

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»  
Кафедра «Підйомно-транспортного і робототехнічного обладнання»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до курсової роботи з дисципліни «Мехатроніка»

Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти  
Спеціальність – 131 ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА  
Освітня програма – *Інженерія логістичних систем,  
Мехатроніка та промислові роботи*

Спеціальність – 133 ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ  
Освітня програма – *Підйомно-транспортні, будівельні дорожні  
машини і обладнання*

Михайлов Євген Павлович

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до курсової роботи з дисципліни «Мехатроніка»

Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти  
Спеціальність – 131 ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА  
Освітня програма – *Інженерія логістичних систем,  
Мехатроніка та промислові роботи*

Спеціальність – 133 ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ  
Освітня програма – *Підйомно-транспортні, будівельні дорожні  
машини і обладнання*

Затверджено  
на засіданні кафедри підйомно-  
транспортного і робототехнічного  
обладнання  
Протокол № 1 від 26.08. 2021 р.

Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Мехатроніка» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, спеціальності: 131 - Прикладна механіка, освітні програми: – Мехатроніка та промислові роботи, Інженерія логістичних систем, спеціальності: 133 - Галузеве машинобудування, освітня програма: – Підйомно-транспортні, будівельні дорожні машини і обладнання. / Укл.: Михайлов Є. П. – Одеса: ОП, 2021. - – 32 с.

Укладач:

Михайлов Є.П. доц. кафедри підйомно-транспортного і робототехнічного обладнання

У методичних вказівках наведені завдання і методика виконання курсової роботи з дисципліни «Мехатроніка» на тему "Розробка мехатронного модулю пересування автоматизованих транспортних засобів".

### Зміст

ВСТУП.....	4
ЦІЛЬ І ЗАДАЧІ КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	5
ЗМІСТ КУРСОВОЇ РОБОТИ .....	6
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ЗАСОБІВ ПЕРЕМІЩЕННЯ .....	7
2 ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРИ ТА КОНСТРУКЦІЇ МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ.....	10
3 РОЗРАХУНОК ДВИГУНА ТА РЕДУКТОРА.....	12
4 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕСУВАННЯ ТА ВИБІР ВІДПОВІДНИХ ДАТЧИКІВ .....	16
5 ВИБІР ПРИСТРОЮ КЕРУВАННЯ ТА АЛГОРИТМУ.....	19
ВИСНОВОК .....	26
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	27
ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ .....	28
ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ .....	29

## ВСТУП

"Мехатроніка" є складовою частиною дисциплін циклу професійної підготовки нормативного блоку. Її вивчення передбачає розв'язання низки завдань фундаментальної професійної підготовки фахівців першого рівня, зокрема: опанування студентами питань побудови, основ проектування та застосування мехатронних пристроїв в сучасних робототехнічних системах та поширення їх знань за рахунок розгляду різних типів мехатронних пристроїв та їх компонент, що базуються на сучасних методах та методиках.

**Тема курсової роботи** - Розробка мехатронного модулю пересування автоматизованих транспортних засобів.

**Мета вивчення дисципліни** – Забезпечити загальну теоретико-практичну підготовку в галузі аналізу конструктивних рішень, конструювання та застосування різних типів мехатронних пристроїв.

**Завдання вивчення дисципліни:**

- розвинути здібності до аналізу та вибору мехатронних пристроїв;
- вивчити методи розрахунку параметрів мехатронних пристроїв;
- усвідомити умови та режими роботи мехатронних пристроїв;
- вивчити особливості, відмінності та галузі застосування різних типів мехатронних пристроїв;
- ознайомити з засобами програмування мехатронних систем;
- визначити шляхи модернізації та подальшого розвитку мехатронних пристроїв.

Курсова робота з дисципліни "Мехатроніка" узагальнює набуті студентами знання у галузі розрахунку та проектування мехатронних пристроїв поширює їх в напрямку розрахунків, що базуються на сучасних моделях і методах

## ЦІЛЬ І ЗАДАЧІ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Ціль курсової роботи - закріплення теоретичних знань по дисципліні «Мехатроніка», придбання практичних навичок по визначенню оптимального варіанта мехатронних пристроїв.

При виконанні курсової роботи необхідно користатися результатами сучасних досягнень науки і техніки в сфері мехатроніки. Для рішення поставлених задач студент повинний знати основи загальнонаукових, загальноінженерних і спеціальних дисциплін, таких як прикладна математика, інженерна графіка, інформатика, комплексна механізація й автоматизація транспортних засобів.

У процесі виконання роботи необхідно уміти визначити мету та завдання роботи і застосувати сучасну обчислювальну техніку.

Вихідні дані до курсової роботи приведені в Додатку. При виконанні розрахунків буде потрібна додаткова інформація, що відсутня в завданні. У цьому випадку варто скористатися даними, приведеними в літературі, а також матеріалами по темі, що можна знайти в Інтернеті.

# ЗМІСТ КУРСОВОЇ РОБОТИ

## ВСТУП

Мехатроніка - галузь науки і техніки, заснована на синергетичному об'єднанні вузлів точної механіки з електронними, електротехнічними і комп'ютерними компонентами, що забезпечують проектування і виробництво якісно нових модулів, систем, машин і систем з інтелектуальним керуванням їх функціональними рухами.

Мехатронний об'єкт синтезується на синергетичному об'єднанні вузлів точної механіки з електронними, електротехнічними і комп'ютерними компонентами, що забезпечують проектування і виробництво якісно нових модулів, систем, машин з інтелектуальним керуванням їх функціональними станами (в т.ч. рухами).

На даний момент використовується ієрархія термінів мехатроніки, де термін «Мехатронний об'єкт» - це узагальнююче поняття, яке включає в себе мехатронну систему, агрегат, модуль або вузол.

До першого рівня відносять мехатронні вузли або мехатронні модулі. Мехатронний модуль - уніфікований мехатронний об'єкт, це автономний пристрій, призначений, як правило, для реалізації рухів по одній координаті. Прикладами мехатронних модулів служать частини верстатів - шпindelъная бабка, поворотний стіл. Як модулі можуть виступати двигуни, редуктори тощо. Більш складні модулі (автономні приводи) - мотор-редуктор, мотор-колесо, мотор-шпindelъ, мотор-барабан і поворотний стіл. Вузол принципово відрізняється від модуля тим, що він не уніфікований.

Другий рівень - агрегат (машина), що включає в себе кілька модулів, призначених для реалізації заданих рухів в умовах взаємодії із зовнішнім середовищем. Приклади агрегатів - промислові роботи, верстати з ЧПУ і т.д.

Третій рівень - Мехатронна система, що складається з декількох агрегатів або агрегату і ряду окремих модулів, тобто з об'єктів однакових або різних нижчих рівнів. Система - сукупність компонентів, будь-яким чином пов'язаних між собою: підлеглих певному відношенню, залежно або згідно закономірності; діють як одне ціле. Вона повністю відповідає цьому визначенню як сукупність механічних, електронних і керуючих компонентів, що утворюють синергетичне єдність, що діє як одне ціле.

Приклади мехатронних систем - гнучкі виробничі системи або сучасні автономні роботи.

Метою даної курсової роботи є розробка мехатронного модулю пересування автоматизованих транспортних засобів.

Основні завдання курсової роботи:

- аналіз існуючих засобів переміщення,
- визначення структури та конструкції мехатронного модуля,
- розрахунок двигуна та редуктора,
- розрахунок параметрів пересування та вибір відповідних датчиків,
- вибір алгоритму та пристрою керування.

# 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ЗАСОБІВ ПЕРЕМІЩЕННЯ

У мобільних колісних роботах застосовують різні поєднання ведучих, рульових, опорних та ведучих рульових коліс, що дає можливість створити як голономні, так і неголономні мобільні роботи. Як було зазначено вище, неголономні мобільні роботи для зміни напрямку руху потребують здійснити поворот, а голономні - можуть переміщуватися у будь якому напрямку без розвороту.

На рис. 1.1 наведені основні типи коліс, які застосовуються у промислових мобільних роботах:

(а) ведуче колесо (один ступень свободи), що обертається навколо колісної осі;

(б) ведуче або опорне поворотне (рульове) колесо (два ступеня свободи), що обертається навколо колісної осі і точкою дотику з поверхнею;

(в) поворотне (флюгерне) колесо (два ступеня свободи), що обертається навколо осі, яка зміщена відносно точки дотику з поверхнею;

(г, д) шведське колесо (три ступені свободи), що обертається навколо (ведучої) колісної осі, навколо осей роликів і навколо точки дотику. Ролики можуть бути розміщені двома різними способами, а саме, повернені на  $90^\circ$  (рис. 3.1, г) і  $45^\circ$  (рис. 3.1, д);

(е) кульове або сферичне колесо.

Всі ці типи коліс сильно відрізняються своєю кінематикою і тому значно впливають на всю кінематику мобільного робота.

Ведуче колесо і поворотне колесо мають основну вісь обертання і, таким чином, є строго спрямованими. Для руху в іншому напрямку, колесо має бути спочатку розгорнуто вздовж вертикальної осі. Поворотне колесо, яке обертається навколо зміщеної осі, відрізняється тим, що вихідне зусилля буде рухати шасі під час руління.

