

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**КРИВОРІЗЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Факультет дошкільної і технологічної освіти**  
**Кафедра загальнотехнічних дисциплін та професійного навчання**

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри ЗТДПН

\_\_\_\_\_ Олег Цись  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

Реєстраційний № \_\_\_\_\_  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

**МЕТОДИКА ПРОЄКТУВАННЯ Й НАЛАШТУВАННЯ КРОКОВИХ  
ДВИГУНІВ НА БАЗІ ARDUINO НА УРОКАХ ТЕХНОЛОГІЇ У  
ПРОФІЛЬНІЙ ШКОЛІ**

Кваліфікаційна робота студентки  
групи ТОАм-22  
ступінь вищої освіти магістр  
спеціальності  
014.10 Середня освіта (Трудове навчання  
і технології)  
Нестерчук Марини Володимирівни  
Керівник: к.пед.н., доц.  
Цись Олег Олександрович

Оцінка:

Національна шкала \_\_\_\_\_

Шкала ECTS \_\_\_\_\_ кількість балів \_\_\_\_\_

Голова ЕК \_\_\_\_\_

Члени ЕК \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	3
1. ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ КРОКОВИХ ДВИГУНІВ У ВЕРСТАТАХ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ УПРАВЛІННЯМ .....	5
<b>1.1 Особливості застосування і типи крокових двигунів.</b> ....	5
<b>1.2 Переваги і недоліки крокових двигунів у порівнянні з двигунами інших типів.</b> .....	12
2. ПРОЄКТУВАННЯ І НАЛАШТУВАННЯ КРОКОВИХ ДВИГУНІВ ДЛЯ ВЕРСТАТУ ІЗ ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ УПРАВЛІННЯМ НА БАЗІ ARDUINO.....	19
<b>2.1 Вибір і розрахунок основних параметрів крокового двигуна.</b> .....	19
<b>2.2 Підключення крокового двигуна до плати Arduino Uno</b> .....	28
3. МЕТОДИКА ВИКОРИСТАННЯ КРОКОВИХ ДВИГУНІВ ДЛЯ ВЕРСТАТІВ ЧПУ НА УРОКАХ ТЕХНОЛОГІЇ У ПРОФІЛЬНІЙ ШКОЛІ .....	36
<b>3.1 Методика проведення уроку Технології з використанням крокових двигунів для верстатів ЧПУ у профільній школі.</b> .....	36
<b>3.2 Техніка безпеки при роботі на верстатах з ЧПУ</b> .....	40
ВИСНОВКИ.....	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	47
ДОДАТКИ.....	50

## ВСТУП

Сфери застосування крокових двигунів вражають своєю різноманітністю: різні верстати ЧПУ, роботи, автоматичні інструменти, офісна техніка. Але є один фактор, який їх поєднує – у кожній області потрібна висока точність позиціонування, при збереженні конструктивної простоти пристрою.

Кроковий електродвигун – це синхронний безщітковий двигун, який перетворює електричну енергію на механічну і ділить повний оберт на декілька кроків.[15]

Прилади такого типу застосовуються в промисловості як виконавчі пристрої. Крокові двигуни встановлюються в пристроях з дискретним керуванням за необхідності точного позиціонування виконавчих механізмів, у тому числі різців та плазмових різаків з точністю до десятих міліметрів. Їх також використовують в устаткуванні з безперервним переміщенням та імпульсним керуванням, в якому характер руху задається програмно, наприклад, у верстатах з ЧПУ.[14]

Крім промислового та побутового секторів крокові двигуни знаходять застосування у сфері освіти, так, виготовленні роботів, саморобних рухомих пристроїв, саморобних верстатів з ЧПУ на уроках технології у профільній школі неможливе без використання крокових двигунів. Проблема вибору, налаштування і методики використання крокових двигунів на уроках технології на сьогоднішній день не знайшла широкого висвітлення в науковій літературі тому на нашу думку є актуальною.

Це зумовило вибір *теми* кваліфікаційної роботи: **«Методика проєктування й налаштування крокових двигунів на базі Arduino на уроках технології у профільній школі.»**

**Мета роботи:** спроектувати і налаштувати крокові двигуни для ЧПУ верстату на баці Arduino й описати методику їх використання на уроках технології у профільній школі.

**Об'єкт:** проектування й налаштування крокових двигунів для ЧПУ верстату на базі Arduino.

**Предмет:** розробка методики проектування й налаштування крокових двигунів на базі Arduino на уроках технології у профільній школі.

У відповідності до мети визначено такі **завдання:**

1. Дослідити особливості застосування крокових двигунів у верстатах з числовим програмним управлінням.
2. Спроектувати і налаштувати крокові двигуни для верстату із числовим програмним управлінням на базі Arduino.
3. Описати методику використання крокових двигунів для верстатів ЧПУ на уроках технології у профільній школі.

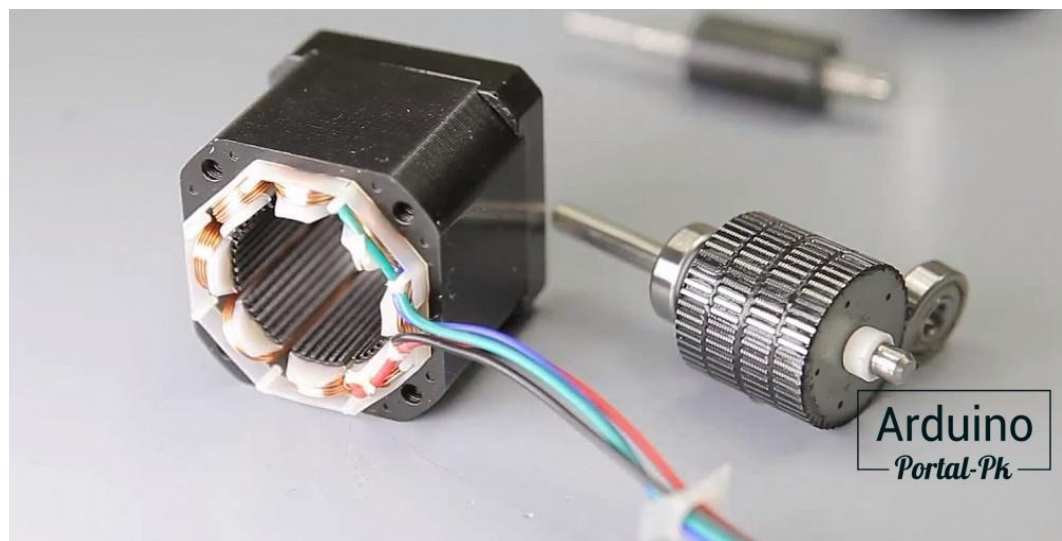
У процесі виконання кваліфікаційної роботи були застосовані такі **методи:** аналіз літератури та інформаційних ресурсів, порівняння та узагальнення вітчизняного й світового досвіду, вивчення технічної документації, проектування, моделювання.

**Практична значущість** роботи полягає в тому, що спроектовані і налаштовані крокові двигуни для верстату із числовим програмним управлінням на базі Arduino можуть бути використані в практиці навчання учнів на уроках технології у профільній школі.

## 1. ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ КРОКОВИХ ДВИГУНІВ У ВЕРСТАТАХ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ УПРАВЛІННЯМ

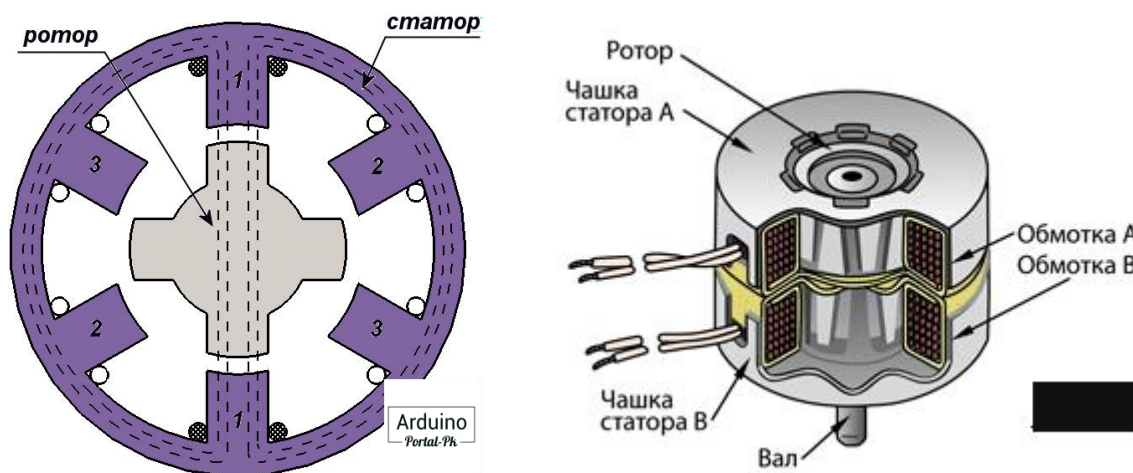
### 1.1 Особливості застосування і типи крокових двигунів.

Кроковий двигун – це електродвигун постійного струму, без контактних щіток, у якого повний оборот ділиться на кілька рівних кроків. Положення даного пристрою може бути задане для переміщення і утримання на одному з цих етапів без будь-якого датчика положення для зворотнього зв'язку (контролер з розімкненим контуром), за умови, що механізм ретельно підібраний для застосування щодо крутного моменту і швидкості. Імпульсні двигуни з перемиканням – це дуже великі крокові прилади зі зменшеною кількістю полюсів і, як правило, із замкнутим контуром.[15]



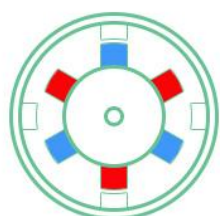
У міру обертання крокового двигуна індуктивність кожної обмотки коливається через вершини і падає кілька разів за оберт. Крутний момент генерується у міру того, як під напругою обмотка переміщається від вершини до низу, викликаючи зменшення енергії, що запасється в магнітному полі.

Це зниження енергії поля безпосередньо перетворюється на механічну роботу.



*Області застосування.* Від простих DVD плеєрів або принтерів у побуті до найскладніших верстатів з ЧПУ або роботизованої руки крокові двигуни можна знайти практично скрізь. Здатність здійснювати точні рухи з електронним управлінням дозволила цим пристроям знайти застосування в багатьох сферах, таких як камери спостереження, жорсткі диски, верстати з ЧПУ, 3D-принтери, робототехніка, складальні роботи, лазерні різачки та багато іншого.

