

Andrzej SYRYCZYŃSKI, Piotr JABŁOŃSKI
Przemysłowy Instytut
Automatyki i Pomiarów PIAP
W a r s z a w a

UKŁAD STEROWANIA ROBOTÓW URP

W artykule przedstawiono koncepcję i realizację nowego układu sterowania rodziny robotów URP oferowanych przez PIAP. Opisano budowę i funkcje układu oraz przebiegi i wyniki badań prototypów.

1. WSTĘP

Dotychczas produkowane w PIAP roboty licencyjne IRb oraz postlicencyjne IRp przestały z biegiem lat odpowiadać rosnącym wymaganiom rynkowym i poziomowi reprezentowanemu przez nowe produkty firm zagranicznych. W stosunku do tych nowych wymagań należało krytycznie ocenić niezawodność, odporność na zakłócenia, jak również ograniczenia funkcjonalne. Dotyczyło to przede wszystkim części sterującej, gdyż postęp w zakresie elektroniki jest szczególnie szybki. Została przeprowadzona szczegółowa analiza oraz ustalono przyczyny zarejestrowanych przypadków uszkodzeń i błędów w pracy układów sterowania.

Głównym problemem w latach 80. była jakość stosowanych elementów elektronicznych. Ze względu na embargo i brak dewiz nie można było stosować wyłącznie elementów pochodzących od renomowanych firm zachodnich, zaś stosowanie elementów innych producentów powodowało zarówno uszkodzenia, jak i zakłócenia pracy przy wyższych temperaturach. Obecnie nie ma już takich ograniczeń.

Z biegiem lat w naturalny sposób uległa dezaktualizacji baza elementowa. Obecnie można realizować funkcje znacznie mniejszą liczbą elementów o lepszej jakości, przez co zmniejsza się pobór mocy i poprawia niezawodność. To samo dotyczy ograniczeń w technologii obwodów drukowanych. Dotychczas korzystano z dwuwarstwowych obwodów drukowanych, co pogarszało upakowanie elementów i ograniczało możliwości ekranowania, a w sumie obniżało odporność zakłóceńową; obecnie są dostępne technologie obwodów wielowarstwowych. Krajowi producenci obwodów drukowanych nie zapewniali wysokiej jakości, występowały przypadki wadliwej metalizacji otworów i nietrwałego powiązania ścieżek z laminatem.

Przed szeregiem lat nie były jeszcze znane i stosowane w wystarczającym stopniu zasady kompatybilności elektromagnetycznej przy projektowaniu urządzeń i obwodów drukowanych, co powodowało niższą odporność na zakłócenia niż można uzyskać obecnie.

Przedstawione powyżej problemy nakazywały podjęcie prac modernizacyjnych. Na początku 1991 r. powstała w Instytucie możliwość dokonania modernizacji układu

sterowania, mającej usunąć ujawnione wady i zarazem sprawić, aby oferowane produkty odpowiadały obecnemu poziomowi nowoczesności i aktualnym wymaganiom.

2. SFORMUŁOWANIE ZADANIA

Przy opracowaniu nowej koncepcji wykorzystano możliwie pełną informację o ujemnych cechach funkcjonalnych i eksploatacyjnych dotychczasowych rozwiązań, w czym okazało się cenne wieloletnie doświadczenie zespołów aplikacyjnych i serwisowych Instytutu. Wykorzystano także zebrany przez specjalistów znaczny zasób informacji o rozwiązaniach stosowanych za granicą. Przeprowadzono analizę funkcjonalną wszystkich części układu sterowania, w tym rozważono ich niezbędność. Starano się też skorelować możliwe do osiągnięcia cele, czas realizacji, środki będące do dyspozycji i skład zespołu realizatorów.

Przyjęto następujące cele modernizacji:

- 1) Poprawienie niezawodności, określanej jako średni czas między uszkodzeniami, do poziomu około 5000 godzin, to jest w przybliżeniu o rząd,
- 2) doprowadzenie poziomu odporności na zakłócenia elektromagnetyczne do wymagań norm międzynarodowych,
- 3) obniżenie prędkości montażu i uruchamiania układu sterowania o połowę,
- 4) usunięcie ograniczeń funkcjonalnych robotów wynikających z niewystarczającej mocy obliczeniowej i pojemności pamięci oraz innych wad dotychczasowych rozwiązań.

