

РОЗРОБКА КОМПЛЕКСУ ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ АВТОМАТИЧНИХ ДВЕРЕЙ В СЕРЕДОВИЩІ SCILAB/XCOS

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розроблено комплекс моделей автоматичних дверей з електроприводом, що включає вербальну, функціональні та імітаційну моделі. Функціональні моделі описують динамічні характеристики електроприводу та кінематику руху полотна дверей з урахуванням конструктивних обмежень ходу. Імітаційну модель реалізовано в середовищі Scilab/Xcos із використанням зворотного зв'язку за положенням, аперіодичної ланки та блоку насичення. Результати моделювання підтверджують працездатність розробленої системи, демонструючи плавне відкриття, стабілізацію у відкритому стані та безпечне закриття дверей.

Ключові слова: *автоматичні двері, електропривід, імітаційна модель, Scilab/Xcos, зворотний зв'язок, динаміка, блок насичення.*

Abstract

A set of models of automatic doors with an electric drive has been developed, including verbal, functional and simulation models. Functional models describe the dynamic characteristics of the electric drive and the kinematics of the door leaf movement, taking into account the design limitations of the stroke. The simulation model is implemented in the Scilab/Xcos environment using position feedback, an aperiodic link and a saturation block. The simulation results confirm the operability of the developed system, demonstrating smooth opening, stabilization in the open state and safe closing of the door.

Keywords: *automatic doors, electric drive, simulation model, Scilab/Xcos, feedback, dynamics, saturation block.*

Вступ

У сучасних системах автоматизації будівель, транспортних вузлів та промислових об'єктів важливе місце посідають автоматичні входні групи. Дослідження та оптимізація таких об'єктів спрямовані на забезпечення плавності руху, високої швидкості реагування та безпеки для пішоходів.

Імітаційне моделювання дозволяє досліджувати поведінку системи без побудови коштовних фізичних прототипів, що суттєво спрощує аналіз динамічних навантажень на привід. Застосування відкритої платформи Scilab/Xcos дозволяє ефективно проектувати контури керування та підбирати параметри регуляторів для забезпечення оптимального закону руху полотна дверей.

Метою роботи є розробка комплексу динамічних моделей автоматичних дверей та дослідження їх перехідних характеристик при виконанні повного циклу роботи (відкриття — очікування — закриття) засобами середовища Scilab/Xcos.

Вербальна модель

Автоматичні двері — це мехатронний об'єкт, призначений для перекриття або звільнення прорізу за сигналами від датчиків руху чи системи керування. Система працює в автоматичному режимі за принципом зворотного зв'язку за положенням.

Система складається з таких функціональних блоків:

- Електропривід (двигун з редуктором) — виконавчий елемент, що перетворює електричний сигнал керування в механічний рух. Має власну електромагнітну та механічну інерцію.
- Механічна передача та полотно дверей — здійснює безпосереднє переміщення стулки. Перехід від обертального руху двигуна (швидкості) до лінійного переміщення (положення) описується математичною операцією інтегрування.
- Обмежувач ходу (елемент насичення) — конструктивні упори або кінцеві вимикачі, що фізично обмежують координату руху дверей у діапазоні від

повністю закритого до повністю відкритого стану.

- Блок завдання сигналів (задавач інтенсивності) — формує вхідні команди на відкриття та закриття дверей (наприклад, при наближенні людини).
- Регулятор (підсилювач) — інформаційний блок, який обчислює неузгодженість між заданим і поточним положенням дверей та масштабує керуючий сигнал для приводу.
- Датчик положення — вимірювальний елемент у колі зворотного зв'язку, що фіксує поточну координату стулки.

