

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

Т. П. Павленко, Н. П. Лукашова, В. М. Шавкун

СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
В ЕЛЕКТРОМЕХАТРОННИХ КОМПЛЕКСАХ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

(для підготовки магістрів за освітньо-науковою програмою спеціальності 141 – Електротехніка, електроенергетика та електромеханіка фахового спрямування «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»)



Побутова техніка



Медична техніка



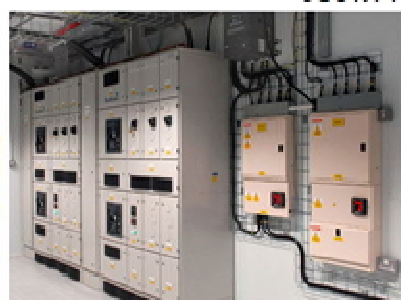
Засоби зв'язку та електронної техніки



Роботи та обладнання



Транспортні засоби



Системи електропостачання та електроживлення

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2019

Павленко Т. П. Системи електропостачання в електромехатронних комплексах : конспект лекцій для підготовки магістрів за освітньо-науковою програмою спеціальності 141 – Електротехніка, електроенергетика та електромеханіка фахового спрямування «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод» / Т. П. Павленко, Н. П. Лукашова, В. М. Шавкун ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 84 с.

Автори:

д-р техн. наук, проф. Т. П. Павленко,
ст. викл. Н. П. Лукашова,
канд. техн. наук, доц. В. М. Шавкун

Рецензент:

Н. Н. Заблодський, доктор технічних наук, професор кафедри електричних машин і експлуатації електрообладнання (Національний університет біоресурсів і природокористування України)

Рекомендовано кафедрою електричного транспорту, протокол № 1 від 29.09.2019.

© Т. П. Павленко, Н. П. Лукашова, В. М. Шавкун, 2019

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
ЛЕКЦІЯ 1 Мехатроніка та її складові елементи.....	6
1.1 Основні поняття мехатроніки та її методи.....	6
1.2 Об'єкти мехатроніки.....	9
1.3 Структурні базиси мехатроніки.....	15
ЛЕКЦІЯ 2 Принципи і рівні мехатронних систем.....	19
2.1 Принципи мехатроніки.....	19
2.2 Структура побудови та рівні інтеграції електромехатронних систем.....	22
2.3. Мехатронні технологічні машини.....	24
ЛЕКЦІЯ 3 Мехатронні технології та інновації.....	27
3.1 загальні відомості про мехатронні технології.....	27
3.2 Інноваційні рішення застосування мехатронних систем.....	30
3.3 Мехатронні комплекси в системах електропостачання.....	33
ЛЕКЦІЯ 4 Еволюційний розвиток модулів технічних систем.....	40
4.1 Етапи і закони процесу еволюційного розвитку модулів технічних систем.....	40
4.2 Тенденції розвитку модулів технічних систем.....	42
4.3 Принципи побудови мехатронних модулів робототехнічних систем.....	44
4.4 Принципи робототехніки та розвиток пріоритетних напрямків технічних модульних систем.....	47
ЛЕКЦІЯ 5 Інноваційні застосування мехатронних модулів в системах електропостачання.....	51
5.1 Аналіз функціонального призначення мехатронних модулів.....	51
5.2 Класи робототехнічних модулів.....	53
5.3 Концепція мехатронних комплексів електропостачання.....	55

ЛЕКЦІЯ 6 Електромеханічні комплекси і модулі.....	59
6.1 Модульні системи електромехатронних комплексів.....	59
6.2 Сучасне керування в електромехатронних модулях і комплексах.....	62
6.3 Сучасна інтелектуальна система електропостачання та електроживлення.....	66
ЛЕКЦІЯ 7 Моделювання процесів динаміки мехатронних систем.....	72
7.1 Моделі динаміки мехатронних систем і форми їх подання.....	72
7.2 Автоматизація моделювання динаміки мехатронної системи.....	74
7.3 Порівняльний аналіз методів динаміки.....	75
7.4 Метод пов'язаних графів.....	78
7.5 Моделювання та автоматизація динаміки систем з використанням методу пов'язаних графів.....	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	84

ВСТУП

Пріоритетним напрямком розвитку науки і технологій на сучасному рівні, є розробка, створення і впровадження систем нового покоління, а саме, мехатронних, які впливають на роботу автоматизованого управління на базі досягнень в області механіки, автоматики, електроніки та інформатики.

Основна концепція мехатроніки, як науки, полягає в узгодженні принципів проектування фізично різнорідних компонент механічних систем.

Мехатронні системи проектуються спільно з іншими системами, що дозволяє гарантовано забезпечити узгоджене функціонування підсистем і необхідні характеристики конструкцій на ранніх стадіях проектування.

Такий підхід, щодо створення технічно складного об'єкта в умовах жорстких обмежень часу, вимагає наявності розвиненої системи автоматизованого проектування і складається з програмних модулів автоматизованого формування та дослідження математичних моделей динаміки як машини в цілому, так і її окремих функціональних частин.

Розвиток мехатроніки вимагає забезпечення заданої точності часу, актуального одночасно в механіці, електроніці, інформаційної техніці.

Таким чином, направлення мехатроніки є, в значній мірі, для фахівців, пов'язаних з практикою. Її бурхливий прогрес обумовлений знаннями та вміннями, що підкріплюється науково-інженерною інтуїцією.

Конспект лекцій з дисципліни «Системи електропостачання в електромехатронних комплексах» сприяє розвитку знань та вмінь студентів-магістрів, що займаються науковою діяльністю. Він акцентує увагу на подальше створення і розвиток мехатронних систем, їх використання в галузях, а також в енергетичній системі і підсистемах електропостачання міського електричного транспорту. Аналіз розвитку мехатронних систем дозволяє студентам-магістрам створювати нові та інноваційні моделі і використовувати обрані математичні методи розрахунку параметрів.

ЛЕКЦІЯ 1

МЕХАТРОНІКА ТА ЇЇ СКЛАДОВІ ЕЛЕМЕНТИ

1.1 Основні поняття мехатроніки та її методи

Мехатроніка – це область науки і техніки, яка заснована на синергетичному об'єднанні вузлів точної механіки з електронними, електротехнічними і комп'ютерними компонентами. Такий склад забезпечує проектування і виробництво якісно нових механізмів, машин і систем з інтелектуальним керуванням і функціональними рухами.

Термін «синергетика» (інтеграція) був запропонований в 70-х роках ХХ століття німецьким фізиком Г. Хакеном і позначав спільну дію і співробітництво, що спрямоване на досягнення спільної мети. Важливо підкреслити, що синергетичне об'єднання передбачає не просте з'єднання окремих частин системи, а інтелектуальних досягнень шляхом об'єднання більш високих результатів.

Для мехатроніки характерно прагнення до повної інтеграції механіки, електричних машин, силової електроніки, програмованих контролерів, мікропроцесорної техніки та програмного забезпечення.

Таким чином, перераховані складові являють собою об'єднання електромеханічних компонентів з силовою електронікою, які керуються за допомогою різних мікроконтролерів, персональних комп'ютерів або інших обчислювальних пристроїв (рис. 1.1).

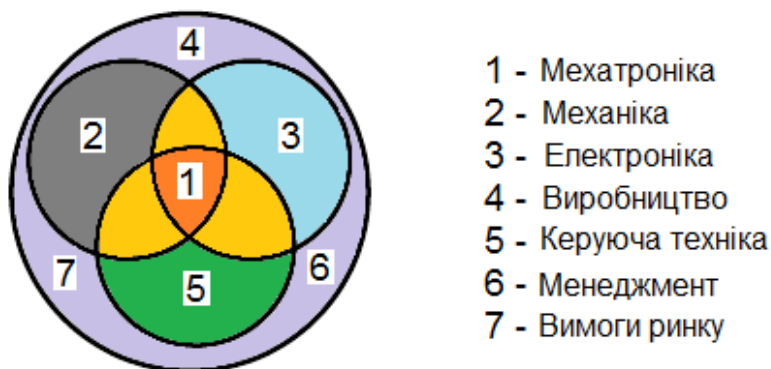


Рисунок 1.1 – Визначення мехатронних систем

В цілому мехатронні системи, незважаючи на використання стандартних компонентів, будуються як можна більш монолітно.

Наприклад, конструктори намагаються об'єднати всі частини системи воедино без використання зайвих інтерфейсів між модулями. Зокрема, застосовуються вбудовані безпосередньо в мікроконтролери інтелектуальні

силові перетворювачі і тощо. Це зменшує масу і розміри системи, підвищує її надійність і дає деякі інші переваги. Таким чином, будь-яка система, що керує групою приводів, може вважатися *мехатронною*.

Іноді система містить принципово нові з конструкторської точки зору вузли. Наприклад, такі як електромагнітні підвіси, які замінюють звичайні підшипникові вузли. Багато сучасні електромеханічні системи використовують елементи мехатроніки. Тому вони також є мехатронні.

Таким чином, поступово мехатроніка стає «наукою про все», яка застосовується в багатьох галузях і напрямках.

Мета мехатроніки складається зі створення інтелектуальних машин і технічних систем різного призначення з урахуванням фізичних процесів, що відбуваються і які призводять до створення якісно нових функцій, властивостей і характеристик.

Предметом мехатроніки є методи, процеси проектування і виробництва якісно нових модулів, комплексів і машин, а на їх основі – інтелектуальних дослідних і промислових самоврядних технічних систем.

Метод мехатроніки заснований на системному поєднанні відокремлених природничо-наукових і інженерних напрямках, таких як: точна механіка, електротехніка, мікроелектроніка, комп'ютерне керування та інформатика на всіх етапах життєвого циклу виробів, починаючи з маркетингу і проектування і продовжуючи на етапах реалізації (виробництва), експлуатації та утилізації.

Таким чином, визначено, що основою методу мехатроніки є синергетична інтеграція (об'єднання) структурних елементів, технологій, енергетичних та інформаційних потоків для досягнення єдиної мети.

Синергетична інтеграція елементів при проектуванні мехатронних виробів заснована на трьох базових принципах:

- реалізації створюваних виробів з мінімально можливим числом структурних і конструктивних елементів за рахунок об'єднання їх (двох і більше) в єдині багатофункціональні модулі (блоки);
- вибору інтерфейсів (зв'язків між блоками) в якості локальних точок інтеграції та виключення надлишкових структурних блоків та інтерфейсів;
- перерозподілу функцій в мехатронній системі від апаратних блоків до інтелектуальних (комп'ютерним, інформаційним, програмним) компонентів.

Ступінь інтеграції мехатронної системи є одним з основних класифікаційних ознак в мехатроніці. Серед інших класифікаційних ознак розвитку мехатронних систем виділяються інтелектуалізація і мініатюризація.

Відповідно мехатронні технології також базуються на комплексному застосуванні маркетингових, проектно-конструкторських, виробничих,

технологічних, комп'ютерних та інформаційних методах і технологій, які забезпечують повний життєвий цикл мехатронних виробів.

Метод мехатроніки і мехатронні технології носять універсальний характер і застосовані як до прикладних інженерних розробок, так і до розробки теоретичної бази побудови складних фізико-технічних систем.

Стрімкий розвиток мехатроніки в світі – це закономірний процес, який викликаний принципово новими вимогами ринку до показників якості технологічних машин і складним фізико-технічним системам і процесам.

У машинобудуванні метою і предметом мехатроніки є створення і виробництво якісно нових модулів руху і машин на їх основі, що необхідно для реалізації заданих функціональних дій машин і механізмів.

Функціональний рух мехатронної системи передбачає її цілеспрямований механічний рух (переміщення), яке координується з паралельно керованими технологічними та інформаційними процесами. [1].

Великі можливості відкрилися перед мехатронікою в результаті її зближення з мікросистемними технологіями (наприклад, мікроелектромеханічні технології, мікроробототехніка та ін.). В результаті сформувався самостійний напрямок в мехатроніці – *мікромехатроніка*.

В останні роки намітилося проникнення мехатронних технологій в нанотехнології. В основному це виражається в створенні прецизійних пристроїв і приладів для дослідження і створення наноструктур з унікальними властивостями (наприклад, тунельний мікроскоп, атомно-силовий мікроскоп, оптичний лазерний силовий мікроскоп, наноінженерні поверхні деталей та ін.).

В даний час мехатроніка знаходить широке застосування в наступних областях:

- електроенергетиці (в конструкціях машин і механізмів електроживлення та електроспоживання);
- машинобудуванні (автоматизоване машинобудування, верстатобудування, електронне та енергетичне машинобудування та ін.);
- транспортному машинобудуванні (залізничний транспорт, нетрадиційні транспортні засоби, авіакосмічна техніка, автотракторне машинобудування, та ін.);
- робототехніці різного призначення;
- приладобудуванні (контрольно-вимірвальні пристрої та машини, офісна техніка, навігаційні прилади, обчислювальна техніка);
- мікроелектромеханічних системах (мікромашини, мікророботи та ін.);
- нанотехнології (мікроскопи, зонди, машини з мікромеханічними обробками поверхонь деталей та ін.);

- побутової техніки (автономні пилососи, швейні, пральні, посудомийні машини, холодильні установки);
- медичному та спортивному обладнанні (біоелектричні і екзоскелетні протези для інвалідів, тренажери, масажери, вібратори та ін.);
- фото– і відеотехніки (пристрої фокусування відеокамер, програвачі відеодисків та ін.);
- поліграфічних машинах;
- інтелектуальних атракціонах.

Цей список може бути розширений. Ринок мехатронної техніки динамічно розвивається і має стійку тенденцію до зростання.

Але в мехатроніці ще не до кінця сформульовані класифікаційні ознаки через недавньої появи цього наукового напрямку. На цей час мехатроніка є в значній мірі долею практиків. Розробка теоретичних основ мехатроніки знаходиться у початковій стадії. Їй ще далеко, наприклад, до такої аксіоматичної науки, як теоретична механіка, але мехатроніка відноситься до групи міждисциплінарних природничо-технічних напрямів навчання, а не до інженерної групи.

1.2 Об'єкти мехатроніки

Базовими об'єктами вивчення мехатроніки і робототехніки є мехатронні модулі і комплекси різного призначення. Проектування сучасних мехатронних систем засновано на модульних принципах і технологіях.

Модуль – це уніфікована функціональна частина машини (системи), конструктивно оформлена як самостійний виріб або підсистема.

Мехатронний модуль – це функціональний і конструктивно самостійний синергетичний, апаратно і програмно інтегрований виріб (або підсистема), що складається з елементів різної фізичної природи і призначене для реалізації певних функцій системи.

Модулі можуть складатися з окремих мехатронних елементів (компонентів). За характером функцій, що виконуються модулями і за складом їх пристроїв і елементів, які входять до них умовно, вони діляться на групи:

1. Виконавчі мехатронні модулі руху:
 - модулі руху (МД);
 - мехатронні модулі руху (ММР);
 - інтелектуальні мехатронні модулі руху (ІММР).
2. Вимірювально-інформаційні мехатронні модулі.

3. Мехатронні модулі систем керування різного рівня.

Модуль руху (МД) – конструктивно і функціонально самостійний виріб, що складається з механічної (гідравлічної, пневматичної) та електротехнічної частини, яке можна використовувати індивідуально і в деяких комбінаціях з іншими модулями. Прикладами МД є мотор-редуктори, мотор-колесо, мотор-барабан, електрошпинделі та ін (рис. 1.2).

Мехатронний модуль руху (ММР) – це конструктивно і функціонально самостійний виріб, що складається з механічної (гідравлічної, пневматичної) та електротехнічної частини, а також електронної та інформаційної частин. Такий модуль можна використовувати індивідуально і в деяких комбінаціях з іншими модулями.



Рисунок 1.2 – Модулі руху: мотор-колесо (а), мотор-барабан (б)

На цей час існує реальна інтелектуалізація виконавчих мехатронних модулів руху на приводному рівні машин і механізмів.

Інтелектуальний мехатронний модуль руху (ІММР) являє собою конструктивне і функціонально самостійний виріб з синергетичною інтеграцією механічної (гідравлічної, пневматичної), електричної, електротехнічної, електронної та комп'ютерної (мікропроцесорної) частин, які можна використовувати індивідуально і в деяких комбінаціях з іншими модулями.

Очевидно, показані модулі, мають додаткові частини, які відрізняють їх один від одного. Але в цілому їх об'єднує можливість використання індивідуально або в деяких комбінаціях з іншими модулями.

Мехатронні модулі різного рівня наведені на рисунку 1.3.

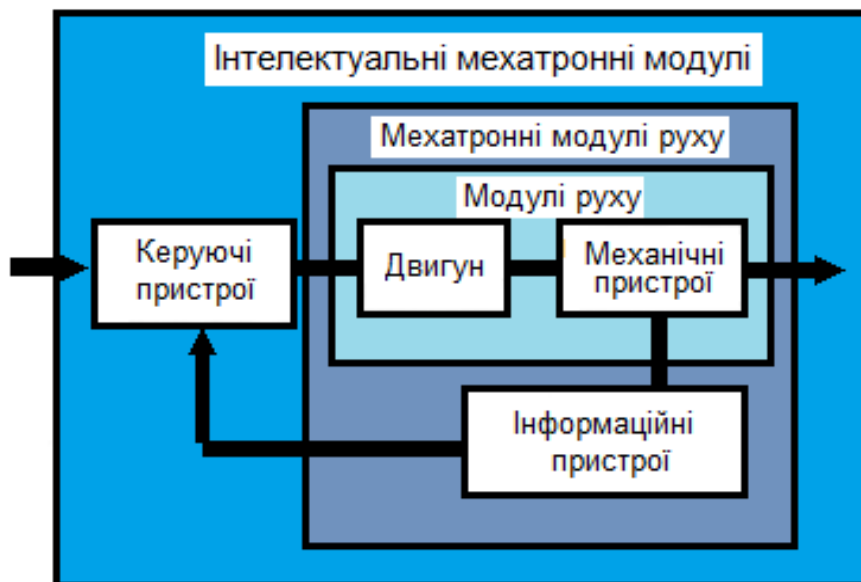


Рисунок 1.3 – Класифікація мехатронних систем

Інформаційно-вимірювальні мехатронні модулі призначені для збору, обробки, передачі, зберігання та подання достовірної інформації у зручному для обчислювальної техніки вигляді і для реалізації керування мехатронними системами.

Мехатронні модулі систем керування призначені для управління складними динамічними об'єктами і припускають багаторівневу ієрархічну структуру. Вона включає стратегічний, тактичний і виконавчий рівні керування, що мають доступ до інформаційно-вимірювального мехатронного модулю. Використання такого складу сприяє вирішенню завдань керування на кожному ієрархічному рівні управління мехатронної системи.

У загальному випадку складність завдань керування мехатронними системами обумовлює доцільність і необхідність їх вирішення з залученням методів і технологій штучного інтелекту.

Практикується конструктивне вбудовування різнорідних мехатронних елементів в конструкцію мехатронних модулів.

У визначенні мехатронних систем також декларується необхідність інтелектуалізації мехатронних і робототехнічних систем в першу чергу за рахунок застосування інтелектуальних систем керування.

Синтез ІММР і мехатронного модуля керування сприяє створенню інтелектуальної мехатронної машини.

Інтелектуальна мехатронна машина (ІММ) – це інтелектуальна багатовимірна система, побудована на мехатронних принципах і технологіях, яка здатна ефективно виконувати програми функціональних рухів в умовах

нечіткої та неповної інформації про експлуатаційну характеристику машини і параметрах зовнішнього середовища.

Окремим випадком такої машини є інтелектуальна робототехнічна система. Узагальнена структура мехатронної машини, в основу побудови якої покладено структура автоматичних роботів, показана на рисунку 1.4.

Зовнішнім середовищем для машин даного класу є технологічне середовище, яке містить основне і допоміжне обладнання, технологічне оснащення та об'єкти робіт.

Характеристики технологічних середовищ, як правило, можуть бути визначені за допомогою аналітико-експериментальних досліджень і методів комп'ютерного моделювання. При виконанні мехатронною системою заданого функціонального руху, об'єкти робіт надають впливи на робочий орган. Прикладами таких впливів можуть служити сили різання для операцій механічної обробки, контактні сили при складанні, реакція струменя рідини для гідравлічного різання та інші.

До складу мехатронної машини входять чотири основні частини (див. рис. 1.4):

- механічний пристрій, кінцевою ланкою якого є робочий орган;
- блок приводів, що складається з силових перетворювачів і виконавчих двигунів;
- пристрій комп'ютерного керування, на вхід якого надходять команди людини-оператора або ЕОМ верхнього рівня керування;
- інформаційний пристрій, призначений для отримання і передачі в пристрій комп'ютерного керування даних про реальний рух машини і про фактичний стан його підсистем.

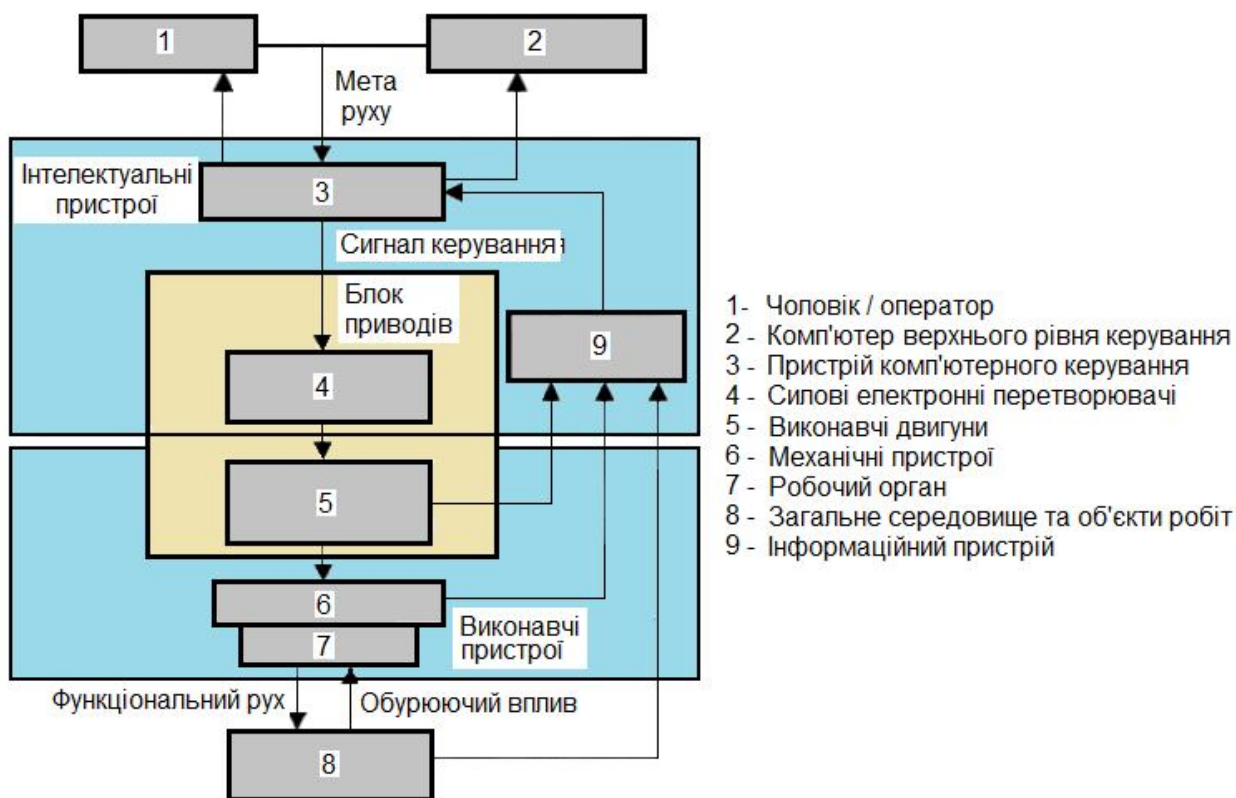


Рисунок 1.4 – Загальна структура мехатронних машин

Механічний пристрій і двигуни об'єднані в групу виконавчих пристроїв. До складу групи інтелектуальних пристроїв включені електронна, керуюча та інформаційна частини машини.

Механічний пристрій мехатронної машини є багатоланковим механізмом. Кінематичний ланцюг його утворюють рухомі ланки, складові кінематичні пари. Кінцевою ланкою кінематичного ланцюга є робочий орган.

