

UKŁADY STEROWANIA PROSTYCH ROBOTÓW PRZEMYSŁOWYCH

1. Wprowadzenie

Obecny stopień rozwoju przemysłu charakteryzuje się wzrostem ilości, różnorodnością i skomplikowaniem procesów produkcyjnych. Równocześnie, powszechne dążenie do obniżania kosztów produkcji przy rosnącej cenie surowców i siły roboczej, jak też odczuwany w niektórych krajach brak rąk do pracy oraz konieczność wyeliminowania pracy ręcznej przy wykonywaniu zadań monotonicznych czy zbyt uciążliwych stwarzają nowe wymagania stawiane przed automatyzacją. Obok stosowania specjalizowanych automatów obróbkowych, coraz częściej niezbędne jest wyposażanie stanowisk produkcyjnych w urządzenia automatyzujące prace typu: ładowanie i wyjmowanie detali z maszyn, bliski transport międzystanowiskowy, proste czynności montażowe oraz niektóre operacje technologiczne. Interesującym rozwiązaniem tych problemów jest zastosowanie robotów przemysłowych.

Roboty przemysłowe są zwykle definiowane [1, 2] jako maszyny robocze, umożliwiające samoczynną manipulację przedmiotami względem kilku osi swobody wewnątrz przestrzeni roboczej, zawierające układ sterowania manipulacjami, zgodnie z programem pracy zadany przez operatora.

Roboty stanowią podgrupę urządzeń zwanych systemami manipulacyjnymi. Klasyfikacja tych układów została przedstawiona na rys.1. Przedstawiona definicja robota pozwala na wyodrębnienie dwóch zasadniczych jego części: układu manipulacyjnego (część wykonawcza) oraz układu sterowania. W ogromnej większości rozwiązań, powyższemu podziałowi formalnemu odpowiada rzeczywisty podział urządzenia na dwie odrębne części połączone ze sobą kablem (kablami) służącym do przesyłania sygnałów wykonawczych oraz realizacji sprzężeń zwrotnych. Stwarza to, możliwość ochrony, delikatniejszej z natury, części sterującej przed trudnymi warunkami otoczenia w jakich może pracować robot.

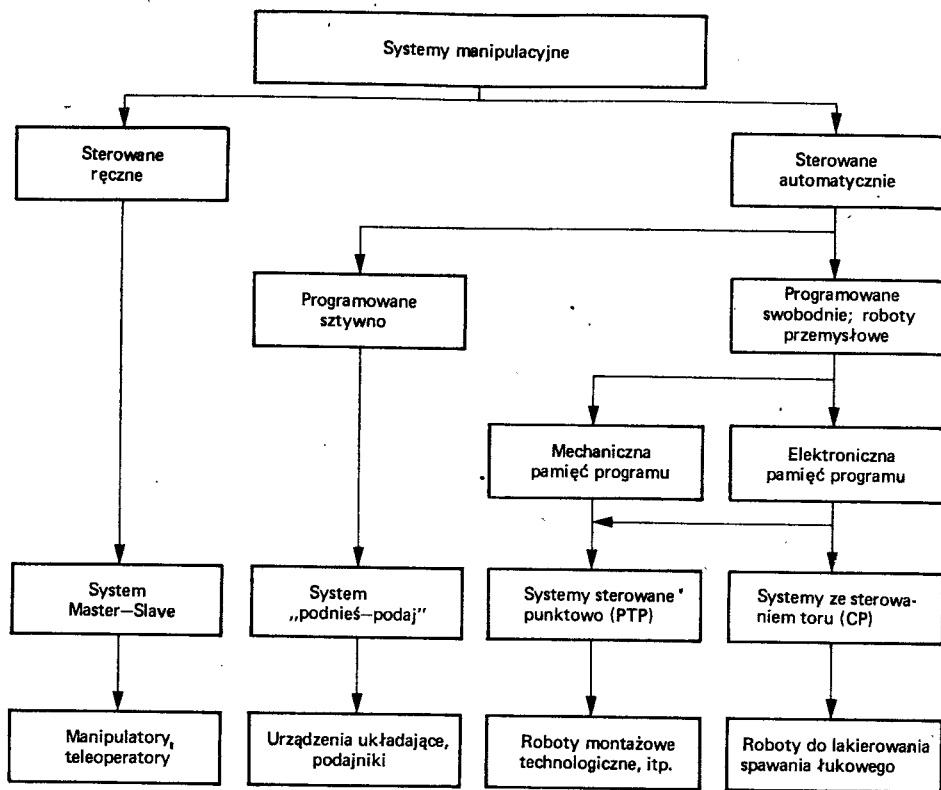
Block sterowania robota powinien zawierać możliwie prosty system programowania umożliwiający łatwą i szybką obsługę oraz system podejmowania decyzji dotyczących ruchu poszczególnych organów wykonawczych. Zadanie to można z powodzeniem zrealizować za pomocą sterowania cyfrowego (logicznego).

