

УДК 62-525

Макромодулі в системах дискретної гідропневмоавтоматики**Губарев О.П., Мурашенко А.М., Бєліков К.О., Синицина Є.Ю., Бельчанська О.В.**
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Підвищення ефективності сучасного виробництва не можливе без збільшення функцій, які підлягають автоматизації. Чільне місце серед засобів автоматизації займають пристрої і системи з гідравлічними та пневматичними технічними засобами, у тому числі системи мехатроніки. Вибір тих чи інших засобів для вирішення практичних задач напряму пов'язано з експлуатаційною ефективністю створюваної системи, у тому числі такими показниками, як енергоефективність і продуктивність та довговічність. Одним із основних наслідків збільшення кількості автоматизованих виробничих функцій є збільшення масштабного фактору розроблюваних систем. Відповідно до збільшення кількості елементів, що взаємодіють під час експлуатації, збільшується за степеневим законом кількість варіантів такої взаємодії, що призводить до ускладнення процесів як проектування, так і тестування створюваної автоматизованої системи. У даній роботі запропоновано підхід до поетапного створення модульної системи з систем меншої розмірності, які, за певними властивостями, ототожнюються з усіма іншими модулями системи. Розглянуто особливості структури складових системи, формальні правила щодо встановлення зв'язку між основною системою та її складовими, та зв'язку, між складовими і основною системою. Наведені правила розглянуто на прикладі побудови систем керування дискретної гідропневмоавтоматики.

Ключові слова: система; модульна структура; гідроавтоматика; пневмоавтоматика; мехатроніка; команди керування.

Вступ та аналіз літературних даних

Створення сучасних систем промислової автоматки неможливе без додавання нових функцій та збільшення ступеню автоматизації, що відповідає тенденціям платформи Industry 4.0 [1, 2]. Зростання ступеню автоматизації призводить до зростання масштабного фактору розроблюваних систем [3,4,5]. Наслідком збільшення кількості керованих пристроїв з 2 ... 10 до 30 ... 100, що входять до складу виробничої системи, є перехід до поетапного проектування від окремих модулів до складених з них систем. Подібні задачі були започатковані в обчислювальній техніці і інформаційних технологіях і з часом поширились на розробників систем гідропневмоавтоматики і мехатроніки [6,7].

Особливості технічних засобів гідропневмоавтоматики та мехатроніки, які можна розподілити за декількома аспектами, не дозволяють безпосередньо застосовувати підходи та методики інформатики та обчислювальної техніки для розробки автоматизованих систем. До них відносяться різноманіття технічних пристроїв та їх функцій, асинхронність дії пристроїв, нерегументованість часу спрацювання, енергоємність та інші.

Метою даної роботи є адаптація методик структурно-модульного синтезу до розробки систем великої розмірності з відкритою архітектурою.

Матеріали та методи дослідження

Обґрунтування структури елемента системи. Універсальна форма елемента системи має бути придатною до різноманіття застосованих в системі технічних засобів. Але це не означає, що кожний засіб є елементом чи компонентом або, навпаки, кожний елемент має за прототип якийсь певний технічний пристрій.

У формальному зображенні елемент системи повинен мати властивості керованості та самоконтролю свого стану незалежно від фізичної природи чи устрою і складності використаних технічних пристроїв (рис.1). Тобто до опису елемента системи належить сигнал команди на зміну стану та сигнал, що засвідчує отримання очікуваної зміни стану:

$$X_i = \varphi(Y_i, t_i), \quad (1)$$

де X_i - сигнал стану, набутий в результаті відпрацювання команди Y_i , φ - функція переходу від команди до нового стану елемента, t_i - час відпрацювання команди.

