

## Laboratorium nr 4

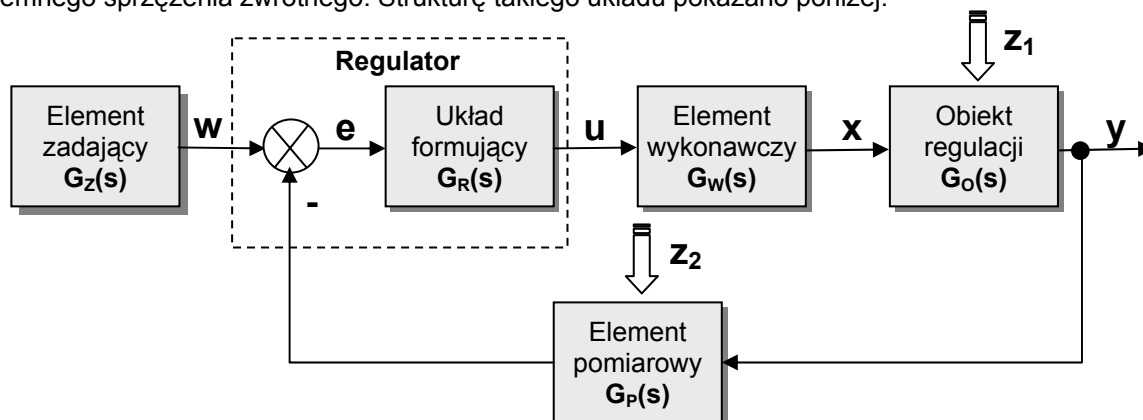
### Działanie układu automatycznej regulacji. Rodzaje regulatorów.

#### 1. Cele ćwiczenia

- zapoznanie się z budową i działaniem układu regulacji,
- zapoznanie się z różnymi strukturami regulatorów,
- dobór parametrów regulatorów i ocena jakości regulacji,
- symulacja działania układu regulacji w Matlabie i Simulinku.

#### 2. Wprowadzenie teoretyczne

Układy automatycznej regulacji są to najczęściej układy zamknięte pracujące z wykorzystaniem ujemnego sprzężenia zwrotnego. Strukturę takiego układu pokazano poniżej:



$w$  – wartość zadana,

$e$  – sygnał błędny,

$u$  – sygnał regulujący,

$x$  – sygnał sterujący,

$y$  – sygnał regulowany

**Zadanie układu regulacji:**

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} (w(t) - y(t)) = 0$$

Element wykonawczy przenosi sygnał sterujący na obiekt. Do tych elementów zaliczamy elementy nastawcze (np. zawory i zasuwy) oraz wykonawcze (np. siłowniki).

Czujnik pomiarowy dokonuje pomiaru wielkości wyjściowej. Sygnał z czujnika najczęściej trzeba jeszcze odpowiednio przekształcić przy wykorzystaniu przetworników pomiarowych (dopasowują standardy sygnałów).

W skład regulatora wchodzi:

- **układ formujący** sygnał (**algorytm** działania regulatora) najczęściej typu PID,
- **węzeł sumacyjny**.

Regulator wytwarza sygnał sterujący elementem wykonawczym. W regulatorze następuje:

- porównanie aktualnej wartości wyjściowej z wartością zadaną (określenie uchybu regulacji),
- wytworzenie sygnału sterującego wg określonego algorytmu o wartości zależnej od wartości uchybu regulacji i czasu występowania uchybu oraz szybkości jego zmian.

Transmitancją regulatora jest stosunek:

$$G_R(s) = \frac{U(s)}{E(s)}$$

Wyróżniamy następujące rodzaje regulatorów:

- **proporcjonalny (P)**

$$G_R(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p$$

- **całkujący (I)**

$$G_R(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = \frac{1}{T_i s} = \frac{K_p}{s}$$

- **proporcjonalno-całkujący (PI)**

$$G_R(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

- **proporcjonalno-różniczkujący (PD)**

$$G_R(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p (1 + T_d s), \quad G_R(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{T_d s}{Ts + 1} \right)$$

- **proporcjonalno-całkująco-różniczkujący (PID)**

$$G_R(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right), \quad G_R(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{Ts + 1} \right)$$

gdzie:  $K_p$  - współczynnik wzmocnienia

$P = \frac{1}{K_p} \cdot 100\%$  - zakres proporcjonalności

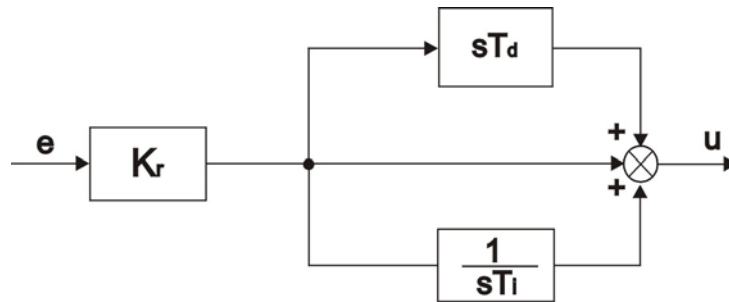
$T_i$  - czas zdwojenia

$T_d$  - czas wyprzedzenia

Stałe  $K_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$  występujące w powyższych wzorach należy uważać za dające się nastawić w regulatorze w pewnych zakresach.