Dla ustalenia wymagań stawianych przed układami sterowania robotów warto zdać sobie sprawę z głównych cech różniących je od znanych układów sterowania numerycznego obrabiarek.

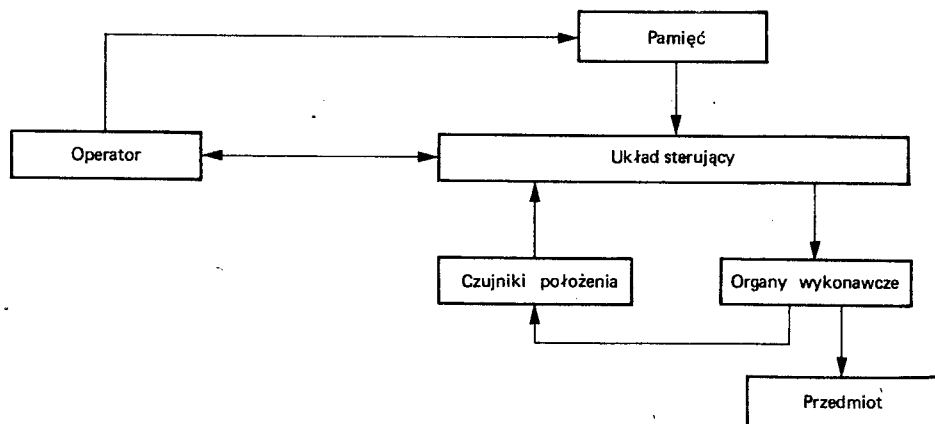
Jedną z podstawowych cech robotów odróżniającą je od obrabiarek jest możliwość stosowania ich do różnorodnych, często zmieniających się zadań. Zatem budowa układu sterowania powinna zapewniać łatwą wprowadzanie zmian w programie pracy i możliwość tworzenia biblioteki programów.

Druga, dość znaczna różnica wynika ze stosowania robotów do wykonywania czynności pomocniczych przy obsłudze obrabiarek. Układ sterujący robota musi więc umożliwiać sterowanie pracą tych maszyn (typu „załączenie—wyłączenie”) oraz zapewnić możliwość synchronizacji przez pewną ilość sygnałów zewnętrznych.

W chwili obecnej jest produkowana na świecie duża liczba (ponad 200) różnorodnych typów robotów.



Rys.1. Podział systemów manipulacyjnych ze względu na sterowanie i programowanie [5]



Rys.2. Struktura prostego robota przemysłowego

Różnorodność ta występuje zarówno w budowie części manipulacyjnej, jak i rozwiązywaniu układu sterowania. Liczną grupę stanowią proste roboty przemysłowe, automatyzujące procesy bliskiego transportu detali i narzędzi oraz proste czynności obróbcze. Pod pojęciem prosty robot przemysłowy rozumie się zwykle układ manipulacyjny o prostej budowie części wykonawczej, osiach przemieszczeń pokrywających się z reguły z osiami układu kartezjańskiego, o napędzie pneumatycznym (rzadziej hydraulicznym), sterowany punktowo (ang. PTP point-to-point) i o kilku punktach zatrzymania w każdej osi. Ogólną strukturę prostego robota przemysłowego przedstawia rys.2.