Робочий орган мехатронної машини – це складова частина механічного пристрою для безпосереднього виконання технологічних операцій та / або допоміжних переходів.

Приклади робочих органів в робототехніці: механічні, вакуумні і електромагнітні захватні пристрої, зварювальні кліщі (для точкового зварювання), інструментальні головки для механічної обробки і лазерних операцій, фарбувальний пістолет та ін. (рис. 1.5).

Таким чином, робочий орган – це керований модуль, який може мати кілька ступенів рухливості і складатися з кількох елементів. Тому при його розробці також можуть використовуватися мехатронні принципи інтеграції.

Пристроєм комп'ютерного керування є комплекс апаратних і програмних засобів, що виробляє сигнали керування для блоку приводів машини. До складу комплексу входять пристрої, що задають (наприклад, джойстики та рукоятки),

пульт керування оператора, обчислювальні і перетворюючі пристрої, периферійні пристрої введення-виведення інформації.

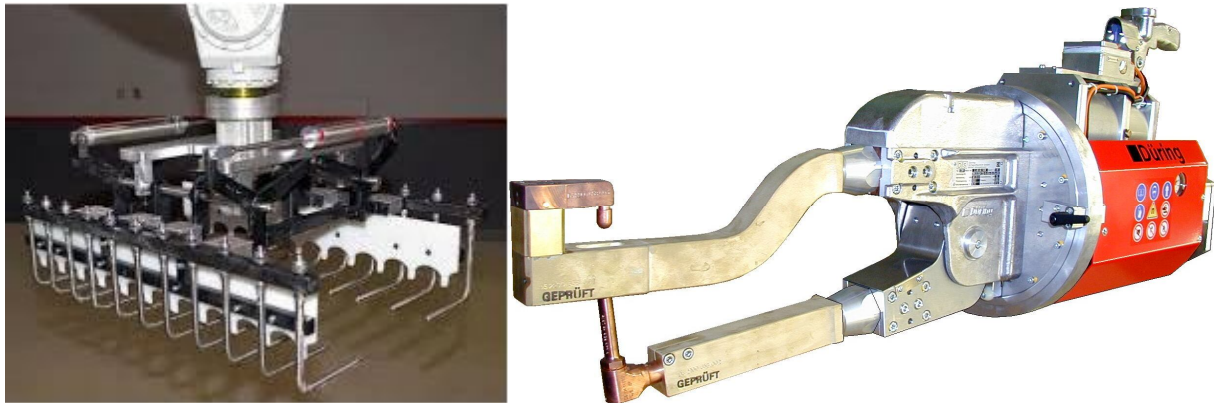


Рисунок 1.5 – Приклади робочих органів: захватні пристрої (а), зварювальні кліщі (б)

Пристрій комп'ютерного керування виконує наступні основні функції:

- керування функціональними рухами мехатронної машини у реальному масштабі часу;
- координації керування механічним рухом з супутніми зовнішніми процесами;
- взаємодії з людиною-оператором через людино-машинний інтерфейс в режимах програмування і безпосередньо в процесі руху (режим on-line);
- обміну даними з зовнішніми пристроями (інформаційним пристроєм, блоком приводів, комп'ютером верхнього рівня, периферійними пристроями).

Інформаційний пристрій призначений для збору і передачі в пристрій керування інформації про фактичний стан зовнішнього середовища і руху мехатронної машини.

Згідно представленої блок-схеми (див. рис. 1.4) в інформаційному пристрої можна виділити три групи сенсорів:

- датчики інформації про стан зовнішнього середовища і об'єктів робіт (системи технічного зору, локаційні датчики, далекоміри і тощо);
- датчики інформації про рух механічної частини (датчики переміщень, швидкостей, прискорень, сил і моментів);
- датчики зворотного зв'язку блоку приводів (дають інформацію про поточні значення електричних струмів і напруг в силових перетворювачах).

Система інтелектуального управління машиною (комплекс верхнього рівня управління на рисунку 1.3) в умовах неповної інформації зазвичай реалізується

у вигляді комплексу програмних засобів на комп'ютері верхнього рівня керування.

При відсутності такого комплексу ІММ перетворюється в інтелектуальний мехатронний модуль руху (ІММР).

1.3 Структурні базиси мехатроніки

До структурного базису мехатроніки відносяться складові частини та технології, які відображені на рисунку 1.6.

Наприклад, структурна піраміда мехатроніки (рис. 1.6, а) враховує цілісність мехатроніки які відображені на рис. 1.6, об'єкта і складається з трьох основних частин: механічної, електронної та інформаційної.

Осі координат піраміди відповідають базовим напрямкам механіки, електроніки, інформатики. На координатних осях відзначені сучасні рівні розвитку частин напрямків: прецизійна механіка, мікроелектроніка, інформаційні технології.

Попарно інтеграція базових напрямків (грані піраміди) утворюють три гібридних напрямки, до яких відносяться: електромеханіка, комп'ютерні системи керування, системи автоматизованого проектування механічних систем. На стику гібридних напрямків виникає мехатроніка.

Базові та гібридні напрямки визначають технологічний базис мехатроніки (рис. 1.6, б).

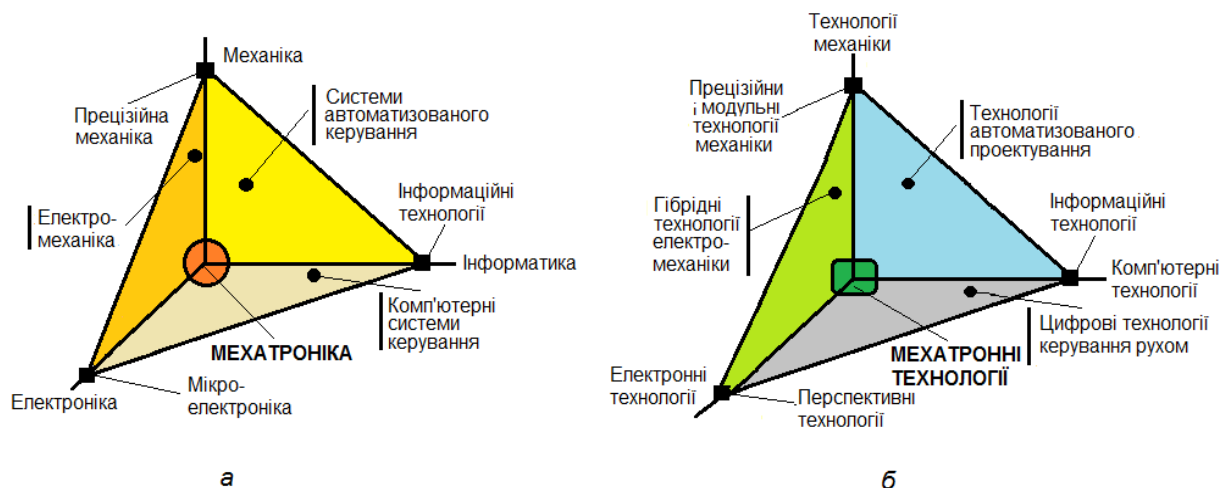


Рисунок 1.6 – Структурна (а) і технологічна (б) піраміди мехатроніки

Пірамідальна форма і склад технологічної піраміди мехатроніки повністю відповідає її структурному базису.

Фундаментом технологічного базису мехатроніки є нові технології всіх базових напрямків: прецизійні і модульні технології механіки, мікроелектронні та інформаційні технології.

Всі компоненти мехатронних модулів діляться на групи, що визначаються елементами:

- виконавчі елементи, до яких віднесено механічні та електротехнічні елементи (двигуни, перетворювачі руху, направляючі, гальма і тощо);
- інтелектуальні елементи, до яких відносяться силові електронні блоки, інформаційні та керуючі елементи.

Гібридні технології припускають наявність двох етапів технологічної інтеграції елементів першої та другої групи елементів.

До першого етапу відносяться операції виготовлення гібридних елементів.

До другого етапу відносяться гібридне складання мехатронних модулів і машин з гібридних елементів. При цьому допускається, що елементи обох груп виготовляються незалежно і паралельно на різних технологічних лініях, або купуються у різних виробників (по заздалегідь узгодженим специфікаціям).

Гібридне складання відповідає конструкторській ідеї об'єднання (інтеграції) різноманітних гібридних елементів в єдиному корпусі. Прикладом інтеграції виконавчих елементів через гібридну збірку є інтегрований сервопривод типу ШПШ 10 (рис. 1.7, а).

До складу ШПШ 10 (рис. 1.7, б) входять наступні складальні одиниці: гібридний кроковий двигун, перетворювач частоти на основі високопродуктивного DSP процесора, датчик кутового переміщення, програмований логічний контролер (PLC), промисловий інтерфейс CAN.

Сервопривод типу ШПШ 10 призначений для максимально широкого застосування в різних областях машинобудування.



Рисунк 1.5 – Зовнішній вигляд інтегрованого сервоприводу ШПШ 10 (а) і схема його гібридизації (б)

Переваги сервоприводу типу ШПШ 10:

- векторне керування на основі адаптованого для крокових двигунів алгоритму;
- високі динамічні показники за рахунок використання замкнутого контуру регулювання струму;
- замкнутий контур швидкості;
- низька вібрація за рахунок динамічно регульованого зусилля;
- простота монтажу;
- невеликі масогабаритні показники.

Гібридні технології виготовлення знайшли широке застосування у виробництві мікроелектромеханічних систем (МЕМС). Типовими представниками МЕМС є мобільні мікророботи. У лабораторії штучного інтелекту (США, Кембридж) створено декілька типів мобільних мікророботів з використанням гусеничного двигуна та ін. (рис. 1.6).

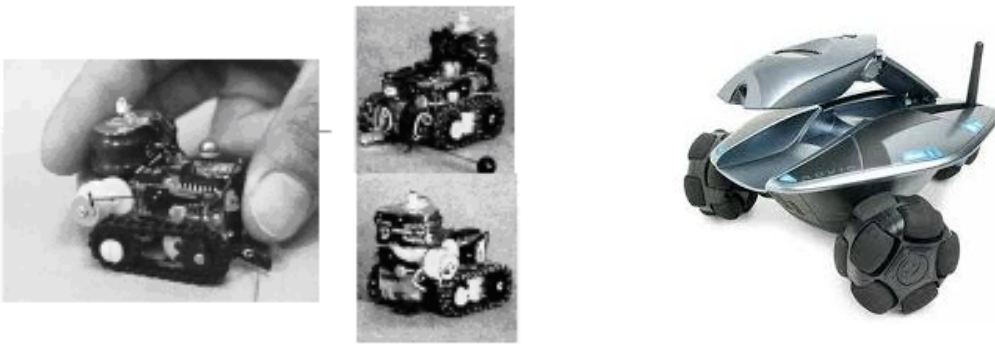


Рисунок 1.6 – Мобільні мікророботи

Його основна перевага мікророботів – повна автономність, так як використання мінідвигунів постійного струму не вимагає потужних джерел живлення (цілком достатньо застосування Ni-Cd акумулятора). До переваг також відноситься їх висока маневреність, наприклад, гусеничний привід дозволяє розвертатися практично на місці і реалізувати одночасно лінійний і обертальний руху.

До недоліків слід віднести складну механічну систему, наявність редуктора. Це призводить до необхідності боротися з зазорами і люфтами. Зменшити їх вплив на характер і якість руху можливо шляхом ускладнення конструкції або шляхом програмного забезпечення в системі керування. Використання, наприклад, гусеничного приводу тягне за собою втрату значної частки енергії на подолання сили тертя.

Основне призначення таких «іграшок» – це відпрацювання механізмів побудови самоорганізованих колоній таких механізмів (за основу самоорганізації взяті механізми поведінки мурах). Тому цей прототип і отримав назву Ant (англ. «Мураха»). При завершенні робіт з цієї тематики вчені сподіваються отримати групу мікророботів, здатних вибирати самостійно стратегію досягнення мети, вирішувати питання централізації або, навпаки, децентралізації керування і тощо.

Розвиток МЕМС-технологій дозволило створити сенсори, в конструкції яких реалізовано об'єднання функцій вимірювання поточних параметрів механічного руху, їх перетворення і обробки за заданими алгоритмами в єдиному блоці. До таких конструкцій відносяться інтелектуальні сенсори, робототехнічні модулі і системи. Основним критерієм для них є ставлення ціна / якість, висока надійність і безпека функціонування, а також гнучкість і швидка реконфігурація в нових умовах, ступінь інтелектуалізації ергатичних систем керування.

Контрольні запитання

1. Дати поняття мехатроніки.
2. Що визначає термін «синергетика» і що для нього є характерним?
3. Перелічити основні компоненти мехатронних систем.
3. У чому полягає мета мехатроніки?
4. Що є предметом мехатроніки?
5. На чому засновані методи мехатроніки?
6. В яких областях на даний час використовуються мехатронні системи?
7. Що являє собою мехатронний модуль?
8. Особливості мехатронного модулю руху. Навести приклади.
9. Проаналізувати особливості інтелектуального мехатронного модулю руху.
10. З якою метою використовуються інформаційно-вимірювальні мехатронні модулі?
11. Що являє собою інтелектуальна мехатронна машина ?
12. Які основні елементи входять до інтелектуальної мехатронної машини?
13. Що представляє собою робочий орган мехатронної машини?
14. Проаналізувати структурну та технологічну схеми піраміди мехатроніки. Навести приклади.

ЛЕКЦІЯ 2

ПРИНЦИПИ І РІВНІ МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ

2.1 Принципи мехатроніки

Загальні тенденції розвитку техніки і особливостей мехатроніки, а також робототехніки безпосередньо визначають основні принципи, які мають системний підхід з урахуванням закону ступеня $3/2$, поетапну мініатюризацію, уніфікацію, інтеграцію, інтелектуалізацію.

Робота мехатронних систем заснована на наступних основних принципах:

Перший принцип – системне проектування (тобто синтез виробів мехатроніки) на основі загальносистемних критеріїв без декомпозиції на окремі функціональні компоненти. Реалізація цього принципу стала можливою тільки на певному етапі розвитку науки і на шляху його подальшого вдосконалення. При цьому існує ще багато проблем в частині формування загальносистемних критеріїв і розробки методів синтезу на їх основі.

Другий принцип – поетапна мініатюризація елементів шляхом послідовного освоєння різного порядку розмірностей виробів у вигляді окремих поколінь техніки. Кожне таке покоління вимагає нових відповідних технологій. При цьому для реалізації ідей необхідно технологічне обладнання, засноване на техніці попередньої розмірності.

Наприклад, реалізація цього принципу в мікромехатроніке передбачає розвиток 3D мехатронних і мікросистемних технологій на основі 2D технологій мікроелектроніки, створених на попередньому етапі розвитку техніки. Створення нанотехнологій, в свою чергу, передбачає використання мікротехніки (наприклад, мікроманіпуляторів і тощо).

Третій принцип – уніфікація функціональних компонентів. В ході мініатюризації для систем до дециметрової розмірності цей принцип реалізується у вигляді модульної побудови систем з типурозмірних рядів. Вони мають конструктивно уніфіковані функціональні компоненти (рис. 2.1), такі як: енергоживлення, сенсорні, інформаційно-керуючі, виконавчі (приводні).

З урахуванням основних вимог до компонентів їх можна об'єднати в дві групи: інформаційні і силові.

Зі зменшенням габаритних розмірів елементів виробів до рівня сантиметрової розмірності загальносистемна оптимізація призводить до взаємного проникнення (конвергенції) цих функціональних компонентів. Це дає зниження вагогабаритних параметрів, підвищення швидкодії і надійності (перш за все за рахунок зменшення міжкомпонентних зв'язків).

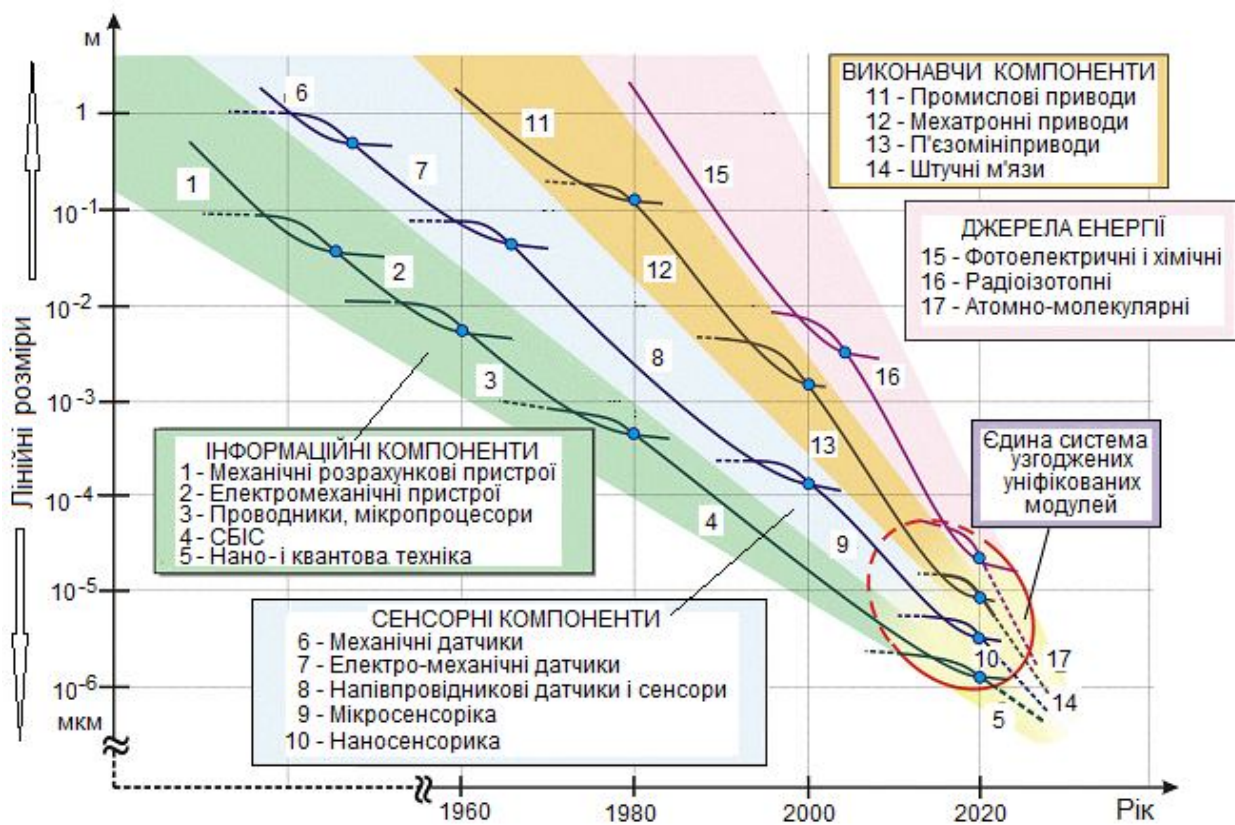


Рисунок 2.1 – Розвиток компонентів і елементної бази мехатроніки

Першим уже досить освоєним етапом процесу є поширення методів штучного інтелекту з інформаційно-керуючими компонентами, які впливають на інші функціональні компоненти від сенсорних до виконавчих.

Аналогічна тенденція існує в енергоживленні і енергоспоживанні шляхом його децентралізації та введенням вторинних джерел енергії в окремі функціональні компоненти. В основі цих процесів як і раніше лежить загальносистемна оптимізація.

Четвертий принцип – це інтеграція функцій на базі однорідних структур. Принцип побудови систем приходить на зміну модульному при переході до міліметрової розмірності. Цьому передують вказане вище поступове взаємне проникнення функціональних компонентів, яке і завершується переходом до якісно нового типу. Такий перехід містить два етапи.

Перший етап охоплює інформаційні компоненти (сенсорні, інформаційно-керуючі, зв'язку), а другий – силові (виконавчі, енергоживлення).

В даний час перший етап реалізується на основі нейроподібних структур. Кожна функція виконується окремими ділянками таких структур з можливістю їх оперативного перерозподілу і зміни меж. Така організація подібна багатоагентній системі в комп'ютерних мережах. Окремі компоненти втрачають свою конструктивну самостійність і перетворюються в програмний

продукт, а саме в програмні агенти-модулі, що функціонують в однорідному матеріальному середовищі.

Другий етап освоєння однорідних структур – це реалізація цього принципу в силових функціональних компонентах. Дане завдання вимагає пошуку нових фізичних принципів і шляхів їх технічної реалізації. Дослідження ведуться по створенню приводів за типом «штучних м'язів». Вони складаються з сотень елементарних мікроактуаторів на основі електроактивних полімерів і по створенню джерел енергоживлення з нанобатарей і нанопаливних елементів. Це сприяє поліпшенню вагогабаритних параметрів і дозволяє кардинально підвищити надійність компонентів і модулів в цілому.

Стосовно до мікромехатронних систем викладене вище узагальнено представлено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Типи покоління мікромехатронних систем

Розмірність (габарити)	Принцип побудови (структура)	Рівень керування
10^{-1} м (дм)	Модульна побудова на основі конструктивно уніфікованих типорозмірних рядів функціональних модулів	Адаптивність
10^{-2} м (см)	Взаємопроникненні функціональні компоненти	Штучний інтелект
10^{-3} м (мм)	Однорідні структури з розподіленими функціями	Штучний розум (Інтелект + креативність)

П'ятий принцип – інтелектуалізація, як окремих функціональних компонентів, так і загальносистемних функцій. Подальшим розвитком цього принципу буде технічне освоєння творчих (креативних) здібностей людини.

Шостий принцип – це так званий закон ступеня 3/2. Він відноситься до мініатюризації і полягає в тому, що в силу різного порядку розмірностей обсягу (3) і поверхні (2) об'єктів при їх мініатюризації відбувається збільшення значущості поверхневих явищ (наприклад, теплообміну із зовнішнім середовищем і тощо) у порівнянні з об'ємними явищами (наприклад, інерція і тощо). В результаті відповідно підлягають перегляду принципи побудови, методи розрахунку і проектування мехатронних систем по мірі їх мініатюризації.

2.2 Структура побудови та рівні інтеграції електромехатронних систем

Мехатронні пристрої – це клас машин або вузлів, що базується на використанні досягнень точної механіки, електроприводу, електроніки, комп'ютерного керування. Всі ці елементи можна зустріти у величезній кількості традиційної техніки.

Мехатронні пристрої можна визначити по ряду ознак:

1. Наявність інтеграції наступних функціональних елементів:

- вихідної механічної ланки (ВМЛ), яка виконує зовнішні функції мехатронного пристрою;
- двигуна вихідної ланки з механізмом передачі руху до ВМЛ;
- підсилювача-перетворювача енергії живлення двигуна (ППЕЖ);
- пристрою цифрового програмного керування приводом;
- інформаційної системи, яка контролює стан зовнішнього середовища і внутрішніх параметрів мехатронного пристрою.

2. Мінімум перетворень інформації і енергії (наприклад, пряме цифрове керування безредукторним приводом).

3. Використання одного і того ж елемента мехатронного пристрою для реалізації декількох функцій (наприклад, параметри двигуна: струм, протидія ЕРС), що використовуються для вимірювання його моменту і швидкості (принцип поєднання функцій).

4. Проектування функцій різних елементів мехатронного пристрою таким чином, щоб мета службового призначення виробу досягалася спільним виконанням цих функцій без їх дублювання і з максимальним ефектом (принцип синергетики).

5. Об'єднання корпусів вузлів мехатронного пристрою (принцип поєднання корпусів).

Пристрій комп'ютерного керування здійснює основні функції:

- керування процесом механічного руху мехатронного модуля або багатовимірної системи в реальному часі з обробкою сенсорної інформації.
- організації керування функціональними рухами мехатронної системи, яка передбачає координацію керування її механічним рухом і супутніми зовнішніми процесами. Як правило, для реалізації функції керування зовнішніми процесами використовуються дискретні входи/виходи пристрою.
- взаємодії з системою «людина-оператор» через машинний інтерфейс в режимах автономного програмування (режим off-line) і безпосередньо в процесі руху мехатронної системи (режим on-line).

– організації обміну даними з периферійними пристроями, сенсорами і іншими пристроями системи.

Якісно нові властивості мехатронних модулів в порівнянні з традиційними приводами досягаються синергетичною інтеграцією складових елементів.

