

doi: 10.32620/oikit.2024.102.04

УДК 624.865.8

О. В. Белявський
О. В. Косенко

Моделювання промислового робота циклового типу

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»*

У роботі приведені результати інформаційного моделювання маніпуляційного робота циклового типу (МП9-С), що використовується у масових операціях перерозподілу вантажопотоку, зокрема у механічному виробництві. Інформаційна модель надає змогу відтворити реакцію робота на певні керуючі сигнали ЧПК без врахування динамічних властивостей його механічної системи. Роботи такого типу призначені для заміни праці людини на шкідливому, небезпечному та монотонному виробництві за умов його масового характеру. В якості робочої речовини використовується стиснене повітря, що знаходиться під тиском до 0.5 МПа. Робот має відносно невелику вантажопідйомність (0.2 кг) та призначений для використання в логістичних операціях автоматизованого виробництва, як то завантаження/розвантаження верстатів, сортування вантажопотоків, обслуговування складських операцій, то що. Роботи аналогічного типу мають певні обмеження, що пов'язані з часом перенастроювання системи упорів при переході на випуск нової продукції, що потребує певних затрат часу та матеріальних ресурсів і тому збільшує собівартість продукції, через що унеможливується застосування таких роботів у багатомономенклатурнім дрібносерійнім виробництві. Проте в цілому, роботи такого типу знаходять застосування в багатьох сферах народного господарства завдяки своїй простоті, надійності, наявності простого інтерфейсу зв'язку з системою керування, в якості котрої може виступати звичайний програмований логічний контролер (ПЛК). Стандартним комплектним пристроєм керування роботом МП9-С виступає циклова система керування ЕЦПУ 6030, яка передбачає завдання робочої програми у вигляді 30 кадрів (максимальна кількість) за допомогою 10-позиційних перемикачів задання команд та роботу за цією програмою в одному з чотирьох режимів: налагодження, покрокового виконання, цикловому та автоматичному. Система керування передбачає програмування затримки дій робота на певний програмований час та блокування його роботи при очікуванні дії обладнання, що працює з роботом в одному технологічному циклі. Використання маніпуляційних роботів потребує розробки та прискіпливого тестування програмного забезпечення групового керування такими засобами. За наслідками роботи розроблена інформаційна апаратна модель маніпуляційного робота циклового типу, яка створена засобами САПР MAXPLUS+II фірми ALTERA, що відтворює дії обладнання з виконання керуючої програми, заданої комплектним пристроєм керування, або його мікропроцесорним аналогом. Використання інформаційної моделі робота спрощує як безпосередню розробку системи керування так і її програмування. Запропонована інформаційна модель може бути використана в дистанційному навчальному процесі при розробці, моделюванні та тестуванні систем керування цикловим роботомеханічним обладнанням. Модель може бути відтворена як апаратними так і програмними засобами, що дозволяє інформаційно об'єднати її з системою керування в рамках тієї ж самої САПР.

Ключові слова: маніпуляційний робот, автоматизоване виробництво, циклова система керування, програмований логічний контролер, апаратна модель.

Вступ

Комп'ютерні системи керування автоматичним технологічним обладнанням (ТО) повинні передбачати можливість швидкого перенастроювання (перепрограмування) на випуск нової продукції за умов її малих серій та великої номенклатури, проте всі функції ТО залишаються незмінними, коли йдеться про

його циклічну роботу в рамках одної серії. Економічна ефективність використання циклових маніпуляційних роботів падає при скороченні часу виконання серії продукції по відношенню до часу переналадки. З цієї обставини витікає необхідність доцільного об'єму серії продукції при якому затрати на переналагодження ТО є економічно обґрунтованими.

Наявна робота мала на меті скорочення часу переналагодження маніпуляційного робота шляхом імітаційного моделювання його дій в новому циклі технологічного застосування. Запропонована інформаційна модель може виступати основою повної моделі робота, яка враховувала б в тому числі і динамічні характеристики приводів його механічної виконавчої системи.

