



Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет енергетики, робототехніки та комп'ютерних
технологій
Кафедра електромеханіки, робототехніки, біомедичної
інженерії та електротехніки

М. С. Сорокін

ОСНОВИ РОБОТОТЕХНІКИ

Курс лекцій

**для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та
заочної форми навчання, спеціальностей:
141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка**

**Харків
2024**

Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет енергетики, робототехніки та комп'ютерних технологій
Кафедра електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії та
електротехніки

М.С. Сорокін

ОСНОВИ РОБОТОТЕХНІКИ

Курс лекцій

**для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та
заочної форми навчання, спеціальностей:
141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка**

Затверджено
рішенням Науково-методичної ради
факультету енергетики, робототехніки та
комп'ютерних технологій
Протокол №5
від 29 лютого 2024 року

Харків
2024

УДК 004.896 (042.4)

С69

Схвалено
на засіданні кафедри
електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії та електротехніки
Протокол № 8 від 15.02.2024

Рецензенти:

О.О. Мірошник, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту Державного біотехнологічного університету;

П.В. Леонтьєв, к.т.н., доцент, зав. кафедри комп'ютеризованих систем управління Сумського державного університету.

С69

Основи робототехніки: конспект лекцій для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форми навч., спец.: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, / Державний біотехнологічний університет; упоряд. М.С. Сорокін,– Харків: [б. в.], 2024. –94с.

Конспект лекцій з дисципліни “Основи робототехніки” складені у відповідності до навчально плану. Видання призначене для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форми навчання, спеціальностей: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Під час вивчення цього курсу ви отримаєте можливість ознайомитися з різноманітними типами роботів, вивчити їх апаратні та програмні складові, а також дослідити широкий спектр застосувань робототехніки у різних сферах життя.

Відповідальний за випуск : М.С. Сорокін, канд. техн. наук, доц.

© Сорокін М.С., 2024

© ДБТУ, 2024

ЗМІСТ

ЛЕКЦІЯ 1.	5
ВСТУП.	5
ЛЕКЦІЯ 2.	26
Структура промислових роботів.	26
ЛЕКЦІЯ 3.	43
Системи активації промислових роботів.	43
Гідро- та пневмо- привод.	43
ЛЕКЦІЯ 4.	52
Електричні приводи робототехнічних систем.	52
ЛЕКЦІЯ 5.	64
Системи управління кроковими двигунами.	64
ЛЕКЦІЯ 6.	77
Сенсорні системи робототехніки. Основні типи датчиків.	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.	92

ЛЕКЦІЯ 1.

ВСТУП.

Робот - це особливий вид машини, який призначений для виконання завдань автоматично або з певним рівнем автономності. На відміну від звичайних машин, роботи мають здатність відчувати навколишнє середовище, приймати рішення на основі цієї інформації та виконувати відповідні дії. Вони побудовані з різних деталей і механізмів, які дозволяють їм рухатися, взаємодіяти з об'єктами, виконувати певні функції.

Важливо зазначити, що робот – це не просто будь-яка машина. Хоча такі машини, як тостери, блендери або автомобілі, служать певним цілям, вони зазвичай не мають здатності відчувати навколишнє середовище або приймати рішення. На відміну від роботів, вони працюють під контролем людини і слідуєть заздалегідь визначеним інструкціям, не пристосовуючись до нових ситуацій.

З іншого боку, роботи – це більше, ніж просто машини. У них є датчики, які дозволяють їм збирати інформацію з навколишнього світу, такі як камери, мікрофони або сенсорні датчики. Ці датчики надають роботу дані для розуміння та реагування на навколишнє середовище. Крім того, роботи повинні бути оснащені якимось приводом, таким як двигуни або роботизовані руки, які дозволяють їм фізично взаємодіяти з об'єктами та виконувати завдання. Наприклад, маріонетка, яка може взаємодіяти з людиною, бачачи і чуючи, по суті, є комп'ютером. Додавши міміку, жести або можливість виконувати дії, ви зробите його роботом.

Прийняття рішень також вимагає певної базової складності. Проста реакція на подразник є граничним випадком роботизованої системи і може вважатися необхідною, але не достатньою умовою. Хорошим показником для робота є наявність *пам'яті*, яка дозволить роботу приймати більш складні рішення, виходячи не тільки з поточного стану, але і з попередніх станів світу.

Роботи призначені для допомоги людині в широкому спектрі видів діяльності. Їх можна зустріти на заводах, де збирають продукцію, в лікарнях, де надають допомогу при операціях, і навіть в наших будинках, де вони можуть допомогти з прибиранням або розвагами. Роботи також використовуються в дослідженнях, таких як космічні місії або підводні експедиції, де вони можуть відправитися в місця, які занадто небезпечні або недоступні для людини.

Загалом, роботи — це розумні машини, які можуть відчувати, думати та діяти самостійно. Вони створені, щоб зробити наше життя простішим, безпечнішим та ефективнішим, виконуючи завдання, які люди або не можуть виконати, або вважають за краще не робити. На відміну від звичайних машин, роботи мають здатність адаптуватися, навчатися та взаємодіяти з навколишнім середовищем, що робить їх захоплюючою галуззю технологій та інновацій.

Задачею робототехніки є створення і застосування роботів та інших засобів робототехніки різного призначення. Виникнувши на основі кібернетики і механіки, робототехніка, в свою чергу, породила нові напрямки розвитку самих цих наук. Для кібернетики це пов'язано в першу чергу з інтелектуальним управлінням, яке потрібно і для роботів, і для механіків з багатоланковими механізмами на кшталт маніпуляторів. Робота можна визначити як універсальний автомат для виконання механічних дій, аналогічних тим, які виконує людина, що виконує фізичну роботу. При створенні перших роботів і до наших днів зразком для них служать фізичні можливості людини. Саме прагнення замінити людину на важкій роботі спочатку породило ідею робота, потім перші спроби її реалізації (в середні віки) і, нарешті, призвело до появи і розвитку сучасної робототехніки і робототехніки.

При вирішенні проблеми створення роботів одним з природних способів є копіювання людини і дикої природи в цілому. Однак не менш важливим є пошук принципово нових шляхів, що визначаються можливостями сучасних технологій. Прикладом першого підходу є створення шарнірно-зчленованих механічних рук і захватів зі згинаючими пальцями. Прикладами другого підходу

є використання електромагнітного поля для орієнтації та захоплення об'єктів, і, нарешті, їзда на колесах замість ходьби. Аналогічні приклади можна знайти і по відношенню до сенсорних систем (створення «надчуттєвих» органів поряд з копіюванням органів чуття тварин). Роботи принципово відрізняються від раніше відомих типів машин своєю універсальністю (багатофункціональність) і гнучкістю (швидкий перехід до нових операцій). Під універсальністю мається на увазі універсальність робочих частин робота і їх рухів, хоча сьогодні роботи ще далекі від універсальності людської руки. (Однак це компенсується можливістю швидкої зміни робочих частин робота в процесі виконання операцій).

Розвиваючись на основі кібернетики і механіки, робототехніка сприяла формуванню нових напрямків в цих областях науки. Для кібернетики основним напрямком стало інтелектуальне управління, необхідне для функціонування роботів. У випадку з механікою акцент робився на багатоланкові механізми, такі як маніпулятори.

Якщо робоча машина або технологічний комплекс включає в себе кілька автоматизованих електромеханічних систем і (або) включає в себе електричну систему постачання, розподілу і перетворення електричної енергії, то така сукупність електромеханічних і електричних систем називається ***електромеханічним комплексом***.

Робота можна визначити як універсальний автомат, призначений для виконання механічних дій, аналогічних тим, які виконує людина при фізичній роботі. З самого початку створення роботів і до наших днів за зразком лежать фізичні здібності людини. Ідея створення роботів виникла з прагнення замінити людину на важкій роботі, що призвело до перших спроб її реалізації в середні століття і в кінцевому підсумку дало початок розвитку сучасної робототехніки і робототехніки.

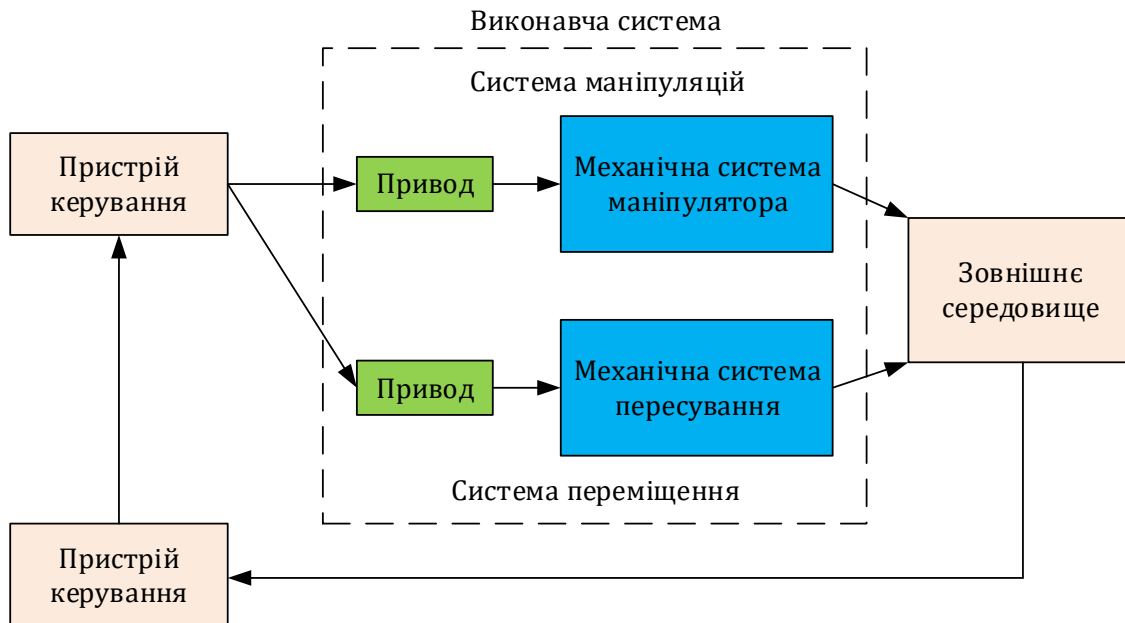


Рисунок 1.1. Функціональна схема робототехнічної системи.

На рисунку 1.1 показана функціональна схема робота. Ця схема включає в себе виконавчі системи: маніпулятивну систему (один або кілька маніпуляторів) і систему пересування, якщо робот має рухливість. Схема також включає в себе систему датчиків, що забезпечує робота інформацією про зовнішнє середовище, і пристрій управління. Виконавчі механізми, в свою чергу, складаються з механічної системи і системи приводу. Механічна система маніпулятора зазвичай являє собою кінематичний ланцюг, що складається з рухомих ланок з кутовим або поступальним переміщенням. Цей контур завершується робочим органом, в якості якої може виступати захват, інструмент або як його ще називають актуатором..

Сьогоднішню робототехніку можна охарактеризувати як науку, що займається інтелектуальним рухом різних механізмів роботів, які можна розділити на наступні чотири групи:

- роботи-маніпулятори;
- роботизовані транспортні засоби;
- системи людина-робот
- біологічно інспіровані роботи.

Найбільш часто зустрічаються роботи-маніпулятори. Робот-маніпулятор представлений послідовним з'єднанням жорстких тіл, так званих сегментів робота, що з'єднані шарнірами.

Коротка історія робототехніки.

Основною причиною, що змушує людину розвивати нові сфери науки та техніки, є властивим їй з давніх-давен прагнення покращити своє життя та можливості у взаємодії із зовнішнім середовищем. Характер такої взаємодії дуже різноманітний і може бути не лише важким, а й фізично непосильним. Тому з давніх-давен люди мріяли винайти різні інструменти, механізми, машини з метою полегшення своєї праці, підвищення якості та продуктивності.

Спочатку це були мрії, що існували у міфах, казках, переказах. Відомий, наприклад, давньогрецький міф про створення богом вогню Гефестом двох рабинь із золота, які прислужують йому, а також золотих триніжків, які виконували найпростіші команди типу: принести, подати, забрати. При розкопках гробниць фараонів археологи виявляли усипальниці дітей, де було знайдено ляльки з рухомими руками та ногами. Це перше свідчення про прагнення людей створити штучну людину.

У міру розвитку цивілізації мрії почали втілюватись у такі технічні рішення, як різні механізми та машини, автомати для відчинення дверей храмів, автомати для продажу «святої» води тощо. У 16 ст. до н.е. римський імператор Вітрувій сформулював таке визначення машини: «машини є взаємопов'язані з'єднання дерев'яних частин, що забезпечує найбільшу вигоду під час підняття ваги. Вона приводиться в дію штучно». Перші автомати, що використовують енергію води та повітря, були описані Героном Олександрійським у роботі «Пневматика» близько 120 років до нашої ери.

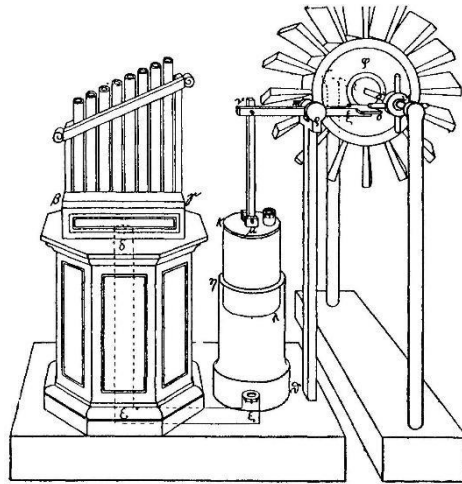


Рисунок 1.1 – Автоматичний повітряний орган Герона Олександрійського.

Він же написав першу книгу «Механічні проблеми». В 1500 Леонардо де Вінчі створив механічного лева, який при в'їзді короля в місто відкривав герб Франції.



Рисунок 1.2. Механічний лев, створений за рисунком Леонардо да Вінчі, відтворений через 500 років.

З часом механізми вдосконалювалися, на основі різних механізмів робляться спроби створення не тільки людиноподібних автоматів, а й моделей тварин та птахів. Відома, наприклад, штучна качка французького механіка Жака Вокансона (1736 р.), яка подібно до живої могла стрибати, плескатися у воді, крякати, клювати і навіть перетравлювати їжу за допомогою прихованих усередині неї хімічних речовин. Відомі автомати швейцарського годинникара

Жак-Дроза «Писець», який вмів писати, і «Флейтист», який вмів грати 11 мелодій.

Створення механічних автоматів зажадало від людини знання законів механіки та дозволило визначити основні функціональні елементи автоматичної техніки: рушій, механізм взаємодії, робочий інструмент, пусковий пристрій. З'явилося обґрунтоване уявлення про систему як сукупність елементів, які перебувають у взаємозв'язку один з одним, впливають один на одного та на систему загалом.

За часів І. Ньютона та Л. Ейлера були відкриті сили взаємодії. Вони є причиною зміни швидкостей руху тіл, їх форми, стану, складу та ін. Зникнення сил рівнозначне зникненню реальних об'єктів. Сили пропорційні прискорення. Робота, здійснена джерелом енергії, передається на провідну ланку, а потім і на ведену, до якої прикладено технологічне навантаження. Крім навантаження є ще сили шкідливого опору, наприклад сили тертя. Кожна ланка та механізм повинні задовольняти умови міцності. Пружність, а також деякі характерні риси кінематичних пар, що з'єднують ланки, вносять у рух ще одну невизначеність, яку не можна недооцінювати. Йдеться про механічні коливання, що виникають у процесі роботи. Коливання можуть знизити точність виконання операцій,

У XVII-XVIII століттях механічні автомати створювалися на основі годинникових механізмів, у XIX столітті на основі парових двигунів, а з першої половини XX століття на базі електромеханічних та електронних пристроїв. Але найдосконаліші знаряддя праці прийшли на допомогу людині з відкриттям явища зворотного зв'язку та пізнанням його основних закономірностей. Перша конструкція автоматичного регулятора з'явилася в 1510 році (регулятор подачі зерна на водяних млинах), в 1784 р. Джеймс Уатт отримав патент на регулятор швидкості обертів. Отже, перші спроби запровадження зворотних зв'язок у механічних системах було зроблено у XVI-XVIII століттях.

Зворотний зв'язок – це вплив результатів функціонування будь-якої системи (об'єкта) характер цього функціонування. Детально властивості

зворотного зв'язку були вивчені Християном Гюйгенсом у 1657 році. Він досліджував звичайний пружинний годинник з маятником, з'ясувавши, як залежить хід годинника від довжини, положення маси маятника.

Зворотний зв'язок дозволив створити сервомеханізм. Основна функція сервомеханізму полягає у створенні змінного вихідного сигналу тієї ж змінної форми, якою має і змінний вхідний сигнал з тими умовами, що енергія, пов'язана з вихідним сигналом, повинна запозичуватися з місцевого джерела, а не поставлятися безпосередньо вхідним сигналом. Таким чином, сервопривід є підсилювачем із зворотним зв'язком, в якому причина, що приводить систему в дію, залежить від різниці вихідного та вхідного сигналу.

Робота машин та механізмів із зворотним зв'язком піддається точному опису та розрахунку. Займається цим особливий напрямок науки – теорія автоматичного регулювання.

IX століття, Багдад. Вчений дослідник Аль-Хорезмі за наказом халіфа пише книгу, в якій вчить як ділити спадщину. Щоб було зрозуміло, він ввів цифрове літочислення, яким ми користуємося досі. Але існують інші системи числення, в яких основою є не 10, а якесь інше число, наприклад, 2 (двійкова система), 8 (вісімкова), 16. Винахід двійкової системи історія приписує китайському імператору Фо Гі, який жив 3400 років до нашої ери.

Поява різних систем числення призвела до необхідності механізації рахунку. З цією метою було створено китайські та вітчизняні рахунки. Близько 1300 р. каталонський філософ Р. Луль запропонував схему логічної машини, приблизно 1660 р. Шиккард (професор Тюбінгенського університету) винайшов першу лічильну машину. Потім Г.Лейбніц (1647-1716), один із основоположників сучасної математики, створив лічильну машину, на якій можна було робити всі чотири арифметичні дії. Г.Лейбніц розробив основи математики не лише безперервних, а й дискретних процесів.

З метою глибшого пізнання властивостей навколишнього світу винаходилися прилади та пристрої, що розширюють не лише фізичні, а й

інформаційні можливості людей. У середині 40-х років ХХ століття з'явилися перші успіхи у створенні та розвитку пристроїв мікроелектроніки. А в середині ХХ століття з'явився новий клас машин – електронні обчислювальні машини, які посилюють інтелектуальні можливості людини.



Рисунок 1.3 - Машина I-го покоління Mark 1, ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer), EDSAC (Electronic Delay Storage Automatic Calculator), – перша машина з збереженою програмою, UNIVAC (Universal Automatic Computer).

Основне правило, яким виробляються обчислення в ЕОМ, - це послідовність виконання елементарних логічних операцій. Складне завдання, яке вирішується на ЕОМ, розчленовується на окремі найпростіші логічні операції, виконання яких відбувається у простих електронних пристроях – осередках. Перші методи перекладу математичних дій мовою командних обчислювальних машин було запропоновано Дж. Фон Нейманом. Це спричинило створення стандартних схем і ланцюгів для побудови машинних входів. Надалі змінювалася лише елементна база.

Бурхливий розвиток мікроелектроніки дозволив різко скоротити вартість і

масово - габаритні характеристики електронних схем, здатних виконувати складні математичні та логічні операції, підвищити їхню швидкість та надійність роботи у важких умовах. На початку 60-х незалежно один від одного були створені дешеві і швидкодіючі міні- і мікро ЕОМ, дуже розвинена телевізійна апаратура і велика кількість датчиків. В результаті цього з'явилася можливість легко вбудовувати обчислювальні пристрої в різні машини і прилади. До пристроїв мікроелектроніки, що працюють спільно з механічними системами машин, найчастіше відносять інтегральні схеми, великі та надвеликі інтегральні схеми, а також інші мікромініатюрні прилади. Головну роль грають програмовані інтегральні схеми.



Рисунок 1.4 - Перші комп'ютери на основі транзисторів. Digital Equipment випустили 1965 року перший міні-комп'ютер PDP-8 розміром з холодильник і вартістю всього 20 тис. доларів.

З давніх-давен людина занурений у світ інформації. Слово "інформація" походить від латинського "informatio", що означає роз'яснення, виклад. Колись це слово означало відомості, передані усно, листом, або якимось іншим способом (дим багать у Стародавній Греції, сигнальні прапори на кораблях

тощо). У 1928 р. Р. Хартлі вперше ввів поняття інформації в науку. Нині інформацію передають телефон, радіо, телебачення, книжки, газети тощо.

Процес передачі інформації майже завжди пов'язаний з проблемою кодування її в місці передачі та декодування у місці прийому. Теоретична гілка розвитку машинної мови виростає з робіт англійського математика Дж. Буля (1815-1864), який створив алгебру висловлювань. За допомогою булевої алгебри можна аналізувати роботу рефлекторних автоматів та здійснювати їх системотехнічне рішення. Із розвитком елементів пов'язаних із застосуванням принципу «так-ні» та розвитком теорії електричних контактних схем з'явилась можливість їх синтезу що надало змогу творчо підійти до створення автоматичних систем. Це було викликано появою так званих тригерів.

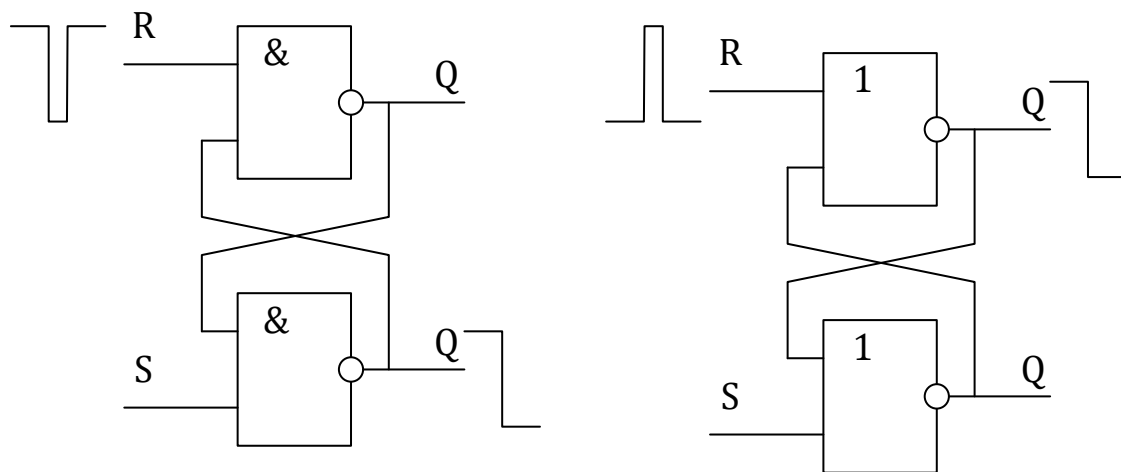


Рисунок 1.5 – Схема роботи простого тригера.

Тригерна система - це категорія електронних пристроїв, які мають здатність тривалий час перебувати в одному з двох стабільних станів, а потім чергувати ці стани під впливом зовнішніх сигналів. Конкретний стан тригера можна легко визначити за значенням вихідної напруги. За своєю дією тригери відносяться до класу імпульсних пристроїв, в яких активні елементи (такі як транзистори або вакуумні лампи) працюють в ключовому режимі, а зміна станів відбувається протягом дуже короткого часу.

Дійсно, характерною особливістю тригера як функціонального пристрою є його здатність запам'ятовувати двійкову інформацію. Тригерна пам'ять означає здатність тригера залишатися в одному з двох станів і підтримувати цей стан навіть після припинення сигналу перемикачання. Приймавши один зі станів за «1», а інший за «0», можна сказати, що тригер зберігає (запам'ятовує) один біт числа, записаного в двійковому коді.

При включенні живлення тригер випадковим чином приймає один з двох станів з рівною або неоднаковою ймовірністю. Це призводить до того, що тригер спочатку встановлюється в бажаний початковий стан. Це досягається посылкою сигналу скидання на асинхронні входи тригерів, лічильників, регістрів і так далі, наприклад, за допомогою RC-кола. Також варто враховувати, що осередки оперативної пам'яті, побудовані на тригерах (статична пам'ять), містять довільну інформацію після включення.

Прямий аналог системи, яка б реалізовувала універсальний алгоритм, бачився у образі людського мозку. У 1943 р. У. Мак-Калон та У. Пітс (Масачусетський технологічний інститут) створили абстрактну модель нейрона, С. К. Кліні (Вісконсінський університет) довів теорему про поведінку нейронної мережі. Розглядаючи аналогію між нервовою системою, обчислювальними машинами та системами автоматичного регулювання, вчені розвивали теорію алгоритмів, яка потім стала одним із теоретичних витоків обчислювальної математики.

Для вирішення різних завдань знадобилася розробка різноманітних мов програмування. Багато вчених почали працювати у цьому напрямі. Широко відомі Д. Скотт, автор мови програмування ЛІСП, що став одним з головних інструментів штучного інтелекту. Програмування стало науковою дисципліною, що вивчає способи реалізації алгоритму роботи ЕОМ та його запису (одною з мов програмування) у вигляді програм.

У 1920 році чеський письменник Карел Чапек пише п'єсу під назвою «Россумські універсальні роботи». На Всесвітній виставці в 1933 р., що

відкрилася в Чикаго з метою показати досягнення техніки за останні 100 років, було представлено робот, який простягав нитку в голку. У відділі "медицина" макет чоловіка читав лекцію про процес травлення. Під час лекції він розстібав жилет і показував частину грудної клітки та живота.

У 1958 р. американська фірма «Пленіт корпорейшен оф лансінд» виготовила одну з перших моделей механічної руки, названої планоботом. Призначення – завантаження, розвантаження верстатів. Рука мала 45 програмованих положень пензля та зап'ястя. У 1961 р. фірма «Дженерал електрик» виготовила хардимена (стійку людину), який міг піднімати та переносити вантаж до 453,6 кг. У 1962 р. американські фірми «Юнімейшен інкорпорейтед» та «АМФ Версатран» створили перші промислові роботи. Поряд з цим з'явилися перші дистанційно руки - телехірики. У 1970-75 р.р. з'явилися мобільні автооператори з елементами штучного інтелекту, керовані ЕОМ.

