

**Môn học**

# **LÝ THUYẾT ĐIỀU KHIỂN NÂNG CAO**

**Giảng viên: PGS. TS. Huỳnh Thái Hoàng**

**Bộ môn Điều Khiển Tự Động**

**Khoa Điện – Điện Tử**

**Đại học Bách Khoa TP.HCM**

**Email: [hthoang@hcmut.edu.vn](mailto:hthoang@hcmut.edu.vn)**

**Homepage: <http://www4.hcmut.edu.vn/~hthoang/>**



## Nội dung môn học

- ★ Chương 1: Giới thiệu
- ★ Chương 2: Điều khiển phi tuyến
- ★ Chương 3: Điều khiển tối ưu
- ★ Chương 4: Điều khiển thích nghi
- ★ Chương 5: Điều khiển bền vững
- ★ Chương 6: Một số ví dụ thiết kế hệ thống ĐK



## Tài liệu tham khảo

- ★ **Giáo trình:** Lý thuyết điều khiển hiện đại – Nguyễn Thị Phương Hà, NXB Đại học Quốc Gia TP HCM
- ★ **Bài giảng:** Lý thuyết điều khiển nâng cao – Huỳnh Thái Hoàng, <http://www4.hcmut.edu.vn/~hthoang/ltdknc/>
- ★ **Bài tập:** BKel

### ★ Tham khảo:

- [1] Applied nonlinear control, Jean-Jacques E. Slotine & Weiping Li, Prentice-Hall International Editions, Inc. 1991.
- [2] Optimal Control, Frank L. Lewis, Vassilis L. Symos, A Wiley-Interscience Publication , 1995
- [3] Adaptive control , Karl Johan Astrom & Bjorn Wittnmark , Addison-Wesley Publishing Company, second edition 2000.
- [4] Robust and optimal control, Kemin Zhou with John C. Doyle and Keith Glover , Prentice Hall, Upper Saddle River , 1996.



## Đánh giá môn học

- ★ Kiểm tra (50%), trong đó:
  - ▲ Bài tập: 30% (bài tập trên lớp + bài tập về nhà)
  - ▲ Kiểm tra giữa kỳ: 20% (thi viết)
- ★ Thi cuối kỳ: 50% (thi viết)

**Chú ý:** Sinh viên không được sử dụng tài liệu in và photocopy trong phòng thi.

# Chương 1

## GIỚI THIỆU

- ★ Từ giữa thế kỷ 19 trở về trước: HTĐK được thiết kế dựa vào trực giác, không có cơ sở toán học.



## Điều khiển kinh điển (trước 1960)

- ★ Từ giữa thế kỷ 19 đến những năm 1930: nền móng toán học lý thuyết điều khiển ra đời
  - ▲ Lyapunov (1892)
  - ▲ Routh-Hurwitz (1895)
- ★ Từ thập niên 1930 đến 1940: lý thuyết điều khiển kinh điển phát triển mạnh:
  - ▲ Đặc tính tần số, biểu đồ Bode
  - ▲ Biểu đồ Nyquist, Nichols,
  - ▲ Quỹ đạo nghiệm số



## Đặc điểm của điều khiển kinh điển

- ★ Hệ thống SISO
- ★ Đối tượng tuyến tính (hoặc đối tượng phi tuyến làm việc quanh điểm tĩnh)
- ★ Thiết kế trong miền tần số
- ★ Sử dụng biểu đồ
- ★ Thiết kế nhằm đạt được sự cân bằng:
  - ✧ Chất lượng và độ bền vững
  - ✧ Ảnh hưởng của các yếu tố không chắc chắn
- ★ Bộ điều khiển PID

