

6662

440

A

PRZEMYSŁOWY INSTYTUT AUTOMATYKI I POMIARÓW

MERA - PIAP

Al. Jerozolimskie 202

02-222 Warszawa

Telefon 23-70-81

OSRODEK AUTOMATYZACJI PROCESÓW PRODUKCJI.

Główny wykonawca : mgr inż. Z. Stańczak.

Wykonawcy : mgr inż. J. Baranowski.  
mgr inż. W. Ulatowska.  
mgr inż. R. Zbiegieni.

Nr zlecenia : K - 153.2.

"Opracowanie robota z napędami elektrycznymi i sterowaniem MP i CP o udźwigu 2,5 kg. Wykonanie programu sterującego dla robota IRp-2,5 kg."

Etap 1 :

"Wykonanie i uruchomienie oprogramowania robota IRp-2,5 kg. ze sterowaniem MP".

Pracę rozpoczęto : dnia 1991.01.01., zakończono : dnia 1991.06.30.

Główny Wykonawca

*Stanczak*  
mgr inż. Z. Stańczak.

Z-ca Dyrektora d/s  
naukowo-badawczych

*Jablkowski*  
dr inż. J. Jabłkowski.

Kierownik Ośrodka

*Wrzesień*  
dr inż. M. Wrzesień.

Praca zawiera :

stron 24  
rysunków 1  
fotografii  
tabel  
tablic  
załączników

Rozdzielnik - ilość egz.: 5.

Egz. 1 : BOINTE  
Egz. 2 : ZSS  
Egz. 3 : OAR  
Egz. 4 : OAP  
Egz. 5 : OAP-8  
Egz. 6 :

Nr rejestr. 6662.

1

Analiza deskryptorowa : Roboty przemysłowe, oprogramowanie.

STEROWANIE, VAPED

Analiza dokumentacyjna : Praca zawiera opis programu sterującego z zastosowaniem perspektywicznego panelu programowania, ze sterowaniem MP, zasady obsługi nowego panelu programowania oraz tworzenia programów użytkowych.

Tytuły poprzednich sprawozdań :

- RP - 153.2, zad. 1.1 : "Opracowanie założeń na oprogramowanie. Sprawozdanie PIAP - nr rej. 5957.
- RP - 153.2, zad. 3.1 : "Wykonanie projektu systemu. - Sprawozdanie PIAP - nr rej. 6427.
- RP - 153.2, zad. 4.1 : "Wykonanie oprogramowania podstawowego dla celów przeprowadzenia badań modelu robota. - Sprawozdanie PIAP - nr rej. 6509.

338.45:62/69].002 1..2 Roboty przemysłowe  
681 3 0 6 Oprogramowanie

## S P I S T R E Ś C I

1. WPROWADZENIE.
2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA PROGRAMU STERUJĄCEGO.
3. PANEL PROGRAMOWANIA I PANEL OPERACYJNY.
4. BUDOWA PROGRAMU STERUJĄCEGO.
  - 4.1. Główna pętla programu.
  - 4.2. Podstawowe funkcje i procedury programu.
5. PODSTAWOWE CZYNNOSCI PROGRAMU STERUJĄCEGO.
  - 5.1. Ręczne operowanie manipulatorem.
  - 5.2. Edycja programu użytkowego.
  - 5.3. Programowanie innych instrukcji.
  - 5.4. Pozycjonowanie quasiliniowe.
  - 5.5. Praca ręczna.
  - 5.6. Operacje na chwytakach.
  - 5.7. Synchronizacja.
  - 5.8. Wykonywanie programu użytkowego.
6. TWORZENIE OPROGRAMOWANIA UŻYTKOWEGO.
  - 6.1. Współpraca programu sterującego z panelem programowania.
  - 6.2. Podstawowe funkcje panelu programowania.
  - 6.3. Stany pracy panelu programowania.
  - 6.4. Sterowanie wykonaniem programu użytkowego.
7. WNIOSKI KOŃCOWE.
8. LITERATURA.
9. DODATKI.
  - Dodatek 1. : Program użytkowy dla demonstracji pracy robota IRp-2,5 kg.

## 1. WPROWADZENIE.

Niniejsze opracowanie zawiera opis oprogramowania dla robota o udźwigu 2,5 kg w wersji z perspektywicznym panelem programowania i sterowaniem MP.

Szczegółowe opisy opracowań programowych wykonanych w PIAP i dotyczących oprogramowania robotów są przedstawione w pracach [4.5]. W niniejszym sprawozdaniu skoncentrowano się na przedstawieniu i wyjaśnieniu różnic pomiędzy oprogramowaniem dotychczasowym i nowym, tworzonym dla robota IRp-2,5 oraz krótkiej jego charakterystyce.

Dotychczasowe prace nad opracowaniem oprogramowania robota IRp-2,5 kg. zostały zakończone na etapie tworzenia oprogramowania dla badań modelu robota, w oparciu o zmodernizowany panel programowania (zadanie 4.1. tematu RP - 153.2 zakończone w roku ubiegłym - [3]). Obecnie zakończony etap prac obejmował tworzenie oprogramowania ze sterowaniem MP oraz nowym, perspektywicznym panelem programowania.

Program sterujący robota IRp-2,5 jest wzorowany na standardowym programie sterującym robotów IRp w wersji z perspektywicznym panelem programowania. Panel programowania jest tu traktowany jak terminal, dodatkowo wyposażony w urządzenie (lub przyciski) do ręcznego sterowania manipulatorem.

Dla potrzeb sterowania MP z perspektywicznym panelem programowania, część funkcji programu sterującego opracowanego w poprzednim etapie pracy została usunięta, inne przystosowano do specyfiki manipulatora robota o udźwigu 2,5 kg. Procedury związane z obsługą panelu programowania stały się integralną częścią programu sterującego.