2. Budowa układów sterowania prostych robotów przemysłowych

Układ sterowania robota powinien zapewniać wykonanie ruchów poszczególnych jego elementów według ustalonego programu, dla realizacji założonego zadania. Układ odbiera informacje o położeniu poszczególnych elementów części manipulacyjnej i na podstawie tych informacji wytwarza odpowiednie sygnały sterujące.

W obecnie produkowanych robotach przemysłowych koszt układów sterujących wynosi od 30 do 50 % kosztu całego urządzenia. Przy projektowaniu robota należy zatem dokonać precyzyjnej analizy doboru prawidłowego i optymalnego układu sterowania, aby niepotrzebnie nie zawyżać kosztów urządzenia [3]. Z drugiej strony, rozpowszechniona jest opinia [4], że jest opłacalna pewna rozbudowa układu sterowania, rozszerzająca możliwości zastosowań, zmniejszająca ilość dodatkowego wyposażenia zewnętrznego oraz upraszczająca instalację.

Budowa układu sterowania robota jest zależna od rodzaju sterowania, rodzaju napędu, sposobu pozycjonowania i liczby punktów zatrzymania w każdej z osi, a także od przyjętej metody programowania. Wszystkie obecnie produkowane proste roboty przemysłowe mają układy sterowania punktowego (PTP). Sterowanie to polega na określeniu w programie kolejnych punktów charakterystycznych toru chwytaka bez dokładnego określenia kształtu toru między tymi punktami. Układ sterowania zapewnia odtworzenie ruchu chwytaka między kolejnymi zapamiętanymi punktami toru.

Proste roboty przemysłowe wykorzystują przede wszystkim napędy pneumatyczne, ze względu na prostotę budowy, łatwość sterowania oraz dostępność sieci sprężonego powietrza w zakładach przemysłowych. Roboty te umożliwiają szybkie manipulowanie przedmiotami o niewielkiej masie; dużą ich wadą jest jednak możliwość uzyskania małej liczby (2–5) punktów zatrzymania dla każdej z osi. Ustalenie położenia punktu zatrzymania odbywa się przez umieszczenie sztywnego zderzaka. Sterowanie robota musi spełniać dwa zadania. Musi ono zapewniać właściwą realizację kolejnych kroków programu oraz określać niezbędne dla poprawnej pracy współrzędne poszczególnych punktów zaprogramowanego toru.

Pierwsze zadanie spełnia układ logiczny zawarty w układzie sterującym. W obecnie produkowanych robotach, w 95 % przypadków jest to układ elektroniczny (lub raczej elektroniczno-elektryczny), w 3 % — pneumatyczny, a w 2 % — hydrauliczny [3]. Wykonanie układu sterowania z elementów elektronicznych, a w szczególności z półprzewodnikowych scalonych elementów logicznych, pozwala stworzyć układ charakteryzujący się małymi wymiarami, dużą szybkością i niezawodnością pracy, a także stosunkowo tani.

Budowa układu sterowania zależy również od sposobu wprowadzania i magazynowania programu. Ze względu na przyjęty rodzaj napędu elementów wykonawczych robota, dane o współrzędnych punktów charakterystycznych toru są ustalone w części manipulacyjnej robota. Ustalenie to polega na umocowaniu sztywnych zderzaków ograniczających tor ruchu danego organu wykonawczego oraz ewentualnie dodatkowych zderzaków wysuwnych. Można więc powiedzieć, że z przestrzeni roboczej zostaje wybrana pewna część, w której odbywa się manipulacja. Zwykle wraz ze zderzakami umieszcza się czujniki obecności, w postaci np. mikroprzełączników, dla realizacji sprzężenia zwrotnego (odbierania informacji o wykonaniu danego ruchu).

