

Na prawach rękopisu  
do użytku służbowego

INSTYTUT ENERGGOELEKTRYKI POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ  
Raport serii SPRAWOZDANIA Nr

LABORATORIUM PODSTAW AUTOMATYKI  
INSTRUKCJA LABORATORYJNA

**STEROWANIE PRACĄ SILNIKA  
Z WYKORZYSTANIEM PLC**

Mirosław Łukowicz

Słowa kluczowe:

sterownik sekwencyjny  
regulator  
silnik

WROCŁAW 2015

## Regulacja prędkości obrotowej silnika DC za pomocą sterownika programowalnego PLC CPU215 firmy SIEMENS

### 1. Realizacja programowa działania cyfrowego regulatora PID

Do sterowania prędkością obrotową wirnika silnika DC zastosowano funkcję PID, dostępną w zestawie funkcji programu STEP7 MicroWin, służącego do edycji, kompilacji, przesyłania i testowania oprogramowania dla sterowników PLC 2xx firmy SIEMENS.

Blok PID realizuje funkcję regulatora dyskretnego opisanego równaniem

$$\begin{aligned}M_n &= K_C * e_n + K_I * e_n + MX_n + K_D * (e_n - e_{n-1}) \\MX_n &= MX_{n-1} + K_I e_{n-1}\end{aligned}\quad (1)$$

gdzie:

$M_n$  - wartość sterowania z zakresu 0-1,

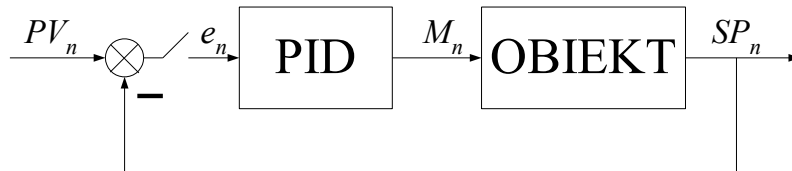
$K_C$  - wzmacnienie członu proporcjonalnego,

$K_I$  - wzmacnienie członu całkującego,

$K_D$  - wzmacnienie członu różniczkującego,

$e_n$  - błąd sterowania w chwili  $n$ ,

$MX_{n-1}$  - wyjście członu całkującego dla chwili  $n-1$ .



Rys. 1. Schemat układu sterowania z cyfrowym regulatorem PID.

Błąd regulacji (rys. 1) wyliczany jest na podstawie nastawianej wartości zadanej  $SP_n$  dla chwili  $n$  i wartości sygnału wyjściowego obiektu  $PV_n$  zgodnie ze wzorem

$$e_n = SP_n - PV_n \quad (2)$$

Wartość zadana, procesowa oraz wyjściowa z regulatora, czyli sterowanie, są wielkościami znormalizowanymi z przedziału od 0 do 1.

Równanie (1) można zapisać, z uwzględnieniem czasów zdwojenia i wyprzedzenia, w postaci:

$$M_n = K_C * e_n + K_C * \frac{T_s}{T_I} * e_n + MX_n + K_C * \frac{T_D}{T_s} * (e_n - e_{n-1}) \quad (3)$$

gdzie:

$T_s$  - okres próbkowania [s],

$T_I$  - czas zdwojenia podawany w minutach!!!!!! [min],

$T_D$  - czas wyprzedzenia podawany w minutach!!!!!! [min].

Selekcji typu regulatora dokonuje się wpisując odpowiednie wartości nastaw zgodnie z tablicą 1.

Tablica 1. Selekcja typu regulatora

TYP REG.	$K_C$	$T_I$	$T_D$
P	>0	max=99999	0
I	0*	>0	0
D	0*	max=99999	>0
PI	>0	>0	0
PD	>0	max=99999	>0
PID	>0	>0	>0

\* -  $K_C$  we wzorze (3) przyjmuje programowo dla członu całkującego i różniczkującego wartość 1.

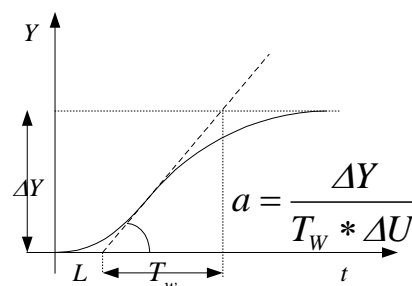
## 2. Normalizacja sygnałów procesowych

Sterowany silnik zasilany może być napięciem z zakresu od 0 do 24 V, co w przypadku pracy bez obciążenia odpowiada obrotom z przedziału 0 do 3200 obr/min. Ponieważ założono, że obroty dopuszczalne nie powinny przekroczyć 1800 obr/min, wartościom maksymalnym zmiennych  $PV_n$  oraz  $SV_n$  równym 1 odpowiadać będzie właśnie ta prędkość kątowna.