- ★ Chất lượng điều khiển có một số hạn chế:
  - ↗ Không tối ưu
  - ↗ Chất lượng điều khiển giảm nếu đối tượng phi tuyến làm việc trong phạm vi rộng
  - ↗ Chất lượng điều khiển không đảm bảo khi tham số của đối tượng thay đổi
  - ↗ Không đảm bảo đạt được chất lượng thiết kế nếu mô hình của đối tượng có yếu tố không chắc chắn.
- ★ Lý thuyết điều khiển kinh điển rất khó áp dụng trong trường hợp:
  - ↗ Hệ MIMO
  - ↗ Hệ phi tuyến
  - ↗ Chất lượng trong miền thời gian

## ★ Cần trục, tay máy



## ★ Lái tàu



## ★ Điều khiển máy bay



## ★ Điều khiển quá trình





## Điều khiển hiện đại (1960 – nay)

- ★ Điều khiển phi tuyến
- ★ Điều khiển tối ưu
- ★ Điều khiển thích nghi
- ★ Điều khiển bền vững

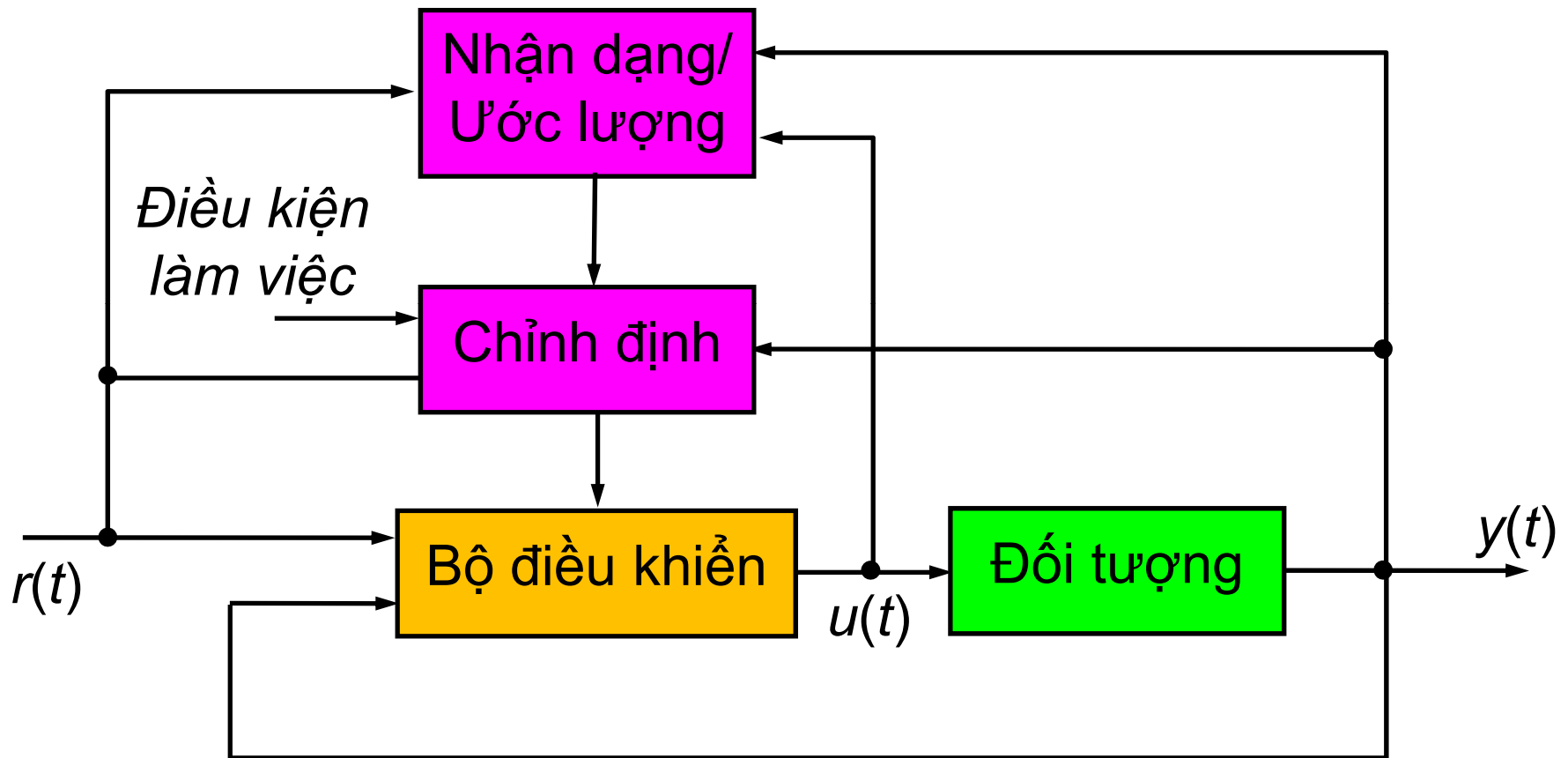
- ★ Cơ sở toán học của LTĐK phi tuyến đã ra đời từ thế kỷ 19, từ sau 1960 điều khiển phi tuyến phát triển mạnh.
- ★ Các phương pháp phân tích hệ thống điều khiển phi tuyến
  - ▲ Phương pháp hàm mô tả
  - ▲ Phương pháp mặt phẳng pha
  - ▲ Phân tích ổn định Lyapunov
  - ▲ Tiêu chuẩn Popov
  - ▲ Định lý độ lợi bé
  - ▲ Phân tích thụ động
- ★ Các phương pháp thiết kế hệ thống điều khiển phi tuyến
  - ▲ Hồi tiếp tuyến tính hóa
  - ▲ Điều khiển trượt
  - ▲ Phương pháp cuốn chiếu,...