Шведське колесо (Swedish wheel, Mecanum wheel) або колесо Ілона було створено шведською компанією Mecanum AB в 1973 році. Конструкція таких коліс дозволяє обертатися на місці при мінімальній силі тертя і низькому обертальному моменті. Ці колеса дають можливість здійснювати рух у будь якому напрямку без повороту колеса (рис. 1.2).

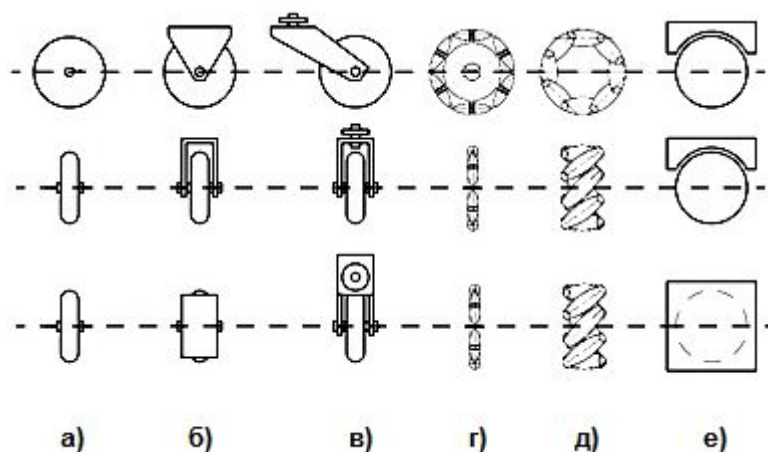


Рис. 1.1. Основні типи коліс, що застосовуються у промислових мобільних роботах



Рис. 1.2. Шведські колеса з роликками, що повернені на  $90^\circ$  і  $45^\circ$

По-справжньому всеспрямованим колесом, є сферичне колесо, яке сконструйоване таким чином, що воно може активно обертатися в будь-якому напрямку. Одним з механізмів реалізації такої сферичної конструкції є активні приводні ролики, які спираються на верхню поверхню сфери і передають зусилля для обертання. Недоліком таких коліс є складність технічної реалізації (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Сферичні колеса

Надалі будемо використовувати позначення коліс, що наведені на рис. 1.4, а саме, поворотний опорний (флюгерний) колісний модуль (рис. 1.4, а), неповоротний опорний колісний модуль (рис. 1.4, б), рульовий колісний модуль (рис. 1.4, в), ведуче колесо (рис. 1.4, г), ведучий рульовий колісний модуль (д), всеспрямоване ведуче колесо (рис. 1.4, е).

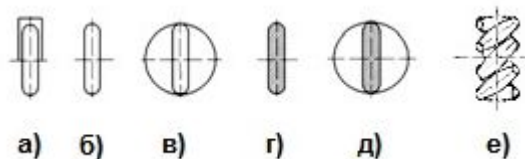


Рис 1.4. Позначення коліс

На рис. 1.5 наведені найбільш поширені кінематичні схеми мобільних роботів, такі як з двома ведучими колесами та рульовим колесом (рис. 1.5, а), з двома неповоротними опорними колесами та ведучим рульовим колесом - трицикл (рис. 1.5, б), з двома диференціальними ведучими колесами та поворотним опорним (флюгерним) колесом (рис. 1.5, в), з чотирма диференціальними ведучими колесами – візок з бортовим розворотом (рис. 1.5, г), з чотирма рульовими ведучими колесами (д), з чотирма всеспрямованими ведучими колесами (рис. 1.5, е). Схеми (а) та (б) здійснюють поворот завдяки



рульовому колесу. Схеми (в) та (г) здійснюють поворот завдяки різниці швидкості обертання коліс, що знаходяться по різних сторонах візка. Схеми (д) та (е) здійснюють всепрямоване переміщення.

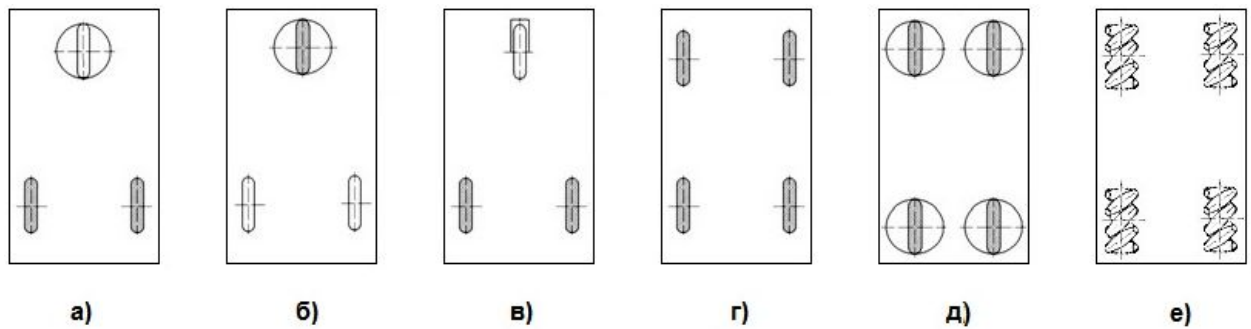


Рис. 1.5. Кінематичні схеми мобільних роботів

На рис. 1.6 наведені приклади колісних мобільних роботів, а саме, навантажувач з приводом типу трицикл (рис. 1.6, а), навантажувач з диференційним приводом (рис. 1.6, в), мобільний робот з чотирма всепрямованими ведучими колесами (рис. 1.6, с).

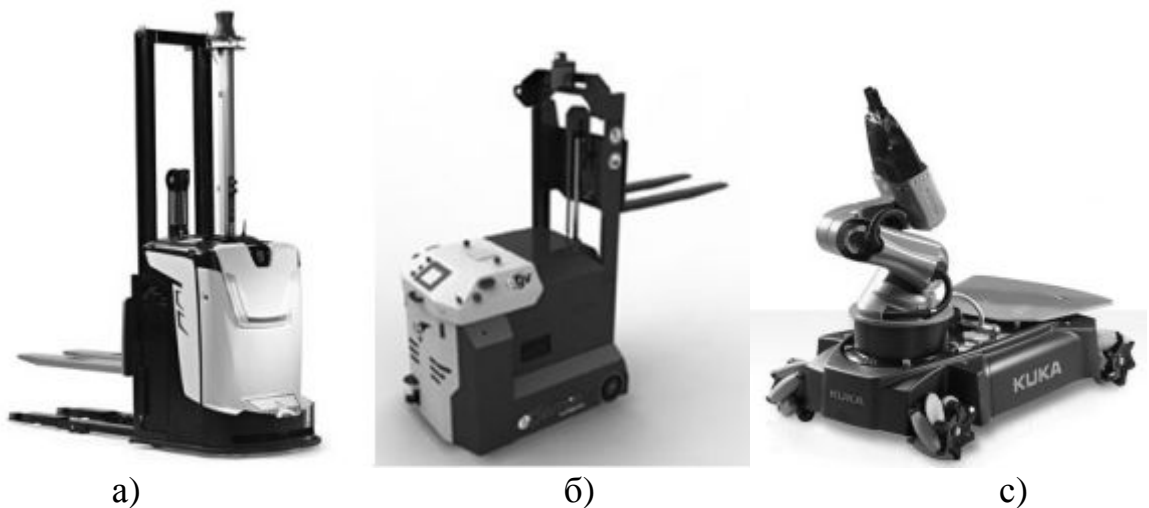


Рис. 1.6. Приклади колісних мобільних роботів

В роботі передбачається використання транспортних засобів з приводом типу трицикл або з диференційним приводом.

За домовленістю можна використовувати інші типи транспортних засобів.

## 2 ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРИ ТА КОНСТРУКЦІЇ МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ

Конструкція основних вузлів механізму пересування.

Ведучий міст призначений для сприйняття зусиль, що передаються на корпус навантажувача при русі, і для передачі крутного моменту від двигуна колесам машини. Основними вимогами, що пред'являються до ведучого мосту, є: малі габарити і маса, зручність компонування і ремонту, забезпечення хорошої прохідності і високий к.к.д. передачі. Для машин підлогового транспорту застосовують в основному мости, принципові схеми яких дано на рис. 2.1.

