

## **Cel ćwiczenia:**

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z pracą regulatorów dwustawnych w układzie regulacji temperatury.

## **Podstawy teoretyczne:**

Regulator dwustawny (dwupołożeniowy) realizuje algorytm:

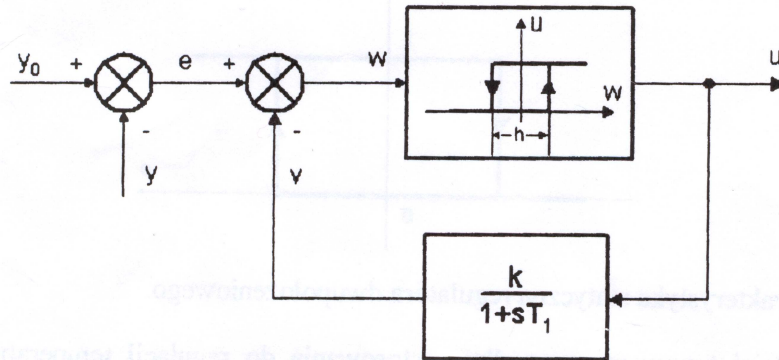
$$U(t) = \begin{cases} U1 & \text{gdy } E \geq 0 \\ U2 & \text{gdy } E < 0 \end{cases}$$

Sygnał sterujący przyjmuje tylko dwie wartości. Potrzebna do utrzymania pożądanego stanu obiektu energia dostarczana jest na dwóch poziomach związanych ze sterowaniami U1 i U2. Nie dysponuje się możliwością ustawienia pożądanego poziomu energii do utrzymania stanu, w którym  $0 = \varepsilon$ . Dostarczenie właściwej ilości energii może być realizowane tylko jako wartość średnia określona czasem trwania na zmianę dwu jej poziomów. Wielkość regulowana będzie więc oscylować wokół wartości wzorcowej. Możemy liczyć jedynie na zerowanie się średniej wartości błędu, a zadawalającą jakość regulacji uzyskamy przy sterowaniu tylko obiektów łatwych (pod kątem dynamicznym) do regulacji. Takimi są z reguły obiekty cieplne.

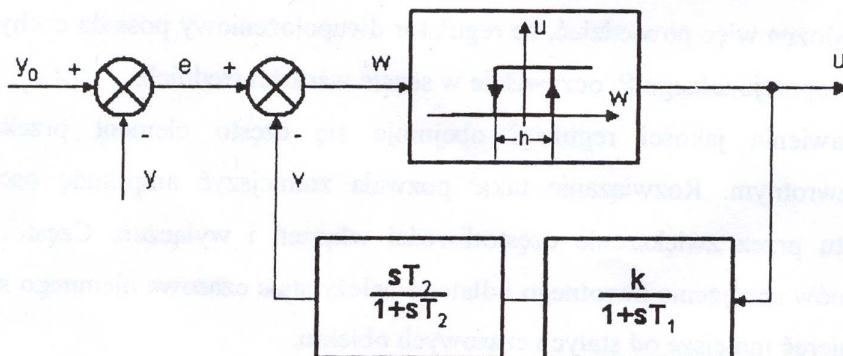
Opisane powyżej działanie regulatora jest przypadkiem idealnym tzn. bez strefy histerezy i bez sprzężenia zwrotnego. Oprócz układów regulacji temperatury regulatory dwupołożeniowe mogą być również stosowane w innych przypadkach, gdy obiekty regulacji mają własności elementów inercyjnych lub całkujących o dużej stałej czasowej, a urządzenie wykonawcze może mieć działanie dwustawne. W układ regulacji z prostym regulatorem dwustawnym występują ciągłe oscylacje wielkości regulowanej  $y$  wokół wartości zadanej  $y_0$ .

Dla poprawienia jakości regulacji element przekaźnikowy obejmuje się często sprzężeniem zwrotnym, taki rozwiązanie pozwala zmniejszyć amplitudę oscylacji na wyjściu obiektu przez zwiększenie częstotliwości włączania i wyłączania. Częstotliwość ta zależy od członów sprzężenia zwrotnego i dlatego należy pamiętać by stałe czasowe ujemnego sprzężenia zwrotnego były mniejsze od stałych czasowych obiektu.

