

INSTYTUT INFORMATYKI, AUTOMATYKI I ROBOTYKI
POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ

I-6

**LABORATORIUM URZĄDZEŃ I
UKŁADÓW AUTOMATYKI**

Ćwiczenie nr 11

DOBÓR NASTAW REGULATORA

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest nabycie umiejętności doboru nastaw regulatorów, oceny jakości regulacji i wykorzystywania procedur samonastrojania regulatorów.

2. Zakres ćwiczenia.

Ćwiczenie dotyczy doboru nastaw regulatora o wyjściu ciągłym PID w układzie regulacji stałowartościowej. Celem regulacji jest stabilizacja poziomu natlenienia wody w zbiorniku.

Program ćwiczenia zawiera :

- wyznaczenie parametrów dynamicznych uproszczonego modelu obiektu,
- dobranie nastaw regulatora wg reguł Zieglera-Nicholsa,
- uruchomienie układu regulacji i jego ocena,
- wykorzystanie wbudowanej procedury samonastrojania,
- porównanie jakości układów regulacji: z nastawami obliczonymi przez ćwiczących i z nastawami otrzymanymi wskutek samonastrojania regulatora,
- analiza przyczyn rozbieżności wyników.

3. Opis przebiegu ćwiczenia.

3.1. Identyfikacja własności dynamicznych obiektu.

Identyfikacja własności dynamicznych składa się z dwóch etapów: pierwszy polega na dobraniu modelu matematycznego najlepiej opisującego zachowanie się obiektu, drugi - na wyznaczeniu parametrów modelu. Ze względu na to, że dobór optymalnego opisu matematycznego obiektu jest na ogół bardzo trudny, stosuje się metody uproszczone. Umożliwiają one określenie, w krótkim czasie, modelu uproszczonego pozwalającego na wyznaczenie nastaw regulatora.

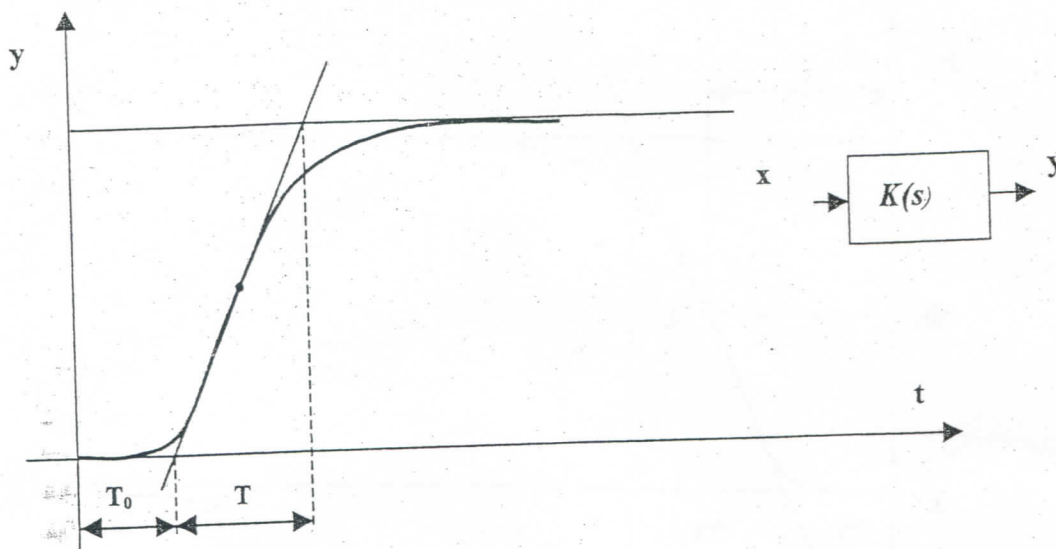
a. metoda Kűpfműllera.

Obiekt statyczny wysokiego rzędu opisywany jest transmitancją zastępczą obiektu inercyjnego pierwszego rzędu z opóźnieniem o postaci:

$$K(s) = \frac{k_o e^{-T_o s}}{Ts + 1}$$

Parametry tego modelu wyznacza się na podstawie odpowiedzi skokowej obiektu. Współczynnik wzmocnienia k_o można poprzez odpowiedni dobór jednostek wielkości wejściowej i wyjściowej sprowadzić do jedności przyjmując na przykład, że 100% zmianie sygnału wejściowego obiektu odpowiada 100% zmiana sygnału wyjściowego. W przypadku stosowania różnych jednostek sygnałów wejściowych i wyjściowych, współczynnik wzmocnienia nie będzie bezwymiarowy. Należy zaznaczyć, że przez transmitancję obiektu należy rozumieć transmitancję wszystkiego co znajduje się między wyjściem regulatora a jego wejściem. Przy standardowych WE i WY regulatora współczynnik wzmocnienia będzie wtedy bezwymiarowy. Sposób wyznaczenia dwóch pozostałych parametrów ilustruje rysunek 11.1.