Розробка інформаційної структурної моделі промислового робота циклового типу

Моделювання процесів, які відбуваються у промисловім обладнанні при виконанні технологічних завдань, носить допоміжний характер, що дозволяє розробнику пристроїв керування та програмного забезпечення до них дослідити та певним чином оптимізувати алгоритми керування з метою поліпшення продуктивності та сталості технологічного процесу.

Метою розробки автори бачать поліпшення якості праці розробника і систем керування технологічним обладнанням (ТО) при налагодженні алгоритмів роботи таких систем з використанням інформаційних моделей цього обладнання.

Завдання, яке вирішувалось в ході роботи, полягало в розробці інформаційної структурної моделі промислового робота (ПР) циклового типу без врахування його динамічних властивостей.

Кінематична схема типового промислового циклового робота наведена на рис. 1.

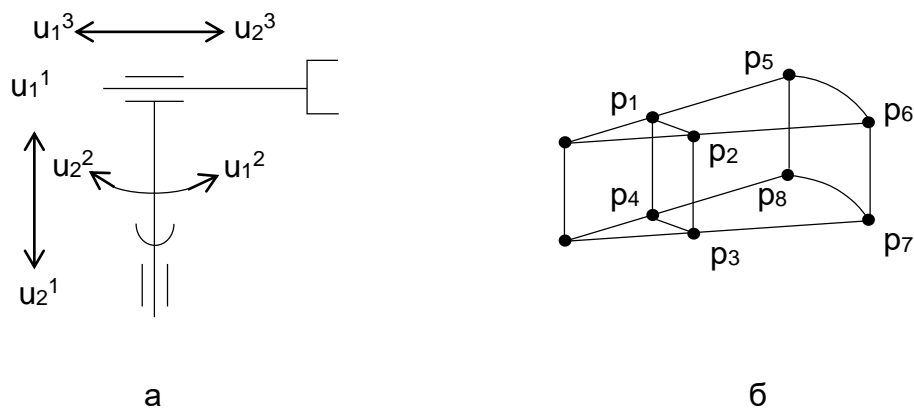


Рис. 1. Кінематична схема (а) та область досяжності (б) триступеневого маніпуляційного ПР циклового типу

Як відомо з теорії керування, наприклад [1] для моделювання дій циклового обладнання можуть бути використані методи синтезу кінцевих автоматів [2], кожен з яких задається п'ятіркою символів: $\Theta = \{\alpha, \lambda, \chi, \varphi, \Gamma\}$. Під кінцевим автоматом Θ розуміють пристрій з пам'яттю, котрий задається множиною допущених вхідних сигналів $\{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n\}$, множиною допущених станів

виходів $\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m\}$, а також множиною допущених внутрішніх станів $\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_p\}$, котрі пов'язані між собою двома логічними функціями: функцією виходів(*) и функцією переходів(**):

$$\begin{aligned} \lambda(n) &= \varphi\{\alpha(n), x(n)\}, * \\ x(n+1) &= \Gamma\{\alpha(n), x(n)\}, ** \end{aligned} \quad (1)$$

де $\lambda(n)$ – вектор вихідних сигналів в N -ий момент дискретного часу; $x(n+1)$ – вектор внутрішніх станів автомату в момент часу $(N+1) \cdot TП$, де $TП$ – часовий проміжок дискретизації. Система рівнянь 1 надає автомат Мілі, який відрізняється від моделі автомату Мура (2) способом задання вихідних сигналів:

$$\begin{aligned} \lambda(n) &= \varphi\{x(n)\}; \\ x(n+1) &= \Gamma\{\alpha(n), x(n)\}. \end{aligned} \quad (2)$$

Для опису поведінки робота скористаємось графічним уявленням, що наведене на рис. 2:

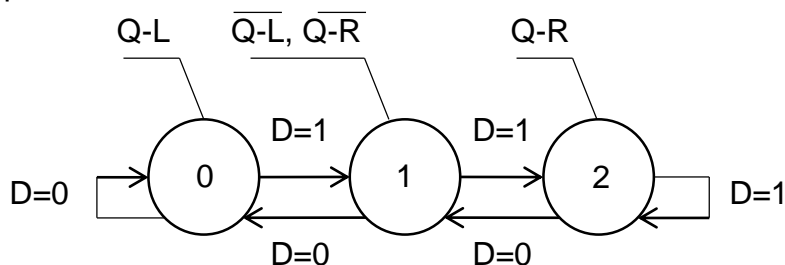


Рис. 2. Граф моделі поведінки робота

Найпростішим засобом реалізації такого автомату може служити програмний модуль, який долучається до системи керування (СК) у тестовому режимі, але наше завдання передбачає створення автономної цифрової моделі робота для перевірки всіх можливих відмов ТО. Вихідними сигналами стану циліндра є сигнали кінцевих вимикачів SQ_L та SQ_R – лівого та правого кінцевого положення штока циліндра. Вхідним сигналом керування моностабільними пневматичними клапанами пневмоциліндра є сигнал «D» (Direct) – напрям руху штока циліндра. З огляду на те, що обидва клапани працюють протифазно, вистачає лише одного сигналу. Для приведення моделі поведінки у початковий стан може стати потрібним сигнал приведення моделі до такого стану. На графі (виходячи з його топології) заданий реверсивний лічильник на 3 стани. В крайніх станах формується один з двох несумісних сигналів і відбувається очікування протифазної дії; в середньому стані обидва сигнали відключені (імітація руху штока).

Для спрощення процесу проектування одразу може бути запропонований 3-розрядний реверсивний здвиговий регистр з двома послідовними входами, до одного з яких долучається «одиниця», а до іншого «нуль», а до входу напряма здвигу подається сигнал «D». Схема такого пристрою, що спроектований в САПР MAXPLUS+II фірми ALTERA наведена на рис. 3, а часові діаграми, що пояснюють

його роботу на рис. 4. Повна інформаційна модель робота МП9-С наведена на рис. 5 і саме вона повню мірою задає аналог виконавчого рівня цього технологічного обладнання.