*Види крокових двигунів за типом ротора.* За типом ротора, крокові двигуни діляться на: двигуни з постійними магнітами, реактивні двигуни та гібридні двигуни[16]:



*Двигун з постійними магнітами*



*Реактивний двигун (зі змінним магнітним опором)*



*Гібридний двигун*

1. Двигун з постійними магнітами (ротор із магнітотвердого матеріалу). На роторі встановлено один або кілька постійних магнітів. Кількість повних кроків в одному обороті таких двигунів залежить від кількості постійних магнітів на роторі і кількості електромагнітів на статорі. Зазвичай в одному обороті від 4 до 48 кроків (один крок від  $7,5^\circ$  до  $90^\circ$ ).

2. Реактивний двигун (ротор з магнітом'якого матеріалу). Ще такі двигуни називають двигунами із змінним магнітним опором. Ротор не має постійних магнітів, він виконаний з магнітом'якого матеріалу у вигляді багатокінцевої зірки. Дані двигуни зустрічаються рідко, так як у них найменший крутний момент, в порівнянні з іншими, при тих же розмірах. Кількість повних кроків в одному обороті таких двигунів залежить від кількості зубців на зірці ротора і кількості електромагнітів на статорі. Зазвичай в одному обороті від 24 до 72 кроків (один крок від  $5^\circ$  до  $15^\circ$ .)

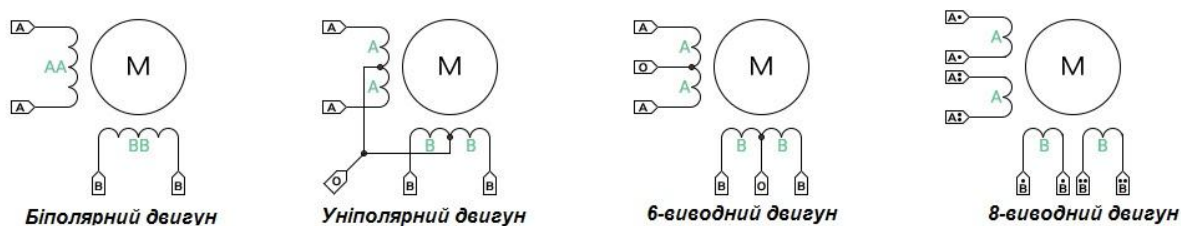
3. Гібридний двигун (поєднує технології двох попередніх двигунів). Ротор виконаний з магнітотвердого матеріалу (як у двигуна з постійними магнітами), але має форму багатокінцевої зірки (як у реактивного двигуна). Кількість повних кроків в одному обороті таких двигунів залежить від кількості постійних магнітів на зірці ротора і кількості електромагнітів на статорі. Кількість кроків в одному обороті таких двигунів може сягати 400 (один крок від  $0,9^\circ$ ).

Щоб з'ясувати тип крокового двигуна потрібно звернутися до його специфікації, або, в разі її відсутності, потрібно вручну покрутити ротор відключеного двигуна. В результаті можна помітити, що він рухається не плавно, а кроками. Після цього потрібно замкнути усі дроти двигуна та покрутити ротор повторно. Якщо ротор також крутиться, значить у Вас реактивний двигун. Якщо для обертання ротора потрібно прикладати більше зусиль, це означає, що у вас двигун з постійними магнітами або гібридний. Відрізнити двигун із постійними магнітами від гібридного можна

підрахувавши кількість кроків в одному обороті. Для цього не обов'язково вважати всі кроки, достатньо приблизно зрозуміти їх менше 50 або більше. Якщо менше, то у Вас двигун з постійними магнітами, а якщо більше, значить у Вас гібридний двигун.

*Види крокових двигунів за типом з'єднання електромагнітів статора.*

За типом з'єднання електромагнітів, крокові двигуни поділяються на: уніполярні та біполярні[16].



На малюнку представлено спрощене, схематичне уявлення обмоток. Насправді кожна обмотка складається з декількох обмоток електромагнітів, з'єднаних послідовно або паралельно.

1. Біполярний двигун має 4 виводи. Виводи А та А живлять обмотку АА, виводи В і В живлять обмотку ВВ. Для включення електромагніту на виводи обмотки необхідно подати різницю потенціалів (два різних рівня), тому двигун називається біполярним. Напрямок магнітного поля залежить від полярності потенціалів на виводах.

2. Уніполярний двигун має 5 виводів. Центральні точки його обмоток з'єднані між собою і є загальним (п'ятим) виводом, який зазвичай підключають до GND. Для включення електромагніту достатньо подати позитивний потенціал на один з виводів обмотки, тому двигун називається уніполярним. Напрямок магнітного поля залежить від того, на яке саме виведення обмотки подано позитивний потенціал.

3. 6-выводний двигун має відгалуження від центральних точок обмоток, але обмотка АА не з'єднана з обмоткою ВВ. Якщо не використовувати



виводи центральних точок обмоток, двигун буде біполярним, а якщо ці виводи з'єднати і підключити до GND, то двигун буде уніполярним.

8-выводний двигун є найбільш гнучким у плані підключення електромагнітів. Даний двигун можна не тільки використовувати як біполярний або уніполярний, а й самим визначати, як з'єднати електромагніти обмоток, послідовно або паралельно.

Щоб з'ясувати тип наявного двигуна достатньо порахувати кількість виводів. Якщо у Вашого двигуна 4 виводи, то він біполярний. Якщо у Вашого двигуна 5 виводів, то він уніполярний. Але якщо у Вашого двигуна 6 і більше виводів, це не означає, що деякі з них є центральними виводами котушок електромагнітів. Справа в тому, що є двигуни, деякі виводи яких (звичайно крайні) електрично замкнуті, так біполярний двигун може мати 6 виводів. Точно визначити тип з'єднань для двигунів з 6 і більше виводами, можна тільки вимірюючи опір між ними.

*Режими роботи крокових двигунів.* Для роботи крокового двигуна (незалежно від його виду) можна вибрати один із трьох режимів роботи:

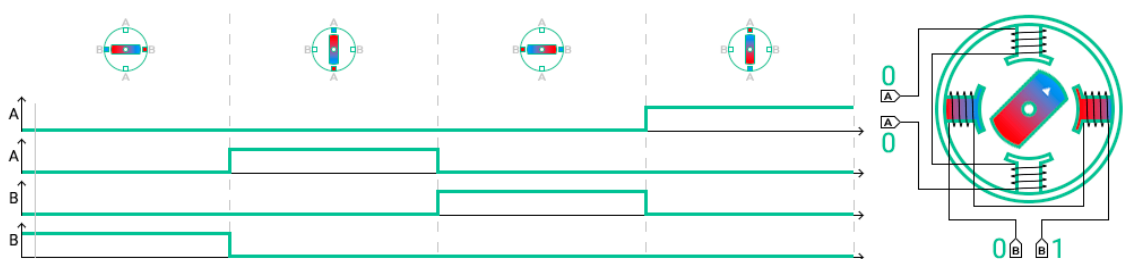
Повнокроковий режим – ротор повертається на 1 крок за 1 такт.

Напівкроковий режим – ротор повертається на  $\frac{1}{2}$  кроку за 1 такт.

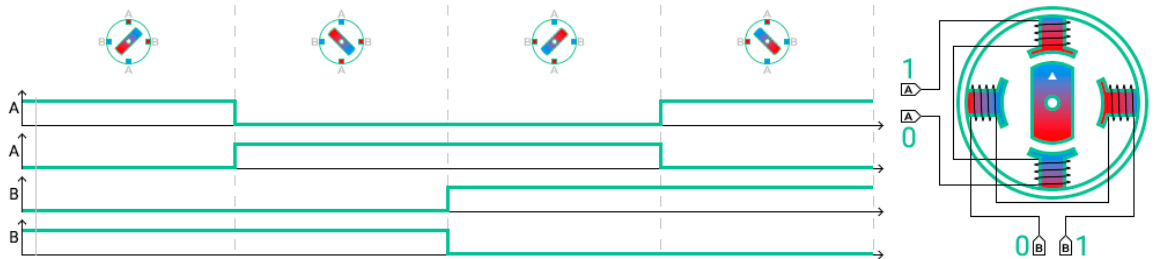
Мікрокроковий режим – ротор повертається на  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{8}$  і т.д. кроків за один такт.

Нижче розглянуті режими роботи, на прикладі біполярного двигуна з постійним магнітом та повним кроком  $90^\circ$ .

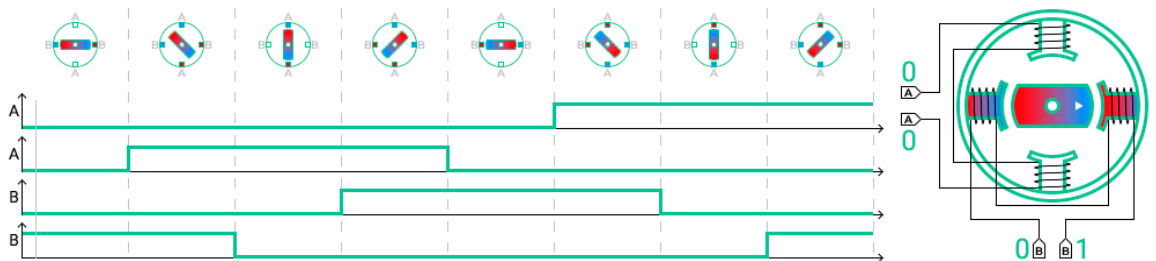
Повнокроковий режим (одна фаза на повний крок). Номінальні значення крокового двигуна зазначаються саме для цього режиму.



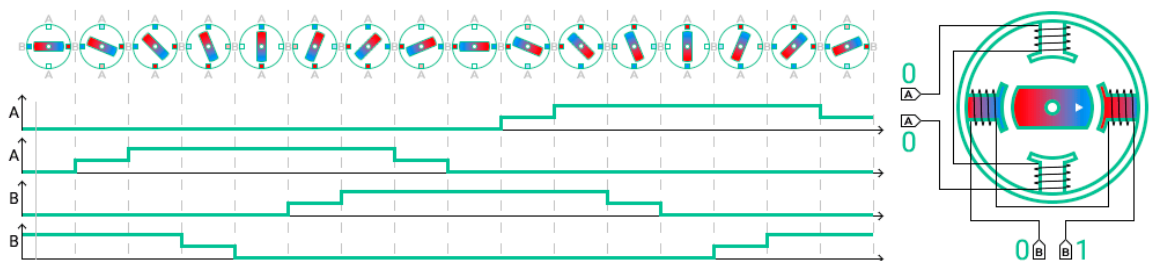
Повнокроковий режим (дві фази на повний крок). Цей режим дозволяє збільшити момент, що крутить, майже в половину від номінального.