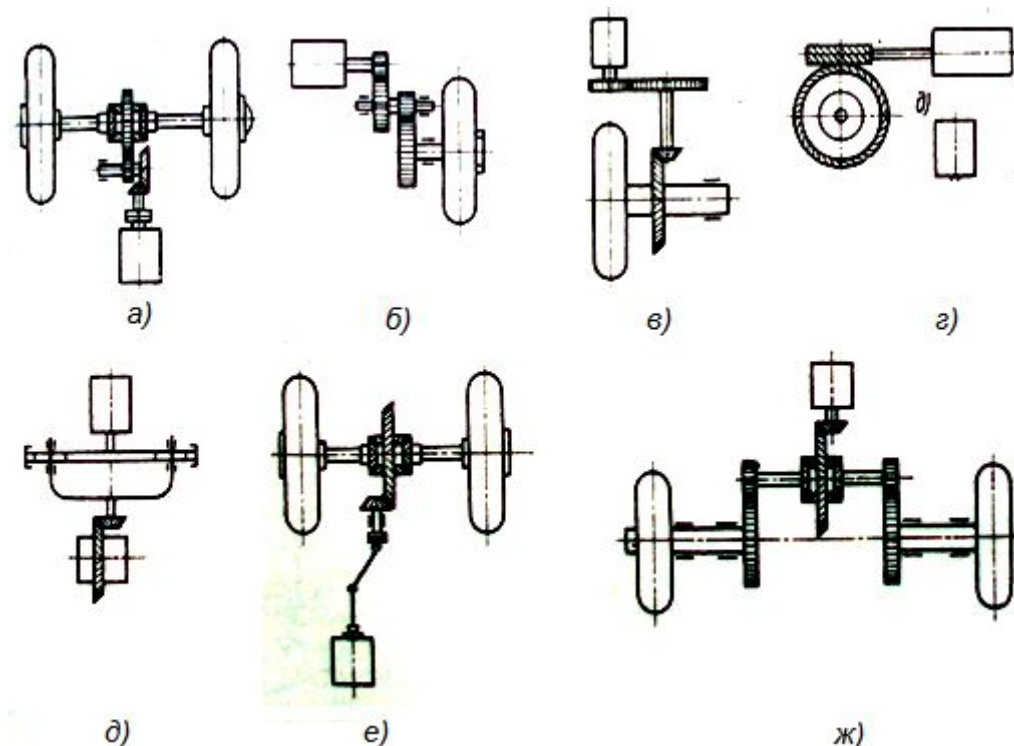


Рис. 2.1. Машини підлогового транспорту

Велика частина авто- і електронавантажувачів має провідні мости з механічним диференціалом (рис. 2.1, а). У цих мостах використані деталі і окремі складальні одиниці, серійно випускаються автомобільної і тракторної промисловістю, це знижує вартість їх виготовлення і забезпечує високу якість, але до недоліків навантажувачів з такими мостами відносяться погана прохідність при недостатньому зчепленні з дорогою одного з провідних коліс, а також підвищений витрата енергії при поворотах через низький к. п. д. диференціала.

Гарну прохідність і маневреність забезпечують навантажувачів провідні мости з роздільним приводом коліс (рис. 2.1, б). При русі машини за прямолінійним шляху працюють два двигуна паралельно, в момент повороту один з двигунів відключається. У деяких електричних схемах передбачено послідовне з'єднання двигунів на початку повороту і відключення одного двигуна або зміна напрямку його обертання при малому радіусі повороту. Для електроштабелерів і навантажувачів з одним заднім приводним колесом застосовується схема (рис. 2.1, в) з вертикальною установкою приводного

двигуна. Машини з заднім ведучим колесом мають гірше зчеплення ведучого колеса з дорогою, так як при русі з вантажем навантаження на задній міст зменшується. Цей недолік особливо сильно проявляється у штабелерів з чотириколісною схемою, у яких вертикальне навантаження на провідне колесо вдвічі менше, ніж три-опорна схема, через використання рояльного колеса, що підтримує.

Мости з черв'ячним редуктором (рис. 2.1, г) отримали обмежене застосування через низький ККД редуктора, використовують в основному для електровізків старих моделей.

Схеми з планетарною передачею (рис. 3.1, д) відрізняються компактністю і забезпечують хорошу прохідність машин. Використовуються переважно в електроштабелерах.

Для машин з високими швидкостями руху (16 км / год і більше) доцільно використовувати схеми (рис. 2.1, е), де крутний момент від двигуна карданним валом передається на головну передачу провідного моста. Основна перевага схеми - високий к.к.д. і простота конструкції.

Провідні мости (рис. 2.1, ж) використовуються на машинах великої вантажопідйомності, зазвичай спарені системи з роздільним приводом.

### 3 РОЗРАХУНОК ДВИГУНА ТА РЕДУКТОРА

Існують різні методи розрахунку двигуна та редуктора механізмів переміщення транспортних засобів.

Для прикладу зупинимось на методі, що дозволяє визначити параметри двигуна та редуктора виходячи з максимального прискорення транспортного засобу при пересуванні (рис. 3.1).

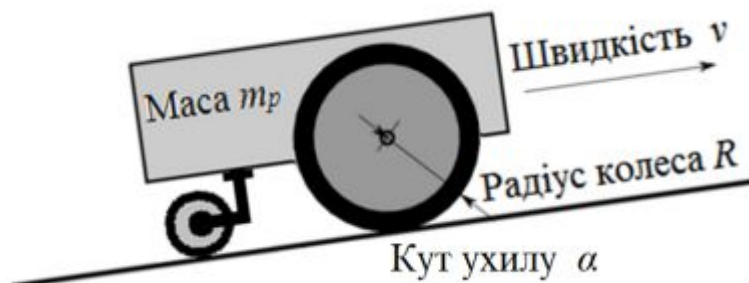


Рис. 3.1. Транспортний засіб

Розглянемо, як здійснюється розрахунок потужності силових агрегатів і граничної тягової характеристики транспортного засобу.

Для визначення потужності енергетичної установки розглянемо рівняння тягового балансу, який можна представити у вигляді:

$$F_k = F_{\Sigma} = F_f + F_{\alpha} + F_w + F_J, \quad (1)$$

де:

$F_f$  – сила опору коченню,

$F_{\alpha}$  – сила опору ухилу,

$F_w$  – сила опору повітряного середовища,

$F_J$  – сила інерції.

$$F_f = f \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha, \quad (2)$$

де:

$m$  – маса транспортного засобу, кг;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – прискорення вільного падіння;

$f$  – коефіцієнт опору коченню (для асфальтобетонного або цементобетонного покриття у відмінному стані  $f = 0,014$ );

$\alpha$  – кут ухилу дорожнього полотна, градуси.

$$F_{\alpha} = \pm m \cdot g \cdot \sin \alpha, \quad (3)$$

$$F_w = 0,5 \cdot C_x \cdot \rho \cdot S \cdot v^2, \quad (4)$$

де:

$C_x$  – коефіцієнт аеродинамічного опору,

$\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$  – щільність повітря,

$S$  – площа миделя (найбільший за площею поперечний переріз тіла, що рухається в повітрі).

$$F_J = m \cdot \frac{dv}{dt}, \quad (5)$$

де:

$dv/dt$  – прискорення транспортного засобу, м/с<sup>2</sup>.

Оскільки швидкість переміщення транспортного засобу порівнянна зі швидкістю переміщення пішохода, силою опору повітряного середовища можна знехтувати.

У цьому випадку рівняння тягового балансу набуде вигляду:

$$F_k = F_\Sigma = f \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha + m \cdot g \cdot \sin \alpha + m \cdot \frac{dv}{dt}. \quad (6)$$

Звідси рівняння балансу потужності можна представити як

$$P_K = F_K \cdot v = m \cdot \left( g \cdot (f \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) + \frac{dv}{dt} \right) \cdot v. \quad (7)$$

де:

$P_K$  – сумарна тягова потужність, що підводиться до ведучих коліс, Вт.

Якщо число приводних коліс однакової потужності  $n$ , то з урахуванням ККД трансмісії  $\eta$  (прийемо  $\eta = 0,85$ ) отримаємо для потужності електродвигуна:

$$P_{\text{дв}} = P_K / (n \cdot \eta). \quad (8)$$

Для розрахунку мінімально необхідної для руху частоти обертання двигуна скористаємося формулою:

$$v = (2 \cdot \pi \cdot r \cdot n) / u_p, \quad (9)$$

де:

$v$  – швидкість транспортного засобу, м/с;

$r$  – радіус ведучого колеса, м;

$n$  – частота обертання валу двигуна, Гц;

$u_p$  – передавальне число редуктора електродвигуна.

Звідси отримуємо формулу обчислення частоти обертання валу двигуна:

$$n = (v \cdot u_p) / (2 \cdot \pi \cdot r),$$

а передавальне число редуктора електродвигуна буде визначатися як:

$$u_p = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot n / v.$$

При рівномірному русі транспортного засобу масою  $m_p$  та колесами з радіусом  $R$  зі швидкістю  $v$  прискорення  $a$  і кутове прискорення колеса  $\varepsilon$  дорівнюють нулю.

Крутний момент в цьому випадку створює тягове зусилля  $F_{\text{тяги}} = M_k / R$ , для подолання зусилля спротиву руху транспортного засобу. Але при прискоренні  $a > 0$ , зокрема розгону транспортного засобу масою  $m_p$ , необхідно забезпечити колеса з моментом інерції  $J_k$  кутовим прискоренням  $\varepsilon = a / R$ . Тому для розрахунку моменту необхідно врахувати і рух транспортного засобу і забезпечення прискорення коліс.