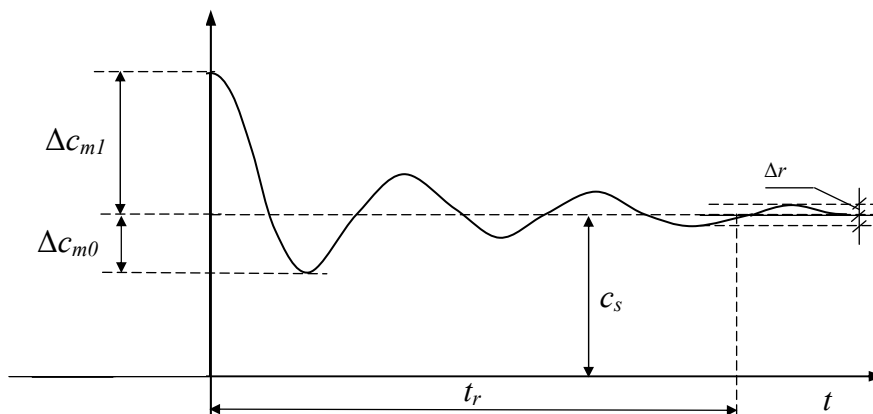
- **Czas zdwojenia**  $T_i$  wyraża intensywność działania całkującego. Nazwa „czas zdwojenia” znajduje uzasadnienie na wykresie charakterystyki skokowej regulatora typu PI. W chwili  $t = 0$ , składowa działania całkującego regulatora jest równa składowej działania proporcjonalnego.
- Stała czasowa  $T_d$  „**czas wyprzedzenia**”, określa działanie różniczkujące regulatora. Dzięki działaniu różniczkowemu regulator może bardzo silnie reagować już na małe zmiany uchybu regulacji  $e(t)$ , uprzedza więc dalszy spodziewany wzrost uchybu przez odpowiednie oddziaływanie na obiekt regulacji.

Ogólna struktura idealnego regulatora PID pokazana jest na poniższym rysunku:



Wyróżniamy następujące własności eksploatacyjne regulatorów:

- Czas regulacji -  $t_r$   
Jest to najkrótszy czas po upływie którego wartość odpowiedzi układu nie różni się od swej wartości ustalonej więcej niż o zadaną wartość odchylenia regulacji  $\Delta r$
- Błąd statyczny -  $c_s$
- Przeregulowanie -  $k = \frac{\Delta c_{m1}}{\Delta c_{m0}} \times 100\%$



Symulację działania układu regulacji można przeprowadzić wykorzystując funkcję **lsim**

- **lsim** ( A, B, C, D, u, t, x0)
- **lsim** (L, M, u, t)

Funkcja ta symuluje działanie układu ciągłego opisanego równaniami stanu lub transmitancją dla określonych przez użytkownika przebiegów sterowań. Parametr  $u$  winien zawierać wierszami wektory sterowań dla kolejnych chwil czasu określonych w wektorze  $t$ , stąd liczba wierszy macierzy  $u$  musi być równa liczbie elementów wektora czasu  $t$ . Dla układu określonego równaniami stanu można dodatkowo określić warunki początkowe - parametr  $x_0$ . Odstępy między kolejnymi chwilami czasu muszą być równe.

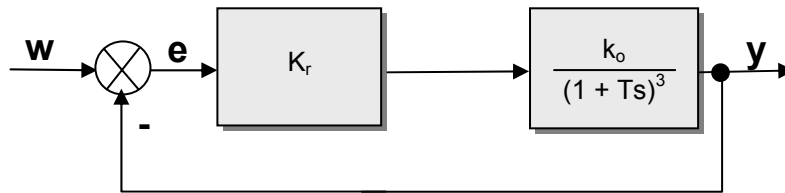
Istnieje możliwość zapamiętania wyników symulacji w macierzach, które muszą zostać podane jako parametry wyjściowe:

- $[Y, X] = \mathbf{lsim}$  (A, B, C, D, u, t)
- $[Y, X] = \mathbf{lsim}$  (L, M)

gdzie Y i X zawierają odpowiednio przebiegi wyjść i stanów

**Przykład 1.**

Napisać funkcję symulującą działanie układu regulacji przedstawionego na poniższym rysunku, przy prostokątnej zmianie sygnału wartości zadanej  $w$ .



Należy przyjąć, że:  $K_r = 4$ ,  $k_o = 1$ ,  $T = 2$ .

