

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

**«ЕЛЕКТРОМЕХАТРОНІКА»
(частина 1)**

*(для здобувачів вищої освіти спеціальності
G3 – Електрична інженерія)
(Електронне видання)*

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні кафедри
електричної інженерії
Протокол № 1 від 29.08.2025 р

Київ 2025

УДК 621.3

Конспект лекцій з дисципліни «Електромехатроніка» (частина 1) (для здобувачів вищої освіти спеціальності G3 Електрична інженерія) (Електронне видання) / Уклад.: М.О. Морнева, Ю.А. Романченко –Київ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2025. - 34 с.

Конспект лекцій охоплює зміст дисципліни «Електромехатроніка» (першу частину) для студентів денної, заочної та дистанційної форм навчання спеціальності G3 – Електрична інженерія.

Розглядаються загальні поняття базові визначення, основне напрями розвитку електромехатроніки. Також наводяться опис сучасних електромехатронних модулів та систем.

Конспект лекцій розраховано на здобувачів ВО закладів вищої освіти.

Укладачі

М.О. Морнева, к.т.н.,доц.
Ю.А. Романченко, к.т.н., доц.

Рецензент:

І.В. Мелконова, к.т.н., доц.

ОПИС ДИСЦИПЛІНИ

Метою вивчення дисципліни «Електромехатроніка» є формування у студентів теоретичних знань і практичних навичок по створенню електромеханічних електронних систем, робототехніки, застосуванню сучасних методів програмування мікроконтролерів.

Завдання: надбання студентами міцних знань і практичних навичок в області, визначуваною основною метою курсу.

В процесі вивчення дисципліни студент повинен знати:

- структуру та принципи побудови мехатронних систем;
- мехатронні модулі руху, приводи мехатронних систем;
- проводити моделювання мехатронних систем засобами

MatlabSimulink:

вміти:

- працювати зі спеціальним програмним забезпеченням: MatlabSimulink;
- проектувати складні мехатронні системи, моделювати їх;
- застосовувати придбані знання при вирішенні практичних задач.

Набуття компетентностей:

– **інтегральна компетентність (ІК):** Здатність розв'язувати спеціалізовані задачі та вирішувати практичні проблеми під час професійної діяльності у галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки або у процесі навчання, що передбачає застосування теорій та методів фізики та інженерних наук і характеризуються комплексністю та невизначеністю умов;

– **фахові (спеціальні) компетентності (ФК):** ФК5. Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з роботою електричних машин, апаратів та автоматизованого електроприводу.

Програмні результати навчання (ПРН): ПРН03. Знати принципи роботи електричних машин, апаратів та автоматизованих електроприводів та уміти використовувати їх для вирішення практичних проблем у професійній діяльності

Тема 1. Введення в електромехатроніку.

Основи та фактори розвитку систем мехатроніки та робототехніки.

Переваги мехатронного навчання та систем.

План:

1. Введення у мехатроніку.
2. Основи та фактори розвитку мехатроніки.

Сучасний термін "Мехатроніка" ("Mechatronics"), згідно з японськими джерелами, був введений фірмою Yaskawa Electric в 1969 році і зареєстрований як торгова марка в 1972 році. Ця назва отримана комбінацією слів «МЕХАНІКА» та «ЕЛЕКТРОНІКА». Об'єднання цих понять у єдиному словосполученні означає інтеграцію знань у відповідних галузях науки і

техніки, яка дозволила зробити якісний стрибок у створенні техніки нових поколінь та виробництві нових видів систем та обладнання.

Аналогічним чином йшло розвиток електромеханіки як науки, що використовує досягнення електротехніки та механіки при створенні приводних виконавчих систем широкого призначення. Інтеграція електромеханіки та мікроелектроніки призвела до появи комплектних інтегрованих мехатронних модулів руху робочих органів та вузлів машин, а також устаткування, що створюється на їх основі. Саме у цьому напрямі найбільш активно розвивалася мехатроніка у нашій країні. Проте до початку 80-х термін «Мехатроніка» затверджується у світовій технічній літературі як назва цілого класу машин з комп'ютерним управлінням рухом. У цьому інтегруються досягнення у галузі електромеханіки і електроніки, а й систем комп'ютерного управління рухами машин і складних просторових механізмів.

Мехатроніка перебуває лише у стадії становлення, і оскільки до теперішнього часу її визначення та базова термінологія ще повністю не сформовані, то доцільно розглянути визначення, що виражають суть предмета мехатроніки як у широкому, так і у вузькому (спеціальному) сенсі.

Загальне визначення мехатроніки у широкому розумінні: «Мехатроніка – це нова галузь науки і техніки, присвячена створенню та експлуатації машин та систем з комп'ютерним управлінням рухом, яка базується на знаннях у галузі механіки, електроніки та мікропроцесорної техніки, інформатики та комп'ютерного управління рухом машин та агрегатів». В даному визначенні особливо підкреслено триєдину сутність мехатронних систем (МС), в основу побудови яких закладено ідею глибокого взаємозв'язку механічних, електронних та комп'ютерних елементів. Поширеним графічним символом мехатроніки (рис.1.1) стала діаграма з сайту RPI (Rensselaer Polytechnic Institute, NY, US A).

Відомо кілька визначень, опублікованих у періодичних виданнях, працях міжнародних конференцій та симпозіумів, де поняття про мехатронік конкретизується та спеціалізується. На основі розглянутих вище визначень пропонується наступне спеціальне формулювання предмета мехатроніки: «Мехатроніка вивчає синергетичне об'єднання вузлів точної механіки з електронними, електротехнічними та комп'ютерними компонентами з метою проектування та нових модулів, систем, машин та комплексів машин виробництва якісно з інтелектуальним керуванням їх функціональними рухами».

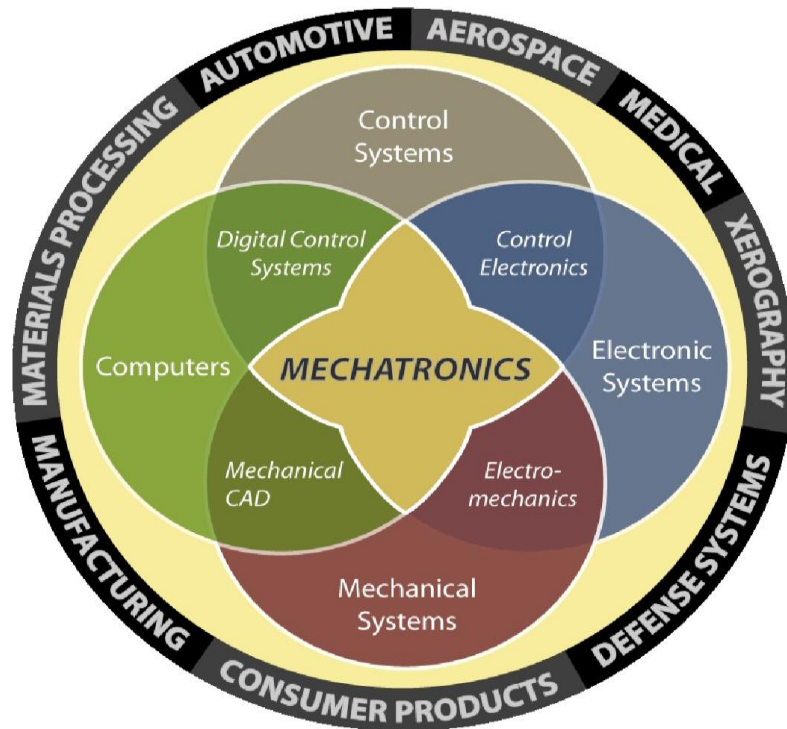


Рис 1.1 - Визначення мехатроніки

Коментарі до визначення:

1. Мехатроніка вивчає особливий методологічний (концептуальний) підхід у побудові машин з якісно новими характеристиками. Важливо підкреслити, що цей підхід є універсальним і може бути застосований в машинах і системах різного призначення. Однак слід зазначити, що забезпечення високої якості керування мехатронною системою можна лише з урахуванням специфіки конкретного керованого об'єкта. Тому вивчення мехатроніки доцільно здійснювати за спеціальностями, предметом яких є конкретні класи виробничих машин та процесів.

2. У визначенні підкреслюється синергетичний характер інтеграції складових елементів у мехатронних об'єктах. Синергія (грец.) - це спільну дію, спрямовану досягнення єдиної мети. При цьому принципово важливо, що складники не просто доповнюють одна одну, але поєднуються таким чином, що утворена система має якісно нові властивості. У мехатроніці всі енергетичні та інформаційні потоки спрямовані на досягнення єдиної мети – реалізації заданого керованого руху.

3. Інтегровані мехатронні елементи вибираються розробником вже на стадії проектування машини, а потім забезпечується необхідна інженерна та технологічна підтримка під час виробництва та експлуатації машини. У цьому радикальна відмінність мехатронних машин від традиційних, коли користувач був змушений самостійно об'єднувати в систему різномірні механічні, електронні та інформаційно-керуючі пристрої різних виробників. Саме тому багато складних комплексів (наприклад, деякі гнучкі виробничі системи у

вітчизняному машинобудуванні) показали практично низьку надійність і невисоку техніко-економічну ефективність.

4. Методологічною основою розробки мехатронних систем є методи паралельного проектування (concurrent engineering methods). При традиційному проектуванні машин із комп'ютерним керуванням послідовно проводиться розробка механічної, електронної, сенсорної та комп'ютерної частин системи, а потім вибір інтерфейсних блоків. Парадигма паралельного проектування полягає в одночасному та взаємопов'язаному синтезі всіх компонентів системи.

5. Базовими об'єктами вивчення мехатроніки є мехатронні модулі, які виконують рухи, як правило, по одній керованій координаті. З таких модулів, як із функціональних кубиків, компонуються складні системи модульної архітектури.

