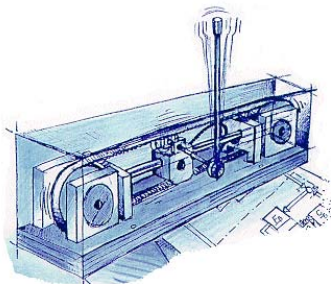


# Automatyka i robotyka

## Wykład 1 - Wprowadzenie do automatyki



**Wojciech Paszke**

Instytut Sterowania i Systemów  
Informatycznych,  
Uniwersytet Zielonogórski



# Plan wykładu

---

Podstawowe informacje

Wprowadzenie

Sprężenie zwrotne

Liczby zespolone



# Plan wykładu

---

Podstawowe informacje

Wprowadzenie

Sprężenie zwrotne

Liczby zespolone



# Plan wykładu

---

Podstawowe informacje

Wprowadzenie

Sprężenie zwrotne

Liczby zespolone



# Plan wykładu

---

Podstawowe informacje

Wprowadzenie

Sprężenie zwrotne

Liczby zespolone



## Organizacja zajęć

---

- Prowadzący  
dr inż. Wojciech Paszke, e-mail:w.paszke@issi.uz.zgora.pl;  
budynek C-10, pokój 407.
- Czas i miejsce  
Środa, godz. 13.00 - 15.30; budynek C-10, sala 3
- Egzamin  
Termin: *do ustalenia*; Forma: *Zadania lub test (forma pisemna)*
- Słowa kluczowe: *sterowanie, regulacja, układy liniowe, projektowanie sterowników.*



# Literatura

## Automatyka i teoria sterowania

---

- Feedback systems : an introduction for scientists and engineers  
*Karl Johan Astrom i Richard M. Murray*
- Feedback control of dynamic systems  
*Gene F. Franklin, J. David Powell i Abbas Emami-Naeini*
- Materiały wykładów: Feedback Control Systems,  
*MIT OpenCourseWare (<http://ocw.mit.edu>)*
- Feedback Control Theory  
*John Doyle, Bruce Francis i Allen Tannenbaum*
- Control engineering  
*Derek Atherton*
- Modern Control Systems Analysis and Design using Matlab  
*Robert H. Bishop*
- ... i wiele innych



# Tematy wykładów

---

1. Podstawy regulacji automatycznej
2. Modelowanie w dziedzinie częstotliwości
3. Modelowanie w dziedzinie czasu
4. Odpowiedź układów dynamicznych
5. Stabilność
6. Uchyb w stanie ustalonym
7. Metoda lokowania biegunów
8. Metody projektowania regulatorów w dziedzinie częstotliwości
9. Podstawy robotyki
10. Kinematyka prosta i odwrotna



# Regulacja automatyczna

---

Co łączy te dwie rzeczy?



Tornado



Boeing 777

# Regulacja automatyczna

Co łączy te dwie rzeczy?



Tornado



Boeing 777

- Skomplikowana i nieliniowa dynamika
- Możliwość przenoszenia osób i rzeczy na dalekie odległości

# Regulacja automatyczna

Co łączy te dwie rzeczy?



Tornado



Boeing 777

- Skomplikowana i nieliniowa dynamika
- Możliwość przenoszenia osób i rzeczy na dalekie odległości

ALE

# Regulacja automatyczna

Co łączy te dwie rzeczy?



Tornado



Boeing 777

- Skomplikowana i nieliniowa dynamika
- Możliwość przenoszenia osób i rzeczy na dalekie odległości

## ALE

- Jedna z nich podlega sterowaniu a druga nie
- Regulacja jest technologią którą stykasz się codziennie ale jej nie widzisz
- Regulacja jest mocno powiązana ze sprzężenie zwrotnym



# Cele regulacji automatycznej

---

Zaprojektowanie systemów, które:

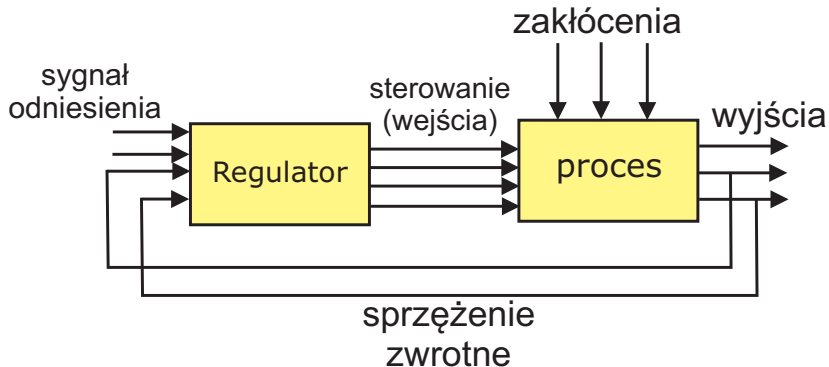
- utrzymują założone wymagania jakościowe
- minimalizują wpływ zakłóceń lub
- zmian w regulowanym układzie lub jego otoczeniu

Podstawowe sposoby regulacji

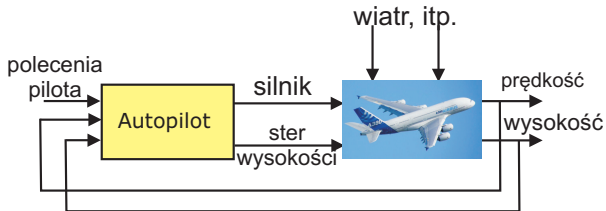
- sprzężenie zwrotne
- zmiana zachowania układu poprzez elementy wykonawcze



# Elementy układu regulacji



## Przykład: Autopilot samolotu

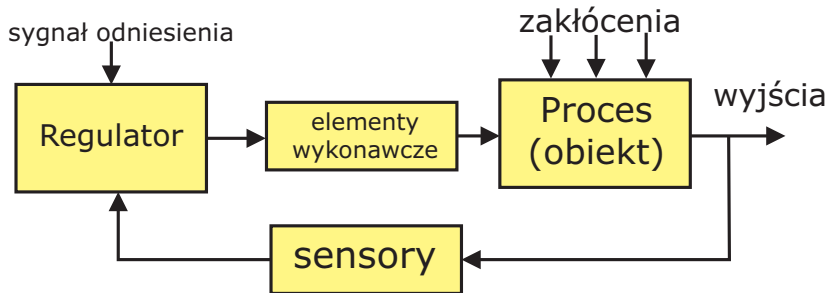


Właściwości:

- + mniejsze obciążenie pilota
- + poprawa komfortu pasażerów
- + mniejsze zużycie paliwa



## Elementy układu regulacji







## Zastosowania układów regulacji

---

Układy regulacji, choć często niewidoczne, to są jednak ważną częścią większości współczesnych systemów i procesów (od maszyny parowej po stacje kosmiczne):

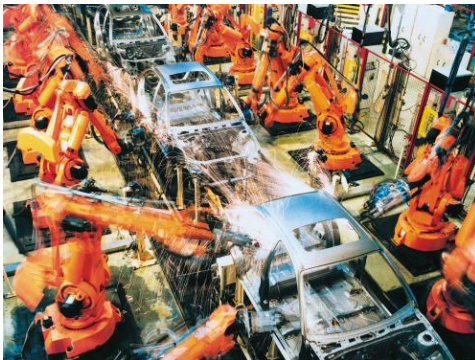
- elektronika powszechnego użytku, np. DVD
- procesy przemysłowe, robotyka
- komputery, sieci komputerowe, systemy łączności
- systemy transportowe: samochody, samoloty, statki kosmiczne