Напівкроковий режим. Цей режим дозволяє збільшити кількість кроків у повному обороті вдвічі, при незначному зменшенні крутного моменту.



Мікрокроковий режим. Цей режим є найбільш поширеним, він дозволяє збільшити кількість кроків у повному обігу вчетверо, завдяки нерівномірному розподілу струмів в обмотках. Зниження струмів можна досягти зниженням напруги (як показано на картинці) або подавати повну напругу через зовнішнє навантаження, що підключається.



Якщо подавати рівні не "0" - "1/2" - "1" (як на картинці), а "0" - "1/4" - "1/2" - "3/4" - "1", то кількість кроків у повному обороті збільшиться не у 4 рази, а у

8 разів. Можна збільшити кількість кроків у 16, 32, 64 рази і т.д., а якщо замінити дискретні рівні сигналів на синусоїди, то двигун обертатиметься плавно (без кроків).

Режими зниженого енергоспоживання доступні тільки для 8-вивідних двигунів. Ці режимивідрізняються від звичайних тим, що використовують лише половину фази (половину електромагнітів). Дані режими використовуються рідко, оскільки вони значно знижують крутний момент двигуна.

*Підключення крокових двигунів до Arduino.* Електромотори не можна підключати до виводів Arduino безпосередньо, оскільки вони споживають значні струми, крокові двигуни не є винятком, тому їх підключають через драйвери. Більшість драйверів працюють або з біполярними двигунами або з уніполярними.

Біполярний двигун можна підключити лише до драйвера біполярних двигунів; 6-вивідний двигун можна підключити до будь-якого драйвера. Якщо не використовувати виводи центральних точок обмоток, двигун буде біполярним, а якщо ці виводи з'єднати і підключити до GND, то двигун буде уніполярним; 8-вивідний двигун є найбільш гнучким у плані підключення. Даний двигун можна не тільки використовувати як біполярний або уніполярний, а й самим визначати, як з'єднати електромагніти обмоток усередині двигуна, послідовно чи паралельно.

Уніполярний двигун, за потреби, можна підключити і до драйвера біполярного двигуна за простою схемою з кількох діодів (краще використовувати діоди Шоттки), але таке підключення гарантує коректність роботи уніполярного двигуна лише у повнокроковому режимі.

*Драйвери.* Драйвери поділяються на дві категорії:

1. Повторюючі форму сигналів. Цей тип драйверів не формує імпульси, а лише повторює їхню форму для управління двигуном. Формування

імпульсів приділяється мікроконтролерам (наприклад Arduino). До цієї категорії належать такі драйвери як MotorShield на базі чіпа L298.

2. Формуючі сигнали керування. Використовуючи цей тип драйверів, можна обійтися без мікроконтролерів, тому що для їх роботи достатньо подати меандр і вибрати режими роботи. До цієї категорії належать такі драйвери як A4988.

## **1.2 Переваги і недоліки крокових двигунів у порівнянні з двигунами інших типів.**

Перед тим, як розпочати процес підбору і розрахунку крокового двигуна, потрібно ознайомитися з його основними перевагами та недоліками[15]:

### *Переваги.*

- досягнуто низьку вартість контролю;
- високий момент обертання при запуску та низька швидкість;
- простота конструкції;
- низькі експлуатаційні витрати;
- менше шансів гальмування чи прослизання;
- працюватиме в будь-якому середовищі;
- успішно використовується у робототехніці в широкому масштабі;
- високий рівень надійності;
- має повний крутний момент у стані спокою (під час перебування обмоток під напругою);
- велика точність позиціонування та повторюваність руху;
- негайна відповідь на запуск/зупинка/реверс;
- має високий ступінь надійності, завдяки відсутності контактних щіток.

### *Недоліки крокового двигуна.*

- споживає більше енергії в порівнянні з двигунами постійного струму;
- при більш високій швидкості значення крутного моменту, зменшується;
- зниження ефективності;
- виникає стан резонансу;
- на високій швидкості керування неможливе.

Двигуни постійного струму (ДПТ) Lenze починають працювати відразу, як тільки до них буде додана постійна напруга. Перемикання напрямку струму через обмотки ротора здійснюється механічним комутатором колектором. Постійні магніти розташовані на статорі. Кроковий двигун може бути розглянутий як ДПТ без комутатора. Обмотки його є частиною статора. На роторі розташований постійний магніт або, для випадків зі змінним магнітним опором, зубчастий блок із магнітом'якого матеріалу. Усі комутації виробляються зовнішніми схемами. Зазвичай система мотор – контролер розробляється так, щоб була можливість виведення ротора в будь-яку фіксовану позицію, тобто система управляється за становищем. Циклічність позиціонування ротора залежить від його геометрії.[17]

Прийнято розрізняти крокові двигуни (Autonics, Motionking, Fulling motor) та серводвигуни (Lenze). Принцип їх дії багато в чому схожий, і багато контролерів можуть працювати з обома типами. Основна відмінність полягає у кількості кроків на цикл (один оборот ротора). Серводвигуни вимагають наявності в системі керування аналогового зворотного зв'язку, якою зазвичай використовується потенціометр. Струм у цьому випадку обернено пропорційний різниці бажаного і поточного положень. Крокові двигуни переважно використовуються в системах без зворотного зв'язку, що вимагають невеликих прискорень при русі.

Крокові двигуни мають широкий діапазон кутових дозволів. Більш грубі мотори зазвичай обертаються на  $90^\circ$  за крок, тоді як прецизійні двигуни можуть мати роздільну здатність  $1,8^\circ$  або  $0,72^\circ$  на крок. Якщо контролер дозволяє, то можливе використання напівкрокового режиму або режиму з дрібнішим дробленням кроку (мікрокроковий режим), при цьому на обмотки подаються дробові значення напруги, що часто формуються за допомогою ШІМ-модуляції.

Якщо в процесі управління використовується збудження тільки однієї обмотки в будь-який момент часу, то ротор повертатиметься на фіксований кут, який утримуватиметься доки зовнішній момент не перевищить моменту утримання двигуна в точці рівноваги.

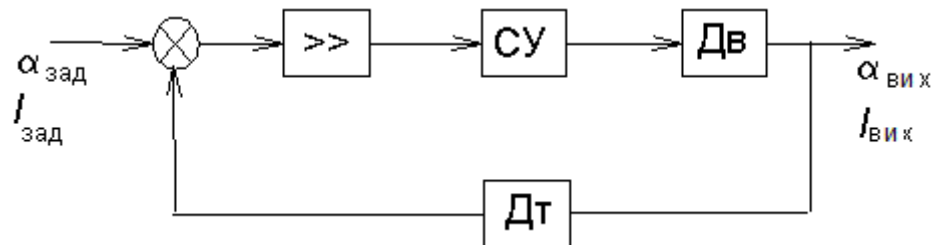
Для правильного керування біполярним кроковим двигуном необхідна електрична схема, яка повинна виконувати функції старту, стопу, реверсу та зміни швидкості. Кроковий двигун транслює послідовність цифрових перемикачів у рух. Магнітне поле, що обертається, забезпечується відповідними перемикачними напруг на обмотках. Слідом за цим полем обертатиметься ротор, з'єднаний за допомогою редуктора з вихідним валом двигуна.

Схема керування для біполярного крокового двигуна вимагає наявності мостової схеми кожної обмотки. Ця схема дозволить незалежно змінювати полярність напруги на кожній обмотці. На малюнку показана послідовність управління режиму з одиничним кроком.



Максимальна швидкість руху визначається з фізичних можливостей крокового двигуна. У цьому швидкість регулюється шляхом зміни розміру кроку. Більші кроки відповідають більшій швидкості руху. У системах керування електроприводами для відпрацювання заданого кута або переміщення використовують датчики зворотного зв'язку з кута або положення вихідного валу виконавчого двигуна.

Система відпрацювання кута вихідного валу двигуна з використанням датчика зворотного зв'язку:



Якщо як виконавчий двигун використовувати синхронний кроковий двигун, то можна обійтися без датчика зворотного зв'язку (Дт) і спростити систему управління двигуном (СУ), тому що відпадає необхідність використання в ній цифро-аналогових (ЦАП) та аналого-цифрових (АЦП) перетворювачів.

Розглянемо порівняльну характеристику крокових і серво двигунів[18]:

*Порівняльна характеристика за основними параметрами крокових і серво двигунів:*

	Кроковий двигун	Серво двигун
Термін експлуатації та обслуговування	Крокові двигуни – немає щіток, це збільшує термін експлуатації багато років, єдиним слабким	З усіх видів серво двигунів, найдешевші це двигуни колекторного типу (зі щітками), вони менш

	<p>місцем є підшипники, можуть працювати у великому діапазоні високих температур. Термін експлуатації в рази довше за будь-який тип двигуна.</p>	<p>надійні, ніж крокові двигуни і вимагають заміни щіток приблизно через 5000 годин безперервної роботи. Інший тип безколекторних сервоприводів виробляються як і крокові двигуни, відсутність щіток збільшує термін експлуатації, але не зменшує вартість ремонту. У деяких випадках простіше та дешевше купити новий двигун, а не намагатися його відремонтувати.</p>
Ремонт	<p>Дуже важко пошкодити та зносити підшипник. Як і в будь-якому двигуні, можливе пошкодження обмотки двигуна. Із за низької ціни простіше купити новий кроковий двигун.</p>	<p>У деяких випадках простіше та дешевше купити новий двигун, а не намагатися його відремонтувати.</p>
Точність переміщень	<p>При використанні точних механізмів може бути не нижче +/- 0.01 мм.</p>	<p>сервоприводи мають високу динамічну точність до 1-2мкм та вище (1 мкм = 0.001 мм)</p>
Швидкість переміщення	<p>У лазерно-гравіювальних верстатах швидкість 20 – 25 метрів за хвилину. Якщо ми говоримо про фрезерні верстати ЧПУ</p>	<p>З використанням сервоприводів у верстатах з ЧПУ можливе досягнення швидкостей до 60 м/хв за використання</p>



	з важкими порталами та балками. Максимальна швидкість руху до 9 м/хв.	високосортної механіки.
Швидкість розгону	до 120 об/хв за секунду	до 1000 об/хв за 0,2 секунди
Втрата кроків при підвищенні швидкості та навантаження	При високих швидкостях та високих навантаженнях відбувається втрата кроків. Ця проблема можлива при впливі зовнішніх чинників: ударів, вібрацій, резонансів тощо.	У серво двигунів є зворотний зв'язок, що повністю виключає втрату кроків.
Примусова зупинка (зіткнення з перешкодою)	Примусова зупинка крокового двигуна не викликає у нього жодних пошкоджень	У разі примусової зупинки серводвигуна драйвер двигуна повинен правильно зреагувати на дану зупинку. В іншому випадку по зворотному зв'язку подається сигнал на доопрацювання не пройденної відстані, підвищується струм на обмотках, двигун може перегрітися і згоріти!
Різниця в ціні	За ціною кроковий двигун набагато дешевше за свого товариша серво двигуна.	Мінімум в 1,5 разів дорожчий за кроковий двигун.

