

PRZEMYSŁOWY INSTYTUT AUTOMATYKI I POMIARÓW
MERA-PIAP

Al. Jerozolimskie 202

02-222 Warszawa

Telefon 23-70-81

Ośrodek Badań Niezawodności i Jakości

074

Pracownia Diagnostyki i Badań Robotów

A

Główny wykonawca

Wykonawcy dr inż. St. Budzyński, mgr inż. inż. J. Skrzeczkowski,
K. Domański, J. Molak, Sł. Groszyk, A. Socha

Konsultant

Nr zlecenia RP28

Opracowanie nowoczesnych metod badań robotów przemysłowych oraz wykonanie stanowisk badawczych.

2.2. Opracowanie metod pomiaru oraz wykonanie projektu wstępnego stanowiska do badań serwomechanizmów /prędkości, przyspieszenia, czasu rozruchu i hamowania, napięcia prądnicy tachometrycznej, prąd silników napędowych, przeregulowania i amplitudy oscylacji sygnału prędkościowego/.

Zlecający
CPBR 7.1

Prace rozpoczęto dnia
Kierownik Pracowni 87.05.01

zakończono dnia 87.08.15
Kierownik OBN

mgr inż. J. Skrzeczkowski

Z-ca Dyrektora
d/s Pomiarów

dr inż. St. Budzyński

dr inż. J. Winiecki

Praca zawiera:

Rozdzielnik - ilość egz:

stron 25

Egz. 1 BOINTE

rysunków 8

Egz. 2 OBN

fotografii

Egz. 3 OAP

tabel 10

Egz. 4 OAE

tablic

Egz. 5 IMP

załączników

Egz. 6 CBKO

Nr rejestr. 5898

4

Analiza deskryptorowa

ROBOTY PRZEMYSŁOWE + BADANIA

Analiza dokumentacyjna

Praca zawiera opis metod pomiaru oraz projekty wstępne stanowisk do badań serwomechanizmów.

Tytuły poprzednich sprawozdań

- zađ. 1.1. Opracowanie założeń techniczno-ekonomicznych stanowisk do badania robotów przemysłowych - nr rej. 5707
- zađ. 2.1. Opracowanie metod pomiaru oraz wykonanie projektu wstępnego stanowiska do badań przestrzeni roboczej, powtarzalności pozycjonowania statycznej i dynamicznej, dokładności odtwarzania zaprogramowanego toru ruchu oraz stałości parametrów w czasie - nr rej. 5834.

338.45:62/69].002.1/2 Roboty przemysłowe

UKD

PIAP-252/63-6000

SPIS TRESCI

	str.
1. Wstęp	1
2. Serwomechanizmy	1
3. Wymagania na badania serwomechanizmów	3
4. Metody pomiarów parametrów robotów z napędami elektrycznymi	7
4.1. Wybrane zagadnienia związane z dynamiką serwomechanizmów z silnikiem DC	7
4.2. Badania serwomechanizmów elektrycznych z silnikami prądu stałego	10
4.2.1. Pomiar przyspieszeń i opóźnień	12
4.2.2. Ocena błędów pomiaru przyspieszeń i opóźnień	13
4.2.3. Pomiar prędkości maksymalnych	13
4.2.4. Ocena błędów pomiaru prędkości maksymalnych	14
4.2.5. Pomiar przeregulowania prędkości	15
4.2.6. Pomiar amplitudy oscylacji sygnału prędkościowego	16
4.2.7. Ocena błędów pomiaru amplitudy oscylacji sygnału prędkościowego	16
4.2.8. Pomiar prądu silników	16
4.3. Wstępne założenia na program użytkowy badania serwomechanizmów	17
5. Metody pomiarów parametrów robotów z napędami elektrohydraulicznymi	21
6. Uwagi końcowe	24
7. Literatura	25

1. Wstęp

W odniesieniu do robotów przemysłowych badanie serwomechanizmów polega na sprawdzeniu określonych parametrów techniczno-eksploatacyjnych robota.

*

Badania serwomechanizmów są istotnym sprawdzianem poprawności działania układu sterowania i części manipulacyjnej robota.

Celem automatyzacji badań serwomechanizmów jest:

- zmniejszenie pracochłonności, uciążliwości długotrwałych i wielokrotnie powtarzanych pomiarów,
- szybkie wnioskowanie o badanym robocie na podstawie automatycznie przetwarzanych i zarejestrowanych wyników,
- uzyskanie obiektywnego protokołu pomiarowego i wyeliminowanie subiektywnego czynnika ludzkiego z procesu pomiarowego.

Z uwagi na różne rodzaje serwomechanizmów w obecnie produkowanych robotach, opracowanie niniejsze podzielono na dwie części. W pierwszej opisano serwomechanizmy elektryczne wykorzystujące silniki prądu stałego, stosowane m.in. w robotach IRb-6, IRp-6, IRb-60, IRp-60 i w nowo opracowywanych robotach IRp-2,5, IRp-120 oraz modernizowanych robotach PR-02E. Serwomechanizmy z silnikami prądu stałego będą zastosowane również w opracowywanych robotach IRb-6L, IRb-6W i IRb-10. Część druga zawiera opis serwomechanizmów hydraulicznych stosowanych w robocie RIMP-901.

Inne roboty opisane w pracy CPBR 7.1 zlec. RP28, zad.2.1 są ciągle modernizowane i producenci nie są w stanie na obecnym etapie określić ostatecznej wersji produkowanych przez siebie robotów, i tak np. TEKOMA może to uczynić najwcześniej w 1989 r. Z tego względu brak w tym opracowaniu opisu i metod badań serwomechanizmów stosowanych w prototypach robotów NM, RPA-80, PRO-30.

Stanowisko do badań serwomechanizmów zostało tak zaprojektowane aby można było minimalnym nakładem środków /np. zastosowanie innych czujników/ przystosować je do badań różnych serwomechanizmów.

2. Serwomechanizmy

Serwomechanizmy stosowane w robotyce są to układy regulacji automatycznej, w których wielkością regulowaną jest przesunięcie lub obrót członu mechanicznego /osi/ robota. Położenie elementu mechanicznego jest w sposób ciągły lub dyskretny porównywane z wartością zadaną a różnica tych wielkości steruje za pośrednictwem regulatora i

wzmacniacza silnikiem lub siłownikiem napędzającym ten element. W robotach przemysłowych często czujnik położenia elementu mechanicznego /ramienia robota/ jest sprzęgnięty mechanicznie z silnikiem lub siłownikiem, a człony mechaniczne przekazujące ruch na osie robota znajdują się poza pętlą sprzężenia zwrotnego. Człony te nie należą do serwomechanizmów ale własności ich wpływają na pracę tych układów.

Do budowy serwomechanizmów położenia są wykorzystywane napędy o właściwościach całkujących charakteryzujące się ciągłą /analogową/ zależnością między wartością sygnału wejściowego a wartością sygnału wyjściowego elementu wykonawczego.

We współcześnie badanych robotach stosowane są serwomechanizmy wykorzystujące napędy pneumatyczne, hydrauliczne i elektryczne.

Stosunkowo najmniej wykorzystywane są serwomechanizmy pneumatyczne. z powodu trudności zbudowania serwozaworu elektropneumatycznego o określonej charakterystyce i siłownika o możliwie małym tarciu spoczynkowym.

W robotach z napędem hydraulicznym stosuje się serwomechanizmy, w których czynnik hydrauliczny poprzez serwozawory steruje elementami wykonawczymi, tj. siłownikami lub silnikami hydraulicznymi

(zarówno kierunku ruchu jak i prędkością)

Na jakość pracy całego robota decydujący wpływ mają własności dynamiczne serwomechanizmów. Wymagania dynamiczne stawiane serwomechanizmom położenia można sformułować następująco:

- serwomechanizm powinien być stabilny /nie powinien generować drgań części manipulacyjnej/
- serwomechanizm powinien zapewnić nadążanie ramienia robota bez przeregulowań za zmianami sygnału położenia zadanego
- układ serwomechanizmu powinien skutecznie ograniczać wpływ zmiennych obciążeń wynikających z położenia ramion i zmiany obciążenia chwytaka
- układ serwomechanizmu nie powinien generować zakłóceń od niewielkich zmian parametrów regulatora, wzmacniacza mocy i silnika wykonawczego /trudno jest wymienianym elementom zapewnić długotrwałą stałość parametrów/
- wartości sygnału sterującego wzmacniacz mocy powinny w czasie trwania stanów nieustalonych mieścić się w zakresie liniowości tego wzmacniacza.

Najbardziej rozpowszechnione są serwomechanizmy z napędem elektrycznym. Elementami wykonawczymi głównie są silniki prądu stałego: W różnych odmianach, np. z magnesami stałymi, obcowzbudne, z komutacją szczotkową, z komutacją elektroniczną /bezsztotkowe/, z wirnikiem tarczowym lub cylindrycznym.

3. Wymagania na badania serwomechanizmów

Z uwagi na decydujący wpływ serwomechanizmów na jakość pracy robota sprawdza się poprawność ich działania przy badaniach niepełnych i pełnych. Wyniki sprawdzeń są pomocne przy bieżącej kontroli produkcyjnej oraz przy wykonywaniu regulacji i nastaw układów sterowania napędów.

Załączone poniżej tabele przedstawiają zakres badań, którym poddawane są serwomechanizmy w świetle obowiązujących norm - ZN-82/MERA-018/245,246 - IRb-6, IRb-60; ZN-86/MERA-018/255,251 - IRp-6, IRp-60 - lub projektów norm dla różnych typów robotów przemysłowych.

A.

Tabela 1

Lp.	Parametr mierzony	Sposób pomiaru	Zakres badań	Ocena i sposób przedst.wyników
1	2	3	4	5
1	Max prędkość ruchów poszczególnych osi robota	praca w cyklu automatycznym. Po trzy próby przy najeździe z 2.kierunków ruchu $V=100\%$, pomiar napięć prądnic tachometr.	badania pełne i niepełne	porównanie z wymaganiami normy wykres $V = f/t/$
2	max przeregulowanie prędkości	j.w.	j.w.	wart.przeregulowania $< 10\%$ wart.prędkości ustalonej
3	określenie czasów rozruchu i hamowania dla poszczególnych osi robota	j.w. dodatkowo pomiar prądu silnika danej osi w funkcji czasu	j.w.	porównanie z wymaganiami normy
4	pomiar amplitudy oscylacji sygnału prędkościowego danej osi robota	jak w l.p. 1 $V=1,3\%$	j.w.	znalezienie max wartości amplitudy oscylacji i porównanie jej z wymaganiami normy. Wykres $V=f/t/$ z widocznymi oscylacjami

Sprawdzenia te wykonywane są przy założeniu, że układ sterowania i układy napędowe zostały wcześniej sprawdzone i wyregulowane przy pomocy odpowiednich testów.

Nie jest to więc wyłącznie sprawdzenie serwomechanizmów jako takich, ale bada się efekt końcowy, na który składają się obok własności serwomechanizmów, własności sterowania dyskretnego oraz mechaniki części manipulacyjnej robota przemysłowego.