Прискорення  $a$  можна визначити, виходячи з максимальної зміни швидкості переміщення з  $v_0$  до  $v$  на шляху  $d$ , а саме

$$a = (v^2 - v_0^2) / 2d.$$

Використовуючи другий закон Ньютона та використовуючи принцип суперпозиції (рух колеса = сума двох рухів: прямолінійного разом із транспортним засобом, а обертання навколо своєї осі).

Загальна формула крутного моменту:

$$M_k = n_{\text{прив}} \cdot F_{\text{тяги}} \cdot R + n \cdot J_k \cdot \varepsilon$$

або

$$M_k = n_{\text{прив}} \cdot m_p \cdot a \cdot R + n \cdot m_k \cdot R \cdot a$$

де  $n_{\text{прив}}$  – кількість приводних (ведучих) коліс,

$n$  – загальна кількість коліс;

$R$  – радіус колеса;

$m_k$  – маса одного колеса;

Потужність двигуна:

$$P_{\text{дв}} = \frac{M_k \cdot \omega}{\eta} = \frac{M_k \cdot 2\pi \cdot n}{60 \cdot \eta},$$

де  $\eta$  - коефіцієнт корисної дії двигуна.

Або, якщо виразити кількість обертів через швидкість в м/с, отримаємо:

$$P_{\text{дв}} = \frac{M_k \cdot 2v}{d \cdot \eta}.$$

Обирати двигун треба виходячи з того, які параметри вказуються у переліку технічних параметрів, потужність або крутний момент.

Наприклад мотор-редуктори постійного струму IG-32RGM з реверсивним колекторним двигуном потужністю 8 Вт та редуктором з планетарною та конічною передачею [9] (рис. 3.2) мають такі характеристики (табл. 3.1). За потребою на двигуни встановлюють електромагнітне гальмо та датчик кута обертання на основі датчика Хола чи оптичного растрового датчика, що дозволяє вирішувати задачі одометрії.

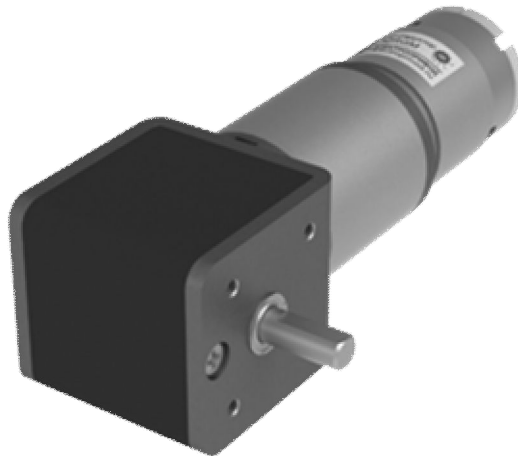


Рис. 3.2. Мотор-редуктор постійного струму IG-32RGM

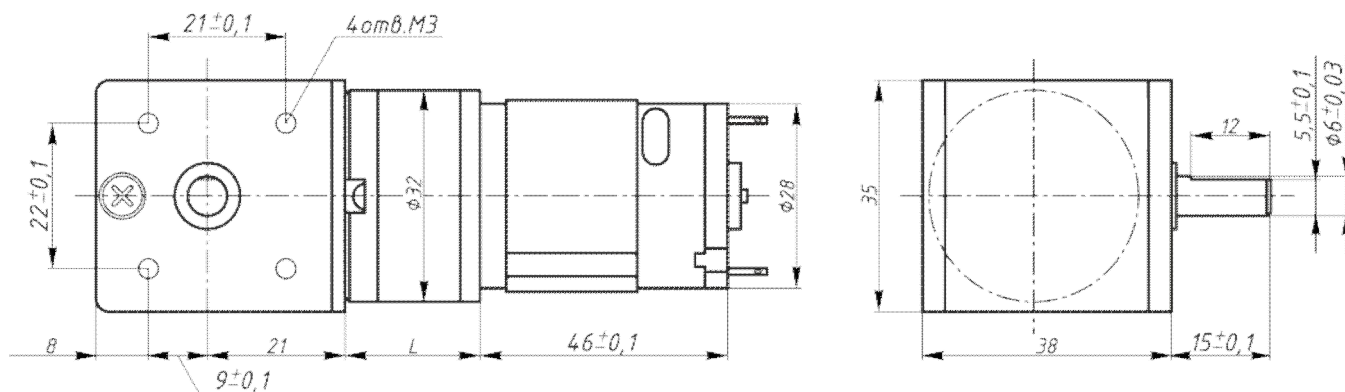


Рис. 3.3. Габаритні і приєднувальні розміри мотор-редуктора IG-32RGM

Табл. 3.1.

Характеристики мотор-редукторів постійного струму IG-32RGM

Передат. число	1/5	1/14	1/19	1/27	1/35	1/51	1/71	1/100	1/139	1/189	1/264	1/516	1/721	1/939
Живлення 12В (03 Тип)														
Момент, кгс*см	0.4	0.9	1.2	1.7	2.3	2.8	3.9	5.4	7.6	8.3	11.6	12	12	12
Швидкість, об/хв.	1140	430	310	220	170	116	83	60	43	31.5	23.5	13	9.6	7.2
Живлення 24В (04 Тип)														
Момент, кгс*см	0.47	1.1	1.5	2.1	2.7	3.3	4.6	6.4	9	9.8	12	12	12	12
Швидкість, об/хв.	1170	445	320	229	176	120	87	62	44.5	34	25	13	9.8	7.2

## 4 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕСУВАННЯ ТА ВИБІР ВІДПОВІДНИХ ДАТЧИКІВ

При використанні одометричного датчика визначення шляху переміщення здійснюється за допомогою вимірювання кута переміщення колеса.

Шлях  $l$ , що проходить колесо при обертанні на кут  $\varphi$  дорівнює

$$l = d \varphi / 2, \text{ або } l = \pi d \varphi^\circ / 360^\circ, \quad (4.1)$$

де  $d$  - діаметр колеса,  $\varphi$  та  $\varphi^\circ$  кут обертання колеса, відповідно, у радіанах або градусах.

Це дає можливість визначити зв'язок кута обертання колеса та шляху, який проходить робот при переміщенні на відстань  $l$ .

Для вимірювання кута повороту використовують найчастіше оптичні та індуктивні імпульсні датчики.

Принцип дії індуктивного датчика для визначення кругового переміщення показаний на рис. 4.1.



Рис. 4.1. Використання індуктивних датчиків для визначення кругового переміщення

На рис. 4.2 наведений датчик для визначення кругового переміщення з використанням щілинного оптичного датчика.

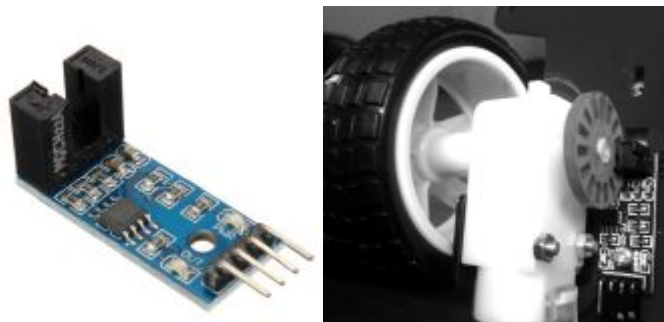


Рис. 4.2. Визначення кругового переміщення з використанням щілинного оптичного датчика

Високу точність забезпечують фотоімпульсні датчики, які дають до 6000 імпульсів за одне обертання.

Кут обертання колеса визначається при цьому кількістю імпульсів  $n$ , отриманих з датчика, та кількістю імпульсів на одне обертання  $n_\partial$ , а саме для кута обертання  $\varphi$  у радіанах та для кута обертання  $\varphi^\circ$  у градусах отримаємо

$$\varphi = 2\pi n / n_\partial \text{ або } \varphi^\circ = 360^\circ n / n_\partial, \quad (4.2)$$

Відповідно кількість імпульсів  $n$  для обертання на кут, вказаний у радіанах  $\varphi$  або в градусах  $\varphi^\circ$  дорівнює

$$n = n_\partial \varphi / 2\pi \text{ або } n = n_\partial \varphi^\circ / 360^\circ. \quad (4.2)$$



Використовуючи формули, наведені у практичних заняттях 1 та 2, можна визначити кількість імпульсів, яка потребується для переміщення на відповідну відстань.

### Приклади розв'язання задач з теми заняття

Задані наступні параметри для переміщення робота:

параметри траєкторії:

переміщення по прямій лінії на відстань  $l_V = 10$  м;

переміщення по дузі наліво з радіусом  $R = 1$  м на кут  $\Delta\theta = 90^\circ$ ,

характеристики робота:

діаметр колеса  $d = 0,1$  м;

відстань між колесами  $W = 0,1$  м;

швидкість переміщення робота  $V = 1$  м/с,

Отримані такі значення параметрів, що потребуються для програмування приводів робота для здійснення вказаних переміщень, а саме кут  $\varphi$ , на який треба повернути ведучі колеса, для прямого переміщення, та кути  $\varphi_L$  та  $\varphi_R$ , на який треба повернути ліве та праве ведучі колеса, для переміщення по дузі кола:

$$\varphi = 2 \cdot l_V / d = 2 \cdot 10 / 0,1 = 200 \text{ рад.};$$

$$\varphi_L = 2 \cdot l_L / d = 2 \cdot 1,65 / 0,1 = 33 \text{ рад.};$$

$$\varphi_R = 2 \cdot l_R / d = 2 \cdot 1,49 / 0,1 = 29,8 \text{ рад.}$$

Для вимірювання шляху переміщення на правому та лівому ведучих колесах встановлені одометричні датчики.

