

## Praktyka inżynierska – korzystamy z tego co mamy

Urządzenia realizujące regulację:

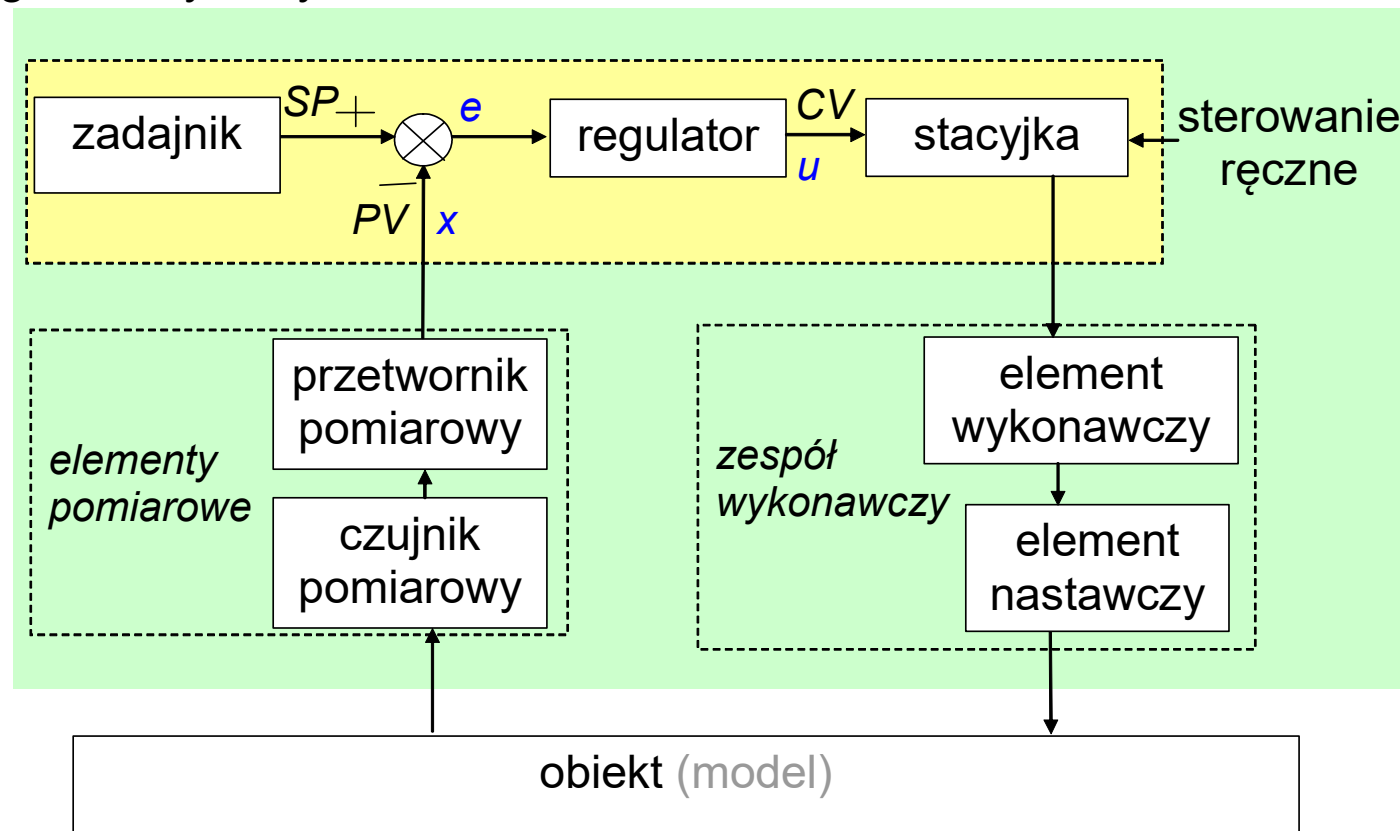
- blok funkcyjny PID w sterowniku PLC
- moduł PID w sterowniku PLC
- regulator wielofunkcyjny
- prosty regulator cyfrowy