Синергетична інтеграція – це не просто з'єднання окремих частин в систему за допомогою інтерфейсних блоків, а побудова єдиного приводного модуля через конструктивне об'єднання і навіть взаємопроникнення елементів, які мають, як правило, різну фізичну природу.

Призначення мехатронних модулів є реалізація заданого керованого руху, як правило, по одній керованій координаті.

Мехатронні модулі руху є тими функціональними «кубиками», з яких потім можна компонувати складні багатокоординатно мехатронні системи.

Сутність мехатронного підходу до проектування полягає в об'єднанні в єдиний приводний модуль складових елементів (рис. 2.2).

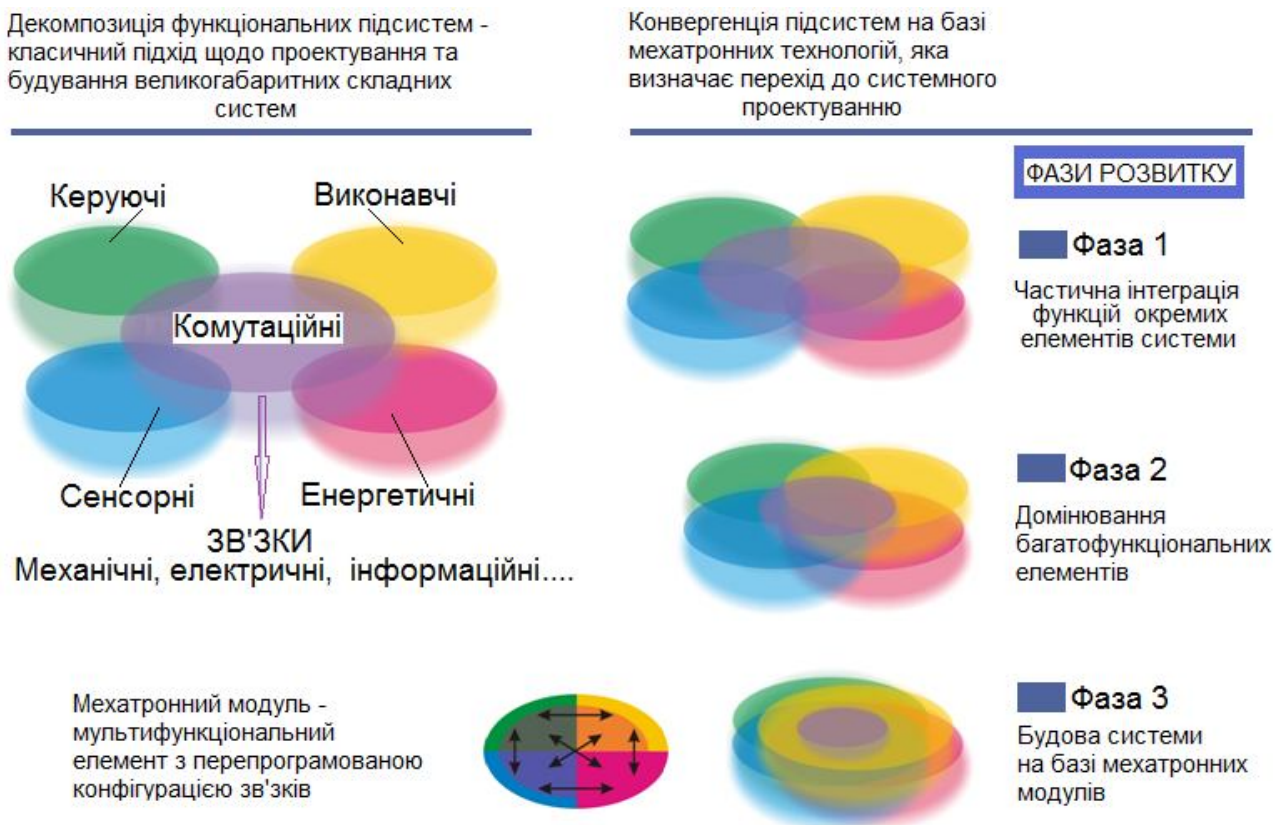


Рисунок 2.2 – Підходи до проектування і методології побудови складних технічних систем

Застосування мехатронного підходу до проектування модуля руху базується на визначенні можливих точок інтеграції елементів в структурі приводу. Виявивши також точки інтеграції можна потім на основі техніко-

економічного та технологічного аналізу приймати конкретні інженерні рішення на проектування і виготовлення модуля руху.

Наприклад, на вхід мехатронного модуля надходить інформація про мету руху, яка формується верхнім рівнем системи керування. Виходом є цілеспрямований мехатронний рух кінцевої ланки, наприклад, переміщення вихідного валу модуля.

Для фізичної реалізації електромеханічного мехатронного модуля теоретично необхідні чотири основних функціональних блоків, які послідовно з'єднані. Наприклад, інформаційно-електричний і електромеханічний, функціональний перетворювач в прямому ланцюзі і електроінформаційний та механіко інформаційні перетворювачі в колі зворотного зв'язку.

2.3 Мехатронні технологічні машини

У багатьох областях техніки мехатронні системи приходять на зміну традиційним електричним та механічним машинам, які вже не відповідають сучасним якісним вимогам. Мехатронний підхід в побудові машин нового покоління полягає в перенесенні функціонального навантаження від механічних вузлів до інтелектуальних, електронних, комп'ютерних інформаційних компонентам, які легко перепрограмуються під нове завдання і при цьому мають низьку коштовність. Наприклад, функціональний аналіз нових виробничих машин показує, що частка механічної частини скоротилася з 70 % на початку 1990-х років до 25–30 % на сьогодні. Принципово важливо підкреслити, що мехатронний підхід у проектуванні передбачається не розширення, а саме заміщення функцій, які традиційно виконуються механічними елементами системи, на електронні та комп'ютерні блоки.

На цей час широке застосування знайшли технологічні машини – гексаподи (рис. 2.3), які використовуються в енергетичній галузі для діагностики і обслуговування ліній електропередач, систем захисту та ін.

Такі гексаподи також можуть представляти собою обробні верстати, координатно-вимірювальні машини. У основі їх конструктивної схеми знаходиться платформа Г'ю - Стюарта. Особливістю таких машин є механізм, який має шість незалежних ніг на шарнірних з'єднаннях. Довжину ніг можна змінювати і, тим самим, можна змінювати орієнтацію платформи.

Всі показані технологічні машини відносяться до мехатронних систем.

Побудова діагностичного прогнозу, розвиток машинобудування і вибір основних тенденцій і стратегій концентрується на:

- інтеграції технологій і знань;
- інтелектуалізації виробничих технологій;

- мехатронних технологій машин і роботів;
- наскрізних інформаційних системах.

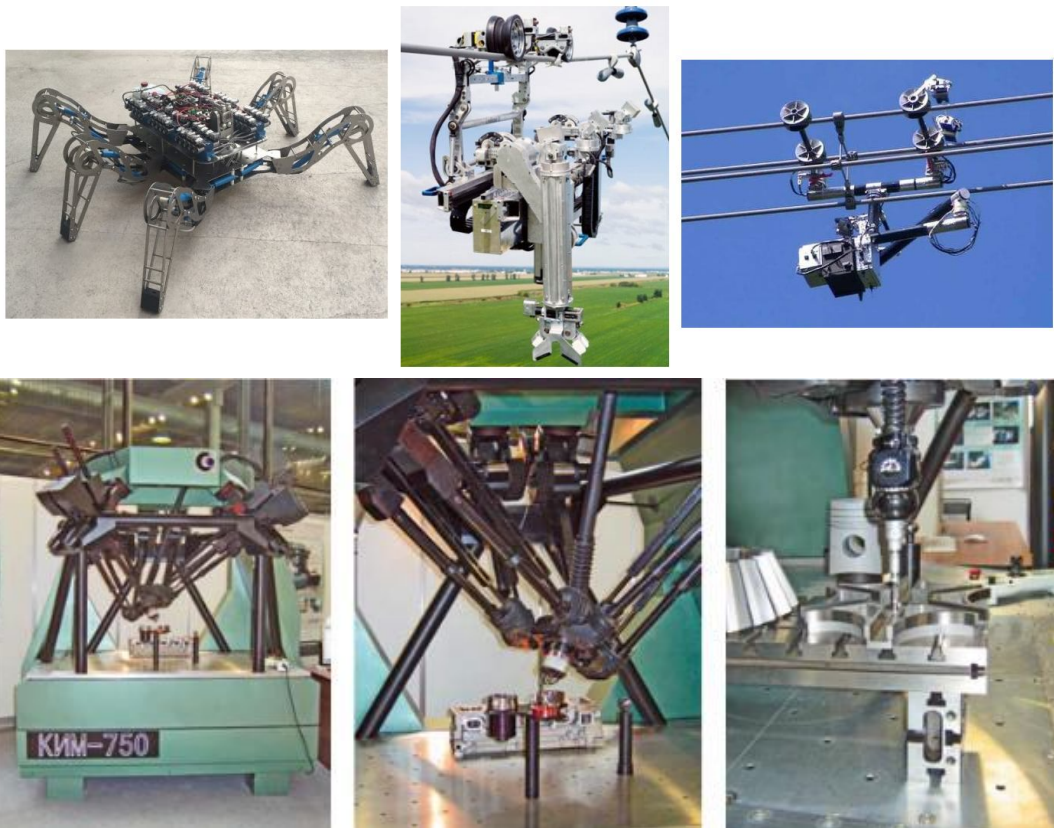


Рисунок 2.3 – Загальний вигляд технологічних машин-гексаподів

Саме системний підхід диктує нові вимоги щодо вбудованих механічних і гібридних компонентів. Це, зі свого боку, веде до розвитку нових технологій і конструкторських рішень в області енергетики та механіки.

Як основна класифікаційна ознака у мехатроніці за доцільне прийнятий рівень інтеграції складових елементів. Відповідно до цієї ознаки можна розділяти мехатронні системи також за рівнями, з урахуванням історичної їх появи на ринку наукомісткої продукції.

Наприклад, мехатронні модулі першого рівня являють собою об'єднання тільки двох вихідних елементів. Типовим прикладом модуля першого покоління може служити «мотор-редуктор», де редуктор і керований двигун випускаються як єдиний функціональний елемент.

Мехатронні модулі другого рівня з'явилися у 1980-х роках у зв'язку з розвитком нових електронних технологій, які дозволили створити мініатюрні датчики і електронні блоки для обробки їх сигналів.

На основі цих модулів створювались мехатронні системи, які знайшли широке застосування у засобах комплексної автоматизації виробництва (конвеєрів, транспортерів, поворотних столів, допоміжних маніпуляторів).

Об'єднання приводних модулів з зазначеними елементами привело до появи мехатронних систем другого покоління. Їх склад повністю відповідає визначенню, коли досягнута інтеграція трьох пристроїв різної фізичної природи: механічних, електричних та електронних. На базі мехатронних модулів та систем даного класу створені керовані енергетичні машини (турбіни і генератори), верстати і промислові роботи з числовим програмним керуванням.

Розвиток третього покоління мехатронних систем обумовлено появою на ринку порівняно не коштовних мікропроцесорів і контролерів. На їх базі інтелектуалізація всіх процесів, що протікають у мехатронній системі. Це, у першу чергу, стосується процесів керування функціональними рухами машин і агрегатів.

Одночасно йде розробка нових принципів і технологій виготовлення високоточних і компактних механічних вузлів, а також нових типів електродвигунів (високомоментних, безколекторних і лінійних), датчиків зворотного зв'язку і інформації.

Синтез нових прецизійних, інформаційних і вимірювальних наукомістких технологій дає основу для проектування і виготовлення інтелектуальних мехатронних модулів і систем. Надалі мехатронні машини і системи будуть об'єднуватися в мехатронні комплекси на базі єдиних інтеграційних платформ.

Мета створення таких комплексів – домогтися поєднання високої продуктивності і одночасно гнучкості техніко-технологічного середовища за рахунок можливості її реконфігурації. Це дозволить забезпечити конкурентоспроможність і високу якість продукції мехатроніки, що випускається на ринках ХХІ століття.

Контрольні запитання

1. Перелічити основні принципи мехатроніки. Проаналізувати їх особливості.
2. Що є мехатронними пристроями?
3. Перелічити ознаки мехатронних пристроїв.
4. Які основні функції здійснюють пристрої комп'ютерного керування?
5. Дати поняття синергетичної інтеграції.
6. У чому полягає сутність мехатронного підходу? Навести методологію побудови складних технічних систем.
7. Дати поняття гексаподів і що вони собою представляють? Навести приклади їх використання.
8. На чому концентруються тенденції діагностичного прогнозу та розвиток мехатронних систем?
9. У чому полягає мета створення мехатронних комплексів?

ЛЕКЦІЯ 3 МЕХАТРОННІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІННОВАЦІЇ

3.1 Загальні відомості про мехатронні технології

Мехатронні технології – це методи проектування і побудови модулів технічної системи, які засновані на синергетичному ефекті, що виникає при функціональному інтегруванні складових технічних систем (сенсорних, силових, інформаційних та енергетичних, див. рисунок 2.2).

Технологічний підхід дозволяє розширити можливість застосування концепції для системного вирішення дослідницьких завдань і проблем практичних розробок, а також ввести функціональний критерій класифікації областей реалізації складових енергетично-технічної системи. Наявність позитивного синергетичного ефекту при інтеграції функціональних складових на відміну від простої їх кількісної суперпозиції є важливою ознакою використання мехатронних технологій.

З огляду на класичний поділ підсистем функціональної робототехнічної машини на сенсорні, актуаторні (перетворюють один вид енергії в інший), інформаційні, енергетичні і конструктивні, мехатронні технології охоплюють процес проектування окремих підсистем, їх інтерфейсні взаємозв'язки, а також специфіку функціонального застосування машини в цілому.

Одночасне застосування мехатронної технології, з одного боку, і модульного принципу побудови робототехнічних систем, з іншого, вимагає визначення мінімального (модульної ієрархії побудови) елемента. Створення мехатронного модуля передбачає єдиний системний підхід щодо його розробки і не може відбуватися без взаємоузгодження інтерфейсних компонентів.

В цей час проектування мехатронних модулів (перш за все, сенсорних і актуаторних) розвивається інтенсивно. Такі модулі стали базою для створення технічних систем нового покоління. Однак цей напрямок розвитку мехатроніки, незважаючи на всю його ефективність, не є єдиним (або навіть основним), які реалізують принципи мехатроніки.

Справа в тому, що системи, які створені з мехатронних модулів, часом не можуть називатися мехатронними, якщо в їх основі лежить не загальносистемна оптимізація, а декомпозиція з локальною оптимізацією окремих функціональних частин. Застосування також методів штучного інтелекту в окремих підсистемах, вирішальні локальні завдання, також не робить всю систему інтелектуальною.

Разом з тим і синтезована за загальним критерієм технічна система, далеко не завжди виходить мехатронною, причому якщо складається з мехатронних модулів.

Це пояснюється тим, що побудова комплексу з модулів неминуче пов'язане з певним збільшенням вагогабаритних параметрів і надмірністю значень ряду інших загальносистемних параметрів, що притаманне всім способам уніфікації. Для того щоб синтезована за загальними критеріями технічна система могла бути віднесена до класу мехатронних, результатом її оптимізації повинно стати конструктивне злиття окремих функціональних компонентів різної фізичної природи – механічних, електронних, електротехнічних, тощо.

В іншому випадку синтезована автоматична система все одно розпадається як мінімум на конструктивно самостійні об'єкти керування і керуючий пристрій. Прикладом таких комплексів є космічні маніпулятори.

Синтезовані на мінімум маси вони виходять гнучкими і не працездатні без автоматичного керування.

Класичними прикладами мехатронних систем є електричні приводні системи, включаючи одноступеневу з вбудованим в ротор двигуна механізмом перетворення обертання в лінійний рух, а також двоступеневі (площинні) і просторові (гексапод) системи. Ці системи змінили традиційні, що скомпоновані зі звичайних одноступеневих приводів з окремими механізмами перетворення руху. Вони забезпечили суттєве покращення вагогабаритних параметрів і надійності їх роботи (рис. 3.1).

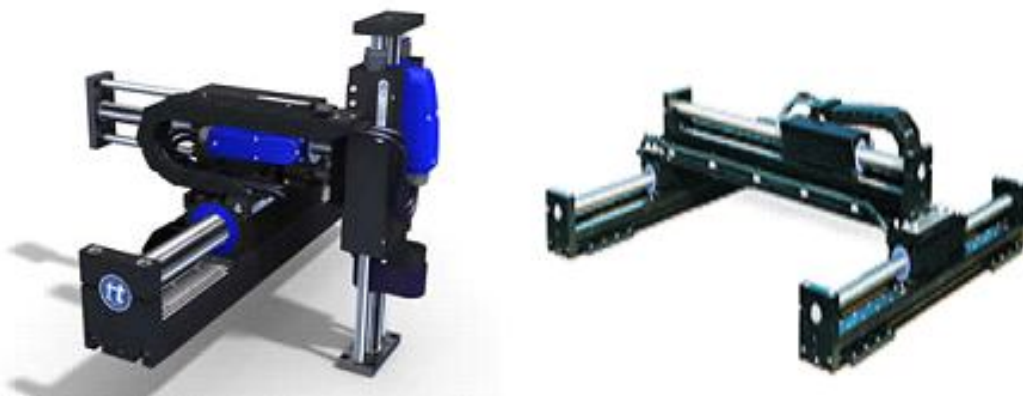


Рисунок 3.1 – Модулі лінійного руху

Сучасним класом мехатронних систем є мікросистемна техніка. Де в ході мініатюризації відбувається взаємне проникнення окремих функціональних компонентів до об'єднання їх в єдині структури. Такі системи пронизані

загальними інформаційними та енергетичними потоками. Зауважимо, що мехатронна система, в свою чергу, може входити в якості підсистеми до складу більш складних комплексів. Але останні при цьому вже не відносяться до мехатронних.

Таким чином, можливі два варіанти проектування мехатронної техніки: створення окремих функціональних компонентів технічних систем або створення цих систем як єдиного цілого, що не розділяється на конструктивно окремі компоненти.

Кожен з цих підходів має свої області застосування. Проектування технічних систем з мехатронних модулів, тобто з функціонально і конструктивно уніфікованих компонентів (сенсорних, актуаторних, енергетичних та ін.) – це спосіб оптимізації цілого класу технічних систем близького призначення.

Мехатронний підхід до проектування технічних систем на основі загальносистемних критеріїв, що відповідають основним вимогам до системи, перспективний для спеціальних технічних систем, коли не передбачається розширення їх функціонального призначення та номенклатури. Системно-мехатронний підхід значно складніше модульно-мехатронного через складності об'єкта оптимізації. Складність такого підходу логічно пояснює той факт, що мехатроніка почалася саме зі створення однофункціональних компонентів.

Таким чином, при проектуванні керованих систем, що поєднують механічні, електротехнічні та електронні елементи, перш за все, слід визначити, на якому ієрархічному рівні доцільно застосувати мехатронний підхід до проектування, а саме на рівні функціональних компонентів або на загальносистемному рівні. Це визначить як стратегію проектування, так і тип створюваної технічної системи.

Характерним прикладом виконання мехатронною системою нових службових функцій служить система групового керування в розподілених системах.

Проблеми групового керування групою об'єктів, об'єднаних однією метою, актуальні для багатьох сфер. В принципі будь-яка розподілена система, що складається з окремих елементів, стикається з проблемою групового керування.

3.2 Інноваційні рішення застосування мехатронних систем

Одним з інноваційних рішень групового керування є розробка системи керування на залізничному транспорті.

Наприклад, фірмою SIEMENS розроблена Європейська система керування рухом залізничного транспорту (ETCS). Система ETCS має блочну структуру і включає наступні підсистеми:

- диспетчерської централізації, яка дозволяє регулювати і контролювати електричну і релейну централізацію, а також має широкий набір автоматичних функцій (Vicos OC 100, Vicos OC 500, Vicos CBTC);

- електронної централізації (ЕЦ), які здійснюють контроль і керування пристроями забезпечення безпеки і визначають взаємозв'язок світлофорів, стрілок і поїздів (Sicas, Sicas S7);

- керування рухом поїздів. При автоматичній роботі система керування дозволяє замінити машиніста і забезпечує максимальну ефективність і адаптованість;

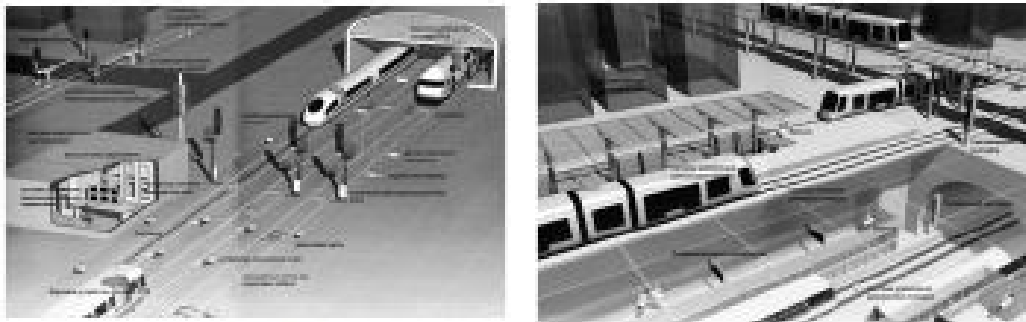
- залізничного зв'язку, які забезпечують інтерактивний зв'язок між станцією, потягом і центром керування (Railcom Manager, Airlink);

- радіосистеми керування рухом потягів (Trainguard MT, Trainguard CBTC);

- компоненти технічних засобів інфраструктури шляху: системи лічильників, стрілочні переводи, світлофори, транспондери, системи виявлення вільності колії, системи захисних пристроїв на переїзді;

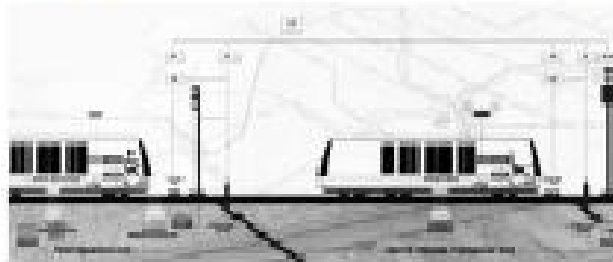
- автоматичні системи безперервного (Sacem, LZB700M) і перервного (Zub200, Imu100) зв'язку між потягом і залізничною колією.

Ергономічний людино-машинний інтерфейс являє собою багатофункціональний пульт керування (рис. 3.1).



а

б



в

Рисунок 3.2 – Автоматизована система керування рухом залізничного транспорту: *а* – технічні засоби контролю руху поїздів; *б* – інформаційні системи; *в* – переривчастий і постійний зв'язок «потяг-шлях»

Пульт керування складається з TFT-дисплея з високою роздільною здатністю, сенсорного екрану і звукового зворотнього зв'язку.

Системи контролю руху потягів Vicos OC 100 і Vicos OC 500 пропонують широкий набір апробованих функцій диспетчерської централізації, включаючи локальний пульт керування і центр автоматизованого контролю та керування.

Електронна система централізації Sicas застосовується в системах масових перевезень і на регіональних залізницях усього світу. Вона може включати вбудовані функції централізації.

На цей час інтелектуальні системи широко експлуатуються в закордонних країнах і в Україні. Дані системи керування можуть застосовуватися для будь-якого виду транспорту: залізничного, міського електротранспорту, автомобільного, повітряного і водяного.

Прикладом іншого інноваційного рішення є застосування електромехатронних систем в атомній енергетиці.

До таких комплексів або систем відносяться роботи у радіаційній розвідки. Як показує досвід проведення радіаційних обстежень, є багато джерел випромінювання які в просторі можуть бути не зафіксовані радіометричними системами. Тому використання стандартних радіометрів є неефективним. У

зв'язку з цим для проведення вимірювань можуть застосовуватися роботизовані системи (рис. 3.3) з технологіями колімірованої радіометрії.



Рисунок 3.3 – Роботизовані мехатронні системи для атомної енергетики

Таких роботів оснащують відкритими і колімірованими детекторами, відеокамерами і тощо. Відкриті детектори вимірюють потужність дози радіації в точці розміщення вимірювального блоку. Колімірований детектор проводить вимірювання потоків випромінювання. Відеокамери, як правило, мають оптичне збільшення, що дозволяє докладно розглянути досліджуваний об'єкт.

