує навантаження на джерело живлення та перетворювач, забезпечуючи при цьому зменшення втрат активної потужності в двигуні та перетворювачі до 40% при часткових навантаженнях.

Розроблено метод бездавачевого (без вимірювання механічних координат) векторного керування в ЕМС з асинхронними двигунами, який формує теоретичний підхід до адаптивного оцінювання змінної у часі кутової швидкості для досягнення асимптотичного відпрацювання заданих траєкторій змін кутової швидкості та модуля вектора потокозчеплення ротора. Розроблений на основі запропонованого методу алгоритм керування є першим теоретично доведеним, тому що, на відміну від існуючих, не використовує припущення про незмінність швидкості, яка оцінюється, та не має обмежень на режими роботи двигуна. Експериментально доведено, що розроблений алгоритм вперше забезпечує динамічні показники якості керування, які наближаються до існуючих в типових системах векторного керування з вимірюванням кутової швидкості.

ВИСНОВКИ

Розроблено концепцію компенсації "мертвого часу" в напівпровідникових перетворювачах шляхом зміни масштабів складових заданих просторових векторів вихідної напруги, що дозволяє забезпечити реалізацію точної передаточної характеристики перетворювача, в тому числі при глибокому регулюванні вихідних параметрів.

Обґрунтовано використання спектру сигналу споживаної трифазним двигуном потужності для діагностики його дефектів, що надає можливість оцінити ступінь пошкодження за значенням потужності відповідної гармонічної складової.

Розроблений метод опосередкованого визначення енергетичних показників роботи частотно-регульованого електропривода дозволяє оцінити енергетичну ефективність роботи АД в умовах неякісності напруги живлення, конструктивної і параметричної несиметрії електричної машини та зміни режимів її роботи за кривими складових сумарних втрат, коефіцієнта потужності, миттєвого коефіцієнта корисної дії статора, ротора та машини в цілому.

Метод аналітичного конструювання регуляторів з позиції зворотних задач динаміки дозволив встановити однозначний зв'язок між параметрами електромеханічного об’єкта керування, функцією Ляпунова для замкненої системи автоматичного керування, видом і ваговими коефіцієнтами інтегральних функціоналів якості, що гарантують гранично аперіодичні перехідні процеси керованого руху, усуваючи таким чином нераціональні витрати енергії при переводі технологічного об’єкта із початкового положення в кінцеве.

Розроблено теоретичні основи динаміки широкого класу електромеханічних систем з нелінійним тертям, визначено умови виникнення фрикційних автоколивань в електроприводах цих систем, обґрунтовано принципи керування електроприводами в режимах проковзування, створено методики синтезу електромеханічних систем з регуляторами, які усувають фрикційні автоколивання.

Виконаний комплекс досліджень, розроблені методи структурно-алгоритмічного синтезу, принципи побудови та технічної реалізації нових структурних схем і алгоритмів оптимального за точністю відтворення заданих траєкторій руху покладено в основу створення ряду оригінальних електромеханічних систем автоматизації з електроприводами постійного і змінного струму для технологічного обладнання металургійної промисловості та енергетичної галузі.

Спроектовано та налагоджено серійне виробництво регульованих електроприводів, які за своїми динамічними та енергетичними характеристиками не поступаються кращим світовим зразкам.

ВИСНОВКИ

На металургійному підприємстві ПАТ "МК "Азовсталь" досягнуто енергоресурсозбереження засобами регульованих електроприводів по багатьох напрямках: прокатне виробництво, ливарне виробництво, енергетичне господарство – компресори, водопостачання, димосмоки, транспортні системи тощо. Загальний економічний ефект від впровадження електромеханічних систем на ПАТ "МК "Азовсталь" за останні роки становить ***137,42 млн. грн.***, в тому числі ***117,04 млн. грн.*** за рахунок економії електроенергії і ***20,38 млн. грн.*** за рахунок підвищення продуктивності виробництва і якості продукції.

Економічний ефект від впровадження систем автоматичного керування завантаженням кульових барабанних млинів помолу сирого вугілля для живлення вугільним пилом котлоагрегатів на ТЕЦ ВАТ "Краматорськтеплоенерго" за період 2011-2014 рр. склав ***39,67 млн. грн.***, в тому числі за рахунок економії електроенергії – ***2,63 млн. грн.*** і за рахунок економії вугілля – ***37,04 млн. грн.***

Використання автоматизованих систем керування з частотно-регульованими електроприводами тяго-дуттьових механізмів двома котлоагрегатами БКЗ-220-100Ф на ТЕЦ ПАТ "ДНІПРОАЗОТ" (м. Дніпродзержинськ) дозволило забезпечити економію споживання природного газу в обсязі 2,8 млн.м^3/рік, або протягом 2006-2014 років 25,34 млн. м^3. Сумарний економічний ефект, отриманий протягом цих років, складає ***62,28 млн. грн.***, в тому числі ***52,03 млн. грн.*** за рахунок економії природного газу та ***10,25 млн. грн.*** за рахунок економії електроенергії.

Загальний підтверджений економічний ефект від впровадження електромеханічних систем на ПАТ "МК "Азовсталь", ТЕЦ ВАТ "Краматорськтеплоенерго" і ТЕЦ ПАТ "ДНІПРОАЗОТ" за останні роки склав ***239,37 млн. грн.***

В результаті виконання представленої роботи вирішено стратегічно важливу задачу створення високонаукоємної технології енергоефективних електромеханічних систем, яка дозволяє шляхом її широкого впровадження зменшити споживання первинних енергетичних ресурсів та негативний вплив на навколишнє середовище за рахунок зниження електроспоживання; підвищити продуктивність виробництва, якість продукції, конкурентоспроможність товарів та послуг, ефективність використання матеріалів, що в цілому підвищує енергоефективність економіки України.