## Praktyka inżynierska – korzystamy z tego co mamy

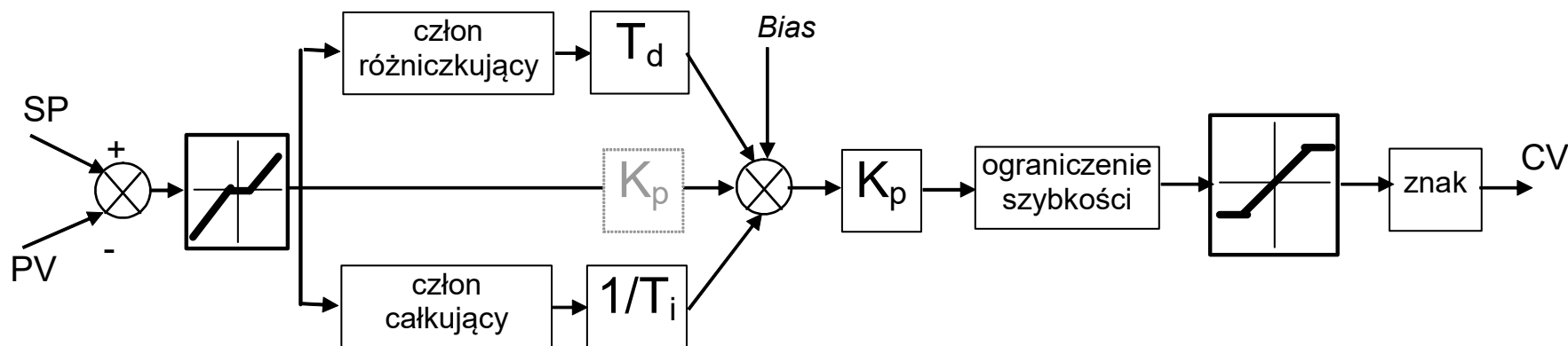
Urządzenia realizujące:

- blok funkcyjny PID w sterowniku PLC
- moduł PID w sterowniku PLC
- regulator wielofunkcyjny
- prosty regulator cyfrowy



## Konfiguracja regulatora

- Nastawy
- Struktura algorytmu PID (ISA, IND, ...)
- Strefa nieczułości
- Ograniczenie wartości na wyjściu
- Ograniczenie szybkości wzrostu wartości wyjścia regulatora
- Zabezpieczenie przed nasyceniem członu całkującego
- Stacyjka sterowania
- Typ sygnału wyjściowego (analogowy, impulsowy, binarny)



## Funkcje regulatora

- **Algorytm PID**

PID-IND (INDependent algorithm)

PID-ISA (Ideal Standard Algorithm)

- Auto-tuning (pre-tuning)

- Adaptacja (self-tuning, ...)

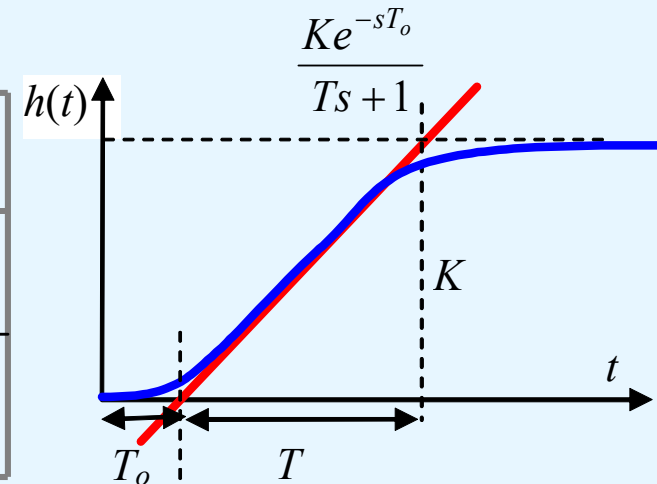
- Komunikacja

- inne (sterowanie ręczne, lokalna wizualizacja i archiwacja, ...)