Przyjęto zarazem następujące uwarunkowania:

- 1) czas opracowania wraz z wykonaniem i uruchomieniem prototypów — 1 rok, a wraz z oprogramowaniem i badaniami pełnymi oraz rewizjami dokumentacji po badaniach — półtora roku,
- 2) tak krótki czas podyktował pozostanie w ramach stosowanej dotąd rodziny mikroprocesorów INTEL, a to ze względu na zakumulowaną wiedzę konstruktorów i co ważniejsze — programistów,
- 3) wykorzystanie bez zmian typoszeregu części manipulacyjnych, licencyjnych i opracowanych w PIAP, co implikuje pozostawienie także bez zmian elementów wykonawczych — silników prądu stałego i elementów pomiarowych położenia — transformatorów położenia kąowego (rezolwerów),
- 4) wykorzystanie i rozwinięcie opracowanych w poprzednim roku cyfrowego sterownika osi i pakietu jednostki centralnej sterownika do elastycznych systemów produkcyjnych.

3. OPIS UKŁADU STEROWANIA

W tej części pracy dokonana zostanie prezentacja układu sterowania robota, zarówno jako całości, jak i szczegółów jego najważniejszych bloków.

3.1. Struktura i funkcje

Opracowany układ sterowania jest nowoczesnym urządzeniem pozwalającym na sterowanie części manipulacyjnych robotów URP w całym zakresie ich wielkości, to jest o udźwigach nominalnych 3, 6, 10, 60 i 120 kg.

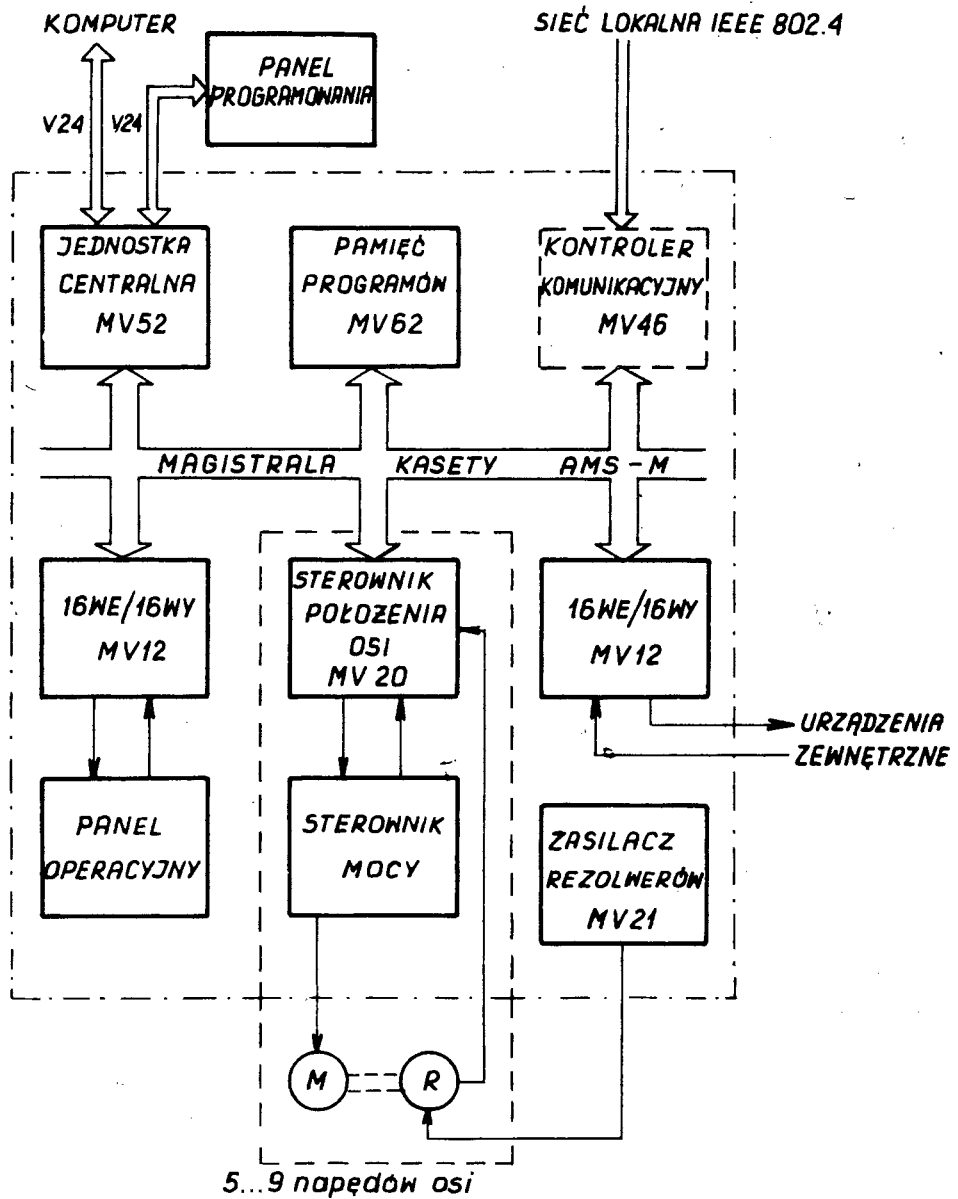
System sterowania robota jest oparty na zaawansowanej technice wielomikro-procesorowej, co umożliwia robotowi wykonywanie skomplikowanych funkcji, takich jak realizacja bardzo długich programów, natychmiastowe przechodzenie do innego programu, ruch prostoliniowy oraz ruch z interpolacją kołową między dowolnymi punktami w przestrzeni pracy robota.