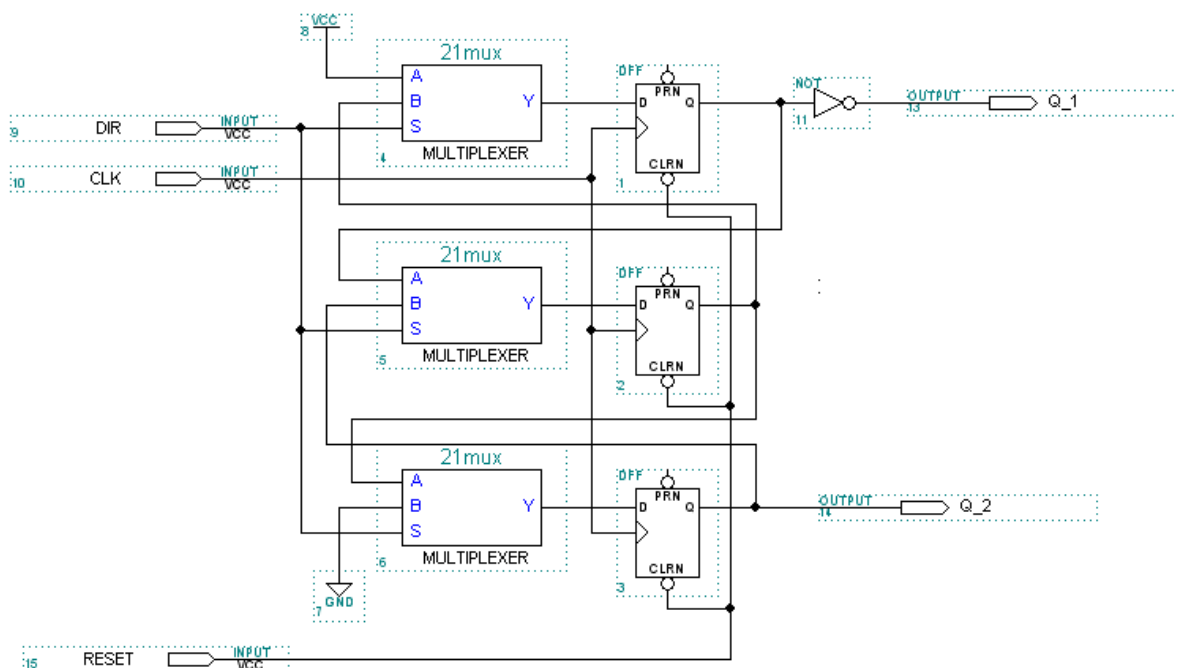


Рис. 3. Апаратна інформаційна модель виконавчого привода маніпуляційного циклового робота «bobik»: D-сигнал керування напрямом руху (вхід); Q_1 і Q_2- сигнали датчиків початкового та кінцевого положення схвату відповідно (виходи); CLK, RESET – сигнали синхронізації і скиду автомата моделі відповідно (входи)

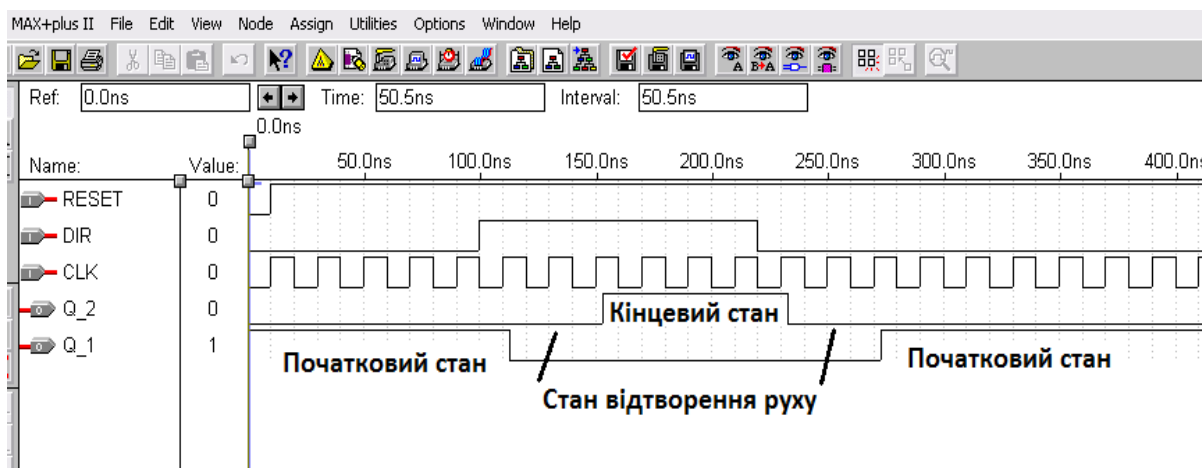


Рис.4. Часові діаграми моделювання руху привода робота (САПР MAXPLUS+II)

