

# **Промислова автоматика для початківців: позиціонування**

**Тут наведено короткий огляд промислових  
мереж для початківців.**

Позиційне керування дозволяє здійснити швидке, точне та акуратне переміщення об'єкта в задане положення. Цей курс дає початківцям базові знання, необхідні для здійснення позиційного керування в реальних умовах.

Цей курс складається із зазначених нижче розділів.  
Рекомендується починати з розділу 1.

**Розділ 1. Вивчення базових принципів позиційного керування**

Вивчення базових принципів позиційного керування.

**Розділ 2. Компоненти, необхідні для позиційного керування**

Вивчення компонентів обладнання, які необхідні для позиційного керування, та їх призначення.

**Розділ 3. Позиційне керування**

Вивчення методів конструювання систем позиційного керування.

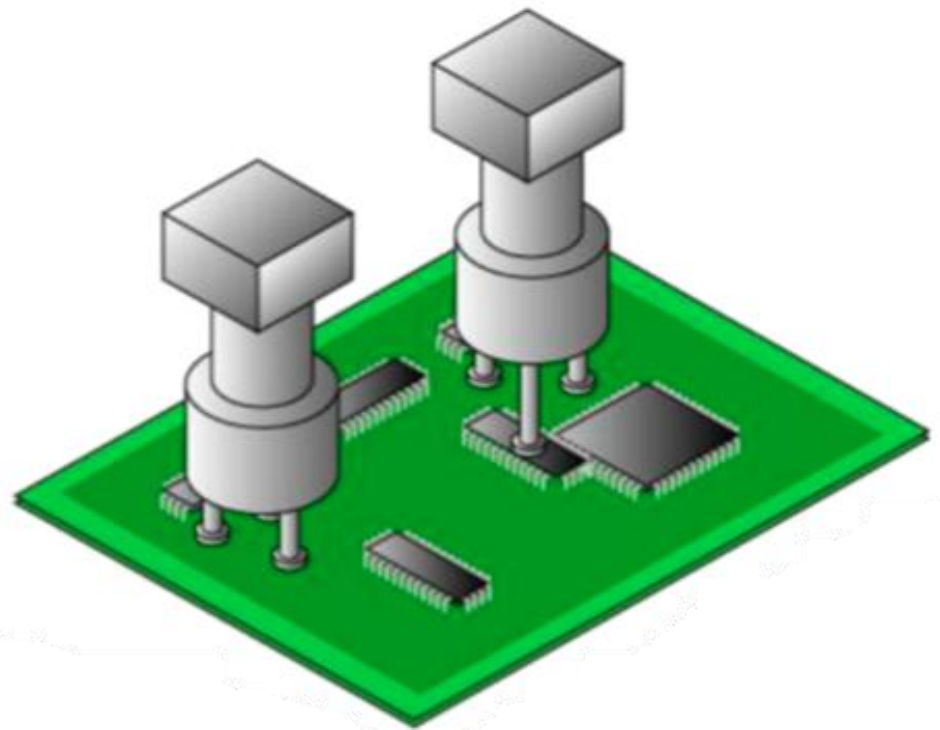
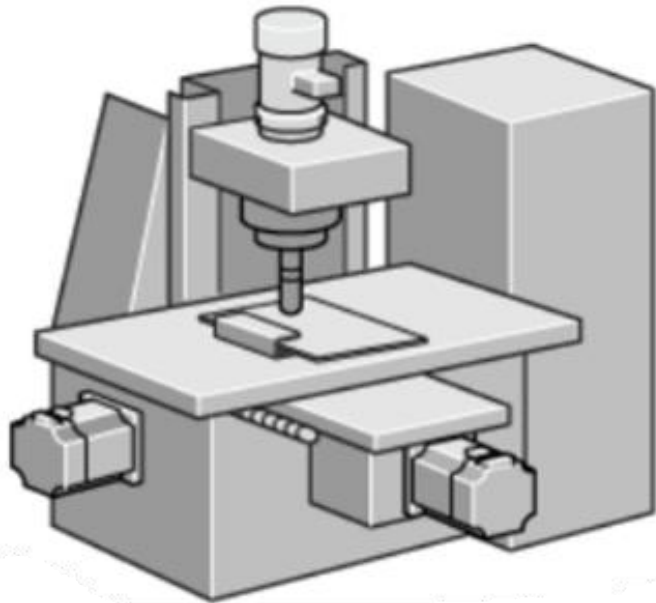
**Розділ 4. Що необхідно врахувати при реальному позиціонуванні**

Вивчення зовнішніх факторів, які необхідно врахувати при реальному позиційному керуванні.

Потреба в позиційному керуванні

Розвиток засобів механічної обробки та технологій складання підвищив верхню планку точності та ефективності промислової продукції.

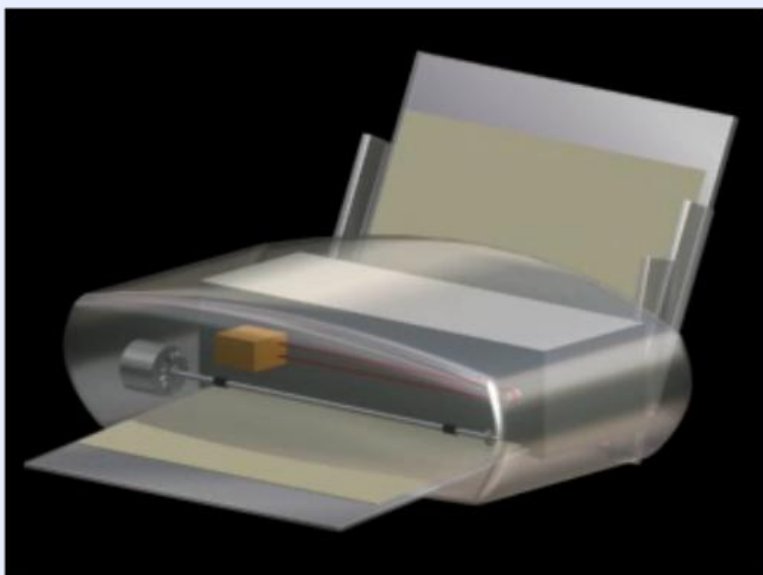
Тому потреба в позиційному керуванні стає дедалі нагальнішою.



Класичним прикладом завдання з позиційного керування є струминний принтер.

Для друку з великою роздільною здатністю необхідне точне переміщення друкувальної головки та точна подача паперу.

Позиційне керування у промисловій автоматичі також використовується в системах транспортування багажу.

**Класичний приклад 1**

Головка струминного принтера

**Класичний приклад 2**

Подача паперу в струминному принтері

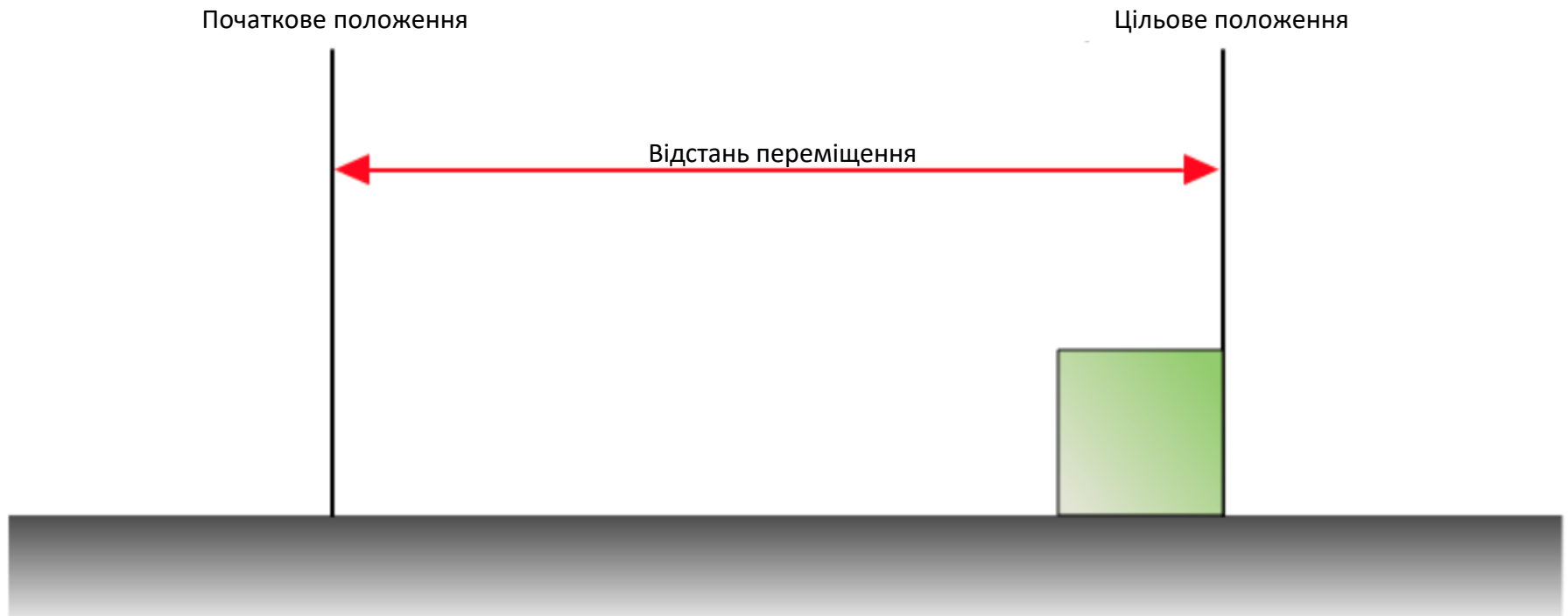
**Приклад 1 для промислової автоматичі**

Система транспортування багажу

## 1.2.1

## Що таке позиційне керування?

Позиційне керування — це таке керування об'єктом, при якому він переміщується з початкового положення в цільове і зупиняється в точно заданому місці.



Для поліпшення ефективності переміщення об'єкта його необхідно виконувати з максимально можливою швидкістю.

Однак вузол привода (наприклад, електродвигун) та об'єкт піддаються тертю і мають інерцію. Різкий розгін або гальмування можуть спричинити рух ривками або проходження об'єкта за цільове положення.

Щоб уникнути цих проблем, прискорення та сповільнення необхідно виконувати плавно.

Далі на малюнку проілюстровано переміщення об'єкта в цільове положення через стадії: "прискорення", "рух зі сталою швидкістю" та "сповільнення".

На графіку показано ідеальні та реальні зміни швидкості руху об'єкта.

Рух за таким сценарієм дозволить перемістити об'єкт швидко і точно.



Початкове положення

Цільове положення

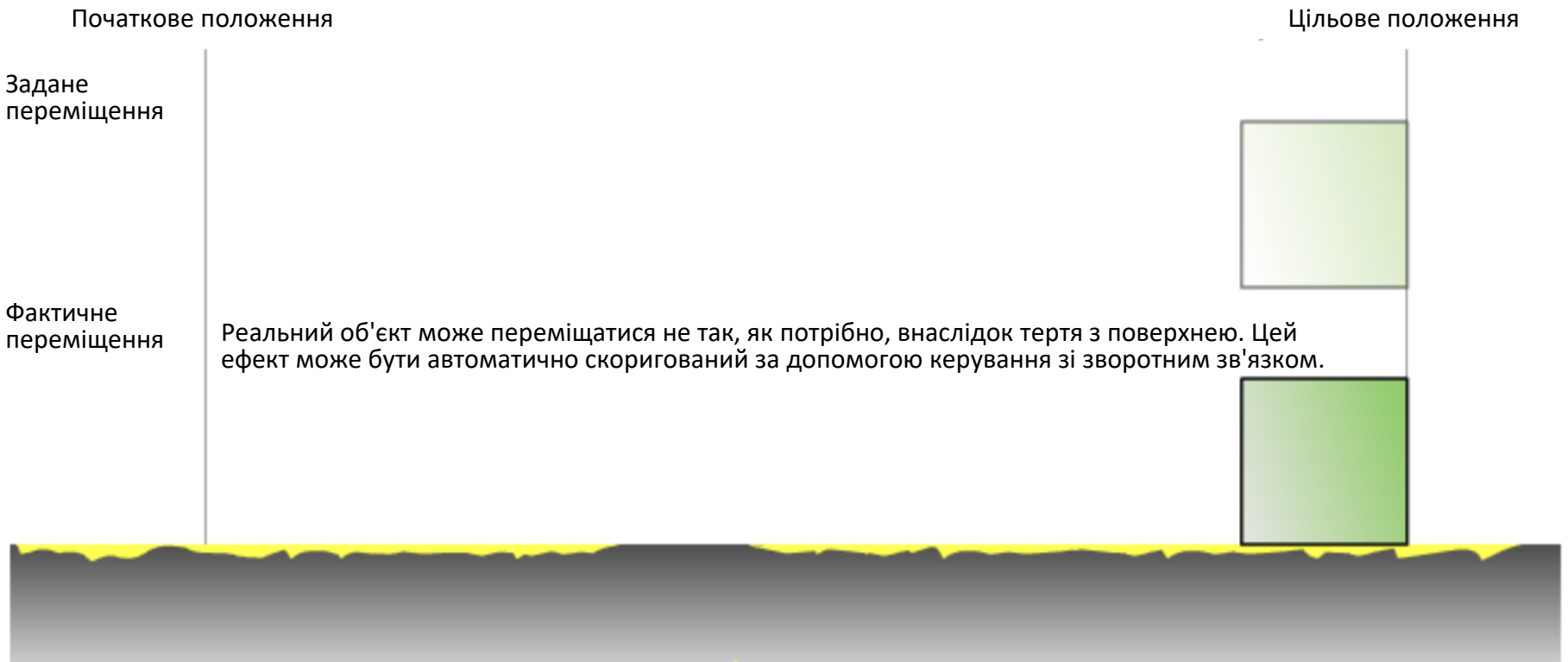
СТОП

## 1.2.3

## Точне позиціонування

Для того, щоб об'єкт залишив початкове і досяг цільового положення з високою точністю, його поточне положення необхідно постійно перевіряти та порівнювати із заданим, одночасно коригуючи швидкість відповідно до поточного положення.