Кількість імпульсів на одне обертання колеса для встановленого датчика дорівнює 1000.

Згідно з формулою (4.2) отримаємо

$$n = n_\partial \varphi / 2\pi = 1000 \cdot 200 / 6,28 = 31847;$$

$$n_L = n_\partial \varphi_L / 2\pi = 1000 \cdot 33 / 6,28 = 5255;$$

$$n_R = n_\partial \varphi_R / 2\pi = 1000 \cdot 29,8 / 6,28 = 4745.$$

На рис. 4.3 наведений фотоімпульсний датчик, що має такі значення роздільної спроможності:



Роздільна спроможність:

500 імп./об.

1000 імп./об.

1024 імп./об.

1250 імп./об.

1500 імп./об.

2000 імп./об.

2048 імп./об.

2500 імп./об.

3600 імп./об.

5000 імп./об.

Рис. 4.3. Фотоімпульсний датчик

Датчик обирається виходячи з вказаної точності визначення шляху.

Якщо для переміщення обраний кроковий двигун, одометричний датчик не потрібний і вказана точність визначення шляху використовується для вибору кількості кроків на одне обертання двигуна з урахуванням передавального числа редуктора.

## 5 ВИБІР ПРИСТРОЮ КЕРУВАННЯ ТА АЛГОРИТМУ

### Мікроконтролери

Оскільки однокристальні мікроконтролери знайшли широке застосування для вирішення найрізноманітніших завдань управління, то цілий ряд фірм налагодив випуск одноплатних мікроконтролерів, побудованих за модульним принципом і здатних вирішувати велике коло завдань, в тому числі і завдань управління рухом, що характерно для мехатронних пристроїв.

Прикладом таких контролерів може служити апаратно-програмний комплекс Arduino, який представляє собою набір апаратно-програмних засобів, пристосованих для побудови простих систем автоматики і робототехніки, орієнтований на непрофесійних користувачів. Програмна частина складається з безкоштовної програмної оболонки для написання програм, їх компіляції і програмування апаратури. Апаратна частина являє собою набір готових пристроїв, виконаних у вигляді друкованих плат. Повністю відкрита архітектура системи дозволяє вільно копіювати або доповнювати лінійку продукції Arduino.

Arduino може використовуватися як для створення автономних об'єктів автоматики, так і підключатися до програмного забезпечення на комп'ютері через стандартні дротові та бездротові інтерфейси.

Як показано на рис. 5.3, є велика кількість різних датчиків і виконавчих пристроїв, що дозволяють вирішувати широке коло завдань.

При цьому є як датчики руху, так і модулі регульованих приводів для електродвигунів постійного струму і крокових двигунів, а також сервоприводи, що дозволяють здійснити поворот на заданий кут.

Мікроконтролери для Arduino відрізняються наявністю попередньо встановленого в них завантажувача (bootloader). За допомогою цього завантажувача користувач завантажує свою програму в мікроконтролер без використання окремих апаратних програматоров. Завантажувач з'єднується з комп'ютером через інтерфейс USB (якщо він є на платі) або за допомогою відповідного перехідника.

У лінійці пристроїв Arduino в основному застосовуються мікроконтролери Atmel AVR: ATmega328, ATmega168, ATmega2560, ATmega32U4, ATTiny85 з тактовою частотою 16 або 8 МГц.

Розглянемо контролери Arduino (рис. 5.1).

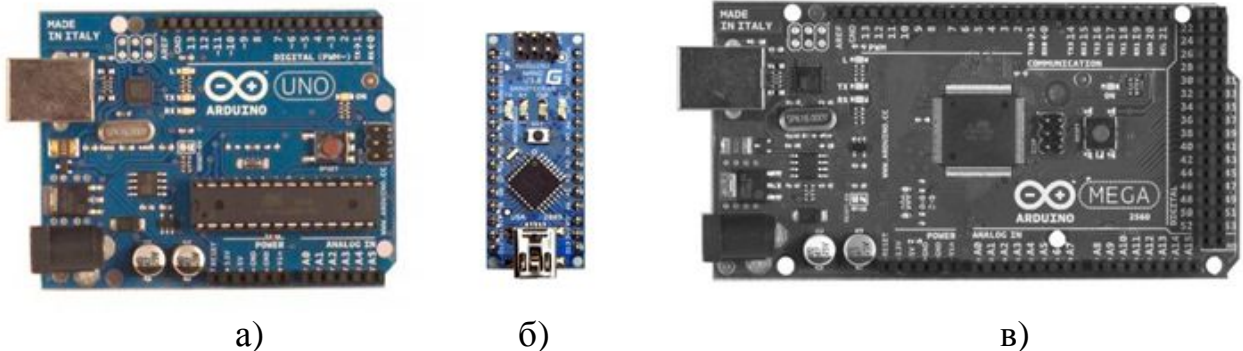


Рис. 5.1. Контролери Arduino: Arduino Uno (а), Arduino Nano (б), Arduino Mega 2560 (в)

Контролер Arduino Uno (рис. 5.1, а), побудований на ATmega328. Платформа має 14 цифрових входів / виходів (6 з яких можуть використовуватися як виходи ШІМ), 6 аналогових входів, кварцовий генератор 16 МГц, роз'єм USB, і кнопку скидання. Розмір плати  $6,9 \times 5,3$  см.

Контролер Arduino Nano (рис. 5.1, б) побудований на ATmega328. Платформа має 14 цифрових вход / виходів (6 з яких можуть використовуватися як виходи ШІМ), 8 аналогових входів, кварцовий генератор 16 МГц, роз'єм Mini USB. Відмінною особливістю є малі розміри ( $1,85 \times 4,2$  см), що дозволяють вбудовувати контролер в портативні пристрої.

Контролер Arduino Mega 2560 (рис. 5.1, в) виконаний на основі мікроконтролера ATmega2560. У його склад входить: 54 цифрових входів / виходів (з яких 15 можуть використовуватися як виходи ШІМ), 16 аналогових входів, 4 апаратних приймально-передавачів для реалізації послідовних інтерфейсів UART, кварцовий генератор 16 МГц, роз'єм USB, роз'єм живлення, роз'єм ICSP для внутрисхемного програмування і кнопка скидання. Розмір плати  $10,8 \times 5,3$  см.

Для програмування контролерів Arduino використовується середовище розробки Arduino, яка складається з безкоштовної програмної оболонки (IDE) для написання програм, їх компіляції і програмування апаратури.

Мова програмування Arduino є стандартним C++ з деякими особливостями, які полегшують новачкам написання першої працюючої програми.

Програми, написані програмістом Arduino називають начерки (або іноді скетчі - від англ. Sketch) і зберігаються в файлах з розширенням `.ino`. Ці файли перед компіляцією обробляються препроцесором Ардуіно. Також існує можливість створювати і підключати до проекту стандартні файли C++.

Обов'язкову в C++ функцію `main ()` препроцесор Arduino створює сам, вставляючи туди необхідні дії.

Програміст повинен написати дві обов'язкові для Arduino функції `setup ()` і `loop ()`. Перша викликається одноразово при старті, друга виконується в нескінченному циклі.

В тексті своєї програми (скетчу) програміст може використовувати стандартні бібліотеки.

Менеджер проекту Arduino IDE має нестандартний механізм додавання бібліотек. Бібліотеки у вигляді вихідних текстів на стандартному C++ додаються в спеціальну папку в робочому каталозі IDE. При цьому назва бібліотеки буде додано до списку бібліотек в меню IDE. Програміст зазначає потрібні бібліотеки і вони вносяться до списку компіляції.

Arduino IDE не пропонує ніяких налаштувань компілятора і мінімізує інші настройки, що спрощує початок роботи для новачків і зменшує ризик виникнення помилок.

Найпростіша Arduino-програма складається з двох функцій:

- `setup ()`: функція викликається одноразово при старті мікроконтролера.
- `loop ()`: функція викликається після `setup ()` в нескінченному циклі весь час роботи мікроконтролера.

Всі використовувані в прикладі функції є бібліотечними. У комплекті Arduino IDE є велика кількість прикладів програм.

Розглянемо, як працюють модулі управління електродвигунами на прикладі драйвера двигуна L298N.

Модуль виконаний на основі мікросхеми L298N, яка представляє собою здвоєний мостовий драйвер двигунів, призначений для управління двигунами постійного струму і кроковими двигунами (рис. 5.2).