Przyjęto również, że dla zapewnienia takich zmian prędkości obrotowej wystarczające będą zmiany napięciowego sygnału sterującego w granicach od 0 do 10 V, którym odpowiada standardowa wartość sygnału sterującego  $M_n$  z zakresu od 0 do 1.

## 3. Identyfikacja obiektu

Do identyfikacji obiektu sterowania wykorzystuje się w ćwiczeniu metodę Zieglera-Nicholsa, w której zakłada się, że odpowiedź skokowa obiektu jest typu aperiodycznego. Odpowiedź tę można aproksymować za pomocą odcinka osi  $t$  i półprostej narysowanej linią przerywaną na rys. 2. Półprosta ta, mająca nachylenie  $\alpha$ , jest styczną do odpowiedzi skokowej o największym nachyleniu (styczna w punkcie przegięcia). Można wówczas użyć bardzo prosty model obiektu opisany transmitancją



Rys. 2. Aproksymacja odpowiedzi skokowej obiektu

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{a}{s} e^{-sL} \quad (4)$$

gdzie:

- $a$  - wzmacnienie wyliczane na podstawie zmiany sygnału wyjściowego (po normalizacji), czasu w którym doszło do tej zmiany i zmiany sygnału wejściowego obiektu, która posłużyła do identyfikacji (po normalizacji),
- $L$  - opóźnienie reakcji obiektu na zmianę wejściowego sygnału identyfikacyjnego.

#### 4. Dobór okresu próbkowania

Metody praktyczne szacowania wielkości okresu próbkowania opierają się na analizie odpowiedzi obiektu regulacji na skok jednostkowy. Na przykład w obiekcie aproksymowanym funkcją (4) okres próbkowania można określić zależnością

$$T_s = \min(0.3L, 0.03T_w) \quad (5)$$

gdzie  $T_w$  jest największą stałą czasową w modelu obiektu,  $L$  jest opóźnieniem.

Jeżeli  $L$  jest pomijalnie małe, wówczas

$$T_s = \min(0.3T_0, 0.03T_w) \quad (6)$$

gdzie  $T_w$  jest największą, a  $T_0$  najmniejszą stałą czasową w modelu obiektu.

#### 5. Dobór nastaw regulatorów P, PI, PID

Dysponując parametrami obiektu  $a$  oraz  $L$ , można skorzystać ze wzorów w tabelicy 2 do obliczenia nastaw regulatorów P, PI oraz PID. Ponieważ w menu panelu operatorskiego należy podawać czasy zdwojenia i wyprzedzenia, wyniki otrzymane z tabelicy 2 należy przeliczyć zgodnie z poniższymi wzorami:

$$K_C = K_P \quad T_I = \frac{K_C T_s}{K_I} \quad T_D = \frac{K_D T_s}{K_C} \quad (7)$$

##### 5.1. Przykładowe obliczenia

Do prostej identyfikacji obiektu służy strona panelu operatorskiego wywoływana ze strony głównej klawiszem funkcyjnym  $F_3$  (rys. 2). Uruchomienie tej strony inicjuje działanie procedury identyfikacyjnej w sterowniku PLC. Procedura ta polega na podaniu na obiekt napięcia sterującego o wartości 2.125V (sygnał znormalizowany o wartości 0.2125) przez 30s, a następnie skokowej zmianie do wartości 4V (sygnał znormalizowany o wartości 0.4).

Tabela 2. Formuły dla obliczeń nastaw regulatorów.

TYP REGULATORA	NASTAWY		
P	$K_P = \frac{1}{a(L+T_s)}$		
PI	$K_P = \frac{0.9}{a(L+0.5T_s)} - 0.5K_I$	$K_I = \frac{0.27T_s}{a(L+0.5T_s)^2}$	
PID	$K_P = \frac{1.2}{a(L+T_s)} - 0.5K_I$	$K_I = \frac{0.6T_s}{a(L+0.5T_s)^2}$	$K_D = \frac{0.5}{aT_s}$

Dla równania regulatora w postaci  $R_z = K_p + \frac{K_I}{1-z^{-1}} + K_D(1-z^{-1})$

Po kolejnych 30s sygnał wejściowy powraca do wartości pierwotnej tj. 2.125V Wynikiem takiej operacji jest aperiodyczna zmiana obrotów wirnika z 513 obr/min (sygnał znormalizowany o wartości 0.285) do 1283 obr/min (sygnał znormalizowany o wartości 0.71277). Z wykresu wyświetlanego na panelu można w przybliżeniu odczytać stałą czasową odpowiedzi i na jej podstawie z następującego wzoru wyliczyć wzmocnienie  $a$ :

$$a = \frac{\Delta Y}{T_w * \Delta U} \quad (8)$$

gdzie:

$T_w$  - stała czasowa modelu obiektu [s],

$\Delta Y$  - zmiana prędkości wirnika w jednostkach znormalizowanych,

$\Delta U$  - zmiana sygnału sterującego w jednostkach znormalizowanych.

