

Modernizacja układu sterowania robota przemysłowego PR-02 z napędem pneumatycznym

Ryszard Dindorf

W pracy przedstawiono projekt modernizacji układu sterowania robota przemysłowego PR-02 z napędem pneumatycznym o strukturze kinematycznej RTT. Zastosowano nowy blok zaworów elektromagnetycznych, do którego przystosowano układ sterowania elektropneumatycznego. Wykonano sterownik do komunikacji komputera PC z robotem PR-02 poprzez port LPT. Napisano programy do sterowania robota PR-02 na podstawie modelu blokowego Simulinka oraz w środowisku Windows XP. Zaprojektowany sterownik może być wykorzystany do sterowania innych urządzeń o ośmiu sygnałach sterujących z portem LPT.

System pneumatycznych robotów przemysłowych PR-02 opracowany został w PIAP w Warszawie w latach 1976–80 [4]. Robot przemysłowy PR-02 jest programowalną pneumatyczną maszyną manipulacyjną przeznaczoną do automatyzacji prostych czynności manipulacyjnych (orientujących) i obsługowych (podających) różnych maszyn i urządzeń technologicznych [3]: wtryskarek do tworzyw sztucznych, obrabiarek skrawających, maszyn odlewniczych, maszyn do obróbki plastycznej, stanowisk, gniazd oraz linii obróbkowych i montażowych. Roboty PR-02 są już tylko użytkowane w laboratoriach uczelnianych, gdzie modernizuje się układy sterowania pneumatycznego i elektronicznego oraz oprogramowanie tych robotów.

Roboty PR-02 należą do grupy robotów pneumatycznych o budowie modułowej, prostej obsłudze i sterowaniu. Budowa modułowa manipulatorów umożliwia tworzenie różnych struktur kinematycznych robotów PR-02, dostosowanych do wymagań manipulacyjnych na poszczególnych stanowiskach roboczych. Pojedyncze moduły mogą być wykorzystane do realizacji nieskomplikowanych czynności manipulacyjnych np. załadunku-rozładunkowych. Funkcjonalne połączenie modułów pneumatycznych umożliwia stworzenie różnych konfiguracji manipulacyjnych robotów PR-02, np.

- połączenie równoległe niezależnych modułów pneumatycznych, sterowanych z jednego układu sterowania
- połączenie modułów pneumatycznych w jeden szeregowy łańcuch kinematyczny o sterowaniu sekwencyjnym
- tworzenie prostych i złożonych konfiguracji przestrzennych złożonych z pojedynczych modułów pneumatycznych.

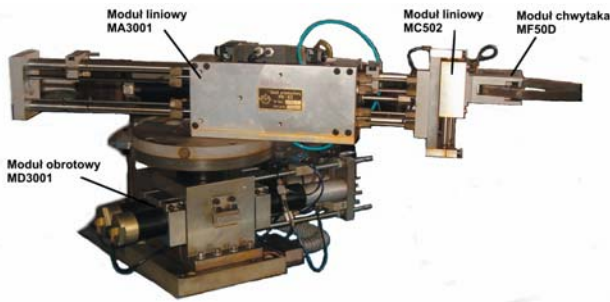
Pneumatyczne roboty przemysłowe PR-02 mogą być sterowane ręcznie, programowo oraz grupowo przy współpracy z maszynami lub urządzeniami technologicznymi. Standardowo stosowane są dwa typy układów sterowania robota PR-02:

- układ sterowania sekwencyjnego PR-02/SDM z programatorem w postaci krzyżowej tablicy diodowej – umożliwi sterowanie dziesięcioma modułami pneumatycznymi
- mikroprocesorowy układ sterowania grupowego PR-02/SP – umożliwi niezależne lub zsynchronizowane sterowanie ośmioma zestawami modułów pneumatycznych.