З таблиці видно, кожен тип двигуна призначений для свого завдання. У деяких випадках потрібно використовувати кроковий двигун, а для деяких завдань необхідно використовувати тільки серводвигун. У фрезерних

верстатах ЧПУ широко використовуються обидва типи двигунів, просто у кожного є свої завдання, і іноді не доцільно переплачувати за серво, при невеликих обсягах виробництва. В основному процесі доцільно використовувати крокові двигуни враховуючи їх невелику вартість, надійність, простоту і доступність.

Таким чином, крокові двигуни вже давно та успішно застосовуються у найрізноманітніших пристроях. Одне із застосувань у навчальних цілях – це радіоаматорські моделі, виконавчі вузли роботів, привід редукторів точного повороту антен. Пристрій можна також застосувати як привод у ЧПУ верстатах. В даний час випускається безліч різних типів крокових двигунів. Однак правильно вибрати тип двигуна – це ще півсправи. Не менш важливо правильно вибрати схему драйвера та алгоритм його роботи, який найчастіше визначається програмою мікроконтролера.

## 2. ПРОЄКТУВАННЯ І НАЛАШТУВАННЯ КРОКОВИХ ДВИГУНІВ ДЛЯ ВЕРСТАТУ ІЗ ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ УПРАВЛІННЯМ НА БАЗІ ARDUINO

### 2.1 Вибір і розрахунок основних параметрів крокового двигуна.

Кроковий двигун – це електромеханічний пристрій, який перетворює електричні імпульси на дискретні механічні рухи. Вал крокового двигуна обертається з дискретним кроком, коли на нього подаються керуючі імпульси правильної послідовності. Обертання двигунів залежить від вхідних імпульсів, так само вони безпосередньо керують напрямом і швидкістю обертання валу двигуна. [19]

*Вибір крокового двигуна.* Кроковий двигун можна використовувати, коли потрібен контрольований рух. Вони можуть використовуватися в верстатах, де необхідно контролювати кут повороту, швидкість, положення та синхронізацію. Через властиві вище переваги, крокові двигуни знайшли своє місце в різних пристроях: принтери, плотери, лазерні різачки, гравірувальні верстати, пристрої захоплення і так далі.

При виборі крокового двигуна для пристрою необхідно враховувати кілька факторів:

- Як двигун буде пов'язаний із навантаженням?
- Які швидкість та прискорення необхідно реалізувати?
- Який крутний момент необхідний для переміщення виконавчого механізму?
- Який рівень точності потрібний при позиціонуванні?

*Кількість полюсів (однополюсний/біполярний).* Зазвичай крокові двигуни мають дві фази, але також існують три- та п'ятифазні двигуни. Біполярний двигун з двома фазами має одну обмотку/фазу, а однополярний двигун має одну обмотку із центральним відведенням на фазу. Іноді кроковий двигун називають чотирифазним двигуном, хоча він має лише дві

фази. Двигуни з двома окремими обмотками на фазу можуть наводитися двополярний або однополярний режим. Бажано, щоб кількість дротів на двигуні відповідала кількості контактів на драйвері, щоб не займатися різними хитрощами під час підключення.

*Номинальний струм.* Зазвичай вказується максимальний струм, який одночасно подається на обидві обмотки. Максимальний струм через одну обмотку (який дійсно має значення при використанні мікрокроків) вказується досить рідко. При подачі номінального струму одну обмотку відбувається нагрівання двигуна, через це зазвичай обмежують струм двигуна трохи більше 85% від номінального струму. Для досягнення максимального моменту, що крутить, двигуна без перегріву, необхідно вибрати двигун з номінальним струмом не більше ніж на 25% вище, ніж рекомендований максимальний струм приводу крокового двигуна.

*Обертаючий момент.* Вихідний крутний момент, і потужність крокового двигуна залежать від розміру двигуна, тепловідведення, робочого циклу, обмотки двигуна і типу використовуваного приводу. Якщо кроковий двигун працює без навантаження у всьому діапазоні частот, одна або кілька точок власних коливань резонансу можуть бути виявлені або за звуком або датчиками вібрації. Корисний крутний момент, від крокового двигуна може бути різко зменшений за рахунок резонансів. Роботи на резонансних частотах слід уникати. Зовнішнє демпфування, додаткова інерція чи застосування мікрокроків використовуються для зменшення ефекту резонансу.

*Утримуючий момент.* Це максимальний крутний момент, який може забезпечити двигун, коли обидві обмотки знаходяться під напругою при повному струмі. Крутний момент пропорційний струму (за винятком дуже малих струмів), тому, наприклад, якщо ви встановите драйвери на 85% від номінального струму двигуна, то максимальний крутний момент, буде  $85\% * 0,707 = 60\%$  від зазначеного утримуючого моменту.

Крутний момент виникає, коли кут ротора відрізняється від ідеального кута, який відповідає току в його обмотках. Коли кроковий двигун прискорюється, виникає момент, що крутить, для подолання власної інерції ротора і маси навантаження, що приводиться в русі. Щоб створити цей крутний момент кут ротора повинен відставати від ідеального кута.

Відомо, що використання мікрокроку знижує крутний момент. Насправді це означає, що кут запізнення дорівнює куту, що відповідає одному мікрокроку (оскільки ви хочете, щоб положення було з точністю до одного мікрокроку), більш високе значення мікрокроку передбачає зменшення кута, а значить і зменшення крутного моменту. Крутний момент на одиницю кута (що справді має значення) не зменшується зі збільшенням мікрокроку. Іншими словами, відправлення імпульсу на двигун на один мікрокрок 1/16 призводить до точно таких же фазових струмів (і, отже, до тих же сил), що і до відправки двох 1/32 мікрокроків або чотирьох 1/64 мікрокроків.

*Розмір.* Крокові двигуни також класифікуються відповідно до розмірів корпусу, які відповідають розміру рами двигуна. Наприклад, кроковий двигун NEMA11 має розмір рами приблизно 1,1 дюйма (28 мм). Аналогічно, кроковий двигун NEMA23 має розмір корпусу 2,3 дюйма (57 мм) та ін. Однак довжина корпусу може змінюватися від двигуна до двигуна в рамках однієї і тієї ж класифікації розмірів, при цьому крутний момент двигуна з певним розміром рами буде збільшуватися із збільшенням довжини корпусу.

Основні типорозміри крокових двигунів[19]:

NEMA8:

- Габарит рами 20x20 мм;
- Діапазон довжин: 30-42 мм;
- Крутний момент: 0,18-0,3 кг\*см.

### NEMA11

- Габарит рами 28x28 мм;
- Діапазон довжин: 32-51 мм;
- Крутний момент: 0,43-0,9 кг \* см.

### NEMA14

- Габарит рами 35x35 мм;
- Діапазон довжин: 28 мм;
- крутний момент: 1,0 кг \* см.

### NEMA16

- Габарит рами 39x39 мм;
- Діапазон довжин: 20-38 мм;
- Крутний момент: 0,65-2,0 кг\*см.

### NEMA17

- Габарит рами 42x42 мм;
- Діапазон довжин: 25-60 мм;
- Крутний момент: 1,7-6,5 кг \* см.

### NEMA23

- Габарит рами 56x56 мм;
- Діапазон довжин: 41-76 мм;
- Крутний момент: 2,88-18,9 кг \* см.

### NEMA34

- Габарит рами 86x86 мм;
- Діапазон довжин: 65-156мм;

- Крутний момент: 34-122 кг\*см.

#### NEMA43

- Габарит рами 110x110 мм;
- Діапазон довжин: 99-201 мм;
- Крутний момент: 112-280 кг\*см.

#### NEMA51

- Габарит рами 130x130 мм;
- Діапазон довжин: 165-270 мм;
- Крутний момент: 270-500 кг\*см.

*Кут кроку.* Існує два поширені кути кроку: 0,9 і 1,8 градуси на повний крок, що відповідає 400 і 200 кроків/оберт. Більшість пристроїв використовують двигуни з кроком 1,8 град/крок. При заданій швидкості обертання 0,9-градусний двигун виробляє вдвічі більше індуктивної зворотної ЕДС, ніж 1,8-градусний двигун, через це можливо буде необхідно використовувати живлення 24 В для досягнення високих швидкостей з двигунами 0,9 градуса. Для двигунів 0,9 градуса необхідно подавати крокові імпульси драйвера з подвоєною швидкістю, порівняно з двигунами 1,8 градуса. Якщо ви використовуєте високий мікрокрок, швидкість може бути обмежена швидкістю, з якою електроніка може генерувати крокові імпульси.

*Дозвіл та точність позиціонування.* На роздільну здатність і точність позиціонування системи крокового двигуна впливають кілька факторів: кут кроку (довжина повного кроку крокового двигуна), обраний режим руху (повний крок, півкроку або мікрокрок) і швидкість передачі. Це означає, що є кілька різних комбінацій, які можна використовувати для отримання бажаного дозволу, тому проблема вирішення зазвичай може бути вирішена після того, як були визначені розмір двигуна і тип приводу.

*Самоіндукція.* Індуктивність двигуна впливає на швидкість, з якою драйвер крокового двигуна може приводити двигун в дію до падіння крутного моменту. Якщо ми тимчасово ігноруємо зворотну ЕДС через обертання, а номінальна напруга двигуна набагато менше, ніж напруга живлення приводу, то максимальні обороти в секунду перед падінням крутного моменту становлять:

$$\text{Оберти в секунду} = (2 * \text{напругу БП}) / \\ (\text{кроків на оберт} * 3,14 * \text{індуктивність} * \text{струм});$$

Якщо двигун приводить ремінь GT2 через шків, це дає максимальну швидкість мм/с як:

$$\text{Швидкість} = (4 * \text{кількість зубців шківа} * \text{напруга_БП}) / \\ (\text{кроків на оберт} * 3,14 * \text{індуктивність} * \text{струм}).$$

Наприклад:

Двигун 1,8 град/крок (тобто 200 кроків/об) з індуктивністю 4 мГн працює при 1,5 А при нарузі живлення 12 В, і привід ремня GT2 з 20-зубчастим шківом починає втрачати крутний момент зі швидкістю близько 250 мм/с.