**Uwaga!!!!**

**W ćwiczeniu przyjmuje się, że opóźnienie  $L=0.5$  s.**

## 5.2. Pomiar prędkości obrotowej wirnika

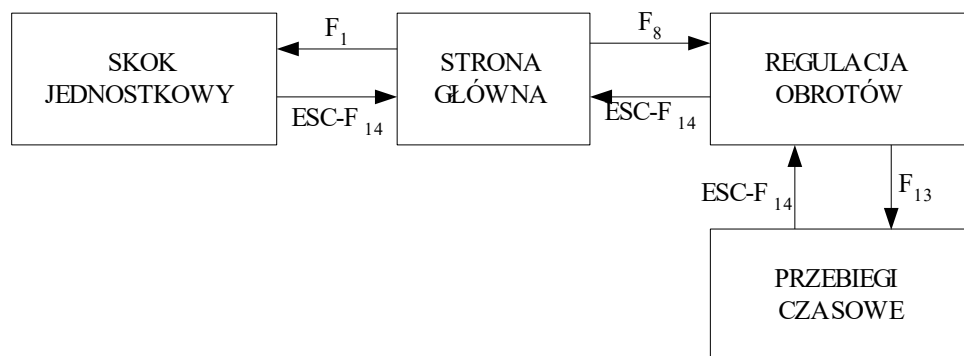
Pomiar prędkości obrotowej wirnika silnika DC realizowany jest na podstawie impulsów zliczanych przez szybki licznik HC0 sterownika PLC CPU215. Impulsy dla licznika są generowane przez czujnik optyczny reagujący na przemieszczające się otwory w brzegu tarczy. Ponieważ na tarczy są 72 otwory, więc prędkość obrotową można wyliczyć ze wzoru:

$$v = \frac{60000 * n}{72 * T_s} \text{ [obr/min]} \quad (9)$$

gdzie  $n$  jest liczbą zliczonych impulsów w przyjętym okresie próbkowania wyrażonym w ms.

## 6. Struktura menu panelu operatorskiego SIMATIC OP27

Menu programu panelu operatorskiego obsługujące sterowanie pracą silnika DC składa się z trzech obrazów (rys. 3). Ze strony głównej można przejść bezpośrednio do strony identyfikacji obiektu lub do strony regulacji, w której można zadawać okres próbkowania,



Rys. 3. Struktura menu programu panelu operatorskiego dla obsługi regulacji obrotów wirnika silnika DC.

nastawy regulatora i wartość zadaną prędkości obrotowej wirnika. Dodatkowo ze strony

regulacji można przejść do wykresów czasowych, na której wyświetlane są przebiegi sygnału wartości zadanej i wyjściowej z obiektu. Powroty do poziomu wyższego menu dokonuje się klawiszem funkcyjnym ESC (F14).

## 7. Program ćwiczenia

- W ramach ćwiczenia należy dokonać identyfikacji obiektu sterowania, a następnie dobrać odpowiedni okres próbkowania. Należy zwrócić szczególną uwagę na dobór okresu próbkowania w zależności od zadanej wartości prędkości obrotowej wirnika.
- Dobrać odpowiednie nastawy regulatorów P, PI, PID.
- Przedyskutować zasadność stosowania (uaktywniania) członu różniczkującego. Przeanalizować wpływ niedokładności pomiaru sygnału wyjściowego układu sterowania na działanie członu różniczkującego regulatora.

## Dodatek

Błędy pomiaru prędkości obrotowej wirnika

$$BL = \frac{8.333E4}{T_s * v_{akt}} [\%]$$

gdzie  $v_{akt}$  jest aktualną prędkością obrotową wirnika w obr/min,  $T_s$  okres próbkowania w [ms].

Minimalny okres próbkowania dla zadanych błędów pomiarowych

$$T_s > \frac{8.333e4}{v_{akt} * BL[\%]} [\text{ms}]$$