Układ sterowania ma konstrukcję modułową, co umożliwia jego łatwą adaptację do różnego typu części manipulacyjnych, przez wymianę stopni mocy sterowników osi i związanego z nimi zasilacza. Możliwe jest obsługiwanie do 9 serwomechanizmów, z czego 5 lub 6 osi robota i 3 serwomechanizmów urządzeń współpracujących z robotem. Układ pozwala także na bardzo łatwe dopasowanie dynamiki napędu do wymagań aplikacji przez nastawianie parametrów serwomechanizmów cyfrowych. Powyższe walory układu sterowania oznaczają pełną unifikację całej rodziny robotów URP.

Układ sterowania jest umieszczony, łącznie ze sterownikami mocy silników, w szafie sterowniczej. Szafa sterownicza może być umieszczona z dala od części manipulacyjnej, co stosuje się w przypadku pracy robota w bardzo ciężkich warunkach otoczenia.

Schemat blokowy układu sterowania przedstawia rys. 1. Program robota jest realizowany przez pakiet jednostki centralnej MV52 zawierający w swojej pamięci stałej EPROM oprogramowanie funkcjonalne robota określające wykonywanie poszczególnych typów instrukcji. Za pośrednictwem magistrali kasety AMS-M pakiet jednostki centralnej wymienia informacje z większością pozostałych urządzeń. Bezpośrednio do pakietu jednostki centralnej, za pomocą kanału transmisji szeregowej, jest dołączony przenośny panel programowania. Za jego pomocą operator programuje ruchy robota, tworząc program użytkowy. Programy użytkowe, po opracowaniu, są przechowywane w pamięci trwałej, typu EEPROM, w pakiecie MV62. W przypadku wprowadzania programów użytkowych z komputera lub potrzeby wyprowadzania programów może być do jednostki centralnej dołączony komputer lub terminal za pomocą drugiego kanału transmisji szeregowej.

Operator uruchamia pracę robota za pomocą panelu operacyjnego, umieszczonego na drzwiach szafy układu sterowania. Sygnały z przycisków tego panelu i sygnały do lamp sygnalizacyjnych panelu są odczytywane i wydawane przez pakiet jednostki



Rys. 1. Schemat blokowy układu sterowania

centralnej za pośrednictwem pakietu MVC12 wejść/wyjść dwustanowych.

Każdy z silników poszczególnych osi robota jest sterowany przez odrębny mikroprocesorowy sterownik osi — pakiet MV20 i sterownik mocy. Sterownik osi realizuje cyfrowo pętle regulacji prądu, prędkości i położenia. Przyrosty położenia są odczytywane przez rezolwer. To najnowocześniejsze rozwiązanie zostało opisane w odrębnej publikacji [1], którą traktujemy jako integralną część niniejszego artykułu.

Dalszy, lub dalsze, pakiety wyjść/wejść dwustanowych typu MV12 służą do powiązania robota z lokalnymi urządzeniami zrobotyzowanego stanowiska.

Opcjonalnie układ sterowania może być włączony do systemu automatyki, np. do elastycznego gniazda produkcyjnego za pomocą kontrolera komunikacyjnego MV46 lokalnej sieci MAP według standardu IEEE 802.4.

3.2. Standaryzacja - wybór magistrali i kasety

Wewnętrzna magistrala i kasety są kluczowymi składnikami każdego większego (wielopakietowego) mikroprocesorowego układu sterowania. Określają w dużym stopniu funkcjonalność i jakość układu.