B - Instytut Mechaniki Precyzyjnej - projekt normy ZN-86 "Robot przemysłowy. RIMP-901. Wymagania i badania"

Tabela 2'

Lp.	Parametr mierzony	Warunki pomiaru	Zakres badań	Ocena i sposób przedstawienia wyników
1	Max prędkość przemieszczania odniesiona do roboczego pistoletu robota	praca w cyklu automatycznym max wysięgi poszczególnych osi robota, pomiar na odcinku pomiarowym poza czasami rozruchu i hamowania w ruchu ustalonym	badania pełne	porównanie z wymaganiami normy
2	Max przyspieszenie odniesione do roboczego pistoletu robota	praca w cyklu automatycznym max wysięgi osi robota	badania pełne	porównanie z wymaganiami normy

C - Projekt normy. RWPg "Roboty przemysłowe. Metody badań" 17.027.12.86

Tabela 3

Lp.	Parametr mierzony	Warunki pomiaru	Zakres badań	Ocena i sposób przedstawienia wyników
1	2	3	4	5
1	Pomiar stałości czasów poszczególnych sekwencji programowych	robot zaprogramowany w cyklu automatycznym imitującym wykonywanie operacji technolog.. Kontroli podlegają czasy trwania poszczególnych ruchów i całego cyklu. Obciążenie robota 0; 50; 100% nominalnego, 5 prób przy zakresach ruchu osi 0-100%	-	ocenie podlega stabilność czasu operac., parametry $Rt_{1max} = t_{i max} - t_{i min}$ $R = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$

1	2	3	4	5
2	Pomiar prędkości max poszczególnych osi robota. Prędkość osi pozostałych = 0	obciążenie 100% nominalnego od 3+5 prób Zakres ruchu osi 100%	-	wykres $V=f/t/$ ewentualnie podanie V_{max} dla poszczególnych osi
3	Prędkość max odniesiona dla końcowego członu robota /chwytaka)	programowany ruch ^{po} trajektorii w postaci linii prostej lub okręgu. Obciążenie 100% 3-5 prób.	-	j.w.
4	Określenie średniej prędkości ustalonej dla max położenia i zasięgów kolejnych osi robota	patrz lp.2	-	podanie wartości V_{sr} dla danej osi robota
5	Określenie przeregulowania prędkości dla danej osi robota	określa się dla minim. prędkości ruchu danej osi obciążenie przyjmuje się 0; 50; 100% nominalnego przy 3+5 prób Zakresy ruchów osi 50% Ruch odbywa się po określonej trajektorii	-	określenie wartości przeregulowania $\frac{\Delta V}{V} \cdot 100\%$
6	Pomiar przyspieszeń max, rozruchu i hamowania dla poszczególnych osi robota	obciążenie 0; 50% nomin. zaprogramowana max prędkość ruchu i zasięg 3+5 prób, pomiar za pomocą czujników ciśnienia lub pośrednio poprzez obróbkę matematyczną przebiegu prędkości w czasie	-	wykres $a=f/t/$
7	Określenie max przyspieszenia dla ruchu po danej trajektorii w cyklu roboczym	obciążenie 0-50% max prędkości poszcz. osi od 3-5 prób. Pomiar dot. określenia wart. przysp. w 3. głównych kierunkach osi układu współrzędnych x, y, z $a_x/t/$, $a_y/t/$, $a_z/t/$ oraz obliczenie przyspieszenia wypadkowego $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$ oraz cosinusów kierunkowych	-	wykres $a_x=f/t/$ $a_y=f/t/$ $a_z=f/t/$ $a=f/t/$

Na podstawie uzyskanych wykresów $V=f/t/$ określa się czasy hamowania i rozruchu dla poszczególnych osi robota w funkcji obciążenia. Projekt normy RWPG zaleca określanie prędkości dla ramion robota wykonujących ruch obrotowy w [rad/s] a dla modułów wykonujących ruch liniowy w [m/s].

Podane powyżej propozycje metod badań serwomechanizmów w funkcji zmian wielkości obciążenia robota pozwalają na pełniejszą analizę ich pracy. Wyniki tych badań są szczególnie interesujące dla użytkownika robotów przemysłowych przy programowaniu ich ruchów w konkretnych cyklach technologicznych przy różnych wielkościach obciążenia części manipulacyjnej.

D. Projekt normy ISO 15.V.1986 "MANIPULATING INDUSTRIAL ROBOTS - PERFORMANCE CRITERIA AND RELATED TESTING METHODS" - PART 1"

Projekt powyższy zaleca również stosowanie jednostek odpowiednich dla charakteru ruchu danej osi robota:

dla ruchu liniowego: prędkość [m/s], przyspieszenie [m/s²]

dla ruchu obrotowego: prędkość [rad/s], przyspieszenie [rad/s²]

Projekt zaleca pomiar prędkości każdej osi robota, prędkości wypadkowej, stałości prędkości, oscylacji prędkości i przyspieszeń, a także minimalnego czasu pozycjonowania w zależności od kąta lub drogi przebytej przez daną oś robota.

Wyniki przedstawia się w postaci wykresów ilustrujących przebiegi badanych zależności.

Norma proponuje również określanie "dokładności" prędkości, tzn. jej zmian w tym samym cyklu programowym dla kilku ruchów roboczych, a także porównanie prędkości rzeczywistej z prędkością zadaną programowo.

Przegląd powyższy wykazuje, że badania serwomechanizmów polegają na sprawdzeniu wielkości "bezpośrednio użytkowych" robota, tzn. prędkości ruchów poszczególnych osi lub prędkości wypadkowej, stałości prędkości w czasie, przyspieszeń, czasów hamowania i rozruchu oraz przeregulowań i oscylacji.

Badania takie dają informację na temat jakości serwomechanizmów zamontowanych w robocie oraz jakości wykonania i montażu części manipulacyjnej robota. Dla określenia innych własności dotyczących samych serwomechanizmów, np. momentu w funkcji prędkości obrotowej na wale elementu wykonawczego, należy wymontować układ napędowy z robota i zbadać go na specjalnym stanowisku testującym.

Stanowisko takie jest w stadium opracowania w OBN i dotyczyć będzie serwomechanizmów robotów IRb-6, IRp-6, IRb-6L, IRb-6W, IRb-10.

4. Metody pomiarów parametrów robotów z napędami elektrycznymi

W tabeli 4 wyszczególniono serwomechanizmy z silnikami prądu stałego stosowane w robotach produkowanych przez MERA-PIAP.

Instytut Elektrotechniki oferuje zespoły napędowe PZTK88-35TRR i PZTK13-06TRR przystosowane do montażu w robocie odpowiednio IRb-6 /IRp-6/ i IRb-60 /IRp-60/ oraz silniki wykonawcze PZTK88-35, PZTK88-45, PZTK-65, PZTK-90 w wykonaniu T, TR, TI do ewentualnego wykorzystania w robotach. Wymienione silniki współpracują z określonym sterownikiem mocy typu MAK-1, TAR-1, TAR-1A, TAR-1A~~2~~, TAR-1B. Były prowadzone badania z silnikami tarczowymi PTM90/R, PTM-200R produkcji WZME "WAMEL". Ze względu na dużą zawodność tych silników zrezygnowano ze stosowania ich w robotach.

W niedalekiej przyszłości należy się spodziewać zastosowania napędów prądu stałego z komutacją elektroniczną lub niezawodnych napędów prądu zmiennego oraz eliminowania przekładni harmonicznymi przez wprowadzenie nowych technik sterowania. Dla robotów o zwiększonej precyzji działania przeznaczonych do montażu elektronicznego trzeba będzie stosować w zespole napędowym czujniki położenia o 2 lub 3-krotnie większej rozdzielczości.

4.1. Wybrane zagadnienia związane z dynamiką serwomechanizmu z silnikiem DC

Na rysunku 1 przedstawiono schemat poglądowy serwomechanizmu położenia z silnikiem DC.

Wykorzystując transformację Laplace'a i przyjmując uproszczenia [5]:

$$M_d(s) = 0$$

$$L = 0$$

możemy napisać wzór na transmitancję całego układu

$$G(s) = \frac{O_j(s)}{O_{jd}(s)} = \frac{1}{\frac{R \cdot J}{\alpha \cdot K_b \cdot K_a \cdot K_m} \cdot s^2 + \frac{R B + K_m (K_b + K_a \cdot K_t)}{\alpha \cdot K_b \cdot K_a \cdot K_m} s + 1}$$

gdzie:

K_m, K_b - współczynniki proporcjonalności charakterystyczne dla danego silnika

$$M_s = K_m \cdot i$$

$$U_b = K_b \cdot \omega_s$$

$$U_t = K_t \cdot \omega_s$$

Tabela 4

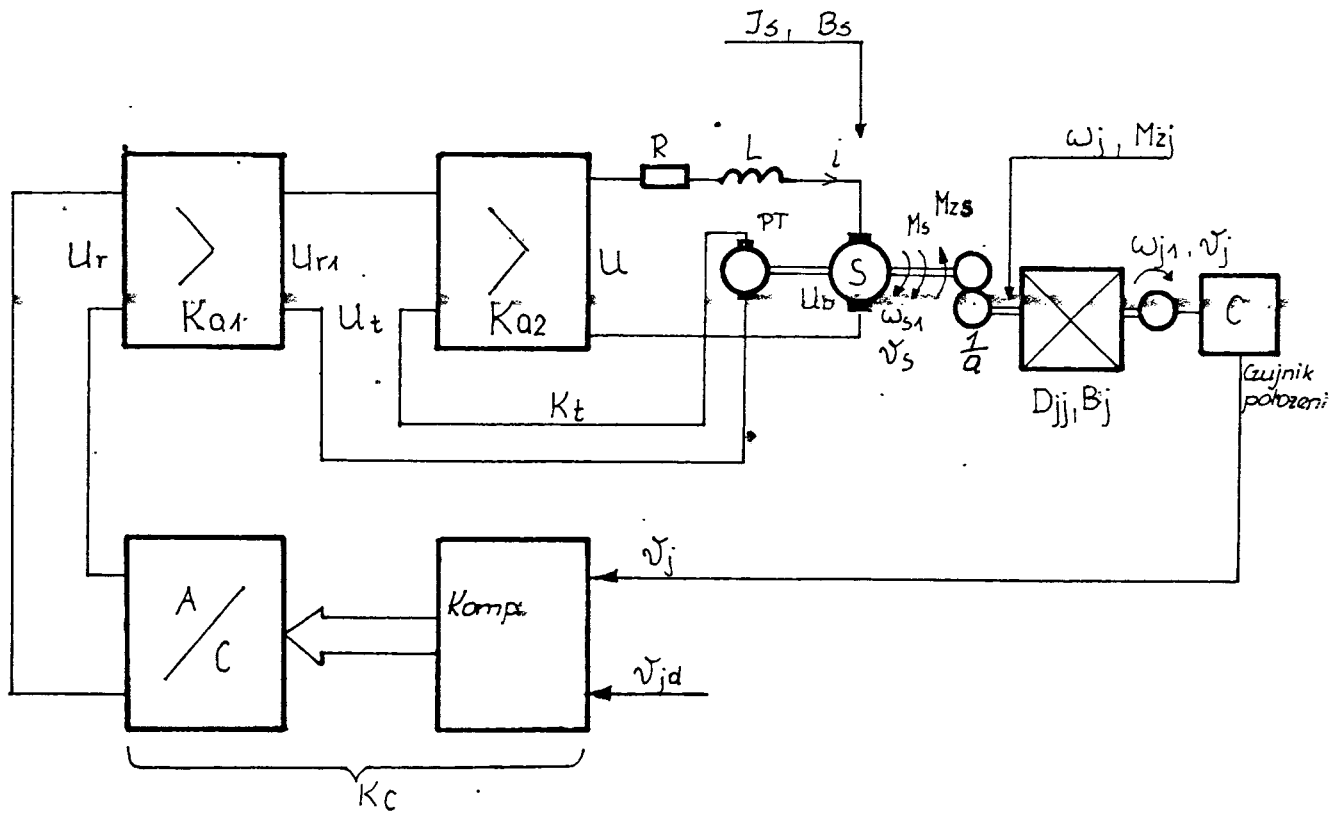
Robot	Oś	Elementy serwomechanizmu	Schemat blokowy serwomechanizmu
IRp-6 IRb-6 PR-02/E	1,2,3,4,5 1,3	Silnik prądu stałego *1 PZTK 88-35TRR lub PZTK 88-45 lub PZTK 88-65 lub PZTK 88-90 Prędnica tach. PATO 62-07R Rezolwer LTSa-11C	<p>„a” sygnał odniesienia wartości żądanej położenia „b” sygnał odniesienia prędkości żądanej „c” sygnał prędkości rzeczywistej „d” sygnał położenia rzeczywistego</p>
IRp-2,5	1,2,3,4,5,6	Silnik prądu stałego *2 PZTK 88-35TRR lub PZTK 62-61 lub PZTK 62-46 Rezolwer LTSa-11C	<p>„a” sygnał odniesienia wartości żądanej położenia „b” sygnał odniesienia prędkości żądanej „c” sygnał prędkości rzeczywistej „d” sygnał położenia rzeczywistego</p>
IRp-60 PR-02/E IRb-60 IRb-60Z IRp-120	1,2,3,4,5 2	Silnik prądu stałego PZTK 13-06 Prędnica tachometryczna PATO 62-07R Rezolwer LTSa-11C	<p>„a”; „b”; „c”; „d” j. wyżej</p>