Zastępczy czas opóźnienia T_o i zastępczą stałą czasową członu inercyjnego T wyznacza się graficznie prowadząc styczną do zdjętej charakterystyki obiektu w punkcie przegięcia. Punkty przecięcia stycznej z osią $0t$ oraz z rzędną poprowadzoną na poziomie sygnału wyjściowego obiektu w stanie ustalonym wyznaczają czasy T_o i T , jak zaznaczono na rys. 11.1.



Rys. 11.1. Wyznaczanie parametrów dynamicznych modelu Kűpfműllera.

b. metoda Strejca

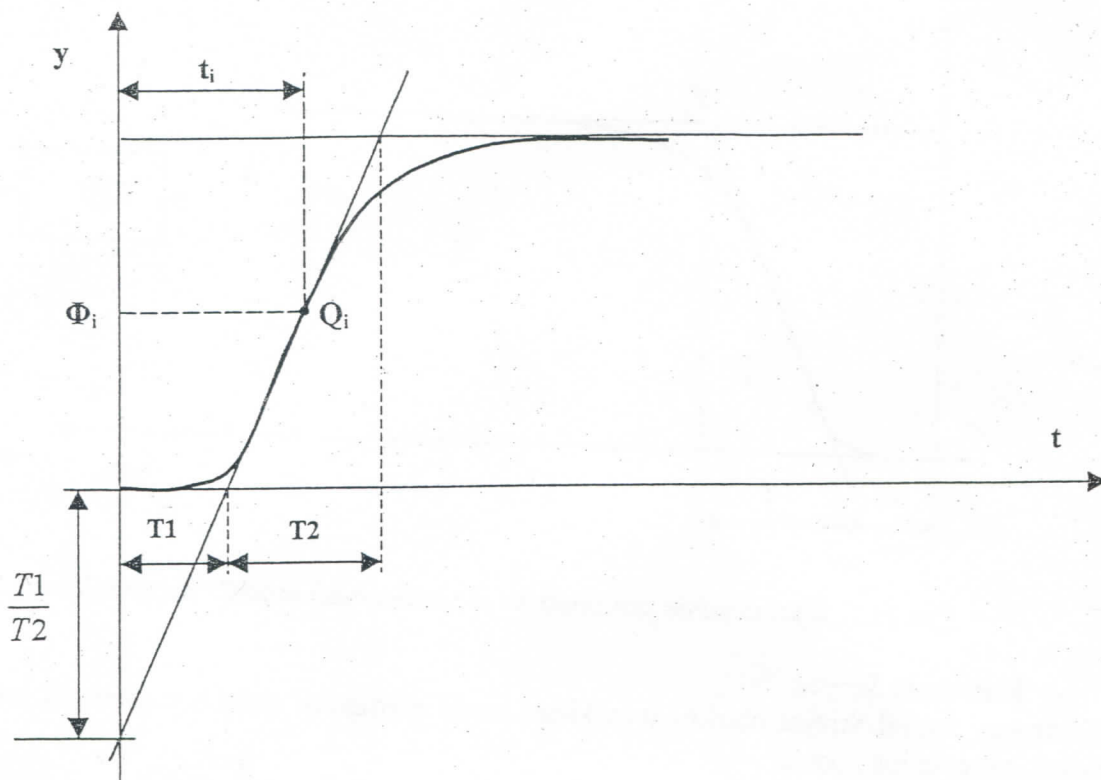
Zastępczy model Strejca obiektu wysokiego rzędu o różnych stałych czasowych i wzmocnieniu równym jedności ma postać:

$$\frac{1}{(Ts + 1)^n} \quad \text{lub} \quad \frac{e^{-T_0s}}{(Ts + 1)^n}$$

czyli składa się z n jednakowych członów pierwszego rzędu i ewentualnie opóźnienia, wtedy gdy nie można znaleźć takiego całkowitego n, które daje model wystarczająco dobrze przybliżający cechy obiektu. Wyznaczanie parametrów modelu także wymaga poprowadzenia stycznej w punkcie przecięcia krzywej odpowiedzi skokowej obiektu. Punkty przecięcia tej stycznej z osiami O_t , O_y i rzędną wyznaczoną przez stan ustalony odpowiedzi wyznaczają długości odcinków oznaczonych na rys. 11.2. Korzystając z wyznaczonych odcinków i poniższej tabeli określa się parametry modelu zastępczego.