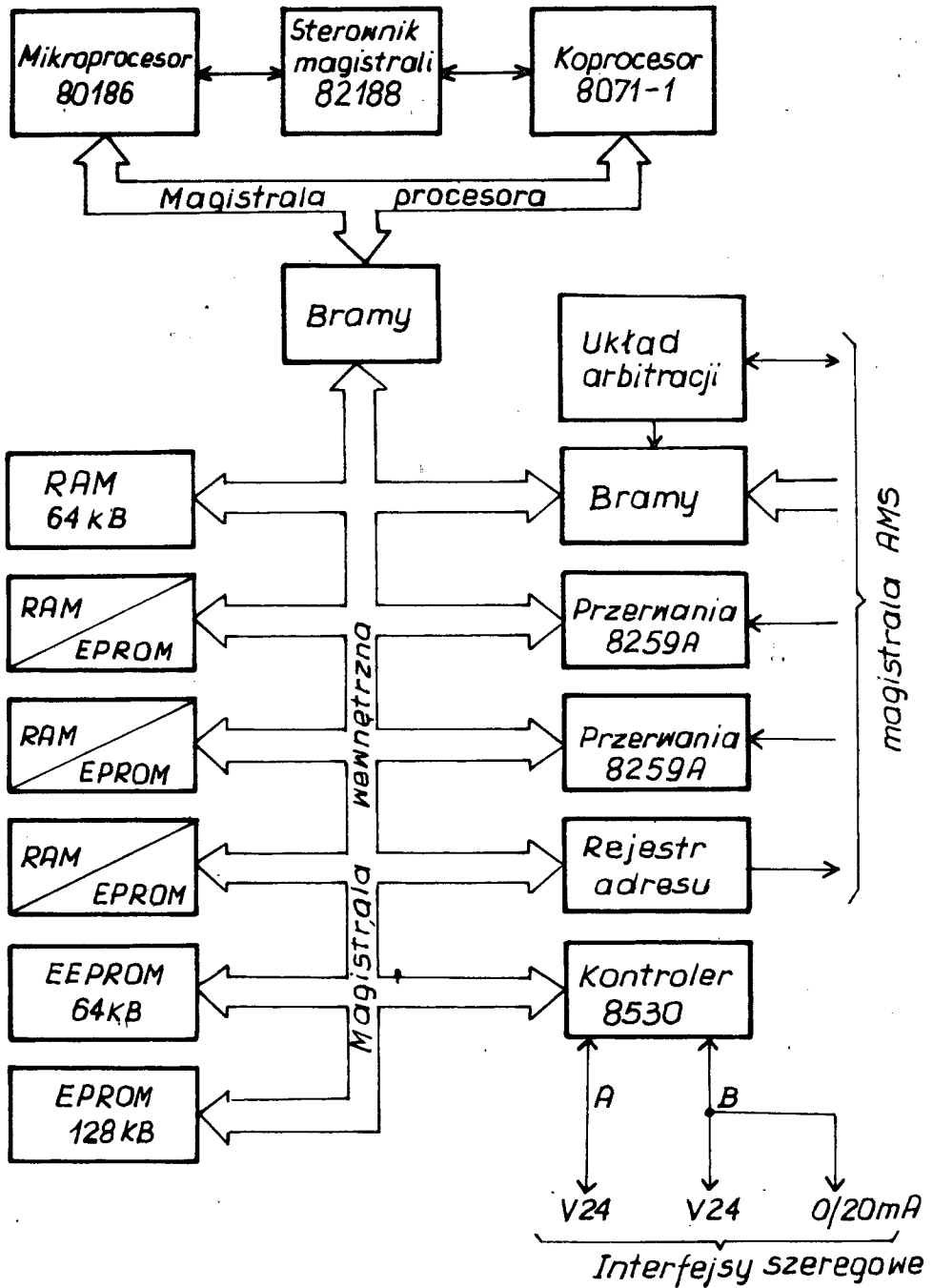
W robotach licencyjnych IRb z pierwszej połowy lat 70. układ sterowania nie wykorzystywał żadnej standaryzacji magistrali i kasety. Historyczny już mikroprocesor 8-bitowy typu 8008 nie dawał możliwości dołączenia standardowej magistrali kasety, zresztą w czasie konstruowania robota IRb nie istniały jeszcze standaryzacje w tym zakresie.

W układzie sterowania robotów postlicencyjnych IRp z połowy lat 80. wykorzystano rozwiązania magistrali i kasety systemu INTEL DIGIT-PROWAY, bazujące na konstrukcjach mechanicznych produkcji ZAP Ostrów Wlkp. Dwuwarstwowa magistrala kasety INTEL DIGIT-PROWAY stanowiła kompromisowe rozwiązanie wynikające z braku możliwości wyprodukowania w kraju płyt wielowarstwowych. Sygnały magistrali AMS były rozprowadzane na dwóch złączach 96-stykowych.

Zastosowana kasety 19-calowa do płyt o wymiarach 220x233,4 mm i magistrala z 21 stanowiskami wyposażonymi każde w 2 złącza pośrednie 96-stykowe miały następujące wady ujawnione w toku eksploatacji:

- słabe ekranowanie pól elektromagnetycznych na skutek złego przewodzenia na stykach części konstrukcji wykonanej ze stopów lekkich,
- nieprecyzyjne wykonanie kasety,
- uginanie się płyty magistrali, jak i płyt pakietów i w konsekwencji tego pękanie połączeń drukowanych przy wkładaniu i wyjmowaniu pakietów,
- niekorzystne właściwości falowej propagacji sygnałów po magistrali.

