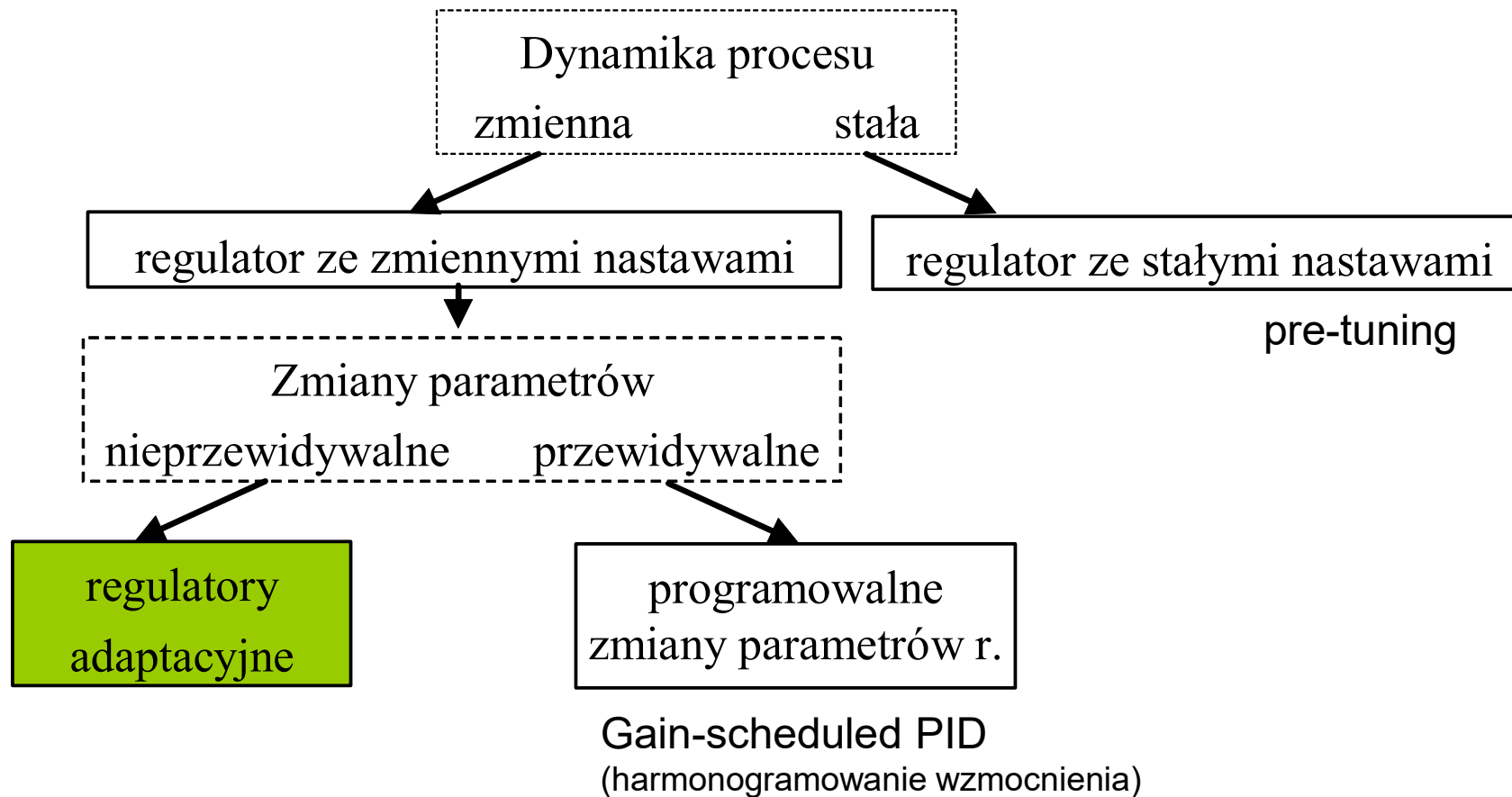


# Sterowanie adaptacyjne

Sterowanie adaptacyjne polega na dostosowywaniu (adaptacji) nastaw regulatora do zmian parametrów obiektu (w trakcie pracy)