Відстеження та корекція під час процесу позиціонування є складовими елементами "керування зі зворотним зв'язком".



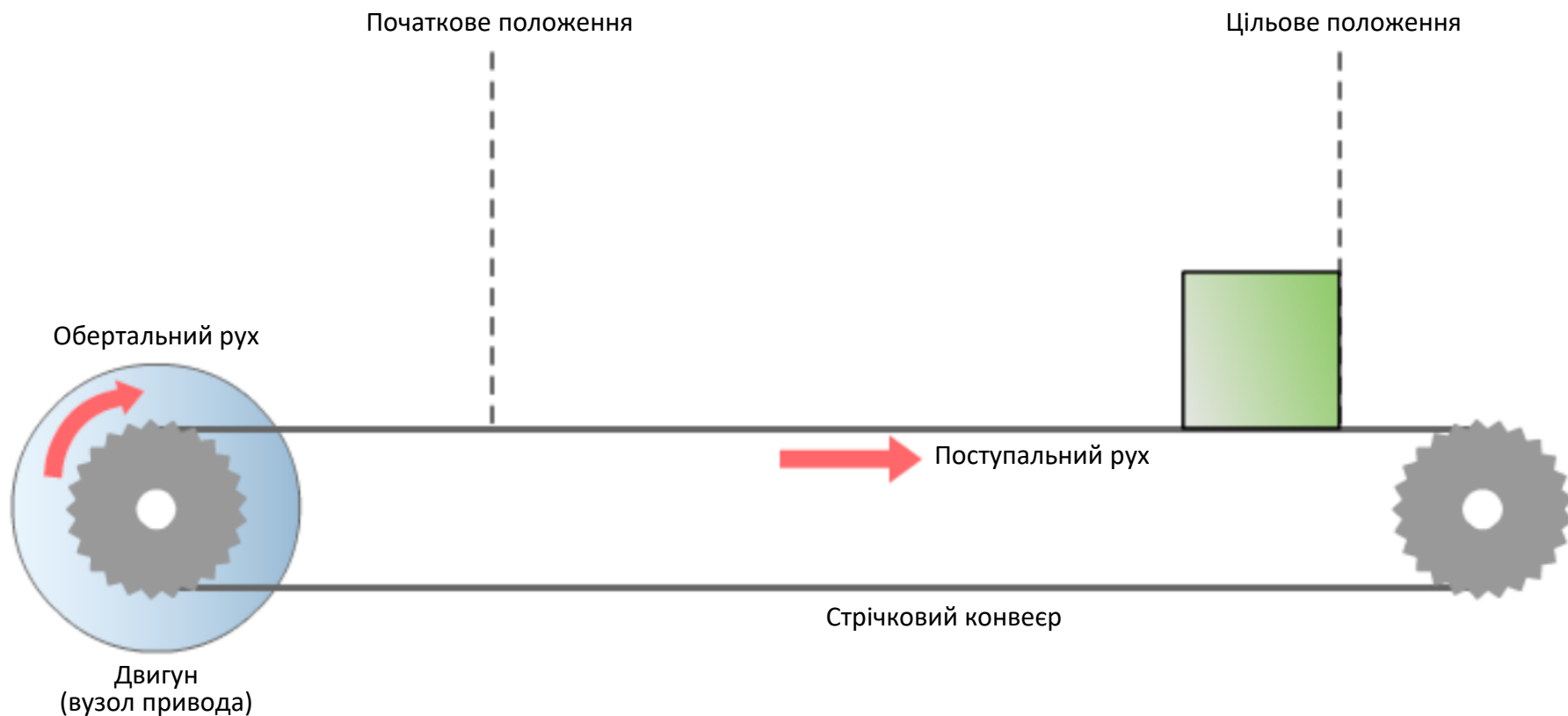
## 1.2.4

### Перетворення обертального руху в поступальний

Базова операція позиційного керування — це лінійне переміщення з початкового положення в цільове.

Як привод для такого лінійного переміщення часто використовується високоефективний та зручний у керуванні електродвигун.

Оскільки двигун обертає вал по колу, то для перетворення такого обертального руху в поступальний (лінійний) використовується показаний нижче стрічковий конвеєр.



Для керування двигуном застосовуються дві основні системи: сервоприводні та інверторні.

Давайте подивимось, де використовується сервоприводна система, а де — система з інвертором. Як показано нижче на прикладах, інверторні системи використовуються для керування швидкістю. Сервосистеми більше підходять для позиційного керування.

#### Приклади сервосистем та систем з інверторами



У цьому розділі ми вивчатимемо компоненти, які необхідні для позиційного керування з використанням сервосистем, та їхнє призначення.

Позиційне керування включає три компоненти: командний пристрій, пристрій керування та пристрій привода/реєстрації.

На наведеному нижче малюнку показано конфігурацію обладнання, в якій контролер (модуль позиціонування) використовується як командний пристрій, сервопідсилювач — як пристрій керування, а серводвигун — як пристрій привода/реєстрації.

### Конфігурація обладнання для позиційного керування

#### Командний пристрій



Керуючий  
сигнал



#### Пристрій керування



Джерело  
електроживлення



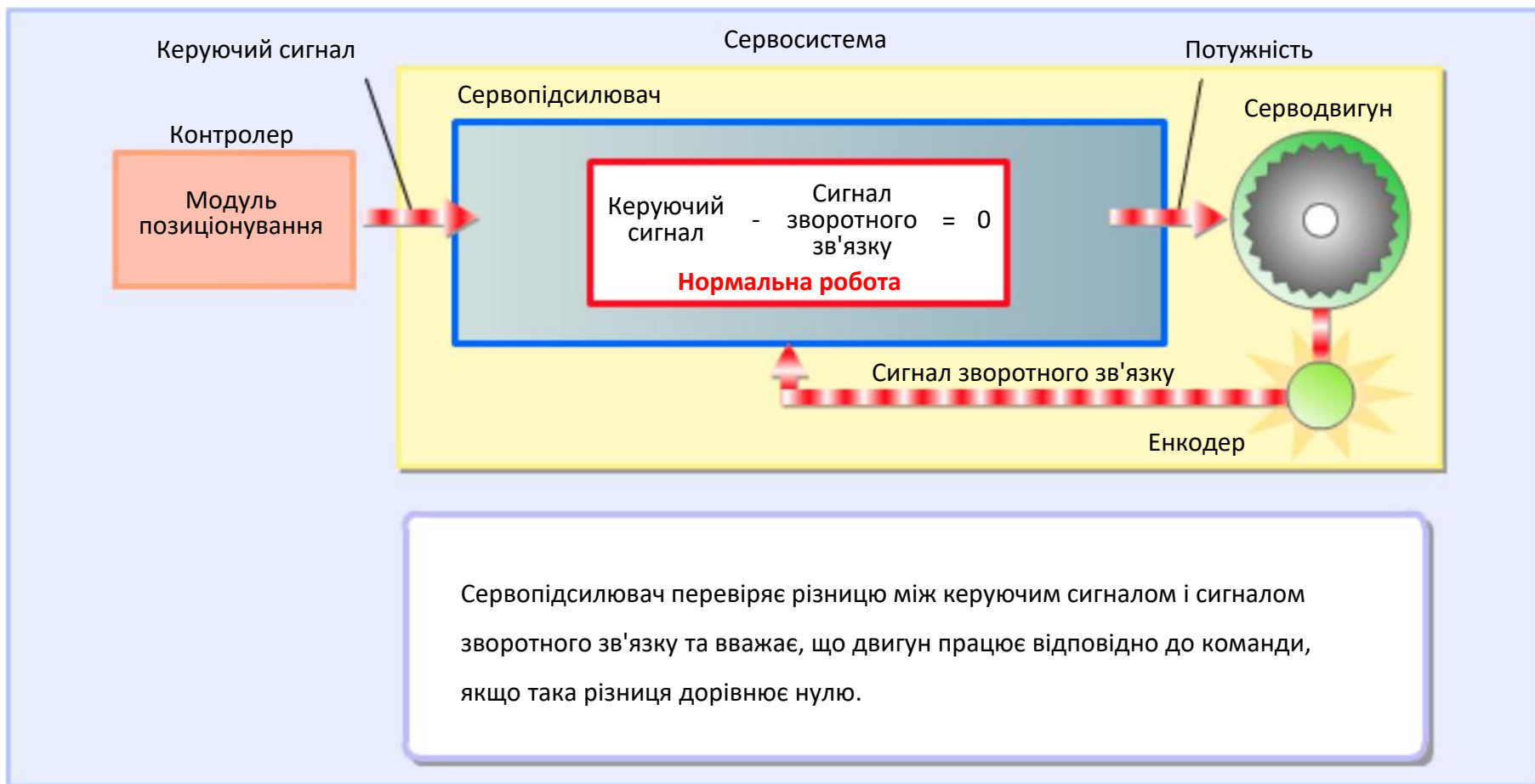
#### Пристрій привода/реєстрації



Сигнал зворотного зв'язку



Тут ми розглянемо потік керуючих сигналів між компонентами обладнання.

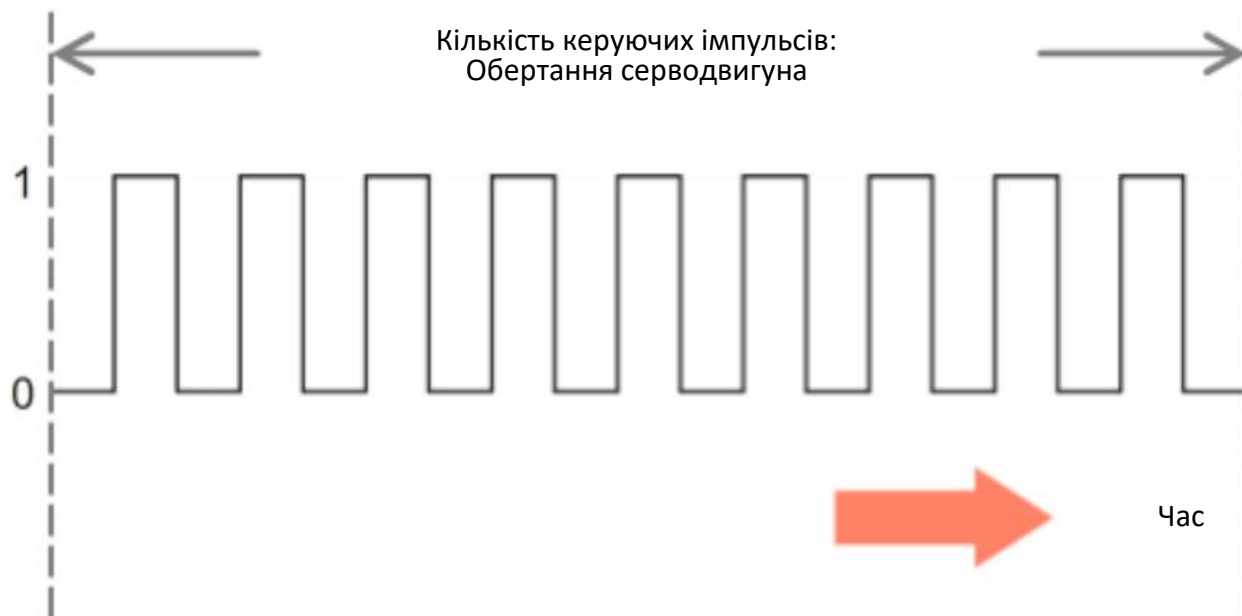


## 2.2.1

### Роль модуля позиціонування

Модуль позиціонування генерує та надсилає керуючий сигнал на переміщення об'єкта до сервопідсилювача. При позиційному керуванні використовуються імпульсні керуючі сигнали, які називаються керуючими імпульсами. Серводвигун обертається під дією пакета керуючих імпульсів, надісланих модулем позиціонування на сервопідсилювач. Кількість керуючих імпульсів за одиницю часу називається частотою керуючих імпульсів, яка використовується для керування швидкістю серводвигуна.

Нижче на малюнку проілюстровано поняття кількості та частоти керуючих імпульсів.



Кількість керуючих імпульсів за одиницю часу:  
Частота обертання серводвигуна = частота керуючих імпульсів [імпульс/с].

## 2.2.2

## Ролі кількості та частоти керуючих імпульсів

Тут ми обговоримо ролі кількості та частоти керуючих імпульсів, а також взаємозв'язок між ними та об'єктом (виробом\*).