Pozostając w ramach typoszeregu wymiarów standardu EUROCARD ustalono niezbędny dla pakietów wymiar płyty 233,4x160 mm, a biorąc pod uwagę tylko magistrale do mikroprocesorów rodziny INTEL, jednoznacznie wybrano do układu sterowania robotów, jak i innych nowych konstrukcji systemowych PIAP, kasetę



Rys. 2. Schemat blokowy pakietu MV52

i magistralę AMS-M systemu SIMICRO firmy SIEMENS. Właściwości mechaniczne jak i elektryczne tych wyrobów spełniają wszystkie wymagania. Założono, że kasetę i magistrala będą kupowane w firmie SIEMENS.

Parametry magistrali typu AMS-M401 są następujące:

- norma IEC 47B C08, C010,
- liczba warstw 6,
- 1 złącze pośrednie 96-stykowe na każdym stanowisku,
- impedancja falowa warstw zewnętrznych 60 Ω ,
- impedancja falowa warstw wewnętrznych 33 Ω .

Do układu sterowania wybrano wykonanie magistrali AMS-M401-A17 o 17 stanowiskach na pakiety, natomiast kasetę typu AMS-M451 ma 21 stanowisk. Wolne stanowiska z lewej strony są przeznaczone na blok zasilania.

Należy dodać, że przyjęcie standardu firmy SIEMENS umożliwia w razie potrzeby (do specjalnych wykonawców układu sterowania) uzupełnianie asortymentu pakietów układu sterowania z bogatego asortymentu urządzeń systemu SIMICRO AMS.

3.3. Jednostka centralna

W układzie sterowania robotów IRp stosowano pakiet jednostki centralnej typu MM86 oraz, wobec małych zasobów pamięci w jednostce centralnej, kilka dodatkowych pakietów rozszerzenia pamięci typu ML50.

Przyjęto, że w nowym układzie sterowania pakiet jednostki centralnej musi mieć znacznie większą moc obliczeniową, a zarazem na tyle duże własne zasoby pamięci, by nie stosować dodatkowych pakietów rozszerzenia pamięci. W celu znalezienia najlepszego rozwiązania postąpiono dwutorowo. Celem przebadania zakupiono pakiet jednostki centralnej firmy SIEMENS typu AMS-M17, zalecany przez producenta do układów sterowania. Jednocześnie opracowano własną konstrukcję, pakiet MV52, stanowiący adaptację do magistrali AMS pakietu j.c. zbudowanego w 1990 roku do sterownika systemów automatyki. Obie jednostki miały identyczny mikroprocesor INTEL 80186 i koprocesor numeryczny 8087.

Przeprowadzone badania jednoznacznie przesądziły o wyborze własnego opracowania. Pakiet firmy SIEMENS wykazał znacznie niższą odporność na zakłócenia, a ponadto uległ dwóm trwałym uszkodzeniom w czasie narażenia impulsami dużej energii. Zestawienie głównych parametrów wymienionych trzech jednostek centralnych podano w tabl. 1.

Schemat blokowy pakietu MV52 przedstawiono na rys. 2. Blok pamięci umożliwia różne konfigurowanie poszczególnych typów nośników. Pamięć danych może mieć pojemność od 64 do 256 KB, zaś pamięć programu od 128 do 512 KB. Zachowana jest ciągłość obszarów w ramach każdego rodzaju pamięci. Za pomocą krosów określa się obsadę podstawek pamięci, a dekodery typu PAL określa właściwe adresy. Własne zasoby pamięci jednostki MV52 pozwoliły zrezygnować z dodatkowych pakietów rozszerzenia pamięci.

Tablica 1

Pakiet	MM86	AMS-M17	MV52
mikroprocesor	8086	80186	80186
zegar MHz	5	8	8
koprocesor	-	8087-1	8087-1
pamięć programu KB	8 ¹⁾	do 576 ²⁾	512
pamięć danych KB	8 ¹⁾	do 768 ²⁾	256
pamięć EEPROM KB	-	do 64 ²⁾	64
liczba wejść przerwań	16	9	17
liczba timerów	3	3	3
liczba kanałów szereg.	1	2	2
w tym z oddz. galwan.	-	-	1
bateria wewnętrzna	-	-	+

Uwagi:

¹⁾ ponadto w pakietach rozszerzenia pamięci typu ML50 po 32 KB pamięci programu i 8 KB pamięci danych,

²⁾ łączna pojemność wszystkich typów pamięci do 1 MB.

Pakiet MV52 może na magistrali kasyty AMS adresować zasoby w obszarze do 16 MB za pomocą rejestru adresu, do którego można wpisywać wartości bitów adresu A20...A23. Tak duże obszary przewidziano do współpracy z kontrolerami sieci lokalnych.

