**Katedra Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn**
**POLITECHNIKA OPOLSKA**

# MECHATRONIKA

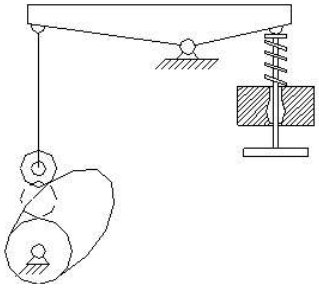
## CZŁONY UKŁADÓW REGULACJI

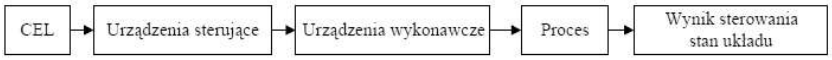
dr inż. Roland PAWLICZEK



## *Sterowanie w układzie otwartym*

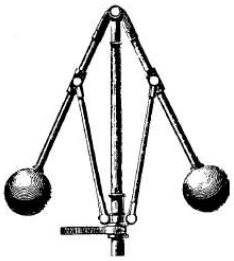
- ***Sterowanie zapłonem silnika samochodu***

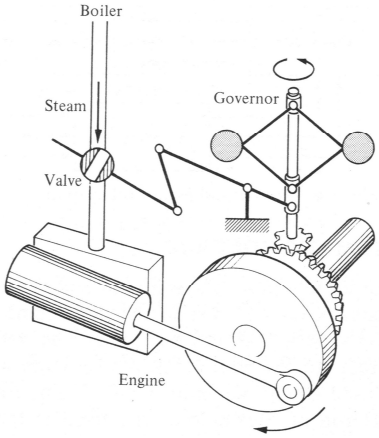




## *Sterowanie w układzie zamkniętym*

- ***Regulator James'a Watt'a:*** *regulował prędkość obrotowa wału.*
- *Dwie kule wirują – jeżeli ich prędkość obrotowa wzrasta, to jest zamykany zawór na przewodzie z parą i prędkość powraca do poprzedniej wartości.*

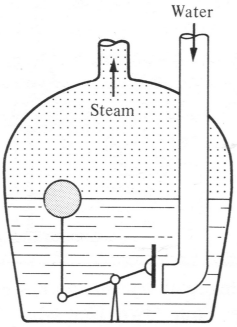




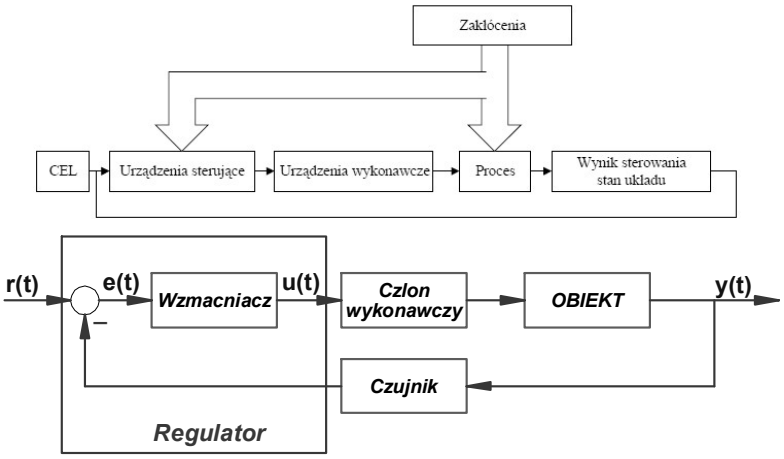



## *Sterowanie w układzie zamkniętym*

- ***Regulatory poziomu wody:*** *maja dwa główne zastosowania – systemy dystrybucji wody i silniki parowe*