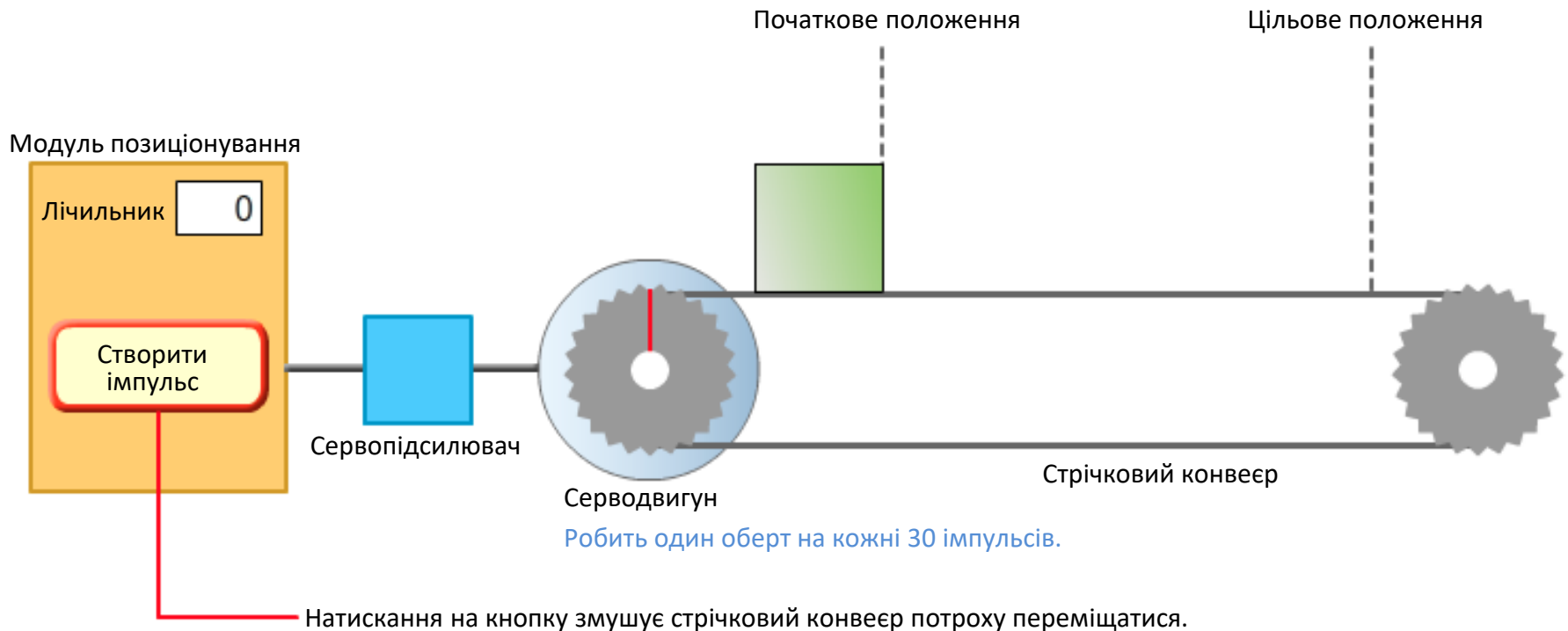
Нижче на малюнку показано стрічковий конвеєр із серводвигуном, який робить один оберт на кожні 30 імпульсів.

При натисканні на кнопку на модулі позиціонування генерується один імпульс.

Один імпульс викликає поворот двигуна на 12 градусів і переміщення виробу на стрічковому конвеєрі до цільового положення.

Кількість натискань на кнопку (значення на лічильнику) — це кількість керуючих імпульсів, а інтервал між натисканнями на кнопку — це частота керуючих імпульсів.

\* У позиційному керуванні цільовий об'єкт позиціонування називається "виробом".



Серводвигун обертається і переміщує виріб точно відповідно до потужності, що подається від сервопідсилювача. Серводвигун має вбудований детектор (енкодер), який точно вимірює частоту обертання та кількість обертів вала двигуна.

При реальному позиціонуванні механізм може працювати з відхиленнями від інструкцій внаслідок характеристик пристрою та зовнішніх впливів.

Для усунення цих проблем необхідний механізм зворотного зв'язку з енкодером.

#### Номінальна частота обертання

Швидкість, з якою серводвигун обертається найефективніше, називається «номінальною частотою обертання».

Вибір номінальної частоти обертання [об/хв] для постійної роботи електродвигуна гарантує ефективне виконання операцій позиціонування.

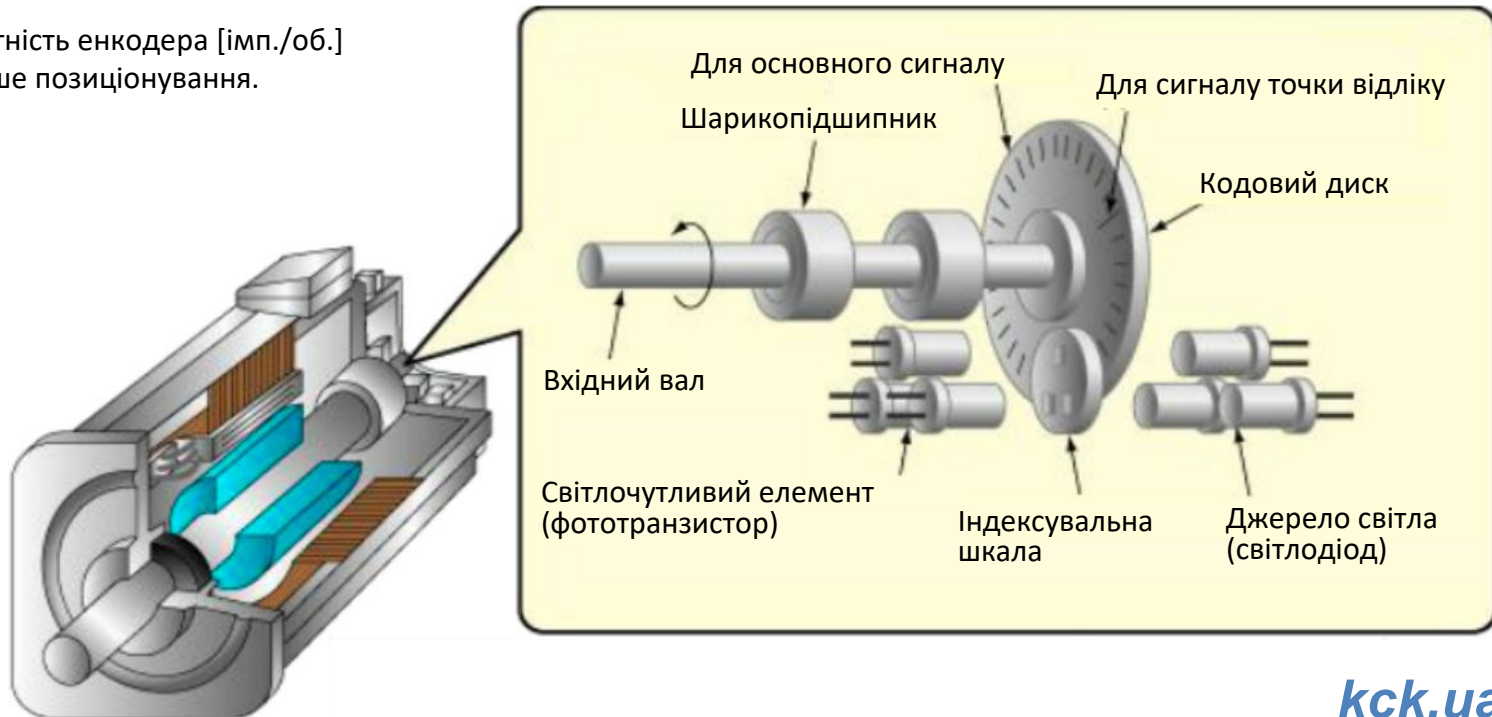
#### Будова енкодера

Світло проходить крізь диск, що обертається, з рівновіддаленими один від одного прорізами, розташованими по колу.

Енкодер, розташований за диском, підраховує кількість спалахів світла під час його проходження крізь прорізи.

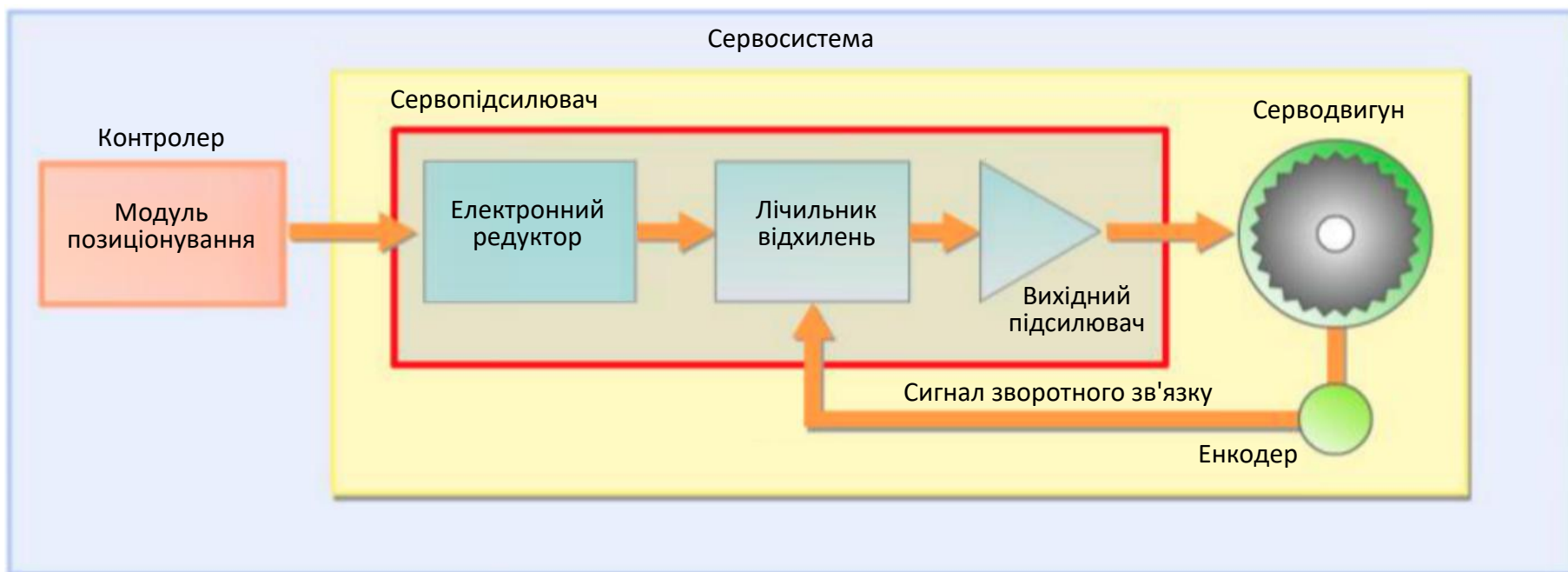
Підрахована кількість імпульсів надсилається як зворотний зв'язок на сервопідсилювач для точного позиційного керування.

Чим вища роздільна здатність енкодера [імп./об.] серводвигуна, тим точніше позиціонування.



Сервопідсилювач керує серводвигуном відповідно до керуючого сигналу від модуля позиціонування. Сервопідсилювач також використовує сигнал зворотного зв'язку від енкодера для перевірки того, чи працює серводвигун відповідно до команд (на наявність помилок), і коригує помилки, якщо вони виникають.

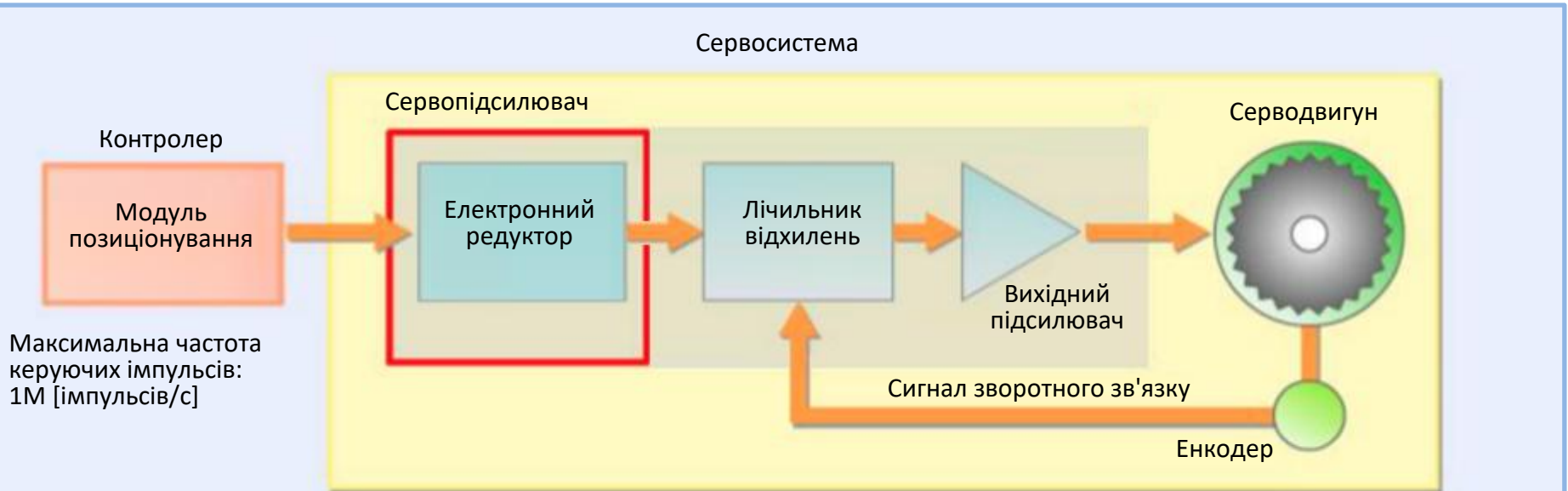
Тут ми розглянемо терміни «електронний редуктор», «лічильник відхилень» та «вихідний підсилювач».