MA 70 - Sterownik położenia osi

TAR 1A/2, MAK 1A Sterowniki mocy

*1) obecnie stosowany PZTK 88-35TRR

*2) zostanie wybrany po badaniach



gdzie :

- M_s - moment napędowy silnika
- J_s - moment bezwładności silnika
- M_{zs} - moment zaktócający silnika
- ω_s - prędkość kątowa na wale silnika
- B_s - współczynnik tarcia lepkiego
- R, L - rezystancja, indukcyjność obwodu wirnika
- ψ_s - położenie wala silnika

- $\frac{\omega_j}{\omega_j} = \frac{1}{q}$ - przekształcenie
- D_{jj} - bezwładność ciała
- M_{zj} - moment zaktócający na wale przekładni
- ω_j - prędkość kątowa na wale przekładni
- B_j - współczynnik tarcia lepkiego
- ω_{j1} - prędkość kątowa na osi czujnika
- ψ_j - położenie rzeczywiste
- ψ_{jd} - położenie zadane
- K_t - stała prędkości tachometrycznej
- K_{a1}, K_{a2} - współczynniki proporcjonalności (wzmocnienia)
- K_c - transmitancja przetwornika położenia

Rys. 1. Schemat poglądowy serwo mechanizmu położenia z silnikiem prądu stałego

$$K_{\theta} = K_c \cdot Ka_1$$

$$I = I_s + a^2 D_{jj}$$

$$B = B_s + a^2 B_j$$

$$M_z = M_{zs} + a M_{zj}$$

Układ posiada własności członu II rzędu, dla którego częstotliwość własna wynosi:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{0 \cdot K_0 \cdot K_{a2} \cdot K_m}{R \cdot J}}$$

a tłumienie:

$$\zeta = \frac{RB + K_m(K_b + K_{a2} + K_t)}{2 \sqrt{0 \cdot K_0 \cdot K_{a2} \cdot K_m R J}}$$

By uzyskać dobrą jakość pracy robota należy zapewnić odpowiednie parametry układu przez spełnienie następujących warunków:

$$K_0 \cdot K_{a2} = \frac{\eta \cdot R}{40 \cdot K_m}$$

$$K_{a2} \geq \frac{R \sqrt{\eta J - B}}{K_m \cdot K_t} - \frac{K_b}{K_t}$$

gdzie:

$$\eta = \frac{M_{st}}{\theta_{jst}} - \text{współczynnik sztywności struktury osi}$$

M_{st} - moment obciążający powodujący zmianę położenia osi o θ_{jst}

Należy także zapewnić właściwe skompensowanie błędów położenia statycznego od tarcia suchego i sił ciężkości, prędkościowego i przyspieszeniowego.

Dla serwomechanizmów analogowo-cyfrowych pasmo przenoszenia dla części analogowej f_{an} powinno być ≥ 15 razy od pasma przenoszenia struktury mechanicznej danej osi robota f_m

$$f_{an} \geq 15 \cdot f_m$$

$$f_m = \sqrt{\frac{\eta}{I}} \cdot \frac{1}{2\pi}$$

a dla części cyfrowej okres próbkowania powinien wynosić:

$$T_{próbk} \leq \frac{2\pi}{15} \sqrt{\frac{J}{\eta}}$$

4.2. Badania serwomechanizmów elektrycznych z silnikami prądu stałego

Potrzeby i wymagania w zakresie automatyzacji badań serwomechanizmów z silnikami prądu stałego zostały określone w pracy p.t. "Opracowanie założeń techniczno-ekonomicznych nowoczesnych stanowisk do badań robotów przemysłowych" - sprawozdanie PIAP nr rej. 5707.

Schemat blokowy projektowanego stanowiska do pomiarów parametrów robotów z napędem elektrycznym pokazany jest na rys.2.

Stanowisko stanowi część składową komputerowego stanowiska do badania robotów przemysłowych przedstawionego w pracy p.t. "Opracowanie metod pomiaru oraz wykonanie projektu wstępnego stanowiska do badań przestrzeni roboczej, powtarzalności pozycjonowania statycznej i dynamicznej, dokładności odtwarzania zaprogramowanego toru ruchu oraz stałości parametrów w czasie" - sprawozdanie PIAP nr rej. 5834. Realizacją jego będzie rozbudowa układu do badania stałości parametrów

Zestaw pomiarowy przewidziany do badania stałości parametrów został rozszerzony o następującą aparaturę:

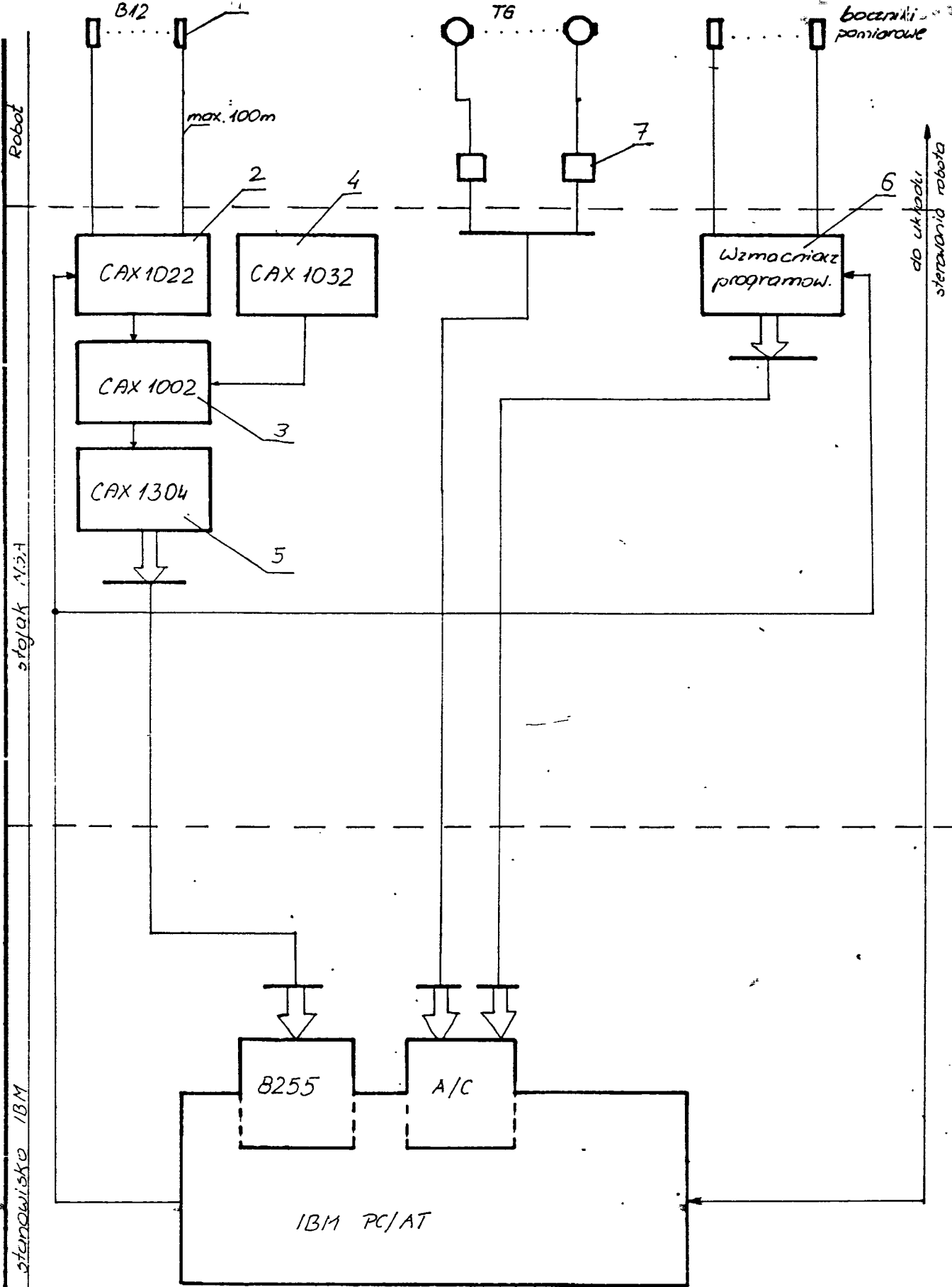
- 1/ czujnik przyspieszeń B12 - zakres $0-200 \text{ m/s}^2$, nieliniowość 0,25 %
- 2/ multiplekser CAX1022 - analogowy, 20 wejść dwuprzewodowych lub 10 wejść czteroprzewodowych
- 3/ uniwersalny wzmacniacz z falą nośną CAX1002
 - pasmo przenoszenia 0-1 kHz
 - nieliniowość 0,1 %
 - rezystancja wejściowa $100 \text{ k}\Omega$
- 4/ generator fali nośnej 5 kHz CAX1032 - niezbędny do współpracy z CAX1002
- 5/ moduł odczytu CAX1304 - wyjście cyfrowe
- 6/ wzmacniacz programowany
- 7/ układy filtrujące i dopasowujące poziom sygnału.

Czujnik z poz.1/ produkuje f-ma Hottinger Baldwin Messtechnik GMBH, przyrządy z poz.2+5 - firma P.Z. "CAREX".

Stanowisko to pozwoli praktycznie, na badanie wszystkich robotów obecnie produkowanych w kraju z serwomechanizmami elektrycznymi wykorzystującymi silniki prądu stałego.

Zastosowany sprzęt pomiarowy i komputerowy stwarza możliwość automatyzacji badań.

W tabeli 5 podano parametry sprawdzane podczas badań serwomechanizmów z silnikami prądu stałego stosowanych w robotach prod. PIAP oraz ^{wytypowane} punkty pomiarowe.



Rys.2 Schemat blokowy stanowiska do pomiarów parametrów robotów z napędami elektrycznymi.

Tabela 5

Parametr	Warunki pomiaru	Pomiar	Punkt pomiarowy
przyspieszenie i opóźnienie	do 100 % wart.prędkości max	nap.tachoprądnicy sygnał z czujnika przyspieszeń	p.p. 22 i 0 V dla TAR zacisk 3 i 4 dla MAK czujnik przyspieszeń
prędkość max	do 100 % war.prędkości max	nap.tachoprądnicy wart.zadana prędkości/sygn. z czujnika przyspieszeń	p.p. 22 i 0 V dla TAR zacisk 3 i 4 dla MAK czujnik przysp. <i>p.p. 23 dla TAR / zacisk 1,2 dla MAK</i>
przeregulowanie prędkości	do 100 % wart.max prędkości	nap.tachoprądnicy sygnał z czujnika przysp.	p.p. 22 i 0 V dla TAR zacisk 3 i 4 dla MAK czujnik przyspieszeń
amplituda oscylacji sygn. prędkościowego	1,3 % wart.max prędkości	nap.tachoprądnicy	p.p. 22 i 0 V dla TAR zacisk 3 i 4 dla MAK
prąd silników	do 100 % wart.max prędkości	nap.bocznika pomiarowego 1/	bocznik dla TAR 2/ zacisk M i CT dla MAK

1/ tolerancja bocznika nie powinna być gorsza niż 5 %

2/ w nowej wersji sterownika TAR 1A/2 bocznik prądowy znajduje się w przekątnej mostka utworzonego przez tranzystory sterujące silnikiem. Należy w tym przypadku korzystać z pośredniego pomiaru sygnału przekształconego we wzmacniaczu sterownika mocy - punkt pomiarowy 13. Stała prądowa w tym punkcie wynosi około 1,1 A/V.

4.2.1. Pomiar przyspieszeń i opóźnień

Pomiar pozwala na określenie własności dynamicznych robota. Dla robotów IRb-6, IRb-60, IRp-6, IRp-60 wykonuje się go w/g ZN-82/MERA-018/245,246, ZN-86/MERA-018/255,256.