На практиці крутний момент, починає падати раніше, ніж це через зворотну едс, викликану рухом, тому що не враховується опір обмоток. Двигуни з низькою індуктивністю також мають низьку ЕРС через обертання. Для досягнення високих швидкостей, необхідно вибирати двигуни з низькою індуктивністю та високою напругою живлення.

*Опір та номінальна напруга.* Це опір на фазу та падіння напруги на кожній фазі, коли двигун нерухомий, і фаза передає свій номінальний струм (який є результатом опору та номінального струму). Це важливо коли номінальна напруга значно нижча за напругу живлення для крокових драйверів.



*Зворотний ЕРС через обертання.* Коли кроковий двигун обертається, то створюється зворотна ЕРС. При ідеальному нульовому куті запізнення на 90 градусів на фазі з напругою збудження, а фазі зі зворотної ЕРС через індуктивності. Коли двигун видає максимальний крутний момент, і знаходиться на межі пропуску кроку, він знаходиться у фазі зі струмом.

Зворотний ЕРС через поворот зазвичай не вказується в специфікації, але ми можемо оцінити його за такою формулою:

$$\text{ЕРС} = 1,414 * 3,14 * \text{момент утримання} * \\ \text{оборотів в секунду/номінальний струм}$$

Формула передбачає, що утримуючий момент, вказаний для обох фаз, що знаходяться під напругою при номінальному струмі. Якщо це зазначено лише з однією фазою під напругою, потрібно замінити 1,414 на 2.

Приклад: розглянемо 200-кроковий двигун, що приводить каретку через шків з 20 зубцями та ремінь GT2. Це 40-міліметровий рух за обіг. Для досягнення швидкості 200 мм/сек нам потрібно 5 об/сек. Якщо ми використовуємо двигун з утримуючим моментом 0,55 Нм, коли обидві фази працюють при 1,68 А, пікова зворотна ЕРС через обертання становить:

$$1,414 * 3,142 * 0,55 * 5 / 1,68 = 7,3 \text{ В.}$$

*Як вбрати необхідну напругу живлення.* Якщо заздалегідь відома необхідна швидкість руху для пристрою, можна попередньо визначити, яка напруга живлення вам знадобиться для драйверів двигуна.

Приклад: визначимо необхідну швидкість руху. Для цього прикладу будемо використовувати 200 мм/сек, передача шків 20 зубів GT2.

Виходячи з необхідної швидкості руху, визначимо максимальну швидкість ременя.

Прикинемо зворотну ЕРС від індуктивності:

$$\text{Напруга} = \text{кроків в сек} * 3,14 * \text{струм двигуна} * \text{ЕРС двигуна} * N/2$$

де  $N$  – число повних кроків на оберт (200 для двигунів з 1,8 градусами або 400 для двигунів з 0,9 градусами).

Візьмемо для прикладу двигун з наступними параметрами: 0,9 градуса з індуктивністю 4,1 мГн, та струм 1А. Таким чином, зворотна ЕДС через індуктивність становить:

$$5 * 3,142 * 1,0 * 4,1 * 400/2 = 12,87 \text{ В}$$

Обчислимо зворотну ЕРС через обертання за наведеною раніше формулою.

Двигуни для прикладу мають номінальний струм 1,68А та момент утримання 0,44 Нм, тому результат дорівнює:

$$1,414 * 3,142 * 0,44 * 8,7 / 1,68 = 10,1 \text{ В}$$

Бажано, щоб напруга живлення драйвера становила щонайменше суму цих двох зворотних ЕДС, плюс ще кілька вольт запасу. При використанні двох двигунів потрібна напруга послідовно подвоюється.

*Алгоритм вибору крокового двигуна:*

1. Визначення компонента механізму приводу.

Визначте механізм та необхідні вхідні дані, варіант механізму, приблизні розміри, відстані переміщення та час позиціонування.

2. Розрахуйте необхідну роздільну здатність.

Знайдіть роздільну здатність двигуна. Виходячи з необхідної роздільної здатності, визначте, чи використовуватиметься тільки двигун або мотор-редуктор. Тим не менш, завдяки використанню технології мікрокроків, досягти необхідного дозволу стало набагато легше.

3. Визначте схему роботи.

Визначте схему роботи, яка відповідає потрібним даних. Розрахуйте значення прискорення (уповільнення) та швидкість робочого імпульсу, щоб розрахувати момент прискорення.

4. Розрахуйте необхідний крутний момент.

Розрахуйте момент навантаження і момент прискорення і знайдіть потрібний момент, необхідний двигуном.

5. Виберіть двигун.

Зробіть попередній вибір двигуна на основі необхідного крутного моменту. Визначте використовуваний двигун за характеристиками швидкості та крутного моменту.

6. Перевірте вибраний двигун.

Підтвердьте швидкість прискорення/уповільнення та коефіцієнт інерції.

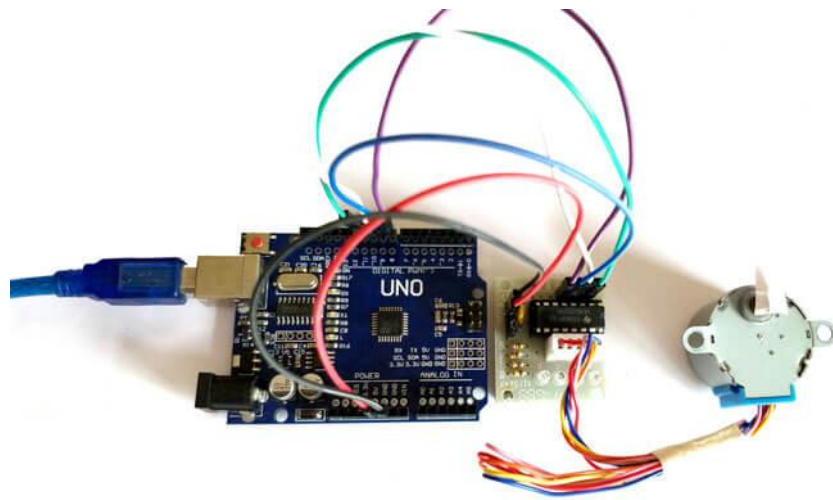
*Загальні рекомендації:*

- якщо не планується використовувати зовнішні драйвери крокових двигунів, вибирайте двигуни з номінальним струмом не менше 1,2 А і не більше 2 А;
- розраховуйте на робочий струм крокового двигуна 50-85% від номінального;
- розмір:  
Nema 17 – найпопулярніший розмір, який використовується в навчальних проектах. Nema 23 необхідно використовувати якщо не вистачає крутного моменту, що крутить, від довгих двигунів Nema 17;
- намагайтеся не використовувати двигуни з номінальною напругою  $> 4$  або індуктивності  $4$  мГн;
- вибирайте двигун з 0,9 град/крок, якщо потрібна додаткова точність позиціонування, для стандартних рішень використовуйте двигуни 1,8 град/крок;
- при використанні 0,9 градусних крокових двигунів або двигунів з високим крутним моментом, необхідно застосування блоків

живлення з напругою 24 В, щоб підтримувати крутний момент на більш високих швидкостях.

## 2.2 Підключення крокового двигуна до плати Arduino Uno

Крокові двигуни з кожним роком знаходять все більше застосування у світі електроніки. Починаючи від звичайної камери спостереження до складних верстатів з ЧПУ та роботів, крокові двигуни використовуються як виконавчі механізми, оскільки вони забезпечують найбільш точне управління. У цьому розділі ми розглянемо один з поширених крокових двигунів, що використовуються в навчальних проєктах – 28BYJ-48 та його підключення до плати Arduino за допомогою модуля ULN2003.

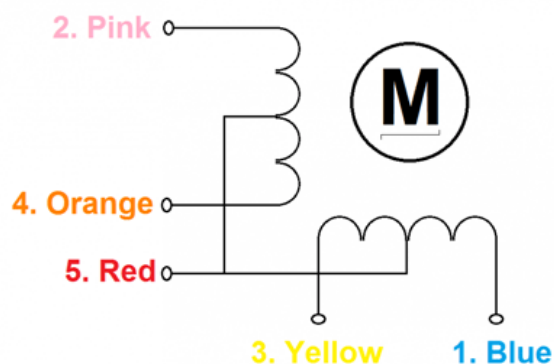


*Загальні принципи роботи крокових двигунів. [20] Зовнішній вигляд крокового двигуна 28BYJ-48 представлений на наступному малюнку:*



Перше питання, яке напрошується при погляді на цей малюнок – чому на відміну від звичайного двигуна з цього крокового двигуна виходять 5 дротів різних кольорів? Щоб зрозуміти це, давайте спочатку розберемося з принципами роботи крокового двигуна.

Почнемо з того, що крокові двигуни не обертаються, а крокують, тому вони і називаються кроковими двигунами. Тобто в один момент часу вони пересуватимуться лише на один крок. Щоб домогтися цього у пристрої крокових двигунів є кілька котушок і на ці котушки потрібно подавати живлення у певній послідовності щоб двигун обертався (крокував). При подачі живлення на кожну котушку двигун робить один крок, при послідовній подачі живлення на котушки двигун здійснюватиме безперервні кроки, тобто обертатиметься. Давайте докладніше розглянемо котушки, які є всередині крокового двигуна.