## Sterowanie w układzie zamkniętym



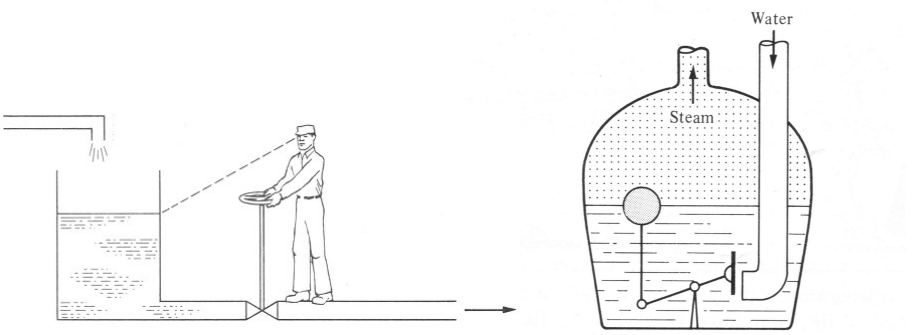

- *r(t) → sygnał zadany; y(t) → sygnał wyjściowy*
- *e(t) = r(t) – y(t) → uchyb*
- *u(t) → sygnał sterujący*



## Sterowanie w układzie zamkniętym

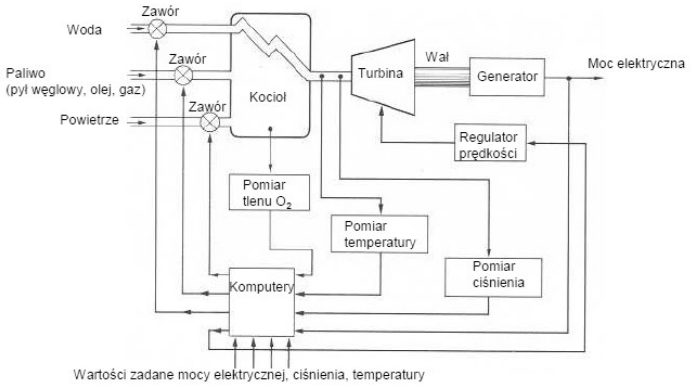
- *Zasadniczy podział na dwie grupy:*

***RĘCZNA*** ***AUTOMATYCZNA***



## *Układy automatycznej regulacji*

- *Złożone układy regulacji – im bardziej złożony proces podlega regulacji tym bardziej skomplikowany jest układ regulacji.*
- *Należy użyć większej liczby czujników; trzeba przeanalizować, czy kontrola jednej ze zmiennych procesu nie wpływa na inną zmienną i czy przypadkiem przy konieczności korygowania jednej z nich nie należy zmienić wartości drugiej…*

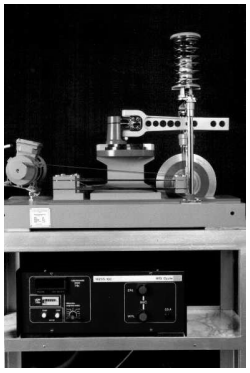



7

# Regulacja - definicje

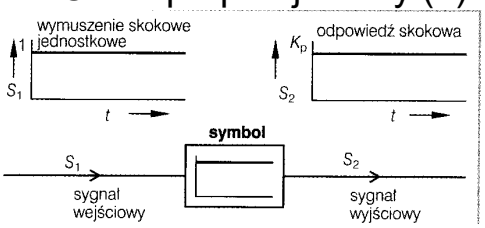
**Rodzaje regulacji**

- stałowartościowa – utrzymywanie wartości rzeczywistej wielkości regulowanej na pewnym poziomie, układ regulacji koryguje chwilowe i przejściowe odchylenia od wartości zadanej
- nadążna – regulator zapewnia zmianę wartości regulowanej zgodnie z przyjętym programem zmian wartości zadanej.