Uwzględniono inną niż w przypadku robotów IRp-6/60 mechanikę manipulatora, dostosowując do niej oprogramowanie układu sterowania poprzez wprowadzenie nowych parametrów matematycznych. Następnym krokiem będzie dołączenie do programu modelu kinematycznego manipulatora robota i zapewnienie w ten sposób również możliwości sterowania CP. Zostaną wtedy wprowadzone nowe funkcje programu umożliwiające sterowanie CP manipulatorem robota. Ponadto przystosowano program sterujący do współpracy z manipulatorem o sześciu stopniach swobody.

W niniejszej pracy opisano także zasady ręcznego sterowania manipulatorem robota. Perspektywiczny panel programowania opracowano w dwóch wykonaniach: z joystick'iem i bez joystick'a. Dla robota IRp-2,5 wykorzystuje się panel, w którym zastosowano przyciski, przy pomocy których istnieje możliwość poruszania manipulatorem robota. Na żądanie użytkownika możliwe jest zastosowanie panelu wyposażonego w joystick.

---

Zasady tworzenia, poprawiania i uruchamiania programów użytkowych, ogólne zasady dotyczące działania programu użytkowego, język programowania robota z punktu widzenia użytkownika oraz sposoby zgłaszania przez program sterownika sytuacji błędnych celowo pozostały bez większych zmian. Zachowanie dotychczasowej konwencji programu użytkowego ma na celu utrzymanie ciągłości opracowań robotowych Instytutu.

Struktura oprogramowania organizacyjnie pozostała bez zmian, co umożliwia łatwość interpretacji i przenoszenia fragmentów oprogramowania pomiędzy różnymi typami robotów opracowywanych w PIAP.

Wszystkie funkcje realizujące ruch manipulatora zbudowane są na tyle uniwersalnie, że możliwe będzie korzystanie z nich bez zmian po dołączeniu, tworzonych obecnie, funkcji przeliczających model kinematyczny manipulatora i potrzebnych do następnego etapu pracy.

## 2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA PROGRAMU STERUJĄCEGO.

Program sterujący dający możliwość sterowania MP manipulatorem robota musi zapewniać ruch pomiędzy dowolnymi punktami przestrzeni roboczej - punktem końcowym narzędzia (TCP). Program sterujący robota IRP-2,5 realizuje to zadanie przy pomocy ruchu quasiliniowego, tj. takiego, w którym trajektoria ruchu jest wypadkową jednoczesnego ruchu wszystkich osi manipulatora ze stałą prędkością, określoną niezależnie dla każdej z nich. W konsekwencji końcówka narzędzia porusza się ruchem zbliżonym do ruchu liniowego, ze stałą prędkością. Możliwe jest wykonanie ruchu z dobrą interpolacją linii prostej, przez stosowanie wielu punktów pośrednich.

Charakterystyczną cechą ruchu we współrzędnych wewnętrznych jest możliwość sprawdzania ograniczeń położenia każdej z osi osobno. W tym przypadku program sterujący nie kontroluje położenia punktu TCP w wolnej przestrzeni roboczej, co może objawić się jej przekroczeniem (możliwość kolizji np. z obudową manipulatora). Konieczne jest więc świadome wybieranie trajektorii ruchu, tak aby nie kolidowała ona z elementami otoczenia i manipulatora.

Podstawowa różnica pomiędzy dotychczasowym programem sterującym (ze zmodernizowanym panelem programowania) dla robota IRP-2,5 a nowym (dla panelu perspektywicznego) polega na przeniesieniu większej części oprogramowania panelu do programu sterującego, zapisanego w pamięci EPROM pakietu ML-16. Perspektywiczny panel programowania pracuje jako terminal; jest on zbudowany w oparciu o mikroprocesor I-8051, posiada 8 kb pamięci wewnętrznej, zawierającej program obsługi panelu, w skład którego wchodzi procedura obsługi klawiatury, wyświetlacza i łącza szeregowego RS232.

Program sterujący identyfikuje rodzaj zastosowanego panelu programowania i wykonuje odpowiedni algorytm obsługi panelu. Jest to konieczne ze względu na różne formy realizacji ręcznego poruszania manipulatorem robota (joystick czy przyciski) i uniknięcie częstych i kłopotliwych zmian oprogramowania panelu dla różnych jego wykonawców. Obsługa ręcznego poruszania manipulatorem robota polega na dokonaniu odczytu stanu joystick'a lub przycisków sterowania osiami i wysłaniu uzyskanych informacji (w przypadku rozwiązania z przyciskami wysyłany jest kod wciśniętego przycisku, a w przypadku joystick'a - wartości wychyleń dla poszczególnych osi) do sterownika, którego zadaniem jest sterowanie wykonaniem zadanego ruchu manipulatorem.

Panel programowania posiada dwurzędowy, 40-znakowy wyświetlacz alfanumeryczny, zapewniający wyświetlanie komunikatów programu sterującego, instrukcji programu użytkowego, zmiennego znaczenia przycisków funkcyjnych, (nowy panel zawiera ich 5, są one

umieszczone bezpośrednio pod wyświetlaczem). Podstawową różnicą w stosunku do poprzedniego programu jest tu przeniesienie przycisku 'menu'. Funkcję tę spełnia jeden (piąty) z przycisków funkcyjnych tylko w tym przypadku, gdy jest to konieczne. Do linii przycisków funkcyjnych przeniesiono też takie przyciski jak : przeglądanie tekstu, potwierdzenie wprowadzenia parametru numerycznego oraz możliwość jego skasowania.

Oprogramowanie sterownika steruje diodami świecącymi, umieszczonymi przy przyciskach, diody te ułatwiają stwierdzenie stanu pracy, w jakim znajduje się panel programowania. W wykonaniu dla robota IRp-2,5 kg. diod tych jest 11 (stan pracy panelu, układ ruchu manipulatora, grupa sterowanych osi manipulatora).

