

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

навчальної дисципліни
«Основи електрики та електроніки, електричні
вимірювання та їх стандартизація»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

***272 Авіаційний транспорт
(Оператор безпілотних літальних апаратів)***

за темою № 15 - Машини постійного струму

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.2023 № 7

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного коледжу
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 28.08.2023 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією Науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 28.08.2023р № 1

Розробник: викладач циклової комісії Авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., доцент, спеціаліст вищої категорії, Юрко О.О.

Рецензенти:

1. К.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання Шмельов Ю.М.
2. Заступник директора з ОЛР, командир авіаційного загону ТОВ «ЕЙР ТАУРУС» Гетьман Ю.Ю.

План лекції:

1. Принцип створення МПС постійного крутного моменту.
2. Схеми живлення ланцюгів машини постійного струму.
3. Крокові двигуни постійного струму.

Рекомендована література (основна, допоміжна), інформаційні ресурси в Інтернеті

Основна:

1. Болюх В. Ф., Данько В. Г., Гончаров Є. В. Основи електротехніки, електроніки та мікропроцесорної техніки. Харків: Планета-Прінт, 2019. 248 с.
2. Васильєва Л. Д., Медведенко Б. І., Якименко Ю. І. Напівпровідникові прилади: Підручник. Київ: ІВЦ Видавництво "Політехніка", 2003. 338 с.
3. Кармазін В.В., Семенець В.В. Курс загальної фізики. Навчальний посібник для вищих навчальних закладів. Київ: Кондор, 2016. 786 с.
4. Коваль Ю. О., Гринченко Л. В., Милютченко І. О., Рибін О. І. Основи теорії кіл. Ч. 1. Харків: Компанія СМІТ, 2008. 432 с.
5. Колонтаєвський Ю. П., Сосков А. Г. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: Теорія і практикум: навч. посіб. Київ: Каравела, 2004. 432 с.
6. Лавренова Д. Л., Хлистов В. М. Основи метрології та електричних вимірювань: навч. посіб. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 133 с.

Допоміжна:

1. Андріяшик М. В., Вербицький Б. І., Король А.М. Курс фізики. Київ: Фламенко, 2008. 530 с.
2. Готра З. Ю., Лопатинський І. Є., Лукіянець Б. А., Микитюк З. М., Петрович І. В. Фізичні основи електронної техніки: Підручник. Львів: Видавництво "Бескид Бит", 2004. 880 с.
3. Гумен Б. М., Гуржій А. М., Співак В. М. Основи теорії електричних кіл: у 3 кн. Київ: Вища шк., 2003.
4. Дмитрієва В. Ф. Фізика: Навч. посіб, Київ: Техніка, 2008. 648 с.

Інформаційні ресурси в Інтернеті

1. <https://www.youtube.com/channel/UCWfhBu4fAt126ZbxREz3IBw>

Текст лекції

1. Принцип створення МПС постійного крутного моменту

Машина постійного струму функціонально є зверненою синхронною машиною – функції статора і ротора помінялися місцями. Статор збуджує постійне магнітне поле, а ротор обертається в цьому полі і здійснює перетворення енергії.

Машини постійного струму використовуються у випадках коли необхідно плавно регулювати частоту обертання вала при великих пускових моментах електродвигунів, такі машини мають гарні характеристики. Їх застосовують у якості електроприводів транспортних засобів, конвейєрних стрічок, стартерів для запуску двигунів внутрішнього згоряння тощо.

Машини постійного струму є оборотними. Тобто, вони можуть працювати як у режимі електродвигуна, так і в режимі генератора.

Двигуни постійного струму.

На рис. 1 показаний найпростіший двигун постійного струму. Кінці рамки $abcd$ через півкільця і ковзаючі по ним щітки підключені до зовнішнього джерела постійного струму. Взаємодія струму, що протікає в рамці $I_{\text{я}}$ з магнітним полем створює електромагнітну силу F , що діє на рамку, яка викликає її обертання. Для збереження напрямку дії цієї сили через кожні півоберта ротора струм в сторонах ab і cd рамки повинен міняти напрям на протилежний. Це відбувається при переході півкільця з однієї щітки на іншу в щітково-колекторному вузлі. Це створює постійний крутний момент.