Поява в 70-х роках мікропроцесорних систем управління дозволило знизити вартість роботів утричі, зробивши рентабельним їхнє масове впровадження в промисловість. Цьому сприяли також такі об'єктивні передумови розвитку:

- зростання витрат на робочу силу;
- насичення ринку товарів та загострення конкурентної боротьби;
- дефіцит робітників на небезпечних, важких та монотонних роботах;
- неповне завантаження обладнання;
- зниження народжуваності у розвинених країнах та підвищення освітнього рівня;
- необхідність підвищення якості продукції, економії матеріалів та енергії.

З часу появи першого промислового робота пройшло три буми роботизації. Перший розпочався у 1968 р. із застосуванням мікропроцесорів для управління роботами та швидко закінчився через ненадійність та недосконалість роботів

першого покоління. Другий бум пов'язаний з появою адаптивних роботів у 1972 р., коли можливості робототехніки почали розширюватися. Поява 1980 р. роботів з елементами штучного інтелекту стала початком третього буму промислової робототехніки.

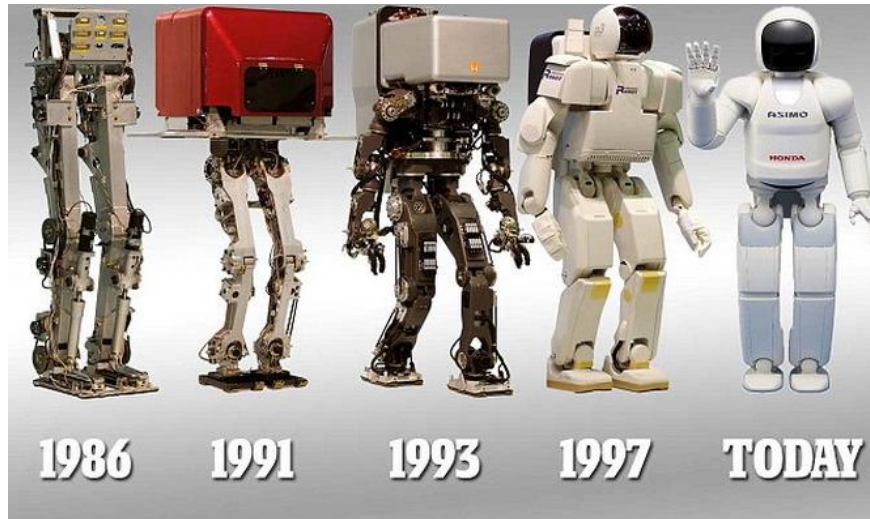


Рисунок 1.6 - Історія розвитку гуманоїда ASIMO

Ефективність від застосування ПР досягається лише за комплексного підходу до створення та впровадження ПР. Одиначне використання промислових роботів – недоцільно. Тільки розширене застосування ПР буде виправдано як технологічно, так і економічно та соціально. Застосування ПР дозволяє переходити до багатостанкового обслуговування, а отже і до економії робочої сили та до роботи обладнання в дві та три зміни. Змінюється також і роль робітника – він стає більш кваліфікованим спеціалістом – наладчиком, оператором.

Застосування ПР дозволяє вирішувати як економічні, технічні, а й соціальні питання, особливо у разі потреби заміни робітника на ділянках зі шкідливими умовами праці. Застосування роботів дозволяє значно покращити якість продукції. Якість машини оцінюється сукупністю спеціально підібраних показників (або критеріїв), вибір яких визначається її службовим (функціональним) призначенням. Машини нового покоління повинні

відповідати таким загальним критеріям, як відношення ціна/якість, висока надійність та безпека функціонування, гнучкість та швидка реконфігурація під час переходу на новий виріб.

До сучасних вимог до функціональних і технічних показників модулів і машин насамперед слід віднести:

- виконання якісно нових службових та функціональних завдань,
- надвисокі швидкості руху кінцевої ланки машини – її робочого органу, що визначає новий рівень продуктивності технологічних комплексів,
- компактність модулів і рухомих систем, мініатюризація конструкцій,
- ультрапрецизійні рухи модулів з метою реалізації нових прецизійних технологій аж до мікро- та нанотехнологій,
- нові кінематичні структури та конструктивні компоновання багатокординатних машин,
- інтелектуальна поведінка систем, що функціонують у мінливих та невизначених зовнішніх середовищах,
- виконання просторових рухів по криволінійних траєкторіях та реалізація складних законів переміщення у часі

У міру розвитку робототехніки з'явилися гнучкі виробничі системи, що забезпечують повну автоматизацію технологічного циклу. Теоретичну основу робототехніки становлять два напрями: синтез керованих механічних пристроїв та керування механічними пристроями за допомогою електроніки.

Термінологія в галузі робототехніки.

Єдиного загальноприйнятого визначення сучасних роботів поки що не існує. Однак багато визначень схожі одне на одного і в тому чи іншому вигляді відображають той факт, що робот активно взаємодіє із зовнішнім середовищем і виявляє при цьому деякі елементи розумності. Наприклад, у технічній літературі можна зустріти таке визначення: робот - це автономно функціонуюча універсальна автоматична машина, призначена для відтворення певних

фізичних, рухових та розумових функцій людини, наділена тими чи іншими засобами зворотного зв'язку (слухом, зором, дотиком і т.д. п.), а також здатністю до навчання та адаптації в процесі активної взаємодії з навколишнім середовищем.

В даний час розроблено низку нормативних документів та керівних матеріалів з термінології в робототехніці: ГОСТ 25686 - 85 "Маніпулятори, автооператори та промислові роботи. Терміни та визначення", стандарт РЕВ 5948 -87 "Роботи промислові. Терміни та визначення", Технічний звіт міжнародної організації стандартизації ІСО 8379 "Маніпуляційні промислові роботи. Словник", термінологія, розроблена комісією з проблеми "Робототехніка та автоматизоване виробництво" "Теорія робототехнічних систем. Термінологія".

РОБОТОТЕХНІКА - галузь науки і техніки, пов'язана зі створенням, дослідженням та застосуванням роботів. Робототехніка охоплює питання проектування, програмного забезпечення, відчуття роботів, управління ними, а також роботизації промисловості та непромислової сфери.

РОБОТ - багатофункціональна машина, що перепрограмується, для повністю або часткового автоматичного виконання рухових функцій аналогічно живим організмам, а також деяких інтелектуальних функцій людини. Під "перепрограмованістю" розуміють можливість заміни, корекції або генерації керуючої програми автоматично або за допомогою людини. До робіт належать, зокрема, автооператори, а також копіюючі маніпулятори та інші машини, керовані тільки людиною-оператором.

ПРОМИСЛОВИЙ РОБОТ - робот, призначений для виконання технологічних та (або) допоміжних операцій у промисловості.

Розрізняють також залежно від специфіки застосування роботи непромислового призначення, наприклад "пожежний робот", "сільськогосподарський робот", "військовий робот" і т.д.

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОМИСЛОВИЙ РОБОТ - промисловий робот для

виконання технологічних переходів, операцій, процесів, оснащений робочим чи вимірювальним інструментом.

ДОПОМІЖНИЙ ПРОМИСЛОВИЙ РОБОТ - промисловий робот для обслуговування технологічного обладнання, переміщення об'єктів, оснащений захватним пристроєм.

СПЕЦІАЛЬНИЙ РОБОТ - робота для виконання однієї операції одного виду.

СПЕЦІАЛІЗОВАНИЙ РОБОТ - робота для виконання різних операцій одного виду.

УНІВЕРСАЛЬНИЙ РОБОТ - робота для виконання різних операцій різних видів.

ЖОРСТКОПРОГРАМУЄМИЙ РОБОТ - робот, керуюча програма якого, введена на етапі програмування, не може бути змінена в процесі роботи залежно від функціонування робота та (або) контрольованих параметрів робочого середовища.

АДАПТИВНИЙ РОБОТ - робот, керуюча програма якого може автоматично змінюватися в процесі роботи залежно від функціонування робота та (або) контрольованих параметрів робочого середовища. Не слід змішувати поняття "адаптивний робот" і "почуттєвий робот". Останній, маючи датчики зовнішньої інформації, може не мати засобів автоматичної зміни керуючої програми в процесі функціонування.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ РОБОТ - робот, керуюча програма якого може повністю або частково формуватися автоматично відповідно до поставленого завдання та залежно від стану робочого середовища.

МАНІПУЛЯЦІЙНИЙ РОБОТ - робот до виконання рухових функцій, аналогічних функцій руки людини.

СТАЦІОНАРНИЙ МАНІПУЛЯЦІЙНИЙ РОБОТ – маніпуляційний робот, закріплений на нерухомій основі.

МОБІЛЬНИЙ РОБОТ - робот, здатний переміщатися в робочому

середовищі відповідно до керуючої програми. Мобільний робот може бути забезпечений маніпулятором. До мобільних роботів не належать пересувні маніпуляційні роботи, які можуть бути оперативно переміщені в робочому середовищі вручну або за допомогою транспортних засобів з ручним керуванням.

РОБОТИЗОВАНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ КОМПЛЕКС - сукупність одного або кількох промислових роботів, іншого технологічного обладнання та оснащення для виконання єдиного технологічного процесу.

РОБОТОТЕХНІЧНА СИСТЕМА – комплекс роботів та відповідного обладнання. Такі системи поділяються на маніпуляційні, мобільні та інформаційні.

Головними відмінними рисами роботів від традиційних засобів автоматизації є гнучкість, адаптивність, інтелектуальність та універсальність.

Під гнучкістю роботів розуміють здатність їх керуючої системи швидко перебудовуватися на виконання нових операцій шляхом перепрограмування рухів роботів у режимі навчання їх керуючої системи.

Адаптивність роботів характеризується здатністю швидко реагувати на зовнішні та внутрішні обурення і автоматично пристосовуватися до умов функціонування, що змінюються. Цю здатність визначають, передусім, засобами їхнього «відчуття», тобто. кількістю та характеристиками датчиків внутрішньої та зовнішньої інформації, а також алгоритмом та програмним забезпеченням самоналаштування (адаптації) керуючої системи.

Інтелектуальність роботів полягає в їх здібностях вирішувати завдання інтелектуального характеру: аналіз складних зображень та сцен, розпізнавання образів, планування рухів та операцій, діагностика станів тощо.

Універсальність (багатофункціональність) роботів дозволяє вирішувати не одну, а цілий клас виробничих завдань.

Можна виділити чотири покоління роботів. Роботи першого покоління – це роботи з програмним управлінням, призначені переважно виконання певної,

заздалегідь запрограмованої послідовності операцій, диктованої тим чи іншим технологічним процесом. Управління роботами першого покоління здійснюється за жорсткою програмою, яка формується в режимі навчання за допомогою оператора. Функціональні можливості роботів першого покоління обмежені малим асортиментом датчиків та недосконалістю системи програмного керування. Застосування роботів першого покоління можливе лише за досить детермінованих та незмінних умов. Для організації таких умов необхідно додаткове технологічне обладнання, вартість якого найчастіше порівнянна з вартістю самого робота.

Роботи другого покоління – це роботи з адаптивним керуванням. Вони відрізняються від роботів першого покоління істотно великим асортиментом датчиків зовнішньої інформації і більш складною системою автоматичного управління, що самоналаштовується, побудованою на базі мікропроцесорної техніки і керуючої ЕОМ. Система відчуття формує сигнали зворотного зв'язку для системи управління, яка обробляє отриману інформацію, синтезує та коригує закон управління механізмами робота з урахуванням обстановки, що реально склалася. Закон управління може мати ситуаційний характер, і тоді його синтез зводиться до формування зв'язків «клас ситуацій – дія». Більш досконалим є такий спосіб керування, при якому сенсорне керування доповнюється алгоритмом автоматичного самоналаштування його параметрів.

Роботи другого покоління значно перевершують за своїми можливостями роботи першого покоління завдяки можливості сприймати зовнішню обстановку, аналізувати сенсорну інформацію та пристосовуватися до умов експлуатації, що змінюються. Такі роботи можуть маніпулювати неорієнтованими деталями, здійснювати складні складальні операції, реагувати на перешкоди у робочій зоні.

Третє покоління – це роботи з інтелектуальним управлінням ЕОМ. Вони принципово відрізняються від роботів другого покоління складністю функцій і досконалістю системи автоматичного управління, що включає ті чи інші

елементи штучного інтелекту. Такі роботи призначені не так для імітації фізичних дій людини, як для автоматизації її інтелектуальної діяльності.

Відмінною рисою інтелектуальних роботів є їхня здатність до навчання на досвіді та адаптації в процесі вирішення завдань. У випадку інтелектуальний робот здатний вести діалог із людиною, формувати у собі модель виробничої обстановки. Розпізнавати та аналізувати ситуації, навчатися поняттям та навичкам, планувати поведінку, будувати програмні рухи рухової системи та здійснювати їх надійне відпрацювання в умовах перешкод та неповної поінформованості про виробничі умови, що змінюються.

У зв'язку зі швидким розвитком нейрокомп'ютерів та нейромережових технологій з'явилася можливість створення роботів четвертого покоління – роботів з нейронними системами управління. Принципи нейронного управління значною мірою аналогічні принципам роботи мозку та нервової системи людини. Такі системи не програмують наперед. Вони навчаються та самоорганізуються на вирішення різних рухових, інформаційних та інтелектуальних завдань.

Контрольні питання:

1. Яку галузь науки та техніки займає робототехніка?
2. Із чого складається механізм?
3. Що називається кінематичним ланцюгом?
4. Що таке сервомеханізм?
5. Які основні визначення робототехніки?
6. Які причини підвищення рентабельності застосування роботів?
7. Скільки поколінь роботів Ви знаєте?
8. Чим різняться між собою покоління роботів?
9. Які етапи розвитку робототехніки?
10. Що таке наука мехатроніка?
11. Якими характеристиками вирізняються інтелектуальні роботи?

12. Чим відрізняються роботи другого покоління?
13. Що розуміється під гнучкістю роботів?

ЛЕКЦІЯ 2

Структура промислових роботів.

Основними складовими промислових роботів є механічна складова тобто безпосередньо сам маніпулятор та керуюча складова або пристрій керування. У свою чергу, кожна з цих частин включає в себе ряд блоків (рис. 2.1).

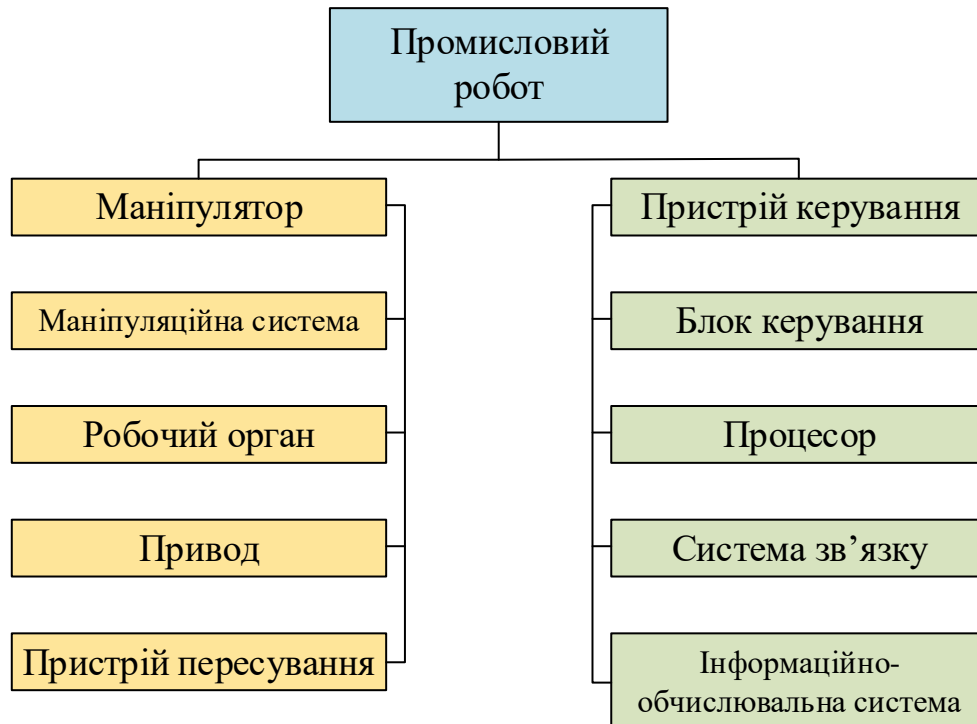


Рисунок .2.1. Загальна будова промислового робота.

Маніпулятор - це керований пристрій або машина для збільшення рухових функцій, аналогічних функціям руки людини при переміщенні предметів в просторі, оснащеному робочим органом.

Маніпулятор, крім власної системи маніпуляцій, містить робочий орган, привід і пристрій руху. Та частина керуючого пристрою, яка подає керуючий сигнал на привід, робочий орган, пристрій руху, званий блоком управління. Послідовність керуючих сигналів формується в комп'ютері на основі програми, попередньо записаної в ньому оператором через систему зв'язку, і з урахуванням сигналів, отриманих від датчиків інформаційно-вимірювальна система.

Конструктивно маніпулятор і пристрій управління можуть бути виконані в одній стійці, але можуть бити окремо і розташовуватися на деякій відстані один від одного.

Виконавчий механізм (ВМ) - механічна частина виконавчого механізму промислового робота, що реалізує рухову функцію, - являє собою систему твердих і пружних тіл, з'єднаних між собою різними типами з'єднань.

Тверді тіла, що входять до складу виконавчого механізму і є функціональними елементами його кінематичного ланцюга, називаються ланками. Ланка механізму виконання, конструктивно може складатися з декількох частин, які не мають відносного руху між собою.

З'єднання двох контактуючих ланок, що допускають їх відносний рух, називається кінематичною парою. Сукупність поверхонь, ліній і точок ланки, які стикаються (стикаються) з іншою ланкою пари, називається елементом пари. Для того, щоб елементи пари були в постійному контакті, пара повинна бути замиканена геометрично (обумовлена конструктивною формою ланок) або силою тяжіння (силою тяжіння, силою тиску рідини або газу і т.д.) в певному сенсі.

Контактні поверхні, та точки ланок, які є елементами кінематичної пари, можуть утворювати просту і складну кінематичну пару. У простій кінематичній парі (рис. 2.2 а) В контакті знаходяться тільки два елементи 1 і 2, які визначають відповідну кількість компонентів реакцій зв'язку. У складній парі (рис. 2.2 б) необхідні геометричні зв'язки дублюються додатковими з'єднаннями 1^1 та 2^1 . Додаткові елементи кінематичних пар вводяться для зниження тиску і зносу контактуючих поверхонь шляхом перерозподілу реактивних сил і збільшення розмірів елементів кінематичних пар.

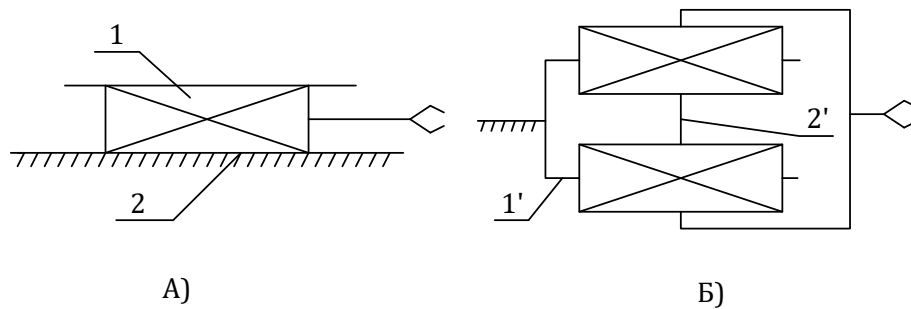


Рисунок. 2.2. Кінематичні пари: А) прості, Б) складні.

Якщо крім необхідних елементів кінематичної пари за рахунок необхідних геометричних зв'язків в побудові використовується додаткові елементи, то в такій складній кінематичній парі точні з'являться в такій локальні кінематичні зв'язки. При наявності локальних зв'язків відносний рух ланок або стає ускладненим (глушіння, защемлення елементів), або здійснюється за рахунок деформація ланок, збільшення зазорів між реальними поверхнями елементів або їх знос.

Для того щоб кінематична пара була ефективною і надійною в експлуатації, існують певні вимоги до розмірів, форми і взаємного розташування її елементів. Зазвичай вказують межі відхилень від заданих або необхідних геометричних фігур і розташування поверхонь, осей або точок.

Схема кінематичної парії, що відображає тільки необхідну кількість геометричних зв'язків, називається основною. Схема кінематичної пари, що відображає як необхідні, так і окремі локальні (додаткові) підключення, називається валідним. Відокремлення локальних зв'язків вносить статичну невизначеність.

Кількість локальних зв'язків в реальній побудові парії визначається ступенем статичної невизначеності кінематичної пари. Застосування складних кінематичних пар з б'ються локальними зв'язками можливо при достатній жорсткості ланок, коли їх деформація під впливом навантажень не призводить до заклинювання елементів кінематичні пари або їх подальший знос.

Виконавчі механізми, що відповідають вимогам пристосованості до

ланкових утворень, надійності, довговічності і технологічності конструкції, мають оптимальну структуру.

Оптимальна система розташування елементів кінематичної пари - поняття відносне: конструкція оптимальна для одних умов, для інших вона може бути неприйнятною. Часто це пов'язано з технологічністю, наприклад, сукупність конструкційних властивостей, які проявляються при оптимальних витратах праці, коштів, матеріалів і часу при прийнятих умовах виготовлення, будівництва та ремонту промислового робота. Конструкція, досить технологічна на окремо взятому виробництві, часто виявляється низько технологічною в масовому виробництві і повністю низько технологічною в автоматизованому виробництві.

Кінематичні пари класифікуються за кількістю зв'язків (обмежень), що накладаються на відносний рух ланок на кінематичні пари п'ятого, четвертого, третього, другого і першого класів (рис. 2.3).

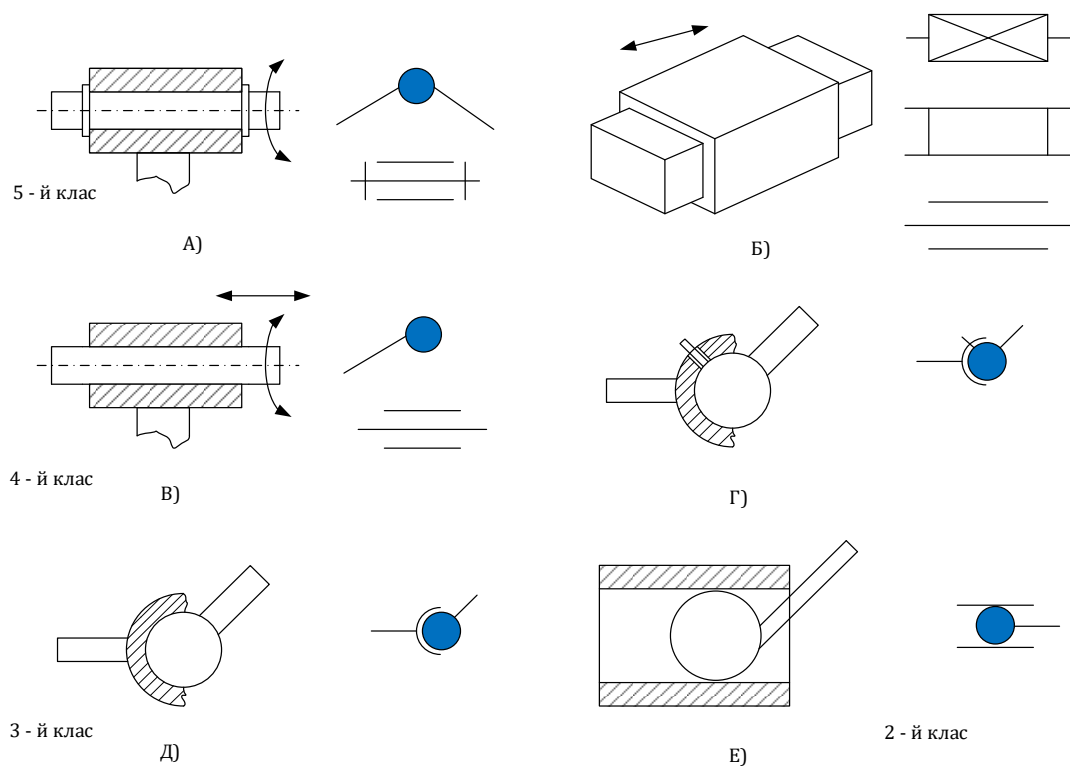


Рисунок. 2.3. Приклади кінематичних пар.

За характером контакту ланок кінематичні пари поділяються на нижчі, якщо елементи ланок торкаються тільки по поверхні, та вищі, якщо елементи ланок торкаються по лініях або в точках. Під цією лінією або точковим контактом розуміється початковий контакт, коли ланки вступають в контакт без зусилля, а під навантаженням ланки, що утворюють вищу пару, будуть доторкуватися по деякій фактичній поверхні, називається точкою контакту.

Перевагою нижчих кінематичних пар в порівнянні з вищими є можливість передачі великих зусиль, так як контактна поверхня контактних ланок нижньої пари може бути значно більшою у порівнянні із вищими. Використання збільшених пар дає можливість зменшити тертя (наприклад, шарикопідшипник) і отримати необхідні, найрізноманітніші закони руху першої ланки шляхом додання певної форми ланок, формування збільшеної пари.

Кінематичні пари багато в чому визначають працездатність і надійність пристрою виконання промислового робота, так як через них передаються сили від однієї ланки до іншого; в кінематичних парах - за рахунок відносний рух, спостерігається третій, вади пари знаходяться в напруженому стані і в процесі зносу.

Конструкція складних кінематичних пар поряд з підвищенням жорсткості і точності повинна забезпечувати невимушену збірку вузлів і дозволяти виконавчому механізму по можливості підтримувати задану кількість ступенів рухливості деформації стійок, валів, осей та інших деталей під впливом зовнішніх навантажень.

У виконавчих механізмах промислових роботів використовуються тільки кінематичні пари 5-го, 4-го і 3-го класу, але в основному кінематичні пари 5-го класу.

Пари класів 4 і 3 якісно замінюються комбінацією з двох-трьох пар класу 5. 2.4.), тобто Кінематичне з'єднання - кінематична ланцюг, конструктивно замінює кінематичну пару в виконавчому механізмі.