Programowanie, oprócz przestrzennego ustalenia punktów toru chwyta, musi też obejmować ustalenie kolejności ruchów między wyznaczonymi punktami. Dane te muszą zostać zapamiętane w układzie, aby umożliwić samoczynne, cykliczne powtarzanie zapamiętanych czynności. Ustalenie porządku ruchu chwyta w prostych robotach odbywa się najczęściej przez umieszczenie wtyczek w odpowiednich miejscach matrycy diodowej lub przez przygotowanie karty perforowanej. Urządzenia te służą jednocześnie jako pamięć programu. Matryca diodowa zawsze stanowi integralną część układu sterowania, a dane z niej są przekazywane połączeniami elektrycznymi bezpośrednio do układu sterowania. Karta perforowana stanowi wymienny nośnik programu, a stosowanie jej wymaga wyposażenia układu sterującego w czytnik i układy sprzęgające.

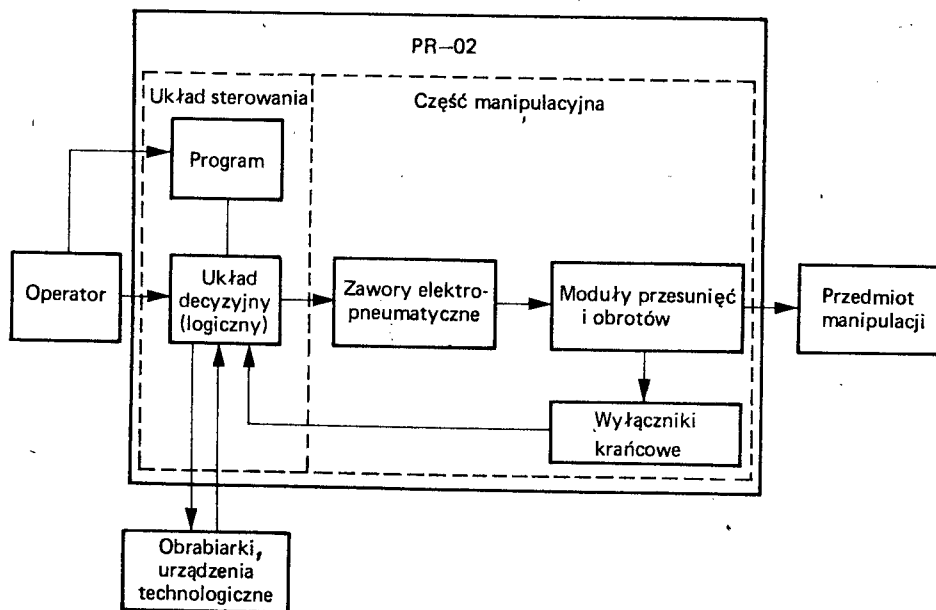
Opierając się na powyższych ustaleniach można sformułować wymagania dla układu sterowania prostego robota przemysłowego.

Układ taki:

- najkorzystniej zrealizować z elektronicznych scalonych elementów logicznych wraz z niezbędnymi układami dopasowującymi parametry sygnałów wejściowych i wyjściowych;
- powinien mieć strukturę zapewniającą łatwe i proste programowanie oraz wprowadzanie niezbędnych poprawek do programu (wymaganie to w największym stopniu spełnia matryca diodowa);
- powinien posiadać możliwie najprostszy zespół decyzyjny przy zapewnieniu poprawnej pracy i dostatecznej niezawodności.