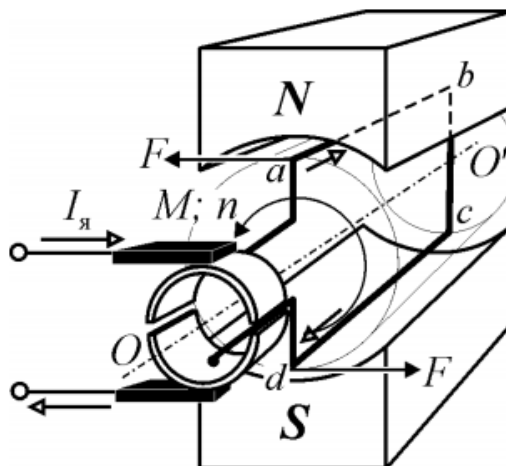


Рисунок 1 – Найпростіший двигун постійного струму

Ротор машини постійного струму називається якорем. Щоб збільшити крутний момент потрібно збільшити кількість «рамок» і заповнити феромагнетиком повітряний проміжок між полюсами статора. Півкільця перетворюються в набір ізолюваних один від одної мідних пластин залитих в

пластмасову втулку. Кінці секцій (катушок) припаюються до пластин колектора.

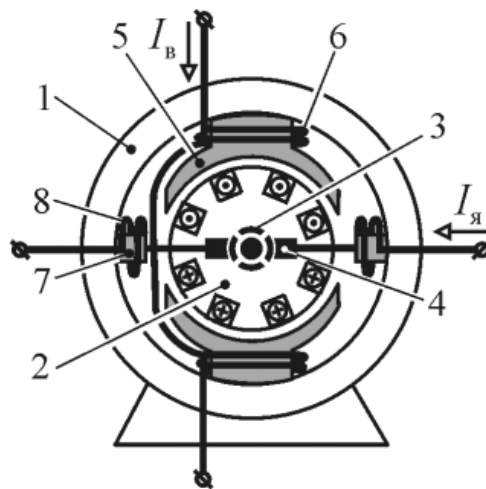


Рисунок 2 – Загальна конструктивна схема машини постійного струму

Загальна конструктивна схема машини постійного струму показана на рис. 2. Вона складається з корпусу 1, що об'єднує всі елементи конструкції і є також магнітопроводом. У підшипниках корпусу встановлений якір машини 2 і щітково-колекторний вузол 3, 4. У корпусі встановлено основні полюси 5, розподіляють основний магнітний потік машини, що збуджується встановленою на полюсах обмоткою 6. На геометричній осі щіток машини встановлені додаткові полюси 7 з обмоткою 8, що збуджує їх магнітне поле. Обмотка збудження машини 6 і обмотка якоря з послідовно включеною обмоткою додаткових полюсів 8 утворюють дві електричні ланцюги, які можуть живитися від одного або від різних джерел постійного струму.

2. Схеми живлення ланцюгів машини постійного струму

За схемою живлення цих ланцюгів машини постійного струму поділяють на машини з незалежним (роздільним), паралельним, послідовним і змішаним збудженням (рис. 3, а, б, в і г). До машин з незалежним збудженням відносяться також машини з магнітоелектричним збудженням, тобто із створенням основного магнітного потоку за допомогою постійних магнітів (рис. 3, д).

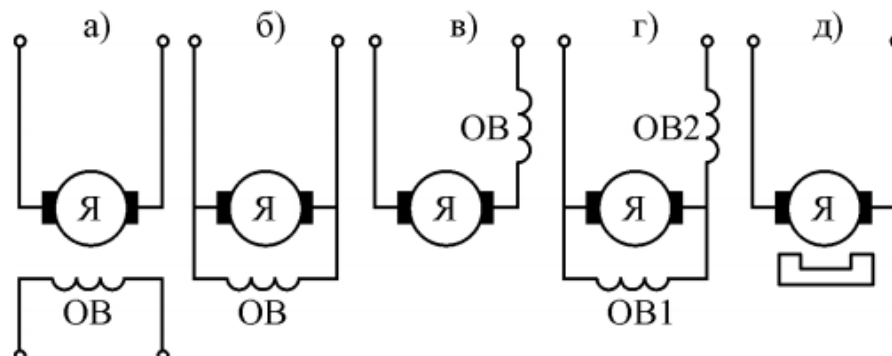


Рисунок 3 – Схеми живлення ланцюгів машини постійного струму

3. Крокові двигуни постійного струму.