Tabela 11.1.

n	T2/T	T1/T	T1/T2	t _i /T	Φ _i
1	1	0	0	0	0
2	2,718	0,282	0,104	1	0,264
3	3,695	0,805	0,218	2	0,323
4	4,463	1,425	0,319	3	0,353
5	5,119	2,100	0,410	4	0,371
6	5,699	2,811	0,493	5	0,384
7	6,226	3,549	0,570	6	0,394
8	6,711	4,307	0,642	7	0,401
9	7,164	5,081	0,709	8	0,407
10	7,590	5,869	0,773	9	0,413



Rys.11.2. Wyznaczanie parametrów dynamicznych modelu Strejca.

Sposób postępowania może być dwojaki. Po określeniu parametrów T_1 , T_2 , t_i , Φ_i :

- wyliczamy wartość T_1/T_2 i w tabeli 11.1. w kolumnie T_1/T_2 znajdujemy jej najbliższe przybliżenie. Następnie określamy wartość n i dla tego n z kolumny T_1/T lub T_2/T wartość T .
- znajdujemy w kolumnie Φ_i przybliżoną wartość zmierzonej Φ_i i w tym samym wierszu określamy n i z kolumny t_i/T wartość T .

Wyczenia należy dokonać dwoma sposobami i wybrać jedno z przybliżeń.

Sposób określenia modelu Strejca z uwzględnieniem czasu opóźnienia podany jest w ćwiczeniu nr 1.

3.2. Dobór nastaw regulatorów.

Najbardziej znaną, choć nie zawsze dającą dobre rezultaty, metodą doboru nastaw jest metoda Zieglera-Nicholsa. Występuje ona w dwóch wariantach. Pierwszy wykorzystuje zastępczy model Kűpfmüllera, a nastawy wyznacza się z zależności zebranych w tabeli 11.2.

Tab.11.2. Nastawy w/g Zieglera-Nicholsa, dla obiektów o modelach typu $\frac{K_o \exp(-sT_0)}{Ts + 1}$

Typ regulatora	K_p	T_i	T_d
PI	$\frac{0,9T}{K_o T_0}$	$3,33T_0$	
PID	$\frac{1,2T}{K_o T_0}$	$2T_0$	$0,5T_0$

Jeśli z jakichś względów nie jest możliwe otwarcie obwodu regulacji w celu przeprowadzenia próby skokowej, stosuje się drugą wersję metody, znaną też pod nazwą *cyklu granicznego* lub *granicy stabilności*. Regulator należy skonfigurować jako regulator czysto proporcjonalny (ewentualnie

ustawić w regulatorze PID maksymalny możliwy czas całkowania i możliwie mały czas różniczkowania). Następnie wzmocnienie K_p zwiększa się, aż do wystąpienia drgań niegasnących. Niech K_{gr} oznacza wzmocnienie regulatora, odpowiadające tej granicy stabilności, dla której możliwe było oszacowanie okresu drgań T_{gr} . Nastawy regulatora wyznacza się z zależności zebranych w tabeli 11.3.

Tab. 11.3. Nastawy w/g Zieglera-Nicholsa dla wariantu z zamkniętym układem regulacji

Typ regulatora	K_p	T_i	T_d
PI	$0,45 K_{gr}$	$0,33 T_{gr}$	
PID	$0,6 K_{gr}$	$0,5 T_{gr}$	$0,125 T_{gr}$

3.3. Dobór nastaw regulatora w trybie samonastrajania.

Zaawansowane konstrukcyjnie regulatory mikroprocesorowe często wyposaża się w algorytmy automatycznego lub półautomatycznego doboru nastaw. W pełni automatyczny dobór nastaw odbywa się okresowo bez udziału operatora w celu dostosowania dynamiki regulatora do zmieniających się warunków pracy obiektu regulacji. Dobór nastaw regulatora SIPART DR 24 może być przeprowadzony w sposób półautomatyczny na życzenie operatora, z wykorzystaniem wbudowanego algorytmu nazywanego przez producenta adaptacją.

Algorytm doboru nastaw regulatora składa się z dwóch etapów. W pierwszym z nich odbywa się identyfikacja parametrów dynamicznych obiektu na podstawie jego odpowiedzi na wymuszenie skokowe. Na podstawie zdjętej przez regulator charakterystyki obiektu algorytm dobiera parametry modelu aproksymacyjnego o transmitancji

$$G(s) = \frac{K}{(1 + Ts)^n},$$

przy czym $n = 1 \dots 8$ (metoda Strejca). W drugim etapie wyznaczane są optymalne nastawy dla regulatora PI oraz PID. Nastawy obliczane są zgodnie z zależnościami podanymi w tab. 11.4.