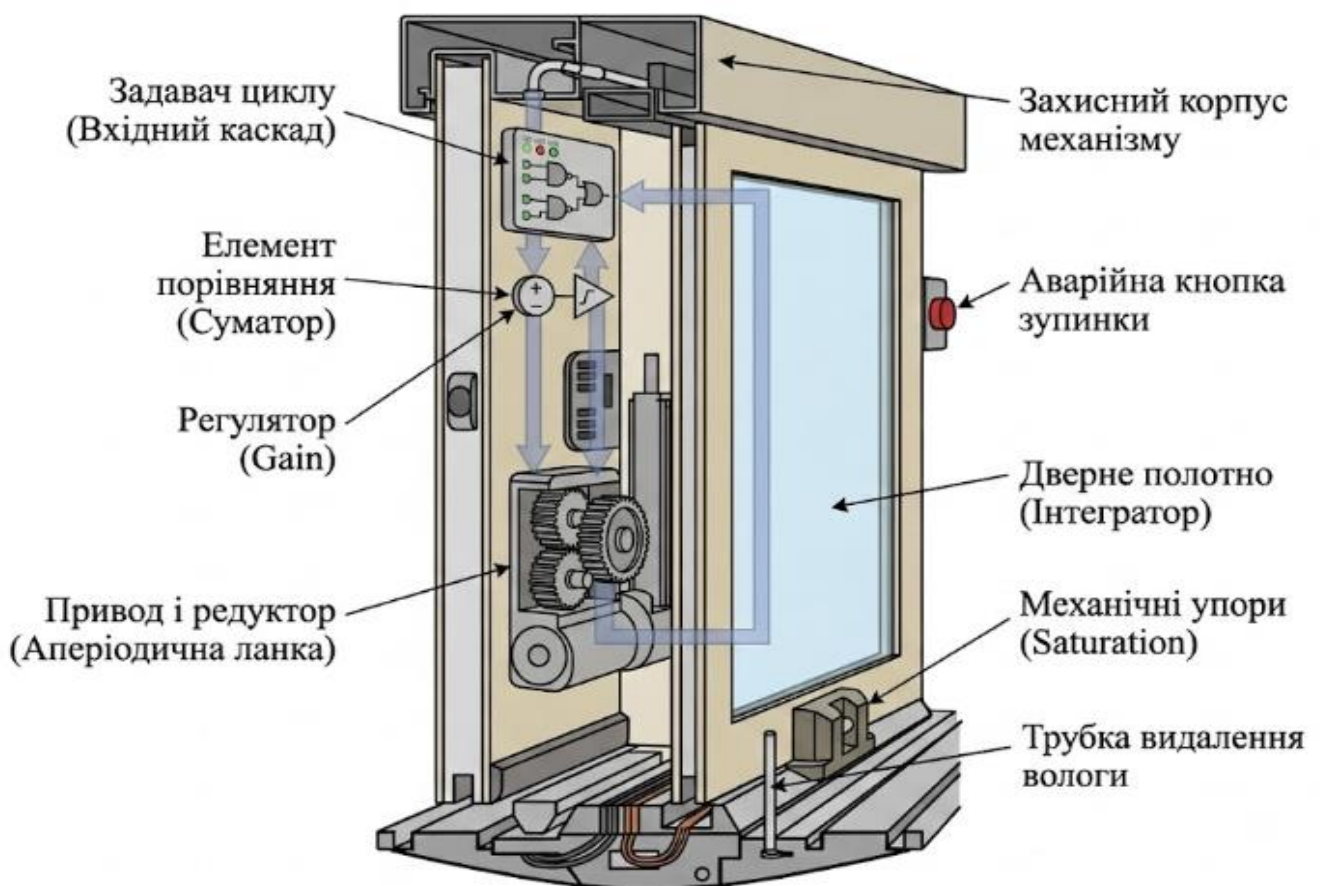


Рисунок 1 – Основні компоненти та логічні блоки автоматичних дверей відповідно до параметрів САК

Процес функціонування об'єкта включає три основні фази:

1. Фаза 1 — Плавне відкриття: За сигналом від датчика система відпрацьовує неузгодженість. Інерційність приводу обмежує миттєвий ривок, забезпечуючи плавне прискорення стулки до досягнення крайнього положення.
2. Фаза 2 — Утримання у відкритому стані: Двері фіксуються у точці

максимального насичення, забезпечуючи безперешкодний прохід.