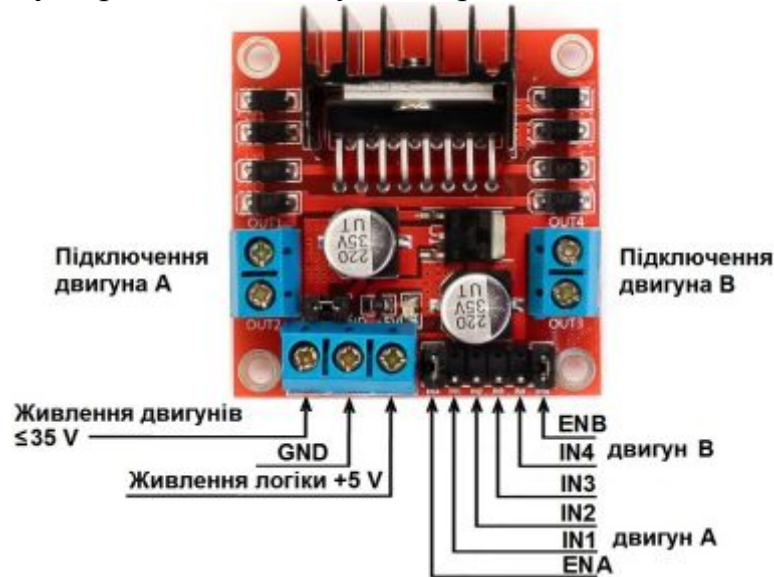


Рис. 5.2. Драйвер двигуна L298N

При подачі на вхід In1 (In3) значення 0, а на вхід In2 (In4) значення 1 двигун, що підключається до виходів OUT1 (OUT3) і OUT2 (OUT4), обертається в одну сторону, а при подачі на вхід In1 (In3) значення 1, а на вхід In2 (In4) значення 0 двигун обертається в іншу сторону. При подачі на входи In1 (In3) і In2 (In4) однакових значень двигуни не обертаються.

Схема підключення драйвера L298N з двигуном постійного струму до контролера наведена на рис. 5.3.

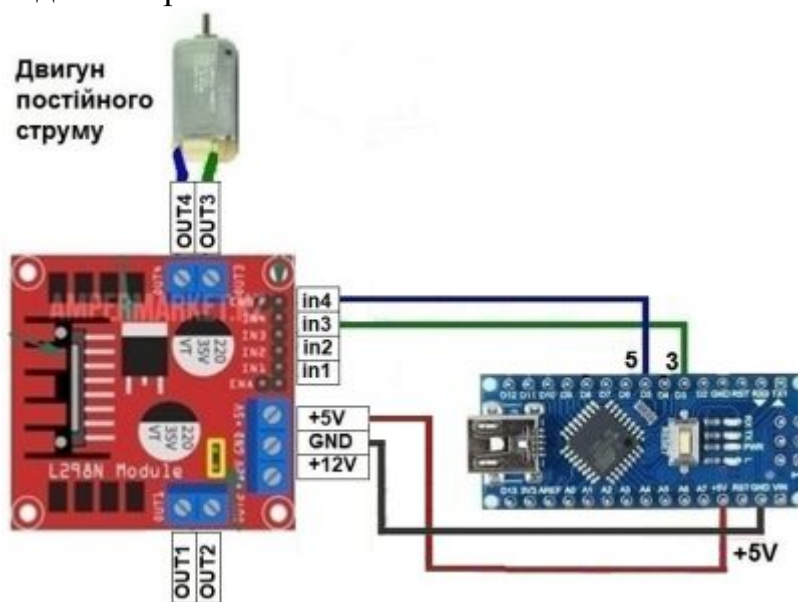


Рис. 5.3. Схема підключення драйвера L298N з двигуном постійного струму до контролера

Ця схема дозволяє управляти двома двигунами постійного струму або одним кроковим двигуном з струмом до 2 А. При паралельному включенні виходів до 4 А. Напруга живлення 5 - 35 В.

Для регулювання швидкості обертання за допомогою вихідної напруги на відповідні входи подаються сигнали ШІМ.

Наведений далі приклад програми показує, як можна здійснити керування двигуна постійного струму шляхом використання виходів ШІМ (контакти 3 та 5) за допомогою функції `analogWrite ()`.

Функція `analogWrite ()` має два аргументи: номер виходу, на який виводиться сигнал ШІМ, і число в діапазоні від 0 до 255, яке задає пропорційну тривалість імпульсу ШІМ.

Програма періодично виконує такі дії:

обертання двигуна в одну сторону на протязі 10;

зупинка на 15 с;

обертання двигуна в іншу сторону на протязі 10;

зупинка на 15 с;

На двигун подається напруга, що складає половину від максимальної.

Приклад програми:

```
const int MOTOR_R=3; // Контакт 3 для обертання двигуна вправо
const int MOTOR_L=5; // Контакт 5 для обертання двигуна вліво
void setup()
{
// Встановити контакти 3 та 5 як вихід
pinMode (MOTOR_R, OUTPUT);
pinMode (MOTOR_L, OUTPUT);
}
void loop()
{
analogWrite(MOTOR_R ,128); // Включення обертання двигуна вправо
delay(10000); // Затримка 10 секунд
analogWrite(MOTOR_R ,0); // Зупинка двигуна
delay(15000); // Затримка 15 секунд
analogWrite(MOTOR_L, 128);/ / Включення обертання двигуна вліво
delay(10000); // Затримка 10 секунд
analogWrite(MOTOR_L ,0); // Зупинка двигуна
delay(15000); // Затримка 15 секунд
}
```

У разі необхідності здійснити поворот на певний кут, наприклад, для повороту використовуються сервоприводи. Під сервоприводом в даному випадку розуміють механізм з електромотором, який можна повернути в заданий кут і утримувати в цьому положенні (рис. 5.4, а).

Для управління сервоприводами використовується широтно-імпульсна модуляція. При цьому кут повороту визначається тривалістю імпульсу (рис. 5.4, б).

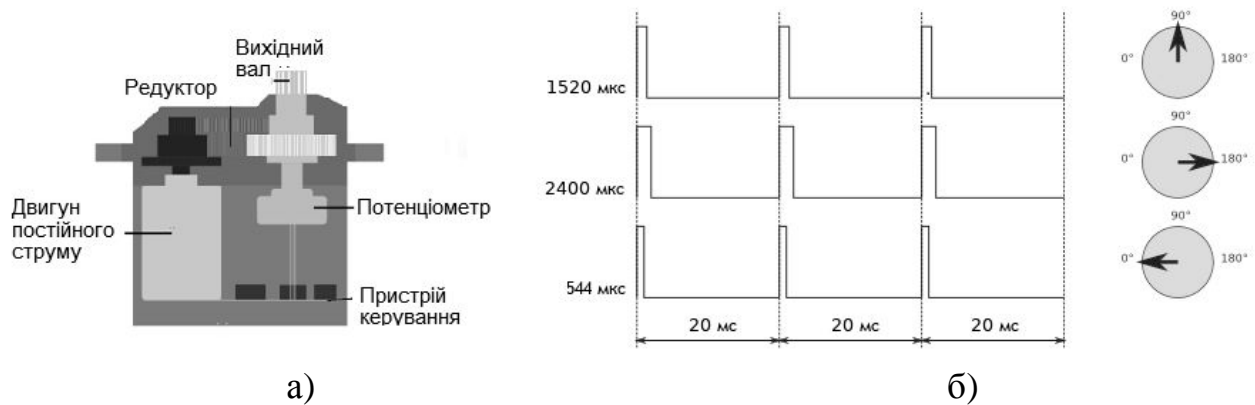


Рис. 5.4. Сервопривод (а) та залежність положення вала від тривалості імпульсів (б)

Ці приводи можна використовувати для управління рульовим колесом мобільного робота або для руху суглобів крокуючих роботів.

Схема підключення сервопривода до контролера наведена на рис. 5.5.

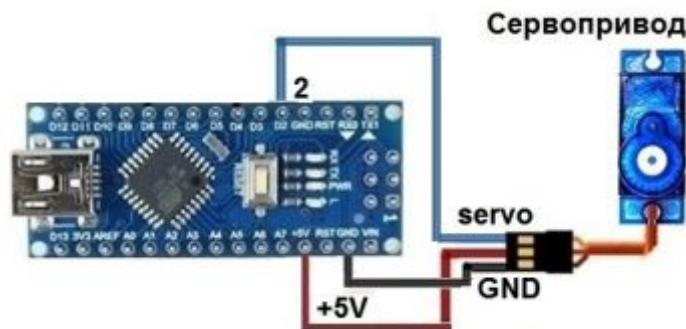


Рис. 5.5. Схема підключення сервопривода до контролера

Крім цього є модулі дистанційного керування, наприклад, модулі управління на основі інфрачервоного і радіосигналу, а також модулі для підключення до різних локальних мереж передачі даних.

Наведений набір пристроїв, побудованих за модульним принципом, дозволяє реалізувати мехатронні пристрої досить високого рівня складності.

Програма керування мехатронним пристроєм складається з послідовності переміщень, а також з окремих функцій, що повинен виконувати мехатронний модуль.