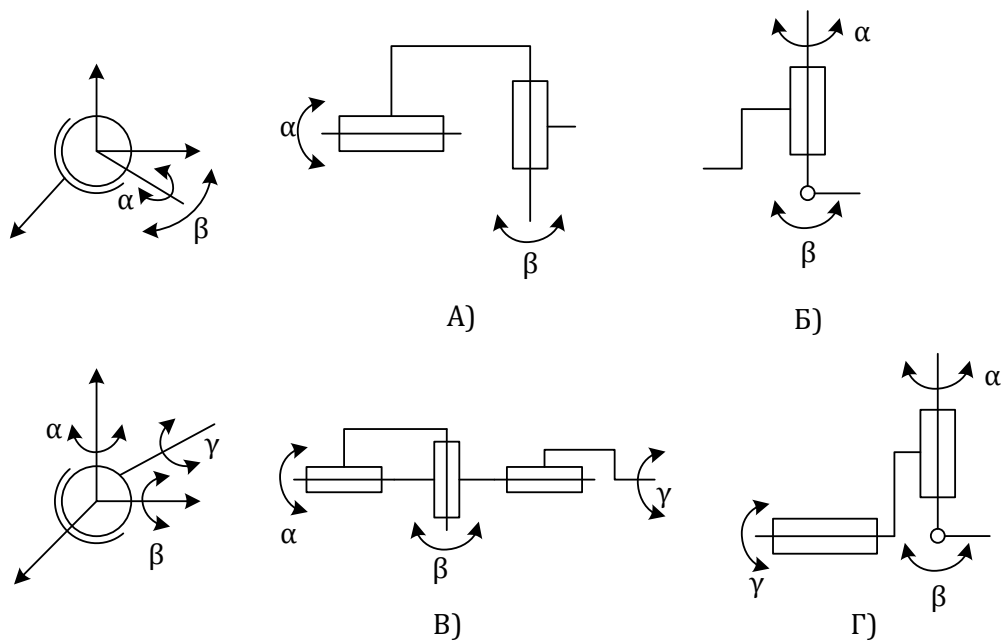


Рисунок. 2.4. Варіанти заміни кінематичних пар вищого класу на нижчі.

Ланка, прийнята за фіксовану, називається основою (стійкою). Ланка, якій передається рух, яку перетворюється виконавчим механізмом в необхідні рухи інших ланок, називається входом. Ланка, що здійснює рух, для якого призначений виконавчий механізм, називається виходним (кінцевим, останнім). Максимальна кількість вхідних ланок дорівнює кількості ступенів мобільності механічної частини робота.

Ланки маніпулятора з'єднуються між собою за допомогою кінематичних пар п'ятого порядку (за класифікацією теорії механізмів і машин), обертальних і поступальних. Кожна ланка має свою назву. Так, колона з'єднується з нерухомою основою, каретка - з колоною, рука - з кареткою, рука - з рукою, а рукоятка - з щіткою (рис. 2.5).

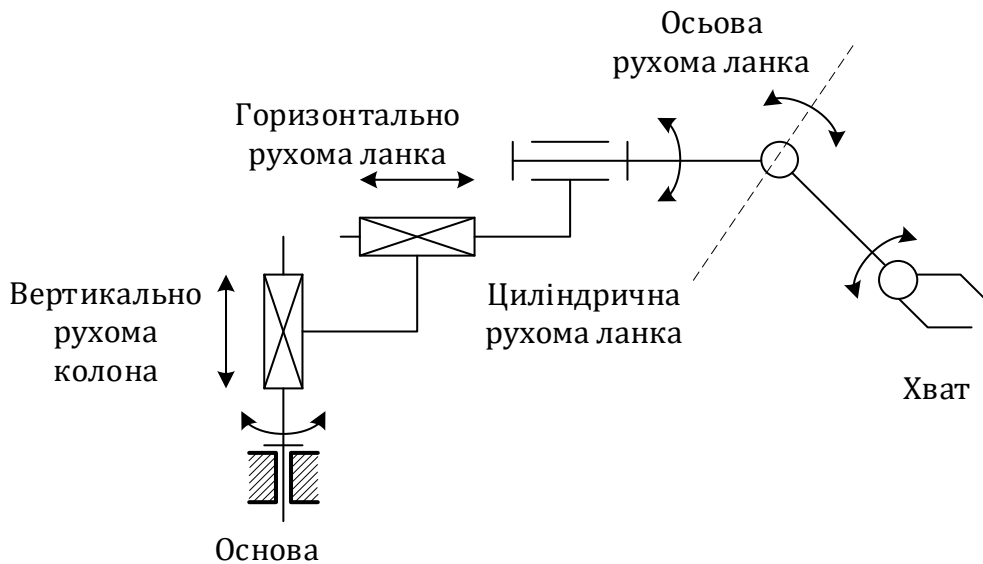


Рис. 2.5. Кінематика маніпулятора промислового робота.

Ці ланки утворюють між собою кінематичні пари 5-го класу, що мають однакову ступінь рухливості. Кожна кінематична пара отримує рух від керованого виконавчого механізму.

Система ланок, з'єднаних кінематичними парами, називається кінематичним ланцюгом. Залежно від типу руху ланок кінематичні ланцюги поділяють на плоскі (рис. 2.6, А, Б) - Ланки рухаються в одній або декількох паралельних площинах, і блукаючі (рис. 2.6, В) - ланки переміщуються в просторі.

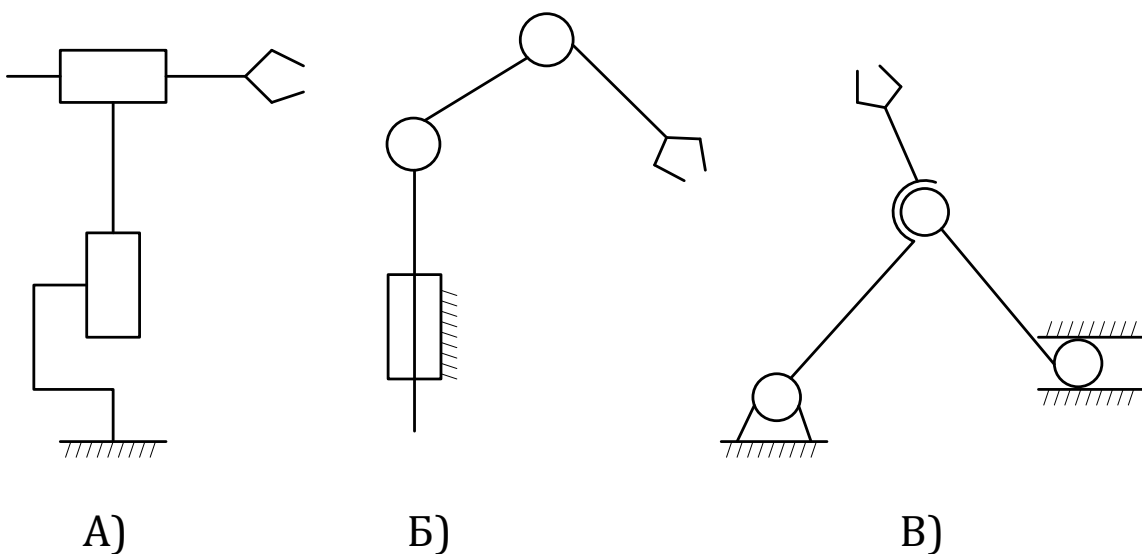


Рис. 2.6. Приклади кінематичних ланок.

Кінематичні ланки можуть бути замкнутими (рис. 2.6, в) і незамкнутими (рис. 2.6, а, б). Кінематичні ланцюжки механізмів виконання ПР в основному незамкнуті.

Виконавчий механізм промислового робота в процесі функціонування може мати різну будову. Під час переміщення в просторі її можна розглядати як незамкнуту кінематичну ланку. В кінці року Технологічні операції по руху виконавчого механізму накладаються додатковими зв'язками і він перетворюється в замкнутий механізм.

Для повноцінного здійснення просторового переміщення необхідно мати шість ступенів рухливості в маніпуляторі, з яких три потрібні для доведення кінця маніпулятора до необхідної точки простору (перенесення руху), ще три - для отримання необхідної кутової орієнтації захвату (орієнтуючі ступені рухливості).

Під ступенями рухливості маніпулятора (ступенями свободи) розуміються узагальнення кодів , що визначають положення його ланок в просторі. Кількість ступенів рухливості маніпулятора n визначається за формулою

$$n = 6k - \sum_{i=1}^5 iP_i$$

де k - кількість рухомих ланок; P_i - кількість кінематичних пар першого класу.

Наприклад, в даному випадку маніпулятор на рис. 2.5 містить 5 рухомих ланок (без урахування нерухомиї підстави і внутрішньої рухомиї ланки в рукоятці), що утворюють 5 кінематичних пар 5-го класу отже,

$$n = 6,5 - 5 \cdot 5 = 5$$

Розрізняють наступні ступені мобільності: координатна (глобальна) - забезпечує наведення маніпулятора в зону маніпуляції; переносні (робочі) -

визначення введення захвату в установку місця робочої зони; орієнтування (місцеві) - забезпечення необхідної орієнтації захвату в заданому місці робочої зони.

Якщо робочою зоною є об'ємна площа, то маніпулятор повинен мати не менше трьох ступенів рухливості. У разі плоскої зони маніпуляції досить мати всього два перенесення ступеня свободи. Збільшення кількості ступенів рухливості ускладнює роботу маніпулятора, але в той же час підвищує його маневреність, тобто можливість уникати перешкод в робочій зоні.

Компонування маніпулятора залежить від вібраційної системи координат його функціонування. З цієї точки зору існують маніпулятори, що працюють в декартових, циліндричних, сферичних і кутових (кутові) системи координат. Конструкція ПР залежить також від кількості рук маніпуляційної системи, керованої одним і тим же пристроєм управління, а також від типу пристроїв пересування.

Об'єкт маніпуляції - це тіло, переміщене в просторі маніпулятором. До об'єктів маніпуляції відносяться заготовки, деталі, допоміжні, вимірвальні або робочі інструменти, технологічні оснащення і т.д.

Робочий орган є невід'ємною частиною виконавчого механізму промислового робота для безпосереднього виконання технологічних операцій та/або допоміжних переходів.

Головна особливість ПР полягає в тому, що він призначений для роботи з іншими технічним обладнанням (ТО) і, по суті, є елементом цього обладнання, що дозволяє створювати роботизація, технологічні комплекси. Після цього структуру ПР, що працює в зв'язці з деяким технологічним обладнанням, можна представити так, як показано на рис. 2.7.

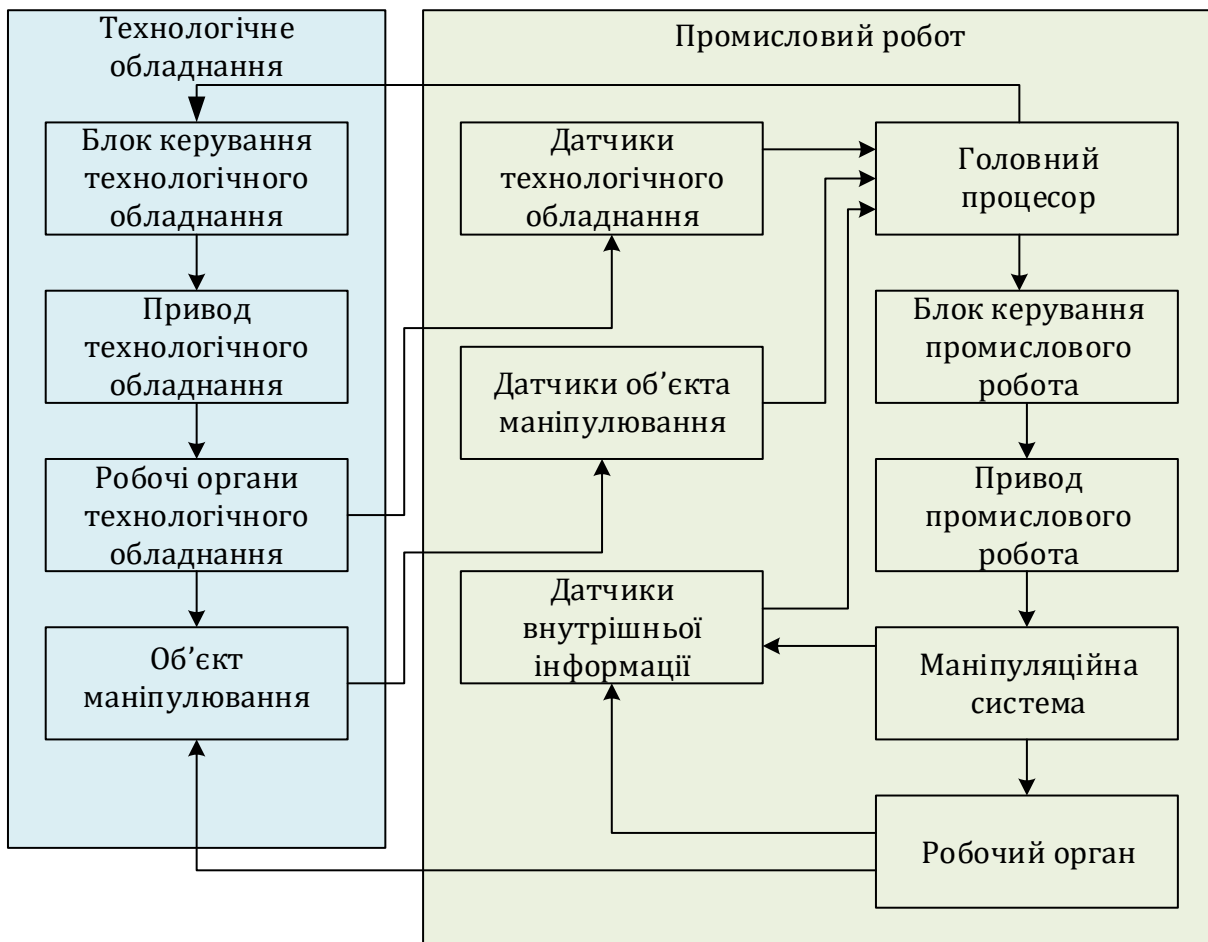


Рис. 2.7. Будова промислового робота.

В цілому технологічне обладнання складається з тих же вузлів і пристроїв, що і ПР. Як і ПР, він включає у себе блок управління, привод, робочі органи, які, взаємодіють з об'єктом маніпуляції. ТО також має власні датчики, що визначають положення його робочих органів, тобто датчиків внутрішній інформації. Керування як ТО, так і ПР контролюється головним процесором. Єдина відмінність ПР від ТО полягає в тому, що він додатково містить антропоморфну виконавчу систему - маніпулятор.

Вочевидь, що характер обслуговування ТО істотно впливає на конструкцію і технічні характеристики ПР. З цієї причини говорять не про ПР взагалі, а про монтажних роботів, роботів прес-виробництва, роботів зварювальники тощо. Універсальність ПР, як перепрограмована маніпулятивної системи, не абсолютна, а відносна, оскільки має тільки в рамках обладнання для

обслуговування з яких сконструйований робот.

Основні системи координат маніпулятора.

Кількість ступенів рухливості і кожен рух робота забезпечується відповідною кінематичною схемою його механізмів. Кінематичні схеми роботів мають певну будову кінематики кистей рук і кистей, які залежать від типу і послідовності розташування обертальних (О) і поступальних (П) кінематичних пар.

Розроблено класифікацію кінематичних структурних схем руки і маніпуляторів, що складаються з пар:

- 1 - ООО, три обертальних;
- 2 - ООП, два обертальних і один поступальний;
- 3 - ПОП, ОПО, ППО, два поступальних і один обертальний;
- 4 - ППП - три поступальних.

Форма робочої зони і можливість маніпулювання об'єктом також визначаються кінематичною структурною схемою руки маніпулятора

Характер ступенів рухливості (поступальної та обертальної) визначає основну систему координат маніпулятора. Якщо поступальних ступенів рухливості перенесення три ($\Pi = 3$), а обертальних немає взагалі ($O = 0$), то основна система координат прямокутна, а робоча зона має форму паралелепіпеда (рис. 2.8).

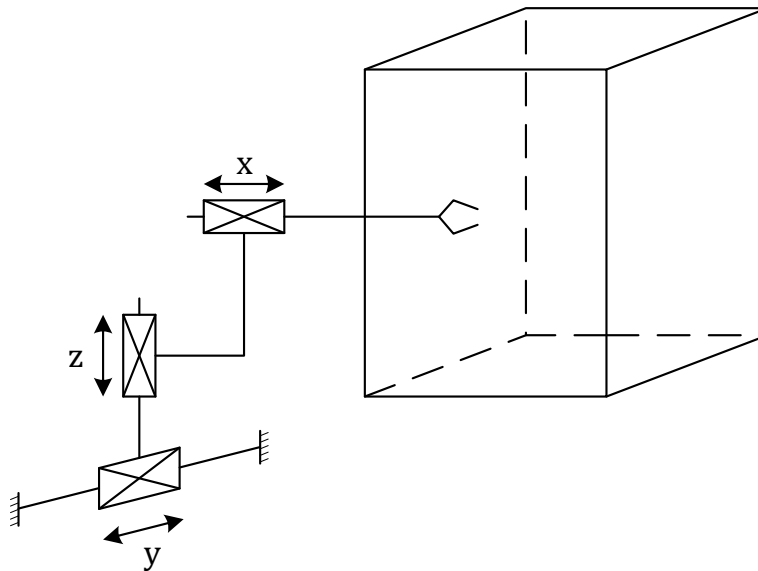


Рис.2.8. Прямокутна система координат.

Незважаючи на простоту конструкції, ПР з такою системою координат зустрічається досить рідко. Вони мають великі габарити при невеликому обсязі робочої площі і характеризуються порівняно невіометричною активністю. Таких роботів зазвичай або підвішують над обслуговуючим технологічним обладнанням, або встановлюють на напрямні каретки під ним.

У разі, коли $\Pi = 2$, $O = 1$, робоча зона ПР набуває циліндричну форму, а точніше форми неповного циліндра (рис. 2.9).

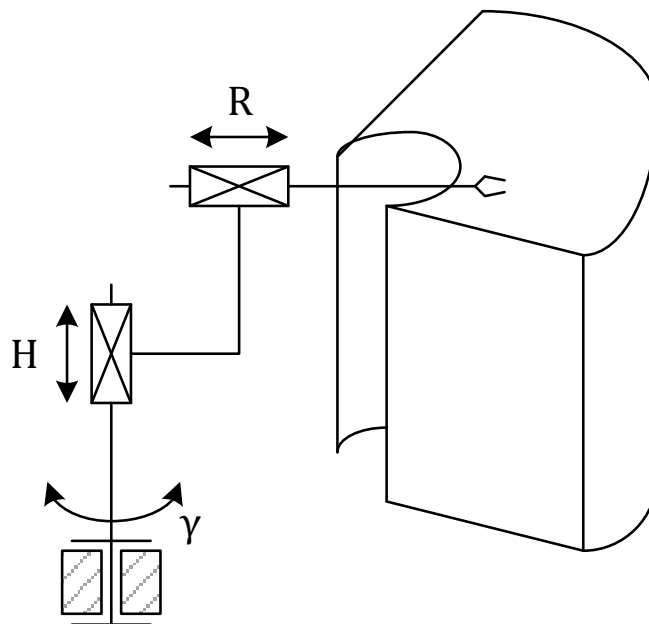


Рис. 2.9. Циліндрична система координат.

Основна система координат R, H, γ , відповідна атому зручна і набула широкого поширення. Вона забезпечує обслуговування великого обсягу робочої зони, але має недолік, пов'язаний зі складністю організації маніпуляцій з предметами на маленькій комірці.

Якщо $\Pi = 1, O = 2$, то робоча площа є повною кулею, а основна система координат R, θ, γ - сферичною. Це найбільш універсальна система координат (рис. 2.10). Він забезпечує обслуговування більшої площі, ніж при прямокутних і циліндричних системах координат. Однак конструкція маніпулятора в атомному корпусі виходить більш складною, а ПР потребує більш складній системі управління.

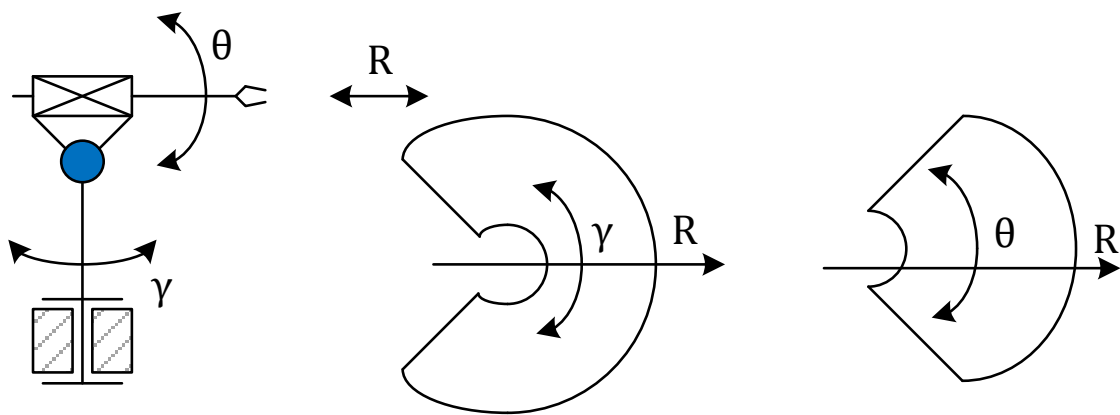


Рис. 2.10 Сферична система координат.

При $\Pi = 0, O = 3$ виходить кутова (кутова) система координат основи γ, θ, φ (рис. 2.11).

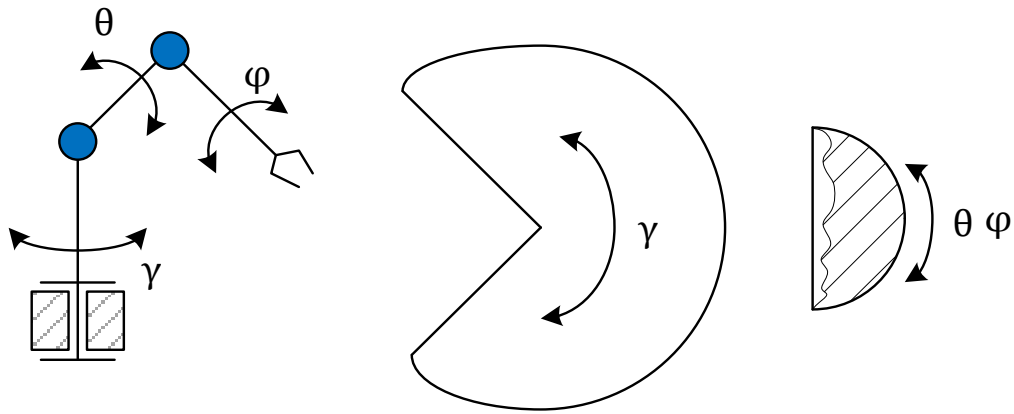


Рис. 2.11. Кутова система координат.

Така система координат є найбільш універсальною, забезпечує обслуговування найбільшого обсягу робочої зони і дозволяє будувати ПР з максимальним антропоморфізмом. Однак конструкція маніпулятора дуже складна, дуже складна і передбачає складну систему управління. Недоліком також є те, що жорсткість маніпулятора в ньому знижена, що ускладнює забезпечення необхідної точності позиціонування.

Прямокутна система координат реалізується трьома трансляційними кінематичними парами, циліндрична система координат - двома трансляційними і однією обертальною системою координат, сферична система координат - двома трансляційними і однією трансляційною системою координат, кутова система координат - двома трансляційними і однією трансляційною системою координат, три ротаційні агрегати.

Аналіз кінематичних схем маніпуляторів виявляє дві основні особливості:

- вісі кінематичних пар паралельні або перпендикулярні один одному,
- ланки поєднані в послідовну кінематичну системи.

У той же час вони мають ряд істотних недоліків:

- низька вантажопідйомність/вага маніпулятора, що обумовлено послідовною схемою підключення ланок. Адже кожен привід повинен переміщати не тільки корисну навантаження, але і всі наступні ланки по колу.

- помилки в рухах всіх шарнірів підсумовуються в кінцевій точці маніпулятора, що призводить до зменшення точності позиціонування маніпуляторів в порівнянні з машинами з декартовим-компонуванням,

- Відносно низька жорсткість маніпуляційних роботів, так як пружний прогин робочого органу є результатом накопичення деформацій уздовж ланцюга при всіх ступенях рухливості робота. Причому вагове відношення цієї суми пропорційне відстаням від кінцевої точки до осей відповідних шарнірів.

Задачі кінематичних досліджень.

Складається обчислювальна кінематична модель, яка включає в себе розмір ланок, кількість і розподіл кінематичних пар. Положення кінематичного ланцюга в просторі визначається за допомогою узагальнених координат $q_i (i = 1, 2, \dots, n)$, які характеризують відносне зміщення ланок, як поступальних, так і обертальних.

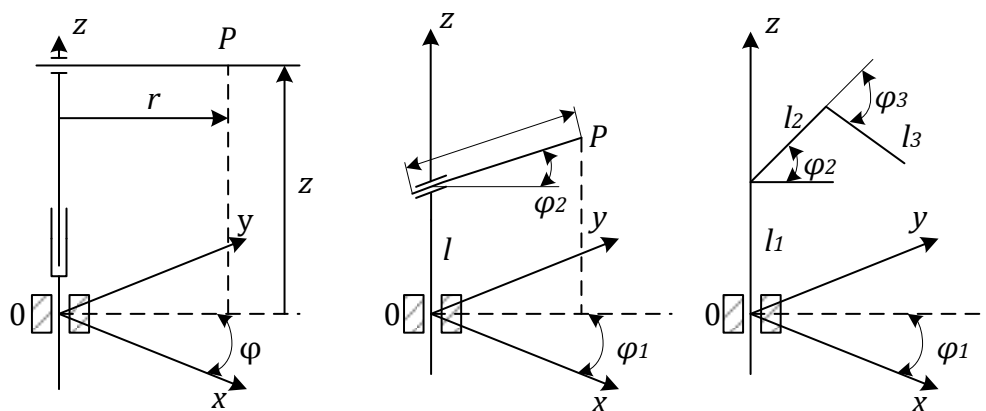


Рис. 2.12. Обчислювальні математичні моделі.