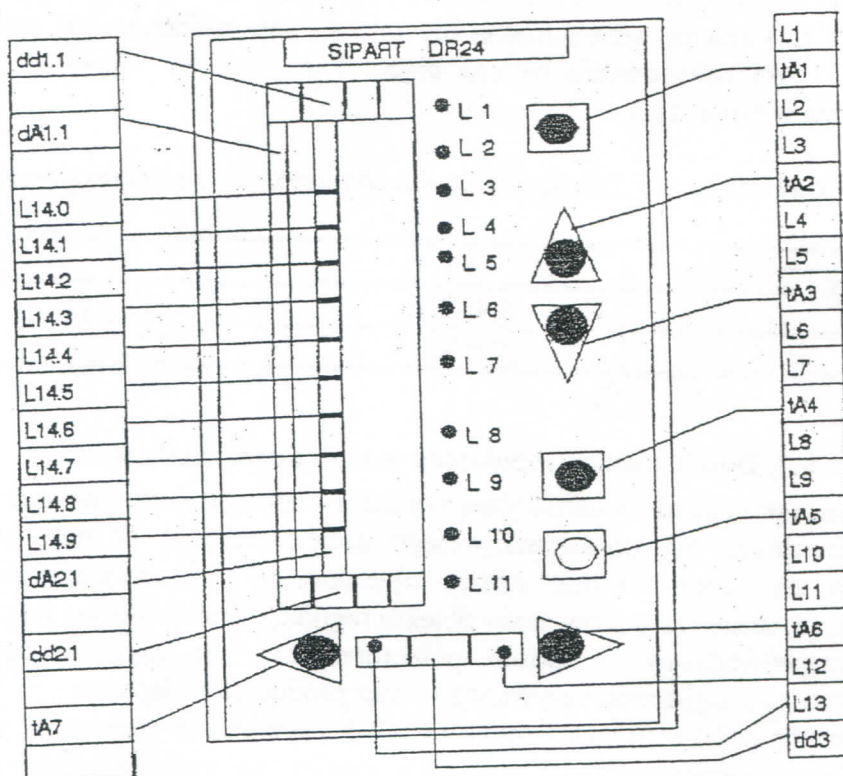
Tab. 11.4. Nastawy optymalne obliczane przez regulator SIPART DR24 w trybie adaptacji.

	K_p	T_i	T_d
Regulator PI $R(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right)$	$\frac{1}{4K} \frac{n+2}{n-1}$	$\frac{T}{3} (n+2)$	
Regulator PID $R(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right)$	$\frac{1}{16K} \frac{7n+16}{n-2}$	$\frac{T}{15} (7n+16)$	$T \frac{n^2 + 4n + 3}{7n+16}$

Jak widać nastawy wyznaczone tą metodą dla obiektów inercyjnych pierwszego i drugiego rzędu wymagają nieskończonego wzmocnienia. Dlatego dla takich obiektów nastawy K_p liczone są innym sposobem.

W celu przeprowadzenia procesu *adaptacji* operator wykonuje następujące czynności (rys. 11.3, rys. 11.4, rys. 11.5):