Роботизовані системи можуть функціонувати в дуже важких умовах: при високих і низьких температурах, обвалах, загазованості, запиленості, радіаційних і електромагнітних полях і тощо.

Роботи можуть виступати і носіями апаратури для обстеження радіаційно-небезпечних об'єктів. Таким чином, робототехніка дозволяє проводити максимально ефективну радіаційну розвідку, минаючи перебування людини на об'єкті.

Широко використовуються роботи-ліквідатори наслідків аварій шляхом збору радіаційних проб, очищення будівель від завалів і дезактивації атомних реакторів. Поштовх розвитку світового ринку робототехніки з метою ліквідації наслідків аварій на АЕС надала катастрофа, що сталася на «Фукусіма-1». Дистанційно керовані роботизовані системи використовувалися для виведення з експлуатації атомного реактора з метою зниження високого рівня радіації.

Сьогодні світовий ринок продовжує розвиватися у напрямку створення інтелектуальних мехатронних систем.

3.3 Мехатронні комплекси в системах електропостачання

Практичне використання в системах електропостачання мехатронних комплексів та систем будується на базі інтелектуальних мереж.

Термін «інтелектуальна мережа» (IntelliGrid) використовується для опису технологій автоматичної і швидкої локалізації ушкоджень, відновлення енергопостачання, моніторингу навантаження, підтримки і відновлення стійкості для більш надійного вироблення, передачі і розподілу електроенергії. Поставлена мета досягається за рахунок використання мікропроцесорних інтелектуальних електронних пристроїв (ІЕП), які обмінюються між собою даними для виконання завдань.

Інтелектуальна мережа – це набір інформаційних джерел і автоматизованої системи керування (АСК), яка керує енергопостачанням, розпізнає зміну навантаження і реагує відповідним чином.

Перехід від існуючої в даний час мережі до інтелектуальної і ключові відмінності між ними проілюстровані на рисунку 3.3.

Очевидним є фундаментальні зміни в конструкції та експлуатаційної парадигмі інтелектуальної мережі: від централізованих ресурсів – до розподілених, від передбачуваних напрямів потоку енергії – до непередбачуваних напрямків, від пасивної мережі – до активної. Мережа стає більш динамічною за своєю конфігурацією і умов функціонування, що представляє безліч можливостей для оптимізації, але, разом з тим, і безліч нових технічних проблем.

Основні властивості інтелектуальних мереж:

– інтеграція різних джерел енергії для задоволення потреб споживачів. На додаток до енергії, що виробляється на основі атома, вугілля, гідроресурсів, рідкого палива і газу енергія буде надходити від сонця, вітру, біомаси, припливів-відливів і інших поновлюваних джерел. Інтелектуальна мережа буде підтримувати не тільки централізовані великі електростанції, але і розподілені джерела енергії у масштабах місця проживання людини. Ці поновлювані і екологічно чисті джерела плавно інтегруються в основну мережу;

– швидке накопичення енергії за рахунок великої кількості центрів накопичення енергії (стаціонарних і мобільних), які дозволяють згладити пікові навантаження і нестійкість вітряного і сонячного виробництва енергії. Наприклад, розробка систем накопичення енергії на базі акумуляторних батарей (BESS) з перетворювачами напружень (VSC) показала перспективу і можливі позитивні ефекти накопичення енергії;

– розвиток рухливих (мобільних) джерел і споживачів енергії. Прориви у технології виготовлення батарей робить штепсельний електротранспорт комерційно життєздатним. Десятки мільйонів електротранспорту підключається до мережі на автостоянках (електромобілі, електробуси, тощо).

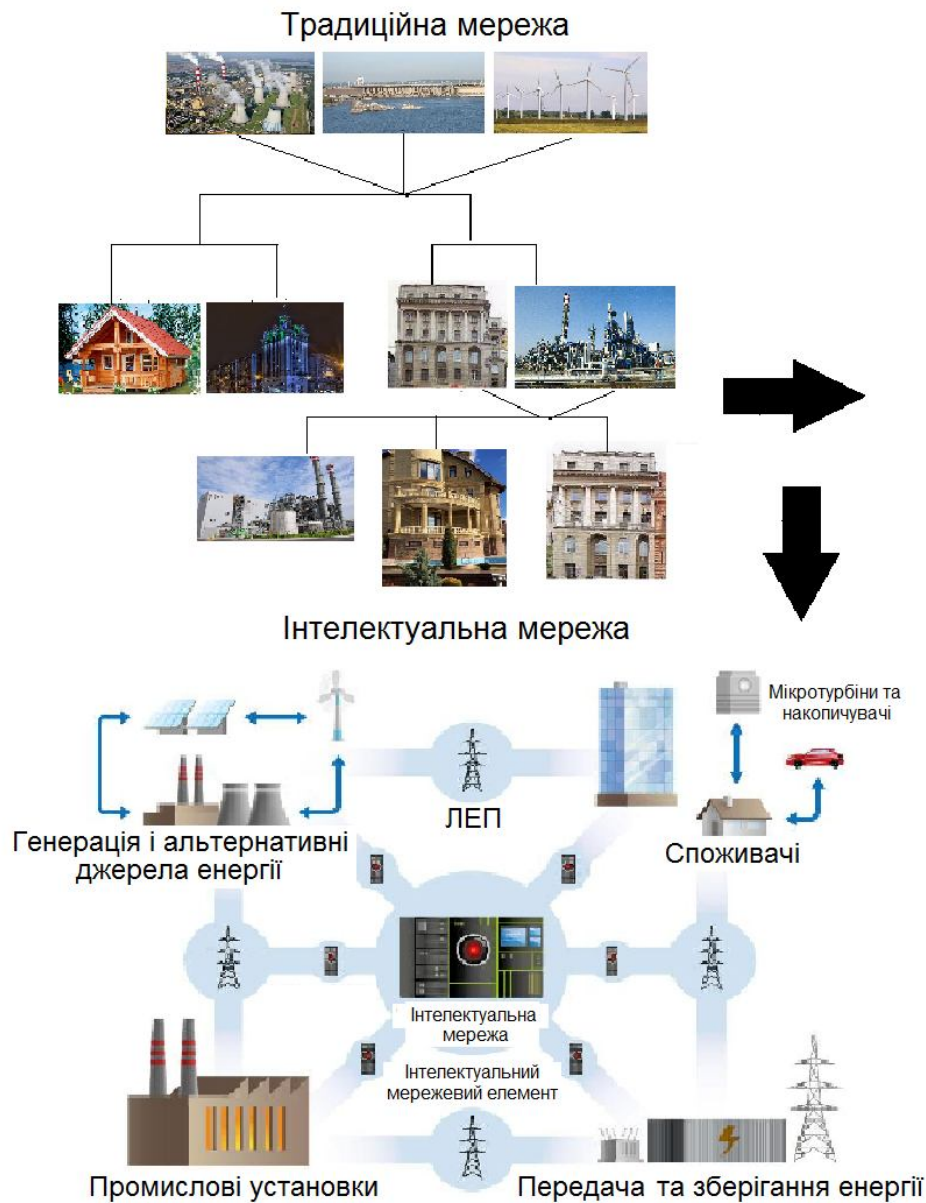


Рисунок 3.4 – Перехід від сучасної до інтелектуальної мережі енергопостачання

Системи батарей в цих транспортних засобах заряджаються або розряджаються за допомогою складних координаційних систем (або ІКТ - шлюзів - інтегрованих інформаційних і комунікаційних технологій).

Розподіл батарей пом'якшує коливання енергії у різних частинах мережі, сприяє запобіганню критичного обмеження передачі енергії і забезпеченню більшої стабільності мережі.

Це приводить до:

- широкого розподілу виробників енергії з поновлюваних джерел для посилення відмовостійкості мережі (наприклад, при відключенні живлення);
- створення нового покоління струмових пристроїв, робота яких заснована на напівпровідникових технологіях, трансформаторах, силовій електроніці. Використання гнучких систем передачі електроенергії змінного струму відбувається в центрах керування завдяки прикладним програмам (FACTS), де також створюються системи для захисту мережі;
- створення системи датчиків для безперервного збору даних: про споживання енергії кінцевими користувачами, погоду і стан обладнання та експлуатаційні режими роботи обладнання;
- організації інтерактивних та інтелектуальних приладів і вузлів зв'язку інтелектуальної мережі у кінцевих користувачів для контролю ситуації енергоспоживання з метою автономної взаємодії з мережею (наприклад, визначення циклів зарядки і розрядки штепсельного електротранспорту, засобів, побутової техніки і тощо);
- гармонійного поєднання технологій використання змінного і постійного струму. Така архітектура гібридної мережі (змінний / постійної струм) для систем розподілу робить мережу більш гнучкою і надійною;
- керування мережею у реальному часі.

Як приклад розглянемо програму розвитку енергосистеми «E-Energy», яка розроблена Федеральним Міністерством економіки та технологій Німеччини (BMW) і реалізується у співпраці з Федеральним Міністерством охорони навколишнього середовища (BMU).

Ця програма, зокрема, пропонує зміну парадигм в електроенергетиці зі схеми «генерація, що орієнтована на споживання» на схему «споживання, що орієнтоване на генерацію» за допомогою інтегрованих інформаційних і комунікаційних технологій - ІКТ.

Компоненти програми E-Energy показані на рисунку 3.5.

Завдяки рішенням ІКТ програма E-Energy забезпечує інтенсивне використання поновлюваних видів енергії та інтеграцію систем в об'єднану енергосистему майбутнього.

Для цього створюється ринок «E-Energy 2020» на базі електророзподільної мережі, що належить компанії RWE Rheinland Westfalen Netz AG.

Основна мета проекту – інтегрування у мережу вироблену енергію для споживачів шляхом установки ІКТ-шлюзів, які дозволять не тільки міняти режими навантаження, контролювати роботу побутових електроприладів і виконувати інтелектуальні вимірювання, але і керувати джерелами живлення (рис. 3.6).

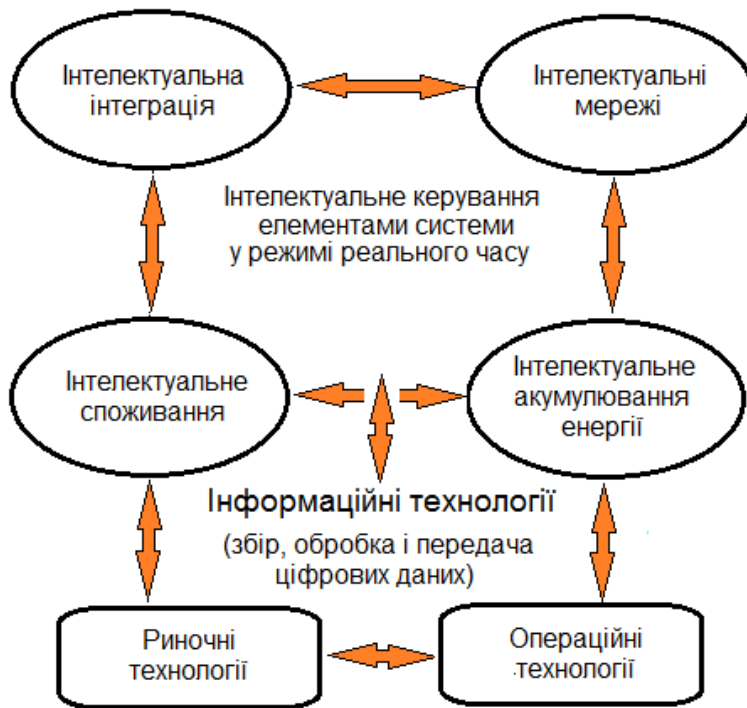


Рисунок 3.5 – Програма E-Energy і її компоненти

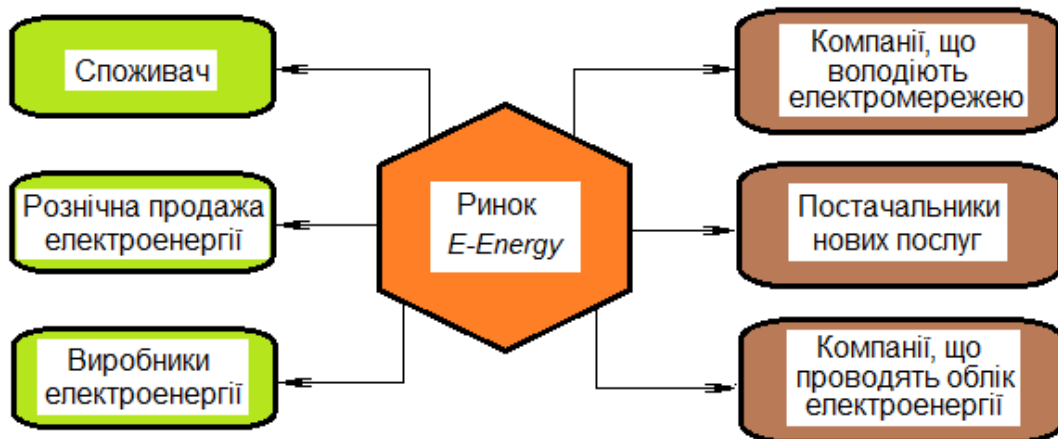


Рисунок 3.6 – Ринок програми E-Energy

«Інтелектуальне вимірювання» – це процес інтелектуальної записи даних про енергоспоживання. У показаному проекті інтегруються інтелектуальні лічильники в інтелектуальний шлюз. Шлюз такого типу являє собою функціональний пристрій, який є частиною встановленої у споживача системи розподілу електроенергії.

З одного боку, шлюз виконує функції зчитування даних і контролю інтелектуальних лічильників, а з іншого – обробляє сигнали про ціну, що надходить від енергопостачальної компанії. Споживачі отримують можливість

контролювати наявні у них побутові електроприлади таким чином, щоб їх експлуатація виявилася найбільш економічною.

Побутові електроприлади в перспективі можуть підключатися до пристроїв, що відображають вартість електропостачання. Відповідно споживачі зможуть обрати найменший тариф і більш ефективно використовувати електроенергію. Інформація про ціну стане доступна абонентам завдяки стимулюючим програмам, які будуть сприяти підвищенню енергоефективності кожного будинку.

З огляду на появу у перспективі нових енергоустановок, оснащених двигунами Стерлінга, і паливних ресурсів, одночасно генеруючих тепло- і електроенергію, ІКТ-системи керування почнуть набувати все більшого значення (рис. 3.7). Це представляє систему інформаційних технологій з використанням необхідного енергетичного обладнання.



Рисунок 3.7 – Інформаційно-комунікаційні технології

Щоб переконатися, що вироблена електроенергія продається у мережу в найбільш вигідний час, споживач за допомогою інтелектуального шлюзу буде контролювати не тільки електроспоживання, а й електропостачання – на основі сигналів про ціну, що надходять з ринку.

Споживачі отримують можливість налаштовувати все відображення функцій на своїх персональних комп'ютерах, які показані на рис. 3.4. Завдяки шлюзу, який оснащений бездротовим інтерфейсом, користувачі можуть конфігурувати систему таким чином, щоб вона відповідала їх індивідуальним потребам. Безпосереднє керування пристроями повинно бути уніфіковано.

Енергетичний проект розділяється на групи (рис. 3.8), які виконують свої функції. Завдання робіт окремих груп є:



Рисунок 3.8 – Групи енергетичного проекту

ГР 1 – формування загальної схеми і теоретичний опис ринку E-Energy з юридичної та економічної точок зору. У даній групі робіт задаються функціональні межі планованих досліджень щодо правил ринку і параметрів обладнання, які використовується. Результати впливають на всі інші групи робіт.

ГР 2 – моделювання та оптимізація інфраструктури обміну даними між усіма учасниками ринку E-Energy.

ГР 3 – розробка специфікації ІКТ-шлюзу і підготовка відповідного технічного завдання.

ГР 4 – реалізація прототипу ІКТ-шлюзу на основі специфікації і технічного завдання.

ГР 5 – створення правил ринку E-Energy з урахуванням обладнання, бізнес-процесів і інструментів стимулювання.

ГР 6 – визначення ефективності стимулюючих програм і вдосконалення інформаційної структури електророзподільних мереж.

ГР 7 – впровадження ринку E-Energy, підготовка, адаптація та інтеграція систем керування вимірювальними даними.

ГР 8 – організація зв'язків з громадськістю.

ГР 9 – забезпечення плавної реалізації проекту і обробки отриманих результатів (керування проектом).

У розвинених країнах протягом 20 років ІКТ у транспортному комплексі розвиваються під загальною назвою «Інтелектуальні транспортні мережі».

Інтелектуальні транспортні системи (ІТС) – це сукупність інформаційних, комунікаційних систем або засобів і систем автоматизації в

сукупності з транспортною інфраструктурою, транспортними засобами і користувачами. Такі системи забезпечують ефективність перевізного процесу, підвищення його безпеки і якості. Іншими словами, ІТС – це інтеграція інформаційно-комунікаційних технологій стосовно ключових складових транспортних процесів: людина – транспортні засоби – транспортна інфраструктура.

Спираючись на визначення ІТС можна сказати, що основною метою таких систем є забезпечення інформативності та безпеки, а також нового рівня інформаційної взаємодії учасників транспортної системи.

Дана інтеграція заснована на моделюванні транспортних систем і регулюванні транспортних потоків.

ІТС можна віднести до автоматизованої системи керування, яка збирає інформацію про транспортні потоки, аналізує їх і надає на ці потоки прямий або непрямий керуючий вплив. Як джерела інформації про існуючі транспортні потоки виступають датчики і детектори на шляхах, суміжні інформаційні системи і ті дані, які вводить диспетчер-оператор.

Аналізуючи дані, що надходять в систему, ІТС формує певну модель дій, яка визначається тими завданнями, які необхідно вирішити.

Таким чином, інтелектуальні транспортні системи – це перш за все інтелектуальний продукт - алгоритми керування, заснований на моделюванні реальних транспортних ситуацій, і процеси їх розробки, тестування і впровадження.

Контрольні запитання

1. Дати поняття мехатронної технології.
2. Перелічити можливості технологічного підходу.
3. Що являють собою мехатронні приводні системи? Навести приклади.
4. Навести приклади інноваційних рішень застосування мехатронних систем на залізничному транспорті..
5. Навести приклади інноваційних рішень застосування мехатронних систем в атомній енергетиці.
6. На чому базується практичне використання мехатронних систем електропостачання?
7. Що являє собою інтелектуальна мережа?
8. Проаналізувати роботу інтелектуальних мереж на прикладах.
9. Які основні складові має енергосистема «E-Energy»?
10. Що входить до програми системи «E-Energy»?
11. Що являє собою «Інтелектуальне вимірювання»?
12. Перелічити основні складові інформаційно-комунікаційних технологій.
13. Що являють собою інтелектуальні транспортні системи?

ЛЕКЦІЯ 4

ЕВОЛЮЦІЙНИЙ РОЗВИТОК МОДУЛІВ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

4.1 Етапи і закони процесу еволюційного розвитку модулів технічних систем

Підготовка і проведення перспективних системних заходів по розробці і створенню мехатронних модулів вимагає всебічного аналізу тенденцій еволюції автоматичних машин і їх компонентів. Це відповідає потребам галузей, орієнтованих на використання модульних технічних систем, як закінчених виробів, так і складових компонентів обладнання і продукції.

Після винаходу машин одним з постійних напрямків людської діяльності стала розробка автоматичних механізмів, а в подальшому і робототехнічних систем. На рубежі ХХІ століття в процесі створення складних машин виникла стійка тенденція інтелектуалізації алгоритмики керування, яка супроводжується мініатюризацією модулів і компонентів технічних засобів. Це тісно взаємопов'язані, як форма і зміст, складові загального процесу розвитку техніки.

Технічна модульна система складається із сукупності взаємопов'язаних елементів, що утворюють конструкції, призначені для виконання однієї або кількох функцій, які необхідні людині або іншим технічним пристроям.

Технічна модульна система є матеріальною. Її можна вивчати, вдосконалювати, спрямовано видозмінюючи складові елементи.

Найважливішими складовими елементами будь-якої технічної модульної системи є: робочий орган (виконавчий механізм), джерело енергії (привід), трансмісія (передавальний механізм) і орган керування. Очевидно також, що виконую одну і ту ж функцію технічні модульні системи можуть відрізнятися один від одного принципом своєї дії, а, значить, і складовими елементами.

Таким чином, спрямоване створення нової технічної модульної системи проходить наступні етапи: потреба людини (суспільства) – виникнення ідеї – пошук відповідних знань визначення принципу дії системи – вибір робочого органу – підбір інших елементів системи. Система буде працездатною, якщо мінімально працездатними будуть всі чотири органи.

Підвищення працездатності системи відбувається за рахунок вдосконалення всіх її органів. Це вдосконалення відбувається нерівномірно - то один, то інший елемент в своєму розвитку виривається вперед і змушує вдосконалюватися інших.

Незважаючи на зменшення характерного розміру, технічні системи в загальному випадку як і раніше володіють всіма функціональними

підсистемами, що є властивими для «великих» машин. Етапи процесу еволюційного розвитку технічних модульних систем завершуються переходом на якісно нові види техніки (рис. 4.1).

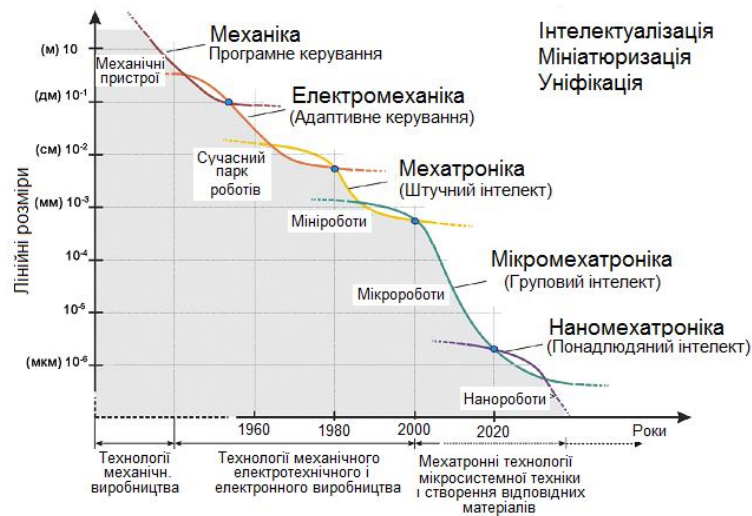


Рисунок 4.1 – Етапи процесу еволюційного розвитку технічних модульних систем

Над S-образними еволюційними кривими наведено назви етапів, а під ними – приклади відповідних типів техніки.

У даний час сформульовані наступні закони розвитку техніки будь-якої галузі:

1. Закон прогресивної еволюції техніки.

Дія закону прогресивної еволюції в світі техніки аналогічно дії закону природного відбору Дарвіна в живій природі. Його суть полягає в тому, що в технічному об'єкті з однаковою функцією кожен перехід від покоління до покоління викликаний усуненням головного дефекту (дефектів), пов'язаних з поліпшенням будь-якого критерію (показника) розвитку при наявності певних техніко-економічних умов. Якщо ж розглядати всі переходи і всю історію конструктивної еволюції певного класу техніки, то можна спостерігати закономірності вичерпання можливостей конструкторсько-технологічних рішень на трьох рівнях.

У законі прогресивної еволюції вичерпання функціональності і ефективності конструкції не просто формальність: поки не будуть досягнуті оптимальні параметри, не може відбутися перехід до нового технічного рішення або до нового принципу дії.

2. Закон стадійного розвитку технічних модульних систем.

Будь-яка технічна модульна система в своєму розвитку проходить чотири основні стадії:

– реалізує тільки функцію обробки предмета праці (технологічна функція);

– реалізує функцію забезпечення процесу енергією (енергетична функція) поряд з технологічною;

– реалізує функцію керування процесом крім технологічної та енергетичної;

– реалізує функцію планування, виключаючи людину з технологічного процесу і крім всіх попередніх функцій.

3. Закон розширення потреб-функцій.

При наявності потрібного потенціалу та соціально-економічної доцільності виникла нова потреба, яка задовольняється за допомогою вперше створених технічних модульних систем. При цьому виникає нова функція, яка існує до тих пір, поки її реалізація буде забезпечувати поліпшення життя людей.