Координати кінцевої точки маніпулятора P в робочому просторі визначаються для першого випадку (рис. 2.12.а):

$$x_p = r \cdot \cos \varphi, y_p = r \cdot \sin \varphi, z_p = z$$

Для другого випадку (рис. 2.12, б):

$$\begin{aligned}x_p &= r \cdot \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2, y_p = r \cdot \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2, z_p \\ &= l + r \cdot \sin \varphi_2\end{aligned}$$

Для третього випадку (рис. 2.12. в):

$$\begin{aligned}x_p &= l_2 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 + l_3 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \cos (\varphi_2 + \varphi_1) \\ y_p &= l_2 \cdot \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 + l_3 \cdot \sin \varphi_1 \cdot \cos (\varphi_2 + \varphi_1) \\ z_p &= l_1 + l_2 \cdot \sin \varphi_2 + l_3 \cdot \sin (\varphi_2 + \varphi_1)\end{aligned}$$

Ці співвідношення служать основою для кінематичних досліджень маніпуляторів промислових роботів.

Вирішені прямі і зворотні задачі положення маніпуляторів. Прямим завданням є обчислення положення маніпулятора (робочого органу P і всіх ланок) по заданим відносним переміщенням q_i в кінематичних парах. Коли атом визначається або кінцевим числом; Позиція, або подорож у часі $q_i(t)$. Таким чином, в прямому завданні розраховуються геометричні характеристики робочої зони робота зі структурними обмеженнями діапазонів можливих змін узагальнених координат, точних характеристик позиціонування і переміщення при заданих початкових похибках елементів, а також службових характеристик.

Оберненою задачею є визначення узагальнених координат q_i , відповідно до положення робочого органу P або будь-якої ланки маніпулятора, зазначеного в системі координат (x, y, z) . При цьому, як і в прямій задачі, можна говорити про кінцеве число положення, або за законом руху робочого органу $x(t), y(t), z(t)$, для яких відраховуються закони зміни узагальненої координації $q_i(t)$ ланок. У подібних формулюваннях проблеми визначення лінійні і кутові швидкості і прискорення робочого органу P і ланок маніпулятора.

Наприклад, аналітичне рішення зворотної задачі для раніше розглянутих кінематичних моделей маніпуляторів можна отримати в наступному вигляді:

$$r = (x_p^2 + y_p^2)^{1/2}; \varphi = (y_p / x_p); z = z_p \text{ (перша модель)}$$

$$r = [x_p^2 + y_p^2 + (z_p - 1)^2]^{1/2}; \varphi_1 = (y_p / x_p);$$

$$\varphi_2 = [(z_p - 1) / (x_p^2 + y_p^2)^{1/2}] \text{ (друга модель)}$$

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ:

1. Як класифікуються кінематичні пари?
2. Як визначити ступінь рухливості маніпулятора?
3. Які основні системи координат маніпулятора?
4. У чому суть проблеми кінематики маніпулятора?
5. У чому суть зворотної задачі кінематики маніпулятора?
6. Які ланки входять в конструкцію маніпулятора?
7. Яка будова маніпулятора?
8. В якій системі координат працює маніпулятор, за схемою ОПП?
9. В якій системі координат працює маніпулятор, за схемою ППП?
10. В якій системі координат працює маніпулятор, який працює за схемою ООО?

ЛЕКЦІЯ 3

Системи активації промислових роботів.

Гідро- та пневмо- привод.

Під системами активації розуміють сукупність технічних засобів, призначених для приведення в рух всіх ланок маніпуляційної системи та захвату робочого органу відповідно до вимог виробничого процесу. Функціонально системи активації розміщується між пристроєм управління ПР і ланками маніпуляційної системи як показано на рис. 3.1.

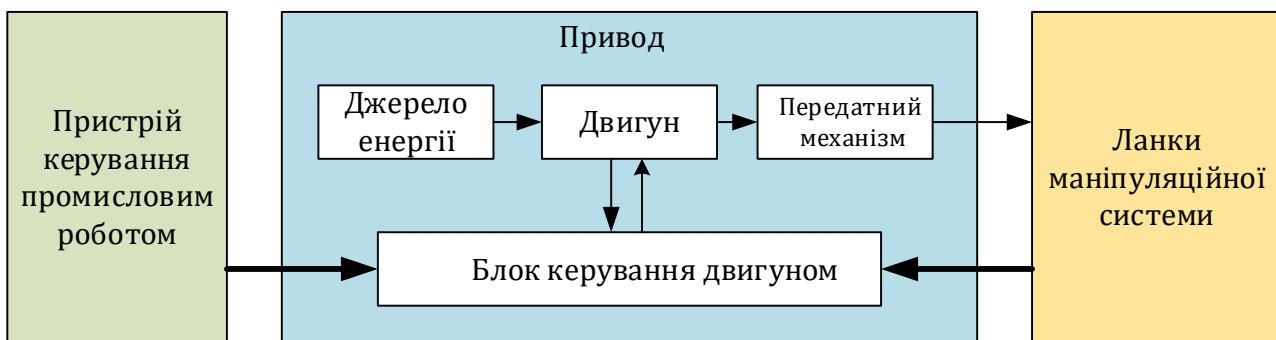


Рис. 3.1. Загальна структура приводу промислового робота.

В цілому привід складається з джерела енергії (перетворювача енергії) двигунів, механізмів передачі і блоку управління двигуном. Існують особливі вимоги до всіх типів приводів в робототехніці. Основні з них: мінімальна вага і габарити, значна енергія, а також статичні і динамічні характеристики, легкість регулювання в широкому діапазоні швидкостей, оборотність, велика ресурс і плавність рухів, стабільність характеристик в широкому діапазоні навантажень, фіксація положення захвату відключенні приводу, незалежність характеристик від зміни температури. Особливістю також є взаємопов'язана групова робота накопичувачів всіх ступенів мобільності робота.

За ступенем керованості розрізняють:

- нерегульовані, що забезпечують рух ланок з однією робочою швидкістю;
- регульовані, що забезпечують задану швидкість руху при зміні параметрів приводу;
- трекінг, що забезпечує рух ланки із заданою точністю з довільною установкою сигналу;
- адаптивний, а також автоматично підбір оптимального параметра управління при зміні умов праці.

Силовими модулями маніпуляторів промислових роботів є різні типи приводів - електричні, гідравлічні, пневматичні.

Найбільш зручні у використанні електроприводи, так як гідравлічні і пневматичні приводи схильні до витоків робочої рідини і вимагають спеціальних силових станцій, що видають шум.

Крім мотора, в привід для кожного ступеня рухливості входять: підсилювачі потужності, передавальні пристрої, а також ланцюги корекції, датчики зворотного зв'язку швидкості і положення, а іноді і датчики силового моменту. Їх наявність повністю необхідно в закритих сервоприводах для контурних і контурно-позиційних систем управління. Основними параметрами приводу є: потужність, швидкодія і точність відпрацювання командних сигналів. Для найбільш значущим видом вібрації того чи іншого типу приводу в конструкції ПР є вид енергії. Тому одна з найпоширеніших класифікацій приводів засновано на цій особливості (рис. 3.2).

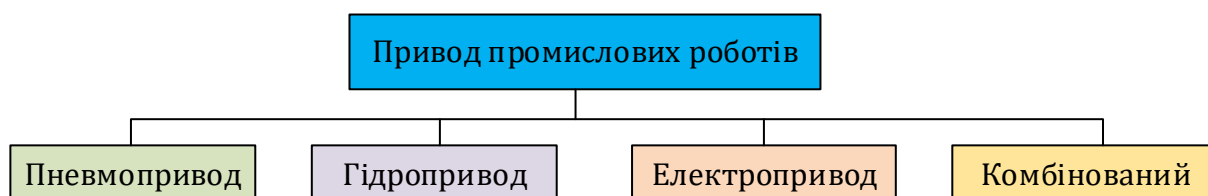


Рис.3.2. Класифікація накопичувачів.

Більшість пневмоприводів, деякі гідроприводи і приводи з кроковими

маніпуляції ПР. Переміщення досягається зміною тисків P_1 та P_2 в лівій і правій порожнинах пневмоциліндра. Для кращої ізоляції цих порожнин один від одного між поршнем і гільзою розміщують гумовий ущільнювач 4.

Для подачі повітря в порожнину пневмоциліндра або мембранної камери використовуються електричні пневматичні клапани прямої або зворотної дії. При подачі напруги на обмотку зворотний тип електроклапана перекриває канал подачі повітря, а клапан прямого типу відкриває канал.

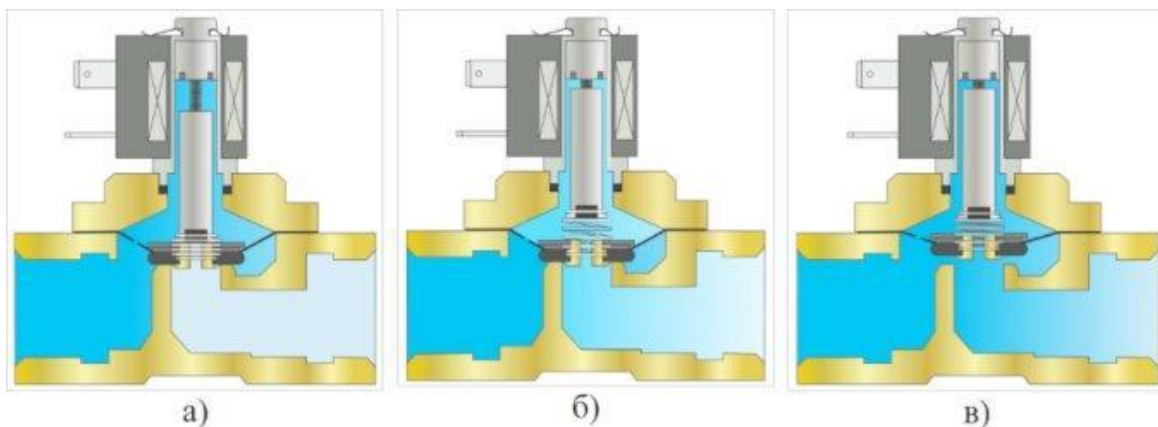


Рис.3.4. Електроклапан прямого типу.

Клапан прямого типу (рис. 3.4) виконаний у вигляді підпружиненого золотника, який рухається в корпусі з трьома отворами. Лівий отвір з'єднано з атмосферою, правий - з однією з порожнин пневмоциліндра. У перепускний отвір подається компресійне повітря. При подачі напруги на обмотку золотник рухається вверх і повітря наскрізь із ліва на право та подається входить в робочу порожнину пневмоприводу. Недоліком пневмоприводу є те, що рух ланки робота при включенні клапана відбувається з великою швидкістю, супроводжується обмеженням ланки на граничні упори. Для пом'якшення впливу на упори встановлені амортизатори, але це призводить до зниження точності позиціонування.

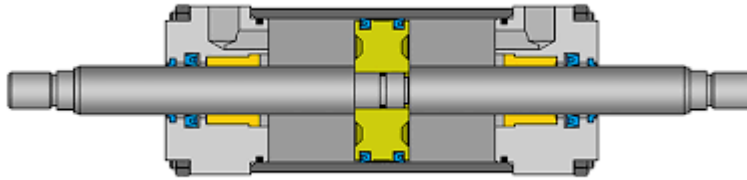


Рис. 3.5. Схема двоштокових пневмоприводів.

При необхідності наявності декількох точок позиціонування пневматичні двигуни можуть бути за схемою рис. 3.5. Тобто із двостороннім штоком.

Енергетичну установку для пневмоприводу можна представити у вигляді природної схеми, наведеної на рис. 3.6. Складається з компресора, запірного клапана 2, вологовідділювача 3, регулятора тиску 4, манометра 5 і масляного дозатора 6. кщо в цеху є пневматична мережа, то ПР з пневматичним приводом підключається безпосередньо до неї.

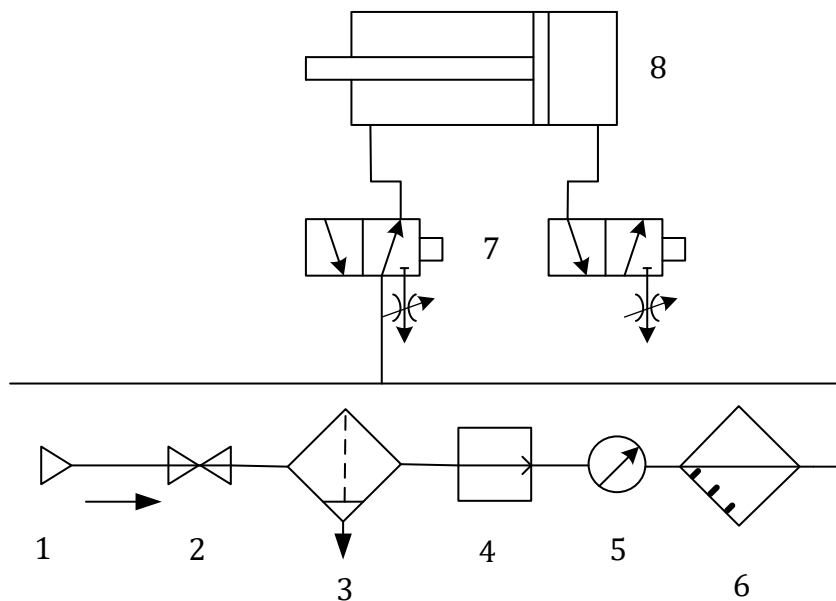


Рис. 3.6. Загальна схема роботи пневматичного приводу.

Підключення розподільника 7 відповідає руху поршня вправо. З рисунка видно, що ліва порожнина пневмоциліндра з'єднана з впускним клапаном, а права порожнина з'єднана з впускним клапаном через дросель 2.

$$F = P \cdot \pi / 3(R^2 + R \cdot r + r^2)$$

Де P - тиск стисненого повітря; r - радіус шайби, до якої кріпиться стрижень; R - радіус защемлення мембрани. Рух штоку h обмежується ступенем деформації мембрани в залежності від її радіусу: $h = 0,25R$. Якщо мембрана не плоска, а хвиляста, то хід штоку збільшується вдвічі. При цьому співвідношення радіусів шайби і мембрани має бути в межах $r / R = 0,6 - 0,8$.

Спеціально для робіт розроблений «штучний м'яз», що представляє собою тонку гумову трубочку в спеціальному кожусі. Кінці обплетення з'єднуються з ланками маніпулятора. При подачі повітря в трубку вона набухає, внаслідок чого кожух зменшується в довжину.

Гідравлічні приводи.

Гідропривод використовується для робіт великої (50 - 100 кг) і надвеликої (більше 100 кг) вантажопідйомності. Володіє високою швидкодією при низькій інерції. Підвищена стабільність швидкості при зміні навантажень через нестисливість робочої рідини. Нескінченно змінне регулювання швидкості, високий коефіцієнт посилення потужності. До недоліків гідравлічного електропостачання можна віднести появу протікань, необхідність насосної станції і залежність швидкості від температури робочої рідини. Електрогідравлічні приводи робіт в основному використовуються двох класів: управління дросельною заслінкою і об'ємне управління, а управління дросельною заслінкою відрізняється управлінням за допомогою гідравлічного насоса постійна продуктивність і змінна продуктивність. У всіх випадках можна управляти або гідравлічним циліндром, або гідромотором.

Гідравлічний насос постійної потужності істотно дешевше насоса зі змінним об'ємом, однак енергетичні характеристики приводу регулювання дросельної заслінки з насосом постійного об'єму гірше через великого непродуктивні втрати.

Відбувається зворотний дренаж частини рідини і обертання частини потенційної енергії в тепло, потрібне охолодження. Недоліків у дросельної заслінки з насосом змінного об'єму немає.

У зв'язку з цим гідравлічні дросельні регулятори з насосом постійної потужності застосовуються як у роботів з меншою вантажопідйомністю (десятки кг), так і з насосом змінної потужності - в основному для роботів з великим і надвеликою вантажопідйомністю (сотні кг).

Схема гідроприводу управління дросельною заслінкою насосом змінної потужності приведена на рис. 3.8.

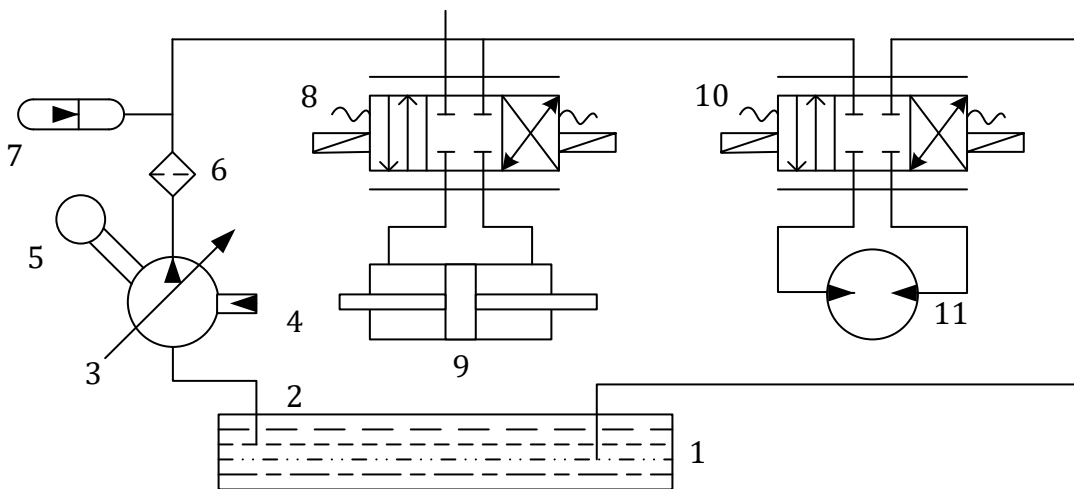


Рис. 3.8. Гідропривід насоса змінної потужності.

Забір робочої рідини здійснюється насосом з резервуара 1 через фільтр 2 за допомогою насоса 3, електродвигуна 5 та регулятора витрати насоса 4. Потім робоча рідина проходить фільтр тонкого очищення 6. Пневмогідравлічний акумулятор 7 використовується для стабілізації тиску в нагнітальному трубопроводі при різких перепадах.

Гідромотор складається з золотникового розподільника (8,10) і силового циліндра 9 або гідромотора 11. Дроселювання потоків робочої рідини досягається зміною прохідних ділянок золотникового розподільника. Площа потоку залежить від положення краю золотника щодо паза золотникової гільзи. Розмір проходу поперечного перерізу тобто по зміщенню золотника

визначається швидкість руху гідромотора. Для поліпшення характеристик даного типу приводу останнім часом широко застосовується привід з пропорційно-дросельною заслінкою.

У ПР використовуються електрогідролічні приводи об'ємного регулювання які мають кращі енергетичні та навантажувальні характеристики, що окупає їх більш високу вартість. Такі відведення перспективні в основному для роботів з великою і надвеликою вантажопідйомністю.

Витрата рідини в гідроциліндрі визначається як добуток швидкості руху штока V на площу поршня $S(Q = VS)$, для запобігання коливань штока його довжина l не повинна перевищувати 18-20 діаметрів поршня. Напрямок руху поршня залежить від того, подається робоча рідина в штокову або поршневу порожнину. Сила F на шток залежить від різниці тисків в порожнинах поршня P_1 порожнині штока P_2 :

$$F = SP_1 - (S - s)P_2$$

де S - площа поршня, s - площа штока.

При однаковому тиску в обох порожнинах поршень гідроциліндра буде рухатися вправо, виштовхуючи робоче тіло зі штокової порожнини, так як площа поперечного перерізу поршня більше, ніж різниця площ поперечного перерізу поршневої і штокової. Промислові роботи також використовують неповні поворотні-лопатеві двигуни з діапазоном кутів повороту, наприклад, до 270° . Вони здатні підводити безпосередньо до ланки маніпулятора без проміжних передач.

Штучний м'яз або пневмом'яз у робототехніці - це пристрій, який моделює рухи та дії м'язів у живих організмах. Вони використовуються в робототехніці для надання роботам більш натуральної і ефективної здатності до руху та взаємодії з оточуючим середовищем. Ці штучні м'язи можуть бути приведені в дію за допомогою повітряного тиску або інших методів, що дозволяє їм згинаються, розтягуватися та виконувати різні рухи, схожі на дії м'язів у людини

або тварини. Вони широко використовуються в робототехніці для створення біомеханічних роботів, протезів і інших систем, які потребують подібних функціональних можливостей.

Контрольні питання:

1. У чому переваги пневмоприводу?
2. Принцип дії електроклапану прямого типу?
3. Що таке «штучний м'яз»?
4. Які пристрої призначені для зміни напрямку руху гідроприводу?

ЛЕКЦІЯ 4.

Електричні приводи робототехнічних систем.

Для плавного переміщення ланок робота найбільш зручні в експлуатації електроприводи. Вони компактні, швидкохідні, регулюються в широких межах, легко стабілізуються, мають хороші характеристики. Серед недоліків можна відзначити залежність швидкості від навантаження, необхідність проміжних передач від валу двигуна до ланки робота.

У приводі приводу використовуються різні типи електродвигунів (рис. 4.10).

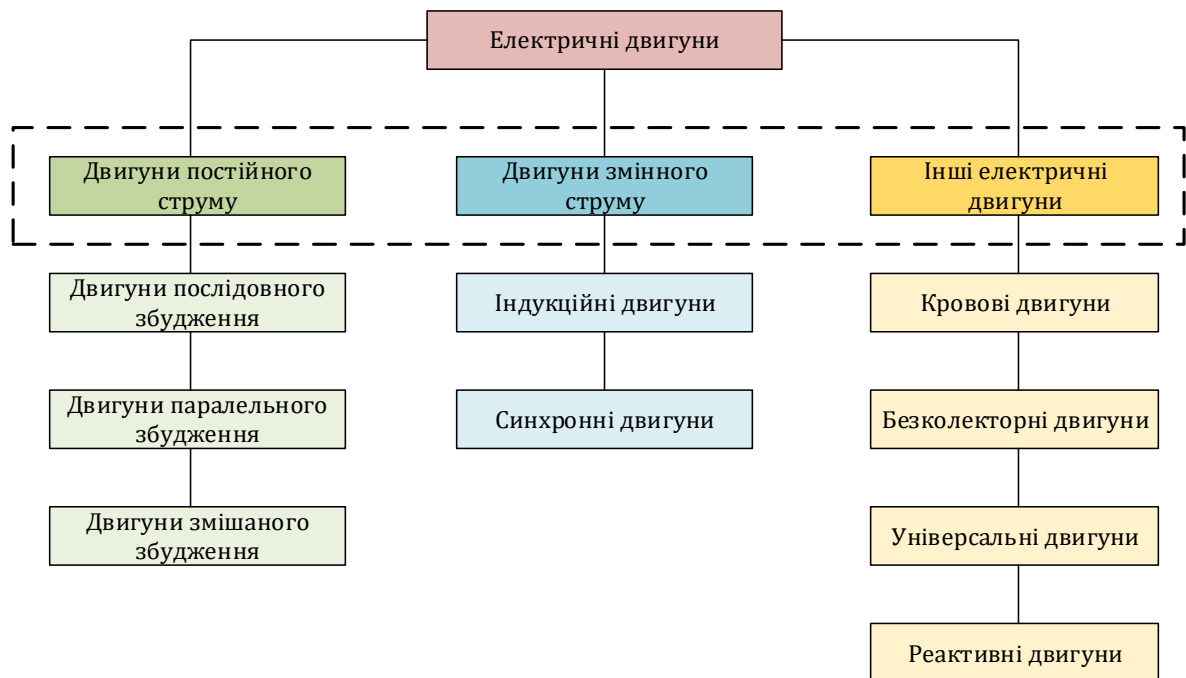


Рис. 4.10 Класифікація електродвигунів.

Двигуни постійного струму діляться на двигуни з електромагнітним збудженням і з зі збудженням від постійних магнітів. Електромагнітне збудження може бути послідовне, паралельне або змішане. Роботи вимагають регулювання швидкості обертання в широкому діапазоні, і виконується вона по-різному. Найбільш перспективними в робототехніці є двигуни постійного струму зі збудженням від постійних магнітів. Вони характеризуються меншою інерцією

і більш високою ефективністю. Також електродвигуни можна обіграти колекторами і безконтактними. Останні більш надійні за рахунок відсутності щіток, що труться об колектор.

На рисунку 4.11 приведено схему керування швидкістю обертання електричного двигуна із паралельним збудженням. Із формули $n = \frac{U - I_a r_a}{c \cdot \Phi}$, враховуючи, що спад напруги якоря $I_a r_a$ - мала величина, витікає, що число обертів вала двигуна слабо залежить від струму якоря, тобто величини навантаження. Враховуючи, що $M = k \cdot I_a \cdot \Phi \Rightarrow M = f(I_a)$ - пряма лінія. Частоту обертів регулюють зміною напруги в колі збудження двигуна.

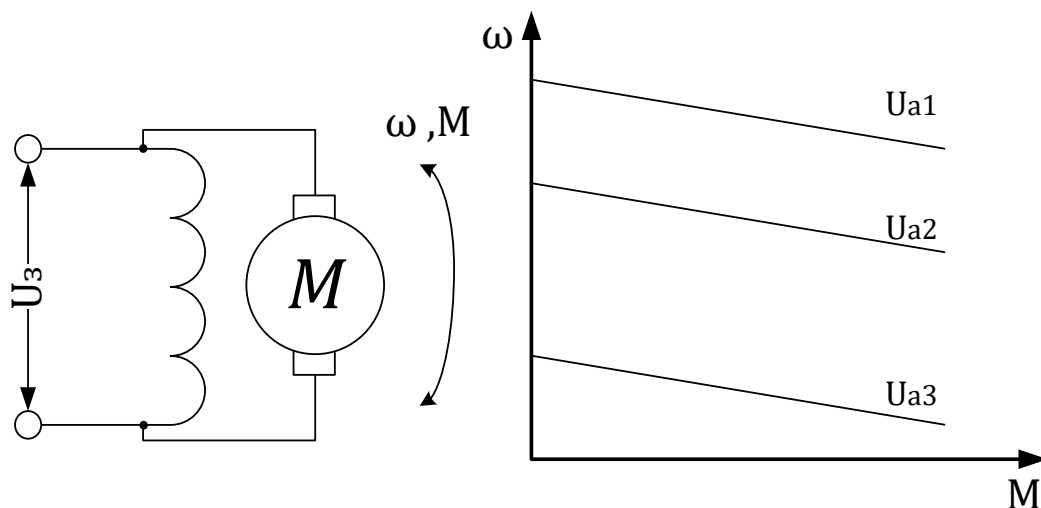


Рис. 4.11. Електродвигун з паралельним збудженням зміною напруги в обмотці збудження.