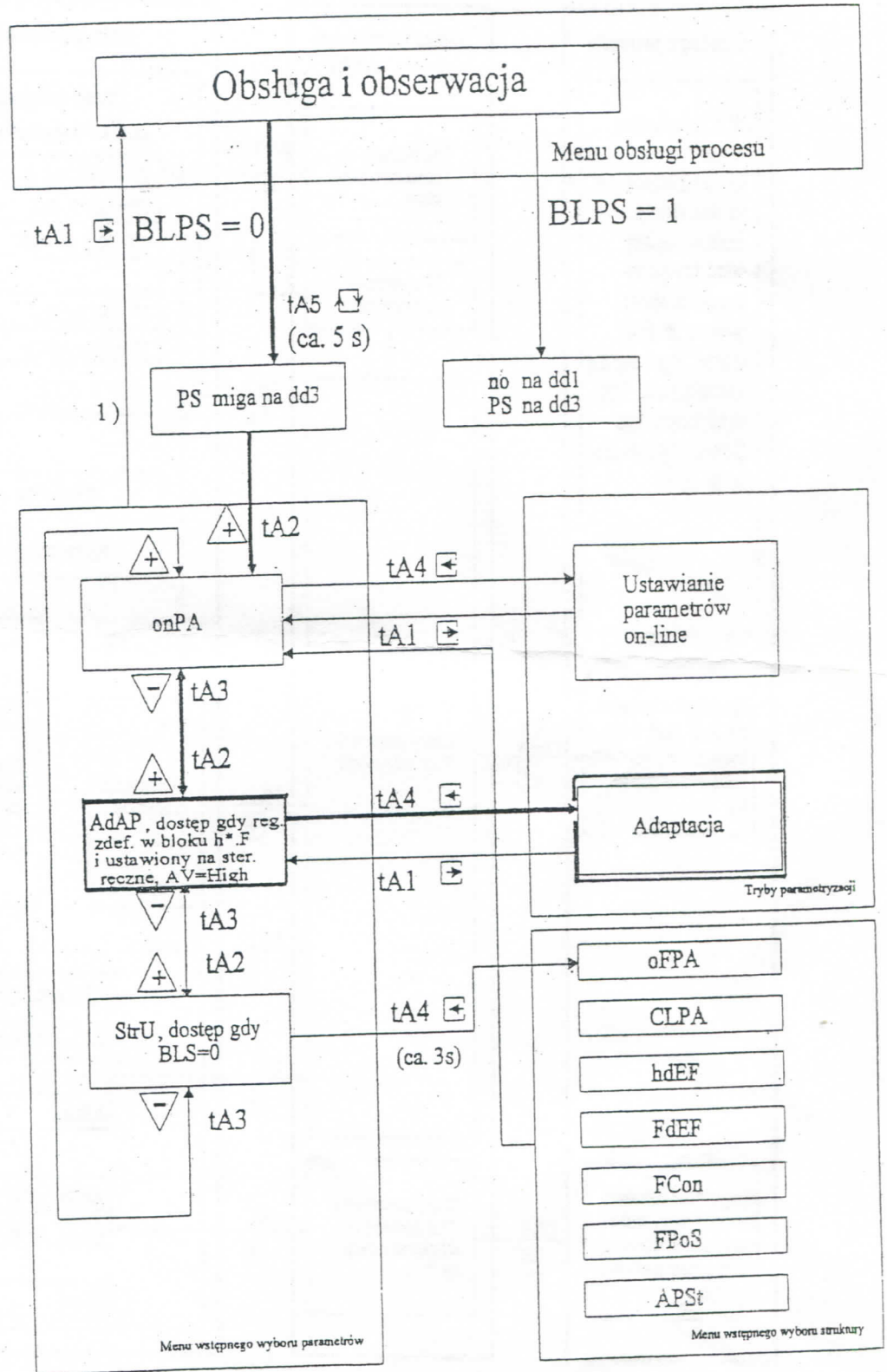
- ustawia regulator w tryb pracy ręcznej przyciskiem tA4,
- przyciskami tA6 i tA7 ustawia wielkość sygnału wyjściowego od poziomu którego będzie wykonywany skok o zadanej dalej wartości,
- przyciska klawisz tA5 przez 5s. aż pojawi się na dd3 migający napis PS;



Rys. 11.3. Płyta czołowa (panel operatorski) regulatora SIPART DR24.