8

# Człon proporcjonalny (P)

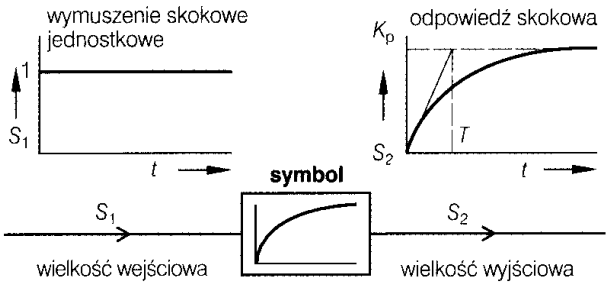



$$S_2 = K_p S_1$$

- Sygnał wyjściowy $S_2$ jest proporcjonalny do sygnału wejściowego $S_1$ ($K_p$ – wps. wzmocnienia).
- Przykłady:
  - przekładnie,
  - wzmacniacze elektroniczne,
  - sensory (przetwarzanie sygnałów).
- Wartość współczynnika $K_p$ określa się z charakterystyki $S_2 = f(S_1)$ wyznaczanej w oparciu o eksperyment.
- Rzeczywiste człony proporcjonalne cechują się opóźnieniem. Jeżeli opóźnienie pewnego członu układu regulacji jest pomijalnie małe w porównaniu do innych elementów układu regulacji, to taki człon nazywamy **bezinercyjnym**.

9

# Człon inercyjny I rzędu ($PT_1$)



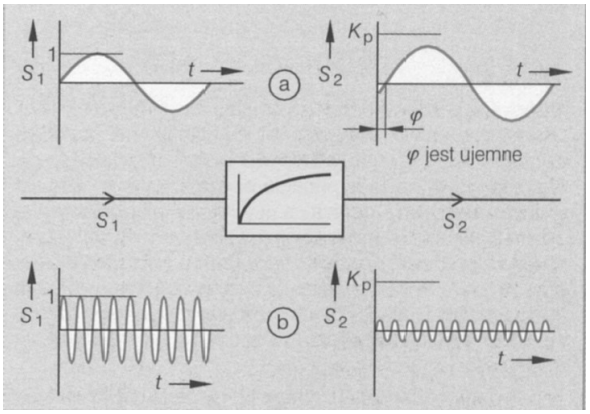

$$S_2 = K_p\left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right)$$

- Sygnał wyjściowy $S_2$ jest proporcjonalny do sygnału wejściowego $S_1$ po upływie pewnego czasu t (zwykle $t \approx 3T$, gdzie T – stała czasowa członu).
- Człony $PT_1$ cechują się magazynowaniem energii i stałą czasową.
- Przykłady:
  - napełnianie zbiornika gazem po otwarciu zaworu zasilającego,
  - ogrzewanie wody w naczyniu grzałką o określonej mocy,
  - rozpędzanie dużych mas (duża bezwładność) do określonej prędkości, np. uruchamianie silnika elektrycznego obciążonego dużym kołem pasowym.

10

# Człon inercyjny I rzędu ($PT_1$)

**Odpowiedź na wymuszenie sinusoidalne**

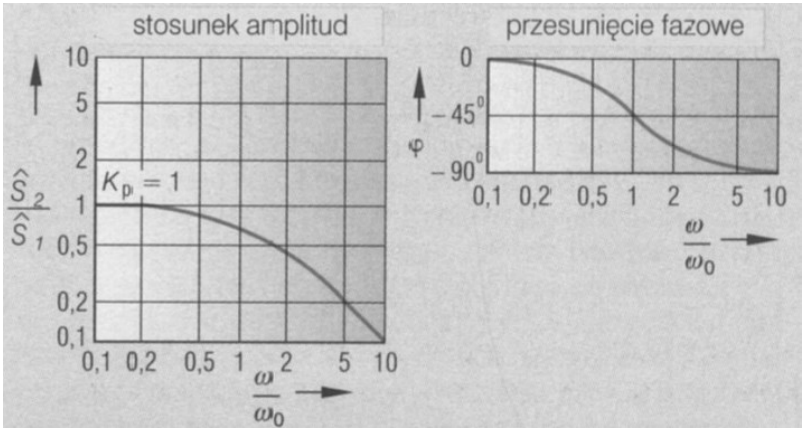



- Sygnał wyjściowy (po odcinku przejściowym t = 3T) posiada tę samą częstotliwość co sygnał wejściowy, ale jest przesunięty w fazie.
- Dla wyższych częstotliwości sygnał jest mocno tłumiony, nie ma możliwości zmagazynowania tak dużej ilości energii w krótkim czasie → filtry dolnoprzepustowe