6. Мехатронні системи призначені, як випливає з визначення, для реалізації заданого руху. Критерії якості виконання руху МС є проблемно-орієнтованими, тобто, визначаються постановкою конкретного прикладного завдання. Специфіка завдань автоматизованого машинобудування полягає у реалізації переміщення вихідної ланки - робочого органу технологічної машини(наприклад, інструменту для механообробці). У цьому необхідно координувати управління просторовим переміщенням МС з різними зовнішніми процесами. Прикладами таких процесів можуть бути регулювання силової взаємодії робочого органу з об'єктом робіт при механообробці, контроль та діагностика поточного стану критичних елементів МС (інструменту, силового перетворювача), управління додатковими технологічними впливами (тепловими, електричними, електрохімічними) на об'єкт робіт при комбінованих методах обробки, керування допоміжним обладнанням комплексу (конвеєрами, завантажувальними пристроями тощо), видача та прийом сигналів від пристроїв електроавтоматики (клапанів, реле, перемикачів). Такі складні координовані рухи мехатронних систем будемо надалі називати функціональними рухами.

7. У сучасних МС задля забезпечення високої якості реалізації складних і точних рухів застосовуються методи інтелектуального управління (advanced intelligent control). Ця група методів спирається нові ідеї теорії управління, сучасні апаратні і програмні засоби обчислювальної техніки, перспективні підходи до синтезу керованих рухів МС. Слід зазначити, що мехатроніка як нова галузь науки і техніки, що знаходиться в стадії свого становлення, її термінологія, межі та класифікаційні ознаки ще суворо не визначені. Здається, що на нинішньому етапі першорядне значення має виявлення сутності нових принципів побудови та тенденцій розвитку машин з комп'ютерним управлінням рухом, а відповідні семантичні поняття та визначення безумовно з часом утримаються.

Тема 2. Передумови розвитку мехатроніки та галузі застосування мехатронних систем.

План:

- 1. Розвиток мехатронних систем.*
- 2. Галузі застосування мехатронних систем.*
- 3. Розподіл мехатронних систем за рівнями.*

В мехатронних системах укрупнено прийнято виділяти три складові - механічну, електронну та комп'ютерну, об'єднання яких і утворює систему в цілому. Суть мехатронного підходу полягає у тісному взаємозв'язку зазначених компонент на всіх етапах життєвого циклу виробу, починаючи зі стадії його проектування та маркетингу та закінчуючи виробництвом та експлуатацією замовником.

До основних переваг мехатронних пристроїв у порівнянні з традиційними засобами автоматизації слід зарахувати:

- відносно низьку вартість завдяки високому ступеню інтеграції, уніфікації та стандартизації всіх елементів та інтерфейсів;
- високу якість реалізації складних та точних рухів внаслідок застосування методів інтелектуального управління;
- високу надійність, довговічність та схибленість;
- конструктивну компактність модулів (аж до мініатюризації у мікромашинах),
- покращені масогабаритні та динамічні характеристики машин внаслідок спрощення кінематичних ланцюгів;
- можливість комплексування функціональних модулів у складні мехатронні системи та комплекси під конкретні завдання замовника.

У рамках Державних науково-технічних програм у нашій країні виконано цілу низку фундаментальних наукових досліджень, успішних інженерних та виробничих розробок з інтеграції перерахованих напрямків, які заклали науково-технічний потенціал для розвитку сучасних мехатронних систем. Створено серії комплектних електромеханічних приводів, що вбудовуються у вузли машин. Обсяги світового виробництва мехатронних пристроїв щорічно збільшуються, охоплюючи нові сфери.

Сьогодні мехатронні модулі та системи знаходять широке застосування у таких областях:

- верстатобудування та обладнання для автоматизації технологічних процесів;
- робототехніка (промислова та спеціальна); - авіаційна, космічна та військова техніка;
- автомобілебудування (наприклад, антиблокувальні системи гальм, - системи стабілізації руху автомобіля та автоматичного паркування);
- нетрадиційні транспортні засоби (електровелосипеди, вантажні візки, електроролери, інвалідні візки);

- офісна техніка (наприклад, копіювальні та факсимільні апарати);
- елементи обчислювальної техніки (наприклад, принтери, плотери, дисководи);
- медичне обладнання (реабілітаційне, клінічне, сервісне); - побутова техніка (пральні, швейні, посудомийні та інші машини);
- мікромашини (для медицини, біотехнології, засобів зв'язку та телекомунікації);
- контрольно-вимірювальні пристрої та машини;
- фото- та відеотехніка;
- тренажери для підготовки пілотів та операторів; - шоу-індустрія (системи звукового та світлового оформлення).

Стрімкий розвиток мехатроніки в 90-х роках як нового науково-технічного спрямування обумовлений трьома основними чинниками:

- нові тенденції світового індустріального розвитку;
- розвиток фундаментальних основ та методології мехатроніки (базові наукові ідеї, принципово нові технічні та технологічні рішення);
- активність фахівців у науково-дослідній та освітній сферах.

Сучасний етап розвитку автоматизованого машинобудування в нашій країні відбувається в нових економічних реаліях, коли стоїть питання про технологічну спроможність країни і конкурентоспроможність продукції, що випускається.

Можна виділити такі тенденції зміни та ключові вимоги світового ринку в даній галузі:

- необхідність випуску та сервісу обладнання відповідно до міжнародної системи стандартів якості, сформульованих у стандарті 180 9000;
- інтернаціоналізація ринку науково-технічної продукції і, як наслідок, необхідність активного впровадження у практику форм та методів міжнародного інжинірингу та трансферу технологій;
- підвищення ролі малих і середніх виробничих підприємств в економіці завдяки їх здатності до швидкого і гнучкого реагування на вимоги ринку, що змінюються;
- бурхливий розвиток комп'ютерних систем та технологій, засобів телекомунікації (у країнах ЄЕС у 20100 році до 60% зростання сукупного національного продукту відбулося саме за рахунок цих галузей); прямим наслідком цієї загальної тенденції є інтелектуалізація систем керування механічним рухом та технологічними функціями сучасних машин.

Історію мехатроніки прийнято відраховувати з 1969 року, коли японська фірма Yakasawa Electric ввела новий термін "Мехатроніка" як комбінацію слів "Механіка" та "Електроніка". У 1972 році фірма зареєструвала цей термін як товарний знак. У 80-х роках клас мехатронних систем поповнився верстатами з числовим програмним управлінням, промисловими роботами та новими видами побутових машин (посудомийних, пральних тощо). В останнє десятиліття дуже багато уваги приділяється створенню мехатронних модулів для сучасних автомобілів, нового покоління технологічного обладнання

(верстатів з паралельною кінематикою, роботів з інтелектуальним управлінням), мікромашин, новітньої комп'ютерної та офісної техніки.

Як основна класифікаційна ознака в мехатроніці є доцільним прийняти рівень інтеграції складових елементів. Відповідно до цієї ознакою можна розділяти мехатронні системи за рівнями або поколіннями, якщо розглядати їх появу на ринку наукомісткої продукції історично.

Мехатронні модулі першого рівня є об'єднання тільки двох вихідних елементів. Типовим прикладом модуля першого покоління може бути "мотор-редуктор", де механічний редуктор і керований двигун випускаються як єдиний функціональний елемент. Мехатронні системи на основі цих модулів знайшли широке застосування під час створення різних засобів комплексної автоматизації виробництва (конвеєрів, транспортерів, поворотних столів, допоміжних маніпуляторів).

Мехатронні модулі другого рівня з'явилися у 80-х роках у зв'язку з розвитком нових електронних технологій, які дозволили створити мініатюрні датчики та електронні блоки для обробки їх сигналів. Об'єднання приводних модулів із зазначеними елементами призвело до появи мехатронних модулів руху, склад яких повністю відповідає введеному вище визначенню, коли досягнуто інтеграції трьох пристроїв різної фізичної природи: механічних, електротехнічних та електронних. На базі мехатронних модулів даного класу створені керовані енергетичні машини (турбіни та генератори), верстати та промислові роботи з числовим програмним керуванням.

Розвиток третього покоління мехатронних систем обумовлено появою над ринком порівняно недорогих мікропроцесорів і контролерів з їхньої основи і спрямовано інтелектуалізацію всіх процесів, які у мехатронній системі, насамперед - процесу управління функціональними рухами машин і агрегатів.

Одночасно йде розробка нових принципів і технологій виготовлення високоточних та компактних механічних вузлів, а також нових типів електродвигунів (насамперед високомоментних, безколекторних і лінійних), датчиків зворотного зв'язку та інформації. Синтез нових прецизійних, інформаційних та вимірювальних наукомістких технологій дає основу для проектування та виробництва інтелектуальних мехатронних модулів та систем. Надалі мехатронні машини та системи об'єднуюватимуться в мехатронні комплекси на базі єдиних інтеграційних платформ. Мета створення таких комплексів - домогтися поєднання високої продуктивності та одночасно гнучкості техніко-технологічного середовища за рахунок можливості її реконфігурації, що дозволить забезпечити конкурентоспроможність та високу якість продукції на ринках XXI століття.

Важливо наголосити, що поштовхом для становлення мехатроніки стали не загальні теоретичні ідеї (як це було, наприклад, в історії робототехніки), а технічні досягнення інженерів-практиків у різних галузях. Потім зацікавлені організації наприкінці 80-х стали об'єднуватися в науково-технічні співтовариства. У міру розширення сфери застосування мехатронних систем та розширення міжнародних науково-технічних зв'язків стає все більш

значущим активний обмін нових виробничими та інформаційними технологіями між їх творцями та користувачами, між різними групами споживачів та розробників (науково-дослідними центрами, підприємствами різних форм власності, університетами).