Двигуни зі збудженням від постійних магнітів (рис. 4.11) мають обмотку на обертовому роторі (якорі), на яку подається напруга. Навколо обмотки утворюється магнітне поле, яке взаємодіє з магнітним полем постійного магніту на статорі. Ротор обертається так, щоб його магнітний потік збігався з напрямком магнітного потоку Струм статора за інерцією проходить положення рівноваги і починає обертатися щодо статора. Швидкість обертання постійного струму ЗД із збудженням від постійних магнітів регулюється зміною напруги в ланцюзі якоря при постійному потоці випромінювання. За рахунок досить високого коефіцієнта сили постійних магнітів вдається значно збільшити

потужність мотора аж до створення двигунів високого моменту. Це дуже важливо для їх застосування в робототехніці. Розставляючи полюси або дискові якоря, можна значно знизити інерцію двигуна і повісити його роботу.

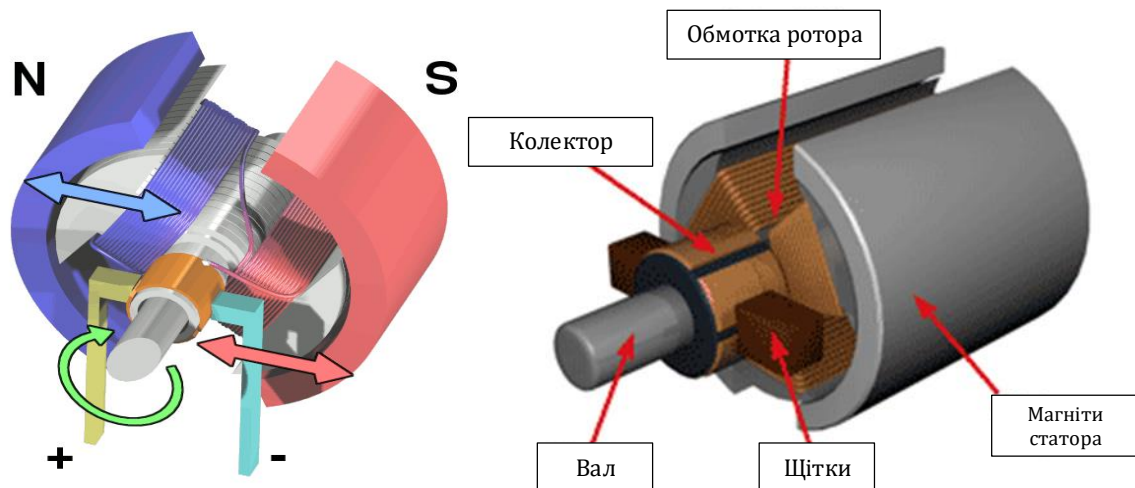


Рис. 4.12. Електродвигун зі збудженням від постійних магнітів.

Існують різні принципи керування електродвигунами. Останнім часом найчастіше використовується керування тиристорами за допомогою вентильних (тиристорних) перетворювачів. Тиристор це керованим напівпровідниковий діод. Використання вентильних перетворювачів для керування швидкістю і реверсом електродвигунів стоячим струмом призвело до створення безконтактних двигунів. Замість колектора з щітками використовується напівпровідникова схема.

Безконтактні (або вентильні) двигуни постійного струму називаються електричними машинами, де функції колектора і щіток з'єднані напівпровідниковими перемикачами керування. Вони позбавлені недоліків, властивих традиційним двигунам постійного струму, які обумовлені наявністю щітково-колекторного вузла.

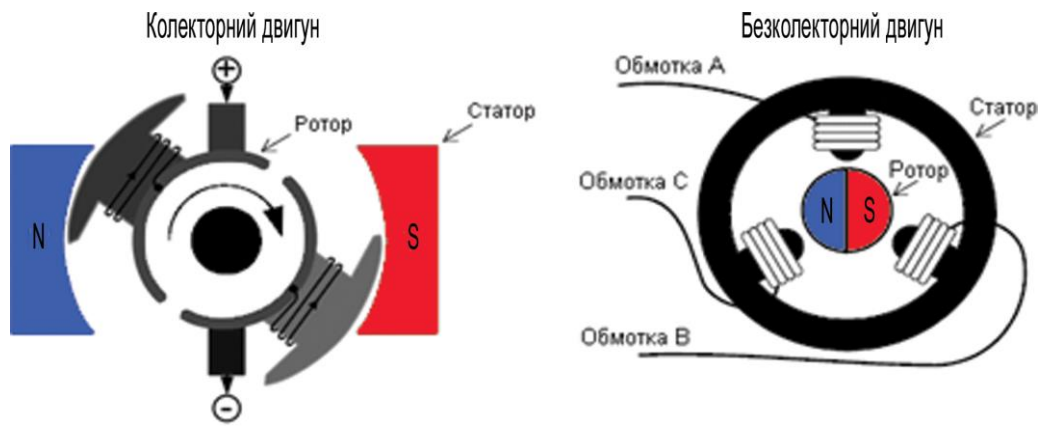


Рисунок 4.13. Відмінності будови колекторних та безколекторних двигунів постійного струму.

Переваги вентильних двигунів:

- висока надійність, тривалий термін служби, не потрібно обслуговування в процесі експлуатації (тому що відсутня іскроутворення колектора і знос щіток, знижується тертя і навантаження на підшипники);

- поліпшені теплотехнічні характеристики (в роторі відсутні елементи на яких виділяється тепло, тому що тепло розсіюється тільки на обмотках статора), малі перетини проводів;

- висока швидкодія через малий момент інерції ротора, стабільна частота обертання, яка не залежить від частоти напруги мережі живлення;

- широкий діапазон регулювання швидкості, лінійних механічних і регулювальних характеристик, рівномірного обертання на низьких швидкостях;

- Безконтактні двигуни постійного струму складаються з трьох основних елементів:

1. електрична машина синхронного типу з m -фазною обмоткою на статорі і ротором у вигляді постійного магніту;

2. датчик положення ротора (ДПР), з'єднаний в одному корпусі з двигуном і призначений для відпрацювання приводів СІ для керування моментами часу і послідовністю перемикання струмів в обмотках статора;

3. електронний комутатор, який перемикає струми в обмотках ротора за допомогою сигналів ДПР.

ДПР визначається їх чутливими елементами, які можуть бути побудовані за використання ЕРС Холла, фотоефекта і т.д.

Принцип роботи такого двигуна показаний на спрощеній схемі (рис. 4.14).

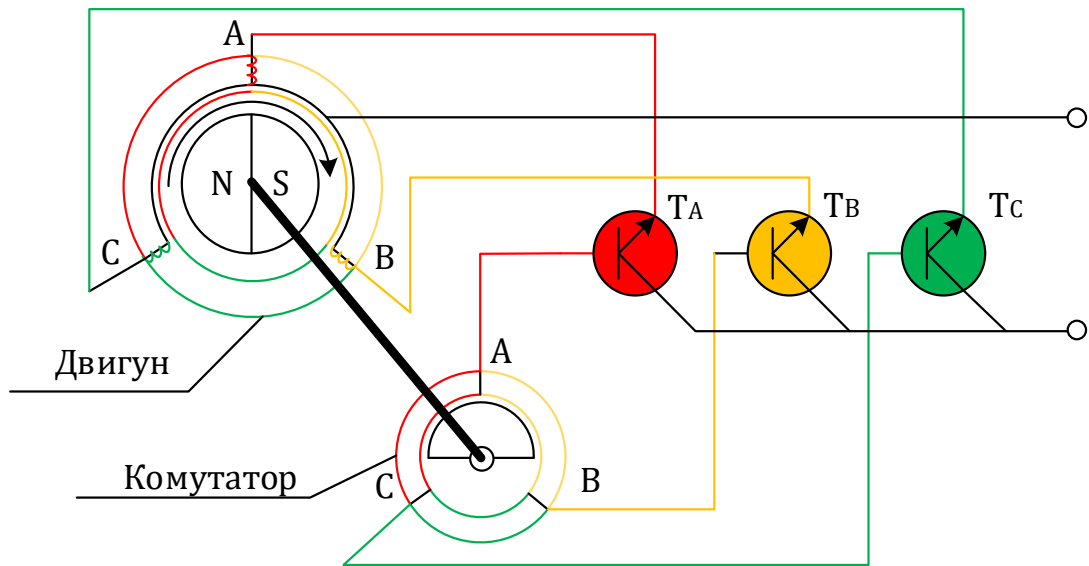


Рис. 4.14. Спрощена схема безконтактного двигуна постійного струму.

Мотор має: три обмотки на статорі, зміщені в просторі на 120° і з'єднані з зіркою, ДПР з одним сигнальним елементом (СЕ) і трьома чутливими елементами (ЧЕ) (їх кількість дорівнює кількості обмоток статора), а також комутатор, встановлюється на трьох транзисторах, що працюють в ключовому режимі.

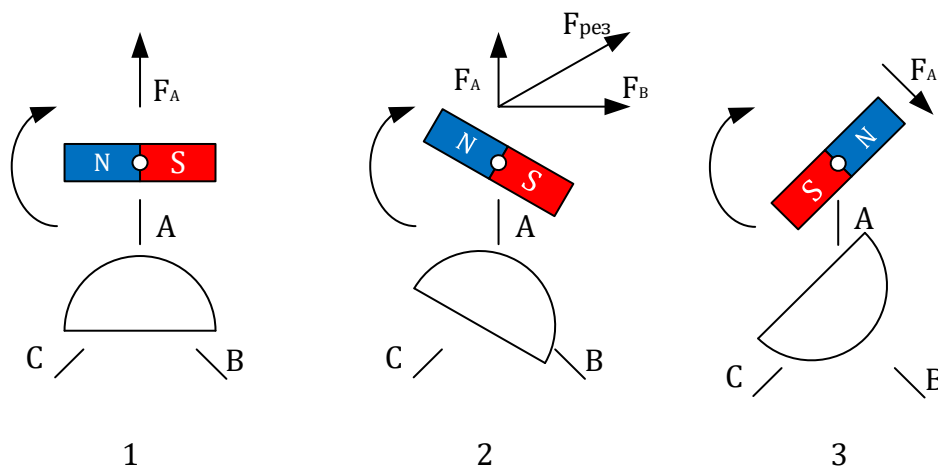


Рис. 4.15. Три такти в роботі безконтактного двигуна постійного струму.

У положенні ротора, показаному на рис. 4.15, сигнальний елемент відкриває транзистор T_A через чутливий елемент. Намагнічуюча сила (НС) обмотки F_A взаємодіє з потоком постійного магніту ротора. Виникає крутний момент та мотор починає обертатися (положення 1 на рис. 4.15). Разом з ротором повертається і сигнальний елемент ДПР. При повороті ротора під кутом трохи більше 30° СЕ впливає відразу на два чутливих елемента А і В. Струм протікає по обох обмотках А і В і виникає результуюча сила F_{AB} , повернута на 60° в порівнянні з першим положенням (положення 2, рис. 4.15). Ця сила продовжує взаємодіяти з полем постійного магніту і двигун розвиває крутний момент. Коли кут повороту стане трохи більше 90° , транзистор T_A замикається, струм буде проходити тільки через обмотку В. Поле ротора буде взаємодіяти тільки з НС обмотки, однак, що обертається крутний момент все одно буде обертати ротор двигуна в тому ж напрямку (положення 3, рис. 4.15). Зрештою, двигун розвине швидкість, при якій його крутний момент буде врівноважуватися крутним моментом навантаження. Періодичність обертання безконтактних двигунів можна регулювати в широкому діапазоні шляхом зміни амплітуди напруги живлення або робочого циклу (тривалості імпульсу) для широтно-імпульсного методу керування.

Якщо безконтактний двигун мав таку ж кількість обмоток, ЧЕ і транзисторів, як звичайний мотор має колекторні пластини, то за своїми властивостями і характеристиками вони не відрізнялися один від одного. Однак збільшення кількості елементів значно ускладнює конструкцію машини. У реальних двигунах кількість обмоток, а, відповідно, і кількість ПС і транзисторів не перевищує 3...4. Мала кількість обмоток визначає ряд особливостей роботи безконтактного двигуна постійного струму, обумовленого різким рухом статора НС. Це пульсація крутного моменту, пульсація струмів в обмотках статора і сумарний струм двигуна, який пояснюється дискретним харчуванням обмоток (в момент розмикання двох транзисторів споживаний струм в 2 рази в порівнянні з режимом, коли розмикається тільки один транзистор). Але

тиристорне керування використовується і в управлінні приводами колекторів, де вони також мають перевагу перед іншими методами керування.

Перспективним є застосування двигунів змінного струму робототехніці - асинхронних, двофазних (рис. 4.16) і трифазних.

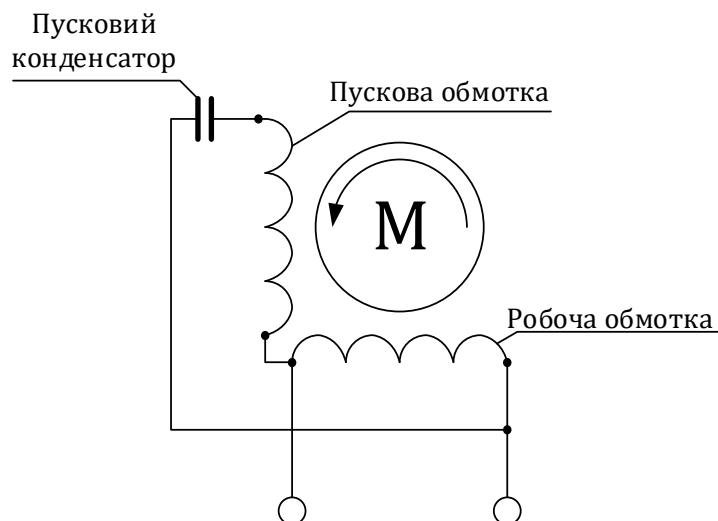


Рис. 4.16. Схема двофазного асинхронного двигуна.

В роботу обмотку (обмотку збудження) двофазного асинхронного двигуна (рис. 4.16) подається від мережі змінний струм. На пускову обмотку (обмотка керування) подається змінна напруга. Вона має фазовий зсув на 90° по відношенню до струму, оскільки підключається через пусковий конденсатор. Також в робочій обмотці може використовуватись ємність. Асинхронні двигуни змінного струму, особливо трифазні, мають меншу масу і габаритні розміри в порівнянні з двигунами постійного струму (при тій же потужності) і мають значно більший ресурс. Однак до сих пір вони рідко використовувалися в робототехніці через труднощі побудови схеми керування в широкому діапазоні, особливо при не великих потужностях, які поширені в робототехніці.

Трифазний електродвигун має ротор з трифазною обмоткою короткозамкнений або фазний ротор. На статорі під кутом 120° розташовані три обмотки. Статор підключається за двома можливими схемами. Схема «Зірка» - Y, тобто коли кінці обмоток з'єднуються в одну спільну точку, або «Трикутник»

- Δ, коли обмотки з'єднуються послідовно одна за одною. (рис 4.17).

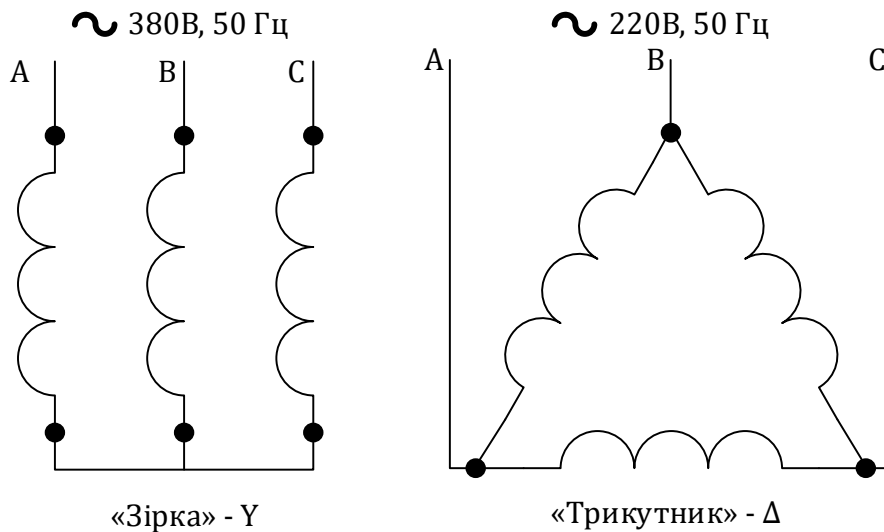


Рисунок 4.17 Типові схеми підключення трифазних двигунів.

При підключенні обмоток статора до змінного трифазного джерела напруги в статорі утворюється обертове магнітне поле, яке змушує ротор обертатися. Такий двигун має низькі обороти які змінюється зі збільшенням навантаження, але після досягнення певного значення двигун зупиняється, а струми що протікають в обмотках дорівнюють пусковим які в 5...7 разів більші за номінальні. Після цього його обмотки починають перегріватися.

Ротор синхронного двигуна виконаний у вигляді постійного магніту, як кроковий двигун, а на статорі розміщені три обмотки, як в асинхронного двигуна. Швидкість обертання синхронного двигуна залежить тільки від кількості пар полюсів обмотки статора і частоти змінної напруги.

Інколи у синхронних двигунів замість постійних магнітів в обмотку ротора подають постійний струм від незалежного джерела струму, але така схема досить складна для використання в робототехнічних системах та використовується рідко.

Лінійний асинхронний двигун (ЛАД) – це, як правило асинхронний двигун з масивним ротором – бігуном, який може бути феромагнітним або немагнітним.

ЛАД можна подумки представити як розгортку АД циліндричного

виконання У випадку немагнітного бігуна статор повинен мати двосторонній магнітопровід, який може бути обмотаний з обох або тільки з однієї сторони (рис. 4.18).

Статор ЛАД утворює біжне електромагнітне поле, яке взаємодіючи з вихровими струмами бігуна, утворює тягове зусилля F , яке спричиняє поступальний рух бігуна за полем. Звичайно довжина бігуна більша від довжини статора, або навпаки, з таким розрахунком, щоби тягове зусилля двигуна в межах ходу бігуна було постійним. Якщо масив, в якому утворюються вихрові струми, закріпити, то поступальний рух буде виконувати магнітопровід з обмоткою.

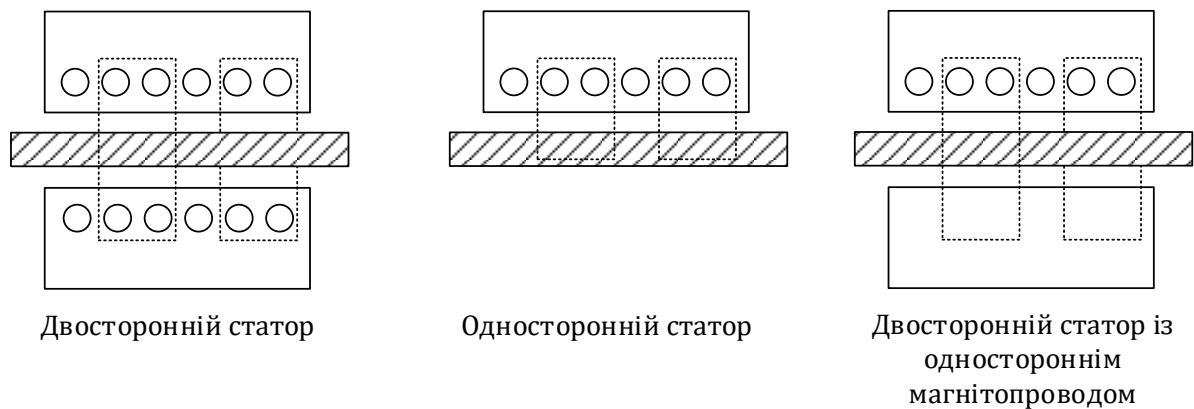


Рисунок 4.18 – Основні конструкції лінійних електродвигунів.

Основною особливістю фізичних явищ в ЛАД є наявність кінцевих ефектів, які виникають внаслідок розриву магнітного кола машини на її кінцях. Магнітні провідності крайніх секцій обмотки менші ніж середніх. Обмотка машини стає якби несиметричною, і як в машині крім прямобіжної основної хвилі появляються додаткові біжні хвилі поля, які можуть істотно зменшити її тягове зусилля.

Крокові двигуни – безщіткові двигуни постійного струму, які перетворюють електричні імпульси напруги керування в дискретні кутові або лінійні переміщення ротора з можливою його фіксацією в потрібних положеннях. Кут повороту ротора визначається числом імпульсів, які подані на драйвер, немає необхідності у зворотному зв'язку, а швидкість пропорційна частоті вхідних

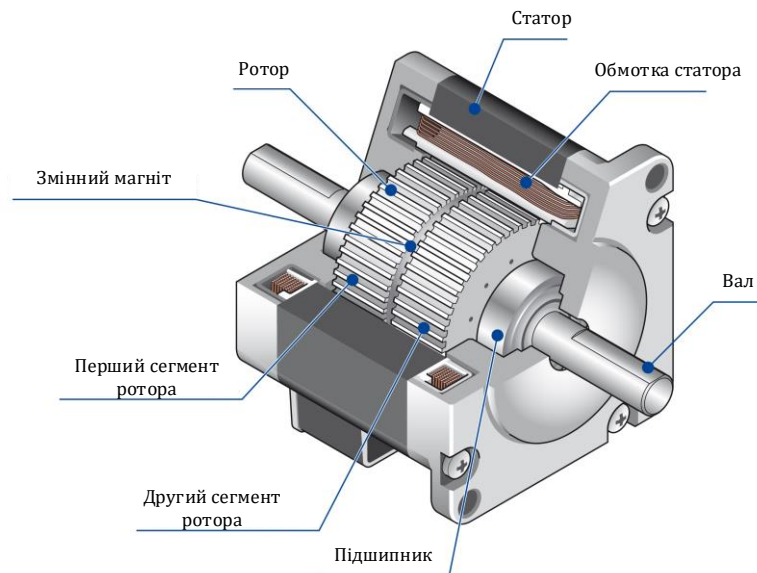


Рисунок 4.20 – Будова крокових двигунів.

Через те, що повний оберт валу розділяється на окремі дискретні сегменти, кроковий двигун не рухається плавно. Він рухається кроками і здійснює переходи між інтервалами, що призводить до того, що робота крокового двигуна супроводжується характерним звуком і вібрацією.

В сучасній робототехніці знайшли широке застосування так звані електронні актуатори або як їх частіше називають - сервоприводи. Це є поєднання електричних двигунів різних типів (частіше за все колекторних постійного струму) із механічною передачею. Головно відмінність від повноцінного двигуна полягає у тому, що задача актуатора повертатись на певний кут, частіше всього 90, 180, 270 градусів, тобто обмеження повороту, і при цьому можна досягти великих значень моментів за рахунок передатної ланки механічного редуктора.

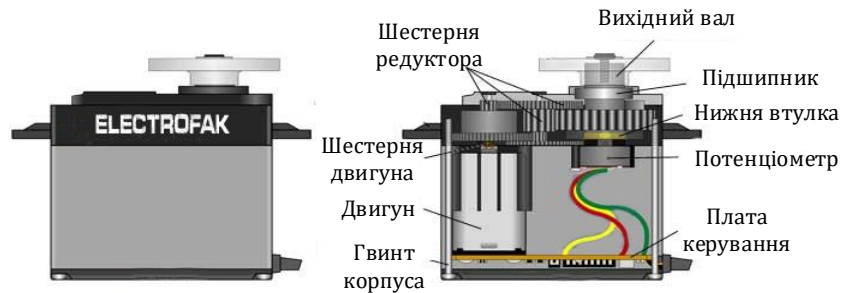


Рисунок 4.21 Загальна будова сервоприводів.

Типи сервоприводів є дуже різноманітні. Від невеликих для навчальних або розважальних проектів (рис 4.21), до промислового призначення.

Останнім часом більшість електродвигунів інтегруються із системою керування, формуючи комплектний електропривод, що забезпечує підтримку постійної швидкості при змінних навантаженнях і постійного крутного моменту при зміні швидкості, перехідні процеси без коливань швидкості і струму, висока точність відпрацювання керуючих сигналів, фіксація вала електродвигуна магнітним гальмом при відключенні живлення. Комплектні електроприводи діляться на розімкнені та слідкуючі. Розімкнені виконавчі механізми складаються з блоку живлення, електронного комутатора і двигуна без зворотного зв'язку). Слідкуючі приводи містять пристрій стеження, підсилювач, датчики зворотного зв'язку, блок живлення і силовий двигун.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ:

1. Які типи збудження мають виконавчі двигуни постійного струму?
2. Які типи двигунів змінного струму існують? В чому полягає їх відмінність?
3. Які типи крокових двигунів використовуються в промислових роботах?
4. В чому відмінність електронного актуатора від електроприводу?

ЛЕКЦІЯ 5.

Системи управління кроковими двигунами.

Крокові двигуни використовуються в верстатах з ЧПУ, 2D/3D-принтерах, жорстких дисках, сканерах, плоттерах, PTZ-камерах, радіолокаційних антенах, турелях, лінійних приводах, стрілочних пристроях (аналогових годинниках) та інше.

Крокові двигуни мають одну проблему. Через високі моменти інерції навантаження крокові двигуни можуть збиватися з кроків і не відпрацьовувати команди. Щоб мінімізувати втрати ступенів, вал крокового двигуна повинен обертатися **плавно**. Найпростіше використовувати **трапецієподібні** профілі руху.

Однофазне управління кроковим двигуном.

Для початку розглянемо на уніполярний кроковий двигун, завдяки простоті управління. У такому двигуні струм в обмотці завжди тече в одному напрямку. Це спрощує метод управління, на відміну від біполярного, де управління повинно забезпечувати зміну полярності котушок крокового двигуна шляхом зміни напрямку струму через обмотку.