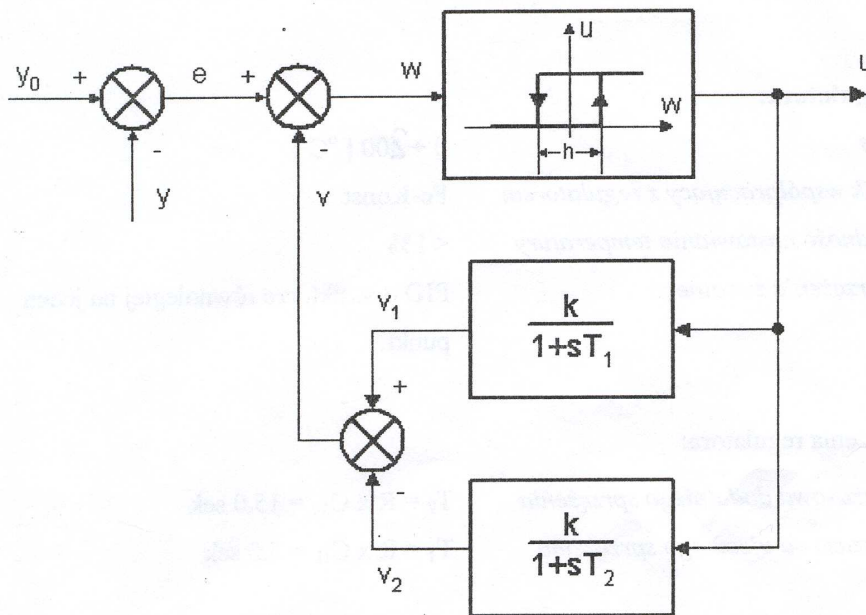
Objęcie elementu dwupołożeniowego sprzężeniem zwrotnym w postaci elementu inercyjnego pierwszego rzędu powoduje, że tak powstały regulator staje się regulatorem PD, w sensie wartości średnich.



Dwustawne regulatory PID otrzymuje się obejmując elementy dwupołożeniowe sprzężeniem zwrotnym w postaci: szeregowo połączonych elementów inercyjnego pierwszego rzędu i różniczkującego:



lub równoległe połączonych dwóch inercji pierwszego rzędu:



### Parametry obiektu:

- Wzmocnienie obiektu:  $X_m=12 \text{ mV [Fe-Konst] } 219 \text{ deg}$
- Stała czasowa grzania:  $T_+=72 \text{ s}$
- Stała czasowa stygnięcia:  $T_-=68 \text{ s}$
- Opóźnienie obiektu:  $\tau=9 \text{ s}$
- Współczynnik nieliniowości obiektu:  $n=T_+/T_-=1,06$
- Współczynnik trudności obiektu:  $c=\tau/T_+=0,125$

### Parametry regulatora:

- Zakres:  $0 - 200 \text{ }^\circ\text{C}$
- Czujnik współpracujący z regulatorem: Fe-Konst
- Dokładność nastawiania temp.  $<1\%$
- Typ sprzężenia zwrotnego: PID o strukturze równoległej na 1 pkt.