Розвиток мехатроніки як міждисциплінарної науково-технічної галузі, крім очевидних техніко-технологічних складнощів, ставить і цілу низку нових організаційно-економічних проблем. Сучасні підприємства, які приступають до розробки та випуску мехатронних виробів, повинні вирішити в цьому плані такі основні завдання:

- структурна інтеграція підрозділів механічного, електронного та інформаційного профілів (які, як правило функціонували автономно та роз'єднано) у єдині проектні та виробничі колективи;

- підготовка "мехатронно-орієнтованих" інженерів та менеджерів, здатних до системної інтеграції та керівництва роботою вузькопрофільних фахівців різної кваліфікації;

- інтеграція інформаційних технологій із різних науково-технічних областей (механіка, електроніка, комп'ютерне управління) до єдиного інструментарію для комп'ютерної підтримки мехатронних завдань; стандартизація та уніфікація всіх використовуваних елементів та процесів при проектуванні та виробництві мехатронних систем.

Вирішення перерахованих проблем часто вимагає подолання сформованих на підприємстві традицій в управлінні та амбіцій менеджерів середньої ланки, які звикли вирішувати лише свої вузькопрофільні завдання. Саме тому середні та малі підприємства, які можуть легко та гнучко варіювати свою структуру, виявляються більш підготовленими до переходу до виробництва мехатронної продукції.

Розвиток мехатроніки у XXI столітті – один із ключових напрямів сучасної науки та техніки.

Тема 3. Концепція побудови мехатронних систем

План:

- 1. Визначення та термінологія мехатроніки.*
- 2. Структура та принципи інтеграції мехатронних систем.*

Сучасний термін "Мехатроніка", згідно з японськими джерелами, був введений фірмою Yakasawa Electric в 1969 році і зареєстрований як торгова марка в 1972 році. Ця назва отримана комбінацією слів "МЕХАНІКА" та "ЕЛЕКТРОНІКА".

Цікаво зауважити, що у вітчизняній літературі ще на початку 50-х років використовувався подібним чином освічений термін - "механотрони". Так називалися електронні лампи з рухомими електродами, які застосовувалися як датчики малих переміщень, прискорень, вібрацій і т.п. рухом.

Загальне визначення мехатроніки у широкому розумінні - *Мехатроніка* - це нова галузь науки і техніки, присвячена створенню та експлуатації машин та систем з комп'ютерним управлінням рухом, яка базується на знаннях у галузі механіки, електроніки та мікропроцесорної техніки, інформатики та комп'ютерного управління рухом машин та агрегатів.

В даному визначенні особливо підкреслено триєдину сутність мехатронних систем (МС), в основу побудови яких закладено ідею глибокого взаємозв'язку механічних, електронних та комп'ютерних елементів. Напевно тому найпоширенішим графічним символом мехатроніки стали три кола, що перетинаються (рис.3.1), поміщені у зовнішню оболонку "Виробництво" - "Менеджмент" - "Вимоги ринку".



Рис.3.1 - Визначення мехатронних систем

Таким чином, системна інтеграція трьох зазначених видів елементів є необхідною умовою побудови мехатронної системи. Відомо кілька визначень, опублікованих у періодичних виданнях, працях міжнародних конференцій і де поняття про мехатроніку конкретизується та спеціалізується. На основі розглянутих вище визначень пропонуємо наступне спеціальне формулювання предмета мехатроніки: Мехатроніка вивчає синергетичне об'єднання вузлів точної механіки з електронними, електротехнічними та комп'ютерними компонентами з метою проектування та виробництва якісно нових модулів, систем, машин та комплексів машин з інтелектуальним керуванням їх функціональними рухами.

Розглянемо узагальнену структуру машин з комп'ютерним управлінням, орієнтованих завдання автоматизованого машинобудування, що представлена на рис.3.2. В основу побудови цієї схеми покладено структуру автоматичних роботів, введено академіком Є.П.Поповим. Зовнішнім середовищем для машин класу, що розглядається, є технологічне середовище, яке містить різне основне і допоміжне обладнання, технологічне оснащення та об'єкти робіт. При виконанні мехатронної системою заданого функціонального руху об'єкти робіт збурюють вплив на робочий орган. Прикладами таких впливів можуть служити сили різання для операцій механообробці, контактні сили та моменти сил при складанні, сила реакції струменя рідини під час операції гідравлічного різання. Зовнішні середовища укрупнено можна розділити на два основні класи: детерміновані та недетерміновані. До детермінованих відносяться

середовища, для яких параметри впливів, що обурюють, і характеристики об'єктів робіт можуть бути заздалегідь визначені з необхідним для проектування МС ступенем адекватності. Деякі середовища є недетермінованими за своєю природою (наприклад, екстремальні середовища: підводні, підземні тощо). Характеристики технологічних середовищ зазвичай можуть бути визначені за допомогою аналітико-експериментальних досліджень та методів комп'ютерного моделювання. Наприклад, для оцінки сил різання при механообробці проводять серії експериментів на спеціальних дослідницьких установках, параметри вібраційних впливів вимірюють на вібростендах з подальшим формуванням математичних та комп'ютерних моделей впливів, що обурюють, на основі експериментальних даних. Однак для організації та проведення подібних досліджень найчастіше потрібні надто складні та дорога апаратура та вимірювальні технології. Так для попередньої оцінки силових впливів на робочий орган під час операції роботизованого видалення облої з литих виробів необхідно вимірювати фактичну форму та розміри кожної заготівлі. У таких випадках доцільно застосовувати методи адаптивного керування, які дозволяють автоматично коригувати закон руху МС безпосередньо під час виконання операції.

До складу традиційної машини входять такі основні компоненти (рис.3.2):

- механічний пристрій, кінцевою ланкою якого є робочий орган;
- блок приводів, що включає силові перетворювачі та виконавчі двигуни;
- пристрій комп'ютерного управління, верхнім рівнем якого є людина-оператор, чи інша ЕОМ, яка входить у комп'ютерну мережу;
- сенсори, призначені для передачі в пристрій керування інформації про фактичний стан блоків машини та рух МС.

Таким чином, наявність трьох обов'язкових частин - механічної (точніше електромеханічної), електронної та комп'ютерної, пов'язаних енергетичними та інформаційними потоками, є первинною ознакою, що відрізняє мехатронні системи.

Електромеханічна частина включає механічні ланки та передачі, робочий орган, електродвигуни, сенсори та додаткові електротехнічні елементи (наприклад, гальма, муфти).

Механічний пристрій призначений для перетворення рухів ланок у необхідний рух робочого органу.

Електронна частина складається з мікроелектронних пристроїв, силових перетворювачів та електроніки вимірювальних ланцюгів.

Сенсори призначені для збору даних про фактичний стан зовнішнього середовища та об'єктів робіт, механічного пристрою та блоку приводів з подальшою первинною обробкою та передачею цієї інформації у пристрій комп'ютерного керування (ПКК). До складу ПКК мехатронної системи зазвичай входять комп'ютер верхнього рівня та контролери управління рухом.

Пристрій комп'ютерного керування (ПКК) виконує такі основні функції:

I. Управління процесом механічного руху мехатронного модуля чи багатовимірної системи у час з обробкою сенсорної інформації.

II. Організація управління функціональними рухами МС, що передбачає координацію управління механічним рухом МС та супутніми зовнішніми процесами. Як правило, для реалізації функції управління зовнішніми процесами використовуються дискретні входи/виходи пристрою (на схемах зазвичай позначаються 1/0).

III. Взаємодія з людиною-оператором через людино-машинний інтерфейс у режимах програмування і у процесі руху МС.

IV. Організація обміну даними з периферійними пристроями, детекторами та іншими пристроями системи. Завданням мехатронної системи є перетворення інформації про мету управління, що надходить з верхнього рівня, на цілеспрямований функціональний рух системи з управлінням на основі принципу зворотного зв'язку.

Блок-схема, що ілюструє хід енергетичних та інформаційних потоків у МС, наведена на рис.3.2. Характерно, що електрична енергія використовується у сучасних системах як проміжна енергетична форма. Таким чином, для фізичної реалізації мехатронної системи теоретично необхідні чотири основні функціональні блоки: послідовно з'єднані інформаційно-електричний та електромеханічний енергетичні перетворювачі в прямому ланцюгу та електроінформаційний та механіко-інформаційний перетворювачі в ланцюгу зворотного зв'язку.

Примітка. Якщо робота силової частини машини з енергетичної точки зору заснована на гідравлічних, пневматичних або комбінованих (наприклад, електрогідравлічних) процесах, очевидно необхідні відповідні перетворювачі і датчики в ланцюгу зворотного зв'язку, які в даному посібнику не розглядаються. Проаналізуємо фізичний характер перетворень і структуру традиційної машини з комп'ютерним керуванням з погляду (рис.3.4). Пристрій комп'ютерного керування на підставі вхідної інформації, що надходить з верхнього рівня управління та по ланцюгах зворотного зв'язку від сенсорів, видає у часі на виконавчі приводи управляючі електричні сигнали. У силових перетворювачах відбувається посилення за потужністю даних сигналів, їх модуляція (найширше застосовуються широтно-імпульсні модулятори). Потім виконавчі приводи прикладають відповідні зусилля (сили та моменти) до ланок механічного пристрою, що в результаті викликає цілеспрямований рух кінцевої ланки машини – її робочого органу. Для сполучення елементів у систему зазвичай вводять особливі інтерфейсні пристрої, які на рис.3.3 позначені И1-И7.

Розглянемо приклади міжблокових інтерфейсів, які найчастіше зустрічаються в машинах з комп'ютерним управлінням (верстатах з ЧПУ, промислових роботах тощо), які широко застосовуються в автоматизованому машинобудуванні.

Інтерфейс И1 є комплексом мережевих апаратно-програмних засобів для сполучення пристрою комп'ютерного управління з комп'ютерною

мережею, або це інтерфейс людина - машина, якщо ланцюг управління мехатронної системи задається безпосередньо людиною-оператором. Сучасні людино-машинні інтерфейси виконуються у вигляді пультів і рукояток дистанційного керування (наприклад, для програмування промислових роботів методом навчання), периферійних пристроїв комп'ютерів (клавіатура, монітор, джойстик), сенсорних дисплеїв пристроїв відображення інформації в системах віртуальної реальності (рукавички, окулярами та ін.).