- ★ Là phương pháp điều khiển trong đó bộ điều khiển được thiết kế sao cho tối thiểu một hàm chỉ tiêu chất lượng
- ★ Những năm đầu tiên:
  - ▲ Wiener (1930's – 1950's): lọc, dự báo
  - ▲ Kolmogorov (1940's): quá trình ngẫu nhiên
  - ▲ Qui hoạch tuyến tính và phi tuyến (1940's)
- ★ Điều khiển tối ưu:
  - ▲ Qui hoạch động Bellman (1950's)
  - ▲ Nguyên lý cực đại Pontryagin (1950's)
  - ▲ Điều khiển tối ưu tuyến tính (cuối 1950's – 1960's)
    - Lọc Kalman
    - Bài toán điều chỉnh toàn phương tuyến tính (LQR)
    - Điều khiển tối ưu ngẫu nhiên (LQG)

- ★ Là phương pháp điều khiển trong đó các thông số của bộ điều khiển được điều chỉnh tự động khi điều kiện làm việc thay đổi nhằm đạt được chất lượng tối ưu.
- ★ Những năm 1950: HTĐK theo mô hình tham chiếu
- ★ Cuối thập niên 1960: tiến bộ của lý thuyết điều khiển đóng góp vào sự phát triển của lý thuyết điều khiển thích nghi (mô tả không gian trạng thái, lý thuyết ổn định Lyapunov, qui hoạch động,...)
- ★ Thập niên 1970 và những năm đầu 1980: chứng minh tính ổn định của hệ thống thích nghi.
- ★ Cuối thập niên 1980 đến đầu những năm 1990: tính bền vững của bộ điều khiển thích nghi
- ★ Gần đây: phát triển các giải thuật điều khiển học