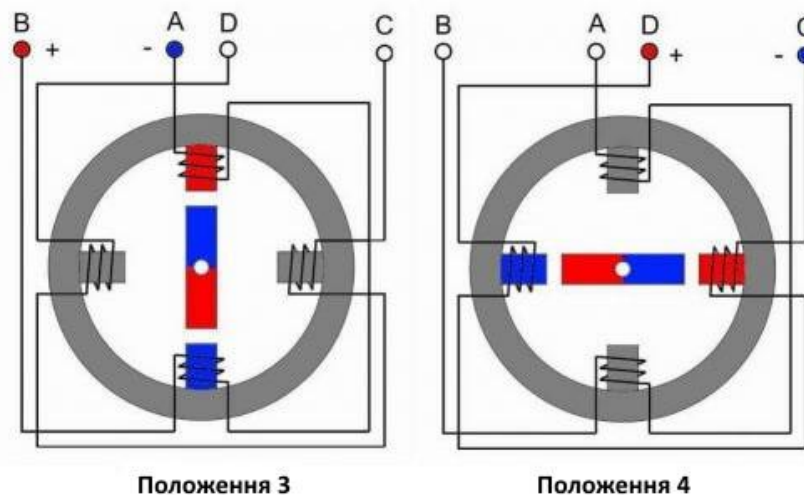
Крокові двигуни постійного струму набули широкого поширення в верстатах з числовим програмним управлінням і робототехніці. Вал крокового електродвигуна не обертається тривалий час, а лише повертається на певний кут. Цим забезпечується точне позиціонування робочого елемента в просторі. Електроживлення такого двигуна дискретне, тобто здійснюються імпульсами. Ці імпульси і повертають вал на певний кут, кожен такий поворот називається кроком, звідси і пішла назва.

Найчастіше дані електромотори працюють в тандемі з редуктором для підвищення точності установки і моменту на валу, і з енкодером для відстеження положення вала в поточний момент. Ці елементи необхідні для передачі і перетворення кута обертання.

Кроковий двигун за своїм типом це безколекторний синхронний електродвигун. Складається з статора і ротора. На роторі зазвичай розташовані секції, набрані з аркушів електротехнічної сталі (на фотографії це «зубчаста» частина), а ті, в свою чергу, розділені постійними магнітами. На статорі розташовані обмотки, у вигляді окремих котушок.

Принцип дії

Як працює кроковий електродвигун можна розглянути на умовній моделі. У положенні 1 на обмотки А і В подається напруга певної полярності. В результаті в статорі утворюється електромагнітне поле. Так як різні магнітні полюси притягуються, ротор займе своє положення по осі магнітного поля. Більш того, магнітне поле мотора буде перешкоджати спробам зміни положення ротора ззовні. Якщо говорити простими словами, то магнітне поле статора буде працювати на те, щоб утримати ротор від зміни заданого положення (наприклад, при механічних навантаженнях на вал).