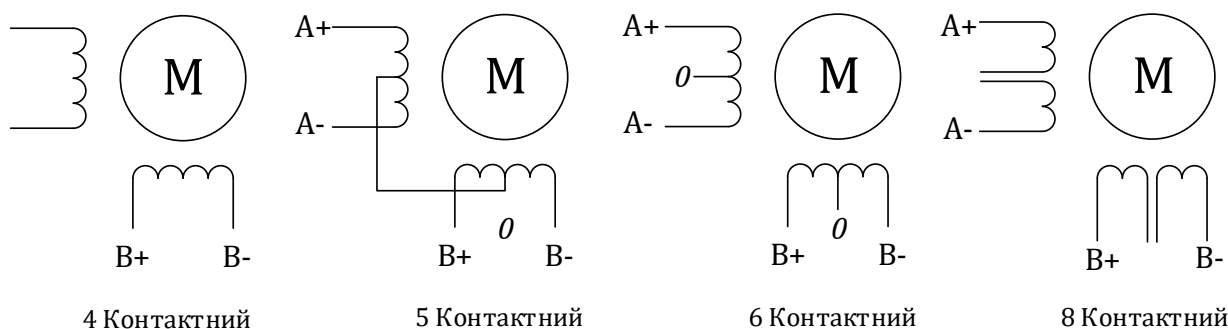


Рисунок 5.1 Типи з'єднання обмоток крокових двигунів.

КД мають 4,5,6 або 8 клем обмоток (рис 5.1). При підключенні до модуля

управління КД в кожному випадку повинні використовуватися певні контакти. У чотирьохконтактних КД задіяні всі чотири контакти. П'ятиконтактна КД мають загальну нейтральну точку. У шести контактних виводи нейтральної точки не використовуються. У восьмиконтактних КД обмотки з'єднані послідовно.

Двох перемикачів вистачить, щоб побудувати простий драйвер крокового двигуна (рис 5.2). Для прикладу використовуємо 6-провідний уніполярний двигун. Також можна сказати, що мотор в даному випадку управляється однополярно, за рахунок використання середньої обмотки котушки і постійної поданої напруги на неї.

Перемикачі S1, S2, S1, S2, S1, S2... пропускають напругу по чергово. На рис 5.2 зазначено важливий принцип управління: обидві обмотки не можуть житися від однієї пари одночасно. Кожна зміна перемикача повертає ротор на один крок. Чим раніше ми почнемо перемикачі послідовно S1, S2, S1, S2..., тим швидше почне обертатися ротор.

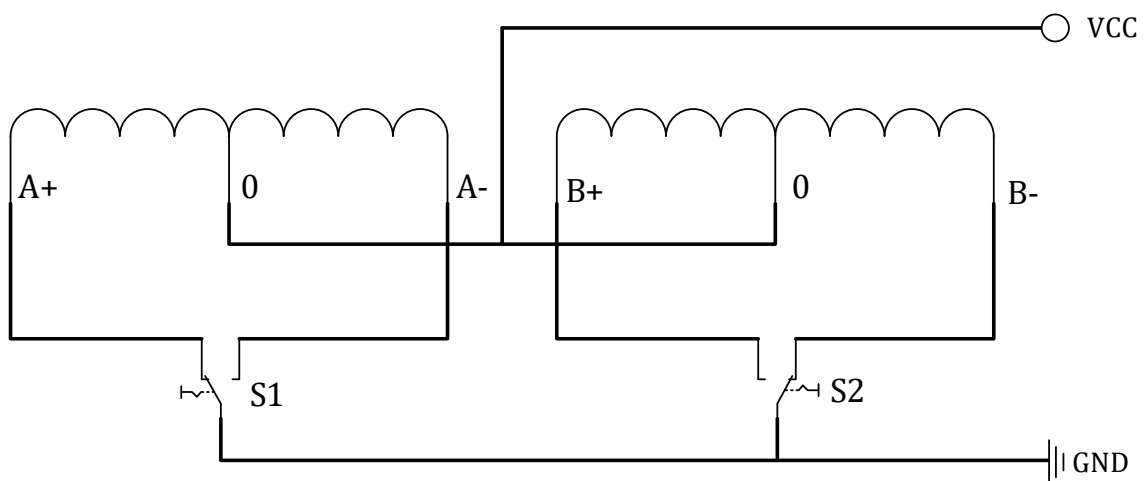


Рисунок 5.2 Схема підключення уніполярного 6 контактного крокового двигуна.

Швидкість обертання КД залежить не від величини напруги, а від швидкості, з якою живлення підключається до окремих обмоток. Щоб досягти повного обертання ротора при 200-кроковому двигуні, потрібно 100 разів змінити

положення кожного перемикача, тобто виконати до 200 послідовностей для двох перемикачів. Це вже говорить про те, що крокові двигуни не можуть працювати на високих оборотах. Звідси випливає, що крокові двигуни можна назвати «цифровими двигунами», оскільки перемикачі повинні перемикатися у відповідній послідовності для обертання ротора.

У цьому прикладі послідовність перемикання також визначає напрямок обертання крокового двигуна. Коли ми змінюємо послідовність перемикачів, ми також змінюємо напрямок обертання, наприклад, S2, S1, S2, S1, S2, S1... ліворуч, S1, S2, S1, S2, S1, S2... Праворуч. У цьому прикладі перемикачі завжди подають живлення на дві з чотирьох обмоток крокового двигуна в даний момент. Але використання трипозиційних перемикачів відкриває набагато більше можливостей. Завдяки трьохпозиційним перемикачам вдається реалізувати, наприклад, напівступінчасте управління, завдяки різноманітності перемикачів. Дві, одна або жодна з обмоток можуть перебувати під напругою одночасно.

На практиці замість перемикачів використовуються біполярні транзистори, (рис 5.3) або драйвери на базі MOSFET-транзисторів через здатність передавати більший струм, а також можливість їх перевантаження. Транзистор тут виконує роль перемикача, він або закритий, або повністю відкритий.

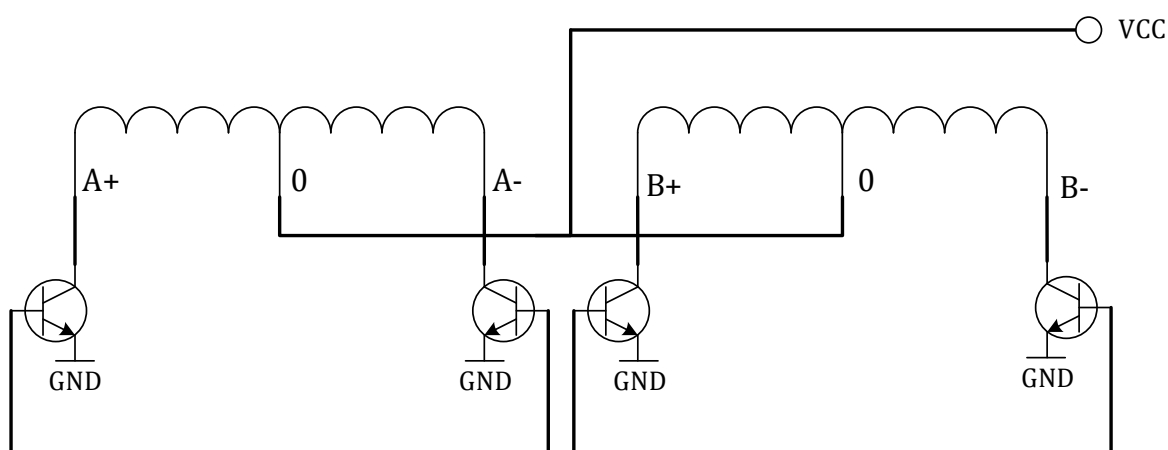


Рисунок 5.3. Спрощена схема управління уніполярним кроковим двигуном на основі транзисторів.

Для того щоб управляти таким двигуном, необхідно забезпечити відповідну послідовність імпульсів. Наприклад, одночасно подається напруга тільки на одну з чотирьох обмоток крокового двигуна (це свого роду хвильове управління). На кожен цикл живлення подається на одну з чотирьох котушок уніполярного крокового двигуна. Його обертання буде виглядати як показано на рис 5.4.

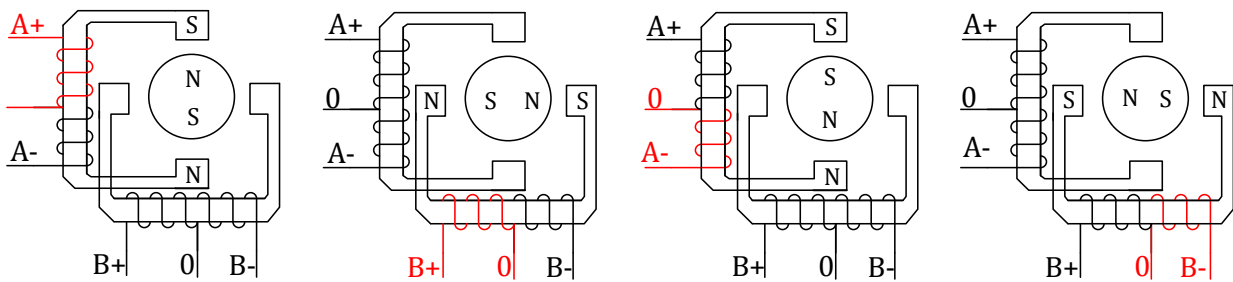


Рисунок 5.4 - Обертання уніполярного крокового двигуна в послідовних тактах хвильового керування.

Послідовність імпульсів A+, B+, A-, B обертає двигун в одному напрямку. Зміна полюсів статора (N, S) полягає в живленні відповідної котушки (A+ або A-).

Керуюча послідовність A+, B+, A-, B- повторюється кожні чотири імпульси тактової частоти. Такий тип управління називається однофазним або хвильовим. Це повний етап керування, оскільки двигун виконує один повний такт (крок) з одним імпульсом генератора.

Найпростіший спосіб змінити напрямок обертання КД це поміняти місцями одну пару виводів котушки (поміняти місцями, наприклад, B+ з B- і B- на B+), потім дати послідовність імпульсів A+, B, A, B+, вона обертає двигун у зворотному напрямку. Управління напрямком обертання реалізовано в деяких контролерах крокових двигунів. Найпростіший спосіб змінити послідовність імпульсів (рис 5.5) - це використовувати, наприклад, реле.

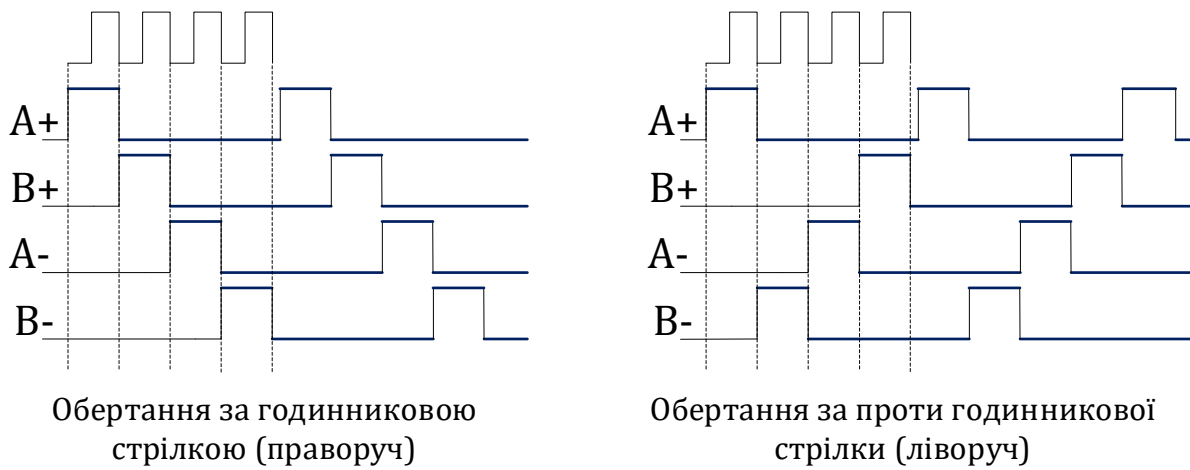


Рисунок 5.5 Осцилограма (однофазна) послідовність імпульсів драйвера.

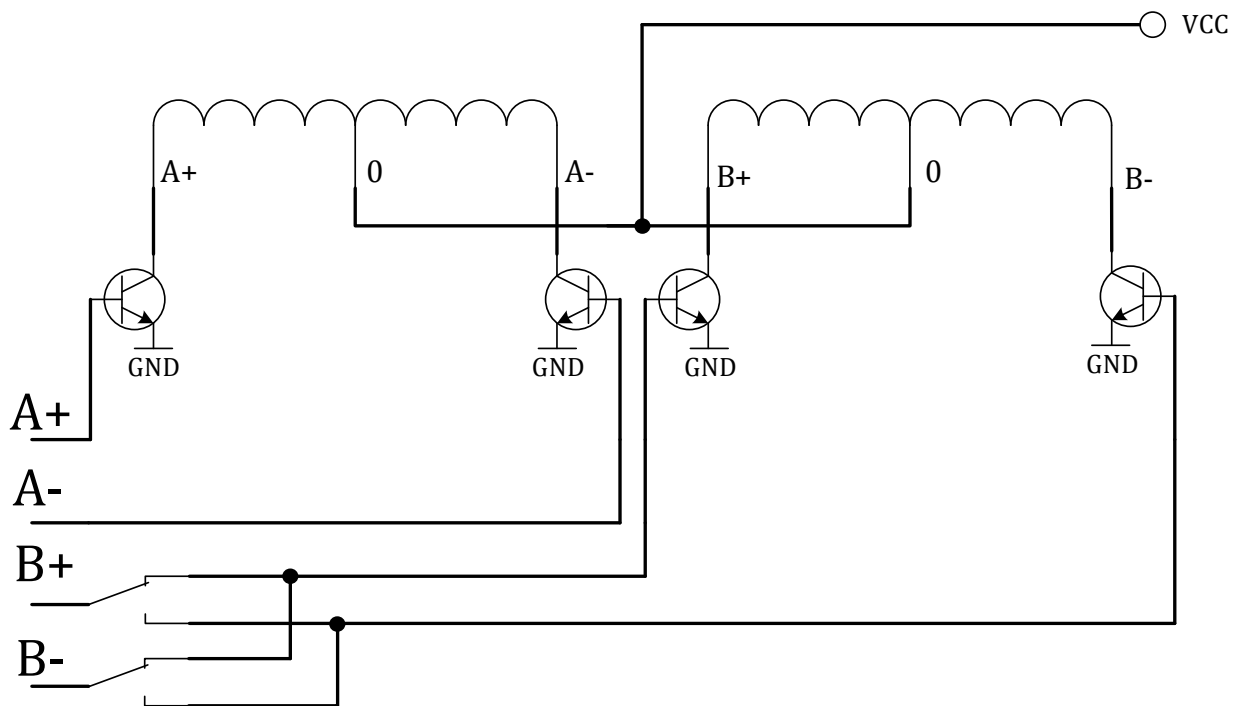


Рисунок 5.6 Спрощена схема однофазного (хвильового) регулятора зі зміною напрямку обертання.

Безперечною перевагою уніполярних крокових двигунів є простота їх експлуатації. Це пов'язано з контролем хвиль, тобто за один раз використовується тільки половина обмотки, одна з них завжди не використовується. Таким чином використання лише 1/4 всіх обмоток крокового двигуна значно знижує максимальну продуктивність.

Двофазне управління кроковим двигуном.

Кращою альтернативою однофазному управлінню буде двофазне, при якому працюють дві з чотирьох обмоток крокового двигуна (рис. 5.7). У цьому управлінні ми використовуємо 1/2 всіх обмоток. Тоді мотор стане більш ефективним.

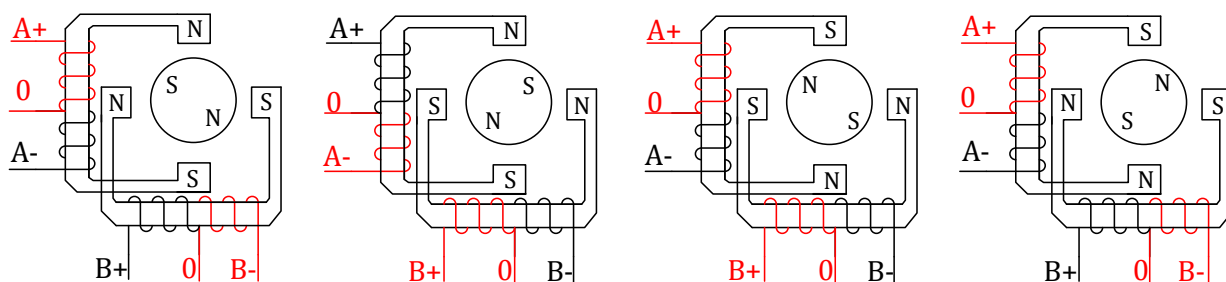


Рисунок 5.7 Обертання двигуна при двофазному повноступінчастому управлінні.

Дві котушки крокового двигуна завжди знаходяться під напругою. Однак слід зазначити, живлення одночасно двох котушок однієї пари недопустиме. При кожному імпульсі від генератора (попередньо) перемикається тільки одна котушка з окремих пар. У першому циклі котушки А і В знаходяться під напругою, у другому котушка А все ще знаходиться під напругою, поки котушка В перемикається на В+, в третьому циклі котушка В+ знаходиться під напругою з другого циклу, а котушка А перемикається на А+ і так далі.

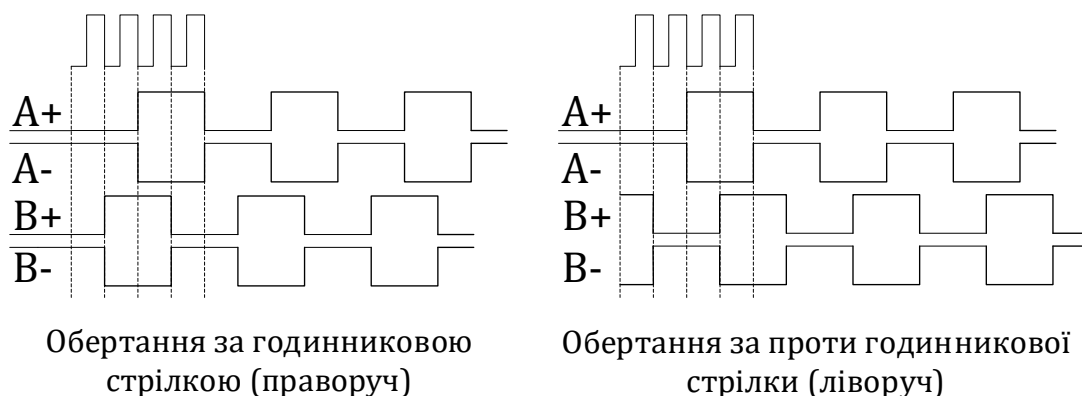


Рисунок 5.6 Двофазна послідовність керуючих імпульсів.

Осцилограми А+ і В+ зміщені одна до одної (дві з чотирьох обмоток завжди

працюють в заданому циклі), а сигнали A+ і B- інвертуються сигналами A+ і B+. Такі осцилограми (зміщення відносно один одного) легко генеруються, наприклад, схемою яка має два D-тригера. Також може використовуватися мікроконтролер. Зміна напрямку обертання в такому контролері, як і в однофазному (хвильовому) управлінні, може бути реалізовано зміною напрямку проводів однієї пари кінців котушки (змінюючи напрямок від A+ до A – і A – до A+). Найчастіше зміна швидкості ґрунтується на зміні логіки послідовності керуючих імпульсів. Ми можемо зробити це, наприклад, за допомогою логічних елементів XOR, які будуть інвертувати сигнали.

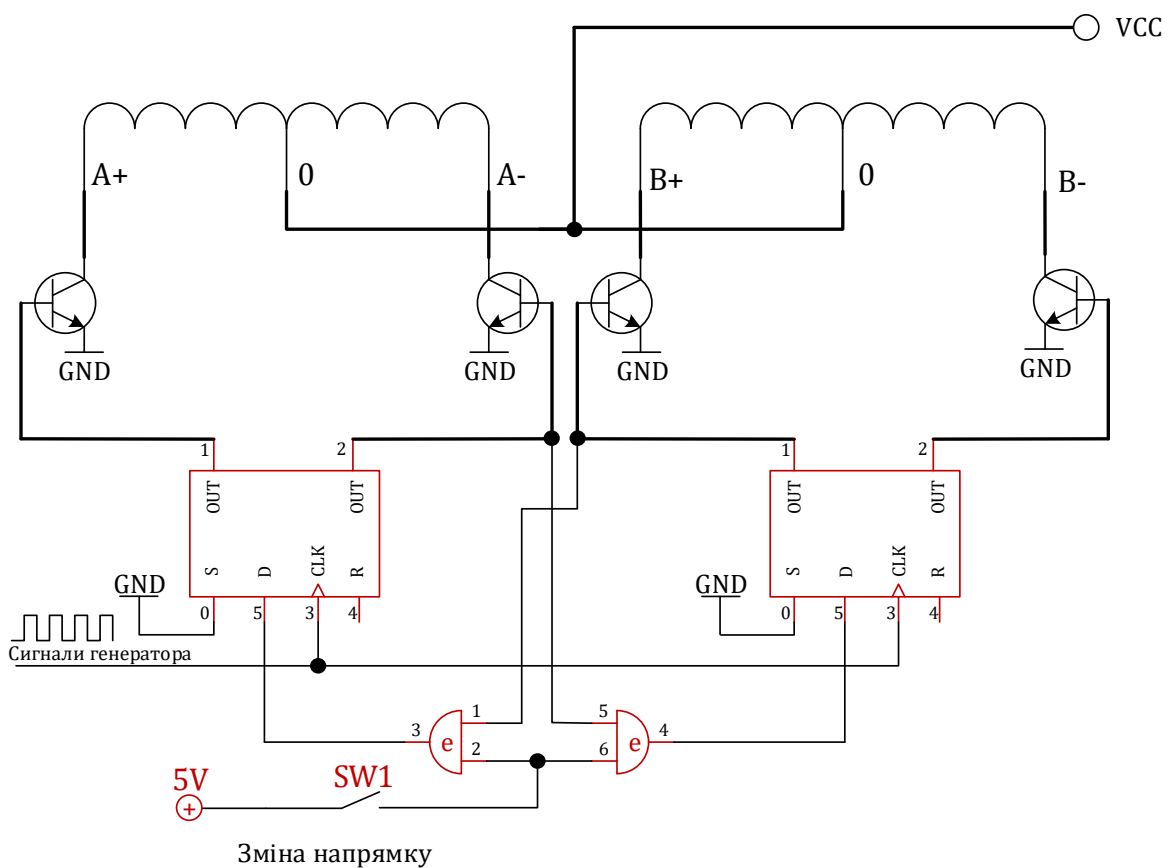


Рисунок 5.7 - Спрощена схема двофазного контролера з реверсивним напрямком, зміщеними D-тригерами та логічними вентилями XOR

Обидва типи управління, представлені вище, однофазний (хвильовий) і двофазний (інвертовані сигнали, керуючі транзисторами), в простіше називаються є уніполярними типами управління, тому що ми використовуємо уніполярні крокові двигуни з додатковими відгалуженнями обмотки. Також в

біполярних крокових двигунах, де працює вся обмотка, ми зустрічаємося з однофазним і двофазним управлінням, де ідея роботи схожа.

Також варто згадати двигуни VR (з реактивним опором). Двигуни VR зазвичай мають три обмотки. Для того, щоб приводити в рух такий двигун, нам потрібно по черзі живити окремі обмотки в послідовності А, В, С, А, В, С... Це змусить двигун обертатися в одному напрямку, при цьому послідовність потужності обмотки А, С, В, А, С, В... змусить його обертатися в протилежну сторону. Найпростіший спосіб змінити напрямок - поміняти місцями кінці двох обмоток крокового двигуна VR, а найпростіше це зробити за допомогою реле.

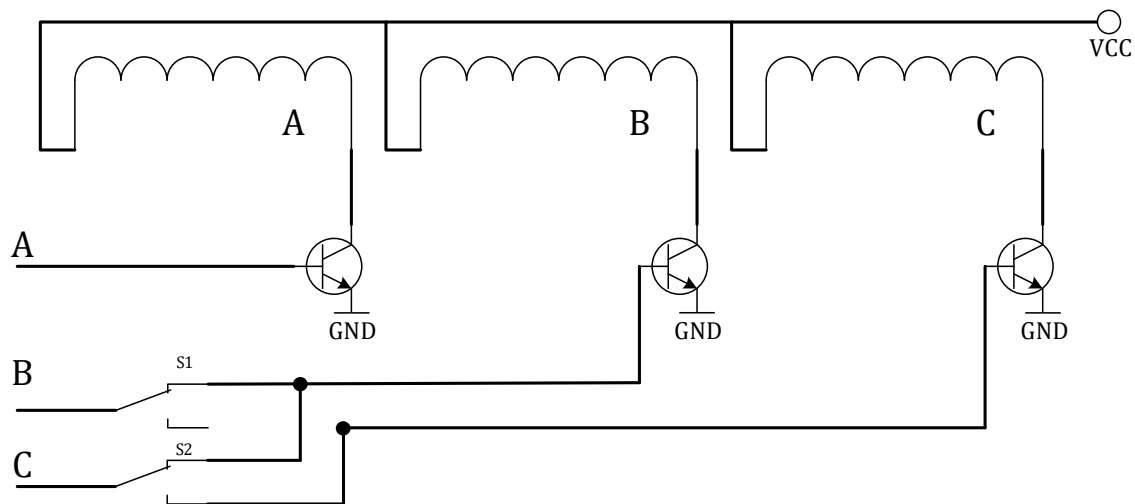


Рисунок 5.8 - Спрощена схема драйвера резистивного крокового двигуна.

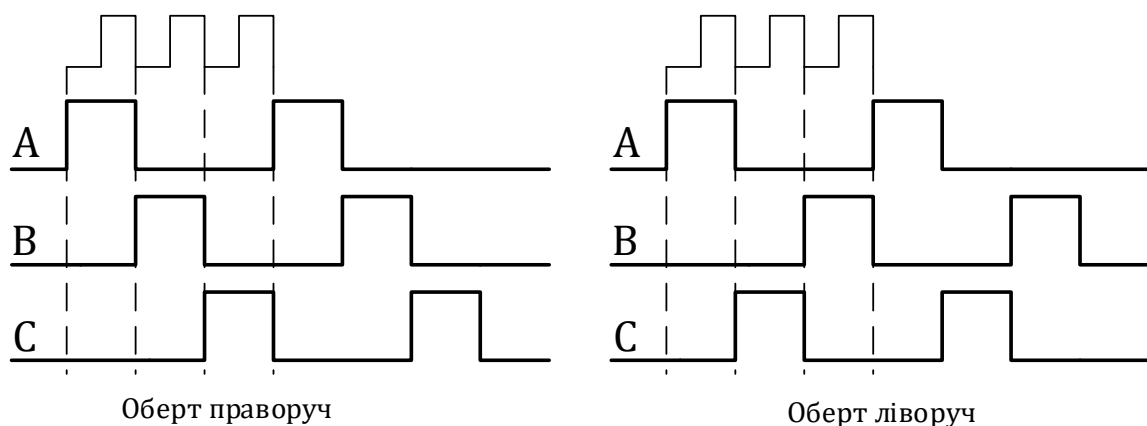


Рисунок 5.9 - Послідовність імпульсів керування резистивним кроковим двигуном.