## Techniki adaptacji



## Sterowanie adaptacyjne a automatyczne strojenie (auto-tuning)

Zastosowanie technik adaptacji do automatycznego strojenia (auto-tuning)  
(zarówno feedback jak i feedforward)

### • Auto-tuning (pre-tuning)

### • Pre-tuning

*Åström, Hägglund*

- dobór nastaw przed uruchomieniem procesu (i/lub na żądanie operatora)
- zatrzymanie procesu, eksperyment, zatwierdzenie nastaw

### • Auto-tuning

*Åström, Hägglund*

- automatyczny dobór nastaw na żądanie operatora

---

### • Regulator adaptacyjny (self-tuning)

### • Regulator adaptacyjny

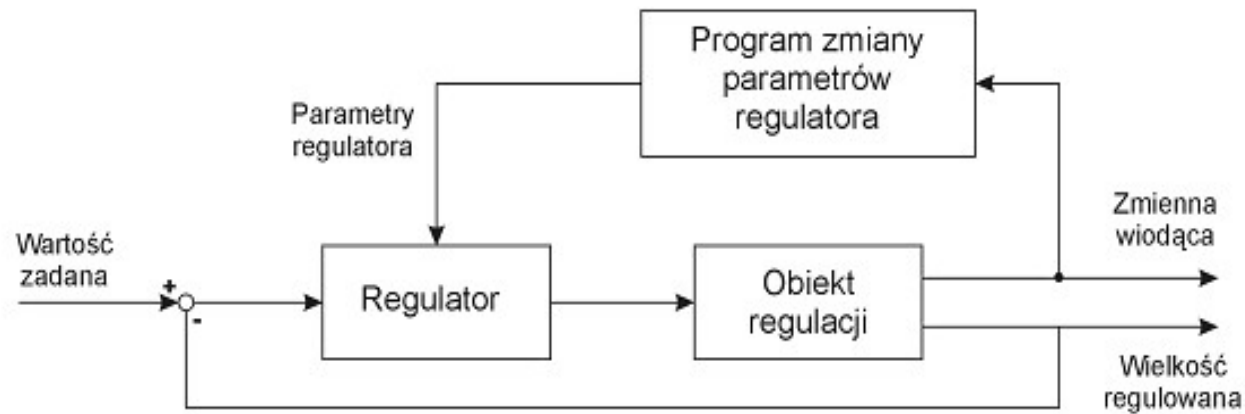
*Åström, Hägglund*

- korekcja nastaw w trakcie pracy
- inicjowana przez system gdy:
  - zmiana punktu pracy (układy nieliniowe)
  - zmiana parametrów (niestacjonarność, zużycie, ...)
- trzy tryby pracy: manual – automatic – adaptive