Program sterujący jest napisany pod systemem iAPX 86,88 FAMILY UTILITIES USER'S GUIDE, w językach C, assemblerze i PL/M. Wszystkie funkcje są umieszczone w katalogu 'MAIN' w kilku podkatalogach. Poszczególne podkatalogi zawierają funkcje programu pogrupowane według ich zadań i są następujące :

- MAIN - procedury startowe i inicjalizujące system,
- EPROM - wersja programu do zapisania w układach EPROM,
- EXTMOV - funkcje ruchu we współrzędnych zewnętrznych (w opracowaniu),
- GLOBSPAC - tablica programów użytkowych,
- HARDWARE - funkcje opisujące hardware systemu,
- MASMEM - współpraca z pamięcią kasetową,
- HELP - wydruki pomocnicze dla uruchamiania oprogramowania,
- INTMOV - funkcje ruchu we współrzędnych wewnętrznych,
- INTRPRTR - wykonywanie instrukcji programu użytkowego,
- MANMOV - funkcje umożliwiające ręczne operowanie robotem,
- MATH87 - funkcje koprocatora,
- OPERPNL - funkcje umożliwiające obsługę panelu operacyjnego,
- PROGPNL - funkcje umożliwiające obsługę panelu programowania:
  - EDIT - edycja programu użytkowego,
  - GS\_SERV - operacje na tablicy programów użytkowych,
  - MANOPER - ręczne operowanie manipulatorem,
  - OTHERINS - programowanie instrukcji (bez pozycjonowania),
  - POSINS - programowanie instrukcji pozycjonowania,
  - START - wystartowanie programu użytkowego,
- STDIO - obsługa łącza szeregowego:
  - IO\_MI24 - pakietu MI-24,
  - IO\_PANEL - panelu programowania.

Program jest kompilowany, linkowany i lokowany w zależności od potrzeb (w tym przypadku umieszczony jest pod adresem 40000H) i następnie zapisywany w pamięciach EPROM typu 27128, które umieszcza się w pakiecie ML-16 systemu robota. Dla prawidłowej pracy programu konieczne jest ponadto umieszczenie w pakiecie pamięci RAM (o rozmiarze FFFF i od adresu 60000H).

---

W następnym etapie pracy do programu sterującego zostanie dołączony, w postaci oddzielnego, niezależnego modułu, model kinematyczny manipulatora robota IRp-2,5, co pozwoli zrealizować sterowanie CP. Ruch końcówką manipulatora będzie opisywany za pomocą współrzędnych zewnętrznych oraz orientacji narzędzia, w tej też postaci będzie przechowywany w ciele instrukcji użytkowych.



### 3. PANEL PROGRAMOWANIA I PANEL OPERACYJNY.

---

Panel programowania jest uniwersalnym, przenośnym urządzeniem przeznaczonym do komunikacji pomiędzy człowiekiem a układem sterowania robota. Posiada on podstawowe funkcje przewidziane dla monitora ekranowego oraz takie cechy jak umożliwienie ręcznego sterowania manipulatorem robota, czy obsługa stopu awaryjnego oraz odpowiednią odporność na warunki środowiska. Jego dokładny opis podano w pracy [6].

Panel programowania pracuje w standardzie V24. Posiada on wyświetlacz alfanumeryczny, 40-znakowy, na którym mogą być wyświetlane znaki ASCII, znaki zaprogramowane przy pomocy odpowiednich sekwencji sterujących oraz znaki charakterystyczne dla typu wyświetlacza (M4032). Istnieje możliwość programowania do 16 własnych matryc znakowych oraz mrugania części lub całości tekstu na wyświetlaczu. Większość parametrów pracy panelu jest programowana z zewnątrz, w tym przypadku z programu sterującego.

Panel programowania jest wyposażony w klawiaturę, która może zawierać do 64 przycisków. Klawiatura wystarczająca do pracy z robotem zawiera około 50 przycisków (wraz z przyciskami do ręcznego poruszania manipulatorem - taki panel zastosowano dla robota IRp-2,5 kg.). Znaczenie poszczególnych przycisków zostanie opisane poniżej.

Inicjalizacja pracy PPP (perspektywicznego panelu programowania) następuje po załączeniu zasilania. Obejmuje ona inicjalizację układów współpracujących z mikroprocesorem (timer, układu transmisji, portów we/wy), wykonanie autotestu PPP w zakresie działania pamięci RAM i PROM oraz dokonanie identyfikacji zastosowanego panelu programowania. Wyczyszczenie wyświetlacza oraz zgłoszenie się programu sterującego (poprzez pokazanie numeru wersji programu) oznacza, że układ sterowania wraz z panelem jest gotowy do pracy.

Panel programowania posiada wbudowane testy umożliwiające sprawdzenie poprawności jego pracy. Po włączeniu zasilania wykonywany jest automatyczny test pamięci RAM i EPROM, kontynuacja pracy panelu jest możliwa jedynie po pozytywnym wyniku tego testu. O dokonaniu dalszych testów decyduje operator, jednak ich wykonanie jest możliwe tylko po pozytywnym wyniku testów pamięci. Panel posiada test klawiatury, diod, joystick'a, pamięci, łącza szeregowego oraz budzika.

Panel operacyjny jest integralną częścią układu sterowania robota. Jest on wyposażony w szereg przycisków i lampek pozwalających operatorowi na wykonanie podstawowych czynności, związanych z obsługą robota oraz informujących o przebiegu pracy układu sterowania. Lampki i przyciski panelu operacyjnego zostały

---

dokładnie opisane w poprzednich pracach dotyczących robotów [2,4,7]

Panel operacyjny umożliwia załączenie układu sterowania, a więc i wystartowanie programu sterującego. Większość czynności, jakie wykonywane są przez program sterujący, można zainicjować zarówno z panelu operacyjnego sterownika, jak też z panelu programowania. Jedynie rozpoczęcie procesu synchronizacji jest możliwe tylko z panelu operacyjnego.

#### 4. BUDOWA PROGRAMU STERUJĄCEGO.

---

Standardowy program sterujący, jego budowa i działanie dla układu sterowania ze zmodernizowanym panelem programowania zostały dokładnie opisane w literaturze [5]. Schematy blokowe pętli głównej oraz podstawowych funkcji programu dla badań manipulatora robota IRp-2,5 kg przedstawiono w opracowaniu [3].