- Фаза 3 — Закриття: Після зникнення сигналу завдання (або подачі протифазного імпульсу) система повертає стулку у вихідне положення .

Структурна модель (Граф)

Взаємозв'язки між інформаційними, матеріальними та енергетичними потоками системи автоматичного керування дверима представлено у вигляді орієнтованого графа структури об'єкта (рис. 2). Вершини графа відповідають функціональним блокам системи, а дуги (стрілки) визначають напрямки та характер взаємодії між ними.

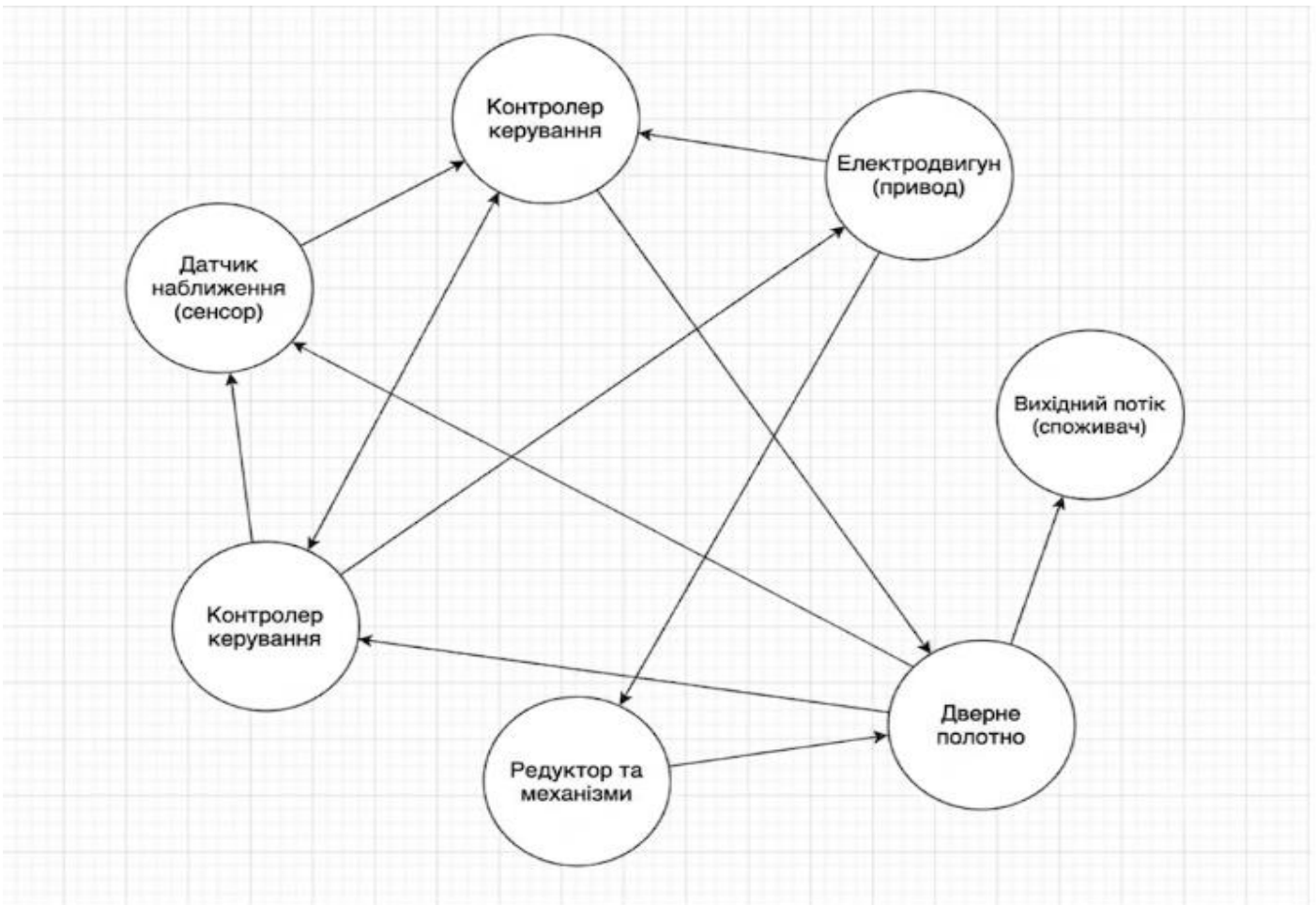


Рисунок 2 – Граф структурної моделі автоматичних дверей (взаємозв'язок контуру керування)