### Ważne !

Sprężenie zwrotne jest również podstawowym mechanizmem żywych organizmów

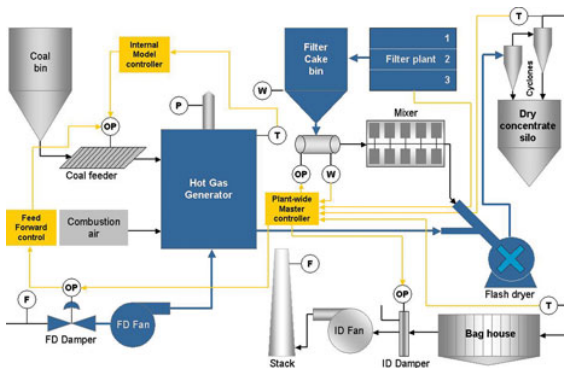
# Robotyka

---



- Sterowanie manipulatorami robotycznymi
- Sterowanie robotami mobilnymi

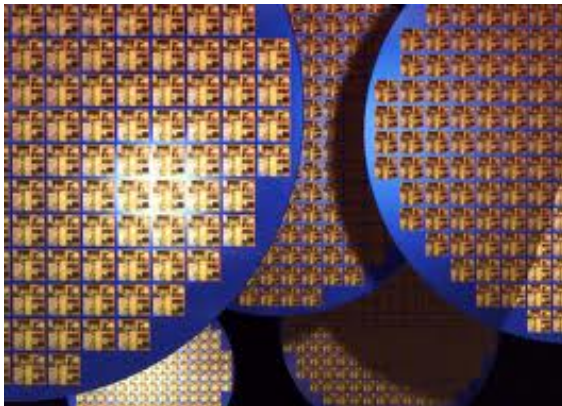
# Sterowanie procesami przemysłowymi



- Sterowanie procesów wsadowych
- Statystyczne sterowanie procesami przemysłowymi (SPC)

# Produkcja przemysłowa

---



- masowe wytwarzanie układów półprzewodnikowych

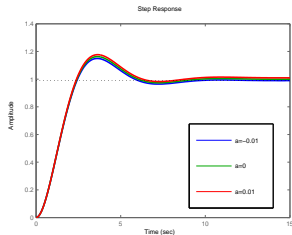
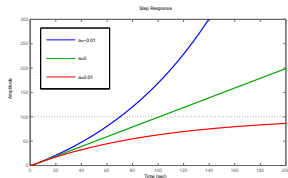
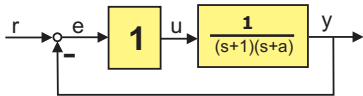
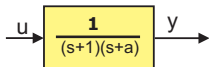
# Kontrola ruchu i transport



- Sterowanie ruchem pojazdów
- Systemy wspomagania kierowcy
- Autonomiczne pojazdy

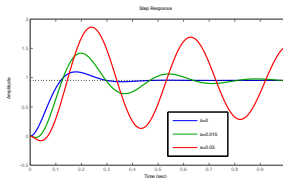
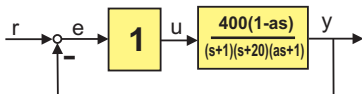
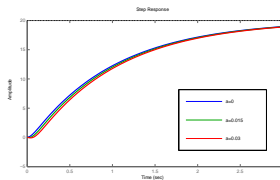
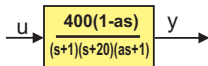


# Sprężenie zwrotne często pomaga ...





... ale może również zaszkodzić





# Kluczowe składniki techniki regulacji automatycznej

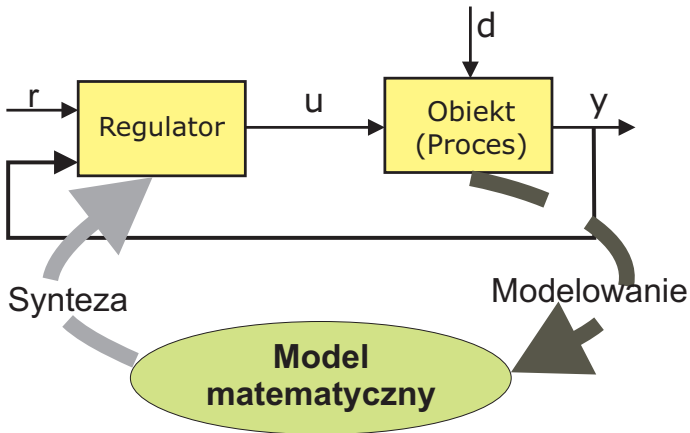
---

- Zrozumienie dynamiki i metod analizy złożonych systemów
- Zastosowanie właściwych metod projektowania regulatorów
- Oparcie na metodach matematycznych i zrozumieniu fizyki regulowanych procesów
- Podstawą będzie podejście oparte na modelu procesu (ang. *model-based approach*)