Pakiet j.c. może zarówno wewnątrz, jak i na magistrali kasyty, dokonywać przekazów typu DMA za pomocą dwóch sterowników takich przekazów.

Koprocesor numeryczny 8087 w zasadniczy sposób zwiększa moc obliczeniową, co jest szczególnie ważne do zastosowań w układzie sterowania robotów.

Zainstalowana w pakiecie bateria zapewnia podtrzymanie programów w pamięci danych RAM, co chroni szczególnie program użytkowy w czasie jego tworzenia.

Dwa interfejsy szeregowy pozwalają na równoczesne dołączenie panelu programowania i komputera.

3.4. Pamięć programów użytkowych

W układach sterowania IRb i IRp do przechowywania programów użytkowych stosowano pamięć kasetową. W robotach IRp była to pamięć produkcji krajowej typu PK3, natomiast w kasecie układu sterowania znajdował się jeszcze pakiet sprzężenia z pamięcią kasetową. Rozwiązanie to nie mogło być dalej utrzymane, nie spełniało bowiem podstawowych wymagań pracy w warunkach przemysłowych. Pamięć kasetowa nie jest odporna na zanieczyszczenia atmosfery i ma małą odporność na

zakłócenia. Rozwiązanie układowe i baza elementowa pochodzą sprzed kilkunastu lat.

W omawianym nowym układzie sterowania w pamięci programów użytkowych wykorzystano układy scalone pamięci EEPROM elektrycznie kasowane i programowane. W pierwszej wersji konstrukcji zamierzano układy te umieszczać w małych obudowach plastikowych jako wymienne wkładki do bloku pamięci programu użytkowego. Złożona konstrukcja mechaniczna i elektroniczna takiego bloku, oceniona po wykonaniu dokumentacji prototypu, spowodowała odrzucenie rozwiązania.

Postanowiono skonstruować standardowy pakiet pamięci EEPROM do programów użytkowych, instalowany trwale w kasecie. Komunikacja jednostki centralnej z takim pakietem za pośrednictwem kasyety jest najprostsza i najszybsza. Nie wymaga stosowania złożonego interfejsu szeregowego.

Opracowany pakiet typu MV62 można scharakteryzować następującymi parametrami:

- pojemność 512 KB, podzielona na 8 bloków po 64 KB,
- obsada pamięci: 8 par układów EEPROM typu 28256,
- organizacja 16-bitowa,
- czas pamiętania nieograniczony, niezależnie od liczby i czasu wyłączeń zasilania,
- dostęp do pamięci przez okno o szerokości 64 KB (1 blok), wpis numeru bloku do rejestru na pakiecie,
- czas zapisu słowa lub bajtu 10 ms (czas ten jest potrzebny wewnątrz układu scalonego pamięci),
- dodatkowe zabezpieczenia wpisu: przełączniki zakazu na płycie czołowej pakietu i w panelu operacyjnym, zakaz i zezwolenie programowe, kodowe zabezpieczenie w rozkazie zezwolenia wpisu.

Pakiet zastępuje pamięć kasetową i pakiet sprzężenia. Długotrwałe badania funkcjonalne i badania pełne wykazały bardzo dobre działanie pakietu, łatwość korzystania oraz trwale i niezakłócone przechowywanie danych.

3.5. Panel programowania

Panel programowania służy do tworzenia programów użytkowych robota metodą "uczenia" na stanowisku pracy. Jest także używany do zmiany parametrów regulatorów położenia, prędkości i prądu znajdujących się w cyfrowych sterownikach osi. Może być również stosowany jako uniwersalne, łatwo przenośne urządzenie operatorskie do innych zastosowań przemysłowych.

Panel produkowany do robotów IRp w obudowie metalowej cechował się za dużą wagą oraz niewystarczającym uwzględnieniem wymagań ergonomicznych. Obecny panel jest całkowicie nową konstrukcją, inteligentnym terminalem operatorskim. Panel programowania jest wykonany w formie urządzenia przenośnego, połączonego kablem z szafą sterowniczą. Po zaprogramowaniu robota może być odłączony od

szafy tak, że jeden panel może być wykorzystany do obsługi kilku robotów. Panel programowania posiada trwałą, lekką obudowę plastikową, zapewniającą stopień ochrony IP 43. Jego wymiary są równe 280x138x65 mm, a masa wynosi ok. 1 kg. Długość kabla łączącego panel z układem sterowania liczy standardowo 6 m i może być zwiększona opcjonalnie do 15 m.

Na płycie czołowej znajduje się klawiatura przeznaczona do układania i edycji programów użytkowych, zestaw przycisków do ręcznego sterowania osiami robota oraz alfanumeryczny wyświetlacz ciekłokrystaliczny posiadający dwa wiersze po 40 znaków każdy. Na wyświetlaczu panelu mogą być wyświetlane dowolne teksty skomponowane ze znaków ASCII. Na bocznej ścianie panelu umieszczono przycisk stopu awaryjnego.