## Układy o charakterze adaptacyjnym

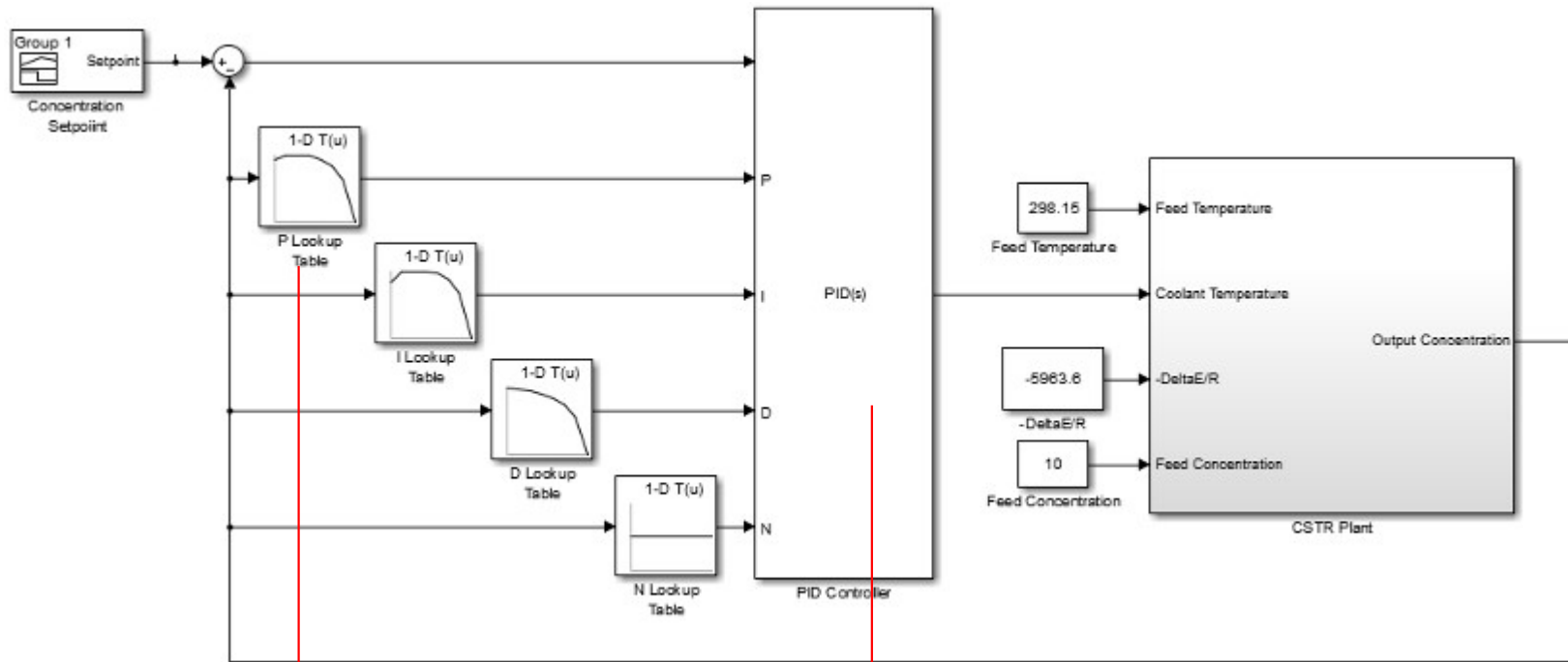
Układ z programowanymi zmianami parametrów regulatora

PID z harmonogramowaniem wzmacnienia (Gain-scheduled PID)



# Układy o charakterze adaptacyjnym

## PID z harmonogramowaniem wzmacnienia (Gain-scheduled PID)



**Function Block Parameters: P Lookup Table**

Lookup Table (n-D)

Perform n-dimensional interpolated table lookup including representation of a function in N variables. Breakpoint set: first dimension corresponds to the top (or left) input port.

Table and Breakpoints    Algorithm    Data Types

Number of table dimensions: 1

Table data: Controllers.Kp

Breakpoints 1: C

Edit table and breakpoints...

**Function Block Parameters: PID Controller**

PID Controller

This block implements continuous- and discrete-time PID control with anti-windup, external reset, and signal track (requires Simulink Control Design).

Controller: PID

Time domain:

Continuous-time

Discrete-time

Main    PID Advanced    Data Types    S

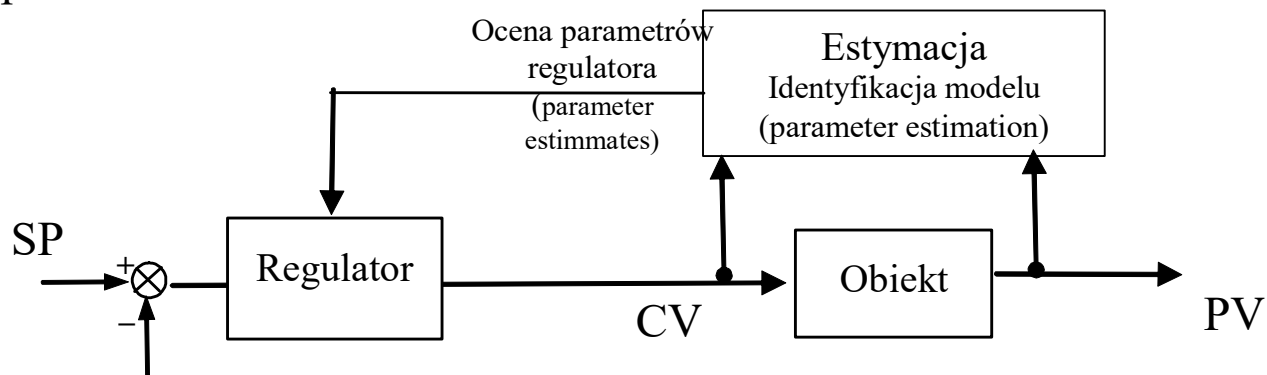
Controller parameters

Source: external

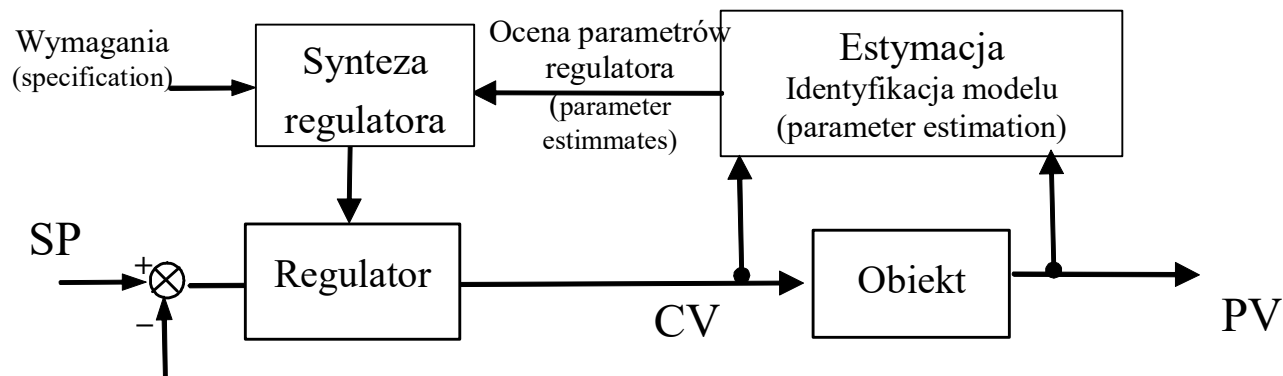
## Układy adaptacyjne

Układy adaptacyjne zawierają w sobie metody estymacji parametrów obiektu (identyfikacji modelu).

Układy bezpośrednie



Układy pośrednie



# Auto-tuning

## Metody oparte na modelu:

- metody odpowiedzi przejściowej (transient response methods) – odp. skokowa/impulsowa
  - na podstawie odpowiedzi otwartej pętli (Open-Loop Tuning) - wymuszenie skokowe/impulsowe w stanie równowagi [patrz Identyfikacja]
  - na podstawie odpowiedzi zamkniętej pętli (Close-Loop Tuning) - wymuszenie skokowe/impulsowe SP lub zakłócenia – zastosowanie zależności pomiędzy parametrami odpowiedzi (tłumienie, przeregulowanie, czas regulacji) a nastawami regulatora
- metody odpowiedzi częstotliwościowej (frequency response methods)
  - metoda przekaźnikowa (Relay Method) – wymuszenie prostokątne [patrz Identyfikacja]
  - metoda (On-Line Method) – badanie różnych częstotliwości i odtwarzanie ch-ki częstotliwościowej [patrz Identyfikacja]
- metody estymacji parametrów (Parameter Estimation Methods)
  - rekurencyjna estymacja parametrów opisujących dyskretny model niskiego rzędu
  - zastosowanie wyznaczonych parametrów do obliczenia nastaw regulatora
  - wykorzystywane w sterownikach adaptacyjnych (ciągła korekta-adaptacja nastaw)
  - zaleta: nie wymagają określonego sygnału (identyfikacja on-line na podstawie sygnałów roboczych)
  - konieczna jest faza pre-tuning