# Procedura projektowania regulatorów





## Podstawowe kroki

---

- Modelowanie procesu  
(na podstawie fizycznych własności lub identyfikacji)
- Analiza własności modelu  
(stabilność, odpowiedź modelu)
- Projektowanie regulatora aby osiągnąć założone wymagania jakościowe regulacji  
(w dziedzinie częstotliwości lub czasu)
- Implementacja regulatora  
(przy pomocy komputera lub PLC)



# Modelowanie dynamiki procesu

---

3 alternatywne podejścia:

1. Dziedzina czasu - równania różniczkowe
2. Transformata Laplace'a (transmitancja, dziedzina  $s$ )
3. Reprezentacja w przestrzeni stanów

Podejścia 2 i 3 stanowią dwa podstawowe podejścia do analizowania i projektowania układów regulacji.



## Liczby zespolone

---

Liczbą zespoloną nazywamy parę uporządkowaną liczb rzeczywistych  $(a, b)$ . Często taką parę zapisuje się w postaci sumy

$$z = a + jb, \quad j = \sqrt{-1}$$

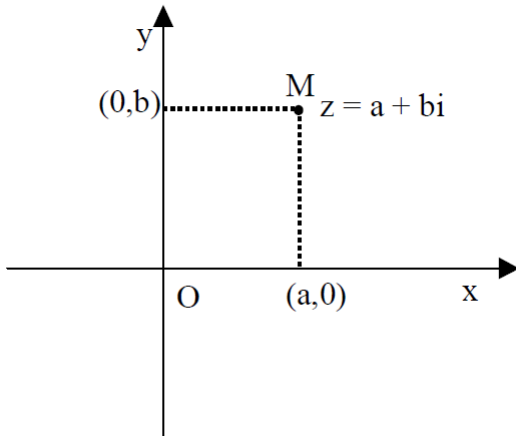
Tą postać liczby zespolonej nazywamy postacią kanoniczną. Liczbę  $a$  nazywamy częścią rzeczywistą, zaś liczbę  $b$  częścią urojoną liczby zespolonej  $z$ . Część rzeczywista oznaczamy  $Re(z)$ , a część urojoną symbolem  $Im(z)$ , mamy więc:

$$a = Re(z), \quad b = Im(z)$$



# Liczby zespolone

Liczbie zespolonej  $z = a + jb$  odpowiada punkt płaszczyzny o współrzędnych  $(a, b)$ .