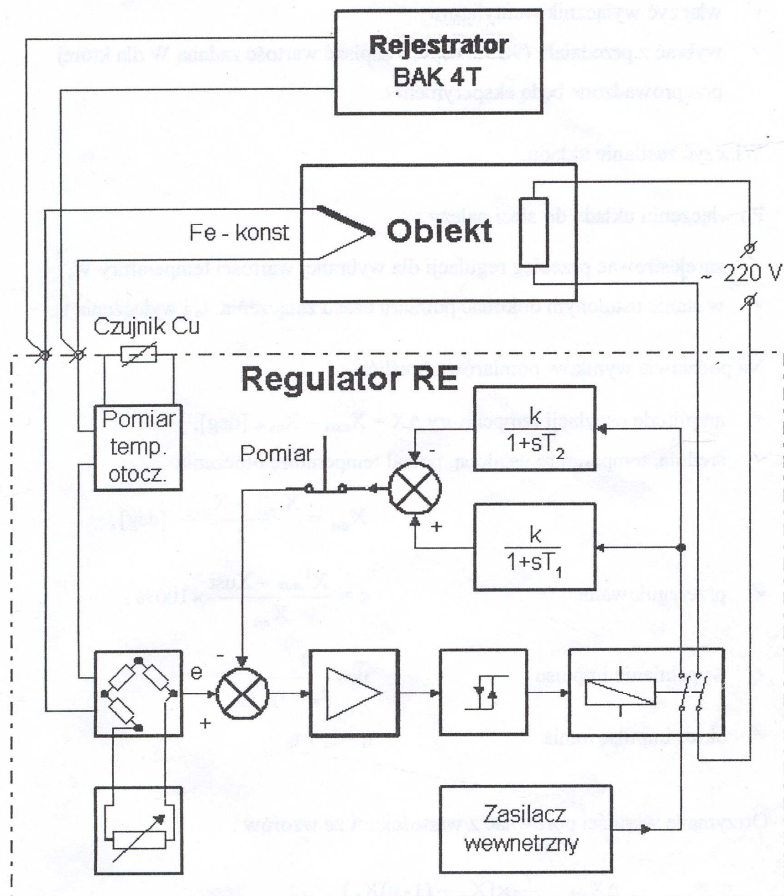
### Parametry sprzężenia regulatora:

- Stała czasowa dodatniego sprzężenia:  $T_2=R \times C_{2K}= 15 \text{ s}$
- Stała czasowa ujemnego sprzężenia:  $T_1=R \times C_{1K}= 5 \text{ s}$

### Parametry regulatora ze sprzężeniem zwrotnym:

- Stała całkowania:  $T_i=T_1+T_2= 20 \text{ s}$
- Stała różniczkowania:  $T_d=(T_1 \times T_2) / (T_1+T_2)= 3,8 \text{ s}$
- Zakres proporcjonalności:  $X_p=(T_2-T_1) / (T_2+T_1) \times k$   
 $X_p=1/K_p$   
 $K_p$  – wzmocnienie regulatora

### Schemat blokowy badanego układu regulacji:



## Przebieg ćwiczenia:

### 1. Regulacja dwustawna bez korekcji:

Należy wyłączyć korekcyjne sprzężenie zwrotne, nastawić zakres proporcjonalności regulatora  $X_p=0$ , nastawić wartość zadaną temperatury  $W < X_{ot}$  (w naszym przypadku  $18^\circ\text{C}$ ), nastawić posuw rejestratora  $10\text{ s/cm}$  oraz zakres napięciowy w kierunku osi  $Y=0,1\text{ mV/mm}$ , zatem  $0,1\text{ mm} = 1,825^\circ\text{C}$ , Przy temperaturze otoczenia  $26,5^\circ\text{C}$ .

Włączyć wyłącznik wentylatora, przeprowadzić doświadczenie dla zadanej wartości  $W=110^\circ\text{C}$ , włączyć zasilanie układu.

Zarejestrować przebieg regulacji dla wybranej wartości temp  $W$  i w stanie ustalonym dokonać pomiaru czasu załączenia  $t_a$  i wyłączenia  $t_b$ .

$t_a=7,25\text{ s}$        $t_b= 21,60\text{ s}$

Na podstawie wyników pomiarów określić:

- Amplitudę oscylacji temperatury:

$$\Delta X = X_{\max} - X_{\min} = 125,05 - 106,8 = 18,25^{\circ}\text{C}$$

- Średnią temperaturę ustaloną ponad temperaturę otoczenia:

$$X_{ust} = \frac{X_{\max} + X_{\min}}{2} = \frac{98,55 + 80,3}{2} = 89,5^{\circ}\text{C}$$

- Przeregulowanie:

$$\kappa = \frac{X_{\max}^1 - X_{ust}}{X_{ust}} * 100\% = \frac{134,175 - 116,8375}{116,8375} * 100\% = 19,2\%$$