11

# Człon inercyjny I rzędu ($PT_1$)

**Charakterystyki**

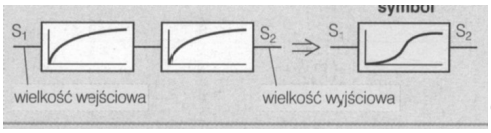



$\omega_0 = 2\pi f_0 = 1/T$ częstość kołowa graniczna (sprzęgająca)

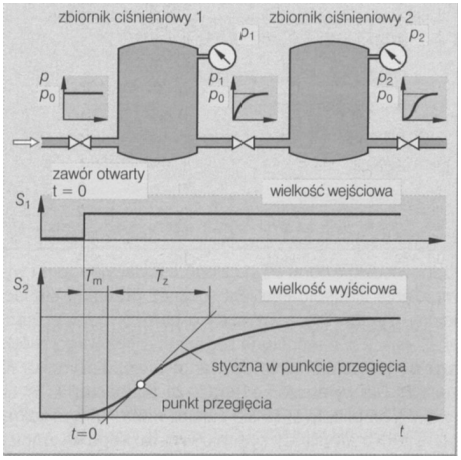
$\varphi = 0°$ ($\omega$=0) do $-90°$ ($\omega \rightarrow \infty$) przesunięcie fazowe

12

# Człon inercyjny II rzędu ($PT_2$)




Odpowiedź na wymuszenie skokowe:




**Człony $PT_2$ składają się z dwóch połączonych szeregowo członów $PT_1$.**

**$T_Z$** – zastępcza stała czasowa

**$T_m$** – czas opóźnienia

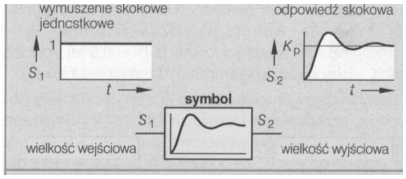
13

# Człon inercyjny II rzędu ($PT_{2OSC}$)

**Człon oscylacyjny:**

$$S_2 = K_p\left(1 - \frac{e^{-D\omega_0 t}}{\sqrt{1-D^2}}\sin\sqrt{1-D^2}\,\omega_0 t - \varphi\right)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{T_0} \qquad \varphi = \mathrm{arctg}\left(\frac{\sqrt{1-D^2}}{D}\right)$$

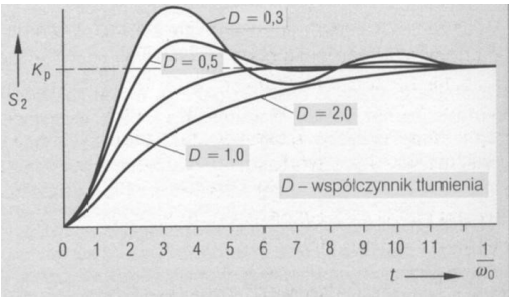



D – wsp. tłumienia

D = 0 →oscylacje nietłumione

0 < D < 1 → oscylacje tłumione

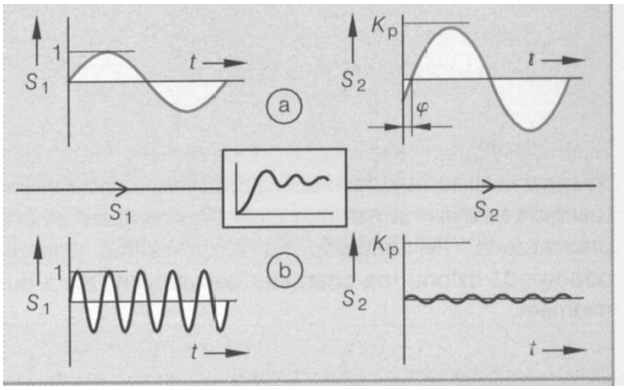
D > 1 → człon zachowuje się jak człon inercyjny II rzędu ($PT_2$)