## 2.4.1

# Роль електронного редуктора

Серводвигун найбільш ефективно працює при номінальній частоті обертання. Однак максимальна частота керуючих імпульсів, що створюються модулем позиціонування, є фіксованою. Якщо ця величина виявиться занадто низькою, то вихідні команди даного модуля будуть недостатньо ефективними для досягнення двигуном номінальної частоти обертання. Для вирішення цієї проблеми використовується електронний редуктор, який підвищує частоту керуючих імпульсів.



Роздільна здатність енкодера: 262,144 [імп./об.]  
 Номінальна частота обертання: 3,000 [об./хв]  
 Максимальна частота обертання: 6,000 [об./хв]

Приклад: Без використання редуктора (x) максимальна частота обертання серводвигуна дорівнюватиме:  $1,000,000 \times 1 / 262,144 \times 60 = 229$  [об./хв]

Кратність електронного редуктора	Максимальна частота обертання серводвигуна [об./хв]	
1x (без редуктора)	229	Номінальна частота обертання не досягається, і серводвигун працює неефективно.
2x	458	
10x	2,290	
20x	4,580	Номінальна частота обертання досягнута, і серводвигун працює ефективно.

За цих умов для оптимального перетворення частоти керуючих імпульсів кратність електронного редуктора має бути встановлена приблизно на рівні 20x.

## 2.4.1

# Роль електронного редуктора

Визначення передавального числа електронного редуктора

Частота керуючих імпульсів  $\geq$  частоти обертання серводвигуна

Максимальна частота керуючих імпульсів  $\times$  передавальне число електронного редуктора  $\geq$  роздільна здатність  $\times$  номінальна частота обертання

Встановіть передавальне число електронного редуктора таким чином, щоб воно задовольняло наведеним вище умовам.

Приклад: При наступних параметрах

Частота керуючих імпульсів: 200k [імпульсів/с]

Роздільна здатність: 16,384 [імпульсів/об.]

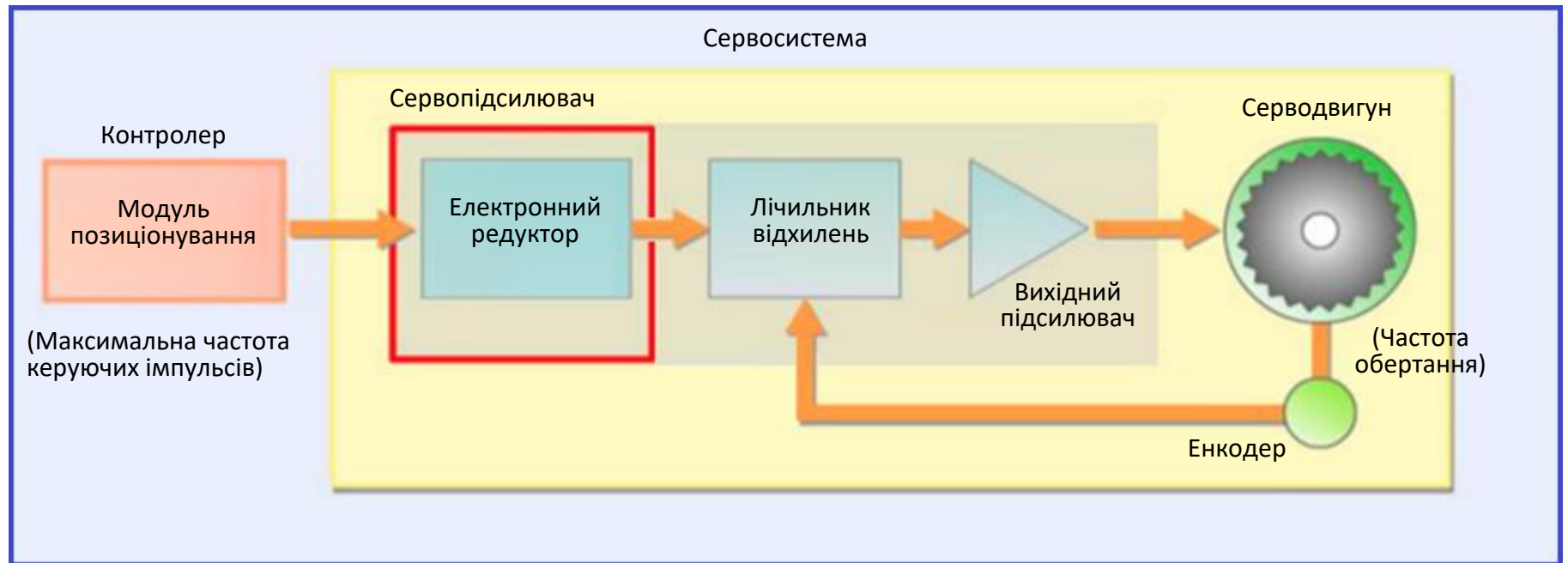
Номінальна частота обертання: 2,400 [об./хв]

(2,400 [об./хв] = 40 [об./с])

$200k$  [імпульсів/с]  $\times$  передавальне число електронного редуктора  $\geq$

$16,384$  [імпульсів/об.]  $\times$  40 [об./с]

Передавальне число електронного редуктора  $\geq \frac{16,384 \text{ [імпульсів/об.]} \times 40 \text{ [об./с]}}{200k \text{ [імпульсів/с]}}$



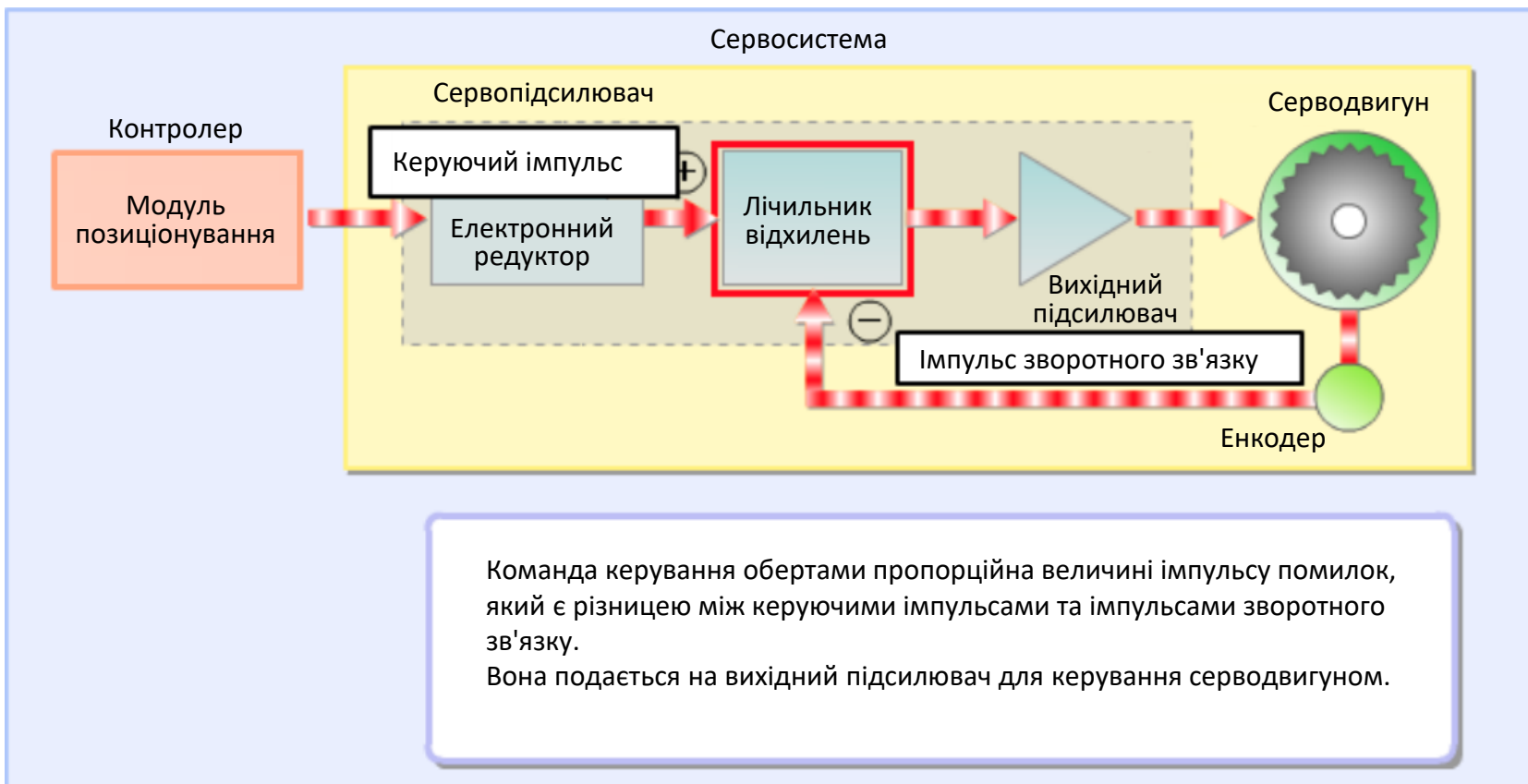
Лічильник відхилень віднімає імпульси зворотного зв'язку від керуючих імпульсів модуля позиціонування.

Результуючі імпульси накопичуються в лічильнику відхилень і називаються імпульсами помилок.

Лічильник відхилень видає команду керування обертами, яка пропорційна величині імпульсу помилок, на вихідний підсилювач.

При великій кількості імпульсів помилок частота обертання серводвигуна збільшується. У міру зменшення кількості імпульсів помилок прискорення зменшується і припиняється, коли це число стає рівним нулю.

На ілюстрації нижче показана роль лічильника відхилень.



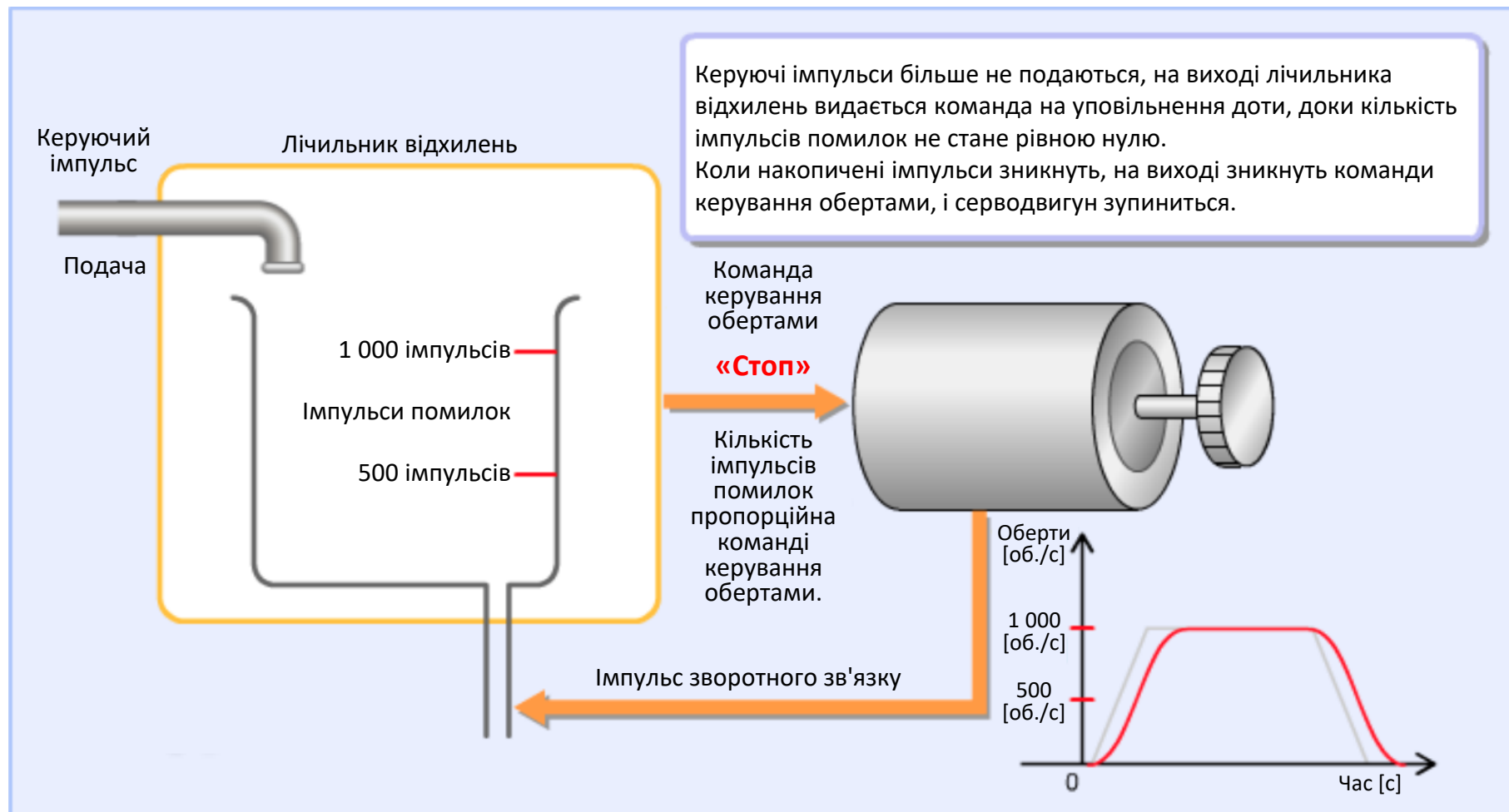
## 2.4.3

# Механізм зворотного зв'язку

Сервосистема має механізм зворотного зв'язку для точного, плавного та високошвидкісного позиціонування.