W poniższym rozdziale zajmiemy się tylko wyjaśnieniem różnic, jakie w stosunku do tego programu, wykazuje program sterujący z zastosowaniem perspektywicznego panelu programowania i sterowaniem MP opracowany dla prototypu manipulatora robota IRp-2,5 kg.

Główną procedurą programu sterującego robota IRp-2,5 jest funkcja 'main', która jest wywoływana z procedury startowej (start.asm). Jej zadaniem jest inicjalizacja systemu, programu sterującego oraz sprzętu robota.

Inicjalizacja wykonywana jest w efekcie wywołania z funkcji 'main' następujących funkcji :

- initmain() - wynikiem działania tej funkcji jest załączenie sygnału ctrlrdy oraz inicjacja zmiennych i procedur programowych (obszaru programów użytkowych, interpretera, hardware'u, panelu programowania, urządzenia do sterowania manipulatorem), a następnie zapalenie i zgaszenie lampek panelu operacyjnego i miganie lampki SYN,
- getfrst() - funkcja ta odnajduje i wyświetla (jeśli istnieje) pierwszą instrukcję programu użytkowego ,
- version() - wyświetlenie wersji programu sterującego.

Po inicjalizacji działania systemu następuje testowanie, czy nie wystąpił błąd związany z pracą sprzętu:

- brak gotowości osi,
- stop awaryjny,
- zbyt duży błąd położenia,
- wyjście ze stanu 'praca',
- za wysoka temperatura w sterowniku,
- utrata synchronizacji,
- przeciążenie,
- inne błędy.

Wystąpienie któregośkolwiek z wymienionych błędów powoduje wywołanie funkcji error(n), (gdzie n - numer błędu), która ustawia system w stan ERROR\_STATE oraz załącza miganie lampki BŁĄD.

Podstawowy algorytm pracy programu sterującego został zmodyfikowany i w chwili obecnej zamiast pętli programowej regularnie sprawdzającej zdarzenia w systemie robota (o stałej ścieżce krytycznej), program "oczekuje" na dowolne zdarzenie zewnętrzne i realizuje je aż do momentu wystąpienia nowego

---

zdarzenia. Stąd w szczególnych przypadkach algorytm może być wykonywany w obrębie jednego zadania przez długi okres czasu.

Jako zdarzenie rozumie się tu jeden z niżej wymienionych stanów :

- pozycjonowanie końcówki manipulatora,
- inne instrukcje programu użytkowego (z wyłączeniem pozycjonowania).
- ręczne poruszanie manipulatorem,
- edycja programu użytkowego.

## 5. PODSTAWOWE CZYNNOSCI PROGRAMU STERUJĄCEGO.

---

### 5.1. Ręczne operowanie manipulatorem.

---

Ręczne poruszanie manipulatorem robota program sterujący umożliwia w połączeniu z panelem programowania.

PPP zastosowany dla robota IRp-2,5 wykorzystuje do tego celu czternaście przycisków, umieszczonych w prawej części płyty czołowej panelu.

Dwa górne przyciski służą do przełączania na dwie możliwe grupy sterowanych osi (dla robota IRp-2,5 wykorzystywana jest tylko pierwsza z nich), zaś 12 pozostałych służy do poruszania manipulatorem. Każda oś jest obsługiwana przez dwa przyciski, oznaczone numerem osi ze znakiem "+" lub "-". Przyciski ze znakami "-" przed numerem osi poruszają manipulatorem w kierunku zgodnym z kierunkiem przebiegu synchronizacji robota, a przyciski ze znakiem "+" przed numerem osi - w kierunku przeciwnym do kierunku przebiegu synchronizacji.

### 5.2. Edycja programu użytkowego.

---

"Edycja programu użytkowego" jest stanem podstawowym i koniecznym dla opracowania programu użytkowego. Jego instrukcje zostały wymienione poniżej (patrz punkt 6.3.a). Stan ten umożliwia wprowadzenie programu do pamięci RAM systemu oraz jego uruchamianie, a także przeglądanie.

W trakcie pracy nad uruchamianiem oprogramowania użytkowego - "uczenia robota" - niejednokrotnie zachodzi konieczność dokonania zmian instrukcji lub ich parametrów numerycznych, czy też dopisania fragmentu programu. Wykorzystanie funkcji przeglądania programu w przód i w tył umożliwia jego analizowanie i poprawianie.

Możliwe jest usunięcie jednej lub kilku następujących po sobie instrukcji, wstawienie nowej instrukcji pomiędzy dwie już istniejące. Nową w stosunku do poprzedniej wersji programu jest instrukcja przenieumerowania, której wykonanie spowoduje, że instrukcje programu użytkowego będą ponumerowane ze skokiem '10'.

### 5.3. Programowanie innych instrukcji.

---

Stan "programowanie innych instrukcji" zawiera większość instrukcji możliwych do wprowadzenia do programu użytkowego, wymienionych w punkcie 6.3. niniejszej pracy. Jedynie instrukcja pozycjonowania jest programowana z innego stanu pracy panelu.

Dla programu robota IRp-2,5 ze sterowaniem MP zostały usunięte instrukcje zbędne oraz takie, których programowanie bez modelu kinematycznego robota miałyby się z celem.

Większość instrukcji programu użytkowego jest znana z poprzednich wersji programu sterującego, ich składnia jak też stosowanie pozostało bez zmian. Czytelnika nie znającego sposobu ich programowania odsyłamy do wcześniejszych prac, a w szczególności do "Podręcznika programowania robotów IRp". [4]

Można tu jedynie wspomnieć, że są to instrukcje z parametrami, w większości przypadków numerycznymi, wprowadzanymi za pomocą klawiatury numerycznej panelu programowania lub też za pomocą przycisków funkcyjnych odpowiednio dla każdej instrukcji definiowanych.