Przyspieszenie i opóźnienie oceniane jest na podstawie czasu osiągnięcia 63 % prędkości maksymalnej przy przyspieszeniu t_p i czasu spadku prędkości do 37 % prędkości maksymalnej przy hamowaniu t_h . Pomiaru tego dokonuje się rejestrując przebieg napięcia prądnicy tachometrycznej z jednoczesnym pomiarem prądu silnika. /Punkty pomiarowe patrz tabela 5/. Algorytm obróbki komputerowej w/w sygnałów podany jest w p. 4.3 n/opracowania /rys. 5a-d/.

W tabeli 6 przedstawione są wymagane czasy t_p i t_h robotów produkcji MERA PIAP.

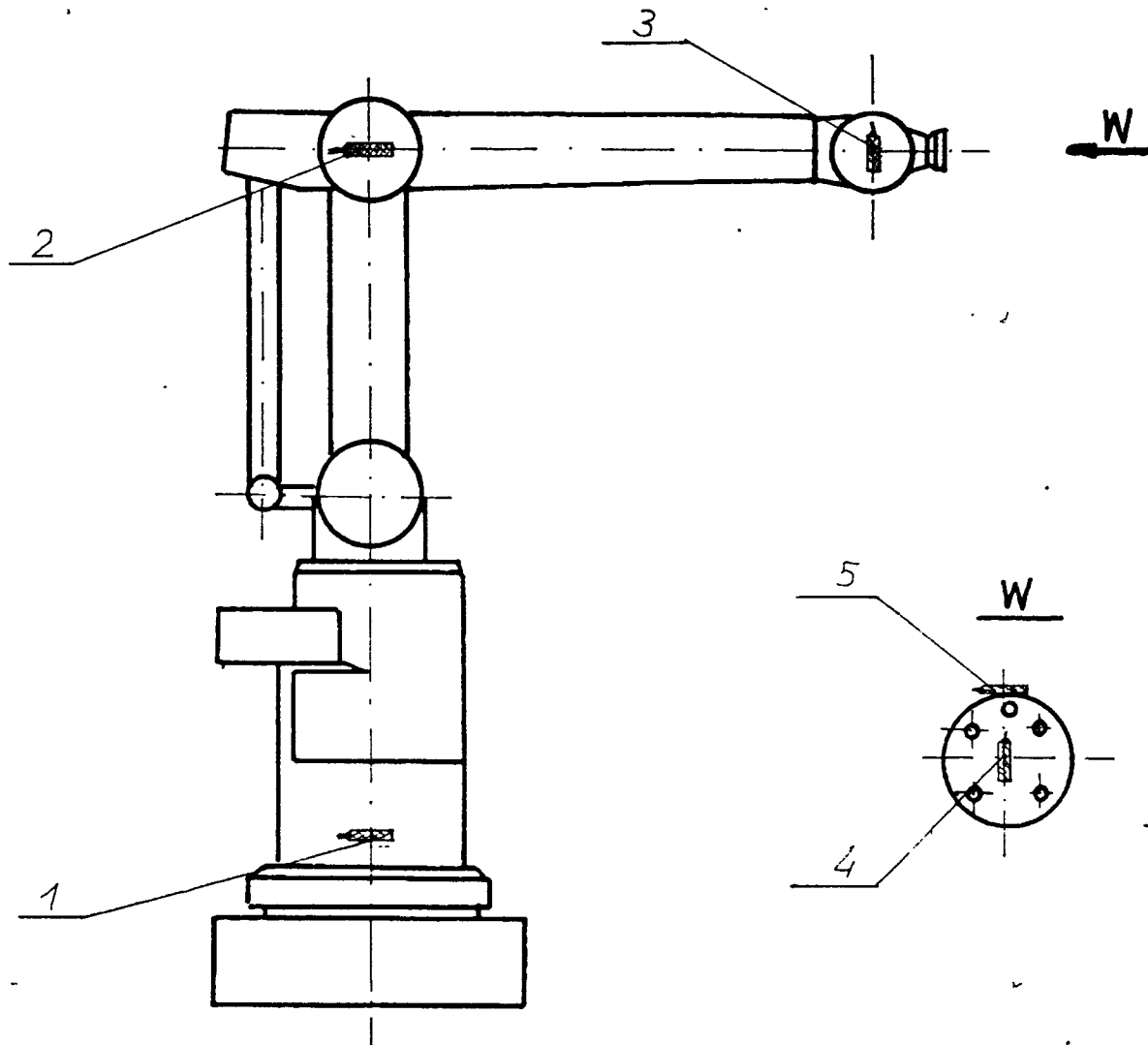
Tabela 6

Stopień swobody	kierunek ruchu	t_p /s/		t_h /s/	
		IRp-6	IRp-60	IRp-6	IRp-60
φ	+ -	0,17	0,51	0,20	0,55
θ	\pm	0,13	0,42 0,28	0,14	0,43 0,48
α	\pm	0,10	0,47 0,30	0,15	0,47
t	+ -	0,08	0,26	0,15	0,46
v	+ -	0,09	0,29	0,14	0,46

Normy zakładowe dopuszczają tolerancję -20 + +30 %.

Przy pomiarze przyspieszeń i opóźnień za pomocą czujników przyspieszeń sygnał z czujnika poprzez miernik przesyłany jest do komputera i poddany jest obróbce.

Miejsce zamocowania czujników na robocie /na przykładzie robota IRb-6/ przedstawia rys. 3.



1-	Czujnik	przyspieszenia	dla	osi	φ
2-	-"-	-"-	-"-	-"-	θ
3-	-"-	-"-	-"-	-"-	α
4-	-"-	-"-	-"-	-"-	t
5-	-"-	-"-	-"-	-"-	v

Rys. 3. Sposób i miejsce umieszczenia czujników przyspieszeń na przykładzie robota IR₆-6.

4.2.2. Ocena błędów pomiarów przyspieszeń i opóźnień

Błąd pomiaru czasów hamowania i rozruchu wynika z dokładności zastosowanej aparatury i błędu przetwarzania komputerowego wyników pomiaru.

Wpływ na dokładność pomiarów ma także nieliniowość charakterystyki prądnicy tachometrycznej. Badania prądnicy tachometrycznej na stanowisku testującym wykazały, że odchylenia wartości napięć dla całego zakresu prędkości obrotowych nie przekraczają 1 % od przebiegu teoretycznego tj. funkcji liniowej.

Błąd przetwarzania wynika z czasu zwłoki występującego pomiędzy zarejestrowaniem wartości napięcia i wartości prądu silnika. Czas ten jest rzędu nanosekund co przy wielkościach mierzonych w milisekundach nie wpływa zasadniczo na dokładność pomiaru.

Zastosowana aparatura pomiarowa, tj. karta przetwornika i wzmacniacz programowany nie wnoszą większego błędu niż dziesiątne części procenta. Częstotliwość próbkowania przetwornika wynosząca kilkadziesiąt milisekund pozwala dokładnie określić czasy hamowania i rozruchu. Błąd całkowity pomiaru wynosi około 1-2 %.

W przypadku zastosowania czujników przyspieszeń dla określenia dynamicznych własności części manipulacyjnej robota, należy uwzględnić poprawkę wynikającą z rejestracji wartości przyspieszenia ziemskiego przy ruchu czujnika w płaszczyźnie prostopadłej do podłoża. Ponieważ poprawka ta jest funkcją kąta obrotu osi robota, można zapisać matematycznie jej wartość i uwzględnić przy przetwarzaniu komputerowym jej wpływ na odczyt wielkości mierzonego przyspieszenia.

Aparatura zastosowana w tej metodzie tj. czujniki przyspieszeń, multi plekser, wzmacniacz, generator fali nośnej i moduł odczytu są wykonane w klasie 0,2 co gwarantuje dokładność pomiaru rzędu 1 %.

4.2.3. Pomiar prędkości maksymalnych

Dla robotów IRb-6, IRp-6, IRb-60, IRp-60 pomiar prędkości maksymalnych poszczególnych osi wykonuje się dla robota nieobciążonego. Pomiar tego parametru dokonywany jest na tym samym stanowisku pomiarowym co pomiary przyspieszeń i opóźnień.

Pomiar może być realizowany przy pomocy 2 metod:

Pierwsza z nich polega na pomiarze napięcia prądnicy tachometrycznej, druga na całkowaniu numerycznym przebiegów przyspieszeń uzyskanych za pomocą czujników przyspieszeń.

Algorytm przetwarzania komputerowego podany jest w dalszej części n/opracowania /w p. 4.3/. Rys. 5e

Wymagane ZN prędkości poszczególnych osi robota podaje tabela 7 .

Tabela 7

Stop. swobody \ Typ robota	IRp-6, IRb-6	IRp-60, IRb-60
ϕ	95 %	90°/s
θ	0,75 m/s	1 m/s
α	1,1 m/s	1,5 m/s
z	115°/s	90°/s
y	195°/s	150°/s

Niezależnie od wybranej metody należy dokonać trzech pomiarów dla każdego z ramion w obydwu kierunkach ruchu. Wynik uznaje się za pozytywny jeśli średnia wartość z trzech pomiarów jest nie mniejsza od wart. podanej w tabeli 7 .

Poprzez dodatkowy pomiar sygnału napięciowego wartości zadanej prędkości /punkty pomiarowe - patrz tabela 5 / i porównanie z prędkością zmierzoną można stwierdzić z jakim błędem serwomechanizm realizuje zadaną wartość prędkości. Informacja może być interesująca dla oceny jakości regulacji pętli szybkościowej serwomechanizmu.

4.2.4. Ocena błędów pomiaru prędkości maksymalnych

Przy pomiarze prędkości na podstawie przebiegu napięcia prądnicy tachometrycznej popełniany jest błąd wynikający przede wszystkim z tolerancji tzw. stałej napięcia K_E prądnicy tachometrycznej, której tolerancja w przypadku prądnic krajowych wynosi $\pm 10\%$. Przy tak dużej wartości tolerancji K_E inne błędy, a więc: błąd wynikający z dokładności użytej aparatury pomiarowej i błąd przetwarzania są pomijalnie małe. Można przyjąć, że błąd całkowity tej metody wynosi $\pm 10\%$.

Metoda wykorzystująca sygnał z czujników przyspieszenia jest dokładniejsza. Na błąd tej metody oprócz błędu zastosowanej aparatury pomiarowej wpływa błąd dodatkowy wynikający z zastosowanej metody całkowania. Oprócz tego występuje jeszcze błąd wynikający z dokładności określenia miejsca zamocowania czujników.

Sprzęt pomiarowy opisany w sprawozdaniu CPBR 7.1 zadanie 2.1, tj. głowica teodolitowa i czujnik przemieszczeń WIDA-10, służący do pomiaru przestrzeni roboczej pozwala określić położenie czujnika względem osi obrotu danej osi z dokładnością do 0,1 mm. Ponieważ minimalna odległość umieszczenia czujnika od osi obrotu wynosi 30 mm, daje to błąd rzędu 0,33 %. Całkowity błąd metody przy uwzględnieniu wymienionych na wstępie czynników nie powinien przekroczyć 1 %.

Przy pomiarach prędkości maksymalnych poszczególnych osi robota może być zastosowana metoda z wykorzystaniem przekaźników fotoelektrycznych używanych do pomiaru R_{max} i R_{min} /CPBR 7.1 zad.2.1/.

Dokładność tej metody jest porównywalna z dokładnością pomiaru za pomocą czujników przyspieszeń.

Można, rezygnując z całkowania za pomocą programu użytkowego zastosować aktywny układ całkujący zbudowany ze wzmacniacza operacyjnego i elementów R.C.. Z uwagi na trudności związane z zakupem /brak na rynku/ bardzo dokładnych elementów R.C. a zwłaszcza kondensatorów o stałych w czasie parametrach oraz uzyskanie porównywalnej dokładności z całkowaniem matematycznym zostaną wykorzystane matematyczne algorytmy całkowania numerycznego.

4.2.5. Pomiar przeregulowania prędkości

Dla robotów IRp-6, IRp-60, IRb-6, IRb-60 warunki pomiaru są takie same jak przy pomiarach prędkości maksymalnych.