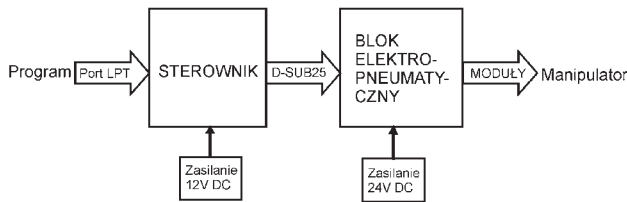
Budowa i sterowanie robota PR-02

Robot przemysłowy PR-02 z napędem pneumatycznym składa się z dwóch zespołów: zespołu manipulacyjnego i zespołu sterowania. Zespół manipulacyjny zbudowany jest z pneumatycznych modułów obrotowych i liniowych o jednym stopniu swobody. Poszczególne moduły napędzane są siłownikami pneumatycznymi. Moduły linowe są pozycjonowane w dwóch położeniach ustalonych ogranicznikami, natomiast moduły obrotowe mogą być pozycjonowane w trzech położeniach. Moduły (siłowniki) pneumatyczne sterowane są elektromagnetycznymi zaworami rozdzielającymi. Widok robota PR-02, znajdującego się w laboratorium Zakładu Mechatroniki Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, przedstawiono na rys. 1 [1]. Robot ten ma trzy stopnie swobody i strukturę kinematyczną RTT, w cylindrycznym układzie współrzędnych. Taki układ kinematyczny manipulatora umożliwia przemieszczenie punktu środkowego narzędzia TCP (*Tool Center Point*) lub chwytaka po okręgu oraz wzdłuż odcinków prostych w przestrzeni cylindrycznej.

dr hab. inż. Ryszard Dindorf, prof. nadzw. PŚk - Politechnika Świętokrzyska, Zakład Mechatroniki; prof. nadzw. AGH - Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki



Rys. 1. Widok pneumatycznego robota przemysłowego PR-02



Rys. 2. Schemat blokowy układu sterowania robota PR-02

Modernizowany robot PR-02 ma trzy moduły:

1. Moduł obrotowy (MD3001) mocowany jest na podstawie robota. Ruch liniowy tłoczek dwóch siłowników pneumatycznych przenoszony jest na ruch obrotowy modułu za pomocą mechanizmu koło zębate-zębata. Osiągnięcie położenia krańcowego modułu obrotowego sygnalizowane jest łącznikami krańcowymi. Prędkością obrotową tego modułu można sterować za pomocą zaworów dławiących umieszczonych na wlocie siłowników.
2. Moduł liniowy poziomy (MA3001) znajduje się na module obrotowym. Moduł ten wykonuje ruchy posuwisto-zwrotne w płaszczyźnie poziomej. Położenia skrajne tego modułu są sygnalizowane za pomocą wyłączników krańcowych.
3. Moduł liniowy pionowy (MC502) jest umieszczony w części przedniej modułu liniowego poziomego. Moduł ten przemieszcza się w płaszczyźnie pionowej bez kontroli położenia skrajnych. Do ruchomej płyty czołowej tego modułu jest przymocowany chwytak kątowy (MF50D), uruchamiany siłownikiem pneumatycznym jednostronnego działania z powrotem sprężynowym. Chwytak kątowy ma dwie sztywne końcówki chwytne, zaciskane podczas chwytania obiektu manipulacji.

Sekwencyjny układ sterowania PR-02/SDM zbudowany jest z układów scalonych TTL serii 74. Do tego typu sterowania wykorzystuje szafę sterowniczą, na której znajduje się pulpit z przyciskami do ręcznego, automatycznego i krokowego sterowania modułami pneumatycznymi robota. Na pulpicie znajdują się także elementy sygnalizacyjne oraz matryca diodowa do programowania ruchów manipulatora pneumatycznego. Zadanie sterowania polega na realizacji ruchów poszczególnych modułów pneumatycznych we właściwej kolejności. Układ sterowania PR-02/SDM umożliwia realizację programów maksymalnie 60-krokowych i ma następujące rodzaje pracy:

- Sterowanie **ręczne** poszczególnymi osiami manipulatora za pomocą przycisków. Przewidzane są po dwa przyciski do wymuszania dwóch ruchów każdej osi manipulatora (obrót w lewo – obrót w prawo, wysunięcia ramienia – wsunięcie ramienia, podniesienie chwytaka – opuszczenie chwytaka, zamknięcie chwytaka – otwarcie chwytaka). Ten rodzaj sterowania wykorzystuje się najczęściej w sytuacjach awaryjnych
- sterowanie **automatyczne** polegające na wykonaniu instrukcji programu robota według zapisu na matrycy diodowej. Warunkiem przejścia do kolejnej operacji jest wykonanie wszystkich poprzednich zaprogramowanych ruchów
- sterowanie **skokowe** działa podobnie jak sterowanie automatyczne z tym, że dodatkowym warunkiem przejścia do następnego kroku jest wciśnięcie przez operatora przycisku START. Ten rodzaj sterowania służy do testowania zaprogramowanych instrukcji oraz sprawdzania poprawności pracy robota.