### 5.4. Pozycjonowanie quasiliniowe.

---

Dla potrzeb sterowania MP manipulatorem robota wystarczającą jest funkcja pozycjonowania quasiliniowego, tzn, takiego, w którym wartość każdej współrzędnej wewnętrznej robota zmienia się liniowo w funkcji czasu.

Występuje wtedy jednoczesna praca wszystkich sterowników osi robota, a więc, w konsekwencji, zmiana położenia wszystkich osi robota. Prędkość ruchu jest prędkością wypadkową, wspólną dla wszystkich osi.

Punkt końcowy narzędzia przemieszcza się liniowo w przestrzeni współrzędnych wewnętrznych. Nie jest to jednak ruch liniowy w przestrzeni kartezjańskiej, ze względu na nieliniowe przekształcenie współrzędnych wewnętrznych na współrzędne kartezjańskie.

### 5.5. Praca ręczna.

---

Program sterujący wraz z panelem programowania umożliwia wykonanie kilku prostych funkcji, bardzo przydatnych dla operatora robota. Zaliczyć tu należy odczytanie punktu odniesienia i możliwość jego zapamiętania oraz odczytanie aktualnej pozycji (dla sterowania MP odbywa się to we współrzędnych wewnętrznych), sprawdzenie wielkości wolnego obszaru pamięci programów

użytkowych, możliwość zmiany prędkości wykonywania programu użytkowego. Ponadto funkcja pracy ręcznej pozwala na obsługiwanie pamięci kasetowej PK z panelu operacyjnego (odczyt i zapis programów użytkowych).

#### 5.6. Operacje na chwytakach.

Program sterujący zapewnia sterowanie chwytakami robota zarówno poprzez instrukcje programu użytkowego ("programowanie innych instrukcji"), jak też ręczne. Sterowanie chwytakami jest czynnością prostą, nie wymagającą wielu wyjaśnień. Do ręcznego sterowania służą cztery przyciski opisane powyżej, sterowanie programowe umożliwia instrukcja CHWYTAK, z parametrem numerycznym (numer chwytaka) i dwoma sygnałami sterującymi: zwolnij, chwyć.

#### 5.7. Synchronizacja robota.

Synchronizacja robota jest najważniejszym i jednocześnie koniecznym do wykonania procesem. Bez jej dokonania nie można tworzyć programu użytkowego ani poruszać manipulatorem robota w pracy automatycznej. Przed zsynchronizowaniem robota możliwy jest ruch we współrzędnych wewnętrznych, przy czym wskazana jest szczególna ostrożność w manipulowaniu robotem, gdyż system nie kontroluje przekroczenia ograniczeń ruchu w osiach, i można łatwo doprowadzić do uszkodzenia manipulatora lub jego napędów.

Proces synchronizowania robota rozpoczyna się po naciśnięciu lampki - przycisku "start synchronizacji" na panelu operacyjnym, oznaczonego znakiem " ", świecącego czerwonym migającym światłem, jeśli robot nie jest zsynchronizowany. Na wyświetlaczu PPP pojawia się wtedy komunikat "SYNCHRONIZACJA ROBOTA", a lampka przycisku zapala się światłem ciągłym. Panel programowania nie posiada przycisku, który umożliwiłaby tę czynność.

Dokonanie synchronizacji jest możliwe tylko przy załączonych napędach. Manipulator robota należy wcześniej doprowadzić do pozycji "przed synchronizacją", tzn. takiej, aby możliwy był ruch w każdej z osi w kierunku zgodnym z kierunkiem przebiegu procesu synchronizacji robota. Proces synchronizacji można zatrzymać poprzez naciśnięcie przycisku "stop synchronizacji" i ponownie wystartować. W przypadku wystąpienia błędów w trakcie trwania procesu, na wyświetlaczu panelu programowania podany zostanie odpowiedni komunikat. Prawidłowe zakończenie procesu to zgaśnięcie lampki i przejście panelu programowania do 'stanu pracy automatycznej'.

### 5.8. Wykonywanie programu użytkowego.

---

Program użytkowy może zostać wprowadzony do pamięci RAM systemu za pomocą panelu programowania (tzw. uczenie robota) lub przy wykorzystaniu pamięci kasetowej PK, pod warunkiem, że wcześniej taki program został opracowany i zapisany na taśmie.

Wystartowanie programu jest możliwe po dokonaniu synchronizacji manipulatora robota i wejściu do stanu "praca automatyczna".

Wykonywanie programu użytkowego można rozpocząć od jego pierwszej instrukcji lub od aktualnie pokazanej na wyświetlaczu, a także można wykonywać go krokowo - po jednej instrukcji (patrz punkt 6.3).

Podczas pracy robota, na wyświetlaczu panelu wyświetlany jest mnemonik aktualnie wykonywanej instrukcji. Wykonywanie programu użytkowego można w dowolnej chwili przerwać, poprzez naciśnięcie przycisku "stop programu" na panelu operacyjnym lub panelu programowania.



## 6. TWORZENIE OPROGRAMOWANIA UŻYTKOWEGO.

### 6.1. Współpraca programu sterującego z panelem programowania.

Główna część oprogramowania panelu programowania jest zawarta w programie sterującym, w podkatalogu 'PROGPANL' katalogu 'MAIN'. Poszczególne funkcje panelu programowania są oddzielnymi podprogramami, napisanymi w języku C, assemblerze i PLM oraz są pogrupowane według swoich zadań w sześciu podkatalogach.

- Współpraca pomiędzy programem sterującym a panelem polega na:
- odczycie stanu przycisków, znajdujących się na panelu oraz wysłaniu do sterownika kodu odpowiadającego wciśniętemu przyciskowi,
  - świecenie odpowiednią diodą LED, w zależności od stanu pracy panelu, wyznaczonego przez program sterujący,
  - wyświetlanie komunikatu przesłanego z programu sterującego.