Według ZN-86/MERA-018/255,256, ZN-82/MERA-018/245,246 przeregulowanie to dla każdego z ramion robota nie powinno przekroczyć 10 % wartości prędkości maksymalnej. Pomiarzy będą wykonywane na tym samym stanowisku i przy wykorzystaniu wcześniej uzyskanych wyników, tj. przebiegu napięcia prądnicy tachometrycznej i czujnika przyspieszeń. Zostanie wykonana komputerowa obróbka danych pomiarowych stosownie do zadania pomiarowego. Algorytm obróbki sygnału podany jest w dalszej części opracowania /w p. 4.3/. Błąd popełniany przy pomiarach szacowany jest analogicznie jak w p. 4:2.2.

4.2.6. Pomiar amplitudy oscylacji sygnału prędkościowego

Pomiar ten wykonuje się wykorzystując uprzednio zdjętą charakterystykę napięcia prądnicy tachometrycznej.

Dla robotów IRp-6, IRb-6, IRp-60, IRb-60 pomiar dokonywany jest przy prędkości równej 1,3 % prędkości maksymalnej dla nieobciążonego robota. Wg ZN-82/MERA-018/245,246, ZN-86/MERA-018/255,256 amplituda oscylacji nie powinna przekraczać wartości podanych w tabeli 8 .

Tabela 8

Stop. swobody	Amplituda oscylacji	
	IRp-6 IRb-6	IRp-60 IRb-60
φ	25	150
θ	50	400
α	25	300
t	20	150
ν	20	150

Podobnie jak dla robotów IRp, IRb pomiary te można wykonać dla robota PR-02/E oraz pozostałych robotów z serwo-mechanizmami elektrycznymi.

Wymagania i warunki badań dla pomiarów oscylacji sygnału prędkościowego są określone tylko dla robotów IRp-6, IRb-6, IRp-60 i IRb-60. Celowe byłoby określenie wymagań odnośnie tego pomiaru również dla innych robotów.

4.2.7. Ocena błędów pomiaru amplitudy oscylacji sygnału prędkościowego

Błąd tej metody zależy głównie od rozdzielczości zastosowanego przetwornika analogowo-cyfrowego i wynosi 0,024 %.

4.2.8. Pomiar prądu silników

Pomiar ten dokonywany jest obecnie jednocześnie z pomiarem napięcia prądnicy tachometrycznej. Z przebiegu prądu silników określa się momenty rozpoczęcia przyspieszenia i hamowania. Znajomość wartości prądu silnika przydatna jest również przy ocenie nieprawidłowości działania części mechanicznej /zwiększone tarcie mechaniczne, powodu-

je wzrost prądu silnika/.

Pomiary będą wykonywane na tym samym stanowisku co poprzednie sprawdzenia. Pomiar polega na określeniu wartości napięcia na boczniku pomiarowym lub dokonywany jest metodą pośrednią /patrz tab.5 /.

Ze względu na małą amplitudę sygnału pomiarowego i mogące wystąpić błędy spowodowane zakłóceniami oraz spadkiem napięcia na długich przewodach pomiarowych sygnał z bocznika pomiarowego podany jest na wejście wzmacniacza. Dla celów automatyzacji pomiarów zakłada się wykorzystanie wzmacniacza programowanego.

4.3. Wstępne założenia na program użytkowy badania serwomechanizmów

1. Pomiary przyspieszeń i opóźnień, prędkości maksymalnych oraz przeregulowania da się zorganizować w jednym programie gdyż do wyznaczenia wartości w/w parametrów wystarczy przetworzenie zarejestrowanego napięcia prądnicy tachometrycznej i prądu silników.

Rys.4 przedstawia przebieg napięcia prądnicy tachometrycznej oraz prądu silnika, gdzie użyte symbole oznaczają:

$+V_{max}$ - prędkość maksymalna danej osi robota w ruchu ustalonym
 $-V_{max}$ /znak "+", "-" odnosi się do ruchu w przeciwnych kierunkach/

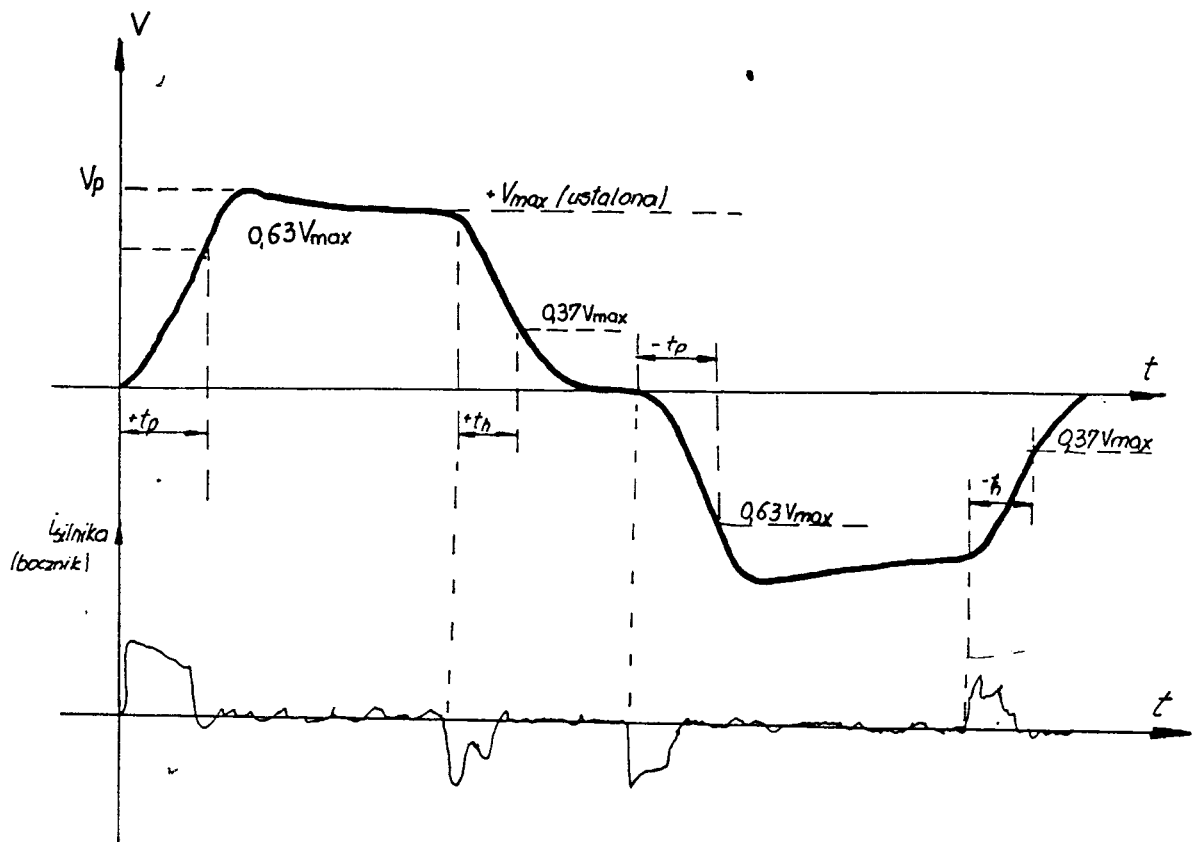
t_h - czas hamowania określane również dla ruchu w obu
 t_p - czas przyspieszenia kierunkach

V_p - maksymalna chwilowa prędkość ruchu danej osi /służy do
/ określenia przeregulowania/

Blokowy schemat organizacji programu przedstawiony jest na rys.5a-d
Zasada jego pracy jest następująca:

Po uruchomieniu programu badawczego dla części manipulacyjnej następuje włączenie zasilania sprzętu pomiarowego. Pomiar wykonywany jest sekwencyjnie dla każdej osi robota oddzielnie. Cykl pomiarowy dotyczący każdej następnej osi robota następuje dopiero po wykonaniu pomiarów i obróbce danych osi poprzedniej.

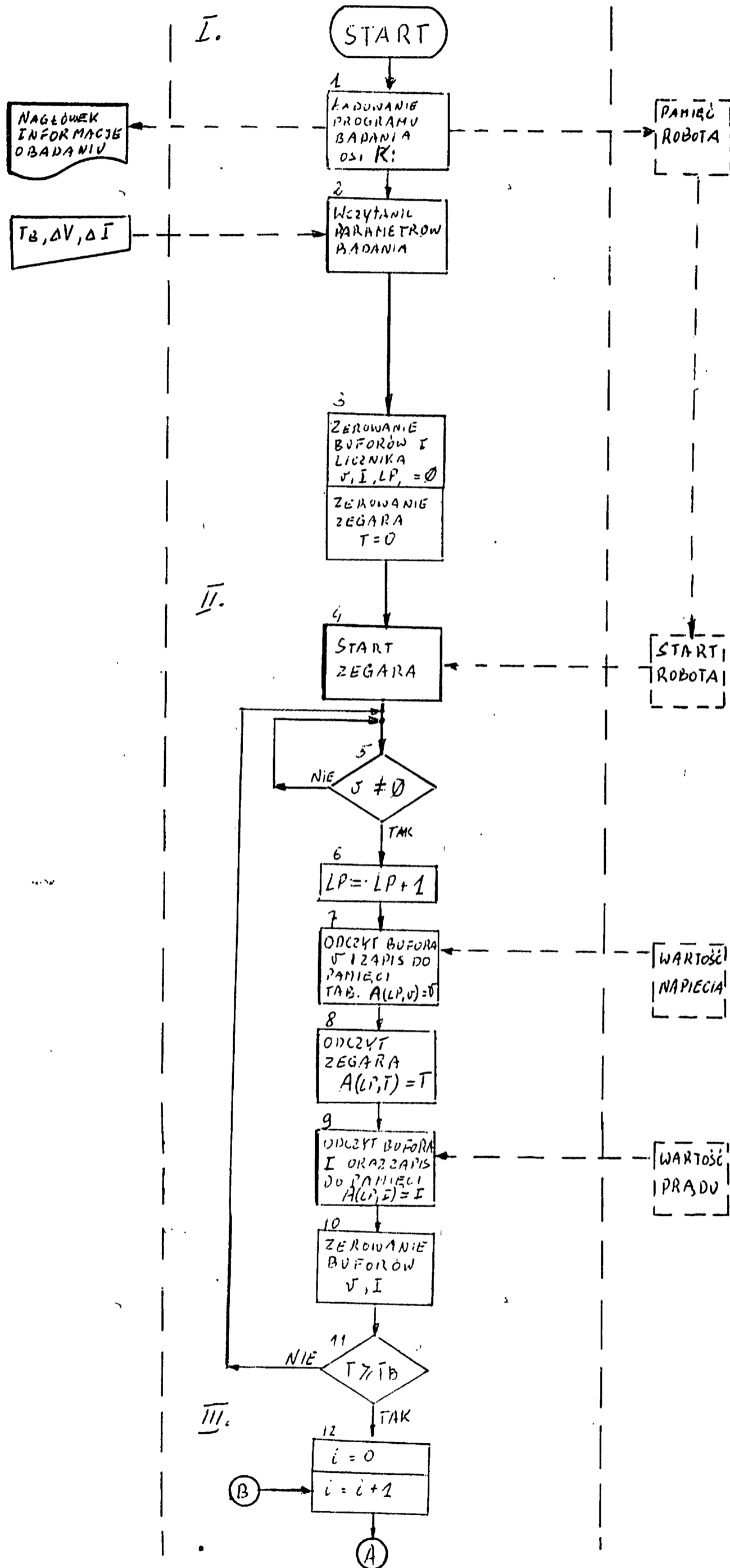
Przy pomocy przetwornika A/C dokonuje się w komputerze rejestracji chwilowych wartości napięć prądnicy tachometrycznej oraz prądu silnika wraz z odpowiadającymi im wartościami czasu. Częstota próbkowania zależy od szybkości przetwornika. Zakłada się zastosowanie przetwornika o czasie próbkowania w granicach kilkudziesięciu mikrosekund. Częstotliwość próbkowania może być realizowana w programie użytkowym z różnym krokiem. W początkowych i końcowych fazach ruchu,



Rys. 4.