Як можна бачити з малюнка, двигун має однополярну котушку із 5 виводами. Але фактично це 4 котушки, на які потрібно подавати живлення у певній послідовності. На червоні дроти необхідно подати +5V, на решту 4 дротів необхідно подати землю, щоб запустити в роботу відповідну котушку. Ми будемо використовувати плату Arduino щоб подавати живлення на ці котушки у певній послідовності і тим самим змушувати двигун обертатися. Детальніше ознайомитися з принципами роботи крокових двигунів можна у першому розділі цієї роботи (пункт 1.1)

Деякі важливі технічні характеристики цього крокового двигуна наведено на наступному малюнку:

Rated voltage :	5VDC
Number of Phase	4
Speed Variation Ratio	1/64
Stride Angle	5.625°/64
Frequency	100Hz
DC resistance	50Ω±7%(25°C)
Idle In-traction Frequency	> 600Hz
Idle Out-traction Frequency	> 1000Hz
In-traction Torque	>34.3mN.m(120Hz)
Self-positioning Torque	>34.3mN.m
Friction torque	600-1200 gf.cm
Pull in torque	300 gf.cm
Insulated resistance	>10MΩ(500V)
Insulated electricity power	600VAC/1mA/1s
Insulation grade	A
Rise in Temperature	<40K(120Hz)
Noise	<35dB(120Hz,No load,10cm)
Model	28BYJ-48 – 5V

На перший погляд від такої кількості характеристик може закрутитися голова, але спробуємо виділити з них найважливіші, ті, які нам знадобляться для подальшої роботи. По-перше, ми знаємо, що це кроковий двигун 5V, тому потрібно подавати на червоний провід 5V. Також ми знаємо що це чотирифазний кроковий двигун, оскільки в ньому чотири котушки. Передатне число цього двигуна - 1:64. Це означає, що вал, який ви бачите зовні, зробить одне повне обертання в тому випадку, коли двигун усередині зробить 64 обороти. Це відбувається завдяки шестерням, які включені між двигуном та вихідним валом. Ці шестерні допомагають у збільшенні крутного моменту.

Ще одним важливим показником, який слід знати, є кут кроку: 5.625°/64. Це означає, що коли двигун зробить послідовність у 8 кроків, він буде повертатися на 5.625° при кожному кроці і за один повний оборот він зробить 64 кроки (5.625\*64=360).

*Розрахунок кроків на оборот для крокового двигуна.* Важливо знати, як розрахувати кількість кроків за один оборот для крокового двигуна, тому що тільки тоді ви можете ефективно його запрограмувати.

В Arduino для керування двигуном ми будемо використовувати 4-крокову послідовність, тому кут кроку складатиме  $11.25^\circ$ . Оскільки спочатку він дорівнює  $5.625^\circ$  (наведено в інструкції), то для 8 крокової послідовності отримаємо  $11.25^\circ$  ( $5.625 * 2 = 11.25$ ).

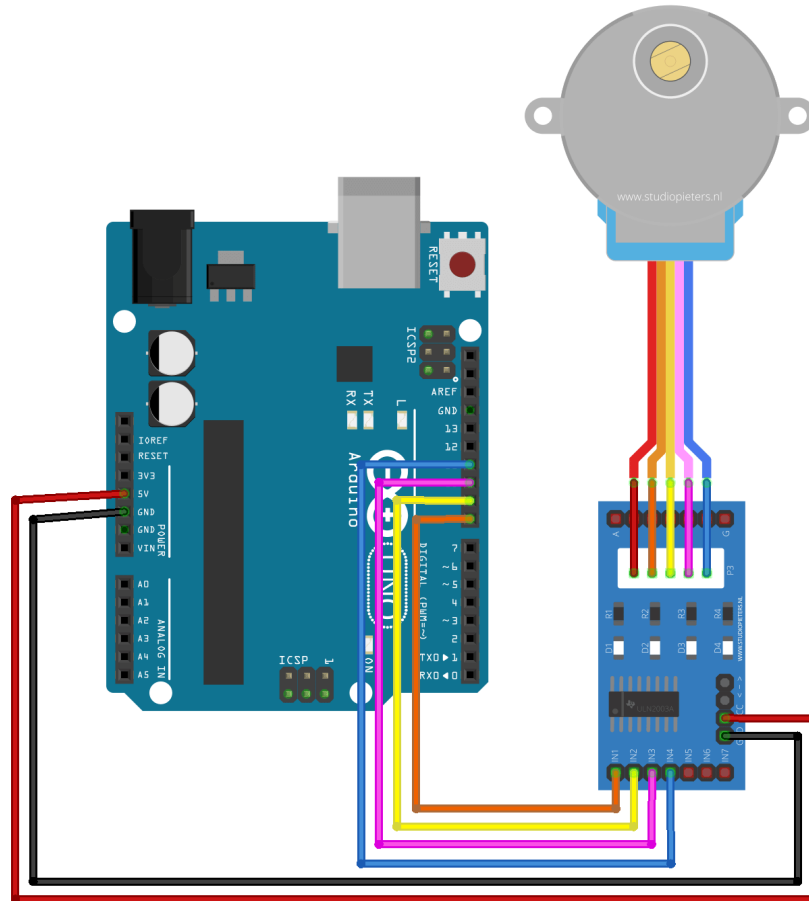
Справедлива наступна формула:

Кількість кроків за оборот =  $360/\text{кут кроку}$ .

У разі  $360/11.25 = 32$  кроку за оборот.

*Драйвер двигуна для керування кроковим двигуном.* Більшість крокових двигунів працюватимуть лише за допомогою модуля драйвера двигуна. Це пов'язано з тим, що мікроконтролер (у нашому випадку плата Arduino) не може забезпечити достатній струм на контактах вводу/виводу для роботи двигуна. Тому ми будемо використовувати зовнішній драйвер мотора для керування нашим кроковим двигуном – модуль ULN2003. У мережі інтернет можна знайти рейтинги ефективності різних драйверів двигуна, але ці рейтинги змінюватимуться в залежності від типу крокового двигуна, що використовується. Основний принцип, якого слід дотримуватись при виборі драйвера двигуна – він повинен забезпечувати достатній струм для керування кроковим двигуном.

*Робота схеми.* Схема підключення крокового двигуна до плати Arduino представлена на малюнку:



Ми використали кроковий двигун 28BYJ-48 та драйвер двигуна ULN2003. Для подачі живлення на 4 котушки крокового двигуна ми будемо використовувати контакти плати Arduino 8, 9, 10 та 11. Драйвер двигуна запитується від контакту 5V плати Arduino.

Але якщо ви приєднуватимете якесь навантаження до крокового двигуна, то вам знадобиться зовнішнє джерело живлення для драйвера двигуна. Ми у нашому прикладі експлуатуємо кроковий двигун без навантаження, тому нам і вистачило живлення від плати Arduino. І не забудьте поєднати землю плати Arduino із землею драйвера мотора.

*Розробка програми для плати Arduino.* Перед тим як почати писати програму для плати Arduino давайте розберемося, що має відбуватися всередині цієї програми. Як ми вже говорили раніше, ми будемо використовувати метод 4-крокової послідовності, тобто нам потрібно буде зробити 4 кроки, щоб виконати один повний оборот двигуна.



Номер кроку	Контакти, на які подається живлення	Котушки, на які подається живлення
Крок 1	8 і 9	A і B
Крок 2	9 і 10	B і C
Крок 3	10 і 11	C і D
Крок 4	11 і 8	D і A

На драйвері двигуна є 4 світлодіоди, за свіченням яких можна судити про те, на яку котушку подається живлення в конкретний момент.

Ми напишемо програму, в якій необхідну кількість кроків для двигуна ми вводитимемо в моніторі послідовного порту (serial monitor) плати Arduino. Повний текст програми наведено наприкінці додатках (Додаток А), тут же ми розглянемо найважливіші його фрагменти.

Як ми розраховували раніше, повна кількість кроків для повного обороту нашого крокового двигуна, що дорівнює 32, пропишемо це в наступному рядку коду:

```
#define STEPS 32
```

Далі ми повинні сказати платі Arduino через які її контакти ми керуватимемо кроковим двигуном (тобто до яких її контактів підключений драйвер двигуна).

```
Stepper stepper (STEPS, 8, 10, 9, 11);
```

Послідовність номерів контактів, зазначена в наведеній команді (8,10,9,11) – спеціально впорядкована таким чином, щоб подавати живлення на котушки крокового двигуна у правильному порядку. Якщо ви зміните номери контактів, до яких підключено кроковий двигун, ви повинні належним чином їх упорядкувати для подачі в наведену команду.

Ми будемо використовувати спеціальну бібліотеку для роботи з кроковими двигунами, тому для завдання швидкості обертання крокового двигуна ми можемо використати команду виду:

```
stepper.setSpeed(200);
```

Для двигуна 28-ВҮJ48 швидкість обертання можна встановити в діапазоні від 0 до 200.

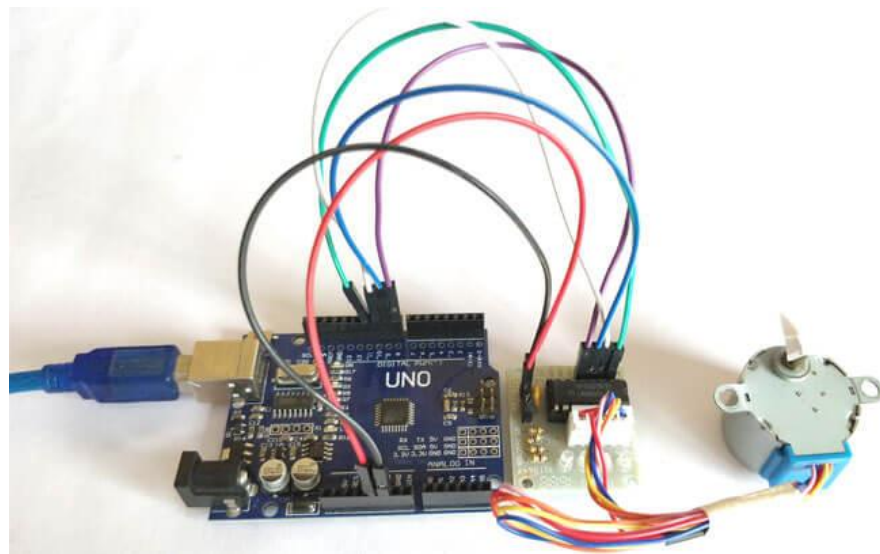
Тепер, щоб двигун зробив один крок, ми можемо використати таку команду:

```
stepper.step(val);
```

Кількість кроків, що має зробити двигун, визначається змінною “val”. Оскільки ми маємо 32 кроки (для обороту) і передавальне число 64, ми повинні зробити 2048 ( $32 * 64 = 2048$ ) кроків у цій команді для здійснення одного повного обороту двигуна.

Значення змінної “val” у нашій програмі ми будемо вводити з вікна послідовного монітора зв'язку.

*Робота проекту.* Коли ми зробимо всі необхідні з'єднання в апаратній частині нашого проекту, у нас повинна вийти приблизно наступна конструкція:



Тепер після завантаження кода програми до плати Arduino UNO і відкриття вікна монітора послідовного зв'язку (serial monitor). Як ми вже вказували, ми повинні зробити 2048 кроків для здійснення одного повного обороту, тобто якщо ми у вікні монітора послідовного зв'язку введемо 2048, то вал крокового двигуна зробить один повний оборот за годинниковою

стрілкою, а сам двигун у цей час зробить 2048 кроків. Для обертання проти годинникової стрілки введіть потрібну кількість кроків зі знаком “-“. Тобто якщо ви введете -1024, то вал двигуна зробить півоберта проти годинникової стрілки. Щоб протестувати роботу проекту, ви можете вводити будь-які числа.