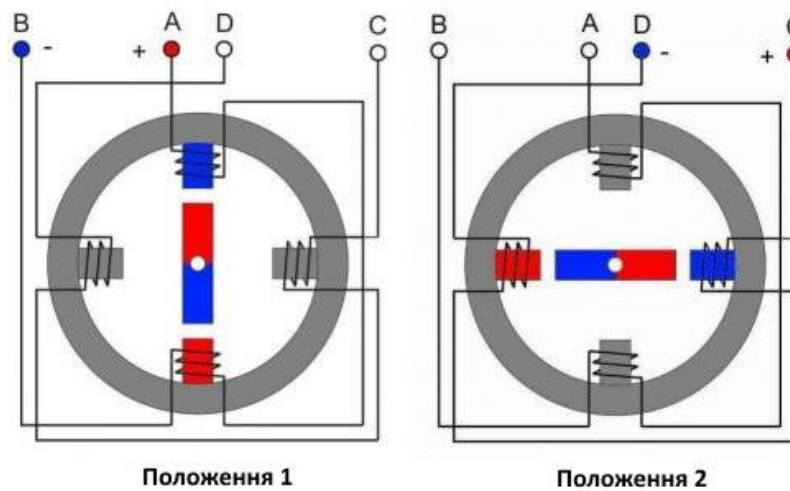


Рисунок 4 – Схема управління в біполярних машинах

Якщо напруга тієї ж полярності подається на обмотки D і C, електромагнітне поле зміститься. Це змусить повернутися ротор з постійним магнітом в положення 2. У цьому випадку кут повороту дорівнює 90° . Цей кут і буде кроком повороту ротора.

Положення 3 досягається подачею напруги зворотної полярності на обмотки A і B. У цьому випадку електромагнітне поле стане протилежним положенню 1, ротор двигуни зміститься, і загальний кут буде 180° .

При подачі напруги зворотної полярності на обмотки D і C, ротор повернеться на кут до 270° щодо початкової позиції. При підключенні позитивного напруги на обмотки A і B ротор займе початкове положення - закінчить оборот на 360° . Слід враховувати, що пересування ротора відбувається за найменшим шляху, тобто з положення 1 в положення 4 за годинниковою стрілкою ротор повернеться тільки після проходження проміжних 2 і 3 положення. При підключенні обмоток після 1 положення відразу в 4 положення ротор повернеться проти годинникової стрілки.

Види і типи по полярності або типу обмоток

У крокових двигунах застосовуються біполярні і уніполярні обмотки. Принцип роботи був розглянутий на базі біполярної машини. Така конструкція передбачає використання різних фаз для живлення обмоток. Схема дуже складна і вимагає дорогих і потужних плат управління.

Більш проста схема управління в уніполярних машинах. У такій схемі початок обмоток підключені до загального «плюса». На другі висновки обмоток по черзі подається «мінус». Тим самим забезпечується обертання ротора.

Біполярні крокові двигуни потужніші, крутний момент у них на 40% більше ніж в уніполярних. Уніполярні електромотори набагато зручніші в управлінні.