# Liczby zespolone

---

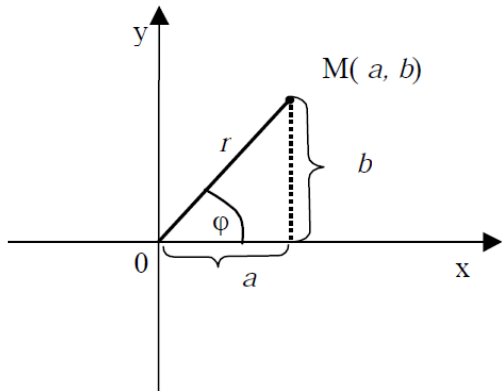
## Podstawowe własności

- $z_1 = z_2 \Leftrightarrow \operatorname{Re}(z_1) = \operatorname{Re}(z_2) \cup \operatorname{Im}(z_1) = \operatorname{Im}(z_2)$
- Liczbę zespoloną postaci  $a - jb$  nazywamy **liczbą sprzężoną** do liczby  $z = a + jb$  i oznaczamy jako  $\bar{z}$ . Liczbie tej odpowiada na płaszczyźnie punkt, który jest położony symetrycznie do punktu  $(a, b)$  względem osi OX.
- Liczby zespolone postaci  $a + j0$  zapisujemy jako  $a$  - liczby rzeczywiste. Liczdom  $a = a + j0$  odpowiadają punkty na płaszczyźnie o rzędnej równej zero, tzn. punkty osi odciętych (osi OX). Dlatego oś odciętych nazywamy **osią rzeczywistą**.
- Jeżeli część rzeczywista liczby zespolonej jest równa zero, to liczba ma postać  $jb$  i nazywamy ją **liczbą urojoną**. Liczdom urojonym  $jb = 0 + jb$  odpowiadają punkty o odciętej równej zero, tzn. punkty osi rzędnych (osi OY). Dlatego oś rzędnych nazywamy **osią urojoną**.



# Liczby zespolone

## Postać wykładnicza





# Liczby zespolone

---

## Postać wykładnicza

Liczba  $z = a + jb$  można określić współrzędnymi biegunowymi - podając odległość  $r$  punktu  $M(a, b)$  od początku układu współrzędnych oraz kąt  $\varphi$  jaki tworzy wektor  $OM$  z dodatnim kierunkiem osi  $OX$ .

$$a = r \cos(\varphi), \quad b = r \sin(\varphi), \quad r = \sqrt{a^2 + b^2} = |z|$$





# Liczby zespolone

---

Zapis w postaci wykładniczej

$$z = re^{j\varphi} = r(\cos(\varphi) + j\sin(\varphi))$$

czyli  $e^{j\varphi} = \cos(\varphi) + j\sin(\varphi)$ . Własności:

$$e^{j\varphi_1} e^{j\varphi_2} = e^{j(\varphi_1 + \varphi_2)}$$

$$e^{j\varphi_1} / e^{j\varphi_2} = e^{j(\varphi_1 - \varphi_2)}$$

$$(e^{j\varphi_1})^k = e^{j\varphi_1 k}$$

$$|e^{j\varphi_1}| = 1$$



## Liczby zespolone

---

Postać trygonometryczna liczby zespolonej

$$z = r(\cos(\varphi) + j\sin(\varphi))$$

Argumentem liczby  $z$  nazywamy taką liczbę  $\varphi$  dla której

$$\sin(\varphi) = \frac{b}{r}, \cos(\varphi) = \frac{a}{r}$$

i argument oznaczamy jako

$$\text{Arg}(z) = \{\arg(z) + 2k\pi : k \in \mathbb{Z}\}$$

Ważne (dla liczb zespolonych  $z_1$  i  $z_2$ )

$$\text{Arg}(z_1 z_2) = \text{Arg}(z_1) + \text{Arg}(z_2), \text{Arg}(z_1/z_2) = \text{Arg}(z_1) - \text{Arg}(z_2)$$



## Liczby zespolone

---

Dla liczb zespolonych  $z_1$  i  $z_2$  postaci

$$z_1 = r_1(\cos(\varphi_1) + j \sin(\varphi_1)), \quad z_2 = r_2(\cos(\varphi_2) + j \sin(\varphi_2))$$

mnożenie wykonujemy tak

$$z_1 z_2 = r_1 r_2 (\cos(\varphi_1 + \varphi_2) + j \sin(\varphi_1 + \varphi_2))$$

a dzielenie tak

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{r_1}{r_2} (\cos(\varphi_1 - \varphi_2) + j \sin(\varphi_1 - \varphi_2))$$

potęgowanie

$$z_1^n = r_1^n (\cos(n\varphi_1) + j \sin(n\varphi_1))$$

i pierwiastkowanie

$$\sqrt[n]{z_1} = \sqrt[n]{r_1} \left( \cos\left(\frac{\varphi_1 + 2k\pi}{n}\right) + j \sin\left(\frac{\varphi_1 + 2k\pi}{n}\right) \right), \quad k \in \{0, 1, \dots, n-1\}$$