Функціональні моделі блоків

Для кожного функціонального блока динамічної системи автоматичного

керування дверима визначено його тип (статичний чи динамічний) та сформовано відповідне математичне підґрунтя, що відображає перетворення сигналів.

1. Блок завдання вхідного сигналу (Суматор команд)

Вхідний сигнал формується як результат суперпозиції (додавання) двох часових зсунутих сходинок функцій (блоків STEP). Він задає бажану траєкторію руху дверей (команду на повне відкриття на 1-й секунді та команду на закриття на 16-й секунді):

$$y_{(\text{set})}(t) = U_1(t - 1) - U_2(t - 16)$$

де U_1 , U_2 а амплітуда сигналів підібрана так, щоб забезпечити повний хід ступки.

2. Елемент порівняння (Суматор зворотного зв'язку)

Є нелінійним статичним елементом, що миттєво обчислює помилку неузгодженості (відхилення) між заданим положенням дверей та їх фактичним поточним положенням y , яке надходить по колу головного зворотного зв'язку:

$$e(t) = y_{(\text{set})}(t) - y(t)$$

3. Пропорційний регулятор (Підсилювач)

Статичний підсилювальний елемент, який масштабує отриману помилку неузгодженості з заданим коефіцієнтом передачі K . Він формує динамічне зусилля для приводу, пропорційне поточному відхиленню:

$$u(t) = 1.2 * e(t)$$

4. Електропривід (Інерційна ланка)

Розглядається як динамічний блок, теплова, електрична та механічна інерція якого апроксимується передавальною функцією аперіодичної (інерційної) ланки першого порядку. Блок визначає швидкість зміни вихідної механічної координати (швидкості руху ступки v) залежно від вхідної напруги керування:

$$W(s) = \frac{V(s)}{U(s)} = \frac{1}{1 + s}$$

де — стала часу розгону та гальмування приводу. У часовій області цей процес описується диференціальним рівнянням:

$$\frac{dv(t)}{dt} + v(t) = u(t)$$

5. Кінематичний контур (Інтегратор)

Є чистим динамічним інтегруючим блоком. Він здійснює математичний перехід від розрахованої швидкості приводу до лінійного переміщення (положення) дверного полотна у часі:

$$y_{(поз)}(t) = \int_0^t v(\tau) d\tau$$

6. Обмежувач ходу (Блок насичення SATURATION)

Нелінійний статичний елемент з одиничним коефіцієнтом передачі в робочій зоні. Він моделює конструктивні обмеження фізичного простору (механічні упори прорізу), за межі яких дверне полотно не може переміститися. Робочий хід обмежено в діапазоні від (повністю закриті двері) до (повністю відкриті двері):

$$\begin{cases} 1, & \text{якщо } y_{(поз)}(t) > 1 \\ y_{(поз)}(t), & \text{якщо } 0 \leq y_{(поз)}(t) \leq 1 \\ 0, & \text{якщо } y_{(поз)}(t) < 0 \end{cases}$$

Імітаційну модель у середовищі Scilab/Xcos

Імітаційну модель системи автоматичного керування дверима реалізовано за допомогою стандартних блоків палітри Xcos (рис. 3).