3. Układ sterowania prostego robota przemysłowego PR-02

3.1. Opis ogólny robotów PR-02



Rys.3. Schemat struktury robota przemysłowego PR-02

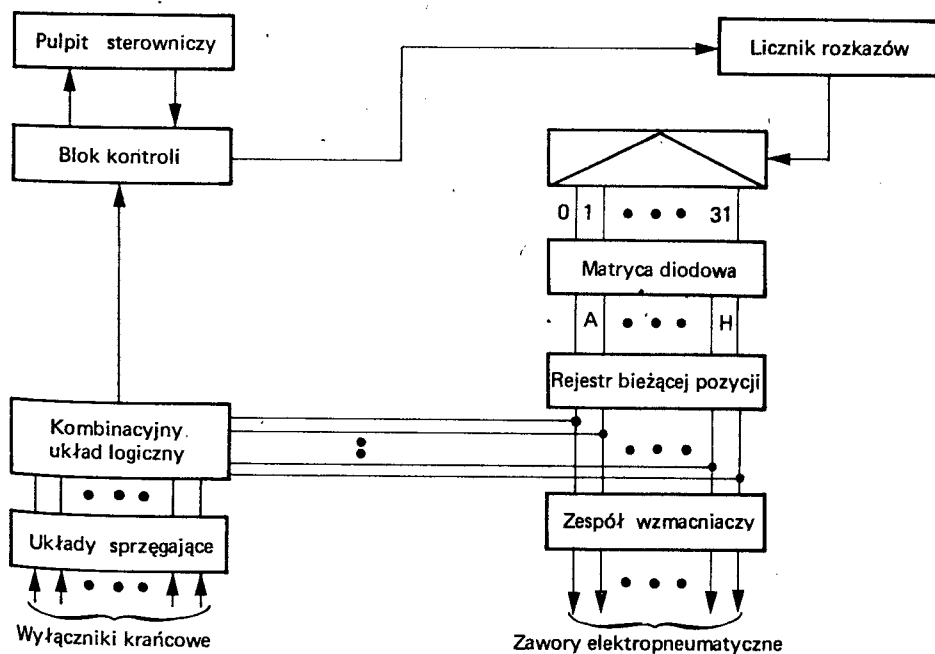
Proste roboty przemysłowe PR-02, które zostały opracowane w Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów, w ramach Krajowego Systemu Automatyki i Pomiarów POLMATIK podsystem MOTO-ROBOT, są ekonomicznym i skutecznym środkiem automatyzacji procesów produkcyjnych. Są one przeznaczone przede wszystkim do operowania detalami przy obsłudze maszyn i oprzyrządowania technologicznego oraz do prostych czynności montażowych. Z racji modułowej budowy części manipulacyjnej robotów możliwe jest dobranie konfiguracji urządzenia optymalnie przystosowanej do realizacji poszczególnych zadań. Wszystkie ruchy są realizowane przez pneumatyczne wysokociśnieniowe elementy napędowe.

Układ sterowania robotów PR-02 zapewnia możliwość sterowania dowolną konfiguracją zespołu manipulacyjnego złożonego z maksimum 8 modułów oraz włączania i wyłączania współpracującego z robotem oprzyrządowania technologicznego. Schemat struktury robotów PR-02 przedstawiono na rys.3.

3.2. Układ sterowania

Układ sterowania robota PR-02 jest zbudowany w postaci odrębnej konsoli ustawianej w odległości do 5 metrów od części manipulacyjnej robota. Układ sterowania umożliwia:

- ▢ ręczne sterowanie poszczególnymi modułami, za pomocą zespołu przycisków,
- ▢ sterowanie skokowe robota, polegające na wymuszaniu przez operatora kolejnych operacji programu,
- ▢ sterowanie automatyczne, w którym układ cyklicznie wykonuje zadany program ruchów wraz z zaprogramowanymi uwarunkowaniami.



Rys.4. Schemat blokowy układu sterowania robota PR-02

Układ sterowania umożliwia realizację programów liniowych (nierozgałęzionych) o maksymalnej długości do 32 rozkazów (instrukcji). W każdej instrukcji można zaprogramować dowolną z możliwych pozycji w przestrzeni roboczej. W czasie wykonywania danej instrukcji może pracować równocześnie od 1 do 7 organów wykonawczych. W każdej instrukcji może też być zaprogramowane sterowanie oprzyrządowaniem zewnętrznym, z równoczesną synchronizacją programu robota przez dane urządzenie. Układ sterowania zawiera zasilacz stabilizowany DC 24 V i DC 5 V, matrycę diodową służącą do programowania, a równocześnie jako pamięć programu, logiczne układy decyzyjne zrealizowane z półprzewodnikowych elementów scalonych TTL, SSI i MSI oraz układy elektroniczne, służące do dopasowania parametrów sygnałów wejściowych i wyjściowych układu sterowania. Układy elektroniczne są wykonane techniką obwodów drukowanych i tworzą panele wsuwane do kasety. Schemat blokowy układu sterowania robota PR-02 przedstawia rys.4.