4. Закон зростання різноманітності технічних модульних систем.

Різноманітність прогресивного розвитку техніки з часом монотонно і прискорено зростає. Це приводить до повного задоволення людських потреб, забезпечення високих темпів продуктивності праці і поліпшення інших критеріїв.

5. Закон зростання складності технічних модульних об'єктів.

Складність технічних об'єктів з однаковою функцією в силу дії факторів стадійного розвитку техніки і прогресивної конструктивної еволюції технічних систем від покоління до покоління монотонно і прискорено також зростає.

4.2 Тенденції розвитку технічних модульних систем

В основі процесу мініатюризації лежить реалізація цієї тенденції в основних компонентах будь-якої техніки – сенсорних, інформаційно-керуючих, виконавчих (силових), енергоживлення (рис. 4.2).

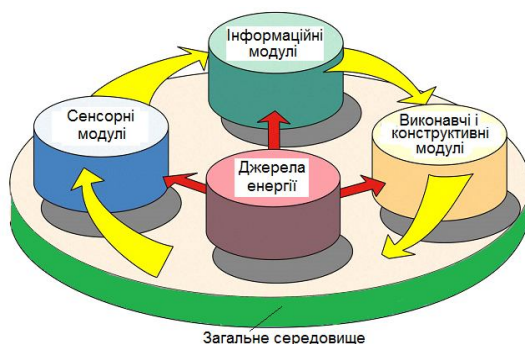


Рисунок 4.2 – Функціональна взаємодія складових технічної системи

Класичні рішення в області проектування і побудови технічних модульних систем засновані на можливості декомпозиції (конвергенції) загальних технічних вимог щодо системи на етапі проектування технічного завдання (ТЗ), що широко використовується для машин і комплексів на макрорівні.

Прикладом конвергенції в різному розумінні (процес зближення, сходження компромісів) або є МЕМС-пристрої, в яких на єдиній мікроплатформі розміщені сенсорні, інформаційно-керуючі і виконавчі компоненти. При цьому, наприклад, фотодатчики інтегровані з мікропроцесорами, а п'єзоелементи одночасно є виконавчими пристроями.

Прискорення процесу конвергенції диктується не тільки потребами в мініатюризації, а й тими широкими можливостями, які відкриваються з кожним новим рівнем взаємопроникнення підсистем. На певних стадіях інтеграції з'являються реальні можливості для здійснення процесів самоорганізації та самовідтворення (рис. 4.3).

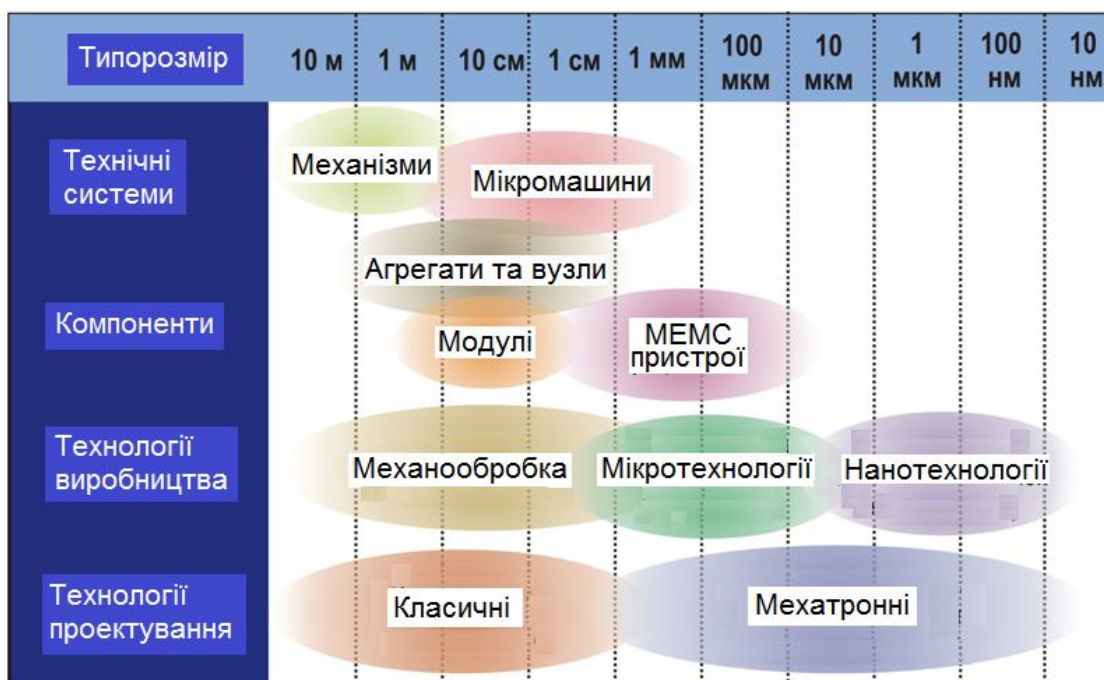


Рисунок 4.3. – Виникнення необхідності переходу до мехатронних технологій у процесі розвитку технічних систем

Переваги мехатронного підходу дозволяють реалізувати синергетичний ефект функціонального інтегрування у вигляді поліпшення технічних і експлуатаційних параметрів пристроїв, таких як надійність, ефективність, питома енергоспоживання і тощо, а також створювати унікальні компоненти і системи, які в цілому не реалізуються без використання подібних технологій розробки і виготовлення.

Прикладами вже стали новітні комплексні компоненти:

- енергетичні – це мініатюрні хімічні джерела струму (ХДС), в яких полімерні мембрани з нанопористою структурою використовуються в якості ефективних наповнювачів електроліту;

– інформаційно-керуючі – радіаційно-стійкі мікроаналогі електронних ламп, а також мікромеханотрони, в яких холодний катод формується з вуглецевих нанотрубок;

– сенсорні – це хімічні сенсори на основі транзисторних структур з заздалегідь сформованими хемосорбційними центрами;

– розподілені тактильні сенсори, чутливі елементи яких виготовлені з нанокompозитних матеріалів;

– датчики кутових швидкостей і лінійних прискорень для систем орієнтації і навігації, в яких рухливі елементи виготовляються методами вирощування в процесі створення компонента модуля в цілому.

4.3 Принципи побудови мехатронних модулів робототехнічних систем

Робототехніка та мехатроніка нерозривно пов'язані. Якщо прогрес в сучасній робототехніці визначається переважно успіхами мехатроніки, що забезпечує мініатюризацію і інтеграцію функціональних компонентів, то процес роботизації технічних засобів є одним з найважливіших стимуляторів і каталізаторів розвитку мехатронних технологій. Роботизація передбачає неухильне підвищення вимог в галузі інтелектуалізації та комплексної автоматизації складних систем. Мехатронні технології забезпечують цей процес шляхом створення проектно-технологічного базису.

Технології роботобудування базуються на тих же принципах, що і мехатронні технології. Крім інтелектуалізації та мініатюризації до них відноситься ряд технологій макрорівня: уніфікація компонентів і їх інтерфейсного взаємозв'язку, інтеграція функцій і взаємне проникнення (конвергенція) різнорідних функціональних підсистем.

Функціональний склад модуля і деталізація етапів їх історичного розвитку представлені на рисунку 4.4.

Сенсорна підсистема представлена датчиками, що реалізують функції слуху, дотику, технічного зору, визначення орієнтації і геометричних параметрів об'єкта керування, його положення в просторі з метою навігації тощо.

Виконавча підсистема дозволяє здійснювати переміщення платформи (локомоцію), а також функціональні рухи – закріплення, захоплення, збірку, позиціонування і тощо. Маніпуляції систем відбувається за рахунок застосування приводів, механічних передач, схопив і інших елементів впливу.

Інформаційно-керуюча підсистема забезпечує збір, обробку та зберігання інформації, вироблення сигналів керування, статичний і динамічний зворотній

зв'язок, а також взаємодію з оператором або зовнішньою системою керування більш високого рівня за допомогою прийому-передачі інформації засобами зв'язку.

Енергетична підсистема регулює подачу і розподіл енергії іншим підсистемам, акумулювання енергії від зовнішніх джерел і її зберігання під час функціонування машини. Внутрішні енергокомпоненти можуть бути представлені хімічними, електричними, ядерними, мікробибуховими, пневматичними та іншими подібними джерелами енергії.

Критичними, з точки зору необхідності принципово нових підходів до розробки, є виконавчі і енергетичні компоненти, що вимагає в цих областях організації умов для проведення базових інновацій.

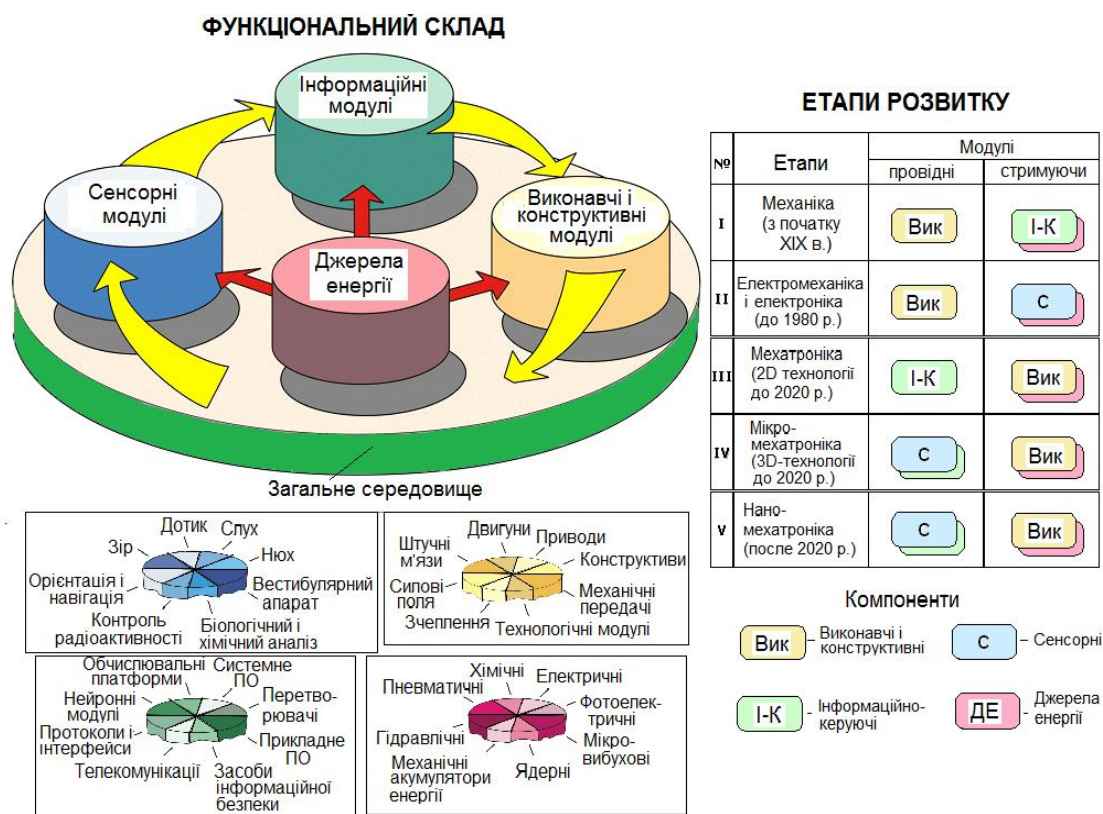


Рисунок 4.4 – Функціональні компоненти у розвитку

Сенсорні та інформаційно-керуючі компоненти широко освоєні, що акцентує увагу при розробці цих підсистем та поліпшують інновації. Наприклад, розвиток сучасних засобів глобальної навігації забезпечило їх широке застосування на побутовому рівні. Це дозволяє прогнозувати оснащення автотранспортних засобів навігаційним обладнанням і використовувати як невід'ємні вимоги для подібних систем вже у найближчому майбутньому.

На підставі аналізу складових компонентів окремих підсистем в якості ключових параметрів, до яких пред'являються базові технічні вимоги (рис. 4.5) пропонуються характеристики.

Наведений аналіз об'єктивної тенденції розвитку підходів до побудови технічних систем показує необхідність масштабних заходів щодо системної розробки та програмного впровадженню мехатронних технологій, а також для реалізації потреб промисловості у даний час і в перспективі на найближчі 10–20 років.

Для цього на основі прогнозу і системного аналізу перспективних потреб усіх галузей господарства країни необхідно на державному рівні приступити до випереджаючої розробки зазначених вище компонентів у вигляді системи уніфікованих мехатронних модулів, що охоплює весь типорозмірний діапазон виробів машинобудування, базуючись на перспективних технологіях виробництва.



Рисунок 4.5 – Перелік базових технічних вимог до мехатронних модулів

Як перші кроки в зазначеному напрямку, доцільно в самий найближчий час на базі великих наукових центрів, що володіють необхідним досвідом розробки розглянутих систем, розгорнути виробництво мікроробототехнічних систем нового покоління, які побудовані із застосуванням мехатронних технологій проектування. При цьому необхідно використовувати сучасні МЕМС-компоненти як технологічний базис.

Процес створення функціональних машин (технічних систем) поданий на рисунку 4.6 і відображає застосування технологій комплексування і уніфікації для створення базових мехатронних модулів на конкретних прикладах.

Так, застосування мехатронних модулів мікронного типорозміру дозволяє говорити про розробку розподілених систем-компонентів на основі мультиплексування та на базі мікрочіпів з високим рівнем інтелектуалізації.

Це забезпечує достовірність і стійкість одержуваних даних та інформації.

Подібний підхід багаторазово підвищує рівень надійності системи за рахунок можливості перенесення частини функцій, що вийшли з ладу компонентів на інші без істотного зниження технічних характеристик під час виконання критичних операцій.



Рисунок 4.6 – Процес створення функціональних мехатронних мікромашин і систем

Комплексний характер підходу до розробки мехатронних модулів вимагає системної інтеграції всіх проведених робіт, що підтверджується досвідом розробки та створення зарубіжних аналогів. Характерний приклад – інтегровані комп’ютерні виробничі комплекси вітчизняних і закордонних систем.

Науково-технічна актуальність даної проблеми логічно впливає з переваг технічної модульної системи, побудованої за мехатронним принципом: інтелектуальність, адаптивність, надійність, мініатюрність.

4.4 Принципи робототехніки та розвиток пріоритетних напрямків технічних модульних систем

Всі розглянуті в Л.2 шість принципів є спільними і для робототехніки.

Істотну специфіку має тільки принцип уніфікації. Пов’язано це з наступними особливостями застосування робототехніки:

- широкою номенклатурою;
- складністю технічних вимог щодо засобів робототехніки, яка часто перебуває на межі можливостей сучасної техніки;
- одиничного характеру потреб у окремих типах робототехнічних систем.

Ці особливості є підставою для вирішення завдання уніфікації засобів робототехніки шляхом їх побудови з функціонально і конструктивно уніфікованих компонентів – мехатронних модулів у вигляді їх типорозмірних рядів з модульною системою програмного забезпечення.

Переваги модульного принципу побудови полягають в наступному:

- скороченні термінів створення, освоєння у виробництві і в експлуатації технічних модульних систем;

- проектуванні систем, що зводиться до компонування зі стандартних компонентів, а їх виробництво – до збірки з них, яке може бути організовано практично на будь-якому машинобудівному підприємстві;

- можливості практично необмеженого розширення номенклатури технічних систем, включаючи оперативну компоновку різних їх модифікацій для конкретних разових застосувань;

- скороченні у кілька разів собівартості систем завдяки здешевленню їх частин при переході до уніфікованих серійних модулів і зменшенні структурної та параметричної надмірності;

- скороченні витрат на розробку, експлуатацію та ремонт технічних модульних систем;

- зростанні їх технічного рівня, включаючи надійність, застосування відпрацьованих стандартних модулів.

Ефективність модульного принципу не виключає застосування в робототехніці інших принципів побудови техніки. Наприклад, досвід промислової робототехніки показує, що при проектуванні транспортних і вантажно-розвантажувальних роботів оптимальним принципом їх побудови є створення гами таких систем на основі попередньо відпрацьованих базових конструкцій. При створенні технологічних роботів для виконання таких операцій, як зварювання, різання, складання, часто виявляється найбільш ефективним агрегатний принцип проектування.

Необхідно також враховувати, що модульна побудова техніки має і свої недоліки, які пов'язані з неминучим деяким завищенням вагогабаритних характеристик і кількості проміжних механічних і електричних з'єднань.

Організаційні принципи. Розвиток мехатроніки і робототехніки як комплексного міжгалузевого науково-технічного напрямку вимагає адекватної державної організації. Саме так починався розвиток робототехніки.

Наприклад, в Японії, яка визнана лідером в цій області все досягнення отримані саме завдяки тому, що випереджальний розвиток робототехніки було визнано стратегічним державним завданням. Аналогічний підхід був реалізований і у ряді європейських країн.

До основних державних завдань відносяться:

- визначення номенклатури функціональних компонентів і технічних вимог щодо мехатроніки і робототехніки (з виділенням першочергових потреб) на основі аналізу потреб в коштах.

- уніфікація цих компонентів, їх розробка і організація промислового випуску. Це дозволить в 2–3 рази скоротити номенклатуру продукції, відповідно витрати на розробку, підвищити серійність виробництва і знизити вартість та підвищити її якість;

- розробка на цій основі першочергових базових мехатронних і робототехнічних систем і комплексів;

- промисловий їх випуск і відпрацювання в експлуатації.

У відповідності з завданнями передбачені наступні роботи:

- створення пріоритетних систем мехатроніки і робототехніки нового покоління;

- організація підготовки та перепідготовки кадрів, в тому числі організаторів і управлінців.

Програма розвитку в цілому повинна бути орієнтована на рішення першочергових важливих державних завдань (безпеку, технологічну незалежність, технічне забезпечення, розвиток критичних технологій і видів техніки за пріоритетними напрямками розвитку). Надалі ці рішення повинні тиражуватися і розвиватися для забезпечення інших потреб в коштах мехатроніки і робототехніки.

При розробці і організації виробництва відповідних виробів необхідно керуватися наступним:

- створенням виробів, які гарантовано конкурентоспроможні на світовому ринку;

- рішенням задач імпортозаміщення та організації виробництва кращих в світі зразків цієї техніки, але суттєво меншою вартістю.

Як показано вище, рішення цієї проблеми ґрунтується на подальший розвиток наступних критичних технологій:

- технології мехатроніки і створення мікросистемної техніки;

- технології створення інтелектуальних систем;

- біоінформаційної технології;

- обробки та захисту інформації;

- біосенсорної технології.

Таким чином, розглянута комплексна проблема відноситься відразу до кількох пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки. Перш за все, це індустрія наносистем і матеріалів, живі системи, інформаційно-телекомунікаційні системи. Особливе значення пропонується підхід має при

створенні і реалізації технічних засобів для забезпечення безпеки та протидії тероризму.

Контрольні запитання

1. Проаналізувати етапи процесу еволюційного розвитку модулів технічних систем
2. Проаналізувати закони процесу еволюційного розвитку модулів технічних систем.
3. Проаналізувати тенденції розвитку технічних модульних систем.
4. У чому полягає конвергенція технічних модульних систем? Навести приклади.
5. Що являє собою сенсорна підсистема?
6. Що дозволяє здійснювати виконавча підсистема?
7. Що забезпечує інформаційно-керуюча підсистема?
8. Які функції виконує енергетична підсистема?
9. Перелічити базові технічні вимоги до мехатронних модулів.
10. Проаналізувати процес створення функціональних мехатронних мікромашин і систем.
11. Перелічити проаналізувати принципи робототехніки.
12. Проаналізувати розвиток пріоритетних напрямків технічних модульних систем.

ЛЕКЦІЯ 5

ІННОВАЦІЙНІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕХАТРОННИХ МОДУЛІВ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

5.1 Аналіз функціонального призначення мехатронних модулів

Кінцевими результатами реалізації концепції мехатронних систем має стати подолання галузевої роз'єднаності і паралелізму в розробці основних компонентів (робототехнічних, автоматичних і автоматизованих людино-машинних систем) загальнопромислового і спеціального призначення. Це може відбуватися шляхом створення системи функціонально інтегрованих і конструктивно уніфікованих інтелектуальних мехатронних модулів, які засновані на відповідних нових критичних технологіях. Такий підхід послужить науково-технічною базою наукомісткої техніки електропостачання нового покоління. Використання такої техніки виключає подвійне застосування модулів при істотній економії ресурсів і прискорених темпах виробництва та засвоєння їх в експлуатації.

Результатом реалізації концепції є мехатронні модулі, які сприяють створенню електромеханічного обладнання у вигляді побудови мікромашин і робототехнічних мікромодулів дециметрового і сантиметрового розмірного ряду за функціональним призначенням. Узагальненим критерієм класифікації подібних машин та електромеханічного обладнання електроживлення може бути поділ по середовищу їх застосування (рис. 5.1):



Рисунок 5.1 – Створення автоматичних машин

Наприклад, космічне обладнання таке як нано- та пікоспутники, а також їх угруповання, призначені для вирішення наступних завдань:

- дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) з високою роздільною здатністю та застосуванням синтезованої апаратури на базі розподілених систем;
- обслуговування функціонування великих космічних апаратів (БКА), включаючи заміну вузлів, що вийшли з ладу і доставку нових, та тощо;
- інспектування обладнання БКА, з метою моніторингу стану обшивки і зовнішніх елементів, а також електрообладнання, освітлення і ремонтних робіт;
- створення енергозабезпечуючих угруповань на орбіті з метою збору сонячної енергії і подальшої передачі інформації БКА;
- оперативний зв'язок і керування спостереженням (військовим, спеціальним, тощо), використанням систем шифрування з розподіленим ключем;
- організація розподілених систем активної охорони важливих БКА і орбітальних ділянок;
- організація високоточної локальної системи позиціонування і навігації;
- селективний моніторинг сонячної активності з використанням адаптивних структур.

Мехатронні модулі повітряного застосування, які дистанційно-керовані і автономні призначені для забезпечення наступних дій:

- оперативний моніторинг зон катастроф і осередків забруднення;
- транспортування і закидання засобів для забезпечення високоточної навігації і вимірювання;
- організація оперативної протидії терористичним групам;
- створення або відновлення каналів зв'язку і телекомунікацій в екстремальних умовах;
- проникнення і інформаційна підтримка при роботі у важкодоступних районах.

Стаціонарні мікромашини використовуються для вирішення наступних завдань:

- охорони важливих об'єктів, включаючи технології мультіракурсного спостереження і систем технічного зору;
- адаптивні мобільні мікроплатформи з перебудовою алгоритму локомоції згідно рельєфу і характеристик поверхні переміщення;
- спостереження в важкодоступних для людини умовах, в тому числі на територіях з високим рівнем шкідливих факторів (пожежі, радіації, хімічного та біологічного зараження);

– прогнозування небезпечних факторів, включаючи хімічне, радіаційне та біологічне забруднення шляхом використання компактних засобів мобільного моніторингу та картографування;

– доставку медичних засобів у важкодоступні райони і надання екстреної допомоги постраждалим.

Таким чином, ілюстрація необхідності застосування електротехнічних модулів дозволяє аналізувати їх можливості вже на стадії створення проектного вигляду майбутньої технічної системи. Застосування модулів з урахуванням їх функціонального призначення та навколишнього середовища дозволяє використовувати всі підсистеми, включаючи сенсорний, актуаторний, енергетичний модуль і модуль зв'язку. Ядром забезпечення взаємодії цих підсистем має стати розподілений інтегрований обчислювальний модуль на базі операційного середовища з відкритою архітектурою.