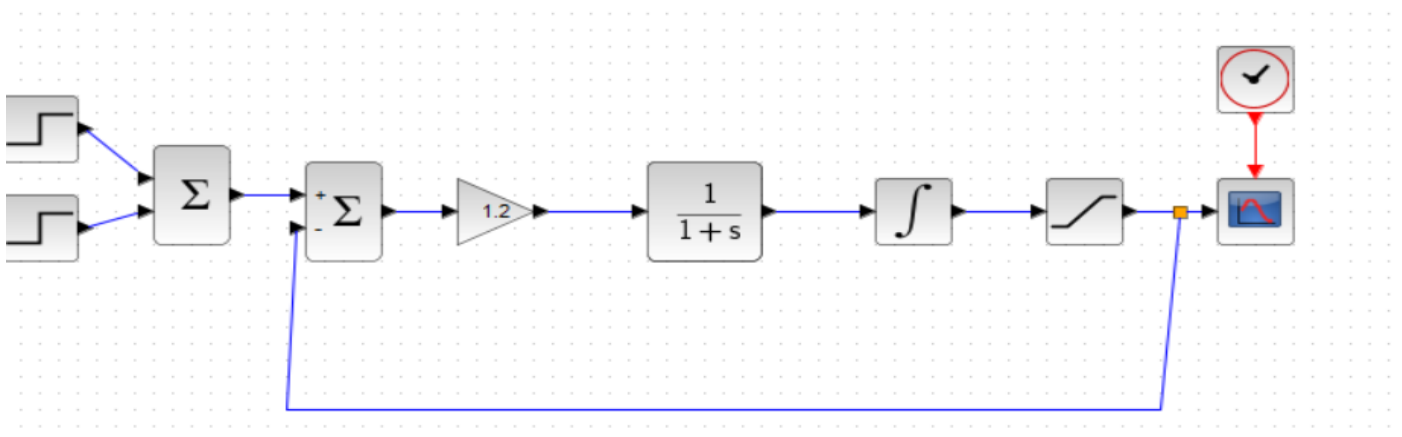


Рисунок 3 — Схема імітаційної моделі автоматичних дверей у середовищі Xcos

Вхідний сигнал формується комбінацією двох генераторів сходиноквих функцій (Step), підімкнених до суматора, що дозволяє задати часові інтервали для відкриття та закриття. Контур містить блок порівняння зі зворотним зв'язком, підсилювач з коефіцієнтом , блок передавальної функції $1/(1+s)$, інтегратор та блок обмеження SATURATION. Візуалізація процесу здійснюється за допомогою блоку осцилографа (CSCOPE), синхронізованого за тактовим генератором.

Аналіз результатів моделювання

Графік перехідного процесу (рис. 3) наочно ілюструє поведінку системи:

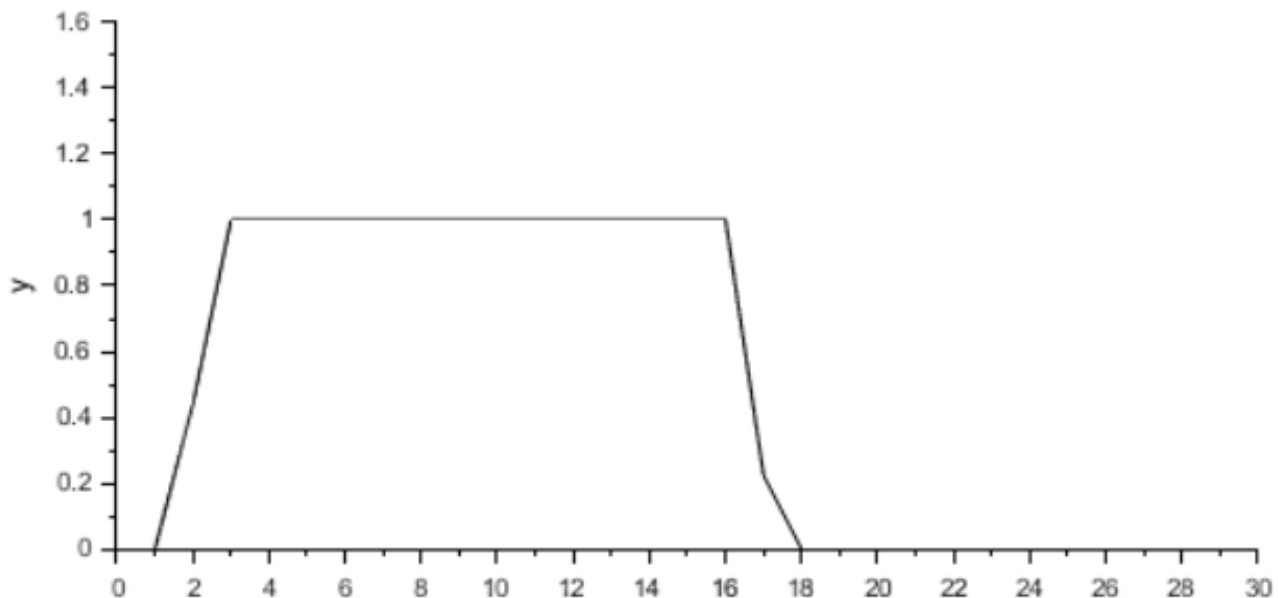


Рисунок 4 — Графік перехідного процесу положення автоматичних дверей у часі

- Інтервал 0–1 с: Двері перебувають у закритому стані (0).
- Інтервал 1–3 с: На 1-й секунді надходить команда на відкриття.

Завдяки наявності аперіодичної ланки та інтегратора, положення дверей змінюється плавно, без критичних ударних навантажень на механіку. На 3-й секунді стулка досягає координати 1.0.

- Інтервал 3–16 с: Працює блок насичення.

Двері стабільно утримуються у повністю відкритому стані, попри те, що інтегральний сигнал усередині контуру може накопичуватися.

- Інтервал 16–18 с: На 16-й секунді подається команда на закриття.

Система демонструє дзеркальний плавний спуск. Поблизу позначки (рівень) спостерігається зміна характеру кривої (злам графіка), що обумовлено нелінійністю контуру зворотного зв'язку та гальмуванням приводу перед повною зупинкою. На 18-й секунді двері повністю закриваються.

Висновки

У роботі розроблено математичну та імітаційну модель автоматичних дверей у середовищі Scilab/Xcos. Моделювання підтвердило високу точність відпрацювання заданої траєкторії руху ступки. Введення блоку насичення дозволило адекватно відтворити фізичні обмеження ходу дверей, а використання аперіодичної ланки забезпечило необхідну плавність ходу, що мінімізує знос механічних частин реального об'єкта. Отримана модель може слугувати базою для проектування промислових контролерів дверних приводів та ліфтних систем.

Список використаної літератури

1. Моделювання та оптимізація систем : підручник / [Дубовой В. М., Кветний Р. Н., Михальов О. І., Усов А. В.]. – Вінниця : ПП «ТД «Едельвейс», 2017.
2. Дубовой В. М. Моделювання процесів і систем керування : навчальний посібник / В. М. Дубовой, С. М. Москвіна, О. Д. Никитенко. – Вінниця : ВНТУ, 2009.
3. Зайцев М. О. Моделювання динамічних систем у середовищі Scilab/Xcos : метод. вказівки / М. О. Зайцев. – Дніпро : НТУ «ДП», 2020. – 88 с.
4. Принцип роботи та переваги автоматичних дверей. URL: <https://ua.chinaautomaticdoor.net/info/working-principle-and-advantages-of-automatic-94601070.html> (дата звернення: 07.06.2026).
5. Принцип роботи та будова автоматичних розсувних дверей. URL: <https://www.build-portal.com.ua/автоматичні-двері-конструкція-та-привід>

Шлапак Артем Олександрович — студент групи ІАКІТР-246, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: 01-24-039.stud@vntu.edu.ua

Науковий керівник: **Дубовой Володимир Михайлович** — д-р техн. наук, професор, професор кафедри комп'ютерних систем управління, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Shlapak Artem Oleksandrovyh — student of group 1АКИТР-246, Faculty of Intellectual Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: 01-24-039.stud@vntu.edu.ua

Scientific supervisor: **Dubovoy Volodymyr Mykhailovych** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Computer Control Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