Panel realizuje podstawowe funkcje przewidziane dla monitora ekranowego oraz pewne dodatkowe funkcje związane z jego zastosowaniem do robotów, jak sterowanie ręczne ruchami robota i obsługa stopu awaryjnego.

Współpraca panelu programowania z układem sterowania jest realizowana za pomocą łącza szeregowego V 24, z pętlą prądową 20 mA i oddzieleniem galwanicznym. Panel jest dołączony do jednego z kanałów transmisji szeregowej pakietu jednostki centralnej MV52.

W układzie panelu programowania zastosowano mikroprocesor typu 80C31. Oprogramowanie wewnętrzne panelu jest zapisane w układzie pamięci EPROM typu 27C64 o pojemności 8 KB. Pamięć danych RAM typu HM 6116 ma pojemność 2 KB.

Panel jest zasilany napięciem 24 V prądu stałego z zasilacza znajdującego się w szafie sterowniczej. Wewnątrz panelu znajduje się przetwornica DC/DC zamieniająca napięcie 24 V na napięcie 5 V, oraz zapewniająca oddzielenie galwaniczne. Pobór mocy przez panel jest nie większy niż 3 W.

3.6. Wejścia i wyjścia

Pakiety wejść i wyjść dwustanowych służą w układzie sterowania do powiązania robota z otaczającymi urządzeniami zrobotyzowanego stanowiska oraz do dołączenia elementów panelu operacyjnego, który w robotach produkcji PIAP jest lokowany ma przednich drzwiach szafy układu sterowania.

W układzie IRp stosowano pakiety typu MC42 o niewystarczającej odporności na zakłócenia. Do układu URP opracowano nową konstrukcję pakietu MV12 obsługującego 16 wejść i 16 wyjść dwustanowych, w których wykorzystano wszystkie dostępne obecnie środki odporności, a także poprawy funkcjonalności, tj.:

- druk 4-warstwowy, z wykorzystaniem odrębnych warstw na zasilania i na ekran,
- elementy absorbujące energię zakłóceń impulsowych - transZorby, na wszystkich wejściach i wyjściach, oraz na liniach zasilania,
- oddzielenie galwaniczne transoptorowe, powiązane z konfiguracją separującą odległościowo obwody obiektowe od obwodów powiązanych z magistralą kasety,

- scalone filtry cyfrowe w obwodach obsługi wejść dwustanowych,
- scalone układy zabezpieczenia wyjść dwustanowych od zwarć i przeciążeń.

Zastosowane środki pozwoliły na uzyskanie odporności na zakłócenia impulsowe dużej energii na poziomie 1000 V, czyli odpowiadającej klasie W2.

Pakiet MV12 zawiera 16 wejść dwustanowych o parametrach 24 V, 10 mA oraz 16 wyjść dwustanowych o parametrach 24 V, 0,5 A. Próg działania wejść jest ustawiony na poziomie $5 \pm 0,5$ mA.

4. BADANIA

Układ sterowania przeszedł z wynikiem pozytywnym wszystkie badania przewidziane w normie dotyczącej robotów przemysłowych. Większość badań była wykonywana przy połączeniu układu sterowania ze standardową częścią manipulacyjną robota IRb-6.

W trakcie badań zwrócono szczególną uwagę na ocenę niezawodności układu sterowania oraz jego odporność na zakłócenia elektromagnetyczne, gdyż te parametry nie były spełniane w dotychczasowych konstrukcjach układów sterowania robotów IRb i IRp. Dużą uwagę poświęcono także ocenie cyfrowych sterowników osi, po raz pierwszy zastosowanych w krajowych robotach przemysłowych.

W rezultacie uzyskiwanych kolejnych wyników badań dokonano dalszych znaczących zmian w rozwiązaniach układu sterowania. Najważniejsze z nich to:

1. W wyniku badań odporności na zakłócenia elektromagnetyczne zmieniono sposób prowadzenia i rodzaj części kabli w układzie sterowania, co pozwoliło znacznie zwiększyć poziom odporności na zakłócenia.