14

# Człon inercyjny II rzędu ($PT_{2OSC}$)

**Człon oscylacyjny - charakterystyki**



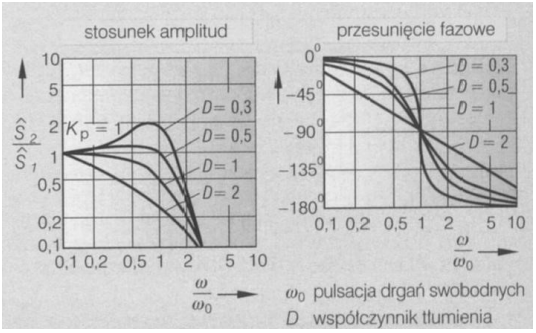

Dla $\omega \ll \omega_0$ – wzmocnienie sygnału zależne od wsp. $K_P$

Dla $\omega \gg \omega_0$ – tłumienie sygnału proporcjonalnie do $1/\omega_0^2$

15

# Człon inercyjny II rzędu ($PT_2$)

**Człon oscylacyjny - charakterystyki**



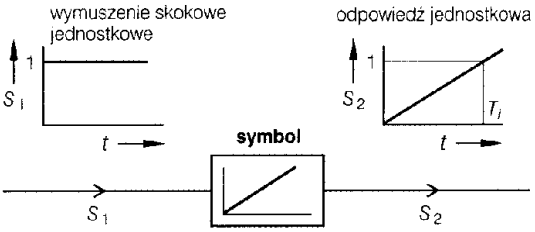

Dla $\omega = \omega_0$ – wzmocnienie sygnału silnie zależne od wsp. tłumienia D

$\varphi = 0°$ ($\omega$=0) do -180° ($\omega \rightarrow \infty$) przesunięcie fazowe

Człony $PT_2$ są stosowane jako filtry dolnoprzepustowe. Częstotliwości sygnału wejściowego powyżej $f_0$ są silniej tłumione niż w członach $PT_1$.

16

# Człon całkujący (I)




$$S_2 = \frac{1}{T_i} t = K_i t$$

$T_i$ – stałt czasowa całałkowan

$K_i$ – wsp. wzmocnienia całałkowan

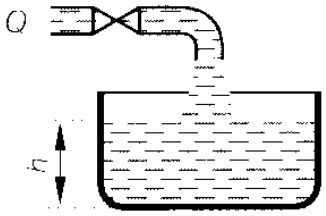
- Sygnał wyjściowy $S_2$ jest proporcjonalny do całki sygnału wejściowego $S_1$ (dodawanie wartości chwilowych sygnał wejściowego w kolejnych chwilach czasowych).
- Człony całkujące realizują przemiany:
  - prędkość ruchu → przemieszczenie,
  - liczba obrotów → kąt obrotu,
  - prąd elektryczny → gromadzony ładunek (np. kondensator),
  - częstotliwość → liczba impulsów (licznik).



# Człon całkujący (I)

**Obiekty o charakterystyce całkującej**

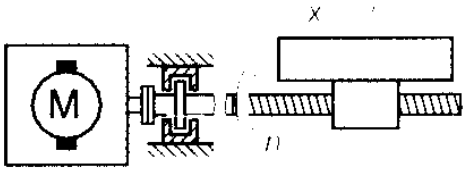
wielkość wejściowa:
przepływ $Q \mathrel{\hat{=}} S_1$