Modernizacja sterowania robota PR-02

Rosnące wymagania, stawiane manipulatorom i robotom przemysłowym, wymuszają konieczność modernizacji ich układów sterowania. Przeprowadzone już modernizacje robotów typu PR-02 polegały na wprowadzeniu nowych układów sterowania za pomocą różnego typu sterowników [5]:

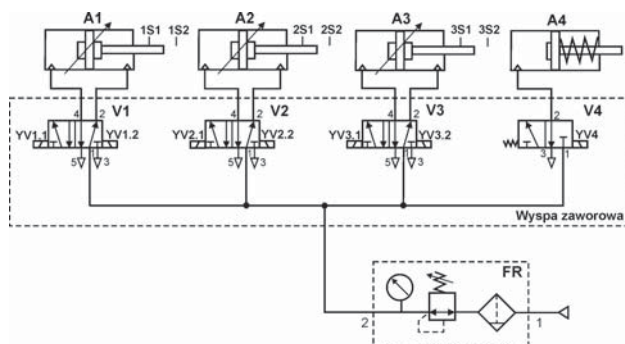
1. sterownik TSX 17 jest programowalnym sterownikiem logicznym PLC firmy Telemecanique. Program jest wprowadzany do pamięci sterownika przez łącze szeregowe ze współpracującego ze stanowiskiem komputera klasy PC. Przygotowanie, transmisja i uruchamianie programu odbywa się za pomocą oprogramowania fabrycznego
2. sterownik BASIC/PR-02 jest sterownikiem mikroprocesorowym zbudowanym z wykorzystaniem mikrokontrolera MC68332. Oprogramowanie sterownika stanowi kompilator i egzekutor języka BASIC przystosowanego do potrzeb sterowania sekwencyjnego i logicznego. Wejścia i wyjścia cyfrowe sterownika umożliwiają bezpośrednią współpracę z zaworami i wyłącznikami krańcowymi manipulatora. Program w języku BASIC w wersji źródłowej jest przesyłany przez łącze szeregowe ze współpracującego ze stanowiskiem komputera klasy PC. W sterowniku następuje jego kompilacja na kod pośredni i wykonanie.

Modernizacja układu sterowania robota przemysłowego PR-02 (rys. 1) polegała na wymianie bloku elektropneumatycznego, zastąpieniu układu sterowania PR-02/SDM blokiem sterującym (sterownikiem) i wykorzystaniu programu Matlab/Simulink do programowania ruchów robota. Schemat blokowy zmodernizowanego układu sterowania robota PR-02 przedstawiono na rys. 2. Do połączenia komputera klasy PC, sterownika i robota wykorzystano interfejs Centronics (port równoległy LPT). Interfejs Centronics należy do grona klasycznych interfejsów kompu-

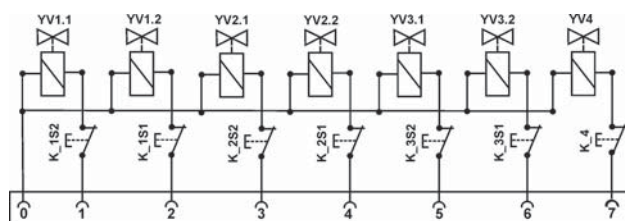
terowych stosowanych w różnych urządzeniach peryferyjnych współpracujących z komputerami klasy PC. Transmisja danych przez interfejs Centronics odbywa się w sposób równoległy (12 linii wyjściowych i 9 linii wejściowych). Interfejs Centronics zapewnia transmisję danych na odległość od 2 m do 5 m.

Modernizacja układu elektropneumatycznego robota

Modernizacja elektropneumatycznego układu sterowania robota polegała na zastąpieniu pojedynczych zaworów pneumatycznych jedną wyspą zaworową typ VZ3243 firmy SMC, która składa się z czterech zaworów rozdzielających, pięciodrogowych, dwupołożeniowych, sterowanych elektromagnetycznie. Takie rozwiązanie pozwoliło na doprowadzenie sygnałów sterujących wyłącznie do gniazda wejściowego wyspy zaworowej i wyeliminowanie przewodów elektrycznych do elektromagnesów oraz przewodów pneumatycznych do każdego zaworu. W ten sposób uproszczona została instalacja elektryczna i pneumatyczna robota. Schemat układu pneumatycznego manipulatora przedstawiono na rys. 3, natomiast schemat układu elektrycznego z połączeniami elektromagnesów zaworów przedstawiono na rys. 4. Przerobienie zaworu rozdzielającego (V1–V4) pozwala na ruch poszczególnych modułów (siłowników) pneumatycznych tworzących osie manipulatora. Stan przerobienia danego zaworu rozdzielającego zależy od podania napięcia na odpowiednią cewkę elektroma-