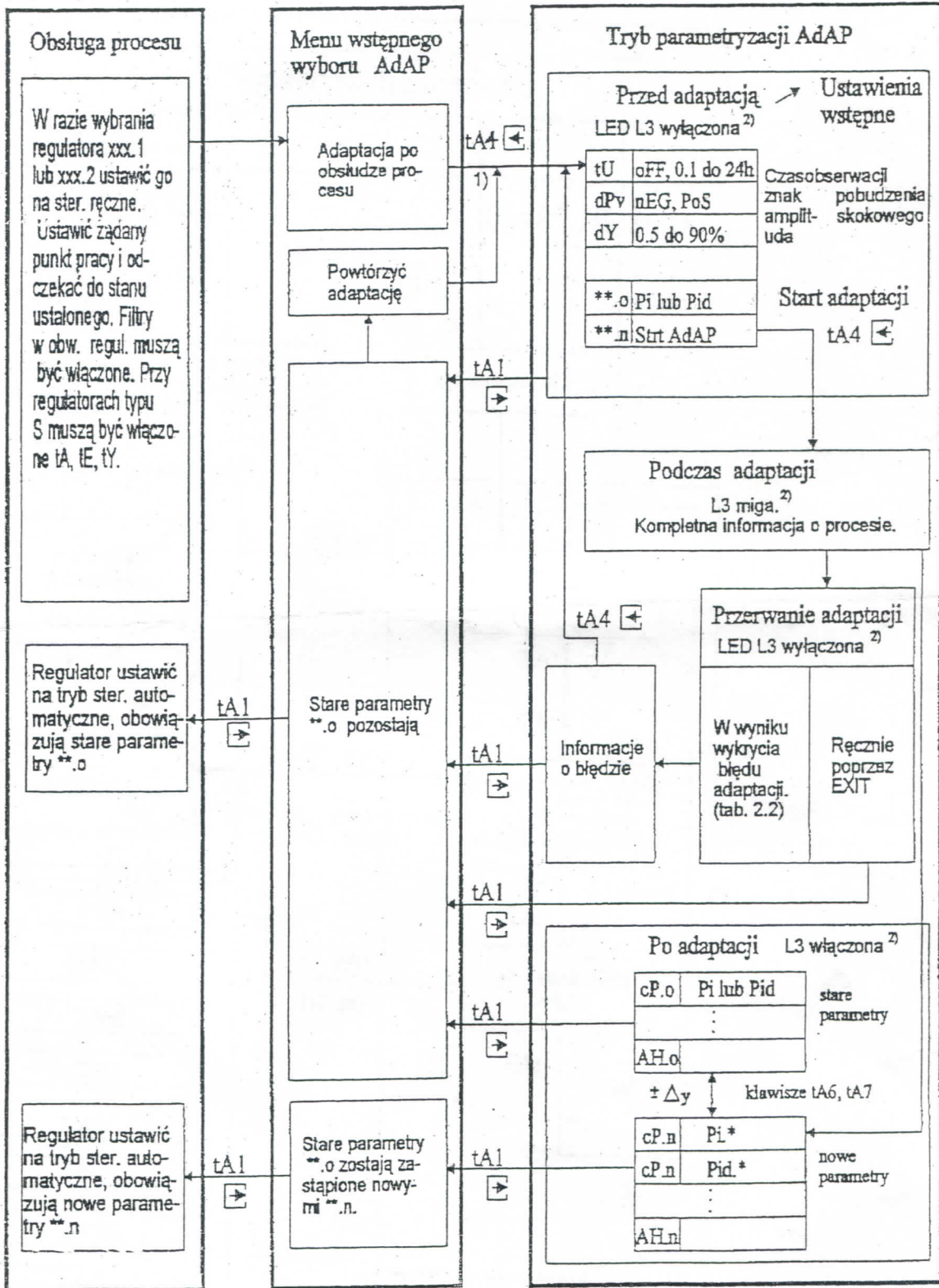
- wybiera przyciskami tA2/tA3 tryb AdAP i przyciskiem tA4 akceptuje wybór;
- zadaje czas obserwacji tU (od 0,1 do 24 godzin), który powinien być przynajmniej dwukrotnie większy od czasu potrzebnego na osiągnięcie przez sygnał wyjściowy obiektu 95% wartości ustalonej odpowiedzi na wymuszenie skokowe. Jeżeli operator nie poda wartości czasu obserwacji, regulator sam go dobierze.
- zadaje kierunek skoku dPu (nEG - w dół, Pos - w górę) oraz jego amplitudę dY (0,5%...90% - producent zaleca 10%), może zanotować wartości dotychczasowych nastaw regulatora, które ukazują się na wyświetlaczach pulpitu operatora,
- ustawi na wyświetlaczu dd.1 przyciskiem tA6 komunikat "Strt".
- uruchamia przyciskiem tA4 start procesu adaptacji. W tym czasie dioda L3 mruga. Identyfikujące wymuszenie skokowe pojawia się na wyjściu regulatora po czasie równym 10% czasu obserwacji tU , co umożliwia stabilizację poziomu sygnału wyjściowego z obiektu przed rozpoczęciem identyfikacji,
- obserwuje komunikaty pojawiające się na wyświetlaczach płyty czołowej regulatora (gdy proces adaptacji przebiega niezgodnie z wymaganiami) oraz wartość uchybu regulacji (w każdej chwili operator może przerwać proces adaptacji i ingerować w pracę układu),
- gdy proces adaptacji zakończy się zostaną wyświetlone wartości nowych obliczonych nastaw. Na wyświetlaczu dd2 ukazują się wybierane przyciskiem tA6 następujące informacje:
 - rząd n transmitancji
 - wartości nastaw starych z literą "o" (old),
 - wartości nastaw nowych z literą "n" (new) dla regulacji PI lub PID
 - nazewnictwo nastaw: cP - wzmocnienie, T_n - czas zdwojenia, T_v - czas wyprzedzenia.

- operator może dokonać ich akceptacji przyciskiem tA1 (gdy na wyświetlaczu pokazywana jest jedna z nowych nastaw) lub pozostawić poprzednie nastawy, a następnie powraca przy pomocy przycisku tA1 do trybu pracy automatycznej (zmiany trybu pracy odbywają się bezuderzeniowo).