Послідовність імпульсів драйвера реактивного крокового двигуна дуже схожа на хвильове керування. Біполярне управління дозволяє більш ефективно використовувати кроковий двигун, при якому вся обмотка крокового двигуна завжди працює, що дає набагато кращу продуктивність на низьких і середніх швидкостях. А крутний момент приблизно на 30-40% більше. Але для цього необхідно змінити полярність живлення котушки, змінивши напрямок струму в обмотках (наприклад, помінявши місцями кінці котушок). Для цього використовуються два транзисторних Н моста, які складаються з двох відгалужень, причому кожне відгалуження складається з двох транзисторів (рис 5.10). Найчастіше для побудови такого моста використовуються біполярні транзистори NPN або MOSFET N.

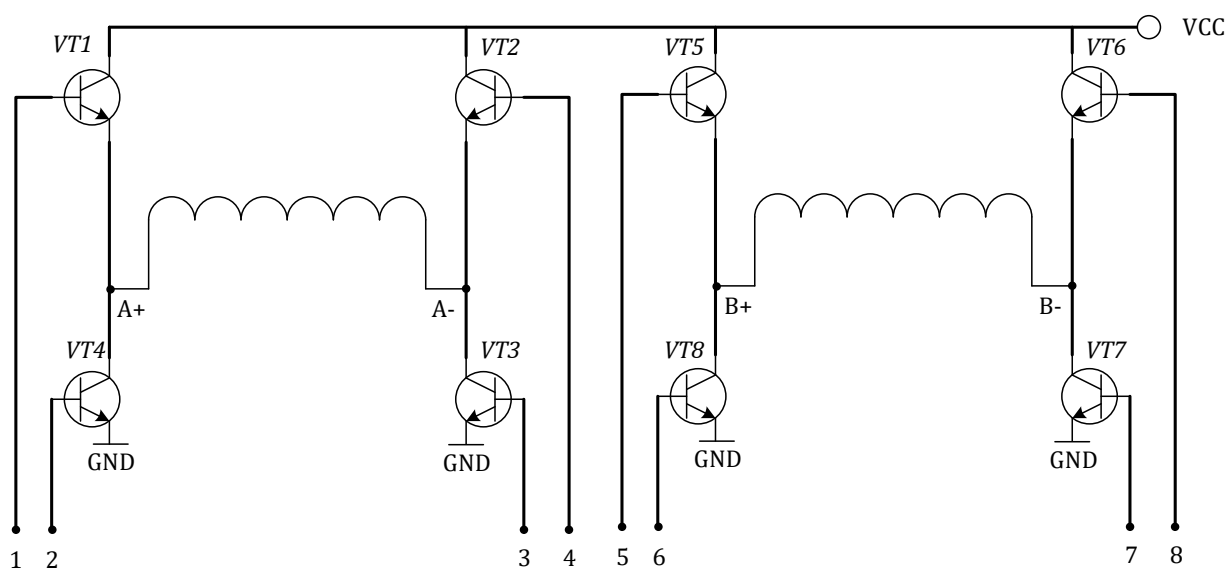


Рисунок 5.10 - Спрощена схема драйвера для біполярних двигунів з транзисторними Н-подібними мостами.

Принцип роботи такого моста заснований на тому, що якщо верхній транзистор проводить в одному відгалуженні, а нижній - в іншому, і навпаки, то струм буде протікати через котушку крокового двигуна. Якщо два верхніх або два нижніх транзистора провести одночасно в двох ніжках одного моста, то струм через котушку протікати не буде. Маніпулюючи транзисторами належним чином, ми отримуємо зміну напрямку струму, що протікає через котушку, і,

таким чином, зміну полярності котушки.

Послідовність імпульсів для живлення котушок ідентична уніполярному двигуну, але в цьому випадку на транзистор припадає не чотири сигнали, а вісім сигналів на вісім транзисторів. Кожним з них потрібно управляти індивідуально, перемикаючи відповідні транзистори в потрібний момент. Струм протікає по котушці при включенні одного верхнього транзистора і одного нижнього транзистора хрест-навхрест, тобто в колі $VT1$ і $VT3$, інші $VT2$ і $VT4$ в котушці A крокового двигуна закриті. Але коли ми вимикаємо $VT1$ і $VT3$ і включаємо $VT2$ і $VT4$, ми змінюємо напрямок струму в котушці.

Транзистори вмикаються за схемою «хрест» у котушках A і B . Напряга живлення котушки виставляється як при уніполярному управлінні, при цьому транзистор «маси» підключається хрест-навхрест до підключеного транзистора верхньої потужності. При необхідності ми можемо змінити швидкість, змінивши управління двома кінцями однієї котушки, що призведе до різної послідовності імпульсів. Найпростішим способом є використання реле, як в уніполярному управлінні, а також можна реверсувати сигнали, які керують транзисторами. По суті, форма сигналу управління транзистором в Н-мосту буде виглядати так, як показано на рис 5.11. Це біполярне однофазне (хвильове) управління.

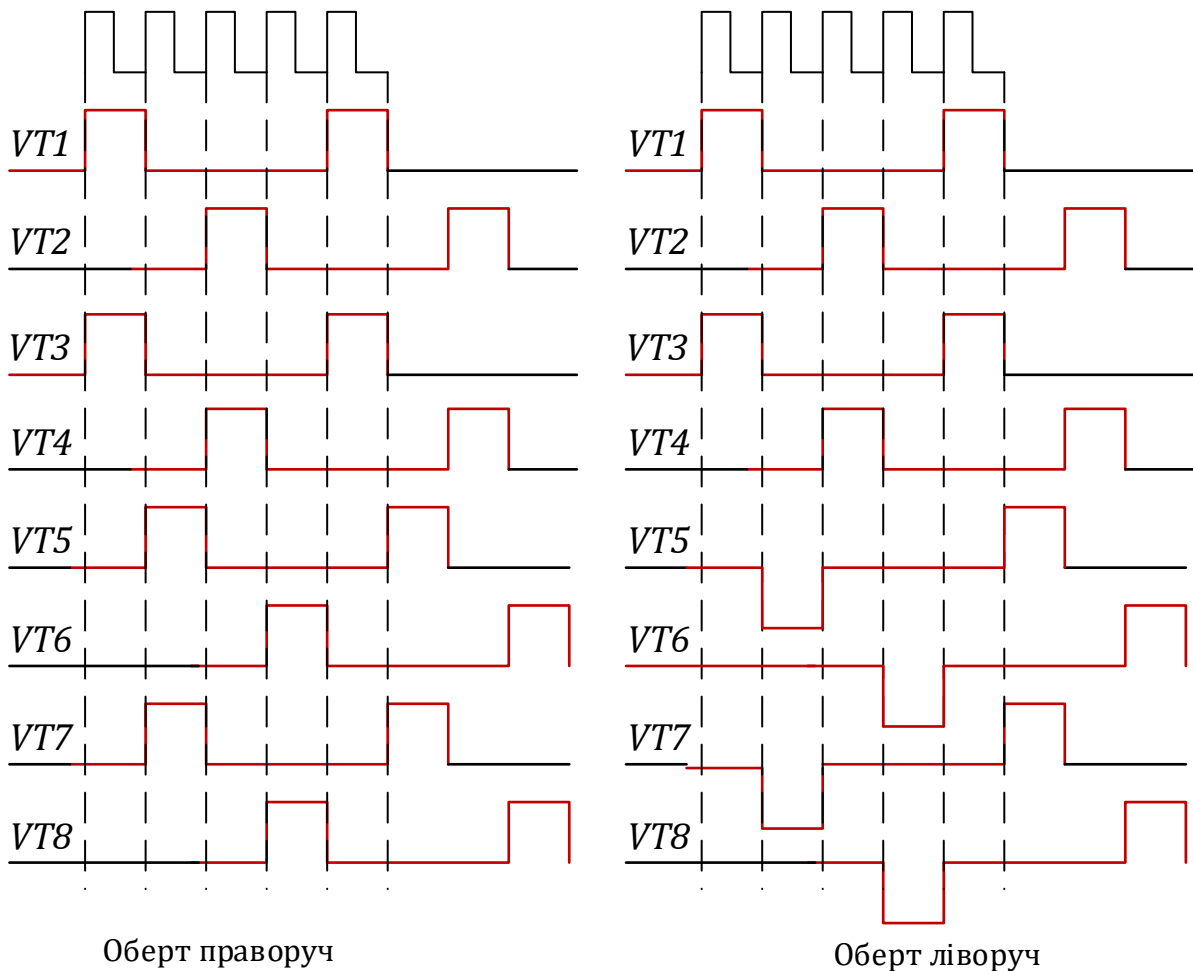


Рисунок 5.11 - Хід послідовності управління транзистором в контролері біполярних хвиль.

Як правило, біполярні крокові двигуни вимагають складної схеми управління. Ця проблема була вирішена з появою спеціальних драйверів КД, які використовуються для генерації відповідної послідовності імпульсів для управління транзисторами в Н-мосту. Ми також можемо використовувати логічні елементи або D-тригери для генерації цієї послідовності, але драйвери, побудовані на мікроконтролерах або інтегральних схемах конкретних додатків.

Найбільшою перевагою управління біполярним кроковим двигуном є добре використовуваний крутний момент, за рахунок того, що вся обмотка знаходиться в поточному стані після отримання імпульсу (протягом одного циклу).

Двигуни ПМ (з постійними магнітами) і НВ (гібридні), незважаючи на різну конструкцію, управляються однаково. Кожен 4-контактний двигун може приводитися в рух тільки біполярним, тоді як 6-контактний уніполярний

кроковий двигун може працювати як біполярний, так і уніполярний.

Мотори з 8 контактами дають набагато більше можливостей, вони можуть працювати як уніполярні, так і біполярні. Крім того, кроковий двигун можна підключати послідовно, коли на нього потрібно подати більшу напругу, але в той же час він буде споживати менше струму, що призведе до меншої потужності на більш високих швидкостях.

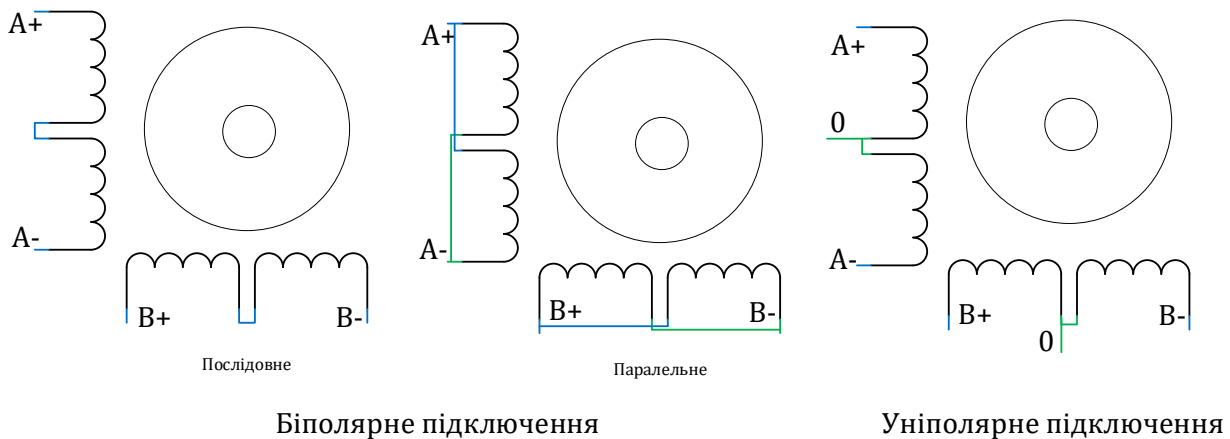


Рисунок 5.12 - Схема послідовного і паралельного підключення 8-контактного крокового двигуна.

Ми також можемо підключити його паралельно і живити від меншої напруги, але з більшим струмом. Це призведе до менших втрат потужності на більш високих швидкостях. На низьких оборотах, як послідовно, так і паралельно, мотор буде мати однаковий крутний момент (потужність).

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ:

1. Що таке уніполярне керування?
2. Що таке біполярне керування?
3. В чому полягає відмінність 4 і 8 контактних двигунів?
4. В чому полягають основні недоліки однофазного керування?
5. Які типи крокових двигунів існують, і в чому їхня основна відмінність?
6. Які основні елементи системи управління кроковими двигунами?
7. Які переваги і недоліки використання крокових двигунів порівняно з іншими типами електродвигунів?

8. Як здійснюється контроль положення і швидкості руху крокового двигуна в системах управління?

ЛЕКЦІЯ 6.

Сенсорні системи робототехніки. Основні типи датчиків.

Сенсорна система людини охоплює датчики зору і слуху, кінестетичні датчики (руху, сили і дотику), датчики смаку і нюху. Ці датчики передають вхідні сигнали в мозок, який використовує цю сенсорну інформацію для побудови власного образу навколишнього середовища і приймає рішення для подальших дій. Аналогічні вимоги справедливі і для роботизованих механізмів. Однак, через складність людського зондування, зондування роботів обмежене меншою кількістю датчиків. Використання датчиків має вирішальне значення для ефективної та точної роботи робота. Датчики роботів загалом можна розділити на: пропріоцептивні датчики, що оцінюють внутрішній стан механізму робота (положення, швидкості та крутні моменти в шарнірах робота); екстероцептивні датчики, що передають контролеру інформацію про середовище робота (датчики сили, тактильності, наближення та відстані, зір робота).

Як правило, датчики перетворюють вимірювану фізичну величину в електричний сигнал, який може бути в цифровій формі оцінений комп'ютером. У робототехніці нас переважно цікавлять такі змінні: положення, швидкість, сила та крутний момент. За допомогою спеціальних перетворювачів ці змінні можуть бути перетворені в електричні сигнали, такі як напруга, струм, опір, ємність або індуктивність. За принципом перетворення датчики можна розділити наступним чином:

- електричні датчики — фізична змінна безпосередньо перетворюється в електричний сигнал; такими датчиками є, наприклад, потенціометри або тензодатчики;
- електромагнітні датчики — використовують магнітне поле для цілей фізичного змінного перетворення; Прикладом може служити тахометр;
- оптичні датчики — використовують світло при перетворенні сигналів; Прикладом такого сенсора є оптичний енкодер.

Датчики наближення

Розглянемо датчики ближнього та ультраближнього поля роботи, які зазвичай виробляють дискретний пороговий сигнал, який виявляє присутність об'єкта в межах заданого простору, наприклад, коли об'єкт захоплений або обхідний. Існує кілька методів зондування роботів у ближньому та ультраближньому полях.

Індуктивні датчики – датчики, засновані на зміні індуктивності при взаємодії з металевим предметом, найбільш широко використовуються в промислових роботах. Принцип роботи цих датчиків можна пояснити на рис. 6.1. З рисунку А - схема індуктивного датчика, який складається з котушки, розміщеної за постійним магнітом в корпусі. При наближенні датчика до феромагнітного матеріалу змінюється розташування силових ліній постійних магнітів (рис. 6.1, Б, В).

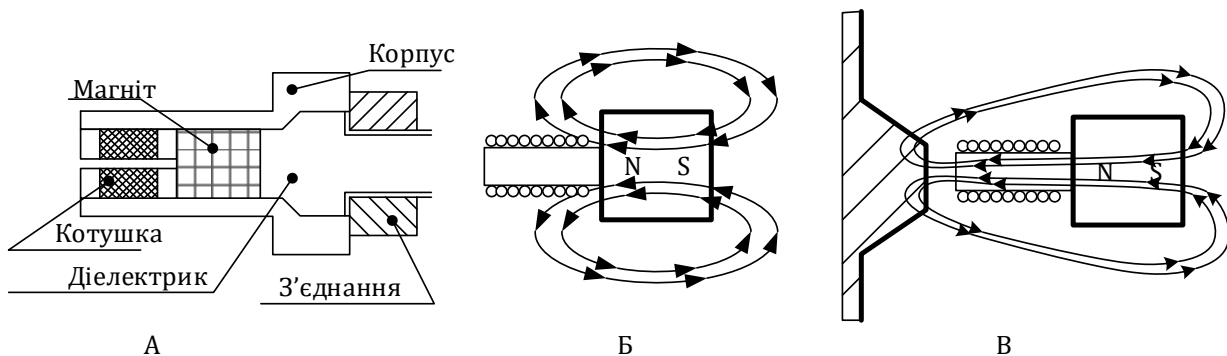


Рисунок 6.1 Індуктивний датчик (А), форма магнітних ліній при відсутності феромагнетика (Б) і при наявності феромагнетика в зоні вимірювання датчика (В)

За відсутності руху силові лінії не змінюються, і тому струм у котушці не індукується. Зміна напруги на виході котушки забезпечує ефективне зондування ближнього поля на відстанях ~ 1 мм (рисунок 6.2). Оскільки для отримання вихідного сигналу на датчику необхідний відносний рух датчика і об'єкта, одним з методів отримання дискретного порогового сигналу є інтеграція вихідного сигналу.

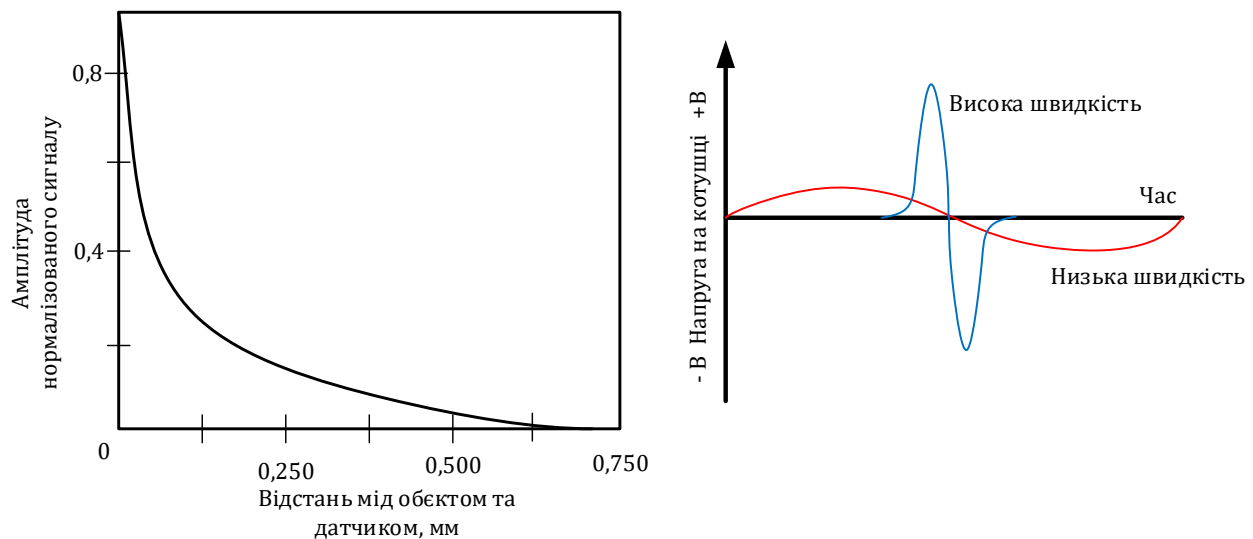


Рисунок 6.2 . Залежність вихідного сигналу індуктивного датчика швидкості.

Пороговий сигнал залишається на нижньому рівні до тих пір, поки значення інтеграла залишається нижче встановленого порогу. При перевищенні порогу сигнал переміщається на верхній рівень, що відповідає наявності об'єкта в зоні вимірювання.

Датчики ефекту Хола.

Ефект Хола пов'язує напругу між двома точками провідника або напівпровідникового матеріалу в магнітному полі, що діє на цей матеріал. Використовувані самі по собі, датчики Хола можуть виявляти тільки намагнічені об'єкти. Однак при використанні спільно з постійним магнітом (рис. 6.3) вони здатні виявляти наявність всіх феромагнітних матеріалів.

Датчики Хола засновані на виникненні сили Лоренца, що діє на заряджену частинку, що рухається в магнітному полі. Ця сила спрямована уздовж осі, перпендикулярної площині, утвореної напрямком руху зарядженої частинки і напрямком поля. Сила Лоренца визначається як $F = q(v \times B)$, де q - заряд; v - вектор швидкості; B - вектор магнітного поля (\times); \times - знак перетину векторів.

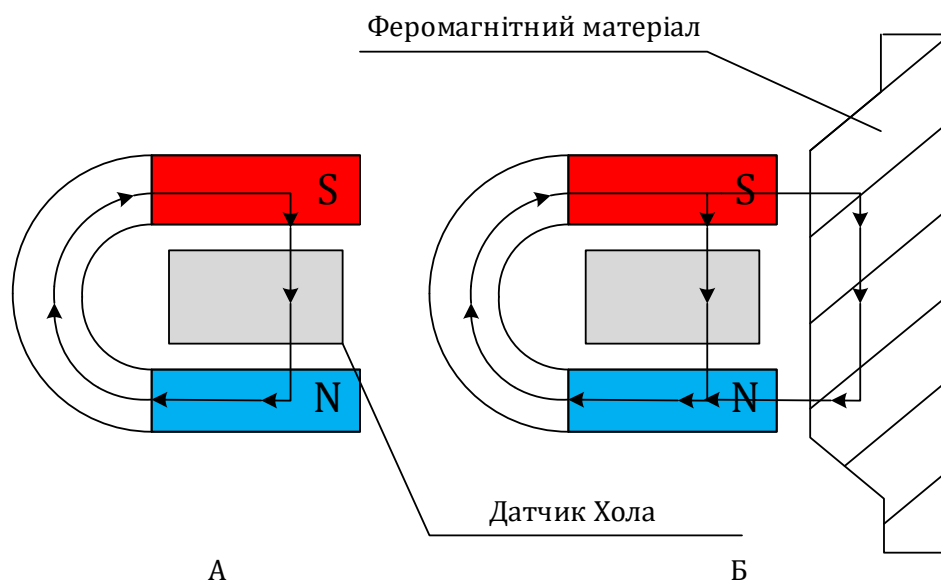


Рисунок 6.3. – Датчик Хола на основі постійних магнітів.

Припустимо, що струм проходить через напівпровідник n -типу, що знаходиться в магнітному полі (рис. 6.4). Оскільки в матеріалах n -типу основними носіями є електрони, а рух діркового струму протилежний потоку електронів, то сила, що діє на рухомі негативно заряджені частинки, має напрямок, показаний на рис. 6.4. Ця сила діє на електрони, які накопичуються на дні матеріалу. При введенні ферромагнетика в зону дії датчика Хола напруженість магнітного поля зростає, а сила Лоренца зменшується. На напівпровіднику відбувається падіння напруги.

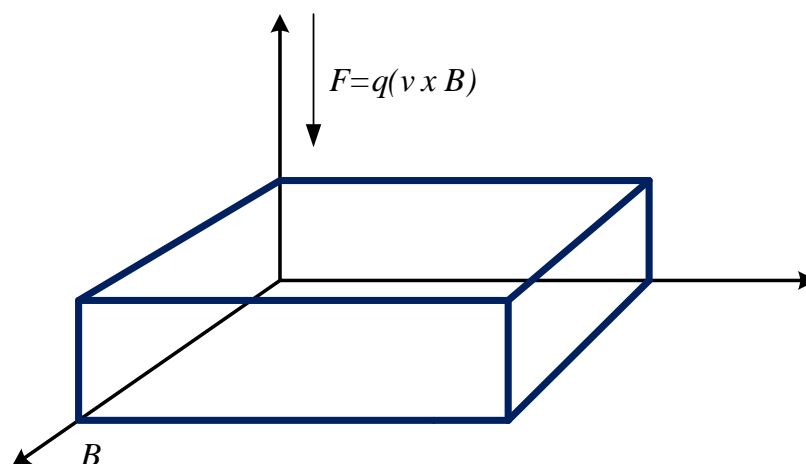


Рисунок 6.4 – Виникнення ефекту Хола.

Дискретний вихідний сигнал, що фіксує наявність об'єкта, реалізується обмежувачем порогу вихідної напруги датчика. В якості чутливого елемента використовується кремній, який має ряд переваг: невеликі розміри, висока чутливість, стійкість до впливу електричних перешкод, можливість використання електронного підсилювача і обробки сигналу безпосередньо на датчику, завдяки чому знижуються габарити і вартість.

Ємнісні датчики

Ємнісні датчики мають здатність виявляти всі тверді та рідкі матеріали. Як зрозуміло з назви, ці датчики засновані на зміні ємності, яка залежить від відстані до поверхні об'єкта в зоні дії чутливого елемента (рис. 6.5).

Існує ряд методів виявлення ближнього поля, заснованих на зміні ємності:

– Конденсатор – це елемент коливального контуру, який коливається тільки в тому випадку, якщо ємність датчика перевищує задане порогове значення. Потім вібрації перетворюються на вихідну напругу, яка вказує на наявність об'єкта в зоні вимірювання. Цей метод забезпечує дискретний вихідний сигнал, перемикання якого залежить від значення заданого порогу;

- ємнісним елементом в ланцюзі, по якому постійно проходить сигнал синусоїдальної частоти. Зміна ємності викликає фазовий зсув між сигналом опорної частоти і сигналом від ємнісного елемента. Фазовий зсув пропорційний зміні ємності і тому може бути використаний для виявлення об'єкта в ближньому полі.