### **3. МЕТОДИКА ВИКОРИСТАННЯ КРОКОВИХ ДВИГУНІВ ДЛЯ ВЕРСТАТІВ ЧПУ НА УРОКАХ ТЕХНОЛОГІЇ У ПРОФІЛЬНІЙ ШКОЛІ**

#### **3.1 Методика проведення уроку Технології з використанням крокових двигунів для верстатів ЧПУ у профільній школі.**

У цьому розділі описується методика організації та проведення уроку по розділу «Призначення, пристрій, кінематика, налагодження металорізальних верстатів токарної групи» на тему «Токарні верстати з числовим програмним управлінням».

Методика проведення уроку передбачає перевірку домашнього завдання у вигляді вирішення ситуаційних завдань, дидактичної гри. Після чого основний час навчального заняття приділяється на роботу з вивчення нового матеріалу, в ході якого використовуються такі прийоми активізації пізнавальної діяльності студентів, як:

- використання слайдової презентації;
- використання наочного та роздавального матеріалу;
- підготовка повідомлень студентами (випереджальне навчання).

Все це націлене на змістовне та глибоке роз'яснення нового матеріалу та підтримки уваги та розумової активності учнів.

Поліпшення ефективної діяльності учнів на уроці сприяє використанню різноманітних завдань та методів навчання, наприклад, таких як: бесіда, робота в мікрогрупах, перегляд слайдової презентації, практичне виконання завдань.

Мета даної методики показати один із варіантів проведення комбінованого уроку з технології з використанням верстату ЧПУ.

Умовно урок можна розділити на декілька етапів: підготовчий етап, навчально-методична карта, методика проведення, висновок.

На підготовчому етапі визначаються цілі та форма проведення уроку.

Навчально-методична карта заняття містить цілі та завдання, тип уроку, матеріально-технічне забезпечення та структуру заняття.

Методика проведення заняття включає докладний опис кожного елемента заняття.

У висновку аналізуються та підбиваються підсумки проведеного уроку.

*Підготовчий етап.* Проведення уроку передуює ретельний підготовчий етап. Спочатку вчитель підбирає зміст і тип уроку, розробляє методи його проведення, завдання контролю знань учнів.

Вчитель складає навчально-методичну картку. У ній відбиваються структура уроку, методи, використовувані під час перевірки домашнього завдання, вивченні нового матеріалу та його закріплення.

*Навчально-методична карта уроку.*

Дисципліна: Технології;

Розділ: Призначення, будова, кінематика, налагодження металорізальних верстатів токарної групи.

Тема дисципліни: Токарні верстати з числовим програмним керуванням. Конструктивні особливості верстатів.

Цілі:

- освітня: вивчити конструктивні особливості верстатів із числовим програмним управлінням;
- розвиваюча: розвивати вміння організовувати власну діяльність, визначати методи та способи виконання завдань, оцінювати їх ефективність та якість;
- виховна: виховувати бажання досконало опанувати технології, творчу активність, розуміння ролі та значущості інженерних професій.

Завдання:

Учень повинен знати класифікацію та позначення металорізальних верстатів; призначення, сферу застосування, будову, принцип роботи, налагодження та технологічні можливості металорізальних верстатів, у тому числі з числовим програмним управлінням (ЧПУ); має вміти читати кінематичні схеми; здійснювати раціональний вибір технологічного устаткування для забезпечення технологічного процесу.

Вигляд заняття: урок.

Тип уроку: комбінований.

Матеріально-технічне забезпечення: проектор мультимедійний, презентації на тему, токарні верстати з числовим програмним керуванням, фрезерний верстат з числовим програмним керуванням.

Місце проведення: Майстерні. Ділянка верстатів із програмним управлінням.

Час проведення: 45 хвилин

*Методика проведення.* Урок починається з організаційного етапу, під час якого учитель вітає учнів, зосереджує їх увагу на занятті.

Наступним елементом уроку є перевірка домашнього завдання.

Учні діляться на дві команди, по 6 осіб і кожній команді задається питання, яке висвічується на слайді з ілюстраціями та підказками, а також після відповіді учня дається правильна відповідь на слайді. За кожну правильну відповідь дається зірочка команді, яка відповідає одному балу. У цей час паралельно учитель робить індивідуальне опитування – рішення тестів.

По перевірці домашнього завдання учитель оцінює роботу кожного, хто був на уроці.

Потім учитель мотивує учнів до пізнавальної діяльності: показує відео Автоматизована обробка деталі на токарно-гвинторізному верстаті з ЧПУ.

Учитель повідомляє тему та мету уроку, а саме: вивчити конструктивні особливості верстатів з числовим програмним управлінням; розвивати вміння організовувати власну діяльність, визначати методи та способи виконання професійних завдань, оцінювати їх ефективність та якість. Головним завданням уроку є те, що учень повинен дізнатися: класифікацію та позначення металорізальних верстатів; призначення, сферу застосування, будову, принцип роботи, налагодження та технологічні можливості металорізальних верстатів, у тому числі з числовим програмним управлінням (ЧПУ).

Далі учитель пояснює новий навчальний матеріал із опорою на слайдову презентацію з питань:

- планування робочого оператора верстату з ЧПУ;
  - базові деталі верстатів із ЧПУ;
  - напрямні верстатів із ЧПУ;
  - приводи та крокові двигуни верстатів з ЧПУ;
  - допоміжні механізми верстатів з ЧПУ.
- пристрій автоматичної зміни інструменту.

З першого питання два учні заздалегідь, як домашнє завдання, готують доповідь про планування робочого оператора верстату з ЧПУ. Свій виступ учні супроводжують міні презентацією. Даний прийом є елементом випереджаючого навчання та спрямований на розвиток мисленнєвої діяльності учня, формування здатності самостійно добувати знання. Час виступу кожного учня – 3 хвилини.

У ході викладу нового матеріалу учитель постійно наголошує на призначення, будову, регулювання та підготовку токарно-гвинторізних верстатів до роботи.

Засвоєнню нового навчального матеріалу, активації розумової діяльності, формуванню інтересу до міждисциплінарного курсу сприятиме використання слайдової презентації, засобів наочності (токарно-гвинторізні верстати з ЧПУ; вертикально свердлильний верстат; токарний верстат з ручним керуванням). Також сприяє зацікавленості учнів наприкінці заняття запуск верстату ЧПУ та демонстрація його автоматичної роботи.

Закріплення нового навчального матеріалу здійснюється за двома напрямками. Одна частина учнів фронтально відповідає на усні питання та виконують тести, а друга частина займається підготовкою та запуском верстата з ЧПУ. Друга частина найважливіша, тому що головне завдання уроку зробити так, щоб побачити роботу верстата ЧПУ в дії.

Після опитування та запуску верстату учитель підбиває підсумки уроку, аналізує, виставляє оцінки.

### **3.2 Техніка безпеки при роботі на верстатах з ЧПУ**

#### *1. Загальні вимоги безпеки*

1.1. На операторів верстатів з числовим програмним управлінням (ЧПУ) поширюються загальні правила безпеки під час роботи на металорізальних верстатах.

1.2. Кожен учень повинен пройти вступний інструктаж та індивідуальний інструктаж на робочому місці.

1.3. При індивідуальному інструктажі вчитель знайомить учня з правилами поведінки з обладнанням, з правилами утримання робочого місця та носіння спеціального та робочого одягу, взуття, із засобами індивідуального захисту на даному робочому місці та інших робочих місцях, що входять до технології механообробки та підготовки виробництва.

1.4. Учень може бути допущений лише після всебічного ознайомлення з правилами техніки безпеки.



1.5. Результати проведеного інструктажу реєструються у спеціальному журналі, який підписують: особа, яка проводила інструктаж, та учень, який отримав цей інструктаж.

## *2. Вимоги безпеки до початку роботи на верстаті з ЧПУ*

2.1. Упорядкуй робочий одяг та взуття.

2.2. Переконайся в гарному стані верстата та робочого місця, прибери зі шляху все, що може спричинити падіння.

2.3. Забезпечити достатню змащення верстата, перевір рівень масла в призначених для нього резервуарах.

2.4. Перевір наявність, справність та міцність кріплення:

- огорож зубчастих коліс, привідних ременів, валиків, приводів, шпинделя і та ін., а також струмопровідних частин електроапаратури (пускачів, рубильників, трансформаторів);
- запобіжних пристроїв захисту від стружки та пристроїв подачі охолоджувальних масел та мастильно-охолоджуючих рідин (МОР).

2.5. При необхідності відрегулюй місцеве освітлення верстата так, щоб робоча зона була достатньо освітлена і світло не потрапляло прямо у вічі.

2.6. Перевір наявність індивідуальних наданих верстату підйомних пристроїв та човниково-захоплювальних пристроїв відповідно до спеціальної інструкції.

2.7. Перевір справність верстата на холостому ходу, в ручному та автоматичному режимах, при цьому переконайся у справній дії:

- органів управління – електричних кнопкових пристроїв гальм, підйомних і пристроїв, що подають;
- систем мастила та охолодження, що забезпечують нормальне та безперебійне мастило та подачу СОЖ;

- фіксації важелів включення та перемикання, що забезпечують неможливість мимовільного перемикання з холостого ходу на робочий;
- затискних пневмопатронів, механізованих затискних пристроїв.

2.8. Переконайся у відсутності заїдань або зайвої слабини в частинах верстата, що рухаються (особливо в шпинделі, в передній бабці, при поздовжніх, поперечних або вертикальних ходах супорта або столу).

2.9. У разі несправності верстата та обладнання негайно повідом про це вчителя та, до усунення несправності, до роботи не приступай.

2.10. Приготуй гачок для видалення стружки, щітку-кошторис, ключі та інший необхідний інструмент.

2.11. Уклади стійко на підкладках або стелажах подані на обробку деталі, не захаращуючи робочого місця та проходів. Висота штабелів для дрібних деталей має перевищувати 0,5 м., для середніх – 1,0 м., а великих – 1,5 м.

2.12. Перед обробкою металів з стружкою, що відлітає, за відсутності спеціальних захисних пристроїв одягни окуляри або запобіжний щиток з прозорого матеріалу.

2.13. Дерев'яні ґрати, що знаходяться під ногами повинні бути завжди справними.