Механізм зворотного зв'язку по суті генерує імпульси помилок, які є різницею (затримкою) між керуючими імпульсами та імпульсами зворотного зв'язку.

Нижче на ілюстрації наведено опис механізму зворотного зв'язку.



## Налаштування відгуку від механізму зворотного зв'язку

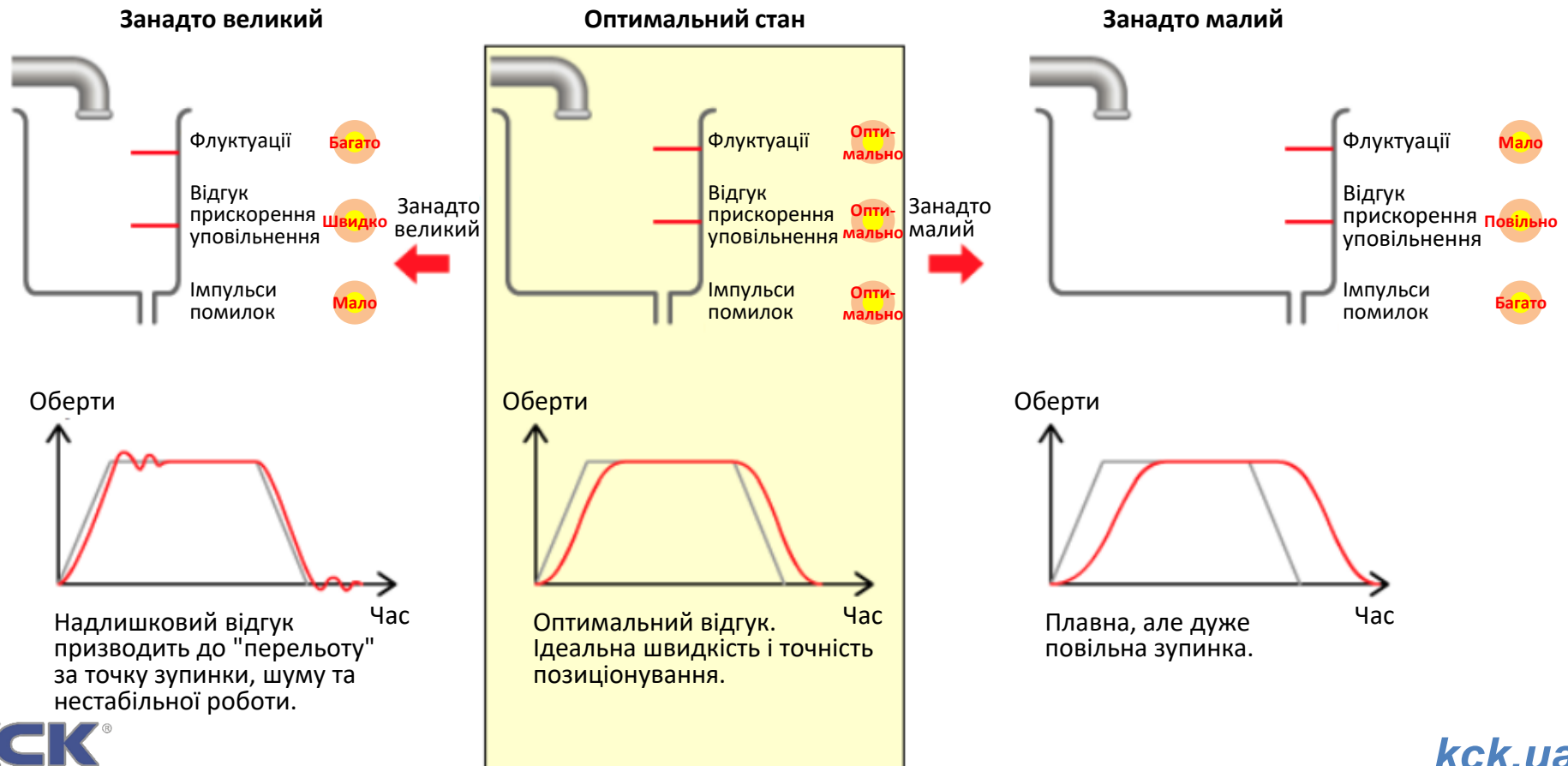
Імпульси помилок діють як фільтр, який видаляє шуми, створені керуючими імпульсами та імпульсами зворотного зв'язку. Величина, що використовується для налаштування, називається «коефіцієнт посилення контуру позиціонування». Коли цей параметр оптимальний, відгук зворотного зв'язку покращує профіль частоти обертання та точність позиціонування.

Зверніть увагу, що флуктуації для коефіцієнта посилення контуру позиціонування — це флуктуації в роботі серводвигуна.

**Уявіть собі: Зміна коефіцієнта посилення контуру позиціонування = зміна об'єму ємності для імпульсів помилок.**

Шум = (флуктуації рівня води)  $\longrightarrow$  Флуктуації в командах керування обертами  $\longrightarrow$  Флуктуації в роботі серводвигуна.

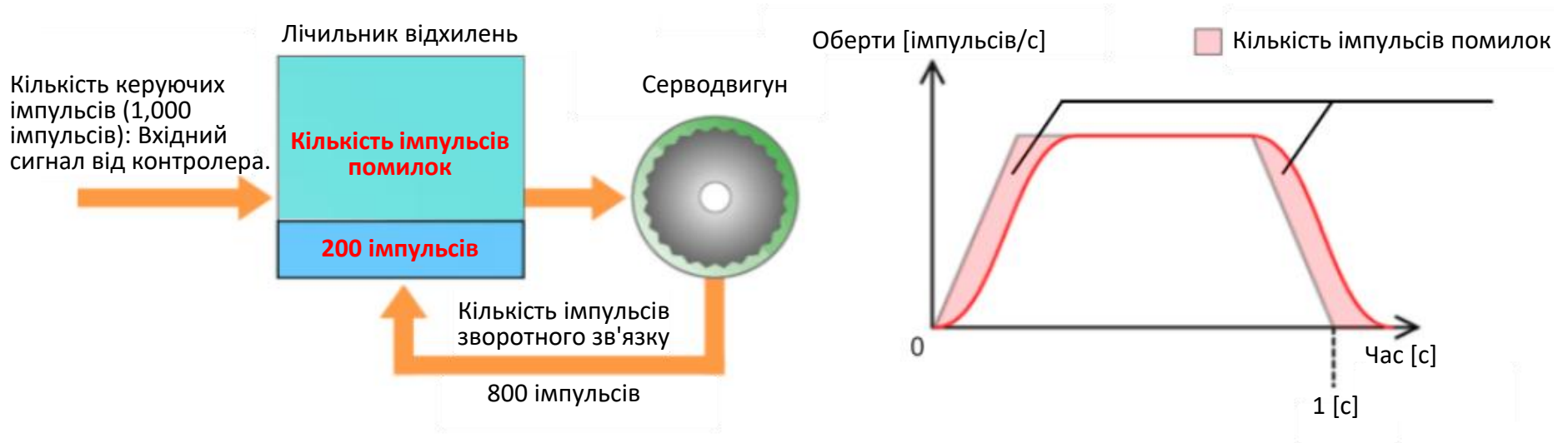
## Коефіцієнт посилення контуру позиціонування



## 2.4.3

# Механізм зворотного зв'язку

Розрахунок коефіцієнта посилення контуру позиціонування



Величина коефіцієнта посилення контуру позиціонування може бути розрахована, як показано нижче.

\* Припущення: 1,000 керуючих імпульсів, 800 імпульсів зворотного зв'язку, 1,000 [імпульсів/с] — частота керуючих імпульсів.

$$\text{Кількість імпульсів помилок} = [\text{Керуючі імпульси}] - [\text{Імпульси зворотного зв'язку}]$$

$$200 \text{ імпульсів} = 1,000 \text{ імпульсів} - 800 \text{ імпульсів}$$

$$\text{Коефіцієнт посилення контуру позиціонування} = \frac{\text{Частота керуючих імпульсів}}{\text{Кількість імпульсів помилок}}$$

$$5 \text{ [рад./с]} = \frac{1,000 \text{ [імпульсів/с]}}{200 \text{ імпульсів}}$$

Коефіцієнт посилення контуру позиціонування: 5 [рад./с]

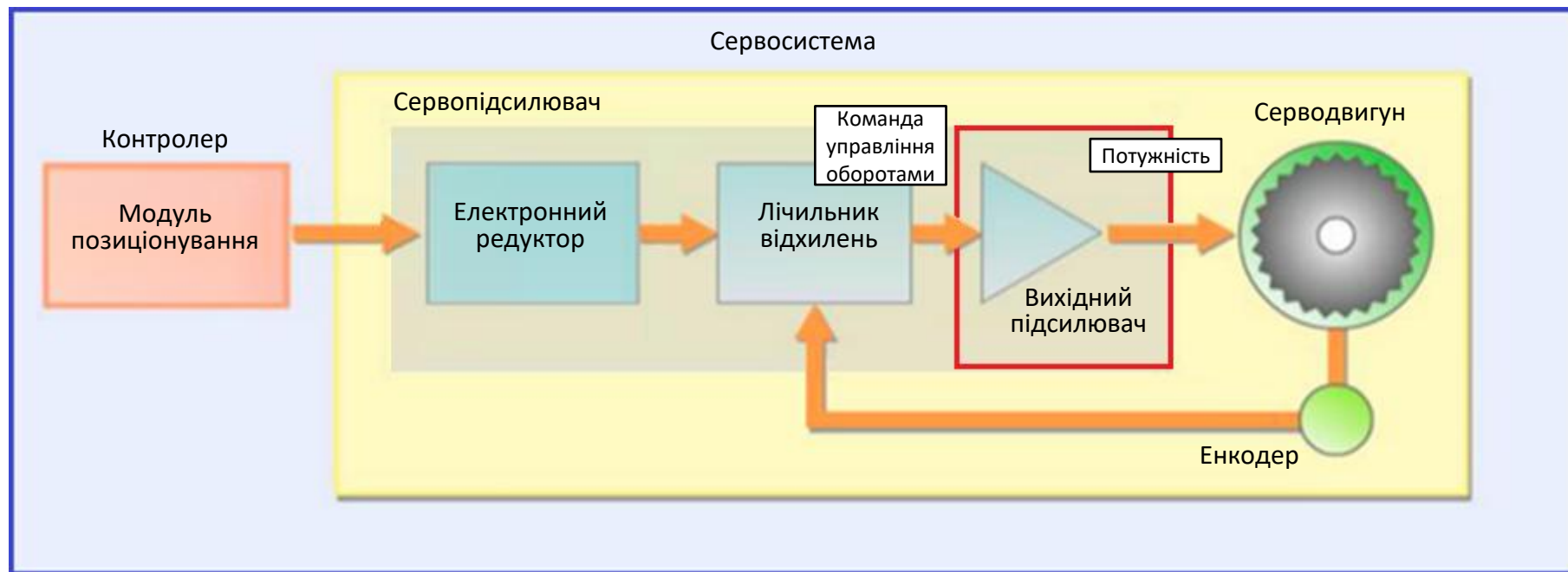
## 2.4.4

### Роль вихідного підсилювача

Вихідний підсилювач подає живлення на серводвигун відповідно до команди керування оборотами від лічильника відхилень.

Команда керування оборотами пропорційна кількості імпульсів помилок у лічильнику відхилень.

Кількість імпульсів помилок	Команда керування оборотами	Частота обертання серводвигуна
Багато	Висока	Висока
Мало	Низька	Низька
Нуль	Немає	Зупинений



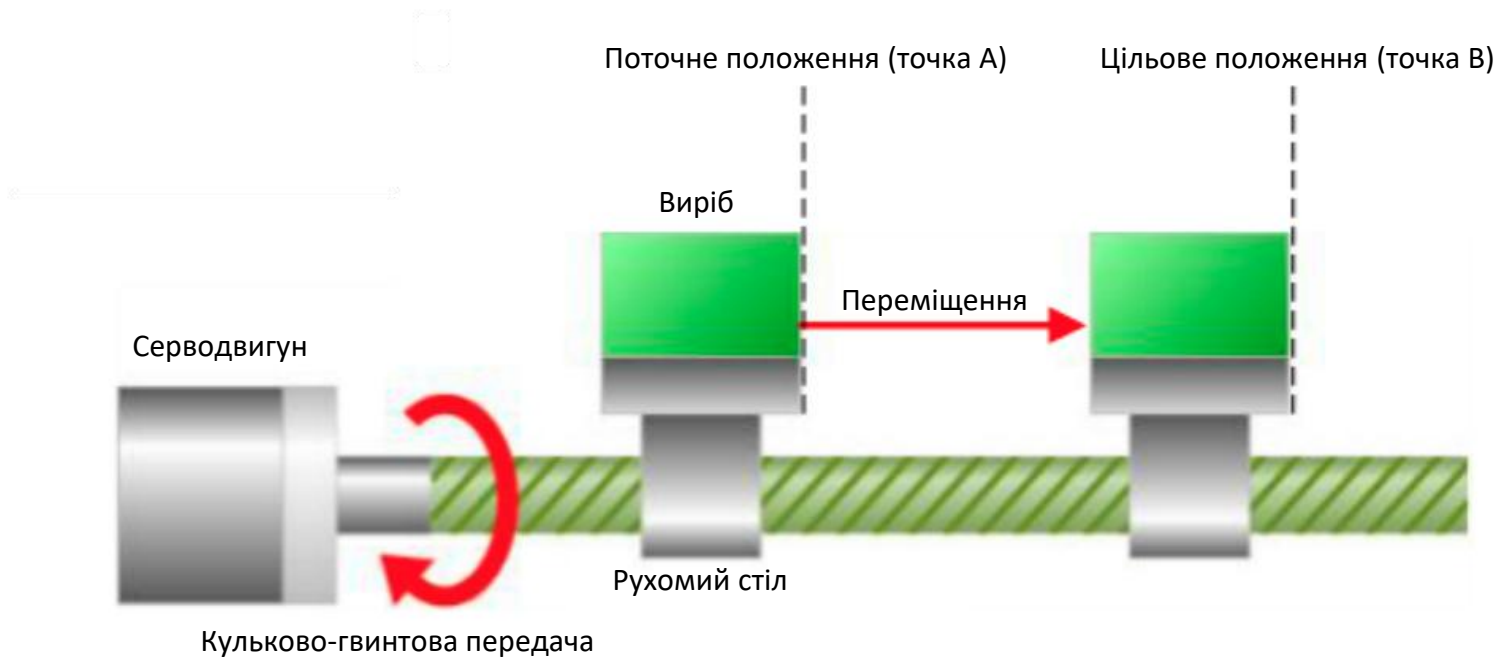
У цій главі ми вивчимо те, як здійснюється позиційне керування в реальних умовах.