5.2 Класи робототехнічних модулів

За даними японських, американських і європейських експертів перелік споживчих засобів робототехніки включає наступні основні класи (рис. 5.2):

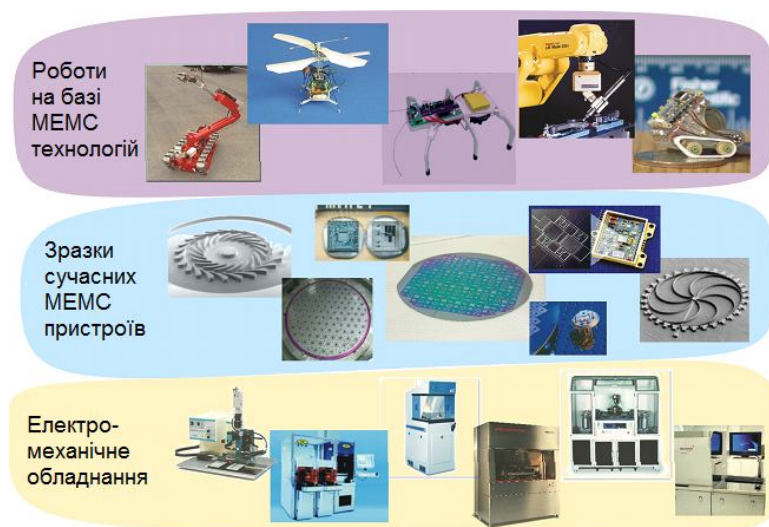


Рисунок 5.2 – Роботи і пристрої на базі технологій MEMS

Очевидно з рисунку 5.2, що сфери конкретного застосування спеціальних роботів досить різноманітні, а саме:

– профілактичні, ремонтні та рятувальні роботи в екстремальних умовах (наприклад, на ядерних реакторах АЕС, надводних і підводних судів, підприємств);

– визначення аварійних ситуацій на енергетичних об'єктах;

– знезараження приміщень, споруд і місцевості від радіоактивних, хімічних, біологічних та інших викидів; знешкодження різних вибухових пристроїв; пошук і порятунок людей при аваріях і стихійних лихах;

- боротьба з пожежами, активний контроль і попередження людей про стихійні лиха і аварії, ліквідація їх наслідків;
- боротьба з тероризмом і організованою злочинністю несення активної патрульної служби та багато іншого.

Однією з перспективних технологій підвищення ефективності застосування роботів є створення групових мобільних і стаціонарних робототехнічних комплексів, які інформаційно взаємодіють між собою в процесі вирішення того чи іншого завдання.

Особливу роль відіграють робототехнічні і кібернетичні системи, що забезпечують безпеку і контроль роботи систем електропостачання та електрообладнання на всіх рівнях.

Побутові (домашні) роботи призначені для автоматизації різних операцій як безпосередньо в побуті людини, так і в сфері обслуговування. Ці роботи покликані реалізувати найважливішу соціальну задачу суспільства - звільнення часу людини для духовного життя.

За даними статистичного департаменту Міжнародної Федерації Робототехники (IFR Statistical Department) тенденції на ринку споживання робототехніки має перспективи росту. Дані за обсягами продажів в окремих сегментах наведені на діаграмі (рис. 5.3).

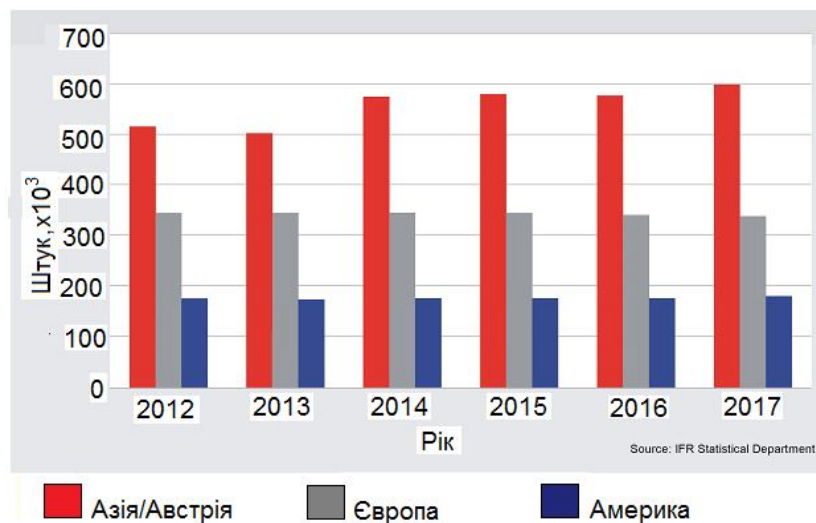


Рисунок 5.3 – Розподіл обсягу ринку робототехніки за ключовими країнами-виробниками продукції

Таким чином, робототехніка з перспективою росту є головним драйвером розвитку електроенергетики, промисловості та інших напрямків. Вона створює нові можливості і робочі місця та надає надзвичайно високий вплив на економіку. Ті країни, які опанували технологію раніше, отримують суттєву конкурентну перевагу.

5.3. Концепція мехатронних комплексів електропостачання

Використання мехатронного розподіленого комплексу електротехнічного обладнання, апаратного та програмного забезпечення необхідно для достатньо безпечного, раціонального і ефективного керування електропостачанням транспортних об'єктів.

Такий комплекс може входити як складовий елемент до інтелектуальних систем керування електропостачання та транспортних підприємств або інших складних об'єктів.

Інтелектуальна система електропостачання використовує відкриті протоколи обміну даними між різними елементами через мережеві контролери. Це дозволяє створити розподільну інфраструктуру, яка має високий ступінь відкритості для нарощування і модернізації.

У максимальній конфігурації інтелектуальна система електропостачання зможе здійснювати централізований моніторинг обладнання та керування наступними інженерно-технічними системами і комплексами:

- введення і розподіл електроенергії;
- захист і заземлення;
- загального електропостачання підприємств електротранспорту;
- аварійного електропостачання;
- гарантованого і безперебійного електропостачання міського транспорту;
- енергозбереження та оптимізації навантаження у контактних мережах транспорту;
- електроживлення високотехнологічного обладнання;
- контроль, керування і облік електроенергії.

Архітектура мехатронних комплексів електропостачання дозволяє сформулювати п'ять рівнів шин електроживлення, що забезпечують необхідну надійність, ефективність і якість енергії у відповідність зі стандартами для різних груп електрообладнання та забезпечити вирішення системних завдань щодо електромагнітної сумісності (ЕМС).

Такий комплекс передбачає:

- забезпечення централізованого контролю і керування електропостачанням транспортні підприємства (підстанції, будівлі, об'єкти, тощо) із заданою надійністю і енергоефективністю;
- керування в автоматичному режимі роботою системи електровводів і розподілу електроенергії по споживачах;

- забезпечення безперебійного живлення критичного електрообладнання;

- отримання об'єктивної інформації про роботу і стан усіх підсистем і своєчасного повідомлення диспетчерам про необхідність виклику фахівців із сервісного обслуговування у разі відхилення параметрів елементів системи від штатних показників;

- забезпечення адаптації системи до проблем електромеханічних систем, переналаштування параметрів і структури системи для оптимальної роботи в умовах нелінійних навантажень;

- оптимальний режим керування інженерним електротехнічним обладнанням з метою скорочення витрат на використання енергоресурсів;

- здійснення своєчасної локалізації аварійних ситуацій.

Архітектура комплексу також дозволяє:

- здійснювати своєчасну локалізацію аварійних ситуацій; оперативно приймати рішення при аварійних і позаштатних ситуаціях (відключенні електропостачання, пожежі і тощо);

- вести об'єктивний аналіз роботи устаткування і дій інженерних служб;

- скоротити витрати на ремонт і заміну обладнання, яке вийшло з ладу, продовжити термін його служби за рахунок постійного моніторингу параметрів системи і своєчасного проведення ремонтних робіт;

- знизити на 20-30 % щомісячні платежі за рахунок роботи систем в найбільш економному режимі і автоматичного переключення інженерії об'єкта з денного в нічний режим роботи;

- скоротити в 2-3 рази витрати на службу експлуатації електрообладнання за рахунок переведення системи в автоматичний режим, що знижує витрати на ремонт або заміну коштовного устаткування, яке вийшло з ладу через халатність персоналу або помилок оператора;

- знизити витрати при розширенні системи та модернізації за рахунок використання можливостей відкритої архітектури.

Мехатронний комплекс енергетичних систем дозволяє забезпечити загальний контроль роботи за допомогою програмно-апаратних засобів керування і моніторингу параметрів системи.

В системах електроживлення споживачі електроенергії часто зустрічаються з наступними видами спотворення напруги:

- імпульсні перешкоди і високочастотний шум;

- підвищена або знижена напруга;

- відхилення частоти або гармонійні спотворення напруги;

- спотворення напруги при перехідних процесах;
- короточасні перебої або повне зникнення електроживлення.



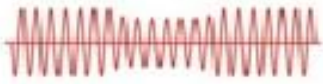
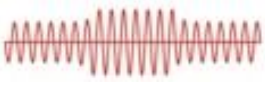

Ці перешкоди викликаються різними причинами, включаючи аварії, проблеми при перемиканні в кабельних мережах і розподільних пристроях, робота потужного промислового обладнання, екстремальні погодні умови.

Проблеми з електроживленням можуть призводити до зниження продуктивності, виходу з ладу електротягового обладнання, помилок в обробці даних, ризиків втрати важливої інформації і тощо.

Основні види спотворення напруги, які присутні в системах електроживлення транспортних, промислових і побутових споживачів, причини їх виникнення та засоби захисту зведені у таблицю 5.1.

Очевидно, що використання інтелектуальних модульних систем в електропостачанні необхідно для надійного контролю зміни параметрів та прийняття необхідних дій обслуговуючого персоналу

Таблиця 5.1 – Види спотворення напруги і засоби захисту

№	Вид спотворення	Характер спотворення	Причина виникнення спотворення	Засоби захисту
1	2	3	4	5
1	Імпульсні перешкоди 	Тривалість імпульсів від 0,5мкс до 2мс	Робота потужних навантажень, грозові розряди, ін.	Обмежувачі перенапруг
2	Радіоперешкоди 	Високочастотні перешкоди від 10 кГц до 100 МГц	Імпульсні джерела живлення, пристрої регулювання частоти, ін.	Мережеві фільтри високочастотних пошкоджень
3	Провали напруги 	Зниження напруги на 80% на час до 20 мс	КЗ в мережі, підключення потужних навантажень	Стабілізатори напруги
4	Викиди напруги 	Збільшення напруги до 115% на час до 20мс	Виключення потужних навантажень	Стабілізатори напруги
5	Коливання напруги 	Періодична зміна напруги	Нестабільність напруги	Джерело безперебійного живлення (ДБЖ)

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5
6	<p>Викиди напруги</p> 	Викиди і провали напруги на час 20 мс	Комутація перетворювачів, випрямлячів та ін.	Фільтри вищих гармонік
7	<p>Спотворення форми напруги</p> 	Наявність вищих гармонік	Робота випрямлячів регуляторів, ін.	Компенсатори потужності
8	<p>Спотворення частоти</p> 	Відхилення частоти від номінального значення	Низька якість джерел енергії	ДБЖ
9	<p>Періодична відсутність напруги</p> 	Відсутність напруги в однієї з фаз	Аварійна ситуація у мережі	ДБЖ

Завдяки завчасному виявленні пошкоджень або аварійної ситуації скорочується час на відновлення роботи електрообладнання та збільшується його енергоефективність.

Контрольні запитання

1. Проаналізувати функціональне призначення мехатронних модулів.
2. Які завдання спроможні виконувати стаціонарні мехатронні мікро-машини?
3. Які класи мають робототехнічні модулі?
4. Проаналізувати сфери застосування роботів.
5. Проаналізувати роль робототехнічних та кібернетичних систем.
6. Проаналізувати роботу інтелектуальних систем електропостачання.
7. Показати на прикладах архітектуру комплексу систем електропостачання.
8. Проаналізувати види спотворення напруги та системи мехатронного захисту.

ЛЕКЦІЯ 6

ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ КОМПЛЕКСИ І МОДУЛІ

6.1 Модульні системи електромехатронних комплексів

Модульні системи електромехатронних комплексів складаються з механічної частини, приводної (переважно електромеханічної) частини, а також системи керування.

Елементами механічної частини є:

- робочий орган (лебідка крана, робоче колесо насоса, фреза металорізального верстата), що виконує корисну механічну роботу (переміщення вантажу, механічна обробка деталі і т.п.);
- механічна передача, яка передає швидкість руху або його характер (поступальний замість обертового) іншій системі.

Завданням приводної частини (електроприводу) є перетворення електричної енергії в механічну і приведення в рух робочих органів електромеханічних елементів.

Електромеханічна приводна частина складається з електричного двигуна і електронного силового перетворювача, що перетворює електроенергію, яка споживається зі джерела (системи електропостачання) до вигляду, придатного для живлення обмоток двигуна. Саме через цей перетворювач і здійснюється керування швидкістю, зусиллями і положенням вала двигуна і, врешті-решт, робочого органу.

Останнім часом у побудові електромеханічних комплексів нового покоління спостерігається тенденція передачі все більшої кількості функцій від механічних вузлів до інтелектуальних (електронних, комп'ютерних, інформаційних). З інтелектуальних функцій складається система керування мехатронних комплексом.

Інтелектуальні вузли комплексу легко перепрограмуються під нове завдання, що розширює його функціональні можливості. Разом з розвитком техніки вузли елементів комплексу мають різну фізичну природу (механічні, електричні, електромеханічні, електронні, інформаційні). Але це не заважає їм поступово об'єднуватися в єдине конструктивне коло.

Розширене сучасне поняття мехатроніка є галузь науки і техніки, в залежності від області застосування. Це сприяє створенню комплексів і їх експлуатації з комп'ютерним керуванням руху та використанням ІТ-технологій (рис. 6.1).

У зовнішньому колі показані основні сфери застосування мехатроніки. У основі ключового елемента мехатронних систем є модуль руху, наприклад,

який об'єднує в одному комплексі приводний електричний двигун і індустриальний редуктор (рис. 6.2). Це підвищило надійність роботи електричних машин та спростило їх розробку.

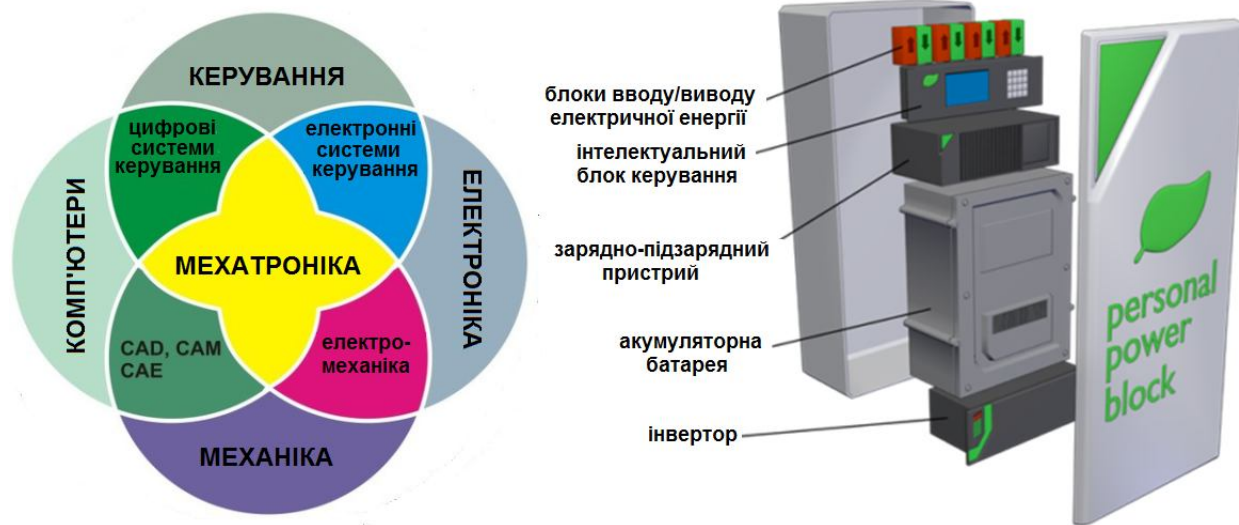


Рисунок 6.1 – Суміжні галузі знань мехатроніки та застосування

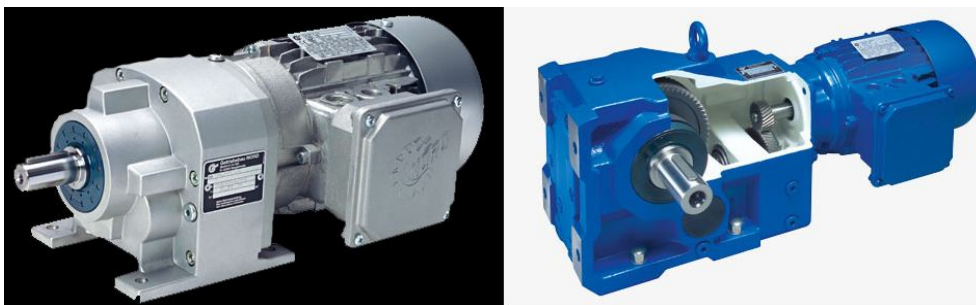


Рисунок 6.2 – Мотор-редуктори

Мініатюризація засобів силової і керуючої електроніки дала можливість конструктивно об'єднати з електромеханічними вузлами ще й електронні. З'явилися інтелектуальні мехатронні модулі (ІММ) у вигляді двигунів і мотор-редукторів з силовими перетворювачами (перетворювачами частоти) на борту (рис. 6.3).

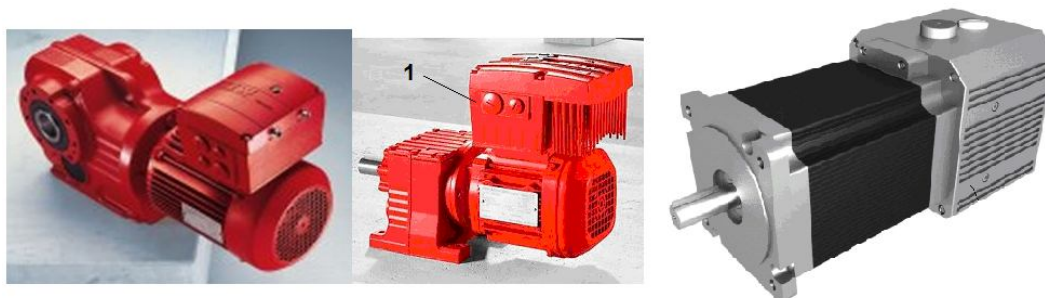


Рисунок 6.3 – Двигуни і мотор-редуктори з вбудованими перетворювачами частоти

Подібні пристрої завдяки наявності в їх складі обчислювальних пристроїв здатні автономно виконувати переміщення робочих органів машин без постійного контролю з боку системи автоматизації верхнього рівня.

Значного спрощення механічної частини можна досягти шляхом використання лінійних двигунів замість звичайних двигунів обертального руху (рис. 6.4).



Рисунок 6.4 – Лінійний двигун і основні елементи

Лінійний двигун не має обертових частин. Його рухома частина має обмотку, яка створює магнітне поле. Це магнітне поле відштовхується від нерухомої частини з постійними магнітами, яка грає роль напрямних, і забезпечує поступальне переміщення рухомої частини двигуна.

Для реалізації точних рухів мехатронні модулі також комплектуються датчиком положення (енкодером, рис. 6.5, а). Електропривод, обладнаний таким датчиком, називають сервоприводом. До складу систем керування рухом, які об'єднують кілька сервоприводів входять контролери керування рухом (сервоконтролери, рис. 6.5, б).



Рисунок 6.5 – Зовнішній вигляд еncoderів (а) і сервоконтролерів (б)

До основних функцій сервоконтролерів відносяться координація рухів окремих сервоприводів (мехатронних модулів) і формування для них завдань на переміщення з метою реалізації складних просторових траєкторій руху.

Основні переваги використання інтелектуальних мехатронних модулів у електромеханічних комплексах є:

- здатність виконувати складні рухи самостійно, без звернення до контролера верхнього рівня керування, що підвищує автономність модулів, гнучкість і живучість мехатронних систем;

- спрощення комунікації між модулями і центральним пристроєм керування;

- підвищення надійності і безпеки мехатронних систем завдяки комп'ютерній діагностиці пошкоджень автоматичного захисту при аварійних ситуаціях;

- створення на основі ІММ розподілених систем автоматизації, для яких характерне делегування функцій управління «зверху»/«вниз», а також широке використання мережевих технологій обміну інформацією;

- використання інтелектуальних сенсорів в ІММ призводить до підвищення точності вимірювань завдяки первинній обробці інформації, фільтрації шумів і тощо.

6.2 Сучасне керування в електромехатронних модулях і комплексах

Сучасне керування системами та комплексами базується на роботі мікропроцесорів та мікроконтролерів, які широко застосовуються в енергетиці, транспорті, промисловому виробництві та інших галузях.

Будь-який комп'ютер – це машина для обробки інформації, незалежно від того яке конкретно завдання він виконує. Центральним елементом комп'ютера є мікропроцесор.

Мікропроцесор – це мікроелектронний програмований пристрій, призначений для обробки інформації та керування процесами обміну цією інформацією в складі мікропроцесорної системи (комп'ютера).

Мікропроцесори виробляються за допомогою технологій сучасної мікроелектроніки на основі напівпровідникового кристалу. Інформація у мікропроцесорні системи передається завдяки електричним імпульсам.

Конструктивно мікропроцесор виконується у вигляді мікросхем які мають пластиковий або керамічний корпус. В середині корпусу розміщується мініатюрна напівпровідникова підкладка (рис. 6.6).

На цій підкладці лазером «накреслені» всі електронні схеми мікропроцесора. Входи і виходи схеми на підкладці з'єднані з металевими висновками, розташованими з боків або знизу корпусу мікросхеми.

Мікропроцесорні системи в загальному випадку універсальні. Вони здатні виконувати широке коло завдань по обробці інформації. А на виконання конкретного завдання мікропроцесор «налаштовують» за допомогою програми (послідовного переліку машинних команд).

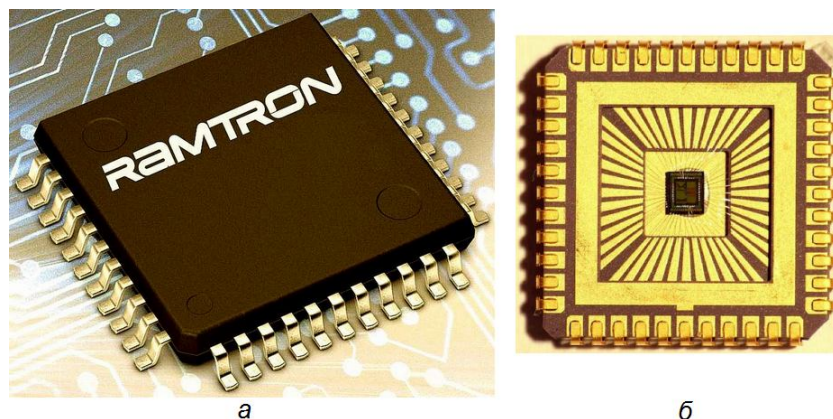


Рисунок 6.6 – Інтегральна мікросхема (а) і її внутрішня будова (б)

Обов'язковими компонентами мікропроцесора є регістри, арифметико-логічний пристрій (АЛП) і блок керування.

Мікропроцесор не може працювати сам по собі. Він є центральною ланкою мікропроцесорної системи, в яку також входять пристрої постійної і оперативної пам'яті, пристрої введення і виведення інформації, накопичувачі на жорстких магнітних дисках (так звані «вінчестери»), і тощо.

Мікроконтролер – це спеціалізований мікроелектронний програмований пристрій. Він призначений для керування системами передачі даних і технологічними процесами.

Мікроконтролери застосовують у різноманітних комплексах та системах, а також в системах транспорту, електропостачання і електроживлення (рис. 6.7).



Рисунок 6.7 – Сфери застосування мікроконтролерів

Мікроконтролер, на відміну від мікропроцесора, зазвичай має невелику розрядність (8-16 біт) і багатий набір команд маніпулювання окремими бітами. Ще одне з основних відмінностей мікроконтролера від мікропроцесора полягає в тому, що в складі мікросхеми контролера присутні всі необхідні елементи для побудови системи керування. В середині мікроконтролера є пам'ять даних (оперативна пам'ять), пам'ять програм (постійна пам'ять), генератор тактових імпульсів, таймери, лічильники, паралельні і послідовні порти. Тому система мінімальної конфігурації на основі мікроконтролера може складатися з блоку живлення, безпосередньої мікросхеми контролера і декількох пасивних елементів (резисторів, конденсаторів і кварцового резонатора).