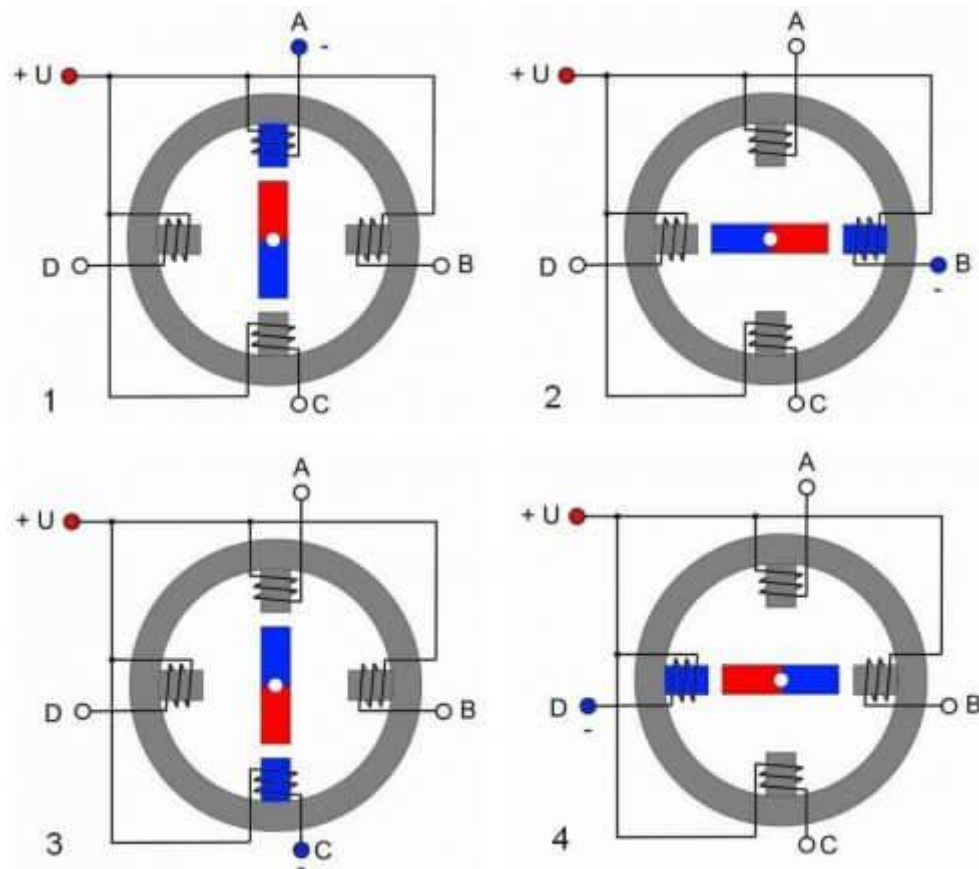


Рисунок 5 – Схема управління в уніполярних машинах

Типи двигунів по конструкції ротора

За типом виконання ротора крокові електродвигуни поділяються на машини:

- з постійним магнітом;
- зі змінним магнітним опором;
- гібридні.

КД з постійними магнітами на роторі влаштований так само, як і в розглянутих вище прикладах. Єдиною відмінністю є те, що в реальних машинах кількість магнітів набагато більше. Розподілені вони зазвичай на загальному диску. Кількість полюсів в сучасних моторах доходить до 48. Один крок в таких електромоторах становить $7,5^\circ$.

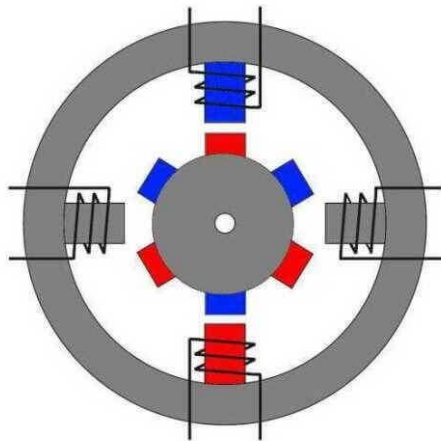


Рисунок 6 – КД з постійними магнітами

Електромотори зі змінним магнітним опором. Ротор даних машин виготовляється з магнітом'яких сплавів, їх також називають «реактивний кроковий двигун». Ротор збирається з окремих пластин і в розрізі виглядає як зубчасте колесо. Така конструкція необхідна для того, щоб через зубці замикався магнітний потік. Основною перевагою такої конструкції є відсутність стопорний моменту. Справа в тому, що ротор з постійними магнітами притягається до металевих деталей електромотора. І повернути вал при відсутності напруги на статорі досить важко. У крокової двигуні зі змінним магнітним опором такої проблеми немає. Однак істотним мінусом є невеликий крутний момент. Крок подібних машин зазвичай становить від 5° до 15° .

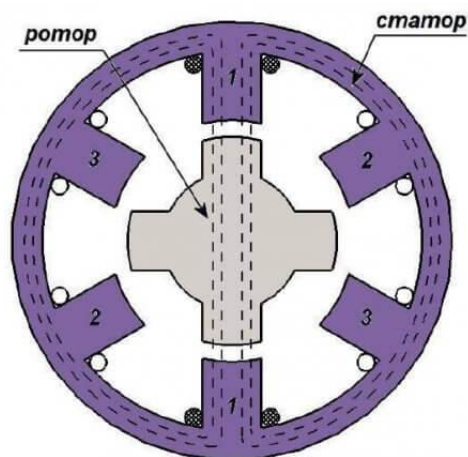


Рисунок 7 – КД зі змінним магнітним опором

Гібридний КД був розроблений для об'єднання кращих характеристик двох попередніх типів. Такі двигуни мають маленький крок в межах від $0,9$ до 5° , володіють високим моментом і утримує здатністю. Найважливішим плюсом є висока точність роботи пристрою. Такі електромотори застосовуються в найсучаснішому високоточному обладнанні. До мінусів можна віднести тільки їх високу вартість. Конструктивно ротор даного пристрою є намагнічений циліндр, на якому розташовані магнітомягкие зубці.