## Auto-tuning (samonastrajanie)

- ▶ 1 metoda Zieglera-Nicholsa (odpowiedzi skokowej)
  - identyfikacja modelu (przy otwartej pętli)
  - nastawy wg tabel dla różnych klas obiektów

Regulator	$K_p$	$T_i$	$T_d$
<b>PI</b>	$\frac{0,9T}{KT_o}$	$3,33T_o$	
<b>PID</b>	$\frac{1,2T}{KT_o}$	$2T_o$	$0,5T_o$

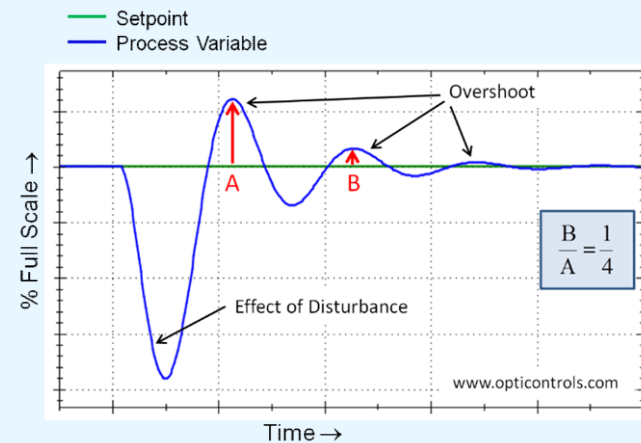


### Metoda QDR (Quarter-Decay Ratio)

- każde następne przeregulowane 4 razy mniejsze od poprzedniego

Uwagi:

- Esperyment Zieglera-Nicholsa (1942) zautomatyzowany w latach '70
- (+) prosty eksperyment
- (-) identyfikacja modelu obiektu przy rozwartej pętli regulacji
- PID-kaskadowy (interaktywny)
- A jeśli  $T_o \approx 0$ ?                      A jeśli  $K$  jest ujemne?
- „skłonność” do oscylacji (można stosować mniejsze wzmocnienie, np.  $K_p/2$ )



## Auto-tuning (samonastrajanie)

Ziegler-Nichols [Pid controllers; Astrom; Tab4.1]

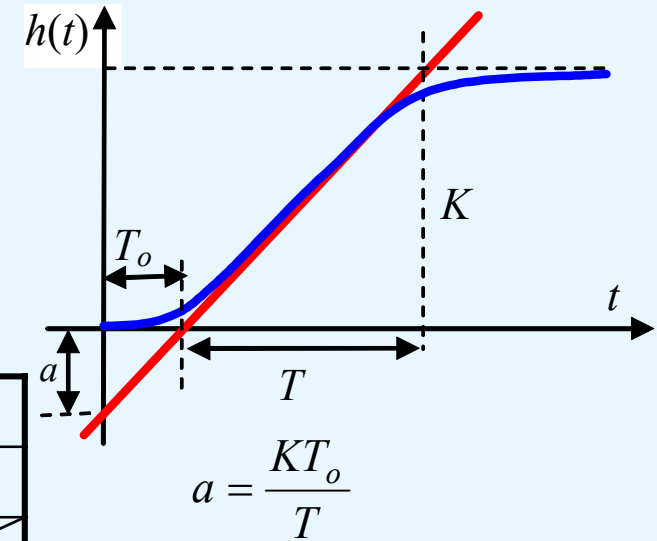
	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$1/a$	X	X
PI	$0.9/a$	$3T_o$	X
PID	$1.2/a$	$2T_o$	$T_o/2$

Chien, Hrones, Reswick [Pid controllers; Astrom; Tab4.4]

Przereg.	0%			20%		
	$K_p$	$T_i$	$T_d$	$k_p$	$T_i$	$T_d$
P	$0.3/a$	X	X	$0.7/a$	X	X
PI	$0.35/a$	$1.2T$	X	$0.6/a$	$T$	X
PID	$0.6/a$	$T$	$0.5T_o$	$0.95/a$	$1.4T$	$0.47T_o$