2.14. Перевір надійність спрацювання блокувань кінцевих вимикачів, що оберігають вузли верстата від ударів та поломок.

2.15. Перед кожним включенням верстата заздалегідь переконайся, що пуск верстата нікому не загрожує небезпекою.

### *3. Вимоги безпеки під час роботи на верстаті з ЧПУ*

3.1. Постійно спостерігай за роботою верстата з ЧПУ у процесі роботи:

- сигналізації на панелі управління електронного пристрою;

- за контрольними точками програм (повернення робочих органів верстата «у вихідний стан», «постійність точки зміни інструменту» в одній і тій же позиції та ін.);
- за характером та величиною лінійних переміщень та обертальних рухів робочих органів верстата та іншого обладнання;
- по відхиленням характеру та рівня шуму різних механізмів;
- за чіткістю виконання вузлами обладнання з ЧПУ різних технологічних команд

3.2. Не допускай роботу на верстаті з ЧПУ за програмами з помилками.

3.4. Стеж за чистотою та справністю USB пристроїв введення програмних носіїв.

3.5. При переналагодженні з обробки деталі одного найменування на інше зверніть увагу на правильне розміщення упорів, що визначають точки «вихідного стану» робочих органів для початку роботи за програмою. Пам'ятай, що неправильно встановлені упори можуть призвести до ударів рухомих органів обладнання.

3.6. Для запобігання ударам інструменту та робочих органів обладнання по іншим органам у разі збоїв та відмови, обмежуй величину переміщення рухомих органів від можливих ударів установкою такого положення кінцевих вимикачів, що автоматично виключає аварійну ситуацію.

3.7. Уважно стеж за станом ріжучого інструменту. Постійно пам'ятай, що невчасна зупинка верстата при поломках інструменту може призвести до тяжких наслідків.

3.8. При заміні робочої програми або використання нові обов'язково перевір її правильність при роботі верстата на холостому ході без деталі, а також у режимі «відпрацювання програми без переміщень».

3.9. Будь особливо уважним і обережним при обробці першої деталі після переналагодження або зміни програми.

3.10. Повір розміри та форму заготовок. У разі відхилення розмірів та форми заготівлі від креслення заготівлі (закладених у програму обробки деталі) негайно повідомите про це вчителя.

3.11. Завжди пам'ятай, що значне перевищення припусків на обробку щодо розрахункових при обробці на верстаті з ЧПУ може призвести до неприпустимо великих перевантажень, вильоту деталі, поломок інструменту та верстата.

3.12. Про всі помічені недоліки у програмах обробки негайно повідом вчителя.

3.13. Не допускай попадання СОЖ на клемники, роз'єми, датчики та інше електрообладнання та елементи автоматики. У разі наявності цих недоліків вживи заходів до їх усунення.

3.14. У разі виникнення будь-яких несправностей у процесі роботи або відхилень від нормальної роботи, негайно розкажи вчителю.

3.15. Періодично перевіряй самостійно стан вузлів верстатів із ЧПУ з метою виявлення відхилень від нормальної роботи на більш ранній стадії.

3.16. Не залишай увімкнене або працююче обладнання з ЧПУ без нагляду. У разі короткочасного відлучення від верстата повністю вимкни все обладнання.

3.17. Не допускай небезпечних прийомів та методів роботи на верстатах з ЧПУ.

#### *4. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях під час роботи на верстаті з ЧПУ*

4.1. Вживай заходів щодо виклику до місця аварії вчителя та екстрених служб (пожежної, швидкої тощо).

4.2. При травмі під час аварії зверніться до лікаря або попроси викликати швидку допомогу за телефоном «03».

*5. Вимоги безпеки після закінчення роботи на верстаті з ЧПУ*

5.1. Повністю вимкни верстат та обладнання.

5.2. Упорядкуй робоче місце:

- прибери верстат з ЧПУ від стружки, окалини та бруду;
- витри верстат та інше обладнання.

5.3. Змасти всі частини, що рухаються, і механічні вузли верстата маслом. Зверніть особливу увагу на стан напрямних, ходових гвинтів, вузлів зміни інструменту, постійно підтримуй їх у чистоті.

5.4. Попередь учителя про всі, навіть найменші та незначні, несправності верстата та обладнання.

5.5. Зніми робочий одяг та взуття, прибери їх у спеціально відведене для них місце, переодягнися та перевзуйся в чистий одяг та взуття.

5.6. Виконай індивідуальні вимоги щодо особистої гігієни тіла.

## ВИСНОВКИ

Виконана кваліфікаційна робота передбачала проектування і налаштування крокових двигунів для ЧПУ верстату на баці Arduino й опис методики його використання на уроках технології у профільній школі. За її результатами можна зробити наступні висновки:

1. Досліджено особливості застосування крокових двигунів у верстатах з числовим програмним управлінням. Висвітлені переваги і недоліки крокових двигунів у порівнянні з двигунами інших типів, а саме: низька вартість контролю; високий момент обертання при запуску та низька швидкість; простота конструкції; високий рівень надійності; повний крутний момент у стані спокою; велика точність позиціонування та повторюваність руху; негайна відповідь на запуск/зупинку/реверс; високий ступінь надійності, завдяки відсутності контактних щіток.

2. Спроектовано і налаштовано крокові двигуни для верстату із числовим програмним управлінням на базі Arduino. Представлено методику вибору і розрахунку основних параметрів крокового двигуна. Описаний алгоритм підключення крокового двигуна до плати Arduino Uno, який включає: загальні принципи роботи крокових двигунів; розрахунок кроків на оборот для крокового двигуна; вибір і налаштування драйверу двигуна для керування кроковим двигуном; перевірку роботи схеми; розробку програми для плати Arduino; перевірку роботи проекту.

3. Описана методика використання крокових двигунів для верстатів ЧПУ на уроках технології у профільній школі. Представлена Методика проведення уроку Технології з використанням крокових двигунів для верстатів ЧПУ. Висвітлені правила техніки безпеки про роботі з ЧПУ верстатом.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бондар В. І. Дидактика: навч. посіб. Київ: Либідь, 2005. 264 с.
2. Биков В. Ю. Інформаційні технології і засоби навчання. Київ: Атіка, 2008. 684 с.
3. Вакуленко І. В. Управління самостійною роботою студентів з використанням інформаційно-комунікаційних технологій. *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія 2: Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання*. Київ. 2016. Вип. 18 (25). С. 50-64.
4. Горбатюк Р. М. Формування проектної діяльності майбутніх інженерів-педагогів комп'ютерного профілю. *Педагогічні науки : зб. наукових праць Херсонського держ. ун-ту*. Херсон, 2009. Вип. 52. С. 433-439.
5. Загальні відомості про системи управління і верстати з ЧПУ [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://studfile.net/preview/2688655/page:2/> (дата звернення: 20.11.2023).
6. Кузнєцов Ю.М. Технологічне обладнання з ЧПК: механізми і оснащення: Навч. посібник. Київ-Кременчук-Севастополь: Вид-во «Точка», 2014. 500 с.
7. Лещук С. О. Навчально-інформаційне середовище як засіб організації пізнавальної діяльності учнів. *Науковий часопис Національного педагогічного університету ім. М. П. Драгоманова. Серія 2: Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання: До 170-річного ювілею*. Київ: НПУ, 2004. С. 305-313.
8. Міранцов С. Л. Системи автоматизованого програмування верстатів з ЧПК: навчальний посібник. Краматорськ: ДДМА, 2011. 152 с.
9. Ортинський В. Л. Педагогіка вищої школи: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Київ: Центр учбової літератури, 2009. 472 с.

10. Остапчук С.А. До проблеми використання платформи Arduino у вивченні робототехніки. Наукові записки ЦДПУ. Серія: Педагогічні науки. Кропивницький: РВВ ЦДПУ ім. В. Винниченка, 2018. Вип. 168. С. 178-181.
11. Петрицин І. О. Застосування комп'ютерного моделювання у процесі електротехнічної підготовки майбутнього вчителя технологій. *Молодь і ринок*. 2017. № 1. С. 60-64.
12. Переваги та недоліки верстатів з ЧПУ [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://um.co.ua/11/11-8/11-88721.html> (дата звернення: 20.11.2023).
13. Програмування Arduino [Електронний ресурс]. Arduino. Режим доступу: [arduino.ru/Reference](http://arduino.ru/Reference) (дата звернення: 20.11.2023).
14. QUANTEC – виробництво верстатів для плазменої різки з ЧПУ [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://quantec.kiev.ua/know-how/blog/22-shagovye-elektrodvigateli-preimushchestva-i-nedostatki.html> (дата звернення: 20.11.2023).
15. Portal-РК – Arduino пректи [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://portal-pk.ru/news/175-principialnye-osobennosti-i-primenenie-shagovyh.html> (дата звернення: 20.11.2023).
16. IArduino – крокові двигуни [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://wiki.iarduino.ru/page/shagovye-dvigateli/> (дата звернення: 20.11.2023).
17. СВ Альтера – крокові двигуни [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.svaltera.ua/> (дата звернення: 20.11.2023).
18. «Артель» – серводвигуни проти крокових двигунів [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://artelua.com/servodvigatel-vs-steppingmotors.html> (дата звернення: 20.11.2023).



19. CNC-DESIGN – станки ЧПУ соїми руками руками [Електронний ресурс].  
Режим доступу: <http://cnc-design.ru/shagovye-dvigateli-vybor-i-raschet-osnovnyh-parametrov.html> (дата звернення: 20.11.2023).
20. MICROKONTROLLER – Світ мікроконтролерів [Електронний ресурс].  
<https://microkontroller.ru/arduino-projects/podklyuchenie-shagovogo-dvigatelya-k-arduino-uno/> (дата звернення: 20.11.2023).

## ДОДАТКИ

### Додаток А

Код програми, яка задає необхідну кількість кроків для двигуна.

```
#include <Stepper.h> // заголовний файл бібліотеки для роботи з
кроковими двигунами
// змініть необхідну кількість кроків в залежності від моделі вашого
крокового двигуна
#define STEPS 32
// створіть клас для крокового двигуна та запишіть для нього правильну
послідовність контактів
Stepper stepper(STEPS, 8, 10, 9, 11);
int val = 0;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  stepper.setSpeed(200);
}
void loop() {
  if (Serial.available()>0)
  {
    val = Serial.parseInt();
    stepper.step(val);
    Serial.println(val); //for debugging
  }
}
```

Спроектовані крокові двигуни у складі верстату із числовим програмним управлінням на базі Arduino