Такий варіант враховує різноманіття пристроїв, нерегламентованість часу спрацювання та

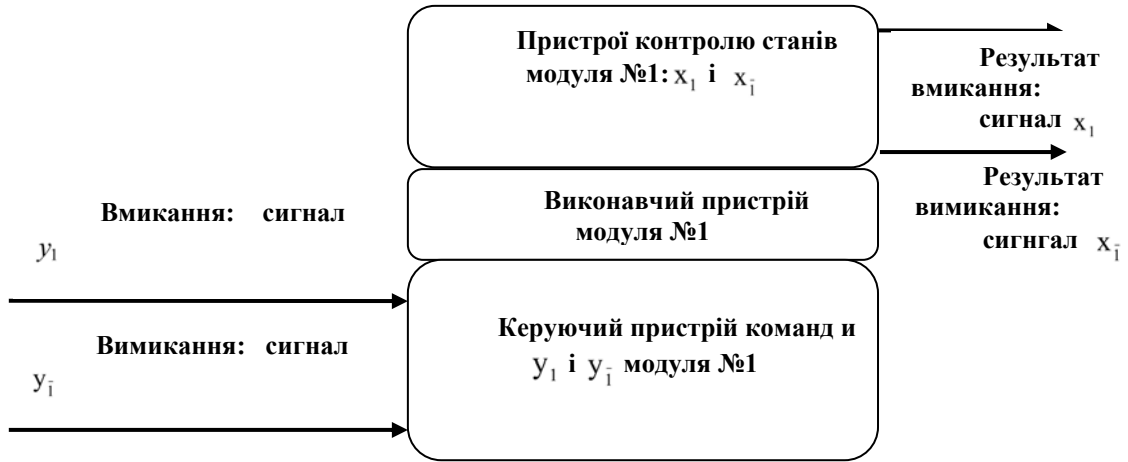


Рис. 1. Приклад структурної схеми циклічного модуля №1: сигнал основної команди Y_i , сигнал зворотної командному Y_i , сигнал стану основний X_i , сигнал стану зворотний X_i

асинхронність систем гідропенвмоавтоматики. Щодо присутності перехідних процесів то всі компоненти мають нерегламентований за часом перехідний стан, що потребує використання тризначної логіки (0 – готовність до спрацювання, * - перехідний стан чи невизначеність. 1 – завершено відпрацювання). Тобто $X_i \in \{1,0,*\}$. Форма елемента системи матиме змістовне наповнення (за фізичним прототипом) поза його формальним описом в логічному синтезі. Фізичний зміст елементів системи не впливатиме на системні властивості елемента. Враховується нерегламентована за часом функція зміни стану і функція самоконтролю елемента. Щодо запобігання механічного руйнування за наслідками протирічних команд керування, то їх врахування виконано залученням властивості циклічності в форму елемента: кожний елемент має дві протилежно спрямовані гілки (вмикання + дія і вимикання + дія). Кожна складова це виконання функції і контроль отриманого результату:

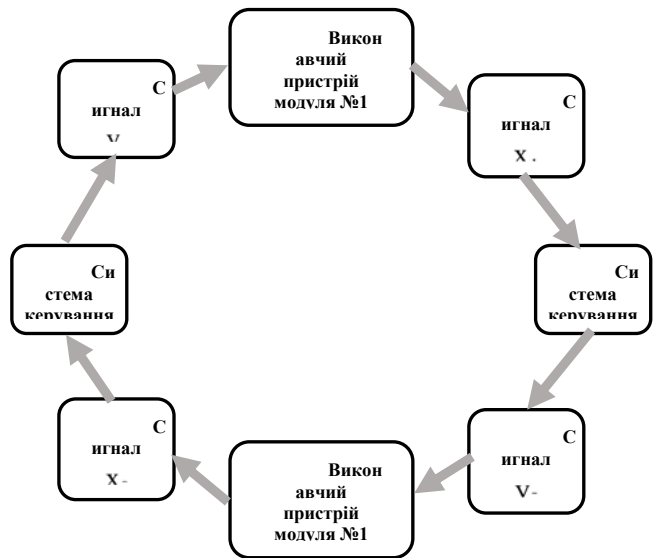


Рис 2. Приклад схеми функціонування циклічного модуля: основна команда Y_i , зворотна команда Y_i , сигнали стану X_i і X_i

$$\begin{cases} X_i = \varphi(Y_i, t_i) \\ X_i = \varphi(Y_i, t_i) \end{cases}, \quad (2)$$

де X_i - сигнал стану, набутий в результаті відпрацювання команди протилежного напрямку Y_i , t_i час відпрацювання команди протилежного напрямку.

Дві протилежно спрямовані функції (основна і зворотна) одного елемента утворюють цикл їх відпрацюванням (Рис. 2).