Інтерфейс ІІ2 зазвичай складається з цифро-аналогового перетворювача і підсилювально-перетворюючого пристрою і служить для формування керуючих електричних напруг для виконавчих приводів.

Інтерфейс ІІ4 на вході пристрою комп'ютерного управління у разі застосування МС сенсорів з аналоговим вихідним сигналом будується на основі аналого-цифрових перетворювачів.

Інтерфейс ІІ3 - являє собою, як правило, механічні передачі, що зв'язують виконавчі двигуни зі ланками механічного пристрою. Конструктивно такі трансмісії зазвичай включають редуктори, муфти, гнучкі зв'язки, гальма тощо.

Інтерфейси сенсорів ІІ5, ІІ6 та ІІ7 залежно від фізичного характеру вхідних змінних стану системи можна розділити на електричні та механічні. До механічних відносяться приєднувальні пристрої для датчиків зворотного зв'язку приводів (фотоімпульсних, кодових, тахогенераторів, потенціометрів, резольверів), силомоментних та тактильних датчиків, а також інших засобів відчуття та інформації про рух двигунів, ланок механічного пристрою та зовнішніх об'єктів. Перетворення та передача сигналів про змінні стани системи, які мають електричну природу (наприклад, напруги та струми у силових перетворювачах) здійснюється електричними інтерфейсами. До їх складу, крім підсилювально-перетворювальних плат, входять також сполучні кабелі та комутаційна апаратура. Важливо, що зв'язок всіх елементів з пристроєм комп'ютерного управління передбачає як апаратне сполучення, а й відповідне програмне забезпечення (операційну систему і драйвери) в організацію обміну даними як реального часу.

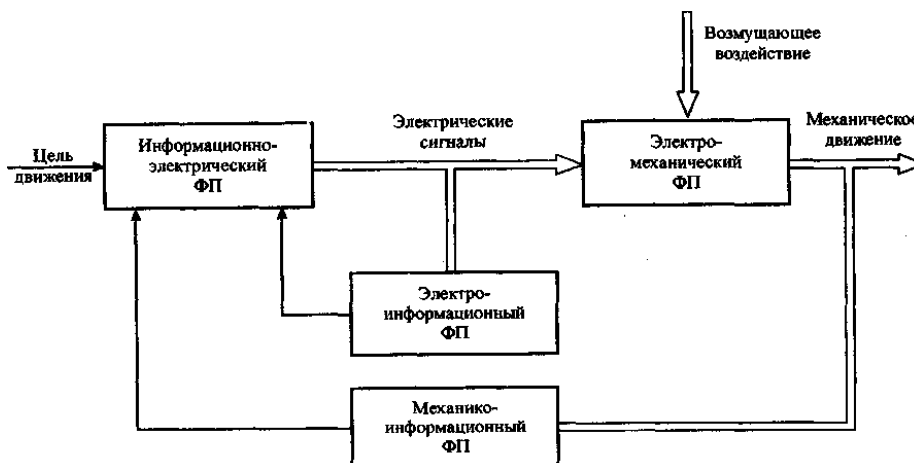


Рис.3.2 – Інформаційні та енергетичні потоки у мехатронній системі

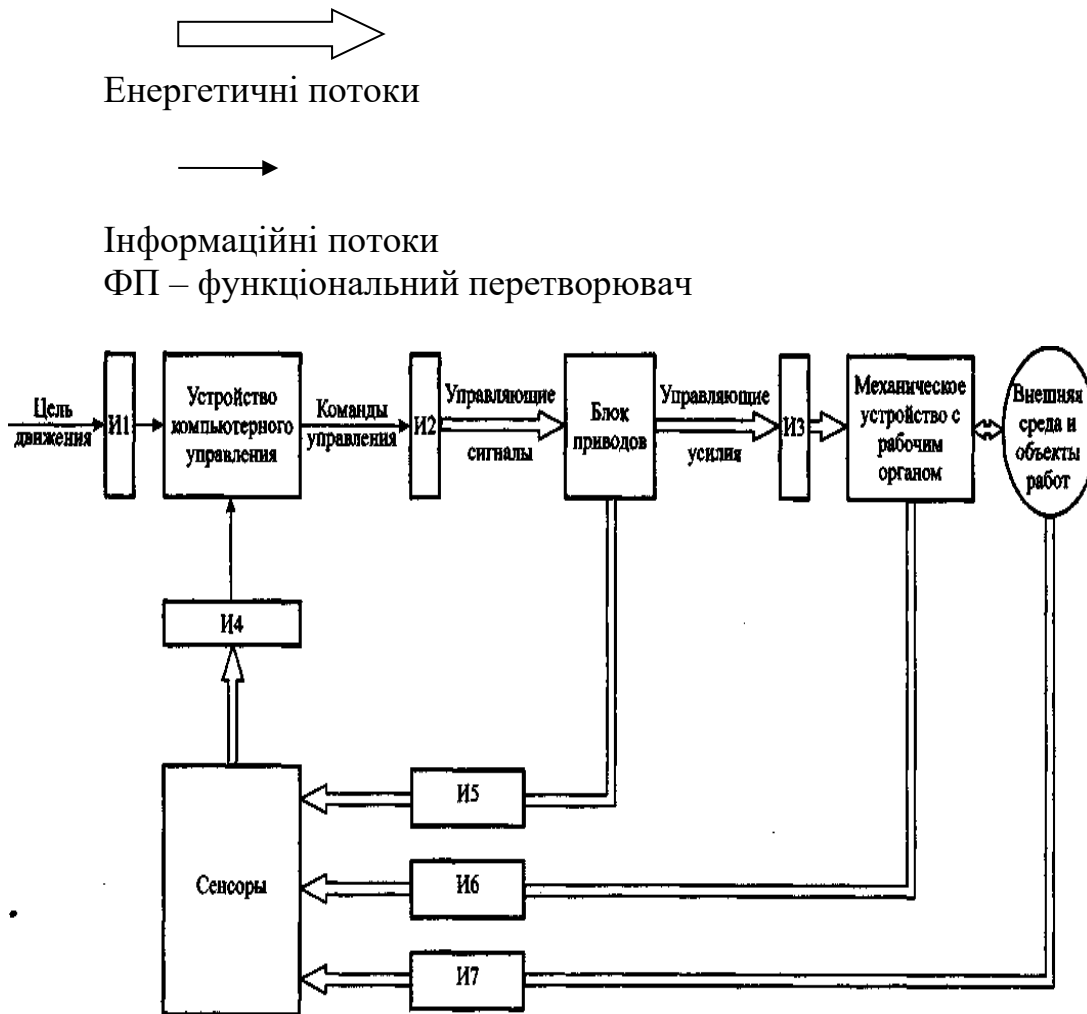


Рис.3.3 - Блок-схема комп'ютерної машини з традиційним керуванням
 И1-И7 – інтерфейсні блоки

Принципова відмінність мехатронного та традиційного підходів до проектування та виготовлення модулів та машин з комп'ютерним управлінням полягає у концепції технічної реалізації функціональних перетворювачів.

При традиційному проектуванні інтерфейси є окремими самостійними пристроями і вузлами. Зазвичай це сепаратні блоки, які випускаються спеціалізованими фірмами, але часто окремі елементи доводиться виготовляти самим користувачам, особливо при поєднанні спеціалізованих та нестандартних блоків МС. Виробнича практика показала, що для монтажу та запуску складних комплексів (наприклад, гнучких виробничих систем) підприємства, які, як правило, не мають своїх висококваліфікованих фахівців із системної інтеграції, змушені звертатися до інжинірингових фірм, тим самим збільшуючи свої витрати.

Наявність надлишкових блоків призводить до зниження надійності та точності мехатронної системи, погіршення її масогабаритних та вартісних показників. Ідея мінімізації проміжних перетворень широко використовується

в інженерній практиці при проектуванні пристроїв та систем різного призначення.

Суть мехатронного підходу до проектування полягає в інтеграції в єдиний функціональний модуль двох або більше елементів різної фізичної природи. Іншими словами, на стадії проектування з традиційної структури машини виключається як сепаратний пристрій, принаймні, один інтерфейс при збереженні фізичної сутності виконуваного даним модулем. В ідеальному для користувача варіанті мехатронний модуль, отримавши на вхід інформацію про мету управління, повинен виконати із заданими показниками якості програмний функціональний рух.

Сутність мехатронного підходу полягає в тому, що він спрямований на інтеграцію конкретного класу елементів (механічних, електронних, комп'ютерних, електротехнічних, інтерфейсних та ін), які мають різну фізичну природу і призначені для реалізації складного функціонального руху. Апаратне об'єднання елементів у єдині конструктивні модулі має обов'язково супроводжуватись розробкою інтегрованого програмного забезпечення. Програмні засоби МС повинні забезпечувати безпосередній перехід від задуму системи через математичне моделювання до управління функціональним рухом в реальному часі. Таким чином, проектування МС передбачає розробку комплексу апаратно-програмних засобів, орієнтованих на конкретні прикладні завдання.

Для реалізації сформульованого мехатронного підходу слід визначити локальні точки інтеграції елементів у єдиний функціональний модуль. І тому повернемося до розгляду блок-схеми на рис.3.4. Потенційно можливі точки апаратної інтеграції та структури відповідних мехатронних модулів представлені у табл. 1.

Таблиця 3.1

Вихідні елементи			
Мехатронний модуль	Базовий елемент	Додатковий елемент	Виключений інтерфейс
Інтелектуальний силовий перетворювач	Силовий перетворювач	Мікропроцесор	И2
Привідний модуль	Виконавчий двигун	Механічне обладнання	И3
Інтелектуальний сенсор	Сенсор	Мікропроцесор	И4
Мехатронний модуль руху	Привідний модуль	Сенсор	И3,И5
Чутливий робочий орган	Робочий орган	Сенсор	И6

У табл.3.1 мехатронні модулі класифіковані за набором базового і доповнюючих елементів, що увійшли до їх складу (стовпці 1 і 2). У третьому стовпці вказані інтерфейси, які при проектуванні виключаються як сепаратні блоки традиційної структури (рис.3.3). У таблиці не розглядаються інтерфейси

И1 та И7, які є по суті вхідними для мехатронного модуля, оскільки пов'язують його з джерелами зовнішніх сигналів та впливів.