wielkość wyjściowa:
wysokość poziomu $h \mathrel{\hat{=}} S_2$

zbiornik płynu

wielkość wejściowa:
liczba obrotów $n \mathrel{\hat{=}} S_1$

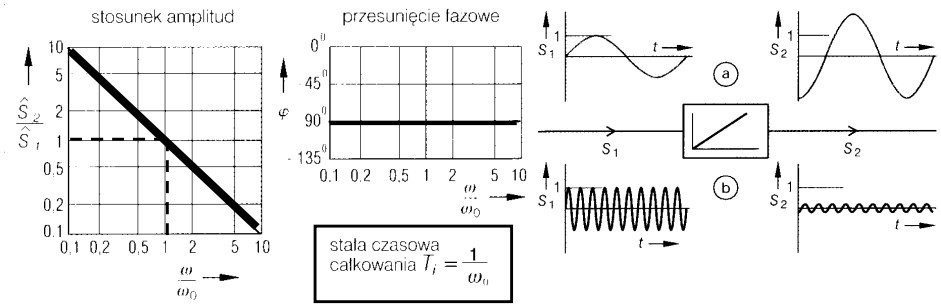



wielkość wyjściowa:
położenie $x \mathrel{\hat{=}} S_2$

napęd z przekładnią śrubową

# Człon całkujący (I)

**Charakterystyki**

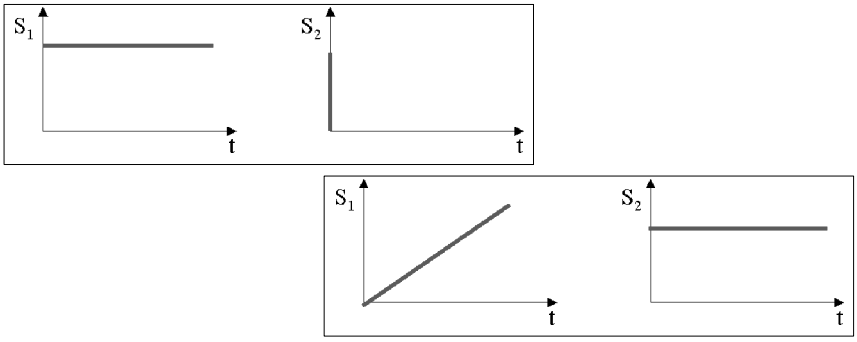



- Dla małych częstotliwości $\omega << \omega_0$ – amplitudy sygnału wyjściowego są silnie wzmocnione.
- Dla wysokich częstotliwości $\omega >> \omega_0$ – amplitudy sygnału wyjściowego są silnie tłumione.
- Dla członu całkującego sygnał wyjściowy podąża za sygnałem wejściowym ze stałym opóźnieniem $\varphi$ = 90º, niezależnie od częstotliwości $\omega$.

19

# Człon różniczkujący (D)

**Odpowiedź na wymuszenie skokowe**

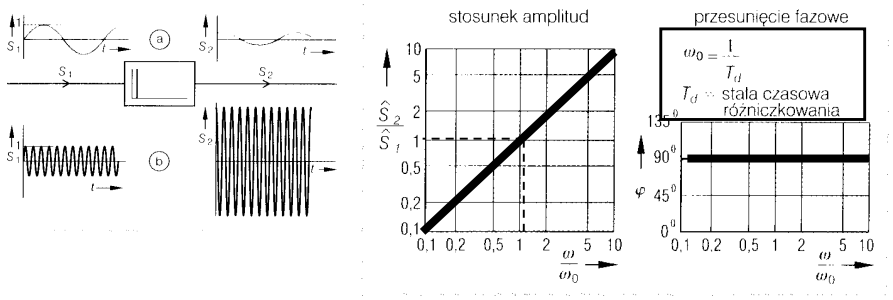


- Sygnał wyjściowy jest proporcjonalny do pochodnej sygnału wejściowego
- Dla wymuszenia impulsowego odpowiedzią jest pojedynczy impuls.
- Człony D wykorzystuje się jako wzmacniacze operacyjne do przetwarzania sygnałów generowanych przez sensory:
  - sensor przemieszczenia → prędkość ruchu ( $V_x$ = dx/dt ).