Obliczamy transmitancję układu zamkniętego:

$$G_z(s) = \frac{K_r k_o}{(1 + Ts)^3 + K_r k_o} = \frac{4}{8s^3 + 12s^2 + 6s + 5}$$

Do rozwiązania używamy funkcji **lsim**:

*function symul*

```
figure('Name','Symulacja układów dynamicznych','Num','off','Menu','none',...
'Units','centim','Pos',[1.5,2,18,11]);
```

```
L = [4]; % Parametry modelu w postaci transmitancji
```

```
M = [8 12 6 5];
```

```
t = [0:0.1:120]; % Wektor czasu
```

```
u(t*5+1) = ones(size(t)); % Wektor sterowań
```

```
u(601:1201) = -ones(1,601); % j.w.
```

```
[y,x] = lsim(L,M,u,t); % Symulacja działania układu
```

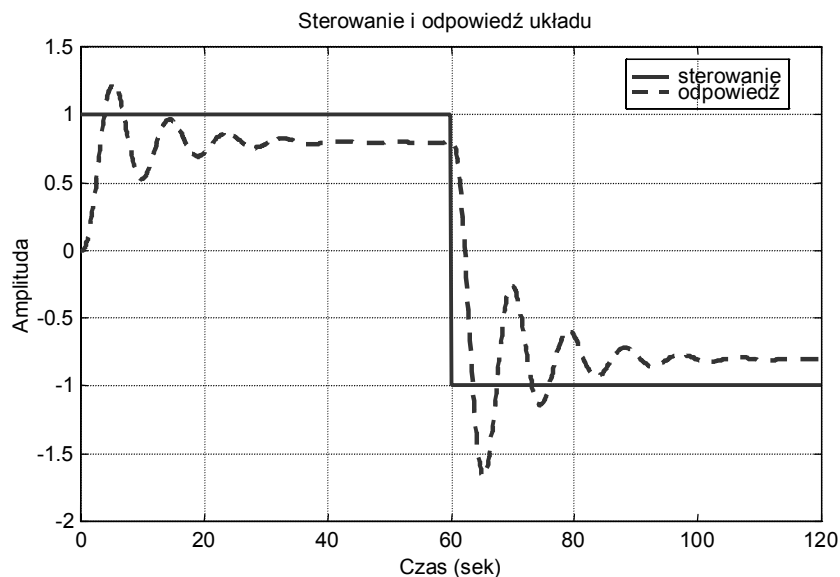
```
plot(t,u,'r','t,y','g') % Przedstawienie wyników symulacji na wykresie
```

```
xlabel('Czas (sek)')
```

```
ylabel('Amplituda')
```

```
title('Sterowanie i odpowiedź układu')
```

```
legend('sterowanie','odpowiedź'), grid
```



### 3. Przebieg ćwiczenia

3.1. Wykorzystując pakiet Matlab/Simulink zbudować układ automatycznej regulacji, zawierający struktury regulatorów P, PI i PID oraz zbadać wpływ parametrów regulatorów (wzmocnienia i stałych czasowych) na charakterystyki czasowe różnych obiektów regulacji (inercyjny, różniczkujący, całkujący, oscylacyjny).

3.2. Dla podanych obiektów dobrać tak regulator, aby czas regulacji był najkrótszy:

a)  $G(s) = \frac{1}{s+1}$

b)  $G(s) = \frac{1}{s^2 + s + 1}$

c)  $G(s) = \frac{0.228}{0.18s^2 + 1.18s + 1}$

3.3. Dla podanych układów wyznaczyć czas regulacji, przeregulowanie oraz błąd statyczny, a następnie tak dobrać regulator aby zmniejszyć przeregulowanie:

a)  $G(s) = \frac{2.5}{2s^2 + 2s + 1}$

b)  $G(s) = \frac{10}{s^3 + s^2 + s + 1}$

3.4. Wykorzystując funkcję *lsim* zasymulować działanie układu regulacji z przykładu 1-go, przy skokowym przyroście wartości zadanej *w* z wartości 1 na 1.5

### 4. Sprawozdanie z przebiegu ćwiczenia

Na podstawie przeprowadzonych ćwiczeń należy przygotować sprawozdanie, które powinno zawierać schematy zrealizowanych na zajęciach układów regulacji z pokazaniem wpływu parametrów regulatorów na charakterystyki obiektów regulacji, przebiegi z symulacji działania układu regulacji oraz wnioski końcowe.

### Literatura

- [1] Brzózka J., *Ćwiczenia z Automatyki w MATLABIE i SIMULINKU*, Wydawnictwo Mikon, Warszawa 1997
- [2] Kowal J. - *Podstawy Automatyki*, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2003
- [3] Zalewski A., Cegiela R., *MATLAB: obliczenia numeryczne i ich zastosowania*, Wydawnictwo Nakom, Poznań 1996