3.1 Початок координат

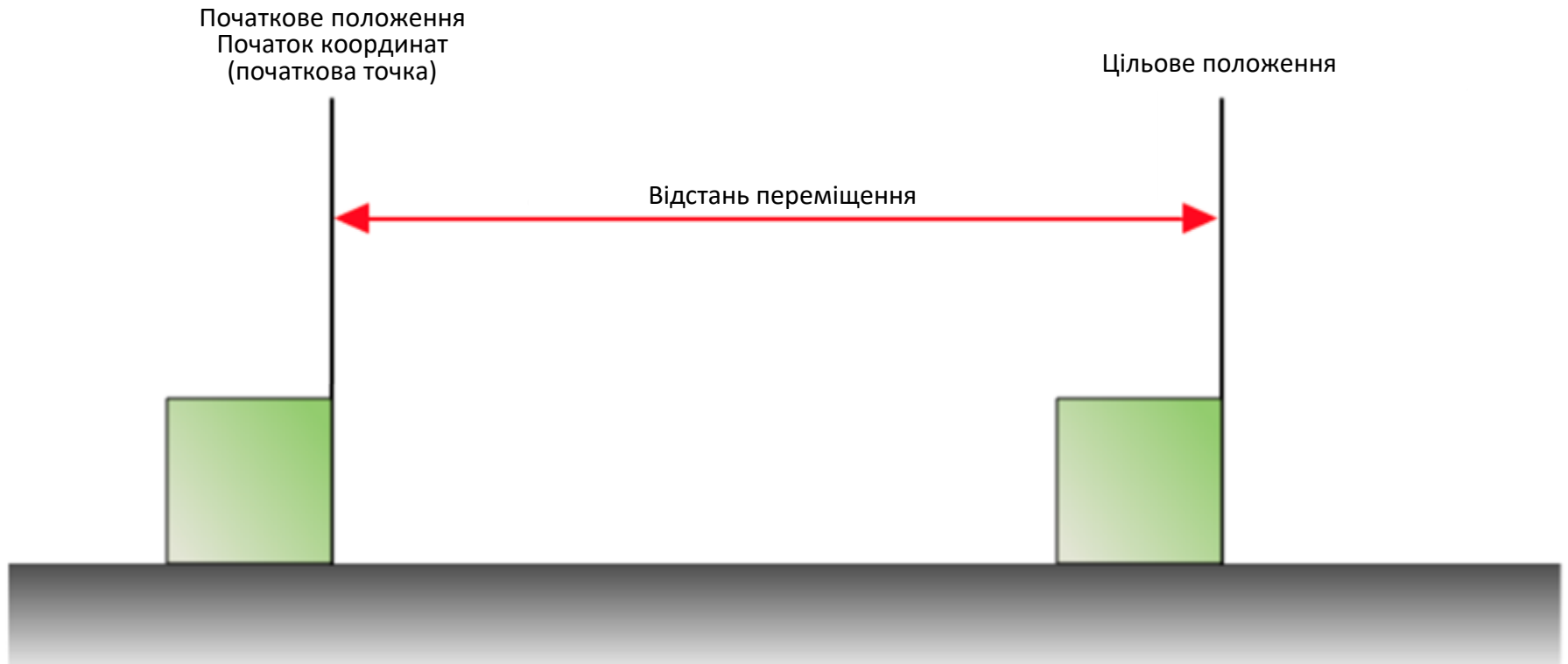
3.2 Методи позначення координат

3.3 Перетворення відстані та швидкості в керуючі імпульси та частоту імпульсів

У Розділі 3.3 ми будемо вивчати представлену нижче систему позиційного керування.



У позиційному керуванні початкова точка часто використовується як початок координат.  
Цільове положення може бути вказане шляхом визначення початкової точки.  
Позиційне керування поєднує цільове положення з початком координат виробу.



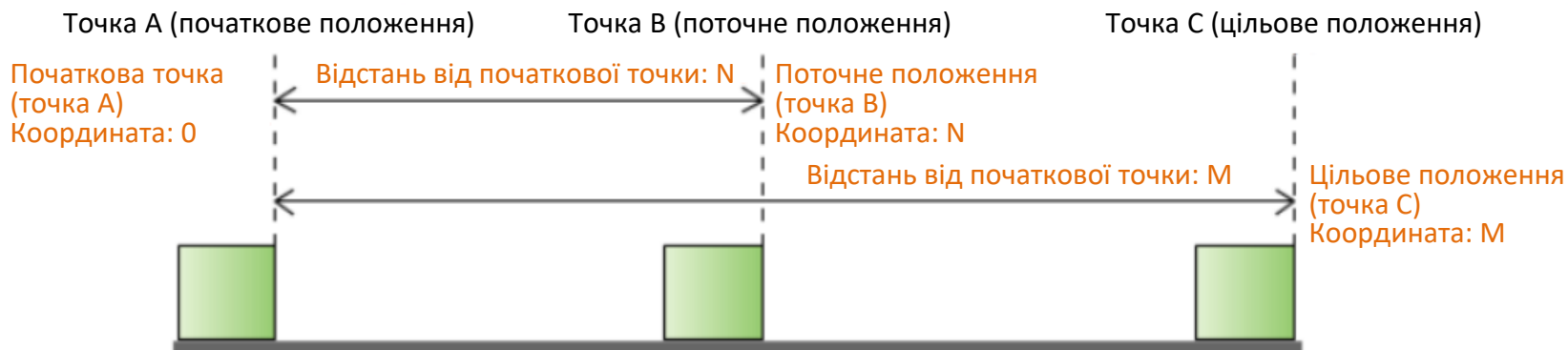
Існує два методи позначення координат: метод абсолютних координат (ABS) та метод відносних координат (INC). Позначення цільового положення буде відрізнятися залежно від того, який метод позначення координат використовується.

### Метод абсолютних координат (ABS)

У позиційному керуванні відстань від початкової точки називається «координата». (Координата початкової точки — «0»).

У методі абсолютних координат термін «координата» використовується для позначення цільового положення.

Таким методом легко встановити цільове положення, і його використовують для керування звичайним обладнанням.

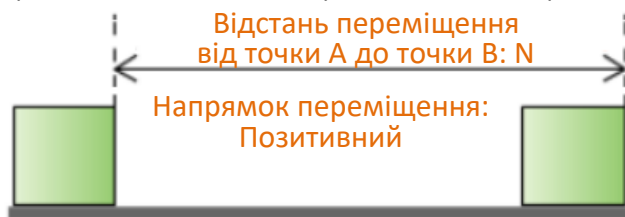


### Метод відносних координат (INC)

Вказується відстань та напрямок переміщення від поточного положення до цільового.

Таке позначення координат підходить для процесів «із постійною швидкістю подачі» та періодичним повторенням операцій із переміщенням на задану величину, наприклад, подача паперу в струминний принтер.

Точка А (початкове положення)      Точка В (цільове положення)

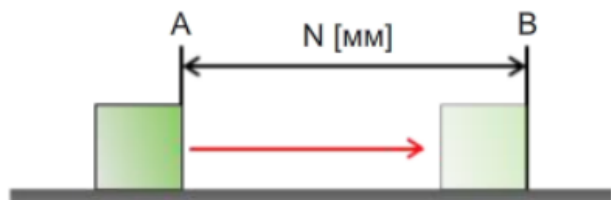


При використанні абсолютних координат відстань переміщення визначається як різниця між координатою вихідного положення та координатою кінцевого положення. При використанні відносних координат відстань переміщення вказується безпосередньо.

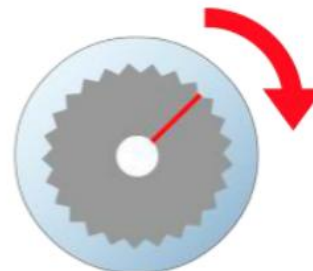
Тут ми вивчимо, як визначити кількість керуючих імпульсів та частоту керуючих імпульсів, необхідних для реального переміщення виробу з точки А в точку В.

Нижче на рисунку проілюстровано процедуру визначення кількості та частоти керуючих імпульсів.

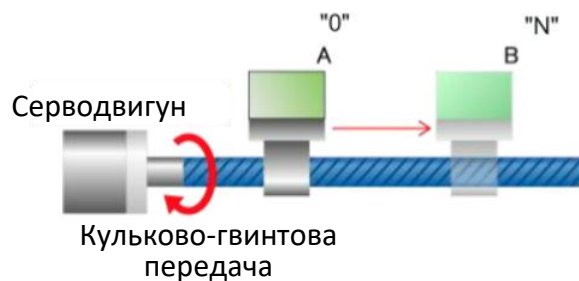
(1) Визначте відстань переміщення (наприклад, між точками А і В), а також час досягнення точки призначення.



(3) Визначте кількість керуючих імпульсів та частоту керуючих імпульсів\*\* на основі роздільної здатності серводвигуна.



(2) Визначте частоту обертання серводвигуна.

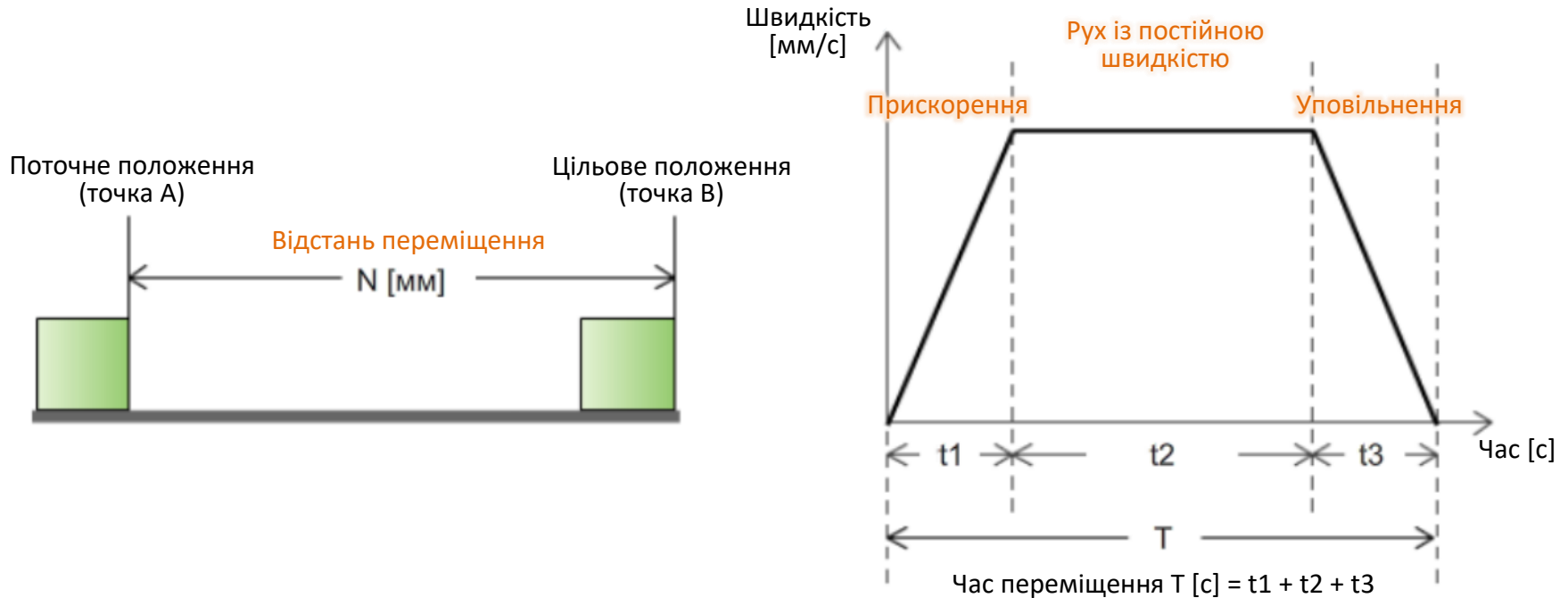


### 3.3.1

## Визначення відстані та швидкості переміщення виробу

- Відстань ( $N$  [мм]) — це різниця між поточним положенням (точка А) та цільовим положенням (точка В)
- Профіль швидкості за  $T$  секунд ( $T = t_1 + t_2 + t_3$ ).

На рисунку нижче проілюстровано поняття відстані та швидкості переміщення виробу.