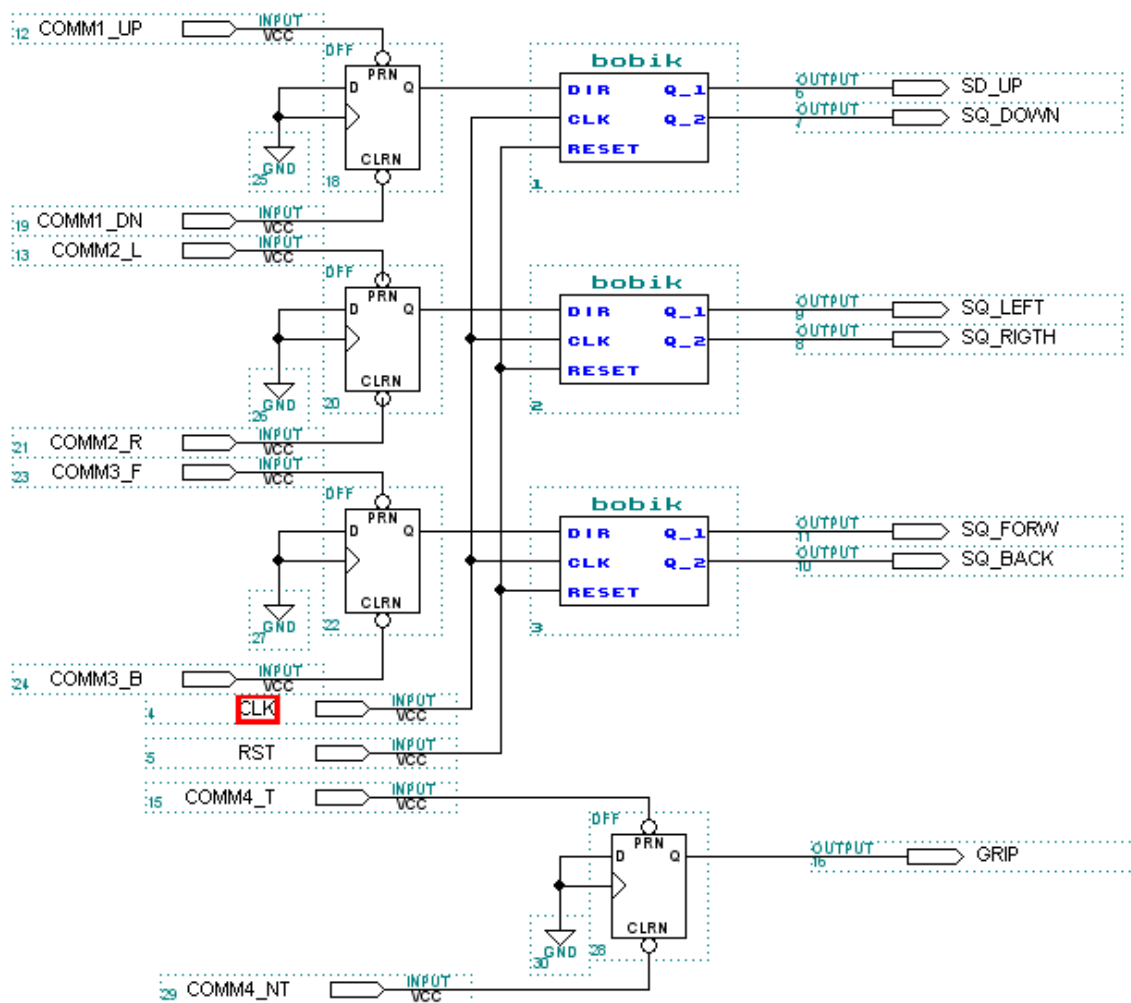


Рис. 5. Повна інформаційна модель виконавчого рівня циклового робота МП9-С у вигляді синхронного цифрового автомату: «bobik»- модулі керування приводами за трьома незалежними координатами (Z, X, Y- рис. 3); GRIP- сигнал, що відповідає стану захвату робота

З огляду на промислові технології, модель має певні обмеження: 1) вона не відображає динамічні властивості робота; 2) вона мінімізує очікування часу спрацьовування переміщення кожного циліндра робота до 3 машинних тактів, час яких користувач задає сам; 3) модель не має сигналів блокувань від зовнішнього обладнання в тому числі і по відсутності тиску стислого повітря; ці сигнали можна завести в систему керування окремо (минуючи виконавчу систему робота).

Запропоноване рішення може бути використане в дистанційному навчальному процесі (наприклад на платформі TINKERCAD або її аналогах) в якості інформаційної моделі виконавчого рівня промислового циклового робота.

Висновки

З огляду на промислові технології, модель, що отримана в ході роботи, має певні обмеження: 1) вона не відображає динамічні властивості робота; 2) вона мінімізує очікування часу спрацьовування переміщення кожного циліндра робота до 3 машинних тактів, час яких користувач задає сам; 3) модель не має сигналів блокувань від зовнішнього обладнання в тому числі і по відсутності тиску стислого

повітря; ці сигнали можна додати до системи керування окремо (минаючи виконавчу систему робота).