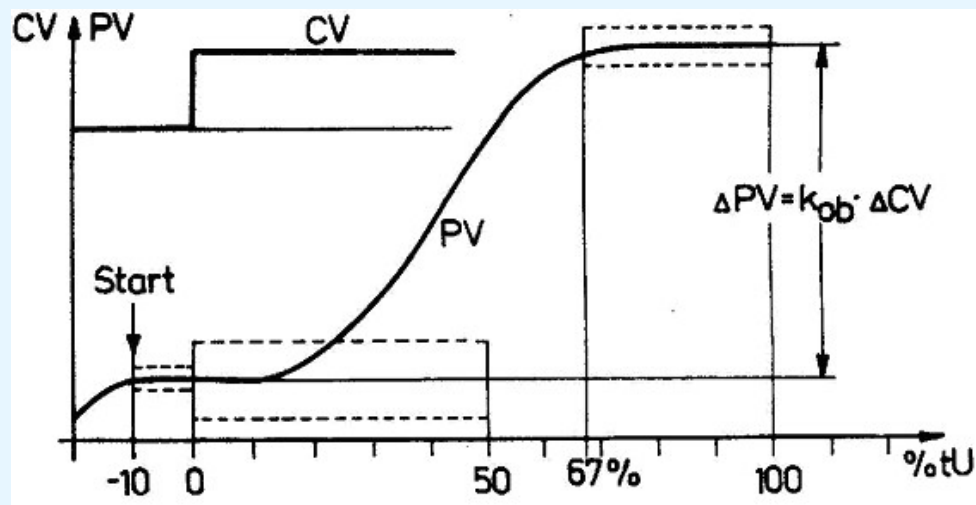
Cohen - Coon [Pid controllers; Astrom; Tab4.8]

Reg.	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$\frac{1}{a} \left( 1 + \frac{0,35\tau}{1-\tau} \right)$	X	X
PI	$\frac{0.9}{a} \left( 1 + \frac{0.92\tau}{1-\tau} \right)$	$\frac{3.3 - 3.0\tau}{1 + 1.2\tau} T_o$	X
PD	$\frac{1.24}{a} \left( 1 + \frac{0.13\tau}{1-\tau} \right)$	X	$\frac{0.27 - 0.36\tau}{1 - 0.87\tau} T_o$
PID	$\frac{1.35}{a} \left( 1 + \frac{0.18\tau}{1-\tau} \right)$	$\frac{2.5 - 3.0\tau}{1 - 0.39\tau} T_o$	$\frac{0.37 - 0.37\tau}{1 - 0.81\tau} T_o$



$$\tau = \frac{T_o}{T_o + T}$$

## Auto-tuning - SIPART



- I. Sprawdzenie stałości PV przez okres 0,1 tU
- II. Wmuszenie skokowe CV i zapis odpowiedzi skokowej
- III. Zbadanie warunków wiarygodności eksperymentu
- IV. Obliczenie parametrów modelu Strejca  $G(s) = k / (Ts + 1)^n$  (dla  $1 \leq n \leq 8$ )
- V. Wylczenie nastaw i sugestia algorytmu (PI lub PID)
- VI. Wybór algorytmu i akceptacja nastaw przez operatora

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

## Auto-tuning (samonastajanie)

### ► 2 metoda Zieglera-Nicholsa (metoda cyklu granicznego)

- nastaw działanie proporcjonalne
- zwiększaj wzmocnienie aż odpowiedź na skokowe/impulsowe wymuszenie to oscylacje o stałej amplitudzie - odczytaj okres oscylacji
- nastawy wg wzorów dla różnych regulatorów

Regulator	$k_p$	$T_i$	$T_d$
<b>P</b>	$0,5k_{pkryt}$		
<b>PI</b>	$0,45k_{pkryt}$	$0,85T_{osc}$	
<b>PID</b>	$0,6k_{pkryt}$	$0,5T_{osc}$	$0,12T_{osc}$

Dobre wyniki gdy  
 $2 < k \cdot k_{pkryt} < 20$  (gdzie  $k$  obiektu)

PID kaskadowy (interantywny)

Modyfikacja Pessena:  $k_p = 0,2k_{pkryt}$ ;  $T_i = 0,33T_{osc}$ ;  $T_d = 0,5T_{osc}$

Modyfikacja Hanssena-Offereinsa (eliminacja pomiaru  $T_{osc}$ ):

**PI:**

- ustaw tylko działanie P ( $T_i = \max$ )
- zwiększaj  $k_p$  do granicy stabilności;
- odczytaj  $k_{pkryt} \rightarrow$  ustaw  $k_p = 0,45 k_{pkryt}$
- zmniejszaj  $T_i$  do granicy stabilności;
- odczytaj  $T_{ikryt} \rightarrow$  ustaw  $T_i = 3T_{ikryt}$