Важливо підкреслити, що на практиці доцільно будувати мехатронний модуль, спираючись відразу на кілька точок інтеграції, і створення саме таких модулів представляє найбільший інтерес з теоретичної та прикладної точок зору для мехатроніки як нової галузі науки та техніки. Безумовно, ця таблиця не вичерпує всіх можливих способів об'єднання елементів у МС та залишає велике поле для наукового пошуку та інженерної творчості.

Тема 4. Мехатронні модулі руху

План:

- 1. Мотори – редуктори.*
- 2. Мехатронні модулі обертального руху на базі високомоментних двигунів.*
- 3. Мехатронні модулі лінійного руху.*

4. Мехатронні модулі типу "двигун - робочий орган"

Розглянемо основні види однокоординатних модулів руху, розроблених на вирішення завдань автоматизованого машинобудування.

Мехатронні модулі руху (ММР) є функціональними "кубиками", з яких можна компонувати складні мехатронні системи. Мотори – редуктори є, мабуть, історично першими за принципом своєї побудови мехатронними модулями, які стали серійно випускатися та знайшли дуже широке застосування у приводах різних машин та механізмів. Мотор-редуктор є компактним конструктивним модулем, що об'єднує електродвигун і редуктор.

У порівнянні з традиційним з'єднанням двигуна і редуктора через муфту мотори-редуктори мають цілу низку істотних переваг:

- скорочення габаритних розмірів;
- зниження вартості за рахунок скорочення кількості приєднувальних деталей,
- зменшення витрат на встановлення, налагодження та запуск виробу;
- поліпшені експлуатаційні властивості (пило-і вологозахищеність, мінімальний рівень вібрацій, безпека та надійність роботи в несприятливих виробничих умовах).

Конструктивне виконання модуля визначається типами використовуваних редуктора та електродвигуна. Залежно від технічних вимог завдання застосовуються циліндричні, насадні, конічні, черв'ячні та інші види редукторів. Як електродвигуни найчастіше використовуються асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором і регульованими перетворювачами частоти обертання, однофазні двигуни та двигуни постійного струму.

Загальний вигляд одноступінчастого черв'ячного мотора показаний на рис.4.1,а. Редуктор випускається для загальномашинобудівного застосування.

Особливість конструкції полягає в тому, що в маточині черв'ячного колеса вбудована запобіжна муфта, що дозволяє обмежувати крутний момент, що розвивається.

Основні технічні характеристики даного мотора-редуктора (тирозмір МРЧс-82):

потужність електродвигуна – 0.27 кВт,
 номінальна швидкість обертання вихідного валу - 0.28 с⁻¹,
 максимальний момент на вихідному валу – 50 Нм,
 передатне число редуктора - 86,
 габаритні розміри модуля - 500 x 255 x 245 мм,
 маса модуля – 35 кг.

На рис.4.2б. показаний насадний мотор-редуктор фірми "Бауер", який насаджується безпосередньо на вал веденого механічного пристрою і тому є швидкознімним модулем. Блоково-модульний принцип конструювання дозволяє комбінувати в модулі двигуни та редуктори різних типів та потужностей, забезпечуючи таким чином широкий спектр механічних характеристик модуля: частотою обертання від 0.2 до 160 об/хв, потужністю від 0.015 до 75 кВт.

Вартісний аналіз, проведений фірмою "Бауер", показав, що застосування моторів-редукторів рентабельно в машинах з низькою швидкістю переміщення робочого органу (особливо при частотах обертання нижче 500 1/хв).

Таким чином, споживач набуває та експлуатує мотор-редуктор як єдиний модуль, здогадуючись про наявність у його складі зубчастих передач тільки з назви та при зміні олії.

Наступним кроком у розвитку приводної техніки стала поява високомоментних двигунів обертального руху, застосування яких дозволило взагалі виключити механічний редуктор із складу електроприводів постійного струму, що працюють на низьких швидкостях.

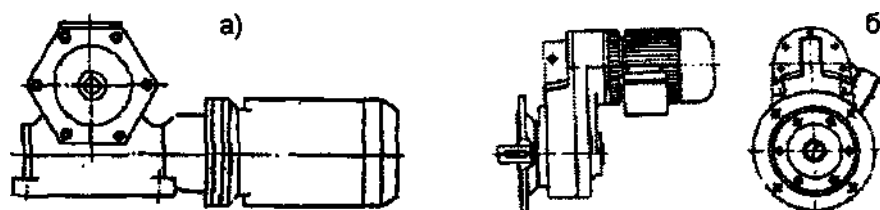


Рис. 4.1 – а) загальний вигляд черв'ячного мотора-редуктора;
 б) загальний вигляд насадного двигуна-редуктора

Високомоментними називаються двигуни постійного струму з збудженням від постійних магнітів та електронною комутацією обмоток, які

допускають багаторазове навантаження по моменту. Для визначення положення полюсів на роторі вентильного ВМД встановлюють додаткові технічні засоби (наприклад, датчики Холла, індуктивні та фотоелектричні датчики). Зазвичай високомоментні двигуни (ВМД) стійко працюють на частотах обертання 0.1-1 1/хв, які типові для металорізальних станів та промислових роботів.

Основні переваги ВМД визначаються відсутністю у приводі редуктора: зниження матеріаломісткості, компактність та модульність конструкції; підвищені точнісні характеристики приводу завдяки відсутності проміжків; виключення тертя в механічній трансмісії дозволяє суттєво зменшити похибки позиціонування та нелінійні динамічні ефекти на повзучих швидкостях; підвищення резонансної частоти.

ВМД випускаються в даний час колекторного та вентильного (іноді використовується термін "безщіткового", або "безконтактного") типів.

Основні переваги вентильних двигунів у порівнянні з колекторними:

- висока надійність, великий термін служби,
- мінімальні витрати на обслуговування (внаслідок виключення іскріння та зношування щіток);
- покращені теплові характеристики (оскільки тепло розсіюється на обмотках статора, а на роторі тепловиділяючі елементи відсутні), звідси можливість використання проводів малого перерізу;
- висока швидкодія за рахунок високого співвідношення момент, що розвивається / момент інерції ротора;
- велика перевантажувальна здатність у широкому діапазоні регулювання швидкості; близькі до лінійних механічні та регульовальні характеристики.

Порівняно із синхронними двигунами вентильні ВМД дозволяють регулювати швидкість обертання за допомогою зворотного зв'язку, частота обертання не залежить від напруги живлення, немає проблеми випадання із синхронізму.

Основний недолік вентильних двигунів - наявність дорогих магнітів та блоку управління комутацією обмоток, звідси знижений показник потужність/ціна та підвищені габарити. У сучасних модифікаціях цю проблему вирішується шляхом побудови цих блоків з урахуванням дешевих інтегральних мікросхем.

До складу сучасних мехатронних модулів руху на основі ВМД обов'язково входять також датчики зворотного зв'язку та іноді керовані гальма, що дозволяє віднести такі ММД до другого покоління (див. рис.3.1). Як датчики найчастіше застосовуються фотоімпульсні датчики (інкодери), тахогенератори, резольвери та кодові датчики положення. Принципово важливо, що модуль "двигун-датчик" має єдиний вал, що дозволяє поєднувати високі технічні параметри та низьку вартість. Конструктивну схему модуля "двигун постійного струму - вбудований тахогенератор" наведено на рис.4.2.

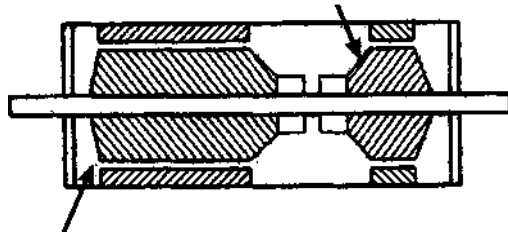


Рис. 4.2 – Мехатронний модуль «двигун – тахогенератор»

До складу модуля входять: ротор двигуна, статор двигуна, підшипник, фотоімпульсний датчик. Обертається зовнішня частина модуля, яка базується на опорних підшипниках. Модулі також комплектуються електричним кабелем.

У 2000-х роках створюються низькооборотні модулі обертального руху з моментом до 2500 Нм, максимальною швидкістю до 800 об/хв для поворотних столів верстатів, вимірювальних машин, роботів та багатоцільових інструментальних головок. Також модулі даного типу можуть застосовуватись у нетрадиційних транспортних засобах: електромобілях, електровелосипедах, інвалідних візках тощо.

Мехатронний підхід до побудови модулів обертального руху на базі високомоментних двигунів одержав останніми роками свій розвиток та у модулях лінійного переміщення.

Мета проектування аналогічна – виключити механічну передачу зі складу ММД. Мехатронні модулі руху на основі лінійних високомоментних двигунів (ЛВМД) знаходять все більше застосування у високошвидкісних верстатах (багатоцільових, фрезерних, шліфувальних), комплексах для лазерного та водоструминного різання, допоміжному обладнанні (хрестових столах, транспортерах).

Традиційні електроприводи лінійних переміщень включають двигун обертального руху і механічну передачу для перетворення обертання в поступальний рух (кульково-гвинтову передачу (ГТТВП), зубчасту рейку, стрічкову передачу і т.п.). З початку 80-х років відомі розробки власне лінійних двигунів, проте через низькі питомі силові показники вони мали обмежену сферу застосування (графобудівники, координатно-вимірювальні машини) і в автоматизованому устаткуванні не могли бути використані.

Основні переваги модулів на базі ЛВМД у порівнянні з традиційними лінійними приводами:

- підвищення у кілька разів максимальної швидкості руху (до 150-210 м/хв) та прискорення (у перспективі до 5g);
- висока точність реалізації руху.