### 6.2. Podstawowe funkcje panelu programowania.

Perspektywiczny panel programowania jest szczegółowo opisany w pracy [6], praca [2] zawiera natomiast opis tego panelu w przypadku zastosowania go do robota IRp-2,5 kg.

Panel programowania wraz z programem sterującym umożliwia użytkownikowi wykonanie kilku podstawowych czynności, związanych z obsługą robota. Są one następujące :

- 1). poruszanie manipulatorem robota,
- 2). tworzenie, poprawianie i uruchamianie programu użytkowego,
- 3). wprowadzanie parametrów numerycznych instrukcji,
- 4). sterowanie wykonaniem programu użytkowego,
- 5). zmiana prędkości wykonywania programu użytkowego,
- 6). wybór układu współrzędnych dla ręcznego operowania manipulatorem robota,
- 7). operacje na chwytakach.

ad. 1).

Panel programowania został zaprojektowany w dwóch wykonaniach. Pierwsze, zastosowane do robota IRp-2,5 kg, do sterowania manipulatorem robota wykorzystuje przyciski, zaś drugie, którym tu nie będziemy się zajmować, posiada joystick wraz z płytką zezwolenia. PPP posiada możliwość sterowania 12 osiami robota, a to dzięki zastosowaniu dwóch przycisków, przełączających grupy sterowanych osi.

ad. 2).

Pisanie programów użytkowych, wymagające dokładniejszych wskazówek zostanie omówione w dalszych punktach niniejszej pracy. Do tego celu używa się praktycznie całej klawiatury panelu, wraz z pięcioma przyciskami funkcyjnymi, które są definiowane w sposób zmienny (dla danego stanu pracy panelu).

ad. 3).

Klawiatura numeryczna panelu programowania zawiera 12 przycisków i jest wykorzystywana przede wszystkim w czasie "uczenia" robota. Przy jej pomocy wprowadza się, a także zmienia parametry numerycznej instrukcji programu użytkowego (jeśli oczywiście takie istnieją).

ad. 4).

Sterowanie wykonaniem programu użytkowego jest możliwe w stanie "pracy automatycznej" przy pomocy przycisków funkcyjnych F1 F3 (patrz pkt 6.4).

Przycisk F4 zapewnia tu możliwość zwiększania lub zmniejszania prędkości wykonywania programu użytkowego, a F5 pozwala na włączenie lub wyłączenie symulacji stanów we/wy pakietu MC-42.

Ponadto panel programowania posiada przycisk do zatrzymania wykonywania programu użytkowego. Jest to przycisk "stop", oznaczony znakiem : " o " i znajduje się on w lewym dolnym rogu panelu.

ad. 5).

Dwa przyciski, w lewym dolnym rogu panel, oznaczone "-%" oraz "+%", służą do zmiany prędkości wykonywania programu użytkowego. Jak się łatwo domyśleć przycisk z "plusem" powoduje jej zwiększenie, a przycisk z "minusem" - zmniejszenie.

ad. 6).

Ta grupa zawiera cztery przyciski, trzy z nich służą do przełączania układu pracy manipulatora, zaś czwarty - umożliwia operowanie manipulatorem robota we współrzędnych wewnętrznych, z wysyłaniem pojedynczych inkrementów jego ruchu.

ad. 7).

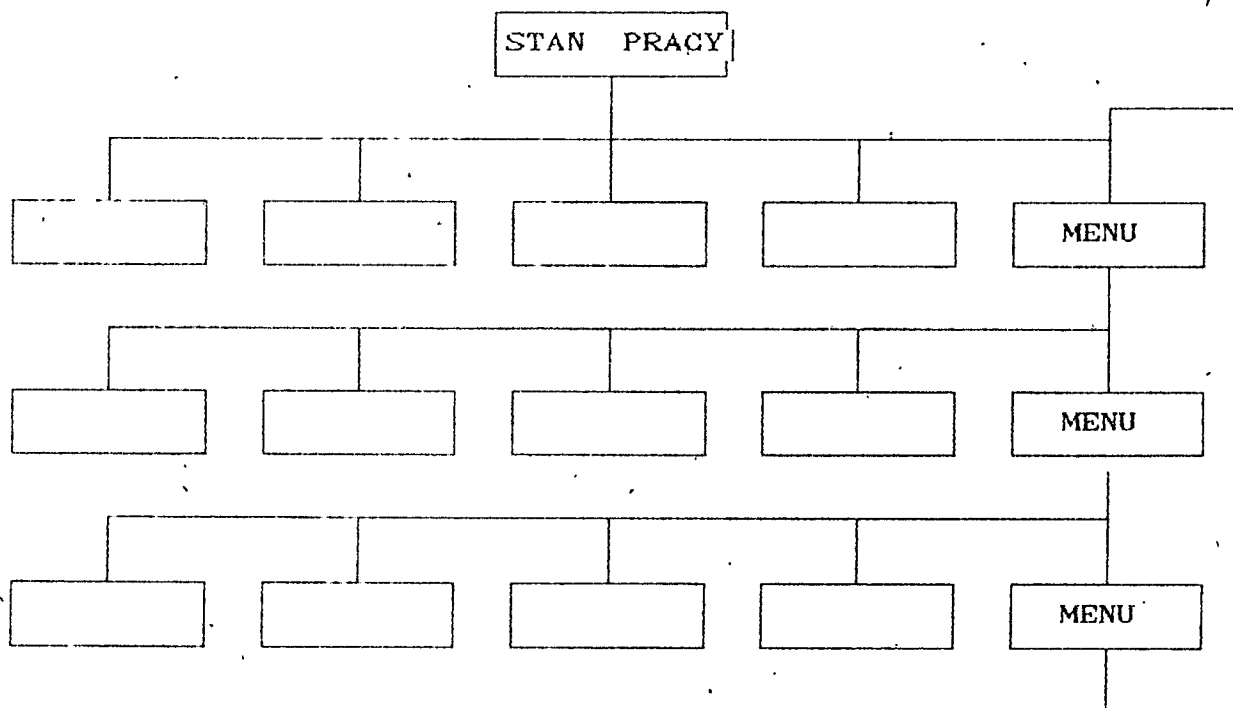
Do obsługi chwytaków panel programowania posiada cztery przyciski. Umożliwiają one ręczne sterowanie ich otwieraniem i zamykaniem.