Запропоноване рішення може бути використане в дистанційному навчальному процесі (наприклад на платформі WOKWI або її аналогах) в якості інформаційної моделі виконавчого рівня промислового циклового робота.

Список літератури

1. Фу Лі, К. Робототехніка: навч. посібн. / К. Фу Ли, Р. Гонсалес. – М.: Мир, 1989. – 624 с.
2. Лазарєв, В. Г. Синтез керуючих автоматів: навч. посібн. / В. Г. Лазарєв, О. І. Пійль. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 328 с.

References

1. Fu Li, K. Robotics: tutorial. / K. Fu Li, R. Gonzalez. – М.: Mir, 1989. – 624 p.
2. Lazarev, V. G. Synthesis of control automata: tutorial. / V. G. Lazarev, O. I. Piel. – М.: Energoatomizdat, 1989. – 328 p.

Надійшла до редакції 17.12.2024, розглянута на редколегії 18.12.2024

Modeling of an industrial robot of a cyclic type

The paper presents the results of information modeling of a manipulation robot of a cyclic type (MP9-S), which is used in mass operations of cargo flow redistribution, in particular in mechanical production. The information model makes it possible to reproduce the robot's reaction to certain control signals of the CNC without taking into account the dynamic properties of its mechanical system. Robots of this type are intended to replace human labor in harmful, dangerous and monotonous production under conditions of its mass nature. Compressed air under pressure up to 0.5 MPa is used as a working medium. The robot has a relatively small load capacity (0.2 kg) and is intended for use in logistics operations of automated production, such as loading/unloading of machines, sorting cargo flows, servicing warehouse operations, etc. Robots of a similar type have certain limitations related to the time of readjustment of the stop system when switching to the production of new products, which requires certain time and material resources and therefore increases the cost of production, which makes it impossible to use such robots in multi-item small-batch production. However, in general, robots of this type are used in many areas of the national economy due to their simplicity, reliability, and the presence of a simple communication interface with the control system, which can be a conventional programmable logic controller (PLC). The standard complete control device for the MP9-S robot is the cyclic control system ECPU 6030, which provides for setting a work program in the form of 30 frames (maximum number) using 10-position command assignment switches and working according to this program in one of four modes: debugging, step-by-step execution, cyclic and automatic. The control system involves programming the delay of the robot's actions for a certain programmable time and blocking its operation while waiting for the operation of the equipment that works with the robot in one technological cycle. The use of manipulation robots requires the development and meticulous testing of group control software by such means. As a result of the work, an information hardware model of a manipulation robot of a cyclic type was developed, which was

created by the MAXPLUS+II CAD tools of the ALTERA company, which reproduces the actions of the equipment when executing the control program specified by the complete control device or its microprocessor analogue. The use of the information model of the robot simplifies both the direct development of the control system and its programming. The proposed information model can be used in the distance learning process when developing, modeling and testing control systems for cyclic robotic equipment. The model can be reproduced by both hardware and software means, which allows it to be informationally combined with the control system within the same CAD.

Key words: manipulation robot, automated production, cyclic control system, programmable logic controller, hardware model.

Відомості про авторів:

Белявський Олександр Вадимович – старший викладач кафедри теоретичної механіки, машинознавства та роботомеханічних систем, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» м. Харків, Україна; o.bieliavskyi@khai.edu; ORCID: 0000-0002-5782-8437.

Косенко Оксана Валеріївна – асистентка кафедри теоретичної механіки, машинознавства та роботомеханічних систем, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» м. Харків, Україна; o.kosenko@khai.edu; ORCID: 0009-0007-6264-5778

About the Author:

Bieliavskyi Oleksandr –senior teacher of Department of Theoretical Mechanics, Engineering and Robomechanical Systems, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine; o.bieliavskyi@khai.edu; ORCID: 0000-0002-5782-8437.

Kosenko Oksana – assistant of Department of Theoretical Mechanics, Engineering and Robomechanical Systems, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine; o.kosenko@khai.edu; ORCID: 0009-0007-6264-5778.