Przykładowy wykres napięcia prądnicy tachometrycznej (prędkości) w funkcji czasu, z podaniem punktów charakterystycznych

Rejestrowany równoległe przebieg prądu silnika pozwala określić t_p i t_h



KOMENTARZ

I. DEKLARACJE WSTĘPNE

1. R_1 - os φ
- 2 - " - θ
- 3 - " - α
- 4 - " - ϵ
- 5 - " - ν

2. T_B - CZAS BADAŃIA
- ΔV - DOPUSZCZALNA MAX AMPLITUDE OSCYLACJI PRĘDKOŚCI
- ΔI - DOPUSZCZALNA MAX AMPLITUDE OSCYLACJI PRĄDU

3. Wstępne zerowanie wybranych rejestrów
- V - bufor pomiarów napięcia
- I - " - " - prądu
- LP - licznik próbek
- T - zegar systemowy

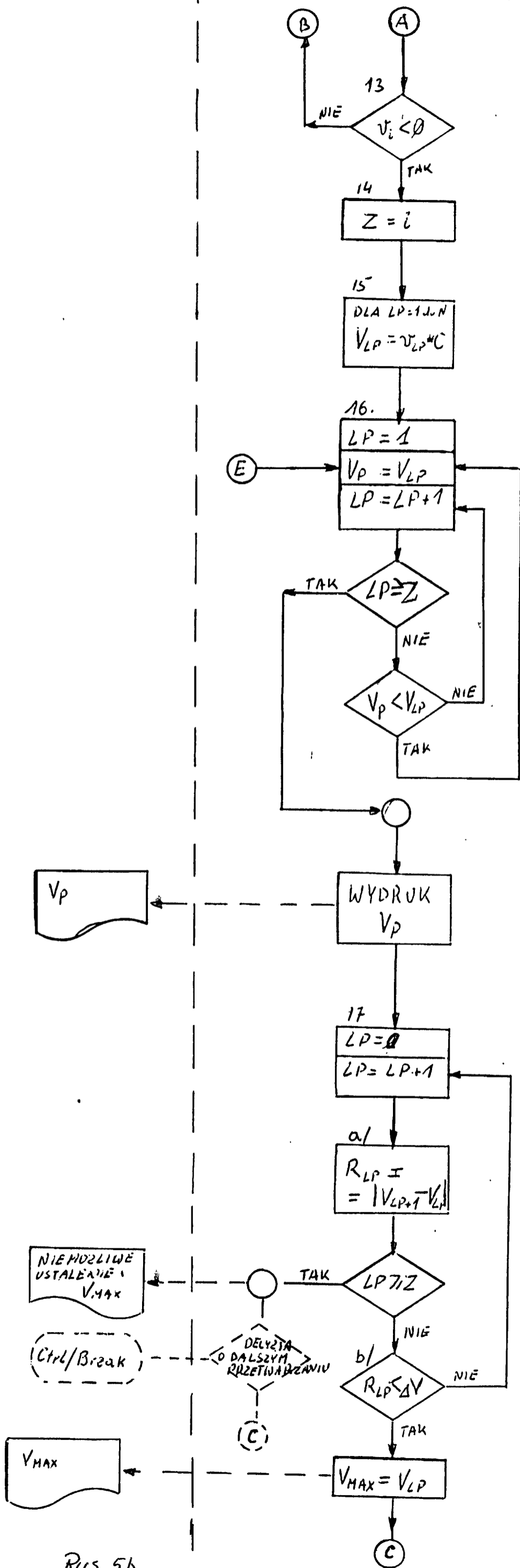
II. GŁÓWNA PĘTLA ZBIERANIA POMIARÓW

4. Uruchomienie zegara systemowego.
5. Oczekiwanie w pętli na pojawienie się wartości pomiaru w buforze
6. Inkrementacja licznika próbek LP
7. Zapis wyniku pomiaru napięcia V w próbce LP do tablicy A.
8. Zapis czasu pomiaru T do tablicy A.
9. Zapis wyniku pomiaru prądu I w próbce LP do tablicy A
10. Przygotowanie buforów do przyjęcia następnego wyniku pomiaru.
11. Sprawdzenie czy upłynął czas badania T_B .

III. PRZETWARZANIE WYNIKÓW POMIARÓW

12. i - licznik roboczy

Rys. 50. Blokowy schemat organizacji programu do przetwarzania wyników pomiaru przyspieszeń i opóźnień, prędkości maksymalnych i przeregulowania prędkości



13.} Wyznaczenie momentu
14.} (nr próbki i) zmiany kierunku ruchu

Z - nr próbki w czasie której następuje zmiana kierunku ruchu

15. Przeliczenie napięcia na prędkość

V - prędkość
U - napięcie
C - stała prędkości tachometrycznej

16. Poszukiwanie wartości przeregulowania V_p .

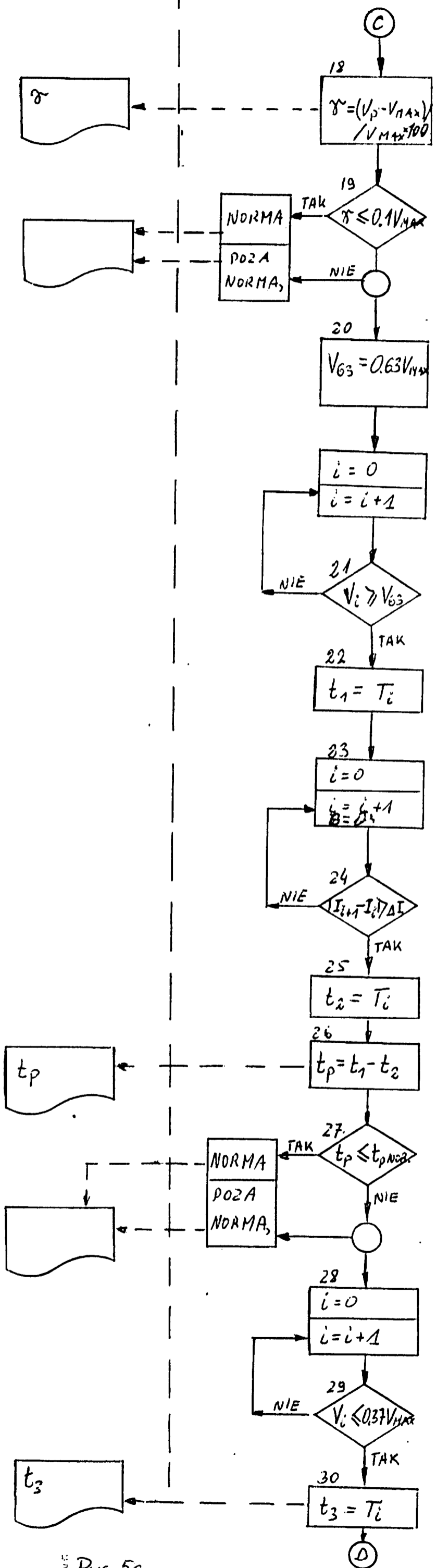
17. Wyznaczenie prędkości V_{MAX} w ruchu ustalonym

a/ obliczanie kolejnych różnic prędkości R

b/ badanie czy wyliczone różnice R są mniejsze od dopuszczalnych oscylacji

Rys. 5b

26



18. Obliczanie wartości przeregulowania γ

$$\gamma = \frac{V_p - V_{MAX}}{V_{MAX}} \cdot 100\%$$

19. Porównanie γ z normą.

20. Obliczenie 63% V_{MAX} dla wyznaczenia czasu t_1

21, 22 Wyznaczenie czasu t_1

23-25 Wyznaczenie czasu t_2

B - rejestr pomocniczy (zapamiętuje wystąpienie pierwszego impulsu spadającego)

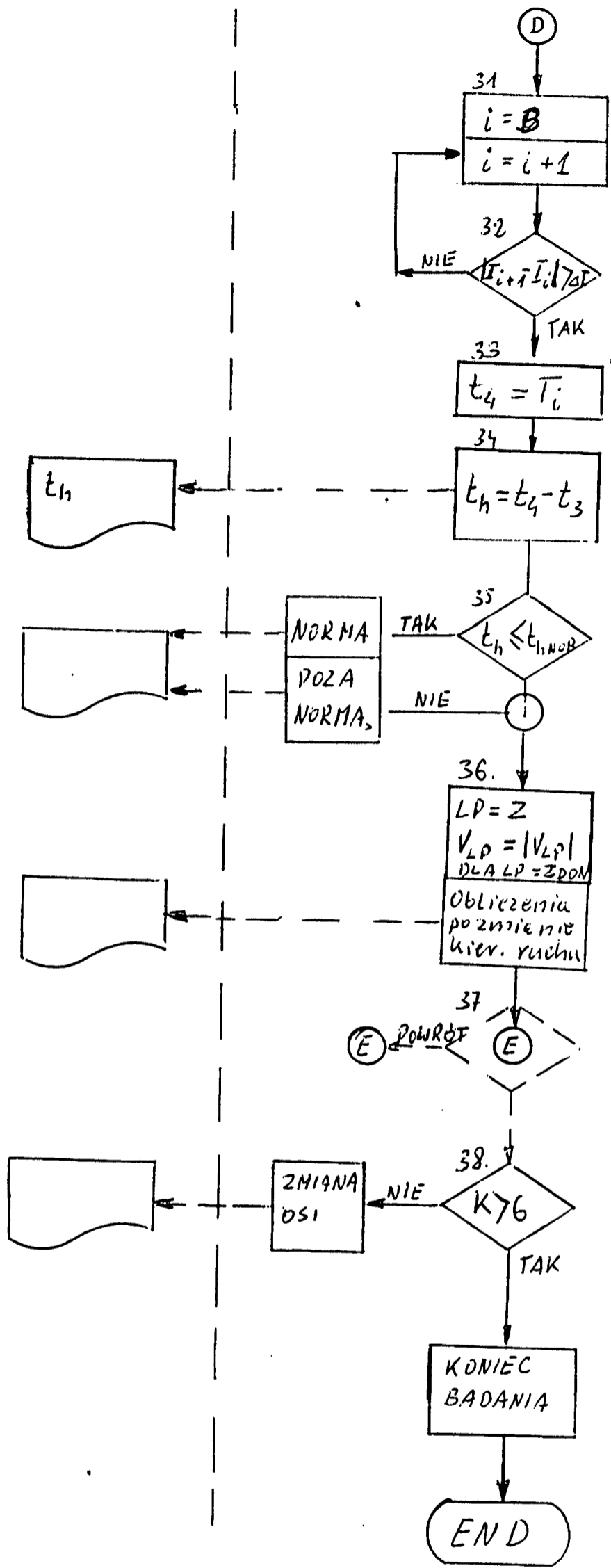
26. Obliczenie czasu rozruchu t_p .

27. Porównanie t_p z normą

28-30 Wyznaczenie czasu t_3 .