### 3.3.2

## Кутове відхилення та частота обертання серводвигуна

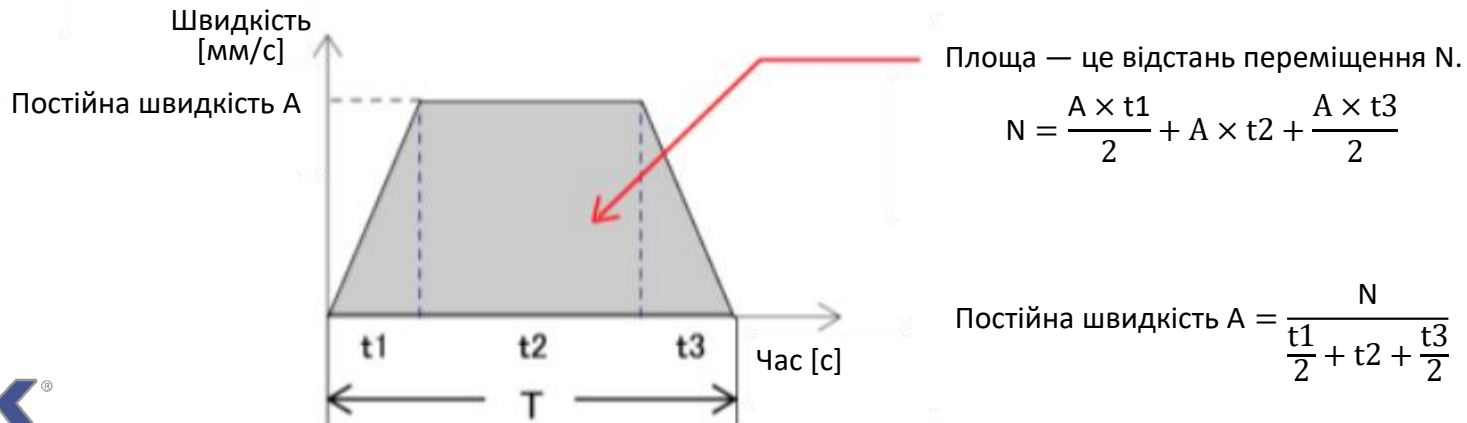
Показана нижче на малюнку система позиційного керування використовується для перетворення обертального руху серводвигуна в поступальний рух.

Підключена до серводвигуна кульково-гвинтова передача обертається і переміщує рухомий стіл.

Якщо відома відстань, яку проходить рухомий стіл за один оберт кульково-гвинтової передачі (серводвигуна), то можна розрахувати кількість обертів серводвигуна, необхідних для переміщення столу з точки А в точку В.



Вибравши час Т і визначивши t1, t2 та t3, можна розрахувати постійну швидкість А.

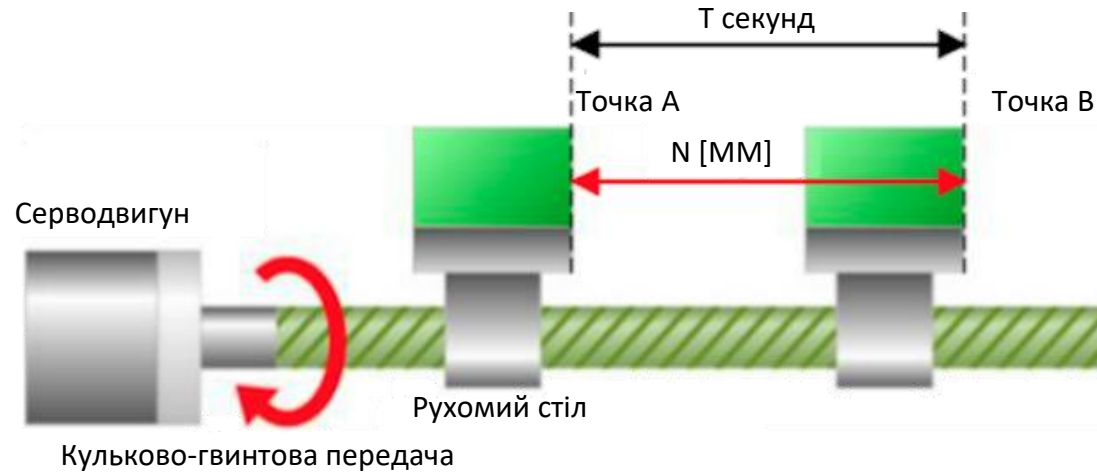


### 3.3.3

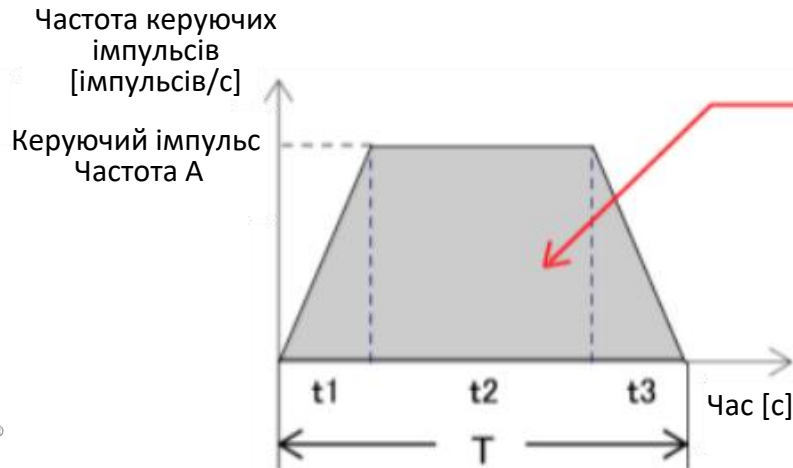
## Визначення кількості та частоти керуючих імпульсів

Якщо відома кількість обертів та роздільна здатність серводвигуна, то можна розрахувати кількість керуючих імпульсів.

Кількість керуючих імпульсів = кількість обертів × роздільна здатність



Частоту керуючих імпульсів можна розрахувати, виходячи з часу переміщення та кількості керуючих імпульсів.



Площа — це загальна кількість керуючих імпульсів.

$$\text{Кількість керуючих імпульсів} = \frac{A \times t_1}{2} + A \times t_2 + \frac{A \times t_3}{2}$$

$$\text{Частота керуючих імпульсів } A = \frac{\text{Кількість керуючих імпульсів}}{t_1/2 + t_2 + t_3/2}$$

При реальному позиційному керуванні необхідно розглянути проблеми, які виникають через характеристики або помилки обладнання.

У цій главі ми дізнаємося, як застосовувати наведені нижче типи позиційного керування в реальних ситуаціях.

**Плавна та безперервна робота**

**Підтримання кінцевого положення**

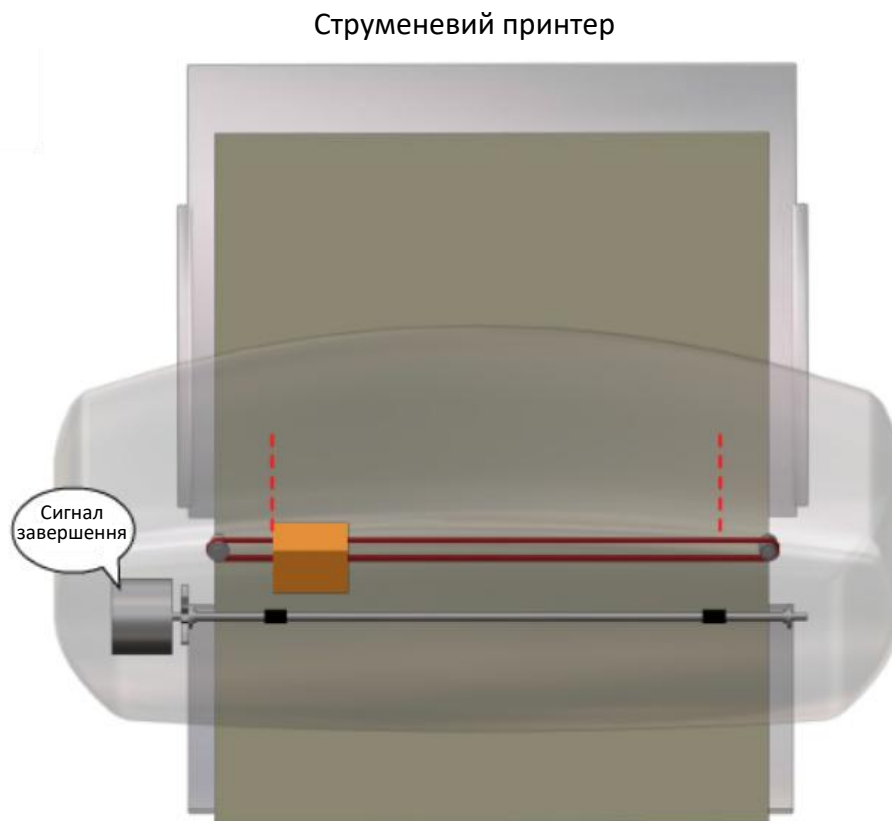
**Запобігання переходу за потрібне положення (запобігання перебігу)**

**Встановлення пристрою у вихідну точку модуля позиціонування (повернення в початкове положення)**

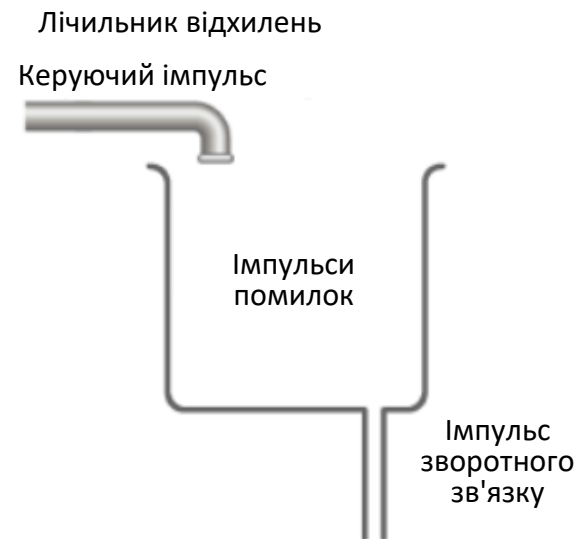
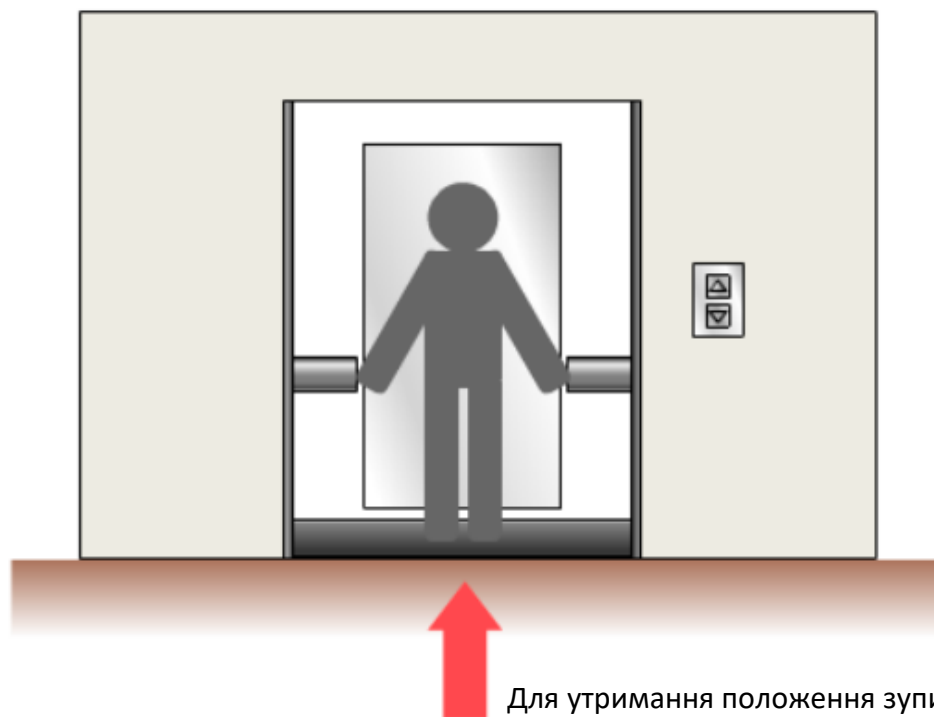
**Ручні операції для точного встановлення положення**

Для плавного виконання різних безперервних операцій, сервопідсилювач видає на вихід «сигнал завершення позиціонування» в момент завершення позиціонування.

Показаний нижче на ілюстрації струменевий принтер може плавно та безперервно виконувати різні операції позиційного керування, наприклад, переміщення головки та подачу паперу.