В такому вигляді будь яка відокремлена частина системи, якщо вона відповідає переліченим вимогам, може отримати статус елемента системи з стандартними функціями використання для розробника:

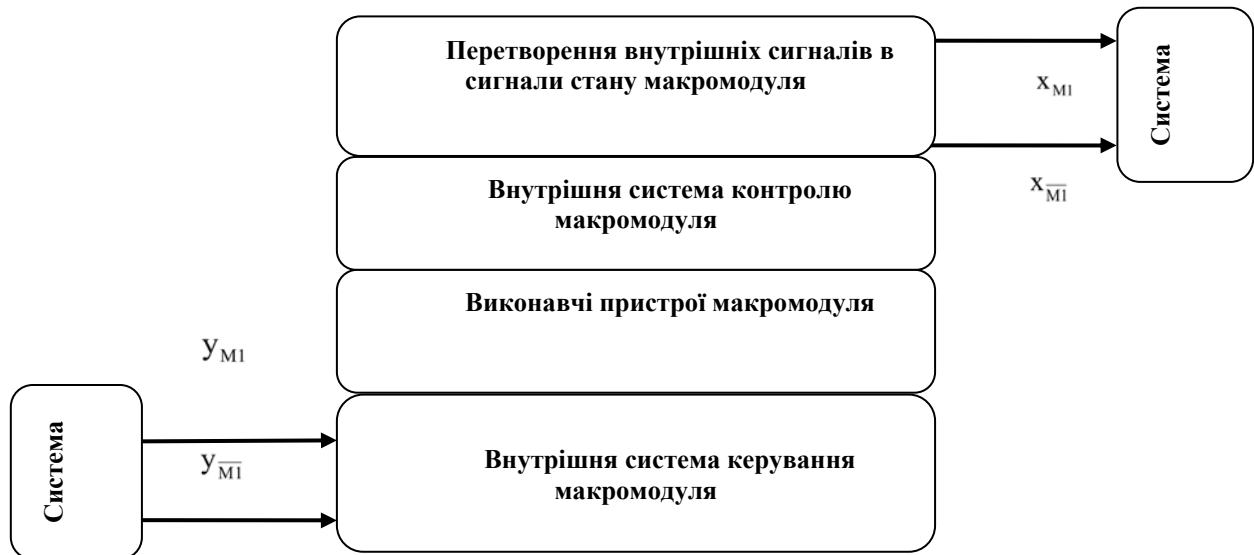


Рис. 3 Приклад структурної схеми циклічного макромодуля М1 з підсистемами контролю і керування

- під'єднання до системи за допомогою основної і зворотної команд керування,
- взаємодії з іншими елементами під час відпрацювання цих команд шляхом надання власних сигналів стану іншим елементам системи.

Тобто окрема система, яка має функції «вмикання» з контролем отриманого після вмикання результату, та функції «вимикання» з контролем отриманого після вимикання результату, може бути використана як елемент системи і, внаслідок цього, придатна щодо синтезу автоматизованої системи технічного об'єкту (Рис. 3). Виконуваний таким елементом системи або макромодулем основна і зворотна функції утворюють власний технологічний цикл. Але для основної системи такий макромодуль є звичайним елементом з тризначною циклічною логікою змін стану (1, 0, *) за поданням команд на вмикання і вимикання:

$$MM_{M_i} = \{Y_{M_i}, X_{M_i}, t_{M_i}, Y_{\overline{M_i}}, X_{\overline{M_i}}, t_{\overline{M_i}}\} = \left\{ \{Y_j, X_j, t_j\}_{Y_{M_i}}, \{Y_j, X_j, t_j\}_{Y_{\overline{M_i}}} \right\}_{j=1}^{j=k}, \quad (3)$$

де i – номер макромодуля, j – номер модуля в складі макромодуля, k – кількість модулів в складі макромодуля.

Невирішеним питанням для синтезу системи є правила додавання до системи макромодуля і правила для відокремлення частини системи.

Функція, що її виконує макромодуль за основною командою Y_{M_i} , вміщує декілька дій, які виконують $k(M_i)$ модулів системи. Тобто макромодуль є системою, яка об'єднує $k(M_i)$ звичайних модулів, до складу яких входять виконавчі пристрої із засобами контролю і керування. Зовнішні входи (in) макромодуля $\{Y_{M_i}, Y_{\overline{M_i}}\}$ та зовнішні виходи (out) макромодуля $\{X_{M_i}, X_{\overline{M_i}}\}$ у використанні не відрізняються від входів і виходів звичайних модулів системи.