**PID:**

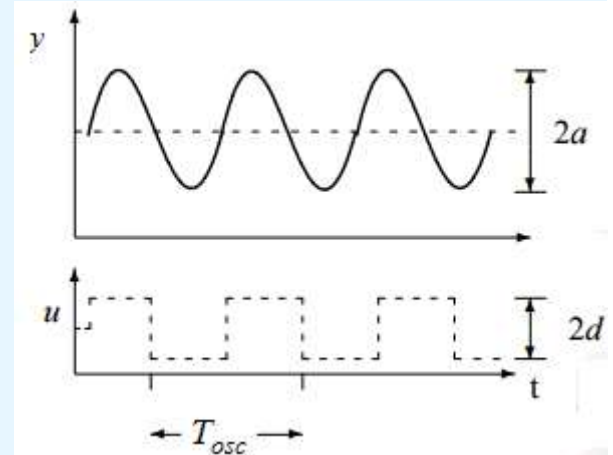
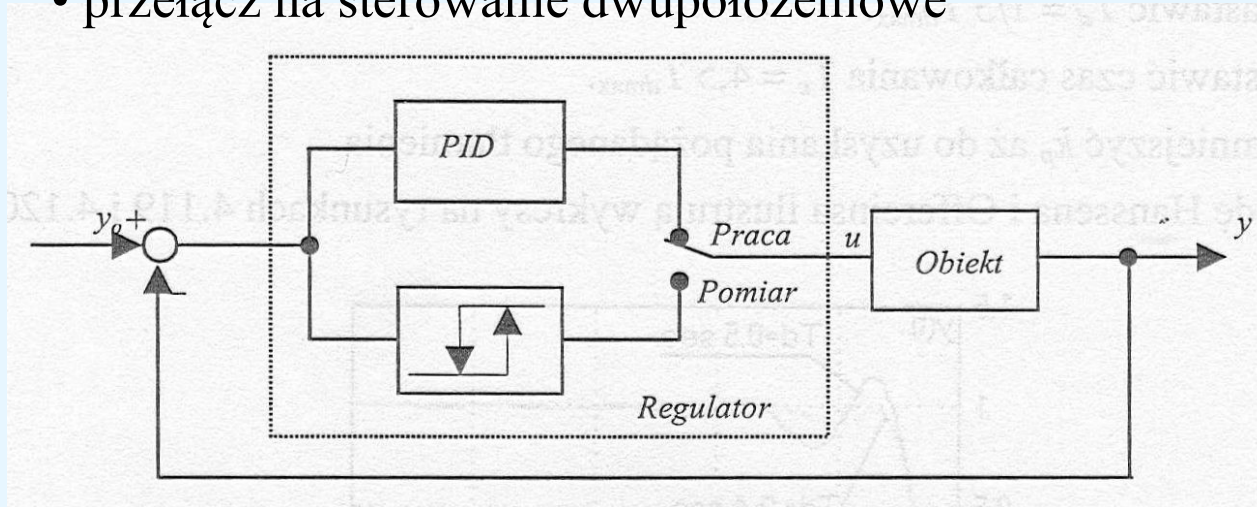
- dobierz nastawy dla działania PI
- zwiększaj  $T_d$  (do  $T_{dmax}$ ) do maksymalnego tłumienia
- ustaw  $T_d = 1/3 T_{dmax}$  oraz  $T_i = 4,5 T_{dmax}$
- zmniejszaj  $k_p$  do uzyskania pożądanego tłumienia



## Auto-tuning (samonastajanie)

- ▶ 2 metoda Zieglera-Nicholsa – modyfikacja Äströma-Hägglunda
  - przełącz na sterowanie dwupołożeniowe

[PID controllers; Astrom; Rys.6.4]



- wyznacz amplitudę i okres oscylacji:  $A_{osc} = 4d / (\pi a)$ ,  $T_{osc}$
- nastawy PID ZN na podstawie oscylacji i okresu wg [1] wg [2]