Zazwyczaj jest używany rekurencyjny estymator najmniejszych kwadratów, opisany przez:

$$\hat{\Theta}(t) = \hat{\Theta}(t-1) + P(t)\varphi(t)\varepsilon(t)$$

$$\varepsilon(t) = y(t) - \varphi(t)^T \hat{\Theta}(t-1)$$

$$P(t) = P(t-1) - \frac{P(t-1)\varphi(t)\varphi(t)^T P(t-1)}{1 + \varphi(t)^T P(t-1)\varphi(t)}$$

gdzie:

$\hat{\Theta}$  - parametry estymowane

$P$  - macierz kowariancji

$\varphi$  - wektor regresji

(zazwyczaj zawiera zmierzone opóźnienia i sygnały sterujące)

więcej *Advance Pid; Astrom/s.305n*

# Auto-tuning

## Metody oparte na regułach:

Nie używają „wyrażnego” modelu, tylko reguł (podobnie jak operator)

- Ogólne praktyczne zasady

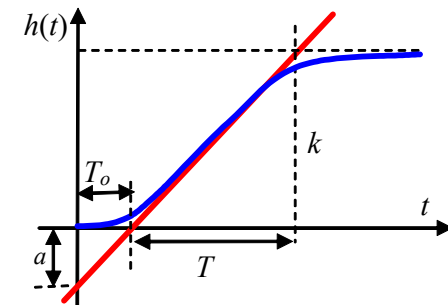
	Szybkość	Stabilność
$K$ rośnie	rośnie	maleje
$T_i$ rośnie	maleje	rośnie
$T_d$ rośnie	rośnie	rośnie

Uwaga są wyjątki

lub mapa nastaw (tuning map) [tab.6.7]

$T_0$	IAE			$aK$	$T_i/T_0$
0.0	0				
0.2	0.14			0.94	2.9
0.5	0.60			1	2.2
1.0	1.5			1	1.4
2.0	3.2			1.2	1.0
5.0	7.7			2.1	0.6
10.0	15			3.7	0.53

Przykład mapy opracowanej dla obiektu  $1/(s+1)e^{-sT_0}$  i regulatora PI z założeniem minimalizacji kryterium IAE dla zakłóceń



- Działanie:

- algorytm czeka na zdarzenia (np. zmiana wartości zadanej, zakłócenia)
- po wystąpieniu zdarzenia obserwuje parametry procesu (wyznacza wskaźniki jakości)
- jeśli wskaźniki odbiegają od zadanych, to koryguje nastawy zgodnie z regułami

# Zarządzanie działaniem reulatorów (supervision)

Każdy regulator wymaga kontroli działania.

## Klasyczny PID

- funkcja antywindup (przed nasyceniem integratora)
- bezuderzeniowe przełączanie auto/manual (Bumpless Control Transfer Between Manual and PID Control)<sup>1)</sup>
- bezuderzeniowe przejście przy zmianie parametrów
- strefa martwa
- ograniczenie sygnału wyjściowego

## Regulator adaptacyjny

- kontrola inicjalizacji – kiedy i z jakimi parametrami
- wykrywanie pobudzenia (zmiana na wejściu i uruchomienie adaptacji)
- wykrywanie zakłóceń (zakłócają wyznaczanie modelu obiektu)
- wykrywanie oscylacji i nasycenia sygnałów
- bezuderzeniowe przejście pomiędzy trybami: manual – automatic – adaptive
- ograniczenie estymowanych parametrów

1) <https://www.mathworks.com/help/simulink/examples/bumpless-control-transfer-between-manual-and-pid-control.html>