На рис. 5.6 наведена схема підключення крокових двигунів та силових модулів до системи керування.

Більш детально керування двигунами постійного струму, сервоприводами та кроковими двигунами розглянуто в [1, 2, 3, 4, 5].

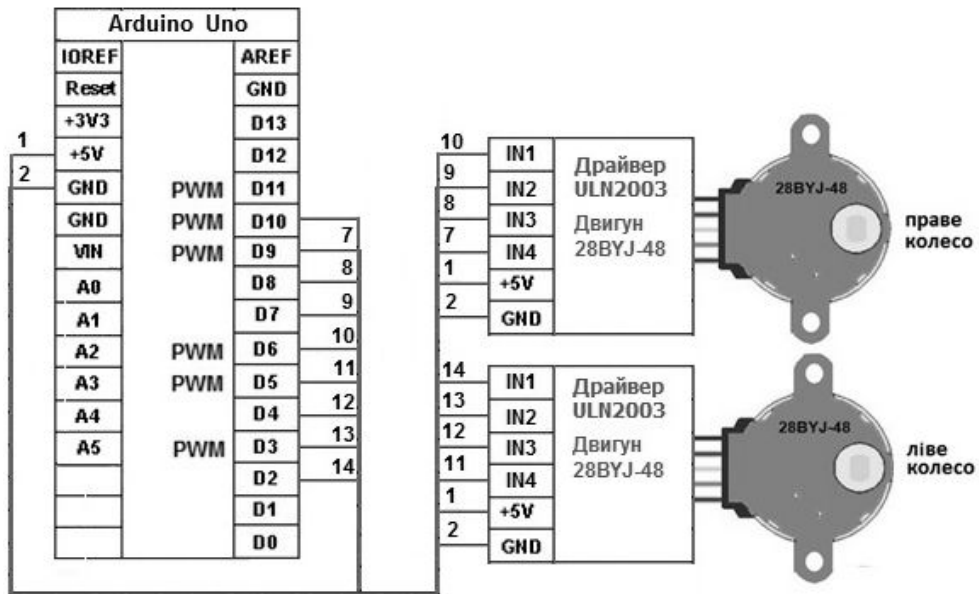


Рис. 5.6. Схема підключення крокових двигунів та силових модулів до системи керування

На рис. 5.7 наведена схема підключення двигунів постійного струму та датчиків швидкості обертання (позиціонування) до системи керування.

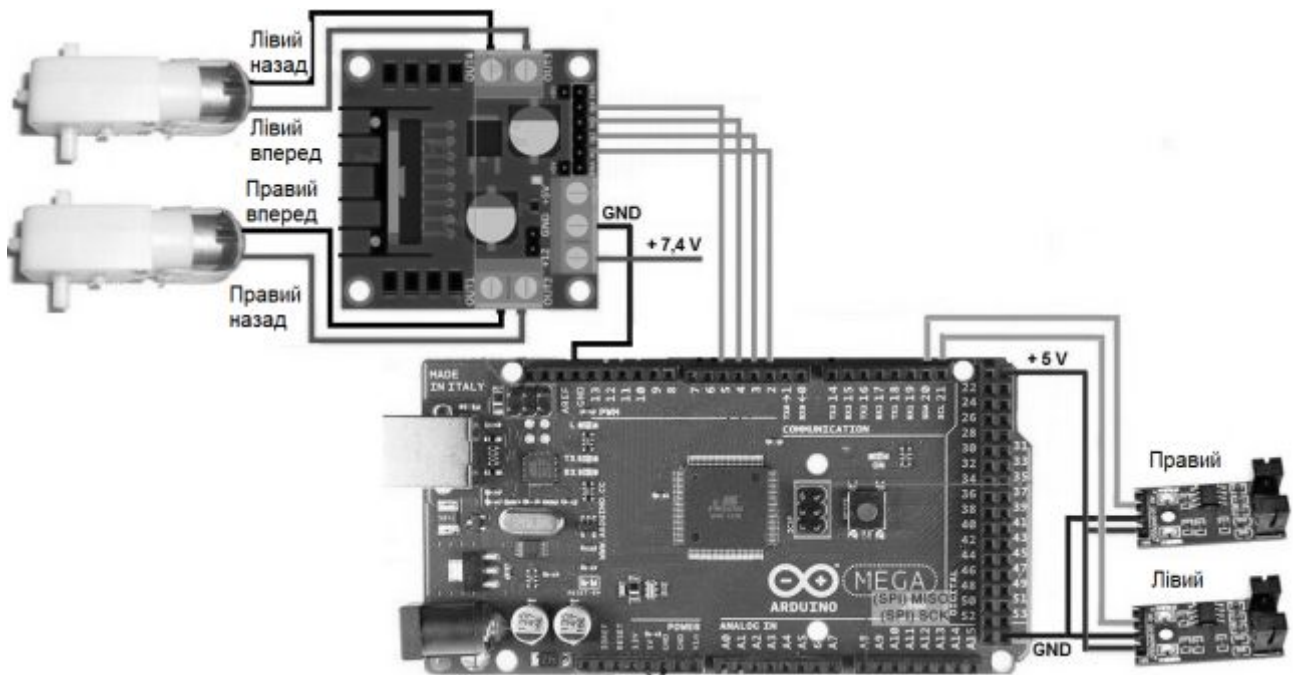


Рис. 5.7. Схема підключення двигунів та датчиків швидкості обертання (позиціонування) до системи керування

На рис. 5.8 наведена схема підключення ведучого та рульового приводів трициклу



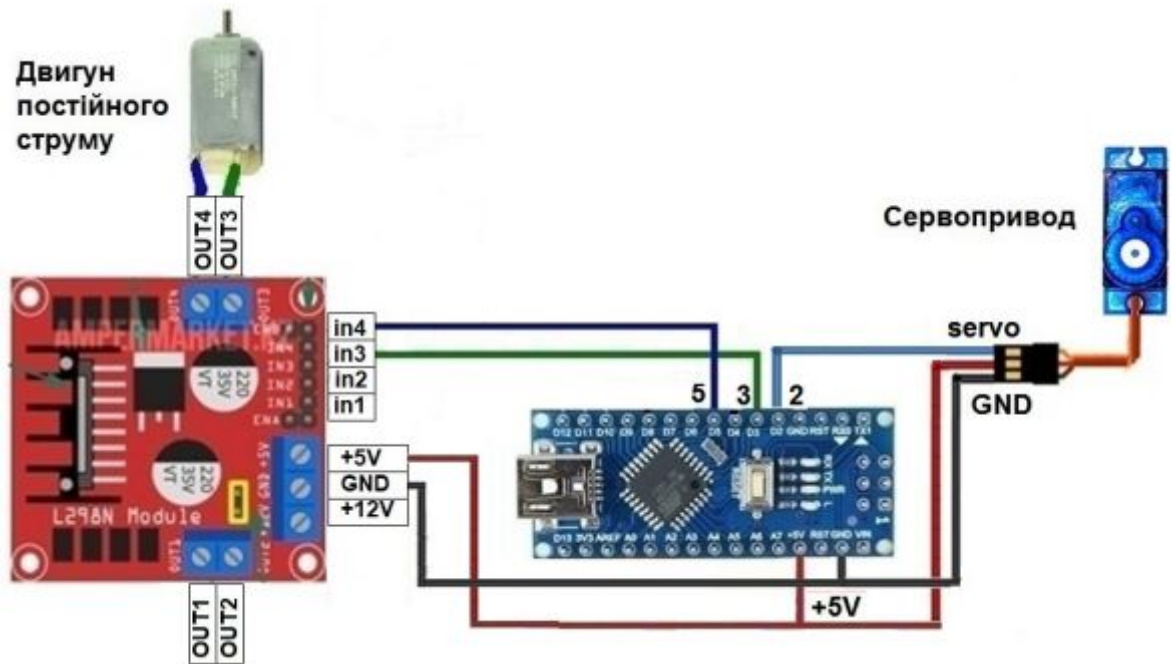


Рис. 5.8. Схема підключення ведучого та рульового приводів трициклу

Згідно з вихідними даними для курсової роботи скласти програму переміщення транспортного пристрою по вказаній траєкторії. Детальна інформація по визначенню траєкторії переміщення наведена в [6].