Важливим етапом розвитку мехатронних модулів руху стали розробки модулів типу "двигун-робочий орган". Такі конструктивні модулі мають особливе значення для технологічних мехатронних систем, метою руху яких є реалізація цілеспрямованого впливу робочого органу на об'єкт робіт. У

верстатах з відносно невеликим моментом, що крутить (токарних малих розмірів, консольно-фрезерних, високошвидкісних фрезерних верстатах) застосовуються так звані "мотори-шпинделі".

Відмінною конструктивною особливістю цих електромеханічних вузлів приводів головного руху є монтаж шпинделя безпосередньо на роторі двигуна.

На рис.4.3 наведено конструкцію модуля "мотор-шпиндель" фірми "Rapic" (одна з перших промислових розробок даного класу), що має такі основні технічні характеристики:

габарити - 784x338x430 мм, потужність - 5.5 кВт,

номінальна швидкість - 750 об/хв, максимальна швидкість - 4500 об / хв,

номінальний момент - 70 Нм.

Використання в шпиндельних вузлах механічних підшипників визначило їх обмежені функціональні можливості, насамперед при високих швидкостях обертання: недостатній ресурс роботи, необхідність змащення пар тертя, проблему герметизації.

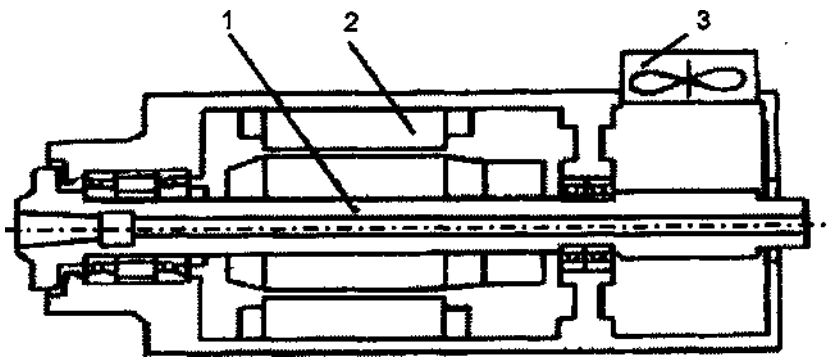


Рис. 4.3 - Мехатронний модуль мотор-шпиндель:
1 – шпиндель, 2 – статор, 3 – вентилятор

Для реалізації на верстатах високопродуктивних режимів різання розроблено шпиндельні вузли на електромагнітних опорах, які забезпечують швидкість обертання до 200 000 об/хв.

Схема шпиндельного вузла на електромагнітних опорах (ЕМО) показано на рис.4.4. Частота обертання ротора асинхронного двигуна регулюється зміною частоти напруги живлення на статорі. Модуль має чотири опори, дві радіальні та дві осьові. Додатковим електронним елементом даного мехатронного модуля система стабілізації положення осі ротора. Під дією зусиль, що обурюють, виникають відхилення в положенні ротора, які вимірюються відповідними осьовими і радіальними датчиками інформації.

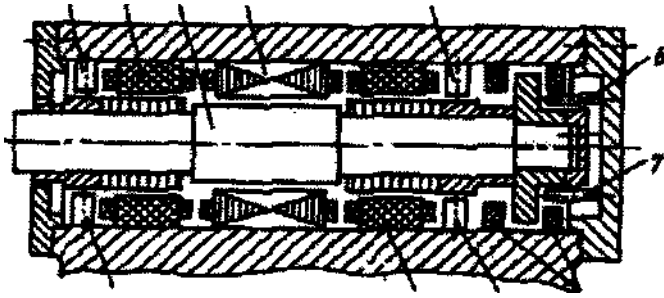


Рис.4.4 - Шпиндельний вузол на електромагнітних опорах:
 1,5,9,11 – радіальні датчики інформації; 6,7 – осьові датчики інформації; 4 – статор асинхронного двигуна; 2, 10 – радіальні електромагнітні опори; 8 – осьові електромагнітні опори.

Пристрій комп'ютерного керування, автоматично регулюючи силу струму в обмотках збудження електромагнітів, підтримує задане положення осі ротора або змінює його за бажаним законом (у межах зазору в опорах) для отримання деталей складного профілю. Слід, однак, враховувати, що мотори-шпинделі на ЕМО вимагають інтенсивного охолодження при тривалій роботі високошвидкісних режимах.

Модулі типу "двигун - робочий орган" знайшли широке поширення також у електроприводах різних самохідних засобів (електровелосипедів та електромобілів, робокарів та мобільних роботів тощо). Так, при розробці тягового приводу крісла-коляски використано безколекторний високомоментний двигун із збудженням від постійних магнітів, вбудований у провідне колесо без проміжного механічного редуктора. Такі модулі отримали назву "мотор-колесо". Вибране рішення дозволило знизити матеріаломісткість та трудомісткість виготовлення приводу, забезпечити безшумність пересування, зменшити габарити та вивільнити таким чином простір для розміщення джерела живлення. Привід забезпечує рух крісла-коляски зі швидкістю 6 км/годину при загальній масі 150 кг.

Головною особливістю сучасного етапу розвитку мехатронних модулів є інтелектуалізація процесів керування їх функціональними рухами. По суті йдеться про розробку принципово нового покоління модулів, в яких здійснено інтеграцію всіх трьох компонентів – електромеханічної, електронної та комп'ютерної.

Тема 5. Інтелектуальні мехатронні модулі руху

План:

1. Контролери руху.
2. Інтелектуальні силові модулі.
3. Інтелектуальні сенсори мехатронних модулів та систем.

Технічна реалізація інтелектуальних мехатронних модулів руху (ІММР) стала можливою завдяки бурхливому розвитку останніми роками мікропроцесорних систем, орієнтованих на завдання управління рухом. Постійне вдосконалення виробничих технологій веде до стабільного зниження вартості апаратних засобів, що зробило їх на сьогодні рентабельними для практичного впровадження. Розглянемо загальну структуру однокоординатного мехатронного модуля, подану на рис.3.3.

Пристрій комп'ютерного управління (ПКУ) має два вхідні інформаційні канали: інтерфейс І1 пов'язує його з верхнім рівнем управління та інтерфейс І4 - з сенсорами і один вихідний канал (інтерфейс І2), через яку надходять управляючі команди на виконавчий привід.

Відповідно можна виділити три напрями інтелектуалізації мехатронних модулів руху, які класифікуються залежно від інтерфейсних точок інтеграції:

I. Розвиток інтегрованих інтерфейсів, які пов'язують керуючий контролер з комп'ютером верхнього рівня єдиний апаратно-програмний управляючий комплекс (інтерфейс І1).

II. Створення інтелектуальних силових модулів управління шляхом інтеграції контролерів, що управляють, і силових перетворювачів (інтерфейс І2).

III. Розробка інтелектуальних сенсорів мехатронних модулів, які додатково до звичайних вимірювальних функцій здійснюють комп'ютерну обробку та перетворення сигналів за гнучкими програмами (інтерфейс І3). Розглянемо тенденції та способи технічної реалізації ПКУ у сучасних мехатронних модулях.

1. Контролери руху

Перший із зазначених напрямів полягає у створенні нового покоління комп'ютерних пристроїв, що дозволяють користувачеві гнучко та швидко вирішувати весь комплекс завдань управління рухом модуля. Укрупнено можна розділити завдання управління рухами мехатронних систем на дві основні частини: планування руху та його виконання у часі. Завдання планування руху та автоматизованого формування програми управління вирішує комп'ютер верхнього рівня, який отримує цілевказівку від людини-оператора. Функцію розрахунку та видачі керуючих сигналів безпосередньо на виконавчі приводи виконує контролер руху.

Таким чином, поєднання комп'ютера та контролера в архітектурі ПКУ є обґрунтованим з погляду поділу вирішуваних підзавдач управління. Кожному з перерахованих етапів відповідають певні рівні в ієрархічній структурі

системи управління. У цьому розділі розглянемо варіанти архітектури ПКУ, які застосовуються в мехатроніці. Лише у найпростіших модулях іноді використовуються сепаратні контролери, які є привабливими для користувачів своєю відносною дешевизною.

Функції такого контролера обмежені завданням управління механічним рухом по одній координаті (рідко по двох), деякі модифікації мають стандартний інтерфейс для включення до складніших керуючих структур. Однак необхідність програмування безпосередньо оператором мовою досить низького рівня, мала кількість каналів зв'язку та обмежений обсяг пам'яті роблять цей тип контролерів неперспективним для багатокоординатних мехатронних систем з інтелектуальними методами керування.

Сучасні контролери зазвичай реалізують управління зі зворотним зв'язком за становищем та/або швидкості керованого механічного об'єкта, тобто. Мехатронна система управління є замкнутою на виконавчому рівні. Принцип розімкнутого управління нині використовується лише у системах управління кроковими двигунами. Такі двигуни застосовуються, наприклад, у графопобудівниках, плоттерах, поворотних столах та інших пристроях, які не відчувають суттєвих збурювальних впливів. В обладнанні автоматизованого машинобудування (металорізальних верстатах, технологічних роботах) забезпечити прийнятну точність руху можна лише використовуючи замкнуті системи управління.

Для реалізації функціональних рухів контролери мають додаткові входи/виходи для зв'язку із зовнішнім обладнанням (рис.5.1). Зазвичай, це сигнали, дискретні формою (1/0). Тут доречно звернути увагу до дуже широкого поширення у промислових системах автоматики програмованих логічних контролерів (ПЛК). Головне завдання ПЛК – це ефективні операції виключно з дискретною інформацією. Тому побудова з урахуванням ПЛК систем управління рухом мехатронними модулями, і більше мехатронними системами, логічно недоцільно. Але при цьому можливий обмін інформацією між контролерами управління рухом та ПЛК через блок дискретних входів/виходів.

Найбільш поширені нині два методи формування контролером керуючих сигналів для силового перетворювача:

- аналогові командні сигнали;
- модульовані керуючі сигнали.