	$K_p$	$T_i$	$T_d$
orginalne	$0.6A_{osc}$	$T_{osc}/2$	$T_{osc}/8$
małe przeregulowanie	$0.33A_{osc}$	$T_{osc}/2$	$T_{osc}/3$
bez przeregulowania	$0.2A_{osc}$	$T_{osc}/2$	$T_{osc}/3$

$$K_p = 0.35A_{osc}$$

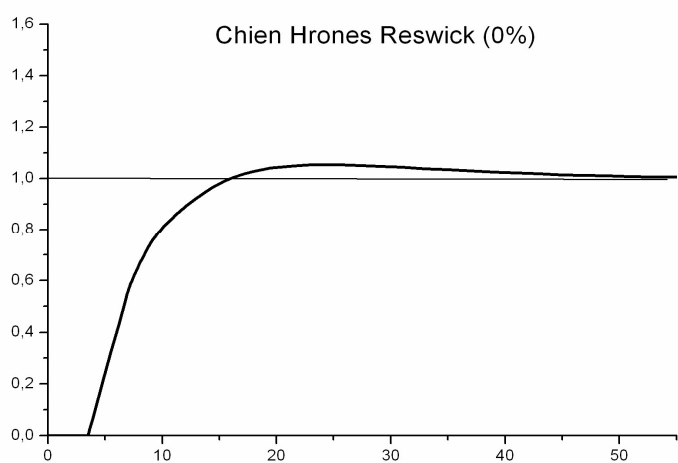
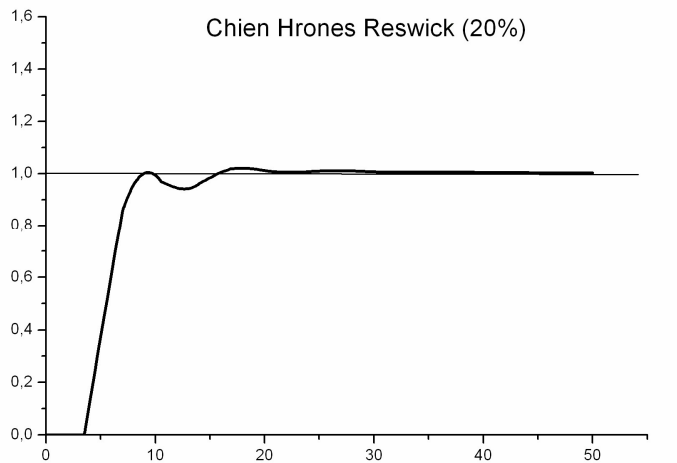
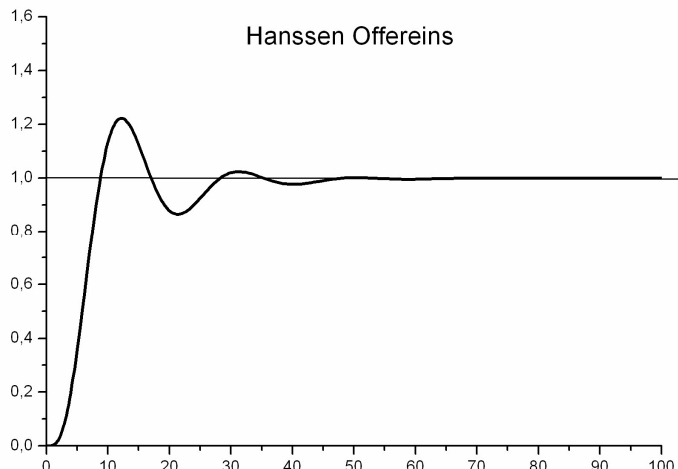
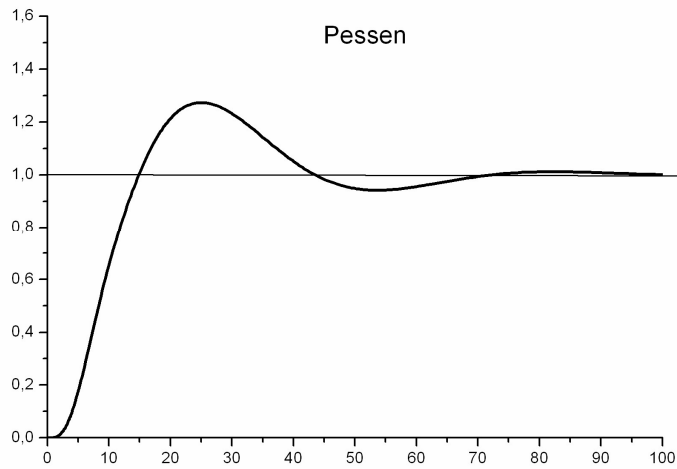
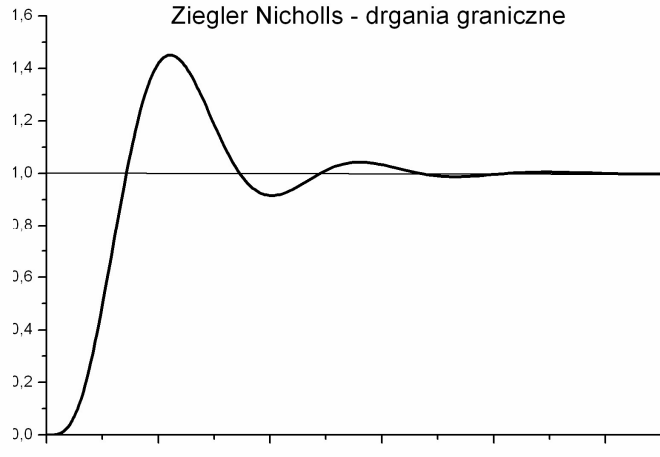
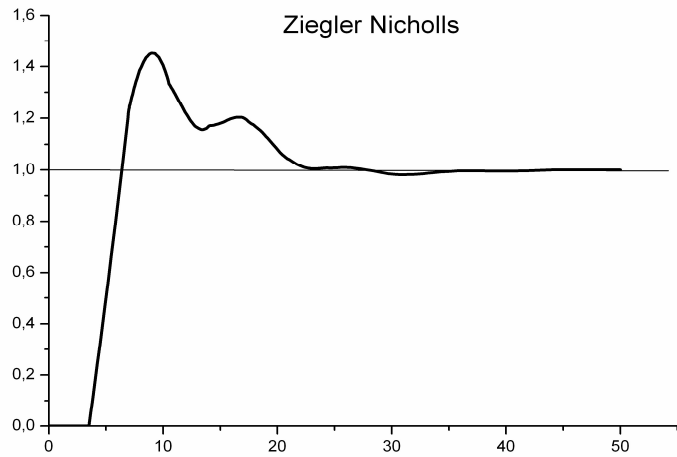
$$T_i = 0.77T_{osc}$$