Але вони відрізняються за фізичною природою основної та зворотної функцій макро модуля. Тобто входи не відносяться до конкретного пристрою. Так само виходи макро модуля засвідчують завершення роботи комплексу модулів по виконанню основної або зворотної функції. Тобто виходами є не сигнали від датчиків, а логічні умови, складені з цих сигналів.

Застосування методу перевірено на прикладі системи з пневматичними виконавчими пристроями. Приклад «пневматичний схват» об'єднує декілька виконавчих пристроїв із засобами контролю і керування. Механізм утримання деталі, приводи горизонтального та вертикального переміщення. За командою на виконання основної функції макро модуля: привод вертикальної подачі опускає механізм утримання до деталі (контроль за положенням), далі – за наявності деталі, механізм захоплює деталь (контроль по тиску X_{2M1}'' , контроль наявності деталі X_{2M1}'), далі - привод вертикальної подачі підіймає деталь (контроль за положенням). За необхідності привод горизонтальної подачі переміщує деталь на позицію відвантаження.

За командою на виконання зворотної функції макро модуля: привод вертикальної подачі опускає механізм з утриманою деталлю (контроль за положенням), далі механізм вивільняє деталь (контроль по інверсії сигналу датчика тиску X_{2M1}'' , контроль відсутності деталі \bar{X}_{2M1}'), далі привод вертикальної подачі підіймає механізм без деталі (контроль за положенням). Макромодуль повернувся в початковий стан.

Перший крок: ідентифікація макро модуля і модулів, що належать до його складу. Задаємо ім'я макро модуля «M1», його команд керування: Y_{M1} , $Y_{\bar{M1}}$. Складові макро модуля: привод вертикальної подачі 1M1 (1-й модуль Макромодуля 1), модуль механізму утримання 2M1 (2-й модуль Макромодуля 1).

Другий крок: будуюмо розгорнуті описи основної і зворотної функцій макро модуля. «Захоплення деталі»: $Y_{M1} = Y_{1M1} \rightarrow Y_{2M1} \rightarrow Y_{1M1}$. «Вивільнення деталі»: $Y_{\bar{M1}} = Y_{1M1} \rightarrow Y_{2M1} \rightarrow Y_{1M1}$.

Третій крок. Формування змісту логічних умов контролю за виконанням функцій макро модуля. Логічна умова, яка констатує виконання основної функції: $X_{M1} = X_{1M1} * X_{2M1}$. Логічна умова, яка констатує виконання зворотної функції: $X_{\bar{M1}} = X_{1M1} * X_{2M1}$.

Четвертий крок. Формалізація опису макро модуля. Особливість полягає в розділенні циклу на два сегменти. Перший сегмент вміщує частину, що відповідає виконанню основної функції. Другий сегмент вміщує частину, яка відповідає за виконання зворотної функції. Для їх виконання використані дозвільні сигнали основної системи. Макромодуль має функціональний граф, до якого придатні методики циклічно-модульного підходу.

П'ятий крок. Встановлення логічного зв'язку макро модуля і зовнішньої системи. Макромодуль має постачати в систему сигнали контролю за виконанням своєї основної і зворотної функцій. Ці сигнали X_{M1} і $X_{\bar{M1}}$ будуть використані в командах керування при логічному синтезі зовнішньої системи.

Команди для макро модуля сформовані під час логічного синтезу. Логічні вирази команд будуть множниками у виразах команд, які починають виконання сегментів макро модуля: $Y_1 = X_6 * X_7 * X_3 * X_{M2}$; $Y_1 = X_{M2}$; $Y_{M2} = X_1 + X_4 * X_7 * X_3$; $Y_{\bar{M2}} = X_3 * X_1 * X_7 + X_3 * X_7$; $Y_3 = X_{M2} * X_7$; $Y_3 = X_{M2} * X_7$; $Y_4 = X_{M2} * X_7 * X_3$; $Y_4 = X_5 * X_7$; $Y_5 = X_4 * X_7$; $Y_5 = X_7$; $Y_6 = X_{M2} * X_7 * X_3$; $Y_6 = X_7$; $Y_7 = X_6$; $Y_7 = X_5$.