3.3. Opis płyty czołowej

Na płycie czołowej konsoli sterowniczej znajduje się matryca diodowa oraz kilka grup przycisków i lampek sygnalizacyjnych.

Włączenie i wyłączenie układu odbywa się za pomocą przycisków SIEĆ: ZAŁ. (załączanie) i WYŁ. (wyłączenie); stan włączenia jest sygnalizowany lampką. Wybór rodzaju pracy jest dokonywany przez wciśnięcie jednego z przycisków grupy RODZAJ PRACY: RĘCZNA, SKOKOWA, AUTOMATYCZNA; dokonanie wyboru jest potwierdzone świeceniem lampki umieszczonej wewnątrz włączonego przycisku. Przy pracy ręcznej układ jest sterowany grupą przycisków stanowiących kolumnę sterowania ręcznego, umieszczonych na wysokości odpowiednich wierszy matrycy diodowej. Przy pracy skokowej kolejne takty (operacje) są wymuszane przyciskiem TAKT. Na pulpicie znajdują się także przyciski STOP i START, służące do natychmiastowego zatrzymywania i wznowiania pracy robota. Z racji napędu pneumatycznego zatrzymanie może nastąpić dopiero po wykonaniu bieżącej operacji. Wewnątrz przycisków STOP i START znajdują się lampki sygnalizujące stan pracy lub zatrzymanie układu. Przycisk STOP PO CYKLU służy do zatrzymywania robota po wykonaniu ostatniego rozkazu programu. Znajdująca się w nim lampka sygnalizuje podanie tego rozkazu. Na pulpicie znajduje się także lampka PRACA, sygnalizująca wykonywanie ruchów zapisanych w bieżącym takcie oraz zaprogramowanych w nim uwarunkowań.

3.4. Funkcje układu sterowania

P r o g r a m o w a n i e ruchów robota jest dokonywane przez wkładanie wtyków diodowych na odpowiednie miejsce matrycy. Posiada ona 32 ponumerowane kolumny odpowiadające kolejnym taktom programu (31 instrukcji programu oraz kolumna startowa oznaczona cyfrą 0). Każda kolumna ma 19 otworów, z których 15 służy do kodowania ruchów w poszczególnych osiach, a reszta do programowania uwarunkowań (sterowania oprzyrządowania technologicznego).

W kolumnie startowej matrycy programuje się pozycję początkową robota. W momencie włączenia zasilania do układu sterowania robot ustawia się w pozycji startowej. Pozycję tę zajmuje robot także po przełączeniu rodzaju pracy z ręcznej na skokową lub automatyczną; przy pracy automatycznej cyklicznej pozycja ta jest pomijana.

Wetknięcie wtyku diodowego w gniazdo oznacza zaprogramowanie ruchu zapisanego w danym wierszu w takcie odpowiadającym danej kolumnie. Dla uniknięcia konieczności programowania za pomocą wtyków diodowych położenia wszystkich osi w każdym takcie, układ sterowania zawiera rejestr bieżącej pozycji, w którym są zapamiętywane zawsze ostatnie rozkazy dotyczące położenia poszczególnych osi. Nad każdą kolumną znajduje się dioda świecąca dla wskazania bieżącego kroku programu.

S t e r o w a n i e ręczne, przy którym poszczególnymi osiami ruchu steruje się za pomocą kolumny przycisków sterowania ręcznego. Dla każdej z osi są dwa przyciski pozwalające wymusić oba możliwe położenia. Ten rodzaj sterowania wykorzystuje się przy programowaniu i w sytuacjach awaryjnych.

Sterowanie automatyczne, podczas którego robot wykonuje kolejne instrukcje programu według zapisu na matrycy diodowej. Warunkiem przejścia do kolejnej operacji jest wykonanie wszystkich ruchów zaprogramowanych w danej instrukcji oraz wystąpienie zaprogramowanych sygnałów uzależnień.