20

# Człon różniczkujący (D)

**Charakterystyki**



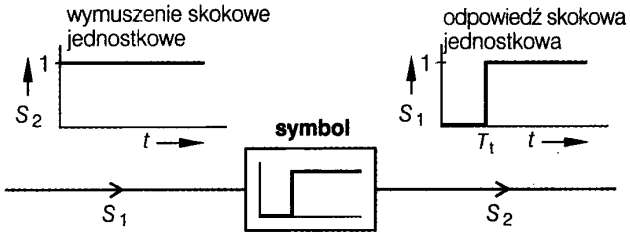

- Dla małych częstotliwości $\omega << \omega_0$ – amplitudy sygnału wyjściowego są silnie tłumione.
- Dla wysokich częstotliwości $\omega >> \omega_0$ – amplitudy sygnału wyjściowego są większe aniżeli amplitudy sygnału wejściowego.
- Dla członu różniczkującego sygnał wyjściowy wyprzedza sygnał wejściowy ze przesunięciem fazowym $\varphi = 90^o$, niezależnie od częstotliwości $\omega$.

Człony różniczkujące wzmacniają sygnały o wysokich częstotliwościach.

21

# Człon opóźniający ($T_t$)

Odpowiedź na sygnał wymuszający w członie opóźniającym pojawia się po pewnym czasie $T_t$ zwanym **czasem opóźnienia**. Charakter odpowiedzi jest identyczny jak sygnału wejściowego.




$$T_t = \frac{l}{v}$$

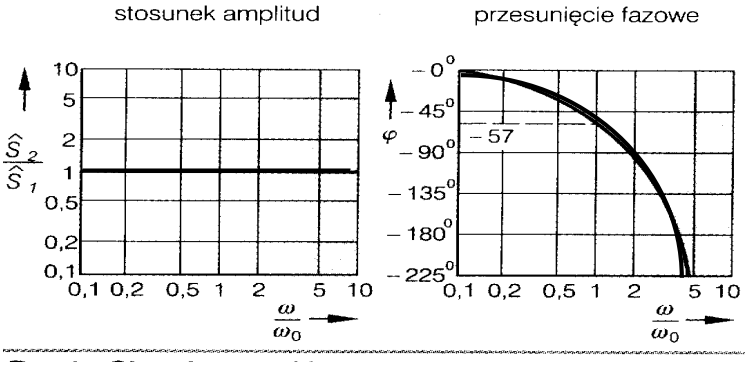
*l – droga przebiegu*
*v – prędkość*

Przykłady członów opóźniających:

- przetwarzanie danych przez komputer (kroki pomiarowe → czas opóźnienia)
- pomiary grubości blachy po walcowaniu (układ pomiarowy znajduje się nieco za walcami)
- zastosowanie w układach regulacji sensora ultradźwiękowego

22

# Człon opóźniający ($T_t$)




$$\varphi = -\frac{\omega}{\omega_0} = \frac{2\pi f}{\omega_0}\,[\mathrm{rad}] \quad ; \quad \varphi = -\frac{\omega}{\omega_0}\cdot\frac{180°}{\pi}\,[°]$$

$$\omega_0 = \frac{1}{T_t}$$

23

# Połączenie członów regulacji

Sygnał wyjściowy członu układu jest sygnałem wejściowym dla następnego członu.

Wzmocnienie całkowite:

$$\frac{S_{2całk}}{S_{1całk}} = \frac{S_{21}}{S_{11}}\cdot\frac{S_{22}}{S_{12}}\cdots\frac{S_{2n}}{S_{1n}}$$

Całkowity kąt przesunięcia fazowego:

$$\varphi_{całk} = \varphi_1 + \varphi_2 + \ldots \varphi_n$$

**UWAGA:** ponieważ wzmocnienia i przesunięcia fazowe zależą od częstotliwości sygnału wzmocnienie całkowite należy rozpatrywać dla określonej, tej samej częstotliwości.

24