Для формування аналогових сигналів, що управляють, необхідний цифро-аналоговий перетворювач, який видає електричні напруги (зазвичай від -10В до +10В постійного струму). З енергетичної погляду вигідним вважається метод широтно-імпульсного управління силовими ключами перетворювача.



Рис. 5.1 - Структура системы управления функциональными движениями

При створенні інтелектуального мехатронного модуля можливі два базові варіанти апаратної архітектури ПКУ:

- використання комп'ютера верхнього рівня та контролера руху як окремих пристроїв, з'єднаних стандартним інтерфейсом (у цьому випадку контролер є зовнішнім блоком по відношенню до комп'ютера);
- моноблочна структура, коли контролер апаратно встановлюється всередину комп'ютера ("контролер, що вбудовується").

Дані апаратні схеми мають різні області кращого застосування. Архітектуру типу "зовнішній контролер" доцільно використовувати у великих мехатронних системах, які з кількох багатокоординатних керованих машин (верстатів, роботів, допоміжного устаткування). У таких системах комп'ютер виконує функції сервера, вирішуючи завдання планування рухів, диспетчування та управління роботою всіх контролерів комплексу. Архітектура з урахуванням вбудованих контролерів спрямовано завдання координованого управління рухом кількох мехатронних модулів, що входять до складу зазвичай однієї мехатронної системи.

Гнучкість управління забезпечується застосуванням мікропроцесора, виконувана програма управління зберігається в оперативному пристрої (ОЗУ). планування функціональних рухів здійснюється оператором на комп'ютері верхнього рівня з використанням пакетів прикладних програм. Комп'ютер виконує автоматичну генерацію команд для контролера, які надходять на виконання через стандартний інтерфейс (наприклад, K5-232C). Ці команди задають бажані закони зміни у часі становища, швидкості та прискорення валу виконавчого двигуна.

Типовим є трапецеїдальний закон зміни швидкості руху, що включає ділянки розгону, переміщення з постійною швидкістю та гальмування із заданим прискоренням.

Як приклад розглянемо УКУ із зовнішнім контролером Comrimotor Plus (серія "X"), яке випускає фірма Parker (178A), яке призначене для управління однокоординатними мехатронними модулями.

До складу пристрою входять:

- контролер управління рухом, що реалізує алгоритм цифрового ПІД-регулювання (коефіцієнти регулятора можуть програмно змінюватися за командами зовнішнього комп'ютера);

- цифро-аналоговий перетворювач;

- постійний пристрій на 40 програм управління рухом;

- блок дискретних програмованих входів/виходів (3 виходи та 2 входи);

- стандартний інтерфейс RS-232 для зв'язку з комп'ютером верхнього рівня;

- інтерфейс для перетворення на цифрову форму сигналу від резольвера;

- панель оператора (монітор та кнопочний пульт).

Основні технічні характеристики керованого руху:

діапазон швидкості $0.0001 \div 50$ об/с,

діапазон переміщення $0 \div 327679999$ імп,

позиційна помилка трохи більше 0.200 кут. град,

повторюваність 0.0334 кут. град.

Архітектура типу "контролер, що вбудовується" полягає у використанні персонального комп'ютера (PC) як апаратної платформи пристрою управління рухом. Це дозволяє поєднувати функції планування та управління функціональними рухами мехатронними модулями та системами, збору та обробки інформаційно-вимірювальних даних в апаратно та програмно єдиному пристрої. При цьому модульна архітектура на базі PC промислового виконання гарантує ефективний захист апаратної частини від теплових, вібраційних та інших впливів виробничого середовища.

Технічно вбудовувані контролери руху випускаються у вигляді спеціальних плат, які встановлюються додатковий слот PC. Обмін даними між контролером та PC здійснюється через стандартну шину (зазвичай 32-бітна) адреси та даних. Прикладами типових шин можуть бути стандарти ISA, STD, IBM-PC Bus. На платі контролера також є необхідні роз'єм для підключення силового перетворювача приводу, датчиків зворотного зв'язку (аналогових і цифрових), зовнішніх пристроїв з дискретним входом/виходом.

Прикладом вбудованого контролера руху, що серійно випускається в даний час, є модель PC1-FlexMotion -6C фірми National Instruments (USA). Пристрій дозволяє одночасно керувати рухом мехатронної системи по шести координатах із зворотним зв'язком і додатково по двох осях у кроковому режимі. До складу контролера входять потужний багатозадачний процесор Motorola real-time 32-bit, цифровий сигнальний процесор (DSP-processor) фірми Analog Device, багатоканальні аналого-цифровий і цифро-аналоговий перетворювачі, інтерфейси для внутрішніх та зовнішніх комунікацій.

Контролер дозволяє реалізовувати такі види керованих рухів:

- позиційне управління;

- переміщення просторовими (ЗР) траєкторіями з лінійною інтерполяцією;
- контурні рухи з круговою та сплайновою інтерполяцією;
- копіювальні рухи.

2. Інтелектуальні силові модулі (ІСМ)

Повернемося до аналізу можливих способів інтелектуалізації мехатронних модулів та розглянемо підхід, спрямований на інтеграцію контролерів руху та силових перетворювачів приводу (інтерфейс І2 на рис.3.3). Таке рішення доцільно для багатовимірних мехатронних систем, компоненти яких розташовані на значній відстані один від одного. У цих випадках комплексувати систему управління на базі одного персонального комп'ютера дуже складно, а іноді й технічно неможливо через проблеми передачі сигналів та даних на великі відстані.

Так, стандартний протокол К.8-232 дозволяє передавати дані на відстані не більше ніж 9.15 м. Блок управління кожним модулем у таких системах вбудовується в корпус перетворювача або навіть у клемну коробку електродвигуна. Такі модулі отримали назву інтелектуальних силових модулів. Прикладом такого рішення є нова система управління промисловими роботами ПР 125/150. Силова та слабочна електронні частини системи встановлені в загальній шафі керування. Система управління має два керуючі модулі - модуль приводу РМ6-600 і пристрій комп'ютерного управління на базі процесора Pentium. Даний варіант зручний для обслуговування та експлуатації, економічний по займаній площі, забезпечує вільний доступ до всіх комунікацій системи.

Інтелектуальні силові модулі будуються на основі напівпровідникових приладів нового покоління. Типовими представниками цих приладів є силові польові транзистори (MOSFET), біполярні транзистори з ізольованим затвором (IGBT), тиристоры з польовим управлінням (MCT), що замикаються. Нове покоління приладів відрізняється високою швидкістю (для транзисторів IGBT частота комутації становить до 50 000 Гц, для транзисторів MOSFET - 100 000 Гц), високими значеннями комутованих струмів напруг (для IGBT: гранична сила комутованого струму - до 1 3500), мала потужність управління.

До складу ІСМ входять, окрім традиційних приладів силової електроніки (ключів на базі силових транзисторів або тиристорів, діодів та ін.), елементи мікроелектроніки, призначені для виконання інтелектуальних функцій – управління рухом, захист в аварійних режимах та діагностика несправностей. Використання ІСМ у складі приводів мехатронних модулів дозволяє суттєво знизити масогабаритні показники силових перетворювачів, підвищити їхню надійність при експлуатації, покращити техніко-економічні показники. В останні роки ринок інтелектуальних силових модулів швидко розвивається.

3. Інтелектуальні сенсори мехатронних модулів та систем

Метою створення інтелектуальних сенсорів є поєднання функцій вимірювання поточних параметрів механічного руху, їх перетворення та

комп'ютерної обробки за заданими алгоритмами в єдиному інформаційно-вимірювальному модулі.

Зі структурної точки зору йдеться про інтеграцію сенсорного та комп'ютерного блоків мехатронного модуля (інтерфейс ІЗ на рис.3.3). Інтелектуалізація сенсорів дозволяє досягти більш високої точності вимірювання, програмним шляхом забезпечивши в сенсорному модулі фільтрацію шумів, калібрування, лінеаризацію характеристик вхід/вихід, компенсацію перехресних зв'язків, гістерезису і дрейфу нуля. У мехатронних модулях сенсори призначені для збору даних про фактичний стан елементів рухомої системи (виконавчого приводу, механічного пристрою та робочого органу), обробки в реальному часі та передачі сигналів зворотного зв'язку у пристрій комп'ютерного управління.

До типових вимірюваних величин, інформація про які використовується при управлінні мехатронними модулями та системами, відносяться: переміщення (лінійне або кутове), швидкість, прискорення та моменти, що розвиваються виконавчими двигунами; зовнішні зусилля, які діють робочий орган, положення та орієнтація робочого органу у просторі (наприклад, схоплення промислового робота або щупа контрольно-вимірювальної машини).

Для мехатроніки представляють інтерес способи інтеграції ІВ в мехатронні модулі руху та методи мінімізації проміжних перетворень вимірюваної фізичної величини цифровий код, придатний для введення в пристрій комп'ютерного управління. З погляду мінімізації проміжних перетворень одним із найбільш ефективних (і тому дуже широко застосовуваних у мехатроніці) інтелектуальних датчиків зворотного зв'язку є оптичні інкодери із вбудованими мікропроцесорами.

Серед відмінних переваг сучасних інкодерів слід виділити:
 можливість визначення як переміщення, так і швидкості руху;
 високу точність та низькі шуми при вимірі;
 багатооборотність;

конструктивну компактність та можливість вбудовування в мехатронний модуль.

Важливо підкреслити, що інкодери видають вихідний сигнал у кодовій формі, що зручно для комп'ютерної обробки в реальному часі. Розрізняють два основні види інкодерів - *абсолютні та інкрементальні*.

Абсолютні інкодери дають інформацію про величину переміщення (лінійного або кутового) валу, що рухається відносно фіксованого нульового положення.

Перевагами абсолютного інкодера є надійність виміру (навіть при тимчасовому відключенні живлення інформація датчиком не буде втрачена), висока точність при великих швидкостях руху, запам'ятовування нульового положення (це важливо за необхідності керування реверсивними та аварійними рухами машин).