### 6.3. Stany pracy panelu programowania.

---

Tworzenie, poprawianie i uruchamianie programu użytkowego jest obok funkcji ręcznego poruszania manipulatorem podstawową funkcją panelu programowania. Podstawowymi dla tego celu są przyciski zmiany stanu pracy panelu oraz przyciski funkcyjne.

Stany pracy perspektywicznego panelu programowania można zilustrować następującym rysunkiem :



Puste okienka to poszczególne funkcje danego stanu pracy. Przełączanie "w głąb" jest możliwe przy pomocy przycisku opisanego jako "MENU". W zależności od tego, ile dany stan zawiera funkcji, tyle będzie wykorzystywał "okienek" pustych. Ostatnie okienko (piąty przycisk funkcyjny) zawsze odpowiada przyciskowi "MENU" i jest definiowany, gdy zachodzi taka potrzeba.

W zależności od stanu pracy, w jakim panel się znajduje, możliwe jest, poprzez naciśnięcie jednego z pięciu przycisków funkcyjnych, wykonanie następujących operacji :

- a). stan "edycja" - przycisk oznaczony znakiem "F → G" :
  - przeglądanie programu użytkowego w przód,
  - przeglądanie programu użytkowego w tył,
  - usuwanie jednej lub grupy instrukcji programu użytkowego,
  - wstawianie instrukcji pomiędzy wyświetloną a następną,
  - skok do początku programu użytkowego,
  - skok do końca programu użytkowego,
  - zmianę parametrów numerycznych instrukcji,
  - skok do instrukcji o podanym numerze,
  - dwukrokowe przenumerowanie instrukcji programu użytkowego,
- b). stan "programowanie instrukcji pozycjonowania" - przycisk oznaczony znakiem "↓" :
  - pozycjonowanie bezwzględne lub względne typu MP (quasiliniowe) z programowalną prędkością ruchu lub czasu

jego trwania i sposobem osiągnięcia zadanego położenia (zgrubne/dokładne),

- c). stan "programowanie innych instrukcji" - przycisk oznaczony literą "F" :
- instrukcja skoku bezwarunkowego lub warunkowego,
  - instrukcja czekania warunkowego lub czasowego,
  - instrukcja ustawiania flagi lub wyjścia o zadanym numerze na flagę, wejście, wyjście lub wartość stałą,
  - instrukcje operacji na chwyதாகach (chwyć, zwolnij),
  - instrukcja początku pętli programowej,
  - instrukcja końca pętli programowej,
  - instrukcje związane z wykonywaniem podprogramów,
- d). stan "praca ręczna" - przycisk oznaczony znakiem "⊞" :
- zapamiętanie punktu odniesienia,
  - zapisanie programu użytkowego do PK,
  - odczyt programu użytkowego z PK.
  - sprawdzenie, jaka część pamięci programów jest wolna,
  - odczytanie aktualnej pozycji we współrzędnych wewnętrznych,
  - zmiana prędkości wykonywania programu użytkowego,
- e). stan "praca automatyczna" - oznaczony znakiem "⊠" :
- sterowanie wykonaniem programu użytkowego.

Opracowany program użytkowy można zapisać na taśmie magnetycznej w celu późniejszego wykorzystywania, jego uruchomienie jest możliwe z panelu operacyjnego lub panelu programowania, znajdującego się w stanie pracy "praca automatyczna".

#### 6.4. Sterowanie wykonaniem programu użytkowego.

Sterowanie wykonaniem programu użytkowego, jak już wspomniano wcześniej, następuje w stanie pracy "praca automatyczna". Panel programowania umożliwia wtedy :

- 1). start od pierwszej instrukcji programu użytkowego,
- 2). start od bieżącej (aktualnie wyświetlonej) instrukcji programu,
- 3). pracę krokową (wykonanie wyświetlonej instrukcji),
- 4). wyświetlenie procentowej wartości prędkości wykonywania programu użytkowego (kontrola zmiany tej wartości przy pomocy przycisków "±%"),
- 5). włączanie i wyłączanie układu symulacji we/wy użytkownika.

Powyższe funkcje są wykonywane po wciśnięciu odpowiednio opisanego przycisku funkcyjnego (F1 ÷ F5).

---

7. WNIOSKI KOŃCOWE.

Oprogramowanie ze sterowaniem MP dla robota IRp-2,5 kg., opracowane w ramach etapu 4 tematu K 153.2 może być sprzedawane dla tych zastosowań, w których nie jest wymagany ruch końcówki manipulatora (TCP), opisywany we współrzędnych zewnętrznych związanych z podstawą robota.

Ruch punktu TCP. jest ruchem 'quasiliniowym'. W celu uzyskania ruchu prostoliniowego stosować można wielopunktową aproksymację linii prostej. Możliwe jest otrzymanie każdego toru ruchu (przybliżonego) poprzez taką wielopunktową aproksymację, także ruchu po okręgu.

Ze względu na to, że dotychczas prace nad oprogramowaniem są prowadzone przy użyciu modelu użytkowego manipulatora robota, oprogramowanie zostało tak opracowane, aby możliwe było łatwe dostosowanie go do nowego manipulatora (prototypu). Czynność ta będzie obejmować wprowadzenie sześciu parametrów stałych, określających prędkości w poszczególnych osiach.

System kompilacji IAPX, przy pomocy którego jest tworzone powyższe oprogramowanie, jest narzędziem znacznie ograniczającym efektywność pracy programistów oraz zwiększającym ryzyko niewykrycia błędów, powstałych podczas procesu projektowania (nie wszystkie stany nieprawidłowe są sygnalizowane przez system).