$$T_d = 0.19T_{osc}$$

Karl Äström, Tore Hägglund, 1984, Institute of Technology Lund (Szwecja)  
 + bez rozwierania pętli  
 - konieczność wprowadzania układu w stan oscylacji

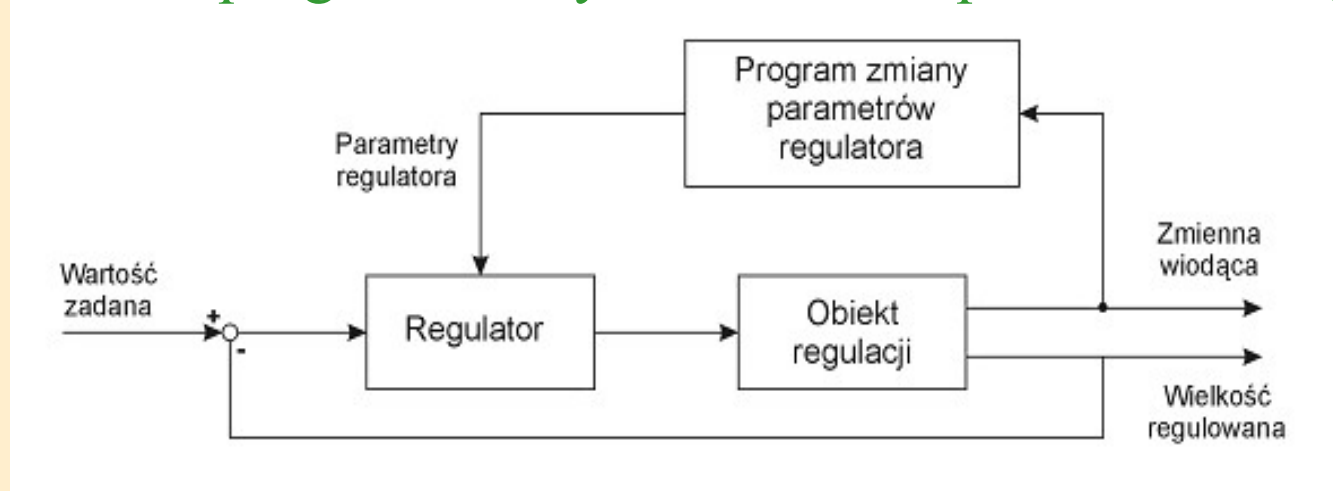
[1] [http://www.processcontrolstuff.net/wp-content/uploads/2015/02/relay\\_autot-2.pdf](http://www.processcontrolstuff.net/wp-content/uploads/2015/02/relay_autot-2.pdf)