Інкрементальний датчик дає інформацію про напрям і величину переміщення в приростах щодо вихідного положення, що цілком достатньо у багатьох практичних додатках. Інтелектуалізація інкодерів забезпечується вбудованими мікропроцесорами, які виконують такі основні функції: кодування інформації датчика, виявлення помилок вимірювання, масштабування сигналу та передача поточного коду контролер руху за стандартним протоколом.

Сучасна тенденція у створенні інкодерів полягає в поєднанні в єдиному сенсорному модулі конструктивних елементів (валів, підшипників), кодувальних дисків, фотоелементів та мікропроцесора. Прикладом технічного втілення цієї тенденції є обертальний інкодер серії AR (розробка фірми Ракер).

Нижче наведено його деякі технічні характеристики: роздільна здатність 1024 позицій/про або 16384 позицій/про (вибирається і масштабується користувачем за допомогою мікропроцесора); максимальна кількість позицій - 8388608 (досягається застосуванням додаткових дисків і переходом до багатооборотного режиму роботи); похибка трохи більше 5.5 кут. мін; швидкість обертання до 5000 об/хв; габарити: довжина 87 мм; діаметр 60 мм; вага 0.45 кг.

Інтеграційна спрямованість мехатроніки стимулює розвиток про гібридних технологій для особливо компактних і мініатюрних модулів. Гібридні технології передбачають використання єдиних матеріалів (насамперед напівпровідникових – наприклад, кремнію) як для механічних, так і для мікроелектронних компонентів. Це дозволяє радикально зменшувати розміри модуля без збільшення його вартості, що практично неможливо за традиційних виробничих технологій.

Серійно випускає сенсори визначення параметрів механічного руху з урахуванням гібридних технологій фірма Analog Device. Як приклад розглянемо датчик прискорення моделі ADXL05, який може використовуватися як у мехатронних модулях, так і в системах вібродіагностики та захисної сигналізації. Акселерометр є інтегральною мікросхемою (діаметр корпусу 9.4 мм, висота 4.7 мм) у герметичному виконанні, яка має 10 висновків. Вихід акселерометра безпосередньо підключається до АЦП без додаткових активних елементів.

До складу сенсора входять такі основні блоки: датчик прискорення (включає загальну пластину, що вібрує, і 46 додаткових елементів), генератор, демодулятори, джерело живлення, попередній і буферний підсилювачі, а також ряд пасивних елементів (резисторів і конденсаторів) для налаштування.

Дія акселерометра ґрунтується на принципі диференціального ємнісного перетворювача, тобто. блоку конденсаторів, електричні параметри якого змінюються під дією впливу, що вимірюється. Розглянутий датчик моделі ADXL05 може використовуватись в однокоординатних мехатронних модулях, оскільки вимірює лише одну компоненту вектора прискорення.

Іншим прикладом реалізації гібридних технологій, орієнтованим на масового споживача, може бути проект інтелектуальної авторучки, що

дозволяє писати на папері з одночасним введенням тексту в комп'ютер. Для кодування графічної інформації використовуються п'єзоелектричний датчик сили/прискорення та датчик кута нахилу ручки. Розміщення як чутливих елементів п'єзодатчика, так і всіх електронних ланцюгів на одному кремнієвому кристалі дозволить, на думку авторів, досягти бажаних габаритів авторучки (не перевищують розмірів звичайного маркера) за доступною для споживача ціною.

Цікавим напрямком є застосування інтелектуальних мехатронних модулів непрямих методів вимірювання параметрів механічного руху. У цьому випадку можна взагалі відмовитися від установки типових датчиків (навіть вбудованих), домагаючись мінімальних габаритів та матеріаломісткості модуля. Величини швидкості, положення, моменту, що діє, розраховуються комп'ютерним блоком по математичних моделях протікають електромеханічних процесів (тому іноді застосовується термін "віртуальні датчики").

Добре відомий спосіб непрямого визначення моменту, що розвивається двигуном постійного струму, за пропорційною величиною струму якорного ланцюга, який часто використовується в промислових приводах. Останнім часом розроблено низку методів та пристроїв непрямого вимірювання швидкості електродвигунів. Так, стабілізувати швидкість обертання асинхронного двигуна можна без установки датчика швидкості на його валу, підтримуючи в обмотці статора відношення струму до напруги на заданому рівні за допомогою зворотного зв'язку по статору.

Для трифазних вентильних двигунів малої потужності розроблено метод комутації обмоток по ЕРС обертання, що дозволило усунути традиційні датчики положення ротора з конструкції двигуна. Усі методи непрямого виміру вимагають побудови адекватних математичних моделей та його ефективної комп'ютерної реалізації у час, включаючи алгоритми фільтрації перешкод, статистичної обробки вимірювань і цифрового кодування інформації. Поява на ринку швидкодіючих та недорогих вбудованих мікропроцесорних засобів робить ці методи перспективними для інтелектуальних мехатронних модулів.

ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ:

1. Визначення терміну «Електромехатроніка»
2. Що вивчає дисципліна електромехатроніка?
3. Принципи побудови мехатронної системи
4. Які пристрої відносяться до мехатроніки?
5. Перелічити та коротко описати механічні передачі, що знайшли застосування в мехатронних модулях.
6. Високомоментні двигуни: типи, схеми, принципи дії, переваги, недоліки.
7. Колекторні та вентильні електродвигуни: схеми, принцип роботи, порівняння.
8. Навести приклади модулів типу двигун – робочій орган, їх описання.
9. Охарактеризувати модулі лінійного руху, їх характеристика, сфери застосування.
10. Які переваги та недоліки електричних, пневматичних і гідравлічних виконавчих пристроїв?
11. Як працює хвильовий редуктор?
12. Як працює електропневматичний клапан і електрогіддорозподільувач?
13. Типи, призначення, принципи дії датчиків, що використовуються в мехатронних модулях і системах.
14. Чим відрізняються види вихідного сигналу датчиків?
15. Що таке похибка виміру, роздільна здатність, чутливість, лінійність, гістерезис, повторюваність, час відгуку, полоса перетворення датчику?
16. Чим відносний відлік датчика відрізняється від абсолютного?
17. Чим датчик положення відрізняється від вимірника переміщень?
18. Що таке зона чутливості, диференціал ходу, час спрацьовування й робочий зазор датчика ?
19. Види датчиків положення.
20. Як кодуються переміщення об'єкта у вимірювачах переміщень?
21. Чим відрізняються перетворювачі приростів від перетворювачів зчитування у вимірниках переміщень?
22. Які існують два типи тактильних датчиків?
23. По якому принципу працює тензорезистор?
24. Які фізичні ефекти використані в магнітопромежному і вихротоковому датчиках зусиль?
25. Які локаційні датчики вимірюють відстані?
26. З яких елементів складається система технічного зору?
27. Чим структурний метод розпізнавання об'єктів відрізняється від інтегрального?
28. Чим канал зв'язку відрізняється від лінії зв'язку?
29. Чим взаємні перешкоди відрізняються від випадкових перешкод?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О., Човнюк Ю.В. Мехатроніка. Навчальний посібник. – К., 2012. - 357 с.
2. Заблодський М.М. Електромеханотроніка: навчальний посібник / М.М. Заблодський, Р.М. Чуєнко. – К.: Видавництво «Компрінт», 2021. – 360 с.
3. Ding Huafeng, Yang W., Kecskeméthy A. Automatic Structural Synthesis and Creative Design of Mechanisms Springer, 2022. —466 p.
4. Електромеханічні системи автоматизації та електропривод. Теорія і практика/ За ред. М.Г.Поповича, В.В.Кострицького. – К.: КНУТД. – 2008. – 408 с.
5. Сучасні електромехатронні комплекси і системи : навч. посібник / Т. П. Павленко, В. М. Шавкун, О. С. Козлова, Н. П. Лукашова ; Харків. нац. ун-т міськ. госпва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 116 с.
6. Інжиніринг електротехнічних та мехатронних систем: конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня магістр за освітньою програмою «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / О.В. Чермалих, О.В. Данілін, А.В. Босак. Л.В. Торопова; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 77 с.
7. Шульга О.В. Автоматизоване керування електроприводами: навчальний посібник. – Полтава: ПолНТУ, 2007 – 293 с.
8. Баховець Б. О. Автоматизований електропривод: навч. посіб. / Б. О. Баховець. – Рівне: НУВГП, 2010. 238 с.

Навчальне видання

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
з дисципліни
«ЕЛЕКТРОМЕХАТРОНІКА»
(частина 1)

(для здобувачів вищої освіти спеціальності
G3 – Електрична інженерія
(Електронне видання)

Укладачі:

Морнева Марина Олегівна
Романченко Юлія Андріївна

Оригінал-макет

М.О. Морнева

Підписано до друку _____

Формат 60x84¹/₁₆. Папір типограф. Гарнітура Times
Друк офсетний. Умов.друк.арк. _____. Облік.видавн.арк. _____
Наклад _____ прим. Вид.№ _____ Замовл.№ _____ Безкоштовно

Видавництво: Східноукраїнського національного університету
імені Володимира Даля

Адреса видавництва: вул. Іоанна Павла II., 17
м. Київ, 01042, Україна
e-mail: vidavnictvosnu.ua@gmail.com

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
з дисципліни
«ЕЛЕКТРОМЕХАТРОНІКА»
(частина 1)

(для здобувачів вищої освіти спеціальності
G3 – Електрична інженерія)
(Електронне видання)

Укладачі: М.О. Морнева, к.т.н., доц.
Ю.А. Романченко, к.т.н., доц.

«До друку, у світ дозволяю»:

Перший проректор _____ Д.М. Марченко

Укладач _____ М.О. Морнева

(підпис укладача або керівника колективу укладачів)

*Весь цифровий і фактичний матеріал,
бібліографічні відомості перевірені.
Написання одиниць відповідає стандартам*

(підпис автора чи керівника авторського колективу)