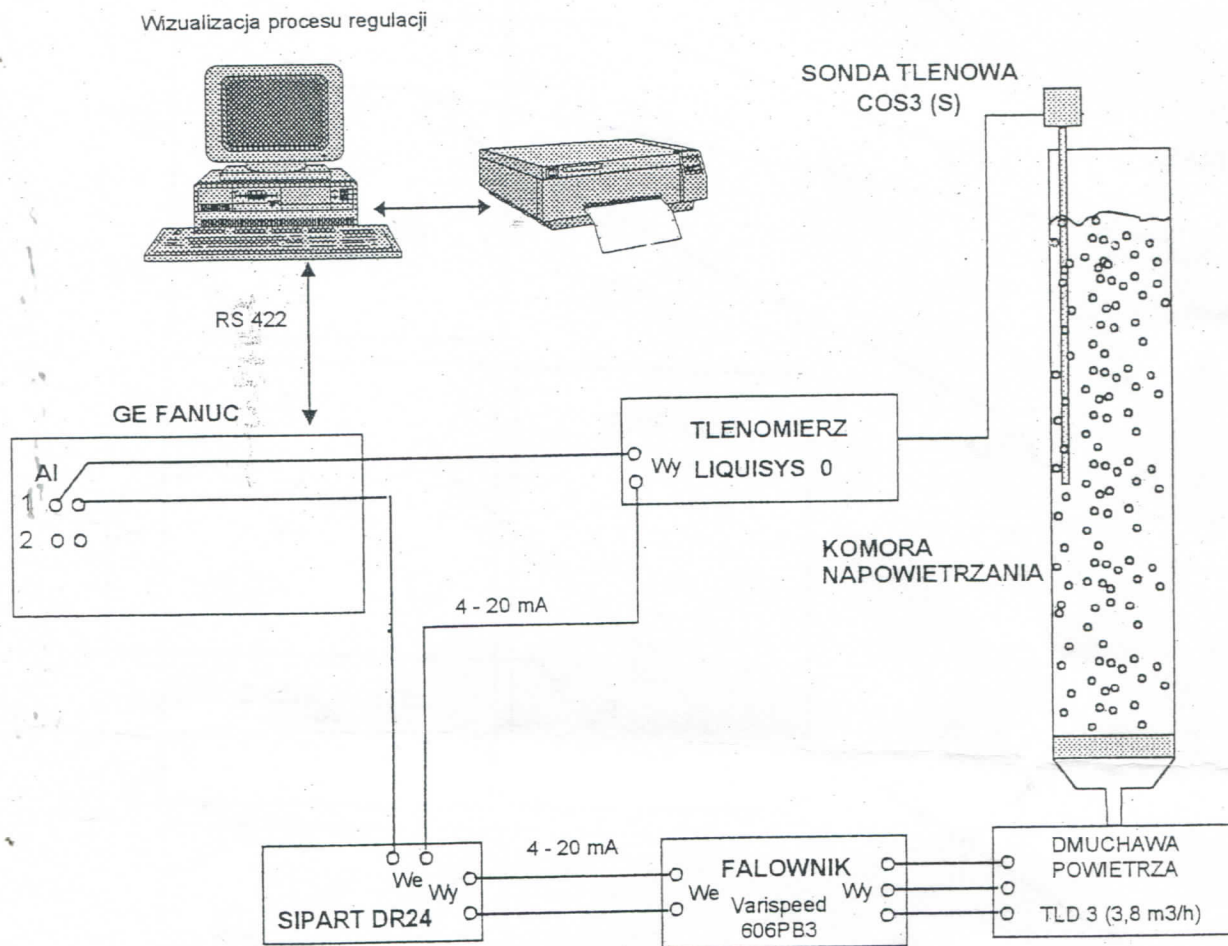


1) automatyczny powrót do obsługi procesu, gdy żaden przycisk nie jest używany przez 15 sek.