Для прикладу в КД на 200 кроків використовуються два зубчастих диска з числом зубців 50 штук на кожному. Диски зміщені відносно один одного на ползуба так, що западина позитивного полюса збігається з виступом негативного і навпаки. Завдяки цьому у ротора є 100 полюсів зі зворотним полярністю.

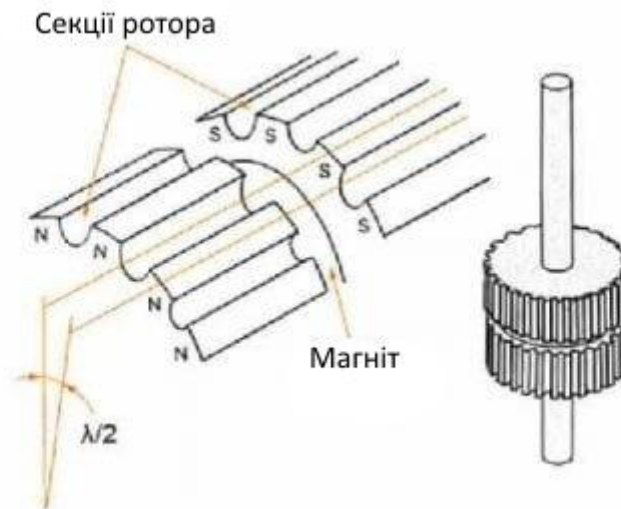


Рисунок 8 – Гібридний КД

Тобто і південний, і північний полюс може зміститися щодо статора в 50 різних положень, а в сумі 100. А зміщення фаз на чверть дає ще 100 позицій, проводиться це за рахунок послідовного збудження.

Управління КД

Управління проводиться наступними методами:

- хвильовий – в даному методі напруга подається тільки на одну котушку, до якої і притягується ротор. Так як задіяна тільки одна обмотка крутний момент ротора невеликий, і не підходить для передачі великих потужностей.
- повнокроковий – в даному варіанті задіюються відразу дві обмотки, завдяки чому забезпечується максимальний момент.
- напівкроковий. Об'єднує перші два методи. В даному варіанті напруга подається спочатку на одну з обмоток, а потім на дві. Таким чином реалізується більша кількість кроків, і максимальна утримуюча сила, яка зупиняє ротор при великих швидкостях.
- мікрокроковий – регулювання здійснюється шляхом задачі мікроступінчатих імпульсів. Такий метод забезпечує плавне обертання ротора і знижує ривки при роботі.

Переваги та недоліки крокових електродвигунів

До переваг даного типу електричних машин можна віднести:

- високі швидкості пуску, зупинки, реверсу;
- вал повертається відповідно до команди керуючого пристрою на заданий кут;
- чітка фіксація положення після зупинки;
- висока точність позиціонування, без жорстких вимог до наявності зворотного зв'язку;
- висока надійність за рахунок відсутності колектора;
- підтримання максимального крутного моменту на низьких швидкостях.

Недоліки:

- можливе порушення позиціонування при механічному навантаженні на вал вище допустимої для конкретної моделі двигуна;
- ймовірність резонансу;
- складна схема управління;
- невисока швидкість обертання, але це не можна віднести до вагомих недоліків, оскільки крокові двигуни не використовуються для простого обертання чого-небудь, як безколекторні, наприклад, а для позиціонування механізмів.

Кроковий двигун також називають «електродвигун з кінцевим числом положень ротора». Це і є найбільш ємне і в той же час коротке визначення таких електромашин. Вони активно застосовуються в ЧПУ-верстатах, 3D-принтерах і роботах. Головним конкурентом крокової двигуна є сервопривід, але у кожного з них є свої переваги і недоліки, які визначають доречність використання одного або іншого в кожному конкретному випадку.