## **ВИСНОВОК**

У висновку рекомендується привести коротку характеристику всіх прийнятих рішень, загальні результати роботи і зробити короткі висновки по використуваних методиках, їх перевагам і недолікам, а також викласти власна думка про результативність виконаної роботи з погляду поставленої мети.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мехатроніка. Конспект лекцій для студентів бакалаврів, спеціальність: 131 - Прикладна механіка, спеціалізація: Мехатроніка та промислові роботи, спеціалізація: Інженерія логістичних систем, спеціальність: 133 – Галузеве машинобудування, спеціалізація: Підйомно-транспортні, дорожні, меліоративні машини і обладнання / Укладачі: Семенюк В.Ф., Михайлов Є. П. Одеса: ОНПУ, 2017. 89 с. (електронна версія)

2. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни "Мехатроніка" для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, спеціальності: 131 - Прикладна механіка, освітні програми: – Мехатроніка та промислові роботи, Інженерія логістичних систем, спеціальності: 133 - Галузеве машинобудування, освітня програма: – Підйомно-транспортні, будівельні дорожні машини і обладнання. / Укл.: Михайлов Є. П. – Одеса: ОП, 2021. - 38 с. (електронна версія)

3. Блум Джереми. Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства: Пер. с англ. - СПб.: БХВ-Петербург, 2015. - 336 с.: ил. (електронна версія)

4. Навчальний посібник з дисципліни Маніпулятори та промислові роботи. Для студентів бакалаврів, спеціальності: 131 - Прикладна механіка, 133 – Галузеве машинобудування, / Укладачі: Михайлов Є. П., Лінгур В.М. – Одеса: ОНПУ, 2019. - 233 с. Електронна Інтернет-версія.

5. Михайлов Є.П. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни "Маніпулятори та промислові роботи" для студентів бакалаврів спеціальності – 131 "Прикладна механіка" та 133 – "Галузеве машинобудування" денної форми навчання / Укладач: Михайлов Є.П. Одеса. ОНПУ, 2018.– 47 с. Рег. ном. МВ09494 18.04.18 №5782-РС-2018 Електронна Інтернет-версія.

6. Навчальний посібник з дисципліни "Мобільні роботи" для студентів за фахом 131 - Прикладна механіка - спеціалізація- Мехатроніка та промислові роботи / Укладач: Михайлов Є. П. Одеса: ОНПУ. – 239 с. (електронна версія)

## ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Параметр	Варіант							
	Транспортній засіб з приводом типу трицикл							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Маса засобу, кг	10,0	6,0	7,5	12,0	5,0	8,0	9,0	11,0
Радіус колеса, м	0,05	0,04	0,06	0,05	0,04	0,06	0,045	0,07
Максимальна швидкість, м/с	1	1,5	2	0,5	1	1,5	2	0,5
Шлях досягнення максимальної швидкості, м	1,5	2	0,5	1	1,5	2	0,5	1
Кут ухилу дорожнього полотна, градуси	5	8	10	7	15	6	12	16
Точність визначення шляху, мм	5	3	4	2	6	2	5	3
Траєкторія переміщення	Квадрат з стороною 10 м		Коло з радіусом 12 м		Квадрат з стороною 20 м		Коло з радіусом 15 м	

Параметр	Варіант							
	Транспортній засіб з диференційним приводом							
	9	10	11	12	13	14	15	16
Маса засобу, кг	7,5	12,0	5,0	8,0	7,5	12,0	5,0	8,0
Радіус колеса, м	0,04	0,06	0,045	0,07	0,05	0,04	0,06	0,05
Максимальна швидкість, м/с	1	1,5	2	0,5	1	1,5	2	0,5
Шлях досягнення максимальної швидкості, м	2	0,5	1	1,5	2	0,5	1	1,5
Кут ухилу дорожнього полотна, градуси	5	8	10	7	15	6	12	16
Точність визначення шляху, мм	1,5	2	3	2	4	2	5	2
	Квадрат з стороною 14 м		Коло з радіусом 10 м		Квадрат з стороною 16 м		Коло з радіусом 5 17 м	

## ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

Курсова робота повинна бути оформлена відповідно до вимог ДСТУ - 3008 - 95.

Пояснювальна записка виконується на аркушах формату А4 210x297 мм. Робота виконується рукописним чи машинописним способом (з використанням комп'ютера).

При оформленні пояснювальної записки за допомогою комп'ютера повинні бути виконані вимоги: шрифт - Times New Roman чи Times New Roman Cyr, розмір кегля 14 пт, міжрядковий інтервал- 1,5.

При оформленні пояснювальної записки варто витримувати поля: ліворуч - 30 мм, праворуч - 15 мм, зверху - 15 мм, знизу - 20 мм.

У записці допускається використання скорочення слів та словосполучень відповідно до діючого ДСТ по бібліотечній та видавничій справі.

Структурні елементи проекту "РЕФЕРАТ", "ЗМІСТ", "ВСТУП", "ВИСНОВОК", "СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ" не нумеруються, а їхні назви використовуються як заголовки структурних елементів.

Заголовки розділів розміщуються посередині листа та записуються великими прописними буквами без підкреслення, крапка після номера та наприкінці назви заголовка не ставиться. Назви підрозділів, пунктів та підпунктів записуються з абзацним відступом малими літерами. Між розділом та текстом після нього повинно бути пропущене два інтервали.

Всі ілюстрації, креслення, малюнки, схеми, діаграми, таблиці, формули повинні розміщатися після першого їхнього згадування в чи тексті на наступній (після першого згадування) сторінці. При цьому їхня нумерація здійснюється в межах роздязнула (тобто має подвійне кодування "Таблиця 2.4 - ", - це значить що це четверта таблиця другого розділу).

Пояснення значень символів та числових коефіцієнтів, що входять у формулу, необхідно приводити безпосередньо після формули й у тій же послідовності, у якій вони приведені у вираженні.

Додатки приводяться наприкінці пояснювальної записки після переліку посилань ("СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ"), та нумеруються.

На всі додатки в тексті пояснювальної записки обов'язково повинні бути посилання.

Графічна частина курсової роботи (слайди, презентація)

- 1-й – Титульний лист;
- 2-й – Мета та завдання роботи;
- 3-й – Загальні характеристики пристрою;
- 4-й – Визначення;
- 5-й – Порівняльна характеристика можливих варіантів;
- 6-й – Технічна характеристика обраного пристрою;
- 7-й – Графіки (при наявності);
- 8-й – Розрахунки;
- 9-й – Висновки.

## **КУРСОВА РОБОТА**

з дисципліни "Мехатроніка"

на тему **Розробка мехатронного модулю пересування автоматизованих транспортних засобів**

Здобувача (ки) \_\_\_\_\_ курсу \_\_\_\_\_ групи  
спеціальності: 131 Прикладна механіка  
(133 Галузеве машинобудування)

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Керівник \_\_\_\_\_  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Національна шкала \_\_\_\_\_

Кількість балів: \_\_\_\_\_ Оцінка: ECTS \_\_\_\_\_

Члени комісії \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Одеса – 202\_\_

**ЗАВДАННЯ**  
на виконання курсової роботи

з дисципліни  
**Мехатроніка**

Здобувача групи \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Тема курсової роботи: **Розробка мехатронного модулю пересування автоматизованих транспортних засобів**

1. Термін виконання курсової роботи: з \_\_.\_\_.202\_ р. до \_\_.\_\_.202\_ р.

2. Вихідні дані до курсової роботи:

Розробити мехатронний модуль переміщення автоматизованого транспортного засобу з диференціальним приводом з такими параметрами

- маса засобу \_\_\_\_\_
- радіус колеса \_\_\_\_\_
- максимальне прискорення \_\_\_\_\_
- шлях досягнення максимального прискорення \_\_\_\_\_
- кут ухилу дорожнього полотна \_\_\_\_\_
- точність вимірювання шляху переміщення \_\_\_\_\_

Розробити алгоритм переміщення на вказану відстань

Розробити алгоритм керування швидкістю переміщення

3. Етапи роботи над курсовою роботою:

- визначити структуру та конструкцію мехатронного модуля
- розрахунок та вибір електродвигуна та редуктора;
- розробка та розрахунок параметрів датчиків позиційного керування;
- розробка пристрою та алгоритмів керування.

4. Перелік обов'язкового графічного матеріалу:

робочий кресленик механізму переміщення;

- робочий кресленик редуктору;
- робочий кресленик механізму позиціонування;
- загальний вигляд модулю;
- схема приладу керування;
- блок-схема алгоритмів керування.

Завдання видав \_\_\_\_\_ Е.П.Михайлов  
(підпис) (ініціали та прізвище)

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 202\_ р.

6. Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ )  
(підпис, дата) (ініціали та прізвище)

Курсова робота захищена з оцінкою \_\_\_\_\_

Голова комісії: \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 202\_ р.

Члени комісії: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

\* У графі 2 – пропонуване позначення документа:

*М* – аббревіатура назви дисципліни;

*081* – номер групи;

*16* – номер варіанту завдання;

*001* – номер документа, зазначений у відомості курсового проекту;

*ПЗ* – аббревіатура назви документа (пояснювальна записка), писати через пробіл, ГОСТ 2.201-80

					<i>М.081.16.001 ПЗ</i>					
<i>Зміни</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				<i>Літ</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Розробив</i>		<i>Іванов П.С.</i>			<i>Розробка мехатронного модулю пересування автоматизованих транспортних засобів</i>			<i>У</i>	<i>П</i>	<i>К</i>
<i>Перевірив</i>		<i>Михайлов Є.П.</i>							<i>1</i>	
<i>Н. контр.</i>								<i>Гр. КП-081</i>		
<i>Затв.</i>								<i>Кафедра ПТРО</i>		
								<i>ОП</i>		