2. Na podstawie badań dynamicznych robota, to jest pomiarów prędkości maksymalnej, przebiegów i czasów rozpędzania i hamowania, wprowadzono istotne zmiany w rozwiązaniach układowych i wewnętrznym oprogramowaniu cyfrowych sterowników osi. Dotyczyły one:

- układu pomiaru prądu silników napędowych;
- charakterystyki wzmocnienia proporcjonalnego regulatora położenia; charakterystyka ta, celem zapewnienia sterowania czasowo-optymalnego, powinna mieć przebieg paraboliczny;
- algorytmów pracy regulatorów prędkości i prądu w warunkach nasycenia sygnałów wyjściowych,
- ustawienia wartości progów zabezpieczenia przed zniszczeniem tranzystorów w stopniach mocy sterowników cyfrowych,

Wprowadzone zmiany stanowiły etap końcowy procesu opracowania sterowników cyfrowych. W rezultacie w robotach URP-6 uzyskano parametry dynamiczne lepsze niż w robotach IRb-6 i IRp-6 (przebiegi bez przeregulowań, mały wpływ obciążenia).

3. Zmieniono konstrukcję mechaniczną panelu programowania. Metalowa obudo-

wa wykonywana na zamówienie została zastąpiona gotową obudową plastikową. Pozwoliło to zmniejszyć wagę i gabaryty panelu, a także obniżyć koszt jego wytwarzania.

4. Zmieniono dotychczas stosowane zasilacze firmy ZAP Ostrów Wlkp. na bardziej nowoczesne, o mniejszych gabarytach i większej sprawności zasilacze firmy PULSON.

Z ważniejszych rezultatów badań warto podać, że w wyniku badań odporności elektromagnetycznej uzyskano stopień odporności W3 na zakłócenia nanosekundowe od strony obwodu sieciowego i od strony kabla do części manipulacyjnej robota oraz stopień odporności W2 od strony kabla wejść/wyjść i od strony kabla do panelu programowania. Uzyskano odporność na wyładowania elektryczności statycznej ESD równą 4 kV.

W czasie próby pracy długotrwałej uzyskano, zgodnie z wymaganiami normy, 150 godzin pracy robota bez zatrzymania. W toku trwających łącznie ponad 1000 godzin badań prototypów nie wystąpiły żadne trwałe uszkodzenia, za wyjątkiem wyżej wymienionych zasilaczy, których dostawcę i typ zmieniono.

W czasie badań dynamicznych uzyskano następujące wartości rozpędzania i hamowania:

oś robota	czas rozpędzania [s]	czas hamowania [s]
1	0,15	0,20
2	0,11	0,13
3	0,11	0,12
4	0,09	0,15
5	0,09	0,12

Dla wszystkich osi robota uzyskano dokładność pozycjonowania lepszą niż 0,1 mm.

5. WNIOSKI

Panujące obecnie przekonanie o niecelowości podejmowania w kraju opracowań urządzeń elektronicznych, w tym urządzeń automatyki, wobec niemożności sprostanienia konkurencji firm zagranicznych, nie musi okazywać się słusznym w konkretnych przypadkach urządzeń wysoce specjalistycznych. Dotyczy to sytuacji, gdy zgromadzony zasób wiedzy i doświadczeń jest znaczny, zaś złożoność i kompleksowość tematyki ograniczają liczbę konkurentów.

Taka sytuacja, zdaniem autorów, ma miejsce w robotyce. PIAP posiada na-

gromadzone kilkunastoletnie doświadczenie zarówno w konstrukcji, produkcji jak i aplikacjach robotów. Ma zachowaną kadrę specjalistów ze wszystkich dziedzin składających się na robotykę. Ma także aparaturę do badań na światowym poziomie. W takiej sprzyjającej sytuacji, jeśli tylko nie zawodzi organizacja prac, można uzyskać w krótkich okresach czasu znaczące wyniki.

Opracowany w pełnym cyklu nowy układ sterowania do robotów URP można uważać za znaczące osiągnięcie Instytutu. Dzięki pozytywnym wynikom badań i uzyskaniu wszystkich zakładanych walorów funkcjonalnych, można z powodzeniem wprowadzać te roboty do aplikacji przemysłowych, co zostanie zapoczątkowane w tym roku.

LITERATURA

1. Marek Pachuta "Budowa układu napędowego robotów opracowanych w PIAP. Stan obecny i tendencje rozwoju". Biuletyn PIAP Nr 2-160/92.
2. Piotr Jabłoński, Marek Pachuta "Dokumentacja techniczno-ruchowa układu sterowania robotów URP-6 i URP-3". Sprawozdanie PIAP 1992 r. Nr rejestr. 6843.
3. Zbigniew Wawerek, Piotr Jabłoński "Dokumentacja techniczno-ruchowa panelu programowania." Sprawozdanie PIAP 1992 r. Nr rejestr. 6844.
4. Andrzej Syrczyński "Dokumentacja techniczno-ruchowa pakietu jednostki centralnej MV52". Sprawozdanie PIAP 1992 r. Nr rejestr. 6760.
5. Czesław Godzisz i in. "Badania pełne robota 6 kg". Sprawozdanie PIAP 1992 r. Nr rejestr. 6849 i 6893.