10

Rys. 5c



31 ÷ 33 Wyznaczenie czasu t_4

34. Obliczenie czasu hamowania.

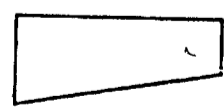
35. Porównanie t_h z $t_{h,NORM}$


36. Zmiana parametrów dla obliczeń po zmianie kierunku ruchu /obliczenia dla próbek nr Z ÷ N/

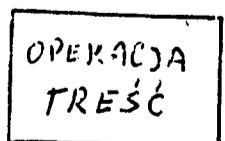
37. powrót do (E) (p. 16) /decyzja o kontynuowaniu obliczeń/

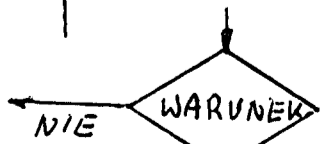
38. K76 → Czy przebadano wszystkie osie? /Decyzja o badaniu następnych osi/

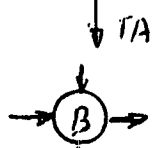
Oznaczenia

 - Wprowadzenie danych z klawiatury

 - Wydruk komunikatu lub wyników obliczeń

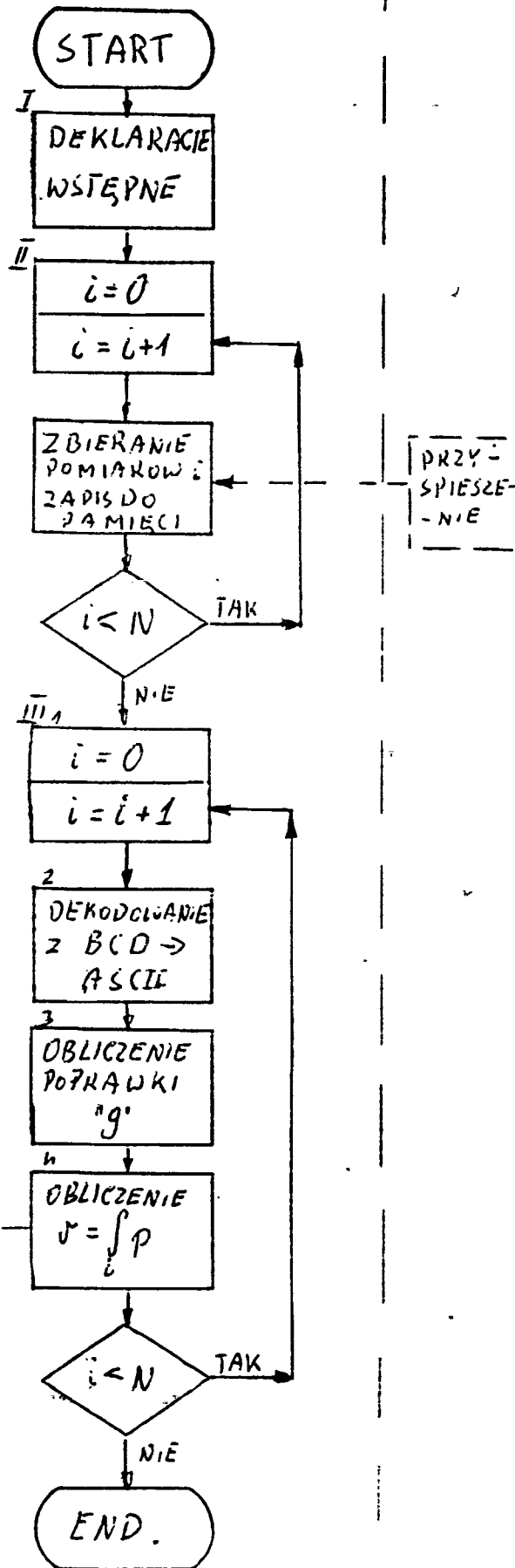
 OPERACJA TREŚĆ - instrukcje operacyjne

 WARUNEK - instrukcje warunkowe

 - łącznik

Rys. 5d

KOMENTARZ



II. Pętla zbierania wyników pomiarów z czujnika przyspieszenia. (w kodzie BCD)

PRZYSPIESZENIE

III.2. Dekodowanie wyników pomiarów z kodu BCD na kod ASCII.

3. Obliczenie poprawki wyników z wpływem przyspieszenia ziemskiego "g"

4. Obliczenie $v = \int p$ = prędkości na podstawie przyspieszenia.

Rys. 5e. Algorytm przetwarzania komputerowego do pomiaru prędkości (metoda pomiaru za pomocą czujników przyspieszeń)

gdy chodzi o dokładne określenie czasów t_p i t_h próbkowanie realizowane jest z maksymalną częstotliwością, natomiast w zakresie ruchu ustalonego jego częstotliwość może być mniejsza 2 albo 3 razy. Skróci to czas obróbki danych.

Komputer gromadzi sygnały z czujnika w dwóch rejestrach przypisując im konkretne chwile. Rejestry zorganizowane są w postaci tablic 3 wierszowych o n kolumnach. Pierwsza z tablic zawiera wartości napięć prądnicy tachometrycznej danej osi dla konkretnych chwil, druga wartości prądu silnika. Po zakończeniu określonej programowo ilości pomiarów generowany jest sygnał zatrzymania robota do momentu wydruku opracowanych wyników pomiarów dla pierwszej badanej osi.

Algorytm programu

Zebrane wartości napięć w postaci tablicy A po przemnożeniu przez stałą prądnicy tachometrycznej C są przeliczane na wartości prędkości V. Otrzymane wyniki umieszczane są w tabeli.

Następnym krokiem programowym jest znalezienie wartości prędkości maksymalnej ruchu V_p . Komputer dokonuje tego w dwóch etapach.

Najpierw dla wartości dodatnich, następnie poprzez pętlę programową zamieniając wartości ujemne na ich bezwzględne odpowiedniki i powtarzając ten sam algorytm matematyczny.

Wartość maksymalna V_p zostaje zapamiętana, a następnie wydrukowana z odpowiednim komentarzem. Następnym krokiem jest znalezienie prędkości maksymalnej w ruchu ustalonym V_{max} .

Za prędkość ustaloną maksymalną na danym odcinku toru przyjmuje się prędkość, której zmiany na tym odcinku są mniejsze od wartości założonej programowo.

Wartość prędkości V_{max} jest również zapamiętywana i wydrukowana z odpowiednim komentarzem. Procedura obliczeń V_{max} dla ruchu w kierunku przeciwnym jest identyczna jak w przypadku V_p /ta sama pętla programowa/.

Wykorzystując określone poprzednio wartości V_p i V_{max} oblicza się wartość przeregulowania:

$$\gamma = \frac{V_p - V_{max}}{V_{max}} \cdot 100 \%$$

Zgodnie z warunkami określonymi w normie wartość przeregulowania nie może przekraczać 10 % V_{max} . Po sprawdzeniu tego warunku drukowany jest odpowiedni komentarz.

Zebraane w pamięci komputera wartości V_{max} oraz zarejestrowane w dodatkowym rejestrze wartości prądu silnika danej osi pozwalają na określenie czasów rozruchu i hamowania.

Rejestrowane wartości prądów silnika powinny odpowiadać tym samym chwilom co zarejestrowane wartości napięć prądnicy tachometrycznej. Wykorzystując wartość V_{max} komputer oblicza $0,63 V_{max}$, tj. wielkość konieczną dla określenia czasu rozruchu.

Z porównania czasu t_1 odpowiadającego tej wartości prędkości /odczytaną z tabeli A/ z czasem t_2 skokowej zmiany wartości prądu silnika /z rejestru pomocniczego/ otrzymuje się czas rozruchu silnika.

Zastrzeżenie programowe zakłada, że $0,63 V_{max}$ oraz odpowiadający jej czas oblicza się dla narastającego zbocza wykresu prędkości

t_p - czas rozruchu wynosi:

$$t_p = t_1 - t_2$$

Po porównaniu czasu obliczonego z czasem określonym w normie zostaje wydrukowany komentarz.

Dla określenia czasu hamowania, wykorzystywane jest opadające zbocze wykresu prędkości, na którym określona jest wartość $0,37 V_{max}$ oraz odpowiadający jej czas t_3 .

Z rejestru wartości prądu odczytywany jest czas t_4 odpowiadający skokowej zmianie prądu i obliczony czas hamowania $t_h = t_4 - t_3$, po czym następuje wydruk z komentarzem.

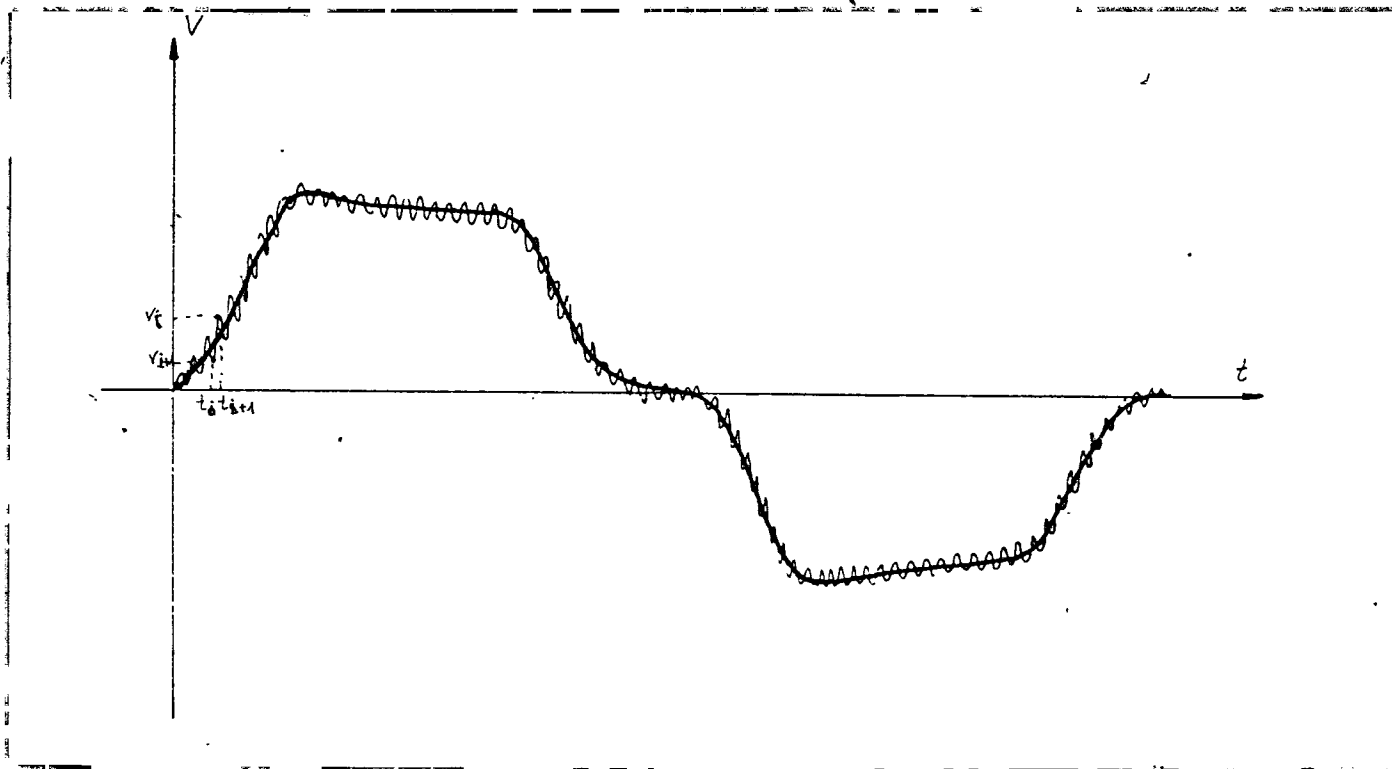
Po obliczeniu i wydrukowaniu wyników tej części bloku, tzn. V_p , V_{max} , γ , t_p i t_h dla jednej osi robota następuje badanie drugiej osi. Cykl pomiarowy realizowany jest przez ten sam przetwornik oraz program użytkowy przy wprowadzeniu jedynie niewielkich zmian wielkości skoków i czasów próbkowania ze względu na różniące się od siebie przebiegi badanych wielkości dla różnych osi robota.

Koniec programu użytkowego powoduje wyłączenie napięć zasilających elementy pomiarowe oraz włączenie STOPu części manipulacyjnej.

Przewiduje się zastosowanie plotera do graficznej prezentacji wyników w postaci wykresów charakterystyk kinematycznych poszczególnych osi robota.

Wydruki γ , V_p , V_{max} , t_h , t_p można zorganizować w postaci tabel z odpowiednimi komentarzami co uczyni wydruk krótszym i bardziej przejrzystym.

2. Pomiar amplitudy oscylacji sygnału prędkościowego - Na rys. 6 przedstawiono przebieg napięcia prądnicy tachometrycznej wraz ze składową zmienną tego napięcia.



Rys.6. Przebieg napięcia prądnicy tachometrycznej wraz ze składową zmienną tego napięcia

Program użytkowy ma za zadanie wyszukiwanie maksimum i minimum wartości napięcia V dla rosnących wartości czasów $t \in (t_0; t_n)$ z krokiem o czasie t_i co najmniej dwukrotnie krótszym od okresu oscylacji. Np. dla czasu t_i wartość napięcia V_i jest maksymalna, a dla czasu t_{i+1} wartość V_{i+1} jest minimalna, wówczas amplituda oscylacji $\frac{V_i - V_{i+1}}{2}$. Ze wszystkich uzyskanych w ten sposób wartości amplitud wybierana jest wartość maksymalna jako amplituda oscylacji sygnału prędkościowego. Wartość tej amplitudy porównywana jest z wartością podaną w tabeli 8 n/sprawozdania, po czym następuje wydruk z odpowiednim komentarzem.

Na rys.7 podano algorytm na badanie oscylacji sygnału prędkościowego.