Rys. 3. Schemat pneumatyczny robota PR-02: A1, A2, A3, A4 – siłowniki modułów pneumatycznych, V1, V2, V3, V4 – zawory rozdzielające, FR – zespół przygotowania powietrza (filtr, regulator ciśnienia, manometr)



Rys. 4. Schemat elektryczny układu sterowania bloku zaworowego VZ3243

gnesu. Na schemacie elektrycznym (rys. 4) oznaczono elektromagnesy sterujące zaworami rozdzielającymi (YV1.1,...) oraz przekaźniki połączone z wyłącznikami krańcowymi (K_1S1,...). Układ elektryczny manipulatora pneumatycznego jest zasilany napięciem 24 V DC za pośrednictwem przekaźników, co eliminuje dodatkowy przewód zasilający.

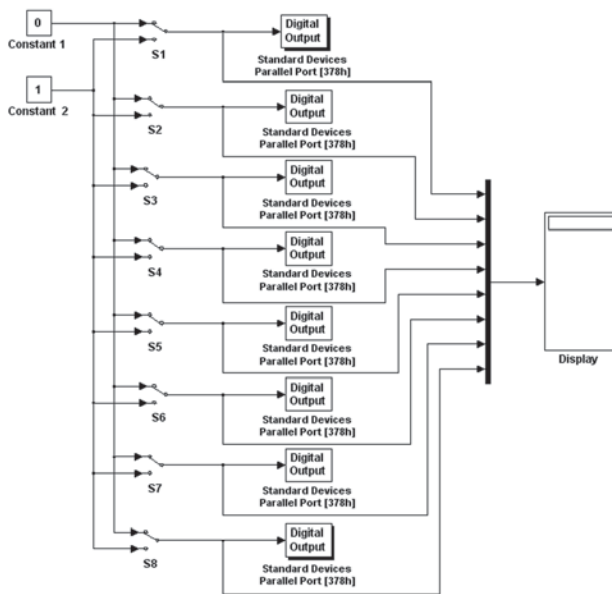
Modernizacja układu sterowania robota

Do sterowania modułów pneumatycznych manipulatora robota PR-02 wystarczy siedem segmentów układu elektrycznego. Układ elektryczny sterownika wykonany został na płytce drukowanej [2]. Do połączenia sterownika z robotem PR-02 dostosowano standardowy przewód LPT zawierający wtyki 25-stykowe, które zostały zastąpione złączem szufladkowym (60-stykowym). Blok sterujący służy do przesterowania odpowiednich przekaźników znajdujących się w układzie elektropneumatycznym (rys. 4). Układ elektryczny sterownika składa się z 8 transoptorów i 8 przekaźników. Do sygnalizacji zasilania (12 V DC i 24 V DC) oraz do wysterowania danego przekaźnika zastosowano diody LED. Diody D1...D8 służą do zabezpieczenia tranzystorów wewnątrz transoptora przed impulsami wysokiego napięcia, które powstają przy przełączaniu obciążeń o charakterze indukcyjnym (cewka przekaźnika). Do bezpiecznej komunikacji komputera z układem zastosowano transoptory, które służą do oddzielenia całego układu od portu LPT komputera. Transoptor w swej strukturze zawiera umieszczone naprzeciwko siebie fotoemiter – dioda LED oraz fotodetektor – fotodiody lub fototranzystor. Gdy na anodzie diody umieszczonej wewnątrz transoptora pojawi się sygnał z portu LPT, wtedy tranzystor pozwala na łączenie cewki przekaźnika. Spolaryzowanie cewki powoduje z kolei zwarcie styku przekaźnika, a co za tym idzie pojawienie się sygnału sterującego na odpowiednim pinie gniazda wyjściowego sterownika. Wówczas występuje przesterowanie zaworu elektropneumatycznego umieszczonego na wyspie zaworowej oraz wymuszenie ruchu odpowiedniego modułu (osi) manipulatora.