Типова архітектура мікроконтролера (рис. 6.8) містить систему синхронізації і керування (1), арифметико-логічний пристрій (2), регістри загального призначення (3), пам'ять даних (4) і пам'ять програм (5), порти (6), функціональні пристрої (таймери, лічильники, широтно-імпульсні модулятори, інтерфейси) і регістри для їх налаштування (7).

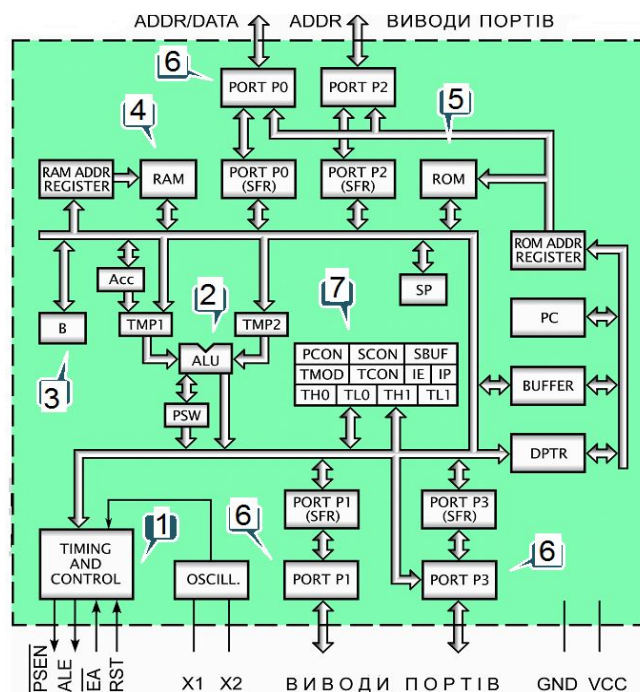
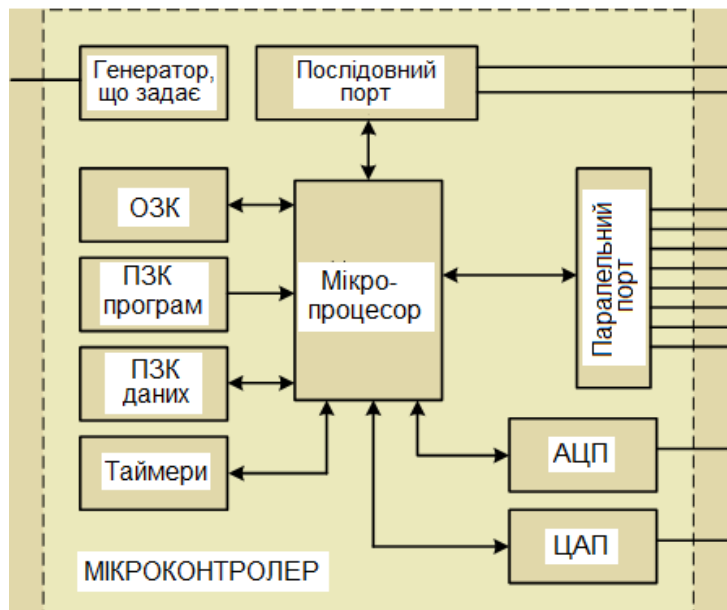


Рисунок 6.8 – Архітектура сучасного типового мікроконтролера

Програми для мікроконтролерів створюють в спеціальних інтегрованих інструментальних середовищах (*Integrated Development Environment, IDE*) мовами асемблера (машинних команд) або C ++.

Щорічно в світі продаються мільярди програмованих мікроконтролерів, та мікропроцесорів які мають велику модифікацію і є невід’ємною частиною сучасного технологічного доквілля (рис. 6.9).

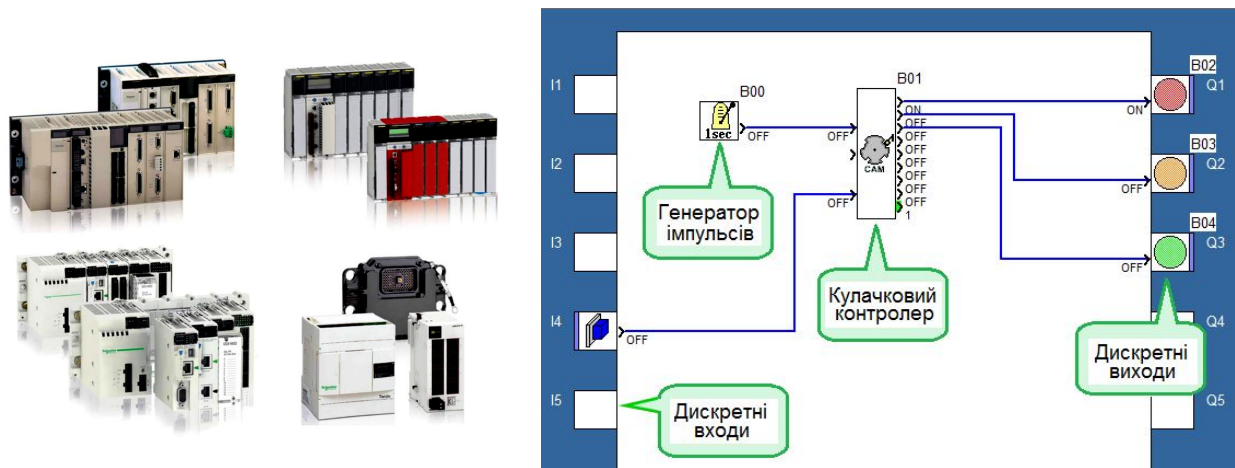


Рисунок 6.9 – Програмовані логічні мікроконтролери та програми

Апаратна і програмна уніфікація мікроконтролерів та мікропроцесорів дає можливість легко переходити на системи іншого виробника, переносити програми з однієї платформи на іншу. Це підвищує гнучкість процесів автоматизації, сприяє конкурентному інноваційному розвитку світового.

Крім мікропроцесорів загального призначення і мікроконтролерів на ринку пропонуються так звані сигнальні процесори, спеціально призначені для обробки сигналів в режимі реального часу.

Сигнальні процесори представляють велику групу приладів цифрової обробки звукового сигналу (DSP); розташовані на різних етапах обробки.

Основними перевагами використання мікроконтролерів і сигнальних процесорів у цифрових системах керування електротехнічними комплексами є виключення дрейфу і необхідності регулярного настроювання.

Це пов'язано з тим, що більшість функцій виконується в цифровій формі і мають простоту оновлення системи за рахунок зміни тільки лише програмного забезпечення. Вони використовуються в системах електропостачання, вимірювальних приладах, засобах зв'язку, передачі і відтворення аудіо- і відеопотоків, системах локації та інших.

6.3 Сучасна інтелектуальна система електропостачання та електроживлення

Робота сучасних систем електропостачання та електроживлення, а також комплексів і елементів транспортної галузі побудована на використанні інноваційного обладнання.

Розглянемо структуру (рис. 6.10) та основне обладнання сучасної інтелектуальної системи електроживлення підстанції.

Метою створення такої структури є об'єднання роботи систем і комплексів різних рівнів з використанням автоматизованих програмних засобів. Це необхідно для стабілізації, перетворення і резерву електроживлення споживачів різного рівня надійності.

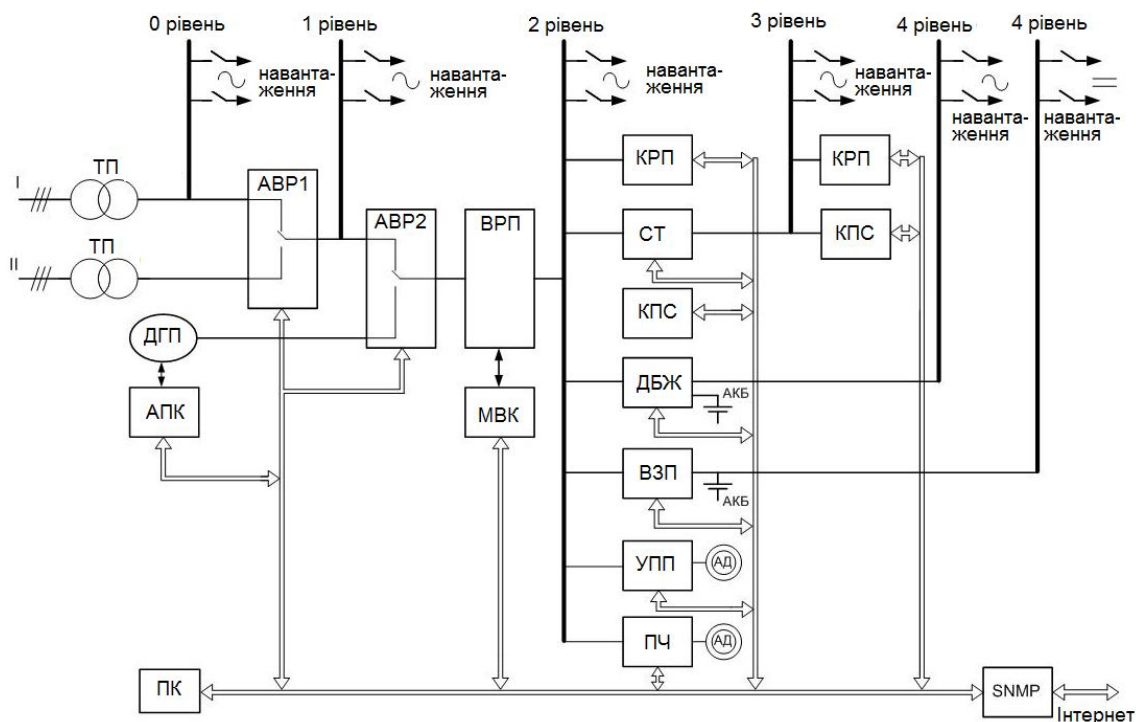


Рисунок 6.10 – Структура інтелектуальної системи електропостачання (ІСЕЛ): ТП – тягова (або трансформаторна) підстанція, ДГП - дизель-генераторний пристрій, АПК – автоматична панель керування, АВР – пристрій автоматичного вводу резерву, ВРП – ввідно-розподільний пристрій, МВК – багатофункціональний вимірювальний контролер, СТ – стабілізатор напруги, ДБЖ – джерело безперебійного живлення, АКБ – акумуляторні батареї, ВЗП – випрямний зарядний пристрій, КРП – компенсатор реактивної потужності, КПС – компенсатор потужності спотворень, УПП – пристрій плавного пуску, ПЧ – перетворювач частоти, ПК – персональний комп'ютер

Нульовий рівень шини живлення відповідає якості напруги вхідного фідера з тягової підстанції (ТП).

Два вхідних фідера з ТП і АВР 1 формують шину першого рівня з якістю електроенергії, що надходить від загальної мережі.

Ввідно-розподільний пристрій (ВРП) формує шину другого рівня, захищену від мережевих перенапруг, високочастотних гармонік і шуму. Шина другого рівня забезпечує захист від перевантажень, короткого замикання, компенсацію реактивної складової потужності.

Стабілізатор напруги змінного струму (СН) формує шину третього рівня, що забезпечує стабільну напругу живлення в певному діапазоні відхилень напруги мережі.

Джерело безперебійного живлення (ДБЖ) змінного струму формує шину четвертого рівня змінного струму, що забезпечує безперебійне живлення однофазних і трифазних навантажень змінного струму 50 Гц з високою стабільністю і низьким коефіцієнтом спотворення напруги шини.

Випрямно-зарядний пристрій (ВЗП) формує шину четвертого рівня постійного струму, що забезпечує безперебійне живлення навантажень постійного струму.

У структурі ІСЕЛ прийнятий каскадно-багаторівневий спосіб включення компенсаторів реактивної потужності (КРП) і компенсаторів потужності спотворення (КМП) на шинах другого і третього рівнів (рис. 6.11) [3].

КРП підключаються безпосередньо як на вході живлення потужних індуктивних (ІН), наприклад асинхронних електродвигунів, так і на загальній шині відповідного рівня.

КПС підключаються на вході нелінійних навантажень (НН) типу випрямлячів, ДБЖ, перетворювачів частоти (ПЧ), імпульсних джерел живлення і тощо для компенсації вищих гармонік струму, що генеруються нелінійним навантаженням в загальну шину.

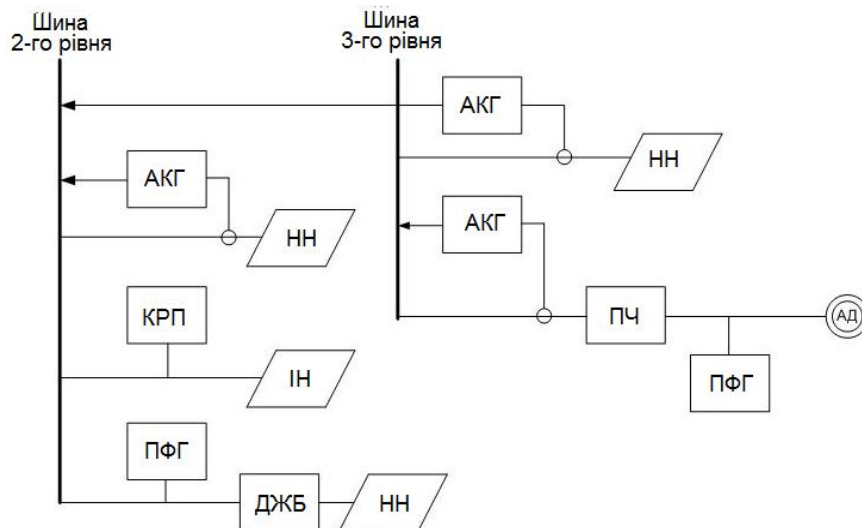


Рисунок 6.11 – Каскадно-багаторівневий спосіб підключення компенсаторів реактивної потужності і потужності спотворення:

АКГ – активний кондиціонер гармонік, КРП – компенсатор реактивної потужності,

НН – нелінійне навантаження, ІН – індуктивне навантаження, ДБЖ – джерело безперебійного живлення, ПФГ – пасивний фільтр гармонік, ПЧ – перетворювач частоти

Вводно-розподільний пристрій (ВРП) містить засоби захисту, комутації та розподілу електроенергії мережі. Для забезпечення електромагнітної сумісності з мережею необхідно подолати такі перешкоди, як короточасні викиди, перехідні перенапруги, високочастотний шум, гармонійні спотворення. Вони можуть бути усунені шляхом застосування спеціальних фільтруючих і захисних пристроїв:

- мережевих автоматичних вимикачів;
- мережевих фільтрів високо частотних шумів;
- фільтрів вищих гармонік (250, 350, 550 Гц);
- варисторних блоків пристроїв захисту від перенапруг;
- пристрої диференціального захисту від струмів витоку;
- швидкодіючих запобіжників;
- лічильників обліку електроенергії.

Зазначені блоки можуть бути додатково встановлені в ввідно-розподільному пристрої (ВРП), формуючи шину трифазної напруги другого рівня гарантії. До складу ВРП входять також багатофункціональний вимірювальний контролер (МВК), аналізатор стану ізоляції кабелю (АІД), аналізатор якості заземлення (АЯЗ).

Ступінчасті компенсатори реактивної потужності (КРП) перемикають секції конденсаторних батарей, забезпечуючи оптимальну компенсацію реактивної потужності. Залежно від використовуваних комутаторів КРП діляться на: контакторні і тиристорні [4]. Діапазон потужностей від 10 до 1 600 кВАр.

Пристрої компенсації потужності спотворення (КПС).

Гармоніки струму, що створюються нелінійними навантаженнями, можуть являти собою серйозні проблеми для систем електроживлення.

Гармонійні складові струму з частотами, кратними основній частоті джерела живлення, викликають появу потужності спотворення. Вищі гармоніки струму, що накладаються на основну гармоніку, призводять до спотворення форми струму. У свою чергу спотворення струму впливає на форму напруги у системі електроживлення, викликаючи неприпустимі дії на навантаження системи. Збільшення загального діючого значення струму при наявності вищих гармонійних в системі призводить до перегріву всього обладнання розподіленої мережі електроживлення, зниженню коефіцієнта потужності, зниженню електричного і механічного ККД навантажень, погіршенню характеристик захисних автоматів і завищенню необхідної потужності автономних електроенергетичних установок [5].

Компенсація потужності спотворень (КПС) може бути реалізована за рахунок використання пасивних LC -фільтрів, налаштованих на 3-ю гармоніку

для однофазних навантажень, або на 5, 7, 11, 13-у гармоніки для трифазних навантажень. Можливе використання активних кондиціонерів гармонік (АКГ), які самоналагоджуються на певні частоти вищих гармонік. Струмівий діапазон компенсації вищих гармонік АКГ становить 20–120 А.

Стабілізатори напруги змінного струму призначені для підтримки стабільної напруги живлення навантажень побутового і промислового призначення при відхиленнях напруги в широкому діапазоні.

Стабілізатор напруги компенсує коливання (зниження або підвищення) напруги, формуючи шину стабільної напруги для споживачів.

Розрізняють такі типи стабілізаторів:

СТС – стабілізатор з підмагнічуванням;

СДТ – стабілізатор дискретний тиристорний;

СПП – стабілізатор подвійного перетворення;

СТЕМ – стабілізатор електромеханічний.

Джерела безперебійного живлення (ДБЖ) призначені для захисту електрообладнання користувача від неполадок в мережі, включаючи спотворення або зникнення напруги мережі, а також зниження високовольтних імпульсів і високочастотних перешкод, що надходять з неї. У структурі ІСЕЛ використовуються ДБЖ з подвійним перетворенням енергії.

Випрямно-зарядні пристрої (ВЗП) входять до складу джерел безперебійного живлення постійного струму і щитів оперативного струму (ШОС), які формують шину гарантованого живлення постійного струму четвертого рівня.

Електричні параметри ВЗП: напруга шини – 24, 48, 60, 120, 220 В; струм навантаження 10–100 А.

Пристрої плавного пуску (УПП) використовуються для зменшення ряду навантажень з високими пусковими струмами, такі як асинхронні двигуни. Підвищений струм у моменти пуску двигуна викликає перегрів обмоток двигуна, перевантажує кабелі живлення, може призвести до спрацьовування захисту, скорочує термін служби обладнання. Крім цього при прямому пуску потужних двигунів має місце просідання напруги на мережевий шині, що може негативно позначатися на роботі іншого електричного обладнання.

Перетворювачі частоти (ПЧ) рекомендуються до використання при керуванні асинхронними електроприводами.

Пристрій автоматичного введення резерву (АВР) призначене для підключення одного з двох мережевих фідерів до шини першого рівня (АВР1) та для підключення автономної дизель-генераторного пристрою (ДГП) до ввідно-розподільного пристрою (ВРП) при тривалій відсутності мережевої напруги (АВР2).

Програмно-апаратні засоби керування та моніторингу параметрів системи (ІСЕЛ) використовують відкриті протоколи обміну даними між різними елементами через мережеві контролери, дозволяючи створити розподільну інфраструктуру, яка має високий ступінь відкритості для нарощування і модернізації.

Щоденні операції по вимірюванню, отримання даних і планування енергоспоживання виконуються за допомогою високоякісних і ергономічних машинних інтерфейсів і систем спостереження і контролю.

Багатофункціональний вимірювальний контролер (МВК) і серія регуляторів коефіцієнта потужності (КРП) підтримують протокол при використанні портів. Використання цих функцій дозволяє отримати свідчення приладів і керувати ними за допомогою програмного забезпечення віддаленого контролю.

Контрольні запитання

1. Що є елементами модульної системи електромехатронних комплексів?
2. З яких елементів складається електромеханічна приводна частина мехатронного комплексу?
3. Проаналізувати роботу інтелектуальних складових мехатронних комплексів.
4. Яким чином можливо досягти спрощення механічної частини мехатронних комплексів. Навести приклади.
5. Перелічити переваги використання інтелектуальних мехатронних модулів у електромеханічних комплексах.
6. На чому базується керування системами та комплексами мехатронних модулів і комплексів?
7. Що являють собою мікропроцесорні системи в мехатронних модулях і комплексах?
8. Особливості роботи мікроконтролера в мехатронних модулях і комплексах?
9. З чого складається типова архітектура мікроконтролера?
10. На чому заснована робота інтелектуальна система електропостачання та електроживлення комплексів?
11. Перелічити основні елементи структури інтелектуальної системи електропостачання.
12. Яким способом можливо уникнути пошкодження при аварійному режимі роботи систем електропостачання. Проаналізувати приклади.

ЛЕКЦІЯ 7

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ДИНАМИКИ МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ

7.1 Моделі динаміки мехатронних систем і форми їх подання

Методи математичного моделювання та проектування мехатронних систем, які розробляються, повинні ґрунтуватися на єдиному, комплексному підході щодо об'єкта проектування.

Моделлю (від лат. *Modulus* – зразок, міра) називається пристрій, що володіє основними властивостями досліджуваного об'єкта.

Моделювання як метод дослідження застосовується тоді, коли досліджуваний об'єкт, з яких-небудь причин, частково або повністю недоступний. Така ситуація виникає при проектуванні принципово нової техніки, так як для обґрунтування прийнятих проектних рішень необхідно досліджувати систему, поки ще не існуючу фізично.

Моделювання може бути:

- натурним, коли модель має ту ж фізичну природу, що і досліджуваний об'єкт;

- аналоговим, коли модель і об'єкт мають різну фізичну природу.

Якщо властивості досліджуваного об'єкта виражені математичними співвідношеннями (рівняннями, нерівностями), то говорять про наявність *математичної моделі*.

Високий рівень розвитку обчислювальної техніки і програмного забезпечення, досягнутий до теперішнього часу, дозволяє розглядати математичне моделювання як потужний інструмент наукових досліджень. Через те що мехатронні системи являють собою технічно складні вироби, то їх проектування і підготовка до виробництва, а також значення математичного моделювання з використанням комп'ютерів, є визначальним.

Тому система автоматичного проектування (САПР) мехатронних систем обов'язково включає підсистему математичного моделювання динаміки, яка дозволяє в автоматизованому режимі розробляти моделі динаміки проектованого виробу, проводити дослідження, вирішувати інженерні задачі оптимізації та синтезу.

У завданнях автоматизації моделювання, дослідження і проектування мехатронних комплексів і систем використовуються такі основні форми подання математичних моделей динаміки:

- системою диференціальних рівнянь;
- пов'язаних графів;
- структурно-динамічною схемою.

Рівняння динаміки є найбільш загальною формою подання математичної моделі мехатронної системи або її окремих підсистем. Вони являють собою рівняння, котрі пов'язують координати системи, її швидкості і прискорення з діючими на систему силами. Як координати можуть виступати не тільки лінійні і кутові положення ланок механічної частини машини, але і обсяги робочої рідини гідроприводу, електричні заряди, що протікають через поперечні перерізи провідників і тощо.

Силовими параметрами в рівняннях динаміки мехатронної системи, крім «механічних» сил і їх моментів відносно будь-яких осей, можуть бути також тиск робочої рідини (газу), електрична напруга, тощо.

Формування рівнянь динаміки електромеханічної системи в узагальнених координатах може бути здійснено методом Лагранжа [36], а також на основі пов'язаного графа системи, шляхом застосування до його вузлів законів Кірхгофа.

Перспективним в задачах моделювання динаміки мехатронних систем є підхід, який полягає в тому, що динаміка виконавчого механізму з декількома ступенями свободи в просторі узагальнених координат представляється як динаміка, що зображає точки у римановому просторі (диференціюються різноманіття, в якому дотичний простір в кожній точці є кінцевомірним евклідовим простором).

Динаміка мехатронних систем та комплексів, як правило, описується нелінійними диференційними рівняннями. Застосування ефективних методів аналізу і синтезу, розроблених в теорії лінійних систем автоматичного керування, передбачає лінеарізацію рівнянь динаміки [13, 41]. У свою чергу, лінійна модель динаміки системи може бути представлена у формі структурно-динамічної схеми. Іншими словами – у вигляді обмеженого набору лінійних динамічних ланок, об'єднаних в загальну структуру за допомогою прямих і зворотних зв'язків. Комп'ютерний аналіз і синтез систем автоматичного керування, який здійснюється на основі уявлення динаміки систем структурно-динамічними схемами, інтенсивно розвивався з 70-х рр. минулого століття і в даний час досить поширений (спеціальні програмні комплекси Simulink, VisSim і ін.). Суттєвими результатами, отриманими в цьому напрямку, є пакет програм ПДС (Проектування динамічних Систем).