5. Metody pomiarów parametrów robotów z napędami elektrohydraulicznymi

W tabeli 9 podano schematy blokowe serwomechanizmów hydraulicznych stosowanych w robocie RIMP-901 produkowanym przez IMP.

Schemat stanowiska do pomiarów parametrów robotów z napędami elektrohydraulicznymi /elektropneumatycznymi/ przedstawia rys.8.

Stanowisko to umożliwia badanie takich parametrów robota RIMP-901, jak:

- przyspieszenie i prędkość w funkcji nastaw wielkości elektrycznych /zmiana wartości napięcia zasilającego w granicach +10, -15 %/,
- przyspieszenie i prędkość w funkcji nastaw wielkości hydraulicznych /zmiana wartości ciśnienia cieczy roboczej w granicach ± 10 %/.

Ponadto można mierząc napięcie sterujące serwozaworami /sygnał różnicy wartości otrzymanej z przetwornika obrotowo-kodowego i pamięci/ zbadać z jakim błędem serwomechanizm realizuje zadany ruch.

Stanowisko to jest podobne do stanowiska badań serwomechanizmów elektrycznych. Oprócz czujników przyspieszeń i współpracującej z nimi aparatury pomiarowej, stanowisko wyposażone jest w czujniki ciśnienia wraz z aparaturą pomiarową zamiast karty przetwornika A/C i wzmacniacza programowanego do badań serwomechanizmów elektrycznych.

Norma zakładowa nie wymaga wykonywania badań serwomechanizmów robotów RIMP. Roboty RIMP-901 są przeznaczone głównie do prac malarskich i w związku z tym wymagania dot. dokładności odwzorowania zaprogramowanego toru ruchu nie są zbyt wysokie.

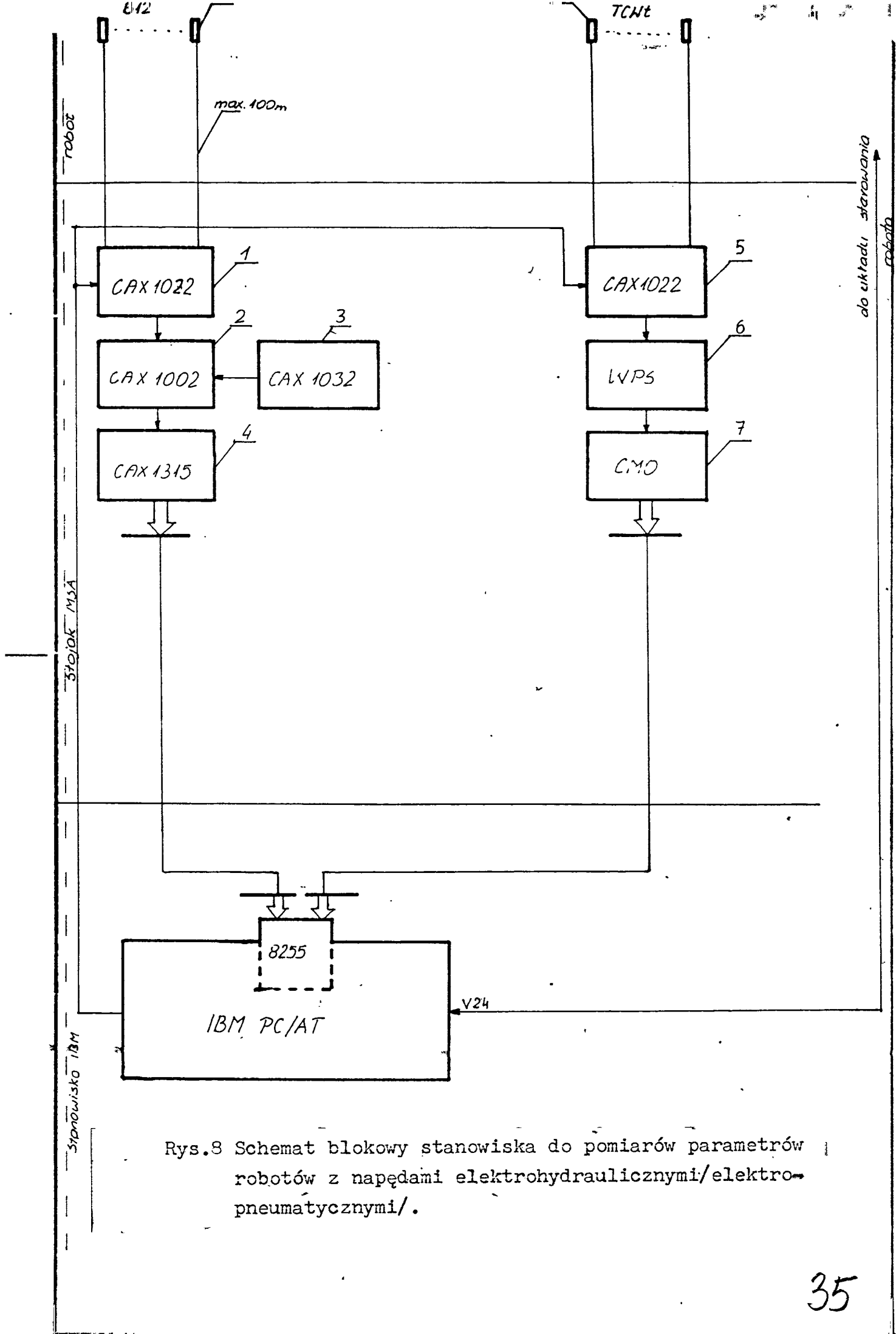
Wydaje się jednak, że stworzenie możliwości i wykonanie pomiarów prędkości i przyspieszenia w funkcji nastaw zasilania elektrycznego i hydraulicznego, a także pomiaru napięcia zadającego położenia i prędkości mogą dostarczyć wiele informacji o jakości pracy robota, istotnych dla użytkownika, jak np.: wpływ wahań napięcia w sieci energetycznej czy spadek ciśnienia cieczy roboczej na przyspieszenie i prędkość robota /jego dynamikę/ a tym samym na wielkość błędu w odtwarzaniu zaprogramowanego toru ruchu.

Tabela 9

Robot	Elementy serwomechanizmu	Schemat blokowy
RIMP-901	Ruchy regionalne Serwozawór hydrauliczny CK1-203 Ex Rozdzielacz Silnik liniowy Przetwornik obrotowo-kodowy PFK-03	
	Ruchy lokalne Serwozawór hydrauliczny CK1-103 Ex Rozdzielacz Silnik wahadkowy Przetwornik obrotowo-kodowy PFK-03	

a'' - zasilanie hydrauliczne
 b'' - sygnał wartości zadanej położenia
 c'' - sygnał wartości rzeczywistej położenia

- Sz - Serwozawór
- Rs - Rozdzielacz
- Sl - Silnik liniowy
- Sw - Silnik wahadkowy
- Pk - Przetwornik obrotowo-kodowy
- PSE - Pakiet serwozaworu
- PCA 522 - Pakiet przetwornika C/A
- PPC 521 - Pakiet przetwornika cyfrowego
- PEN - Pakiet enkodera (przetwornika obrotowo-kodowego)



Rys.8 Schemat blokowy stanowiska do pomiarów parametrów robotów z napędami elektrohydraulicznymi/elektropneumatycznymi/.

Wykaz aparatury użytej do budowy stanowiska

1. multiplekser CAX1022 - analogowy 20 wejść dwuprzewodowych lub 10 wejść czteroprzewodowych
2. uniwersalny wzmacniacz z falą nośną CAX1002
 - pasmo przenoszenia 0-1 kHz
 - nieliniowość 0,1 %
 - rezystancja wejściowa 100k Ω
3. generator fali nośnej 5 kHz - CAX1032 - niezbędny do współpracy z CAX1002
4. moduł odczytu CAX1315 - cyfrowy, wyjście cyfrowe umożliwiające sprzęgnięcie z drukarką
5. multiplekser CAX1022
6. tensometryczny wzmacniacz pomiarowy prądu stałego WPS
 - do współpracy z czujnikami tensometrycznymi TCWt
 - pasmo przenoszenia 0-200 Hz
 - nieliniowość 0,3 %
 - rezystancja wejściowa 1 M Ω
7. moduł odczytu CMO - cyfrowy, zasilany z zewnętrznego zasilacza +5V
8. tensometryczny czujnik ciśnienia względnego TCWt
 - zakres 0+0,5 MPa
 - 0+1 MPa
 - 0+5 MPa
 - 0+10 MPa
 - klasa 0,2 %
9. czujnik przyspieszeń B12
 - zakres 0-200 m/s²
 - nieliniowość 0,25 %

Przyrządy wyszczególnione w p. 1-8 produkowane są przez firmę P.Z. "CAREX".

Czujnik z punktu 9 produkowany jest przez firmę Hottinger Baldwin Messtechnik GMBH.

6. Uwagi końcowe

Zaproponowana w niniejszym opracowaniu aparatura pomiarowa może być wykorzystana przy badaniach robotów, które nie są wyposażone konstrukcyjnie w serwonapędy w zakresie pomiarów czujnikami przyspieszenia.

Zakresy pomiarowe zastosowanej aparatury umożliwiają badanie maksymalnej średniej prędkości ruchu modułu liniowego i obrotowego robota PR-02. Wymagane ZN-79/MERA-018/212+215 maksymalne średnie prędkości ruchu dla modułów robota PR-02 podaje przykładowo tabela 10.

Tabela 10

Moduł	Prędkość
MA501	0,1 m/s
MA3001	0,3 m/s
MA3002	0,5 m/s
MA6002	0,5 m/s
MB2003	0,3 m/s
MB4003	0,3 m/s
MB6003	0,3 m/s
MC321	0,1 m/s
MC502	0,1 m/s
MD2402	90°/s
MD3001	90°/s
MD3603	90°/s
ME1801	90°/s
ME1802	120°/s
ME3602	90°/s

Zawarte w opracowaniu algorytmy, stanowiące założenia do komputerowego programu badań, stanowią wstępny schemat ideowy przetwarzania wyników pomiaru. Istota rozwiązania polega na gromadzeniu wyników pomiarów w pamięci komputera, a przetwarzanie zebranych danych następuje po zakończeniu każdego cyklu pomiarowego. Taki sposób organizacji przetwarzania zapewnia dużą szybkość transmisji danych pomiarowych, co pozwoli na pełne wykorzystanie przetworników o dużej częstotliwości próbkowania, wpływają tym samym na dokładność pomiarów.

W ramach CPBR 7.1 "Roboty przemysłowe" prowadzone są prace zmierzające do wykonania w jednym module sterownika położenia i sterownika mocy oraz szerszego wykorzystania techniki cyfrowej w sterowniku mocy. Metody badań serwo-mechanizmów wykorzystujących nowe podzespoły mogą być opracowane po wykonaniu dokumentacji tych podzespołów.

7. Literatura

- 1 Manipulatory i roboty przemysłowe. Automatyczne maszyny manipulacyjne - praca zbiorowa WNT 1985
- 2 Roboty przemysłowe - Antoni Niederliński, WSzIP 1981
- 3 Opracowanie założeń techniczno-ekonomicznych nowoczesnych stanowisk do badania robotów przemysłowych. sprawozdanie PIAP nr rej. 5707
- 4 Opracowanie metody pomiaru oraz wykonanie projektu wstępnego stanowiska do badań przestrzeni roboczej, powtarzalności pozycjonowania statycznej i dynamicznej, dokładności odtwarzania zaprogramowanego toru ruchu oraz stałości parametrów w czasie - sprawozdanie PIAP nr rej. 5834
- 5 Cykl wykładów: Opis matematyczny robotów. PIAP 198703.09-0.6.15 wykł. doc dr inż. A.Kaczmarczyk

6 Normy

ZN-79/MERA-018/212, 214, 215, 216

ZN-82/MERA-018/245, 246

ZN-86/MERA-018/255, 256

Projekt normy RWPG. Roboty przemysłowe. Metody badań
17.027.12-86

Projekt normy MANIPULATING INDUSTRIAL ROBOTS - PERFORMANCE
CRITERIA AND RELATED TESTING METHODS - Part 1.

Projekt normy ZN-86 Robot przemysłowy RIMP 901. Wymagania i badania.