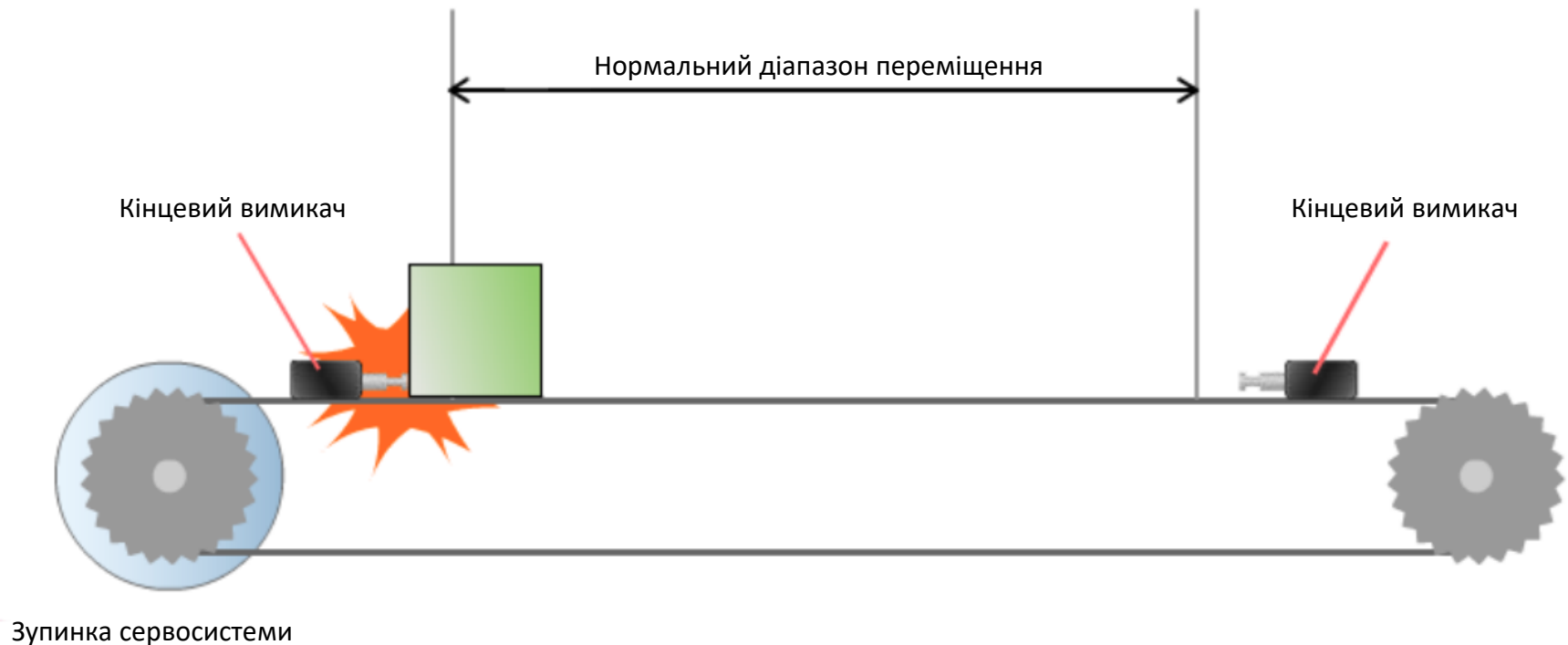
Якщо серводвигун повертається хоча б на один імпульс під дією зовнішньої сили після завершення позиційного керування, то на вхід лічильника відхилень надходять імпульси зворотного зв'язку, і в ньому починають накопичуватися імпульси помилок. Після цього сервопідсилювач подає потужність на серводвигун, який створює крутний момент, спрямований проти дії зовнішньої сили, для підтримання фіксованого положення (зупинки) за допомогою позиційного керування. Такий вид керування називається «сервоблокування».



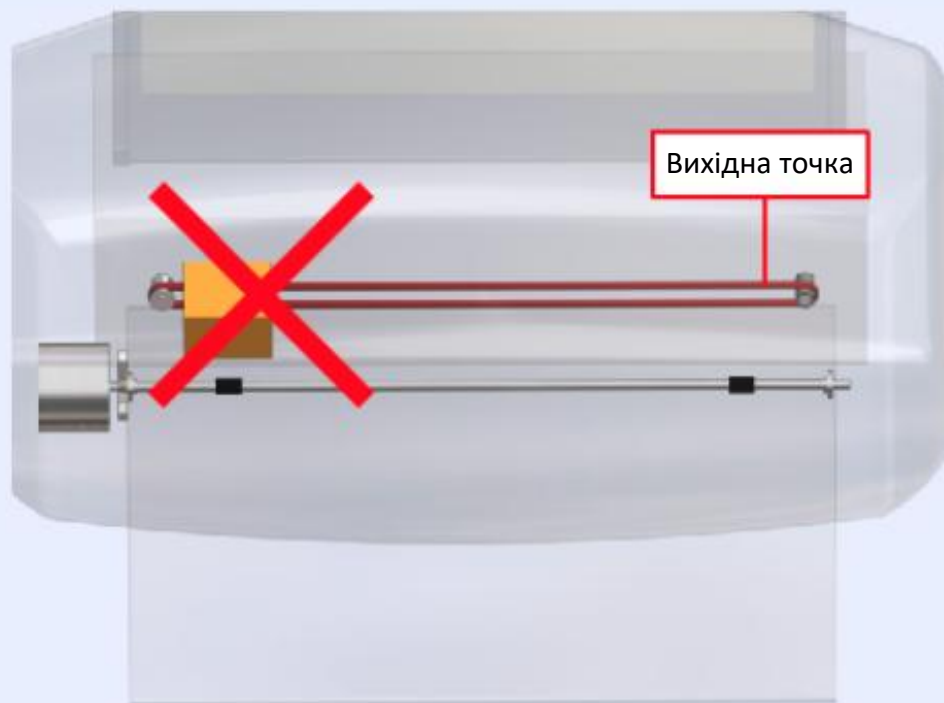
Позиціонування виробу за допомогою сервосистеми завжди виконується в положення, вказане механізмом зворотного зв'язку.

Однак при виникненні програмної або командної помилки серводвигун може повернутися на надлишковий кут і пошкодити систему або виріб.

Щоб уникнути цього, сервосистема має аварійно зупинитися без участі програми за допомогою кінцевих вимикачів, які встановлюються на кінцях пристрою (зазвичай у двох місцях: у напрямку вперед і назад).



Ця операція виконується шляхом встановлення пристрою в початок координат (вихідну точку) модулем позиціонування після ввімкнення живлення або складання системи; її також називають «відновленням бази пристрою».



**— Коли база пристрою не відновлена**

Принтер вважає, що положення зупинки — це початкова точка, і починає друк із цього положення. Надрукований текст може бути зміщений, а система — пошкоджена.

Ручні операції використовуються головним чином для перевірки системи позиціонування, встановлення вихідної точки та цільової точки (координати) або виконання точних регулювань при прецизійному позиціонуванні.

Існує три типи ручних операцій:

**Поштовхове переміщення**

**Крокове переміщення**

**Переміщення від ручного генератора імпульсів**

## 4.5.1

# Поштовхове та крокове переміщення

Поштовхове та крокове переміщення є тими режимами, в яких виріб переміщується на певну відстань.

Вони використовуються переважно в таких випадках:

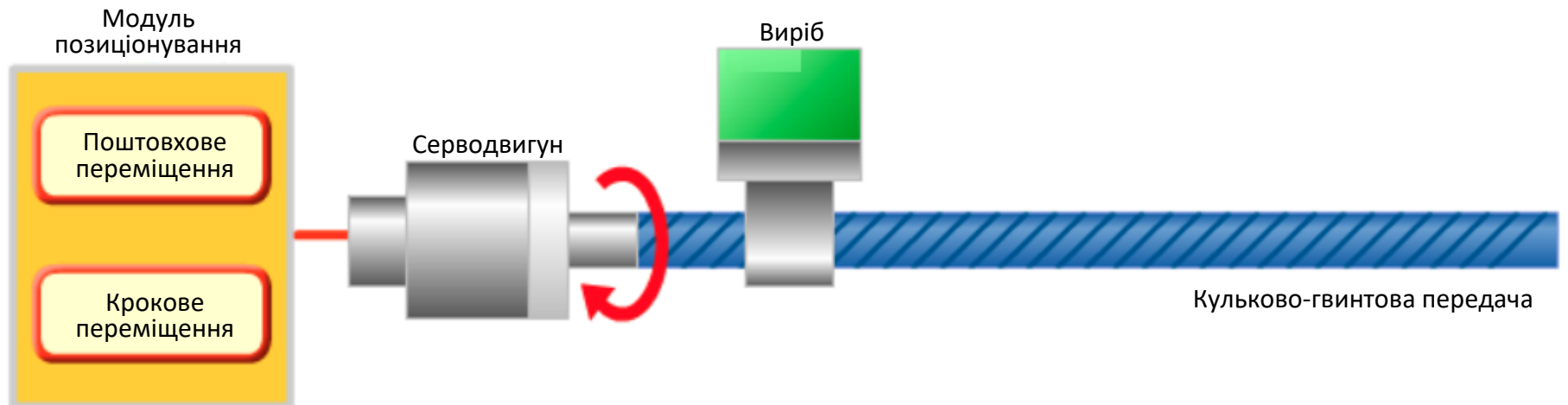
- Перевірка роботи системи позиціонування
- Встановлення координати певного положення
- Точне встановлення положення зупинки

### [Введення в поштовхове та крокове переміщення при використанні кульково-гвинтової передачі]

Нижче на малюнку пояснюється принцип використання поштовхового та крокового переміщення.

Виріб переміщується з певною швидкістю, поки натиснута кнопка «Поштовхове переміщення» на модулі позиціонування.

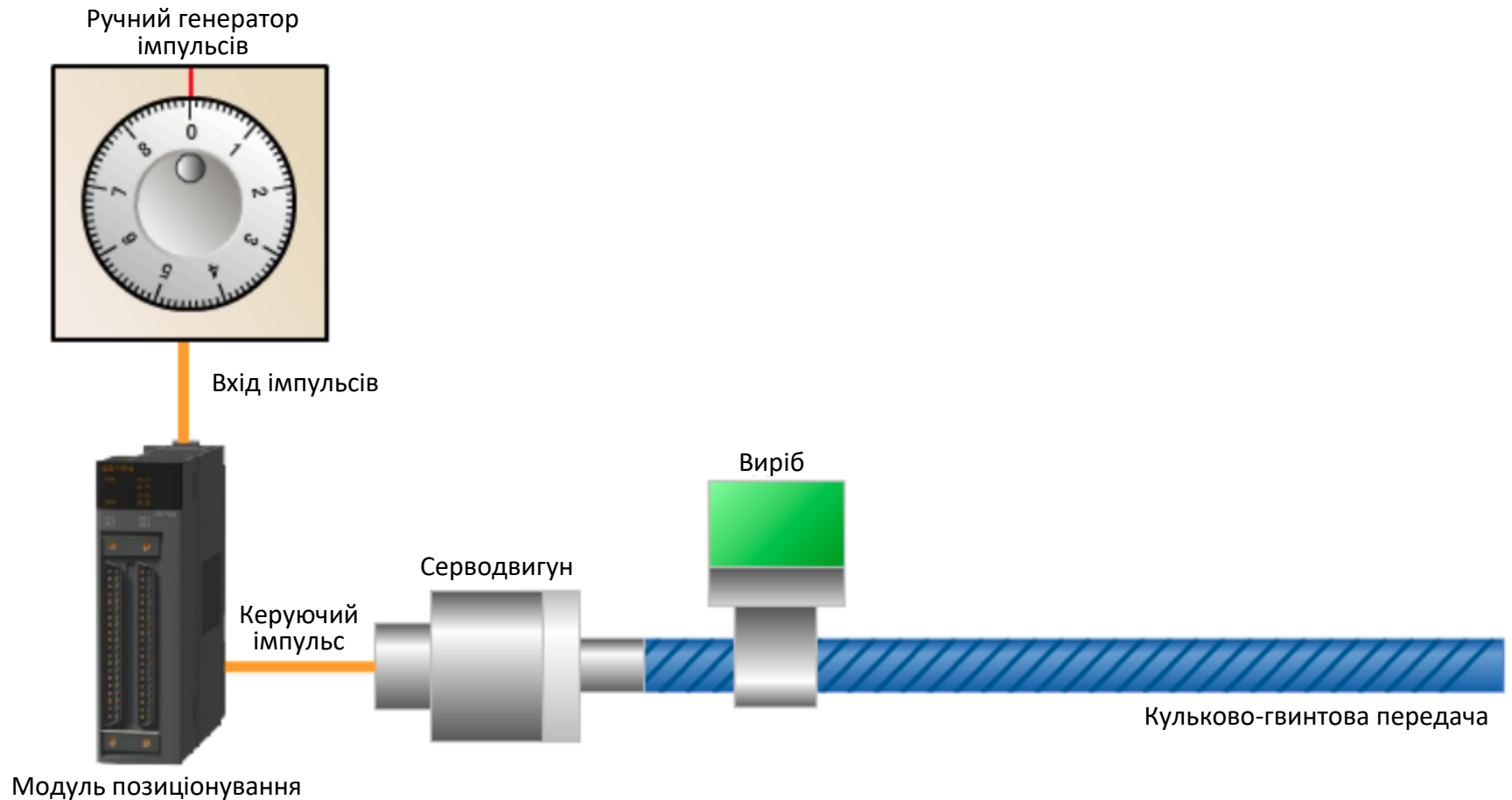
Виріб переміщується на невелику відстань у постійному циклі, поки натиснута кнопка «Крокове переміщення» на модулі позиціонування.



При роботі в режимі ручного генератора імпульсів позиціонування виконується відповідно до кількості імпульсів, що надходять від ручного генератора імпульсів.

Цей режим роботи використовується за необхідності точного налаштування положення для визначення координат позиціонування (цільового положення).

При повороті ручки за годинниковою стрілкою виріб рухається праворуч, а при повороті проти годинникової стрілки — ліворуч.



## Офіційний дистриб'ютор в Україні



***ТОВ «КСК-Автоматизація»***

***Адреса: [02660, м. Київ, вул. Євгена Сверстюка, 4-Б](#)***

***Телефон: [+38 \(044\) 494-33-55](#)***

***E-mail: [kck@kck.ua](mailto:kck@kck.ua)***

***Вебсайт: [kck.ua](http://kck.ua)***