Ряд завдань проектування мехатронних систем, що мають просторові механізми з великим числом ступенів свободи, або управління їх рухом, можна вирішити без складання і інтегрування складної системи рівнянь. При цьому можна обмежитись дослідженням інваріантів механічної частини (робота узагальнених сил на малих переміщеннях, кінетична енергія) за допомогою тензорно-геометричного методу.

7.2 Автоматизація моделювання динаміки мехатронної системи

Одним з напрямків наукових досліджень у мехатроніці є розробка загальних теоретичних положень, на основі яких можливе створення ефективних методів математичного моделювання мехатронних систем і алгоритмів автоматизації моделювання. Так як властивості об'єкта керування, виконавчого приводу і інформаційної системи повинні розглядатися в комплексі і враховуватися вже на ранніх стадіях проектування мехатронної системи, необхідно розробляти моделі динаміки як механічних, так і електричних підсистем за допомогою єдиного методу. При цьому метод математичного моделювання динаміки мехатронної системи повинен мати наступні властивості:

- інваріантністю до фізичної природи об'єктів, що моделюються;
- формальністю дій, які виконуються при реалізації методу;
- зручністю результатів обчислень для аналізу і використання в проектуванні.

Роботи-маніпулятори, мобільні роботи, багатокоординатійні верстати з ЧПУ і тощо, мають просторові виконавчі механізми, які можуть мати велике число ступенів свободи і містити замкнуті кінематичні контури. Це ускладнює математичне моделювання динаміки таких мехатронних систем. Багатоступінчасті передавальні механізми приводів, в свою чергу, представляють відомі труднощі при моделюванні динаміки, оскільки в них істотні такі відхилення від ідеальної механічної передачі, як інерційність, пружна піддатливість ланок, люфти і сухе тертя в кінематичних парах. Механічна частина машини, в окремих випадках, може являти собою не голономну систему (з наявністю диференційних неінтегрованих зв'язків). Тому метод, покладений в основу алгоритмів автоматизованого формування моделей динаміки мехатронних систем, повинен володіти спільністю, достатньої для обліку всіх перерахованих факторів.

Створення математичних моделей динаміки багатовимірних систем, що складаються з фізично різнорідних функціональних частин, являє собою трудомістке і наукомістке завдання. Для його вирішення, в умовах жорстких обмежень часу, необхідно ефективно і максимально повне використання можливостей сучасних засобів автоматизації обчислень. До нових можливостей апаратних і програмних засобів автоматизації обчислень відносяться:

- висока обчислювальна потужність;
- автоматизація створення просторово-геометричних моделей (комп'ютерна графіка);

- автоматизація математичних обчислень в символічному вигляді (комп'ютерна алгебра);
- розвинені системи обміну інформацією між програмними модулями різного цільового призначення;
- вільний доступ учасників проекту до проміжних результатів проектування, можливість оперативного використання раніше отриманих результатів в розробці нових проектів;
- доступність широкому колу користувачів, візуалізація та анімація модельованих об'єктів і процесів.

Відповідно завдання, автоматизація моделювання динаміки мехатронної системи полягає у наступному:

- аналізі існуючих методів динаміки і обґрунтуванні вибору методу, на базі якого буде розроблятися математичне забезпечення програмного модуля автоматизованого формування моделі динаміки мехатронної системи;
- розробки математичного, алгоритмічного та програмного забезпечення, орієнтованого на можливості сучасних засобів автоматизації обчислень.

7.3 Порівняльний аналіз методів динаміки

В даний час відомо п'ять методів отримання рівнянь динаміки багатоланкових виконавчих механізмів:

- метод Лагранжа, заснований на рівняннях Лагранжа II роду і описі кінематики системи матрицями однорідних перетворень координат;
- модифікований метод Лагранжа, заснований на рівняннях Лагранжа II роду і рекурентному описі кінематики механічної системи;
- метод Ейлера, заснований на застосуванні другого закону динаміки і принципу Д'аламбера;
- метод Гауса, заснований на принципі найменшого примушування;
- метод зв'язаних графів.

Метод Лагранжа і метод Ейлера вважаються традиційними, як найбільш часто використовуються на практиці. Висновок рівнянь руху голономних механічних систем методом Лагранжа відрізняється простотою і єдністю підходу, а самі рівняння, що отримані цим методом, забезпечують опис динаміки і можуть бути використані для розробки законів керування у просторі приєднаних змінних [11]. Вирази для кінетичної і потенційної енергії ланок можна записати відносно координат ланок у нерухомій системі координат. Перевага методу Лагранжа дозволяє застосовувати його для виведення рівнянь руху механічних систем, що містять замкнуті контури. Як вже було зазначено, рівняння динаміки у формі Лагранжа можна скласти для електричної системи.

Рівняння і алгоритми динаміки роботів-маніпуляторів, засновані на застосуванні методу Лагранжа [5, 6, 13, 16, 45, 46].

Застосування методу Ейлера призводить до системи прямих і зворотних рекурентних рівнянь, послідовно застосованих до ланок механічної системи. Даний метод найбільш ефективний з обчислювальної точки зору, що дозволяє використовувати його для керування системою в реальному часі [45, 46] і для моделювання її рухів на комп'ютері [15]. Перевагою методу Ейлера є також можливість обчислювати сили і моменти сил реакцій в кінематичних парах механізму. З точки зору аналізу, рекурентні співвідношення не є зручними. Тому метод Ейлера практично не застосовується в задачах синтезу законів керування.

Модифікований метод Лагранжа дозволяє отримати рівняння динаміки в векторно-матричній формі, зручній для аналізу. Крім того, ці рівняння забезпечують зниження обчислювальних витрат на розрахунок динамічних коефіцієнтів в порівнянні з рівняннями Лагранжа. З використанням коефіцієнтів є можливість розрізняти динамічні ефекти, що обумовлені обертовим і поступальним рухом ланок. Це необхідно використовувати при синтезі керування у просторі станів систем. Обчислювальна ефективність цих рівнянь обумовлена використанням для опису кінематики ланок матриць поворотів і векторів відносного положення. Використання модифікованого методу Лагранжа для аналізу систем, що містять замкнуті кінематичні контури, пов'язане з труднощами, тому що даний метод передбачає рекурентні обчислювальні процедури.

Метод, заснований на принципі Гауса, на відміну від методів, заснованих на рівняннях Лагранжа, дозволяє отримувати рівняння динаміки механічних систем, як з голономними, так і з неголономними зв'язками. При використанні принципу Гауса завдання зводиться до визначення прискорень істинного руху, які забезпечують мінімум виразу для примушування. Це досягається шляхом чисельної мінімізації примушування як функції узагальнених прискорень механічної системи методом динамічного програмування або невизначених множників Лагранжа. Безсумнівним достоїнством методу Гауса можна вважати можливість його застосування для дослідження руху механічних систем з нерегульованими зв'язками. Згідно, перевага методу Гауса досягається саме в тих випадках, коли використовуються чисельні методи мінімізації примушування на кожному кроці інтегрування рівнянь динаміки.

Метод зв'язкових графів ґрунтується на поданні системи (механічної, електричної, гідравлічної або комбінованої) у вигляді деякого кінцевого числа елементів, що мають формальний математичний опис і з'єднаних один з одним

у загальну структуру за допомогою зв'язків. Цей метод є результатом розвитку теорії графів, одним з основоположників якої, був Л. Ейлер.

Математична модель динаміки системи відображається у вигляді схеми (графа), на підставі якої виводяться рівняння динаміки; при цьому механічна частина системи може бути неголономною. Основною перевагою методу зв'язкових графів є структурно-графічне представлення динаміки досліджуваних систем, що дозволяє простежити всі взаємовпливи елементів системи візуально і отримати рівняння динаміки шляхом застосування до зв'язного графу простих законів Кірхгофа. Використання методу зв'язкових графів дає найбільший ефект при описі, аналізі та проектуванні розгалужених систем з наявністю замкнутих кінематичних контурів.

Результати порівняльного аналізу, поміщені в таблиці 1.1 показують, що найбільш перспективним з точки зору автоматизації моделювання динаміки мехатронних систем є метод зв'язкових графів. Даний метод, з одного боку, має найбільшу спільність і необхідну інваріантність до фізичної природи об'єктів дослідження. З іншого боку, результатом його застосування є не тільки замкнута система диференціальних рівнянь динаміки, а й зв'язний граф досліджуваної системи. Це розширює можливості інженерного аналізу і автоматизації моделювання динаміки з використанням комп'ютерів.

Таблиця 7.1 – Результати порівняльного аналізу методів

Метод	Механічні системи			Електричні системи	Результат обчислень		
	голономні	неголономні	с замкненими контурами		замкнена система диференціальних рівнянь.	рекурентне рівняння	числений
Лагранжа			+				
модифікує	+	-	-	+	+	-	-
Ейлера	+	-	-	-	-	+	-
Гауса	+	+	+	-	-	-	+
зв'язкових графів	+	+	+	+	+	-	-

Таким чином, метод зв'язкових графів прийнятий в якості теоретичної основи рівнянь і алгоритмів автоматизованого моделювання динаміки мехатронних систем.

7.4 Метод пов'язаних графів

Динамічні властивості технічної системи, що визначають характер процесів, можуть бути представлені у вигляді графа, на якому зв'язки між елементами системи відображаються лініями або стрілками. Метод отримання рівнянь динаміки системи шляхом застосування закону збереження до вузлових точок її графа, називається методом зв'язкових графів. Цей метод успішно застосовувався в задачах математичного моделювання динаміки різних технічних систем.

В основу методу зв'язкових графів покладено системний підхід щодо опису динаміки. Досліджуваний об'єкт розглядається у вигляді сукупності пов'язаних між собою у загальну структуру елементів, що функціонують як єдине ціле.

Динамічна система має входи і виходи, через які здійснюється обмін енергією з елементами більш широкої системи, до складу якої входить розглянута система. Наприклад, виконавчий привод робота отримує енергію від джерела живлення, перетворює її і поставляє на вхідні ланки механізмів робота. Отже, привод розглядається як підсистема робота. При цьому певна частина енергії живлення перетворюється приводом в теплову енергію і розсіюється. У свою чергу, робот також є підсистемою, яка взаємодіє з іншими одиницями технологічного обладнання і тощо.

Принципово важливо, що досліджувана динамічна система не розглядається поза зв'язком з елементами більш широкої системи, тобто, не є ізольованою.

Стан кожного елемента у фіксованій момент часу руху системи характеризується двома параметрами: величиною e (від англ. Effort – зусилля), що має фізичний сенс «зусилля, напруга» і величиною f (від англ. Flux – потік), що має фізичний сенс «швидкість».

Розподіл потоків (зусиль) у вузлових точках зв'язкового графа підкоряється закону збереження енергії, сформульованому у вигляді першого (другого) закону Кірхгофа:

для вузла з одним і тим же значенням f

$$\sum_k f_k = 0; \quad (7.1)$$

для вузла з одним і тим же значенням e ;

$$\sum_k e_k = 0. \quad (7.2)$$

На підставі законів (2.1) і (2.2) формуються диференціальні рівняння динаміки досліджуваної системи. Елементами динамічної системи є: інерційний накопичувач енергії, ємнісний накопичувач енергії, дисипативний елемент, функціональний перетворювач, гіратор.

На входах і виходах системи розташовані джерела зусиль (потоків), що визначають дію з боку більш широкої системи, у складі якої знаходиться досліджувана система. Перейдемо до докладного розгляду кожного з елементів.

Динамічний стан інерційного накопичувача енергії у загальному випадку описується рівнянням:

$$e = \frac{d}{dt}(mf), \quad (7.3)$$

де $f = dq/dt$, $q = q_1(t)$ – координата;
 $m = m(t)$ – інерція накопичувача;
 t – час.

Зокрема, якщо, $m = \text{const}$, то рівняння (2.3) приймає вигляд $e = m(df/dt)$.

Інерційним накопичувачем в механічній системі є масивне тіло:

- якщо q – поступальне переміщення, то m – маса тіла, e – сила;
- якщо q – обертальний рух тіла навколо деякої осі, то m – момент інерції, e – момент сили відносно цієї осі.

- якщо в електричній системі у якості інерційного накопичувача виступає котушка індуктивності, то q – заряд, що протікає через поперечний переріз провідника, m – індуктивність, e – напруга на клеммах котушки.

Ємнісний накопичувач енергії в загальному випадку описується рівнянням:

$$e = \int (kf) dt \quad (7.4)$$

де $k(q) = de/dq$ – жорсткість накопичувача.

У більшості інженерних задач жорсткість накопичувачів постійна і рівняння (2.4) використовується у вигляді $e = k \int f dt$.

Ємнісним накопичувачем в механічній системі є пружне тіло (пружина): якщо q – лінійна деформація, то k – коефіцієнт жорсткості; якщо q – кутова деформація, то k – крутильна жорсткість.

В електричній системі ємнісним накопичувачем енергії є конденсатор: q – заряд на обкладинках конденсатора; $k = 1/C$ де C – ємність конденсатора.

Очевидно, що одне і те ж фізичне тіло (електричний провідник) мають як властивості інерційного, так і властивості ємнісного накопичувача. Вибір елемента, математично описує тіло або провідник у конкретному завданні. Це залежить від того, яка властивість є більш істотною, і буде враховуватися у розрахунках.

Дисипативний елемент, який перетворює механічну або електричну енергію в теплову енергію, описується рівнянням:

$$e = dR\varphi(f), \quad (7.5)$$

де R – коефіцієнт, який в загальному випадку є функцією часу.

Найбільш часто у рівнянні (2.5) приймають $R = \text{const}$ и $\varphi(f) = f$ - лінійний опір з постійним коефіцієнтом. У механічних системах за допомогою дисипативного елемента враховують втрати енергії, що обумовлені наявністю сухого і в'язкого тертя. У електричних системах – це втрати енергії на активних опорах (резисторах).

Функціональний перетворювач перетворює енергію, що подається на його вхід з одними параметрами в енергію того ж виду, але з іншими параметрами. Це описується рівняннями:

$$e_{\text{вих}} = m^{-1}e_{\text{вх}}, \quad f_{\text{вих}} = mf_{\text{вх}} \quad (7.6)$$

де $e_{\text{вх}}, e_{\text{вих}}$ – зусилля;

$f_{\text{вх}}, f_{\text{вих}}$ – потоки на вході і виході перетворювача;

m – коефіцієнт перетворювача.

У загальному випадку m – є функція часу t , яка може бути задана неявно. При моделюванні динаміки механічних систем рівняння (2.6) використовуються для математичного опису ідеальних механізмів, у тому числі і з рідкими (газоподібними) робочими тілами. У електричних системах – для опису ідеальних перетворювачів електричних сигналів.

Теплові втрати в реальних механізмах і електричних ланцюгах враховуються шляхом додавання в розрахункову модель відповідних дисипативних елементів з наведеними значеннями опору при вирішенні конкретної задачі.

Гіратор (від грец. Gyros – коло, обертання) перетворює енергію одного виду в енергію іншого виду. Він описується рівняннями

$$e_{вих} = kf_{вх}, \quad f_{вих} = k^{-1}e_{вх} \quad (7.7)$$

де k – коефіцієнт гіратора.

Рівняння (2.7) відповідають ідеальному гіратору. При моделюванні гіраторів з урахуванням теплових втрат в розрахункову модель додаються дисипативні елементи. Прикладом гіратора є електричний двигун:

$$M_D = ki_a, \quad \omega_D = k^{-1}e_c; \quad k = k_D \Phi$$

де M_D – момент двигуна;
 i_a – струм в ланцюзі якоря;
 ω_D – кутова швидкість,
 e_c – противо-ЕРС двигуна;
 Φ – магнітний потік двигуна;
 k_D – конструктивний коефіцієнт.

Розглянуті елементи мають математичний опис, інваріантний до фізичної природи модельованих систем і процесів. Тому метод зв'язкових графів найкращим чином підходить для використання в задачах математичного моделювання динаміки мехатронних систем. Наявність зв'язкового графа дозволяє візуально проаналізувати динамічні взаємовпливи у досліджуваній системі, а прості закони (7.1) і (7.2) зручні при автоматизованому отриманні рівнянь динаміки.

7.5 Моделювання та автоматизація динаміки систем з використанням методу пов'язаних графів

Пов'язаний граф динамічної системи може бути побудований у двох еквівалентних варіантах. Граф, зв'язки якого не утворюють замкнутих контурів, називається безконтурним, в іншому випадку – контурним.

Більш традиційними в задачах моделювання динаміки технічних систем є контурні графи, які набули широкого поширення в електротехніці і гідравліки.

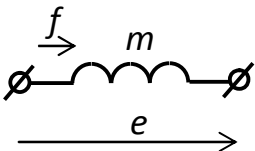
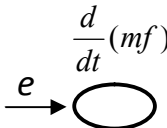
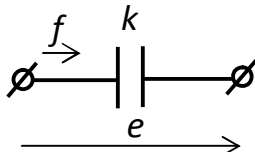
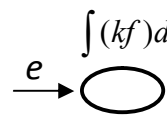
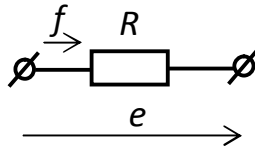
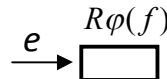
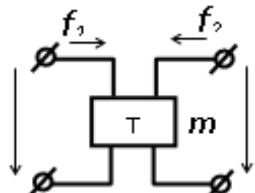
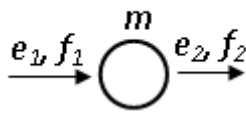
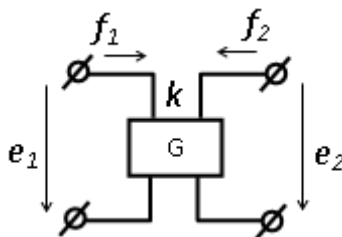
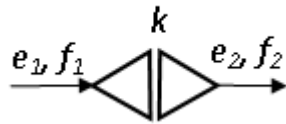
Безконтурні графи менш відомі. Вони застосовувалися окремими дослідниками при моделюванні динаміки систем, що складаються з матеріальних точок або з твердих тіл, які роблять прості рухи.

У таблиці 7.2 дані позначення елементів для двох зазначених варіантів зв'язаних графів. Таким чином, на контурному графі інерційний, ємнісний накопичувачі і дисипативний елемент є двохолюсниками, на безконтурному графі – одноходовими елементами.

Функціональний перетворювач і гиратор на контурному графі є чотиріполюсниками, а на безконтурному – двохолюсниками елементами. Розглянемо деякі приклади математичного моделювання з використанням пов'язаних графів.

З точки зору автоматизації найбільш складним є формування розрахункової схеми, тому що перехід від реального технічного об'єкта до його розрахункової схеми пов'язаний з необхідністю визначення сукупності факторів і умов, які будуть враховані при моделюванні.

Таблиця 7.2 – Позначення елементів зв'язаних графів

Найменування елемента	Позначення	
	Контурний граф	Безконтурний граф
Інерційний накопичувач енергії		
Ємнісний накопичувач енергії		
Дисипативний елемент		
Функціональний перетворювач		
Гиратор		

Твердження, згідно з якими одні діючі фактори визнаються істотними, а інші – незначними, ґрунтуються на інженерному досвіді і творчої інтуїції дослідника. Ця обставина в загальному випадку призводить до неможливості повністю автоматизувати процедуру формування розрахункової схеми технічного об'єкта. Виняток становлять лише конструкції, вузли та елементи, для яких існують готові розрахункові схеми. Наприклад, підшипникові опори валів редукторів, балкові конструкції, типові чотириполюсники з пасивними електротехнічними елементами і тощо. В інших випадках розрахункова схема, в достатній мірі відповідає властивостям реального технічного об'єкта, може бути складена лише інженером-фахівцем.

Контрольні запитання

1. Дати поняття моделі.
2. Які існують види моделювання?
3. Які існують форми подання моделей динаміки при дослідженні мехатронних комплексів і систем?
4. Проаналізувати особливості рівнянь математичних моделей мехатронних систем.
5. Які використовуються рівняння для характеристики динаміки мехатронних систем?
6. На чому базуються наукові дослідження мехатронних комплексів і систем?
7. Що відноситься до апаратних і програмних засобів автоматизації обчислень параметрів динаміки мехатронних комплексів і систем?
8. Перелічити методи отримання рівнянь динаміки багатоланкових виконавчих механізмів мехатронних комплексів і систем.
9. Проаналізувати і зрівняти методи Лангранжа, Ейлера і Гауса.
10. У чому полягає метод зв'язкових графів?
11. Особливості моделювання та автоматизація динаміки систем з використанням методу пов'язаних графів.
12. Проаналізувати особливості формування та моделювання автоматизованої розрахункової схеми з урахуванням визначення сукупності факторів і умов.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ловейкін В. С. Мехатроніка : навч. посібник / В. С. Ловейкін, Ю. О. Ромасевич, Ю. В. Човнюк. – Київ : ЦП Компрінт, 2012. – 358 с.
2. Bishop R. H. The Mechatronics Handbook / Robert H. Bishop. - Boca Raton: CRC Press, 2002. – 1229 p.
3. Введение в мехатронику: учеб. пособие / А. И. Грабченко, В. Б. Клепиков, В. Л. Доброскок и др. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2014. – 264 с.
4. Дудюк Д. Л. Гнучке автоматизоване виробництво і роботизовані комплекси : навч. посібник / Д. Л. Дудюк, С. С. Мазепа, М. М. Мисик. – Львів : Магнолія плюс СПД ФО В. М. Піча, 2005. – 278 с.
5. Антощенко Р. В. Динаміка та енергетика руху багатоелементних машинно-тракторних агрегатів / Р. В. Антощенко. – Харків : ХНТУСГ, Міськдрук, 2017. – 244 с.
6. Подураев Ю. В. Мехатроника. Основы, методы, применение : учеб. пособие для высш. учеб. заведений по спец. «Мехатроника» направления подготовки «Мехатроника и робототехника»/ Ю. В. Подураев. – 2-е изд., стереотип. – М. : Машиностроение, 2007. – 256 с.
7. Цвіркун Л. І. Робототехніка та мехатроніка : навч. посібник / Л. І. Цвіркун, Г. Грулер; Нац. гірничий ун-т. – 2-ге вид., випр. – Дніпропетровськ : НГУ, 2010. – 224 с
8. Кузьмин Д. В. Моделирование динамики мехатронных систем. Уравнения и алгоритмы / Д. В. Кузьмин. – Архангельск : Арханг. гос. техн. ун-т, 2008. – 120 с.
9. Тарасик, В. П. Математическое моделирование технических систем / В. П. Тарасик. – Минск : ДизайнПРО, 2004. – 640 с.
10. Зарубин В. С. Математическое моделирование в технике / В. С. Зарубин ; под ред. В. С. Зарубина, А. П. Крищенко. – М. : Изд-во МГТУ им. Баумана, 2001. – 469 с.
11. Тевяшев А. Д. Канонічний вигляд квадратичної форми. Метод Лагранжа зведення квадратичної форми до канонічного вигляду // Вища математика. Збірник задач. Ч. 1. Лінійна алгебра та аналітична геометрія / А. Д. Тевяшев, О. Г. Литвин. – Харків : СМІТ, 2010. – С. 164–166.
12. Яглінський В. П. Моделювання динамічних процесів роботизованого виробництва / В. П. Яглінський, Д. В. Іоргачев. – Одеса : АстроПрінт, 2004. – 234 с.
13. Алексієв В. О. Мехатроніка транспортних засобів та систем / В. О. Алексієв, В. П. Волков, В. І. Калмиков. – Харків : ХНАДУ, 2004. – 176 с.

Навчальне видання

ПАВЛЕНКО Тетяна Павлівна,
ЛУКАШОВА Наталя Павлівна,
ШАВКУН В'ячеслав Михайлович

**СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ В ЕЛЕКТРОМЕХАТРОННИХ
КОМПЛЕКСАХ**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для підготовки магістрів за освітньо-науковою програмою спеціальності
141 – Електротехніка, електроенергетика та електромеханіка фахового
спрямування «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»)*

Відповідальний за випуск *Ю. П. Бархаєв*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2019, поз. 79 Л

Підп. до друку 01.10.2019. Формат 60 × 84/16.

Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 3,5.

Тираж 50 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.