Program do sterowania robota

Program do sterowania robota PR-02 wykonany został w programie Matlab/Simulink. Zbudowano schemat blokowy Simulinka do wymuszania wysokich bądź niskich sygnałów na odpowiednim wyjściu portu LPT. Schemat ten przedstawiono na rys. 5. Żeby układ sterował odpowiednimi wyjściami portu LPT należało tak skonfigurować bloki Digital Output, aby odpowiedni numer wyjść z zakresu D0...D7 odpowiadał standardowi Centronics. W oknie konfiguracyjnym tego bloku wybiera się adres portu LPT, standardowo jest to adres 378h (*Standard Devices Parallel Port*

[L378h]). W polu Sample Time ustawiany jest czas, po jakim ma nastąpić zmiana sygnału wyjściowego, zdefiniowanego w polu Output Channels. Wpisanie cyfry 6 oznacza, że sterowanym wyjściem będzie D5 w standardzie Centronics. Różnice te wynikają z faktu, że w standardzie Centronics wyjścia są numerowane od 0 do 7, a w modelu Simulinka od 1 do 8. W polu Channel Mode wybiera się rodzaj sygnału (bit), który ma być reprezentowany przez dane wyjście. Dysponując tak zbudowanym i skompilowanym programem można sterować modułami pneumatycznymi robota PR-02 poprzez zmianę przełączników S1...S7, które powodują zmiany sygnałów na wyjściach („0” lub „1”), co powoduje wymuszenie ruchu poszczególnych osi



Rys. 5. Schemat blokowy Simulinka do sterowania robota PR-02

manipulatora.

Dodatkowo do sterowania robota PR-02 napisano program w środowisku Windows XP, umożliwiający sterowanie ruchami osi robota poprzez okno graficzne (patrz rys. 6). W momencie uruchomienia



Rys. 6. Program do sterowania robotem PR-02 w środowisku Windows XP

programu wszystkie wyjścia portu LPT mają stan niski (logiczne „0”) według standardów przyjętych dla układów TTL. Czerwone punkty obok przycisków programowych oznaczają, że dane wyjście jest

nieaktywne. Po wybraniu przycisku punkt zmienia kolor na zielony co oznacza, że dane wyjście ma stan wysoki (logiczne „1”). Po wybraniu danego przycisku będzie utrzymywany stan wysoki do momentu, kiedy zostanie on wybrany ponownie lub jeżeli zostanie wybrany przycisk realizujący funkcję przeciwną. Takie rozwiązanie programowe zapobiega przesterowaniu dwóch cewek jednego zaworu w tym samym czasie, co zabezpiecza układ sterowania robota przed przypadkowym uszkodzeniem. Zmniejsza się przez to ryzyko popełnienia błędu podczas sterowania robota przemysłowego PR-02.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono projekt modernizacji układu sterowania robota przemysłowego PR-02 z napędem pneumatycznym o strukturze kinematycznej RTT, który jest wykorzystywany do celów dydaktycznych w Zakładzie Mechatroniki Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach. Przeprowadzona modernizacja polegała na wymianie układu sterowania elektropneumatycznego, wykonaniu sterownika oraz napisaniu oprogramowania w środowisku Matlab/Simulink i Windows XP. W ramach projektu zastosowano nową wyspę zaworową czyli blok czterech zaworów elektromagnetycznych, do którego przystosowano układ sterowania elektrycznego. Wykonano sterownik do komunikacji komputera z robotem PR-02 poprzez port LPT. Wykonany sterownik ułatwia sterowanie robotem PR-02, ponieważ na ekranie komputera można obserwować, które z wyjść układu sterowania odpowiada za dany ruch osi manipulatora pneumatycznego. Informacja ta jest sygnalizowana także przez odpowiednie diody na obudowie sterownika. Tak zaprojektowany układ sterowania robota ma ponadto walory dydaktyczne. Wykonany sterownik może być także wykorzystany do sterowania innych urządzeń programowanych, przetwarzających osiem sygnałów sterujących na wyjściach portu LPT. Do tego sterownika można wykorzystać dowolny program przystosowany do sterowania przez port LPT.

Bibliografia

1. Dindorf R. pod red.: *Laboratorium automatyki i robotyki*. Skrypt. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2004.
2. Pisarek Ł.: *Modernizacja systemu sterowania manipulatora pneumatycznego PR-02*. Praca dyplomowa. Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2007.
3. *Dokumentacja Techniczna – Ruchowa robota PR-02*. WSK „PZL Kalisz”, 1979.
4. Praca zbiorowa, Robotyka nr 3, *Roboty przemysłowe PR-02*. WNT, Warszawa 1989.
5. Instrukcja laboratoryjna: *Stanowisko dydaktyczne: Manipulator PR-02*, Instytut Cybernetyki Technicznej Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2002. ■