Сигнали стану макро модуля X_{M2} і $X_{\bar{M2}}$ мають бути замінені на їх вирази, команди після заміни: $Y_1 = X_6 * X_7 * X_3 * X_{1M2} * X_{2M2} * X_{3M2}$, $Y_1 = X_{3M2} * X_{1M2} * X_{2M2}$, $Y_3 = X_{3M2} * X_{1M2} * X_{2M2} * X_7$, $Y_3 = X_{3M2} * X_{1M2} * X_{2M2} * X_7$, $Y_4 = X_{1M2} * X_{2M2} * X_{3M2} * X_7 * X_3$, $Y_6 = X_{1M2} * X_{2M2} * X_{3M2} * X_7 * X_3$.

Таким чином забезпечено зв'язок зовнішньої системи з станом складових макромодуля. Отримані логічні вирази дозволяють розробити систему керування: скласти електро-релейні схеми, скласти схеми гідропневмоавтоматики, скласти алгоритм керування.

Висновки.

За результатами досліджень підтверджено придатність структурно-модульного підходу для синтезу систем гідропневмоавтоматики великої розмірності з побудовою макромодулів-підсистем та виконання логічного синтезу алгоритмів керування.

Запропонована 5-ти етапна методика будови макромодулів та встановлення взаємних логічних зв'язків системи і макромодуля в процесі функціонування.

Запропонована узагальнена структура модуля системи, придатна для врахування більшості особливостей засобів гідропневмоавтоматики при побудові і використанні макромодулів.

Список літератури

1. Andreja Rojko. Industry 4.0 Concept: Background and Overview / Andreja Rojko // iJIM Vol. 11, No. 5, 2017, p. 77-90. eISSN: 1865-7923 <https://doi.org/10.3991/ijim.v11i5.7072>
2. T.Bauernhansl, M. ten Hompel, B. Vogel-Heuser. Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung Technologien Migration. Springer-Verlag, 648 s., 2014.
3. Parr Andrew. Hydraulics and Pneumatics: A Technician's and Engineer's Guide, Publisher: Butterworth-Heinemann Ltd, 2011.
4. Subramanya K., Fluid Mechanics and Hydraulic Machines: Problems and Solutions, Paperback – 26 July 2010.
5. Egeland, O., Gravdahl, J.T.: Modeling and Simulation for Automatic Control. Marine Cybernetics, Trondheim, Norway (2002)
6. Synthesis of control schemes for hydroficated automation objects.- GmbH & Co. KG. Printed in Germany, 2018 Y. Sokol, M. Cherkashenko, etc
7. Matti Karvonena, Mikko Heikkilä, Mikko Huovaa, Matti Linjamaa Analysis by Simulation of Different Control Algorithms of A Digital Hydraulic Two-Actuator System / International Journal of Fluid Power Volume 15, Issue 1, 2014, pages 33-44.

Macromodules in Discrete Hydropneumoautomation Systems

Gubarev O.P., Murashchenko A.M., Belikov K.O., Synytsyna Ye.Yu., Belchanska O.V.,

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine

Improving the efficiency of modern production is impossible without increasing the number of functions subject to automation. A prominent role among automation tools is occupied by devices and systems utilizing hydraulic and pneumatic technical means, including mechatronic systems. The selection of specific tools for solving practical tasks is directly related to the operational efficiency of the developed system, including such indicators as energy efficiency, productivity, and durability. One of the primary consequences of increasing the number of automated production functions is the growth of the scale factor of the designed systems. As the number of interacting elements increases, the number of possible interaction scenarios grows exponentially, leading to the complication of both the design and testing processes of the created automated system. This work proposes an approach to the stepwise creation of a modular system from smaller subsystems that, based on certain properties, are identified with all other modules of the system. The structural features of the system components, formal rules for establishing connections between the main system and its components, as well as between the components and the main system, are discussed. These rules are illustrated using the example of constructing control systems for discrete hydropneumoautomation.

Keywords: system; modular structure; hydroautomation; pneumoautomation; mechatronics; control commands.