[2] <http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=8847786&fileId=8859378>



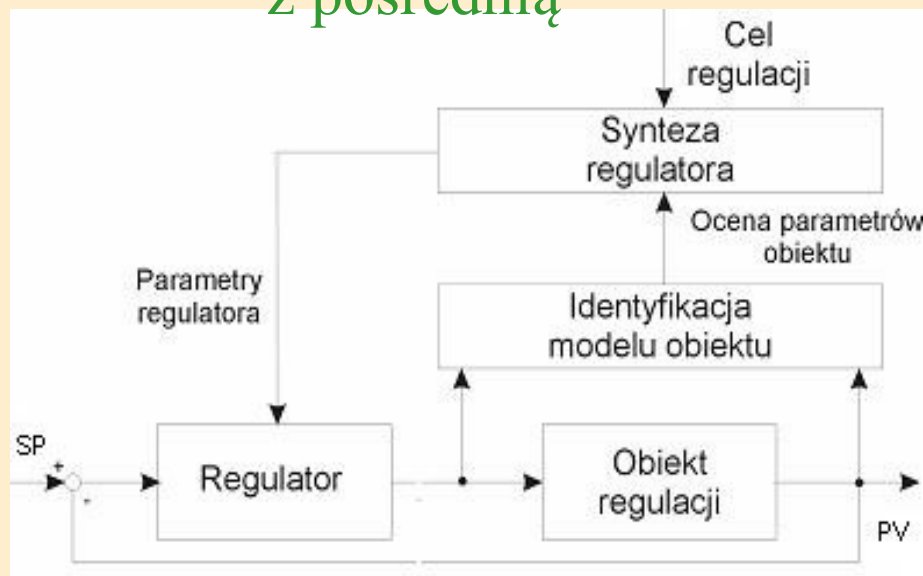
# Adaptacja

## Układ z programowanymi zmianami parametrów regulatora

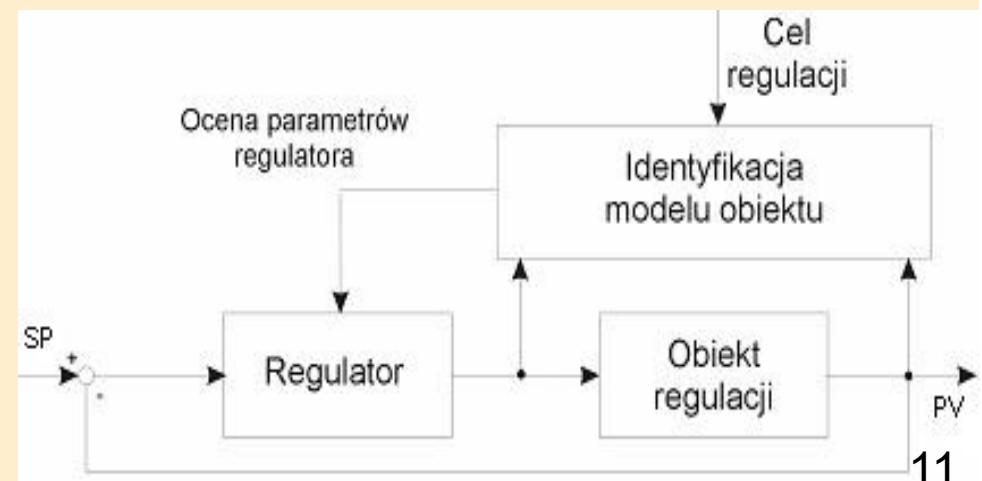


## Układy z identyfikacją modelu

z pośrednią



z bezpośrednią



- Auto-tuning (pre-tuning)

- dobór nastaw przed uruchomieniem
- zatrzymanie procesu, eksperyment, zatwierdzenie nastaw

- Adaptacja (self-tuning, ...)

- korekcja nastaw w trakcie pracy
- zmiana punktu pracy (układy nieliniowe)
- zmiana parametrów (niestacjonarność, zużycie, ...)