- Wypełnienie impulsu:

$$\bar{u} = \frac{t_a}{t_a + t_b} = \frac{7,25}{7,25 + 21,6} = 0,25$$

- Okres impulsowania:

$$t_i = t_a + t_b = 7,25 + 21,6 = 28,85 \text{ s}$$

#### Obliczenia wartości ze wzorów:

- Amplitudę oscylacji temperatury:

$$\Delta X_{obl} = \frac{\tau}{T_+} [X_m - (1-n)X_0] = \frac{9}{72} [219 - (1-1,06)83,5] = 28^{\circ}\text{C}$$

- Przeregulowanie:

$$\kappa_{obl} = c \left( \frac{X_m}{X_0} - 1 \right) * 100\% = 0,125 \left( \frac{219}{83,5} - 1 \right) * 100\% = 20,3\%$$

- Wypełnienie impulsu:

$$\bar{u}_{obl} = \frac{nX_0}{nX_0 + (X_m - X_0)} = \frac{1,06 * 83,5}{1,06 * 83,5 + (219 - 83,5)} = 0,4$$

- Okres impulsowania:

$$T_z = \frac{T_+}{n + \bar{u}_{obl}(1-n)} = T_+ \left( \frac{1}{n} - \frac{X_0}{X_m} * \frac{1-n}{n} \right) = 72 \left( \frac{1}{1,06} - \frac{83,5}{219} * \frac{1-1,06}{1,06} \right) = 69,5$$

$$t_i = \frac{T_z \frac{\Delta X_{obl}}{X_m}}{\bar{u}_{obl}(1-\bar{u}_{obl})} = \frac{69,5 \frac{28}{83,5}}{0,4 * (1-0,4)} = 97,1 \text{ s}$$

#### Porównanie wartości mierzonych i obliczonych:

- Amplitudę oscylacji temperatury:  
 $\Delta X = 18,25^{\circ}C$                        $\Delta X_{obl} = 28^{\circ}C$
- Przeregulowanie:  
 $\kappa = 15,7\%$                                $\kappa_{obl} = 20,3\%$
- Wypełnienie impulsu:  
 $\bar{u} = 0,25$                                  $\bar{u}_{obl} = 0,4$
- Okres impulsowania:  
 $t_i = 28,85s$                                $t_{iobl} = 97,1s$

## 2. Regulacja dwustawna z korekcją PID:

Należy włączyć korekcyjne sprzężenie zwrotne, nastawić zakres proporcjonalności regulatora  $X_p=4$ , co wynika ze wzoru i po podstawieniu wyniku do tabeli:

$$X_p = (0,83...1,1) \frac{\tau}{T_z} X_m = 1 * \frac{\tau}{T_z} X_m = c X_m = 0,125 * 12 = 1,5mV$$

Nastawić wartość zadaną temperatury  $W < X_{ot}$  (w naszym przypadku  $18^{\circ}C$ ), nastawić posów rejestratora  $10 s/cm$  oraz zakres napięciowy w kierunku osi  $Y=0,1 mV/mm$ , zatem  $0,1mm = 1,825^{\circ}C$ , Przy temperaturze otoczenia  $26,5^{\circ}C$ . Włączyć wyłącznik wentylatora, przeprowadzić doświadczenie dla zadanej wartości  $W=110^{\circ}C$ , włączyć zasilanie układu. Po ustaleniu temperatury wprowadzić sztuczne zakłócenie wyłączając wentylator obiektu do momentu ponownego ustalenia się temperatury, a następnie załączyć wentylator i zarejestrować przebiegi zmian temperatury do momentu jej kolejnego ustalenia się.

### Na podstawie wyników pomiarów określić:

- Średnią temperaturę ustaloną ponad temperaturę otoczenia:

$$X_{ust} = \frac{4,7}{12} 219 = 84^{\circ}C$$

- Sygnał uchybu regulacji:

$$e = X_0 - X_{ust} = 83,5 - 84 = -0,5^{\circ}C$$

- Przeregulowanie:

$$\kappa = \frac{X_{max}^1 - X_{ust}}{X_{ust}} 100\% = \frac{5,3 - 4,7}{4,7} 100\% = 12,6\%$$

- Czas regulacji: **odczytać z wykresu**