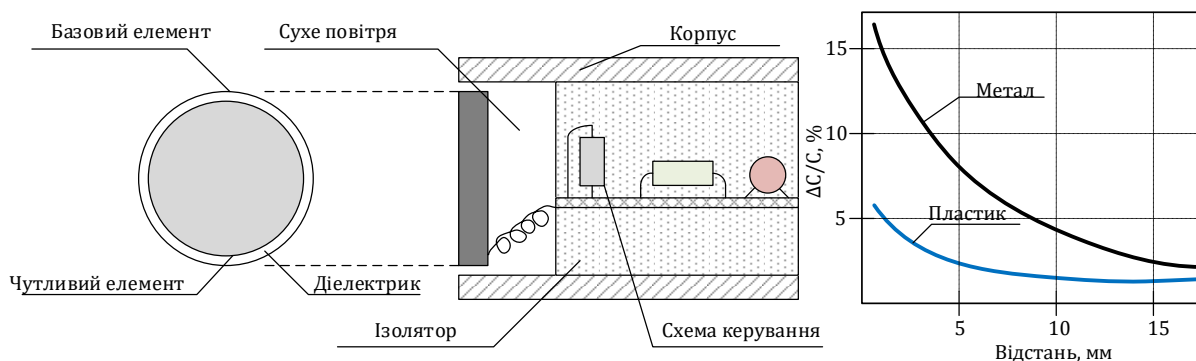


Рисунок 6.5 – Ємнісний датчик наближення та залежність зміни ємності датчика і ближній зоні від відстані.

Форма характеристики залежить від матеріалу об'єкта вимірювання. Зазвичай такі датчики працюють в дискретному пороговому режимі. Зміна ємності вище зазначеного порогу T відповідає наявності об'єкта, а нижче - його відсутності в зоні, встановленій значенням T .

Ультразвукові датчики

Характеристики всіх розглянутих датчиків ближнього поля сильно залежать від матеріалу вимірюваних об'єктів. Ця залежність може бути значно знижена при використанні ультразвукових датчиків (рис. 6.6).

Основним елементом датчика є електроакустичний перетворювач, який найчастіше є п'єзоелектричним керамічним елементом. Смоляна підкладка захищає перетворювач від вологості, пилу та інших зовнішніх впливів. Він також служить перехідним акустичним імпедансом. Оскільки один і той же перетворювач зазвичай використовується як для передачі, так і для прийому сигналів, для виявлення об'єктів ближнього поля потрібне швидке гасіння акустичної енергії. Це досягається за рахунок використання акустичних поглиначів і ізоляції перетворювача від корпусу. Конструкція корпусу дозволяє забезпечити вузький акустичний потік, який дає потужний спрямований сигнал.

Для того щоб краще зрозуміти роботу ультразвукового датчика вимірювача в ближньому полі, необхідно проаналізувати сигнали, що використовуються як для передачі, так і для прийому акустичної енергії (рис. 6.6). *Сигнал А* - це сигнал відключення, який використовується для управління сигналами, що посилаються. *Сигнал В* містить вихідний і відбитий сигнали. *Сигнал С* виділяє сигнали, що передають або приймають. Для того щоб розрізнити сигнали, що посилаються і приймаються, вводяться тимчасові вікна (сигнал D). Інтервал часу Δt - мінімальний час вимірювання, а $\Delta t_1 + \Delta t_2$ максимальний. Ці проміжки часу відповідають проходженню певних відстаней зі швидкістю поширення звуку в використовуваному робочому середовищі.

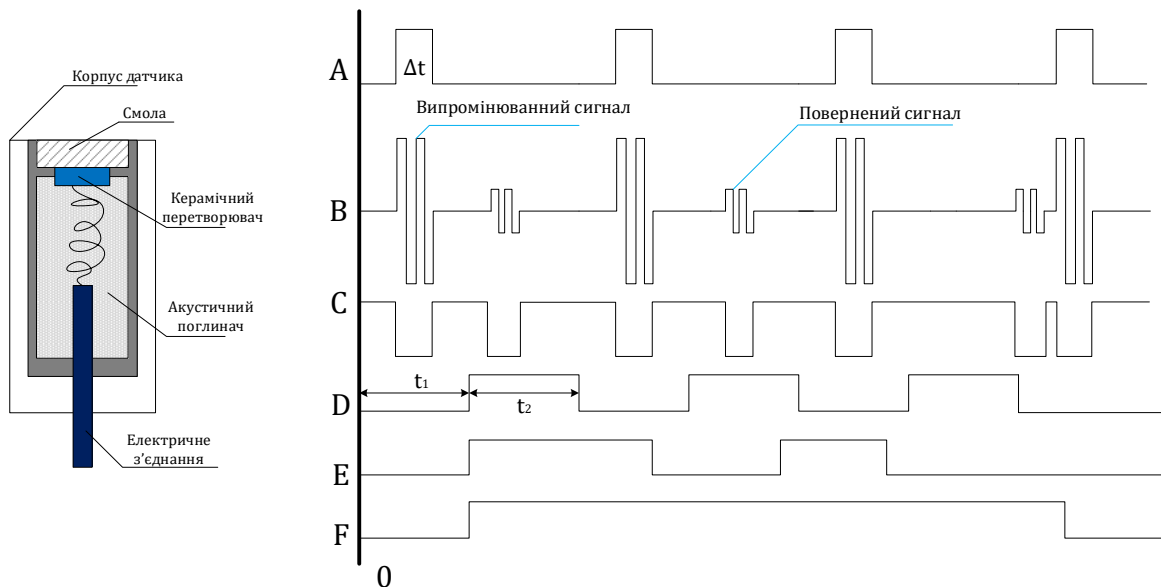


Рисунок 6.6. Ультразвуковий датчик та сигнали, що використовуються в ультразвуковому датчику вимірювання ближнього поля.

Після прийому відбитого сигналу (в той час, коли сигнал D знаходиться на максимумі) формується сигнал E, значення якого стає рівним нулю після закінчення дії передавального імпульсу A. Сигнал F формується при виникненні позитивного імпульсу E і скидається, якщо сигнал E відсутній і з'являється імпульс A. визначається параметрами сигналу D, тобто сигнал F є вихідним сигналом ультразвукового датчика, що працює в двійковому режимі.

Датчики швидкості, напрямку обертання та положення.

Найбільш широко використовуваними датчиками руху в робототехніці є оптичні енкодери, які забезпечують безконтактне вимірювання. Оптичний енкодер заснований на перетворенні руху суглоба в серію світлових імпульсів, які в подальшому перетворюються в електричні імпульси. Для генерації світлових імпульсів необхідне джерело світла, як правило, світлодіод VD. Перетворення світла в електричні імпульси здійснюється фототранзистором VT або фотодіодом, що перетворює світло в електричний струм.

Модель оптичного енкодера, що оцінює кутове положення суглоба, представлена на рис.6.4. Він складається з джерела світла з лінзою, детектора

світла і обертового диска з прорізами, який з'єднаний або з мотором, або з віссю з'єднання. На обертовому диску є доріжка щілин і проміжків, які по черзі то передають, то перекривають світло від світлодіода на фототранзистор. Логічний вихід датчика високий, коли світло проходить через щілину і потрапляє на фототранзистор з іншого боку пластини, що обертається. Коли шлях між світлодіодом і фототранзистором перекритий проміжком між двома слотами, логічний вихід низький.

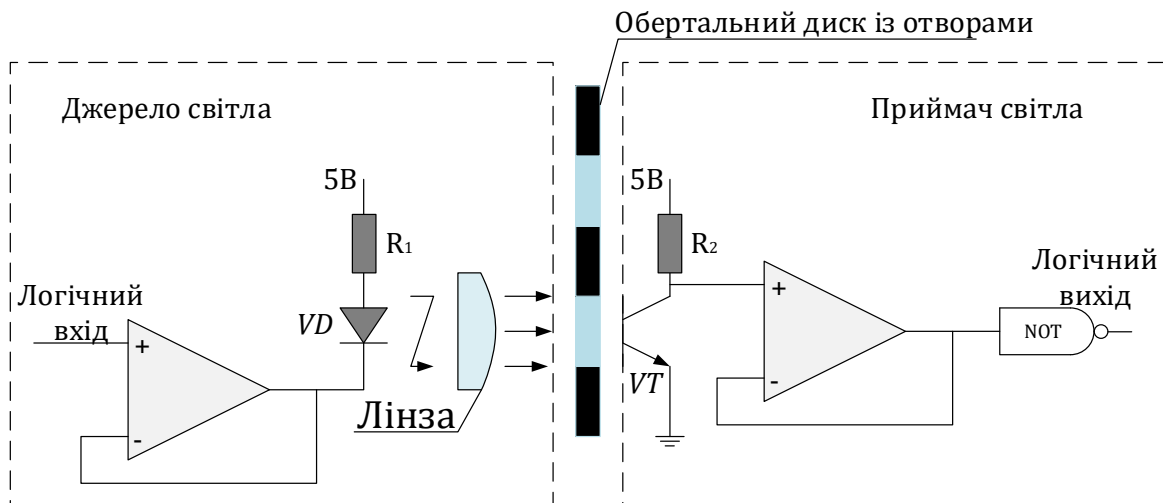


Рисунок 6.7 – Функціонально схема енкодера.

Оптичні енкодери поділяються на абсолютні та інкрементні.

Абсолютний оптичний енкодер - це пристрій, який вимірює абсолютне кутове положення шарніру. Його виходом є цифровий сигнал. У цифровій системі кожна логічна сигнальна лінія представляє один біт інформації. При з'єднанні всіх цих бітів в єдину змінну логічного стану число всіх можливих логічних станів визначає число всіх абсолютних кутових положень, які можуть бути виміряні енкодером.

Припустимо, що ми хочемо виміряти кутове обертання на 360° з роздільною здатністю $0,1^{\circ}$. Абсолютний енкодер повинен розрізняти 3600 різних логічних станів, а це означає, що нам потрібно не менше 12 біт для оцінки кутів з'єднання з необхідною роздільною здатністю. За допомогою 12 біт ми можемо

представити 4096 логічних станів. Тому важливим розрахунковим параметром абсолютних енкодерів є кількість логічних станів, яка залежить від вимог завдання і розміщення кодера (до або після редуктора).

Коли енкодер розміщений перед редуктором з прередатним відношенням K , роздільна здатність вимірювання кута збільшиться на коефіцієнт K . Коли енкодер знаходиться позаду редуктора, необхідна роздільна здатність енкодера безпосередньо визначається необхідною роздільною здатністю вимірювання кута з'єднання. Всі логічні стани повинні бути рівномірно вигравірувані на обертовому диску кодера. Приклад абсолютного енкодера з шістнадцятьма логічними станами наведено на рис.6.8.

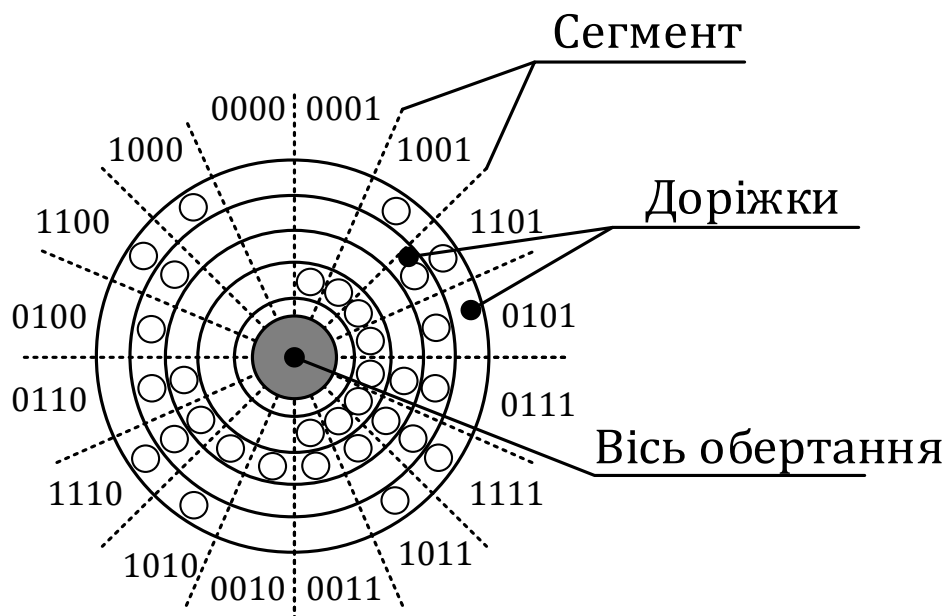


Рисунок 6.8 – Диск абсолютного енкодера із 16 логічних елементів.

Шістнадцять логічних станів можуть бути представлені чотирма бітами. Всі шістнадцять логічних станів вигравірувані на поверхні обертового диска. Диск в радіальному напрямку розділений на чотири доріжки, що представляють собою чотири біти. Кожна доріжка розділена на шістнадцять сегментів, що відповідають логічним станам. Оскільки інформація про кутове зміщення представлена чотирма розрядами, нам знадобиться чотири пари світлодіодів і

фототранзисторів (по одній парі на кожен біт). При обертанні диска, який з'єднаний або з мотором, або з віссю виконавчого елемента, вихідний сигнал буде змінюватися відповідно до логічних станів, визначених порядком сегментів (код Грея, де два послідовних значення відрізняються лише одним бітом, зазвичай використовується в абсолютних енкодерах).

Абсолютний енкодер визначає не тільки кутове положення з'єднання, але і напрямок обертання.

Інкрементний енкодер

На відміну від абсолютних енкодерів, інкрементні енкодери надають інформацію лише про зміну положення кутового суглоба. Перевагами інкрементних енкодерів, порівняно з абсолютними, є їх простота, менші габарити та (найголовніше) низька вартість. Цього можна досягти, зменшивши кількість доріжок на обертовому диску лише до однієї доріжки. Замість того, щоб мати стільки доріжок, скільки число бітів, необхідне для представлення всіх необхідних логічних станів, ми тепер маємо тільки одну доріжку з рівномірною градуванням слотів по краю диска. На рис 6.6 представлена модель інкрементного енкодера.

Для однієї доріжки потрібна лише одна пара світлодіода та фототранзистора (оптичної пари). Під час обертання закодованого диска генерується серія електричних імпульсів. Вимірювання зміщення суглоба засноване на підрахунку цих імпульсів. Їх кількість пропорційна зсуву суглоба робота. Інкрементальний енкодер, показаний на рис.6.6, генерує вісім імпульсів під час кожного обертання. Роздільна здатність цього кодера становить:

$$\Delta\vartheta = \frac{2\pi}{8} = \frac{\pi}{4}$$

За рахунок збільшення кількості слотів на диску збільшується роздільна здатність енкодера. Позначивши кількість слотів як n_c , можна записати загальне

рівняння роздільної здатності енкодера:

$$\Delta\vartheta = \frac{2\pi}{n_c}$$

Енкодер з однією єдиною доріжкою здатний оцінювати тільки зміну кутового положення суглоба. Він не може надати інформацію про напрямок обертання або абсолютне положення суглоба. Якщо ми хочемо застосувати інкрементні енкодери в управлінні роботом, ми повинні визначити: (1) початкове положення, що представляє собою еталон для вимірювання зміни положення суглоба, і (2) напрямок обертання.

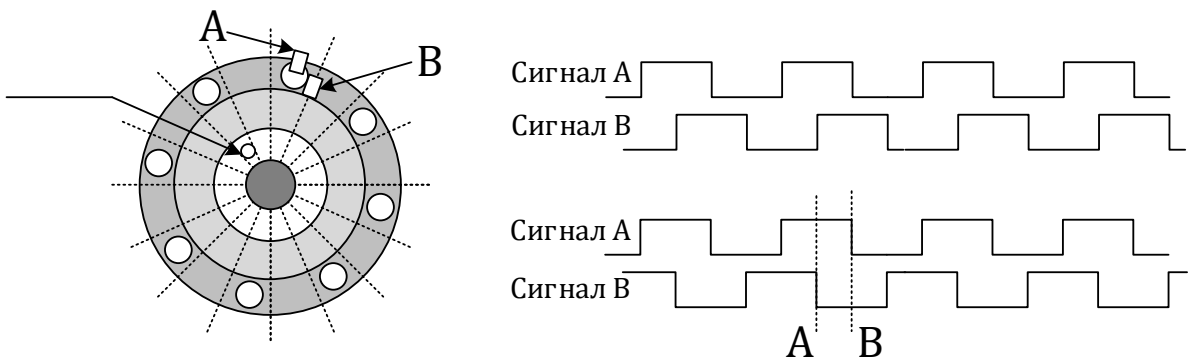


Рисунок 6.9 - Модель інкрементального енкодера. Серія імпульсів для позитивного (вгорі) і негативного (знизу) напрямку обертання.

Проблема початкового положення вирішується додаванням додаткового еталонного слота на диску. Цей опорний шліц зміщений радіально по відношенню до щілинної доріжки, що вимірює кутове положення. Для визначення вихідного положення потрібна додаткова оптична пара. Під час пошуку еталонного слота робот запрограмований на рух з низькою швидкістю, доки досягнуто опорного слота або кінцевого положення діапазону рухів суглоба. В останньому випадку робот рухається в протилежному напрямку до еталонного слота.

Задачу визначення напрямку обертання вирішує ще одна пара світлодіода і

фототранзистора. Ця додаткова оптична пара зміщена по дотичній і радіально від першої оптичної пари, як показано на рис.6.9. При обертанні диска виходять два сигнали, які через зміщення оптичних пар зміщені по фазі. Цей зсув фази відбувається тому, що кожен слот на диску спочатку досягає першої оптичної пари, а після короткої затримки і другої пари. Оптичні компоненти зазвичай розміщують таким чином, щоб між двома сигналами виходив фазовий зсув $\pi/2$. Під час обертання за годинниковою стрілкою сигнал В відстає від сигналу А на $\pi/2$. При обертанні проти годинникової стрілки сигнал В знаходиться у фазному відведенні $\pi/2$ відносно сигналу А (рис. 6.9). Напрямок обертання енодера можна визначити на підставі фазових зсувів між сигналами А і В. Ще однією перевагою наявності двох оптичних пар є можливість підрахунку всіх змін сигналів А і В. Підхід, відомий як квадратурне декодування, дозволяє вимірювати роздільну здатність, що в чотири рази перевищує номінальну роздільну здатність енодера.

Магнітний енодер

На відміну від оптичних енодерів, магнітний енодер використовує магнітне поле для вимірювання положення. Цього можна досягти, використовуючи серію магнітних полюсів (2 або більше) на роторі датчика для представлення положення енодера магнітному датчику. Ротор повертається разом з валом і містить по колу чергуються рівномірно розташовані північний і південний полюси. Магнітний датчик (як правило, магніторезистивний або з ефектом Холла) зчитує положення магнітних полюсів. Датчики Холла генерують вихідну напругу, пропорційну напруженості прикладеного магнітного поля.

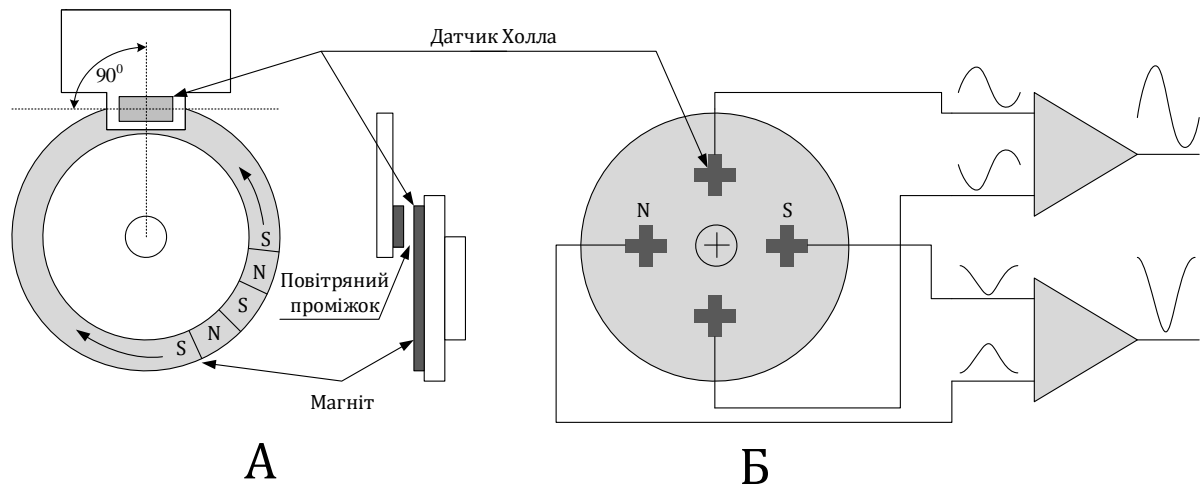


Рисунок 6.10 Модель магнітного енкодера: А датчик Холла та змінні північний і південний полюси і Б кілька датчиків Холла з діаметрально намагніченим обертовим магнітом.

Магніторезистивні датчики виявляють зміни опору, викликані магнітним полем. Принцип роботи показаний на рис. 6.10 А. Датчики Холла можуть бути використані для вимірювання кута також при розміщенні поблизу діаметрально намагніченого магніту, який генерує синусоїдальну форму сигналу. Обмеженням цього методу є неоднозначність кутів $>90^{\circ}$ в обидві сторони від нульової точки перетину. Для того, щоб розширити діапазон вимірювань до 360° , потрібне уточнення методу. Проблему можна вирішити, використовуючи кілька датчиків Холла, а не один, і розміщуючи їх під діаметрально намагніченим обертовим магнітом для генерації кількох синусоїдальних форм сигналів. На рис 6.10 Б показані чотири однаково розташованих датчика Холла, що генерують чотири синусоїдальних сигналу, кожен з яких зсунутий по фазі на 90° від свого сусіда. Магнітні енкодери, як правило, більш надійні, ніж оптичні енкодери.

Тахометри.

Сигнал спільної швидкості може бути отриманий числовим диференціюванням сигналу положення. Проте, пряме вимірювання швидкості з'єднання за допомогою тахометра часто використовується в робототехніці. Причина - шум, що вноситься числовою диференціацією, що може сильно

вплинути на якість управління роботом.

Тахометри можна розділити на: тахометри постійного струму і тахометри змінного струму. У робототехніці, як правило, використовуються простіші тахометри постійного струму. Принцип роботи заснований на генераторі постійного струму, магнітне поле якого забезпечується постійними магнітами. Оскільки магнітне поле постійне, вихідна напруга тахометра пропорційна кутовій швидкості ротора. Оскільки в тахометрах постійного струму використовуються комутатори, у вихідній напрузі з'являється невелика пульсація, яку неможливо повністю відфільтрувати. Цього недоліку, разом з іншими недоліками, можна уникнути, використовуючи тахометри змінного струму.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ.

1. Які основні завдання вирішують сенсорні системи в робототехніці?
2. Які основні типи датчиків використовуються в робототехніці, і які фізичні величини вони вимірюють?
3. Які переваги та недоліки інфрачервоних (IR) датчиків у порівнянні з іншими типами датчиків?
4. Як датчики відстані (наприклад, ультразвукові датчики) використовуються для навігації роботів?
5. Як енкодери використовуються в робототехніці для вимірювання обертань і положення рухомих частин?
6. Які основні типи енкодерів існують, і в чому їхня основна відмінність?
7. Як енкодери допомагають забезпечити точність та стабільність руху робота?
8. Як використовуються оптичні енкодери для вимірювання обертань та здійснення позиціонування рухомих частин?
9. Як енкодери типу "абсолютний" відрізняються від "інкрементальних" і в яких випадках вони застосовуються?
10. Як енкодери використовуються для визначення швидкості та прискорення руху робота?
8. Як імпульсні енкодери використовуються для визначення кутової

швидкості руху робота?

9. Як використовуються магнітні енкодери для поліпшення точності вимірювань в умовах високого навантаження або швидкості?

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Цвіркун Л.І. Робототехніка та мехатроніка: навч. посіб. / Л.І. Цвіркун, Г. Грулер ; під заг. ред. Л.І. Цвіркуна ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – 3-тє вид., переробл. і доповн. – Дніпро: НГУ, 2017. – 224 с.
2. Морзе Н.В. Основи робототехніки: навчальний посібник / Н.В. Морзе, Л.О. ВарченкоТроценко, М.А. Гладун. – Кам'янець-Подільський : ПП Буйницький О.А., 2016. – 184 с.
3. Освітня робототехніка: зб.наук.пр.за матеріалами II Всеукраїнської науково-практичної конференції «Освітня робототехніка» (14 квітня 2022 р.) – Дніпро, 2022. – 162 с.
4. Matjaž Mihelj. Robotics. / T. Bajd, A. Ude, J. Lenarčič, A. Stanovnik, M. Munich ets.; Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2019. – 249 p.
5. Трифонова О. М., Хомутенко М. В., Садовий М. І. Автоматизовані системи програмних навчальних комплексів: навчально-методичний посібник. – Кропивницький: ПП «Ексклюзив- Систем», 2019. – 120 с.
6. Kevin M. Lynch. Modern robotics mechanics, planning, and control. Kevin M. Lynch, Frank C. Park; Cambridge University Press, 2017. – 642 p. ISBN 9781107156302.
7. R. W. Brockett. Robotic manipulators and the product of exponentials formula. In International Symposium on the Mathematical Theory of Networks and Systems, Beer Sheva, Israel, 1983.
8. Ковальов Ю.А., Проектування промислових роботів та маніпуляторів. / С.О. Кошель, Ю.А. Ковальов, О.П. Манойленко.: Центр учбової літератури, 2023 р. – 256с.
9. Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О., Човнюк Ю.В. Мехатроніка. Навчальний посібник. – К., 2012. - 357 с.

10. **Introduction to Robotics: Mechanics and Control** / John J. Craig, © 2005 Pearson Education, Inc., Pearson Prentice Hall, Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, NJ 07458
11. Ніколайчук В. М. Основи робототехніки : навч. посіб. / В. М. Ніколайчук. – Рівне : НУВГП, 2008. - 76 с.
12. Correll, N., Hayes, B., Heckman, C. and Roncone, A., 2022. *Introduction to autonomous robots: mechanisms, sensors, actuators, and algorithms*. Chapter 1, MIT Press.
13. Гуржій, А. М. Основи автоматичного управління та робототехніки [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів професійної (професійно - технічної) освіти / А. М. Гуржій, А. Т. Нельга, В. М. Співак, О. С. Ітякін. – Електронні текстові дані. – Дніпро : «Гарант СВ», 2021. – 244 с.
14. Худолей Г.М. Теорія автоматичного управління : конспект лекцій : у 2 ч. Ч. 1 «Аналіз лінійних систем автоматичного управління» / укладач Г. М. Худолей. – Суми : Сумський державний університет, 2016. – 179 с.

Навчальне видання

ОСНОВИ РОБОТОТЕХНІКИ

Курс лекцій

СОРОКІН Максим Сергійович

Формат 60×84 1/8. Гарнітура Times New Roman
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.

Ум. друк. арк. _ . Наклад 300 пр.

ДБТУ

61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44