Podaniem rozkazu STOP z pulpitu sterowniczego można zatrzymać robot po wykonaniu bieżącego rozkazu, wznowienie pracy następuje po podaniu rozkazu START. Zatrzymanie robota po wykonaniu programu następuje po wciśnięciu przycisku STOP PO CYKLU. Rozpoczęcie pracy od pierwszego kroku programu następuje po zwolnieniu przycisku.

Sterowanie skokowe, przy którym działanie układu jest podobne jak przy pracy automatycznej z tym, że dodatkowym warunkiem przejścia do następnego kroku jest wciśnięcie przez operatora przycisku TAKT na pulpicie operacyjnym. Ten rodzaj sterowania służy do testowania zaprogramowanych instrukcji i sprawdzania poprawności pracy.

Funkcje dodatkowe. W każdej z operacji można zaprogramować sterowania urządzeń zewnętrznych. Umieszczenie wtyku diodowego w odpowiednim miejscu tablicy powoduje zadziałanie przełącznika, który może włączyć urządzenia zewnętrzne. Jednocześnie przejście do następnego kroku jest uzależnione od wystąpienia zewnętrznego sygnału zwalniającego.

3.5. Przebieg wykonania pojedynczego rozkazu

W momencie zaświecenia się wskaźnika nad daną kolumną matrycy w rejestrze bieżącej pozycji zostają zapisane pozycje, na których są umieszczone wtyki diodowe; pozostałe przerzutniki rejestru nie zmieniają stanu. Poszczególne przerzutniki rejestru sterują poprzez układy wzmacniające zaworami elektropneumatycznymi i wymuszają określone ruchy robota. Jednocześnie stan rejestru steruje odbieraniem informacji z wyłączników krańcowych (sygnały sprzężenia zwrotnego). W przypadku zaprogramowania występowania urządzenia zewnętrznego, układ powoduje zadziałanie przełącznika, do którego można podłączyć dane urządzenie. Jednocześnie następuje uaktywnienie wejścia, na które podać należy sygnał zwalniający. Zakończenie wszystkich ruchów zaprogramowanych w danej operacji oraz wystąpienie sygnału zwalniającego powoduje przełączenie do następnego kroku.

4. Uwagi końcowe

Do sterowania robotami przemysłowymi stosuje się różnorodne systemy. W referacie omówiono w skrócie czynniki wpływające na budowę układu sterowania oraz podano przykładowe rozwiązanie techniczne takiego układu.

Opierając się na analizie dotychczasowych rozwiązań prostych robotów przemysłowych można przewidywać kierunki ich dalszego rozwoju. Korzystne byłoby wyposażenie chwytaka w układ umożliwiający regulację (przez operatora lub automatyczną) siły docisku, co umożliwiłoby manipulowanie również delikatnymi przedmiotami. Celowe wydaje się również wyposażenie układu sterowania w półprzewodnikową pamięć programu. Umożliwiłoby to zwiększanie długości programu a także, co jest szczególnie cenną właściwością, realizację programów rozgałęzionych. Cecha ta szczególnie cenna byłaby w rozwiązaniach robotów, umożliwiających uzyskiwanie kilku (3—5) punktów zatrzymania dla każdej z osi manipulacji.

Omówione modyfikacje komplikują układ sterowania prostego robota przemysłowego zbliżając go do rozwiązań robotów złożonych. Dzięki nim jednak urządzenie, nie tracąc swych cech zasadniczych, staje się bardziej uniwersalne przez co możliwe jest wykorzystanie go również do prac dziś wykonywanych wyłącznie ręcznie.

Literatura

- [1] Barczyk J.: Manipulatory sterowane automatycznie. Przegląd Mechaniczny nr 22/75.
- [2] Barczyk J.: Roboty przemysłowe. Mechanik nr 4/75.
- [3] Praca zbiorowa: Industrieroboter — Aufbau, Wirkungsweise und Anwendung. Maschinenbau-technik 24, 1975.
- [4] Seger B.: Control systems for industrial robots. 2nd Conference on Industrial Robot Technology. March 1974.
- [5] Spur G., Auer G.H.: Die Steuerung von Industrierobotern. Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung. 8/73.