Rys. 11. 4. Sposób wstępnego wyboru trybu parametryzacji



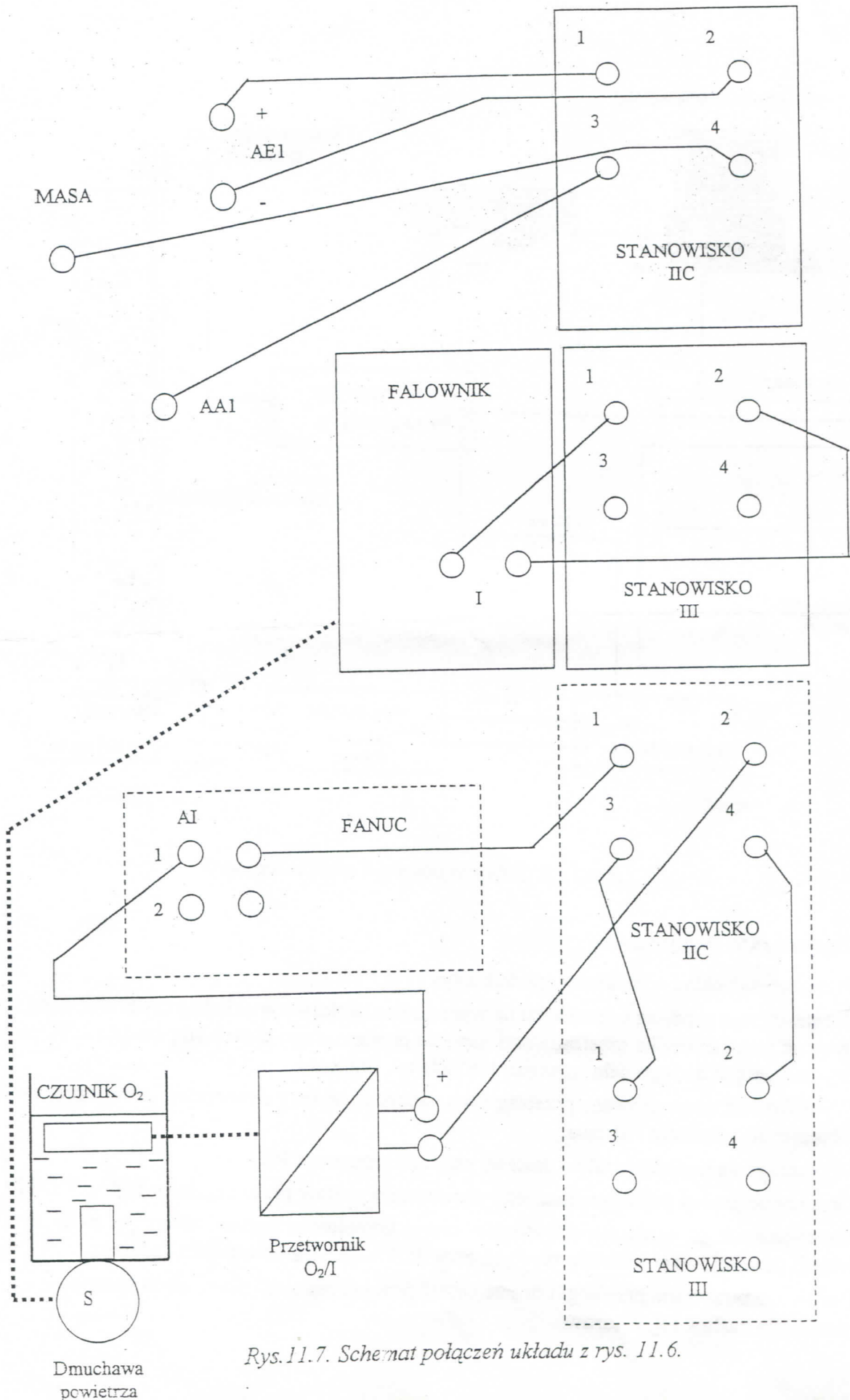
Rys.11.5. Tryb parametryzacji AdAP



Rys.11.6. Schemat połączeń układu regulacji.

4. Zadania do wykonania.

1. Przygotować układ pomiarowy zgodnie z rys.11.6. i 11.7.
2. Zarejestrować przebieg odpowiedzi na wymuszenie skokowe w układzie otwartym, zadając na wejście przekształtnika częstotliwości napięcia przemiennego skok o amplitudzie 20% zakresu wykorzystując do tego celu regulator lub zadajnik prądowy.
3. Wydrukować zarejestrowany przebieg i wyznaczyć parametry dynamiczne zastępczych modeli obiektu: Küpfmüllera i Strejca.
4. Wyznaczyć na podstawie tablic nastawy ciągłego regulatora PID.
5. Uruchomić proces półautomatycznego wyznaczania nastaw przez regulator SIPART DR24.
6. Uruchomić układ regulacji z obliczonymi trzema kompletami nastaw, rejestrując za każdym razem przebiegi przejściowe w układzie regulacji przy skokowej zmianie wartości zadanej.
7. Porównać otrzymane przebiegi i ocenić jakość procesu regulacji dla różnych sposobów wyznaczania nastaw regulatorów.



Rys. 11.7. Schemat połączeń układu z rys. 11.6.

5. Wykaz aparatury i urządzeń.

1. Mikroprocesorowy regulator wielofunkcyjny SIPART DR24
2. Tlenomierz z sondą pomiarową.
3. Przekształtnik częstotliwości (falownik).
4. Dmuchawa powietrza z napędem.
5. Zestaw komputerowy.
6. Drukarka sieciowa.
7. Sterownik Fanuc.

6. Pytania i zadania kontrolne:

1. Co to jest identyfikacja obiektu?
2. Uproszczone modele obiektów regulacji.
3. Podstawowe człony dynamiczne i ich charakterystyki.
4. O czym decydują nastawy regulatora w układzie regulacji?
5. Jakie parametry decydują o dynamice regulatora PID ?
6. Wyznacz parametry dynamiczne modelu zastępczego na podstawie zadanego przez prowadzącego przebiegu odpowiedzi skokowej obiektu.