W przypadku przenoszenia programu sterującego na inny sterownik lub pod inny system operacyjny, należałoby zastanowić się nad odseparowaniem od siebie (zlokowaniem i przepaleniem w oddzielnych kościach EPROM) niektórych, charakterystycznych modułów oprogramowania, np. modelu kinematycznego, obsługi panelu programowania itp. Umożliwiłoby to lepszą kontrolę nad całością oprogramowania, łatwiejszy podział pracy pomiędzy programistów oraz szybszy i łatwiejszy sposób uruchamiania danego modułu (kompilacja i transmisja tylko modułu nad którym się aktualnie pracuje).

---

## 8. LITERATURA.

---

- [1] - Wykonanie programu sterującego dla robota IRp-2,5 kg. Opracowanie założeń na oprogramowanie. - Sprawozdanie PIAP - nr rej. 5957.
- [2] - Wykonanie programu sterującego dla robota IRp-2,5 kg. Wykonanie projektu systemu. - Sprawozdanie PIAP - nr rej. 6427.
- [3] - Wykonanie programu sterującego dla robota IRp-2,5 kg. Wykonanie oprogramowania podstawowego dla celów przeprowadzenia badań modelu robota. - Sprawozdanie PIAP - nr rej. 6509.
- [4] - Podręcznik programowania robotów IRp-6/60 z perspektywicznym panelem programowania. - Dokumentacja eksploatacyjna PIAP - nr rej. 6560.
- [5] - Opis programu sterującego robotów IRp-6/60. - Dokumentacja eksploatacyjna PIAP - nr rej. 17/2/2.
- [6] - Panel programowania. Podręcznik użytkownika. - Dokumentacja eksploatacyjna PIAP - nr rej. 6561.
- [7] - Obsługa układu sterowania robotów IRp. - Dokumentacja eksploatacyjna PIAP.

9. DODATKI.DODATEK 1. PROGRAM UŻYTKOWY DLA DEMONSTRACJI PRACY ROBOTA  
IRP-2,5 KG.

10 POCZĄTEK: WYKONAJ PODPROGRAM 330  
20 KONIEC: WYKONAJ PODPROGRAM 710  
30 WYKONAJ PODPROGRAM 440  
40 WYKONAJ PODPROGRAM 540  
50 POWTÓRZ 3 RAZY  
60 POZ QLIN, V=20%, DK, BW  
70 POZ QLIN, V=20%, DK, BW  
80 POZ QLIN, V=20%, DK, BW  
90 POZ QLIN, V=20%, DK, BW  
100 POZ QLIN, V=20%, DK, BW  
110 POZ QLIN, V=20%, DK, BW  
120 POZ QLIN, V=20%, DK, BW  
130 KONIEC POWTARZANIA  
140 WYKONAJ PODPROGRAM 440  
150 POZ QLIN, T=10S, DK, BW  
160 POZ QLIN, T=10S, DK, BW  
170 POZ QLIN, T=5S, DK, BW  
180 POZ QLIN, T=5S, DK, BW  
190 WYKONAJ PODPROGRAM 330  
200 POZ QLIN, V=40%, DK, BW  
210 POZ QLIN, V=40%, DK, BW  
220 POZ QLIN, V=40%, DK, BW  
230 POZ QLIN, V=20%, DK, BW  
240 POZ QLIN, V=20%, DK, BW  
250 POZ QLIN, V=20%, DK, BW  
260 POZ QLIN, V=100%, DK, BW  
270 POZ QLIN, V=100%, DK, BW  
280 POZ QLIN, V=100%, DK, BW  
290 POZ QLIN, V=100%, DK, BW  
300 POZ QLIN, V=100%, DK, BW  
300 POZ QLIN, V=100%, DK, BW  
310 POZ QLIN, V=100%, DK, BW  
320 SKOK DO 30  
330 PODPROGRAM  
340 USTAW WYI0J = 1  
350 USTAW WYI1J = 1  
360 USTAW WYI2J = 1  
370 USTAW WYI3J = 1  
380 USTAW WYI4J = 1  
390 USTAW WYI5J = 1  
400 USTAW WYI6J = 1  
410 USTAW WYI7J = 1  
420 CZEKAJ 5S  
430 POWRÓT  
440 PODPROGRAM

```
450 USTAW WY[0] = 0
460 USTAW WY[1] = 0
470 USTAW WY[2] = 0
480 USTAW WY[3] = 0
490 USTAW WY[4] = 0
500 USTAW WY[5] = 0
510 USTAW WY[6] = 0
520 USTAW WY[7] = 0
530 POWRÓT
540 PODPROGRAM
550 USTAW FL[0] = WE[0]
560 USTAW FL[1] = WE[1]
570 USTAW FL[2] = WE[2]
580 USTAW FL[3] = WE[3]
590 USTAW FL[4] = WE[4]
600 USTAW FL[5] = WE[5]
610 USTAW FL[6] = WE[6]
620 USTAW FL[7] = WE[7]
630 USTAW WY[8] = FL[0]
640 USTAW WY[9] = FL[1]
650 USTAW WY[10] = FL[2]
660 USTAW WY[11] = FL[3]
670 USTAW WY[12] = FL[4]
680 USTAW WY[13] = FL[5]
690 USTAW WY[14] = FL[6]
700 USTAW WY[15] = FL[7]
710 POWRÓT
720 PODPROGRAM
730 USTAW WY[0] = 0
740 USTAW WY[1] = 0
750 USTAW WY[2] = 0
760 USTAW WY[3] = 0
770 USTAW WY[4] = 0
780 USTAW WY[5] = 0
790 USTAW WY[6] = 0
800 USTAW WY[7] = 0
810 USTAW WY[8] = 0
820 USTAW WY[9] = 0
830 USTAW WY[10] = 0
840 USTAW WY[11] = 0
850 USTAW WY[12] = 0
860 USTAW WY[13] = 0
870 USTAW WY[14] = 0
880 USTAW WY[15] = 0
890 POWRÓT
```