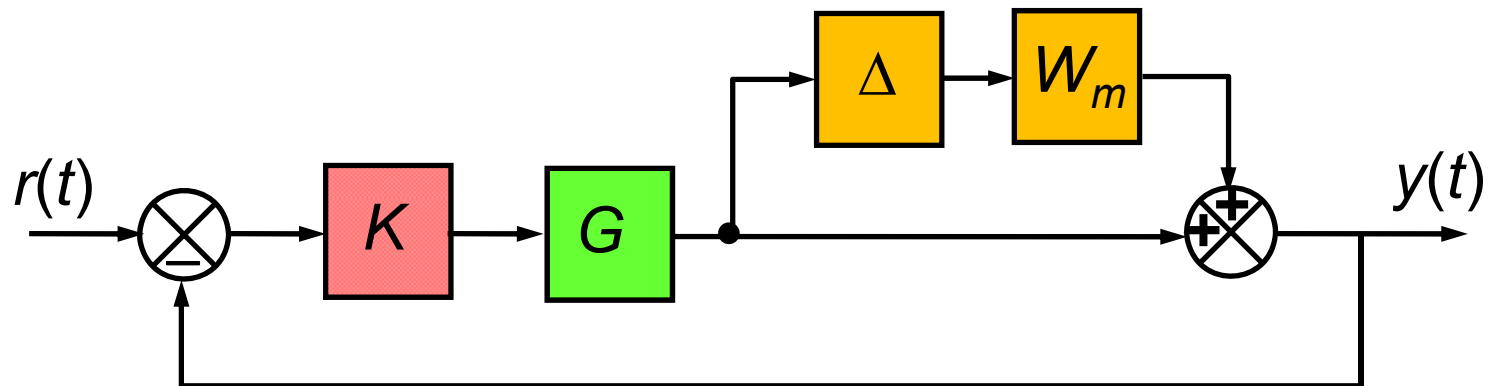
# Sơ đồ khối tổng quát hệ thống ĐK thích nghi



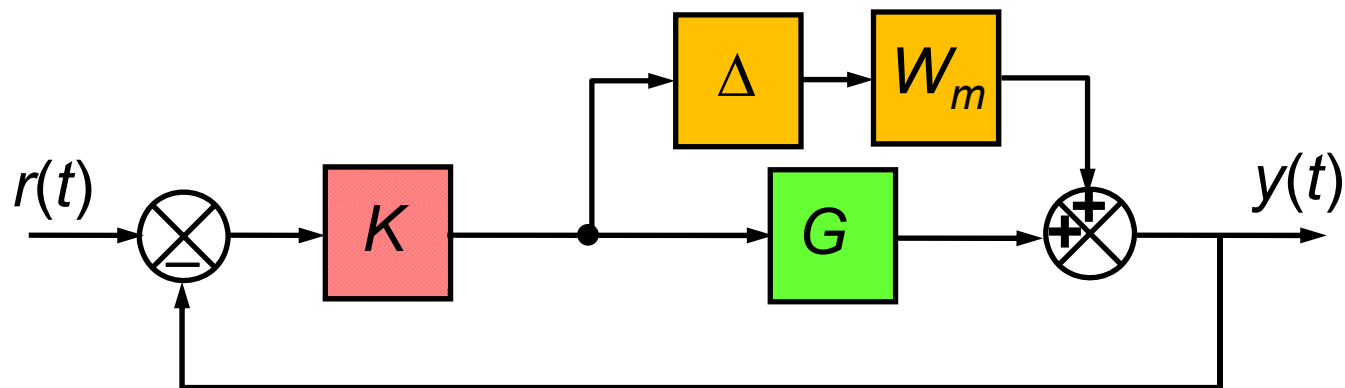
## Điều khiển bền vững

- ★ Là phương pháp điều khiển trong đó bộ điều khiển được thiết kế sao cho tính ổn định và chất lượng của hệ thống vẫn đảm bảo khi các yếu tố không chắc chắn và/hoặc nhiễu loạn nằm trong giới hạn định trước.
- ★ 1950's: Điều khiển tối ưu  $H_2$  (hay LQG)
- ★ 1981(Zames): bài toán điều khiển  $H_\infty$ , phương pháp chỉnh độ lợi vòng
- ★ 1984 (Doyle), 1987 (Francis): điều khiển tối ưu  $H_\infty$  trong không gian trạng thái

# Sơ đồ khối thiết kế hệ thống điều khiển bền vững

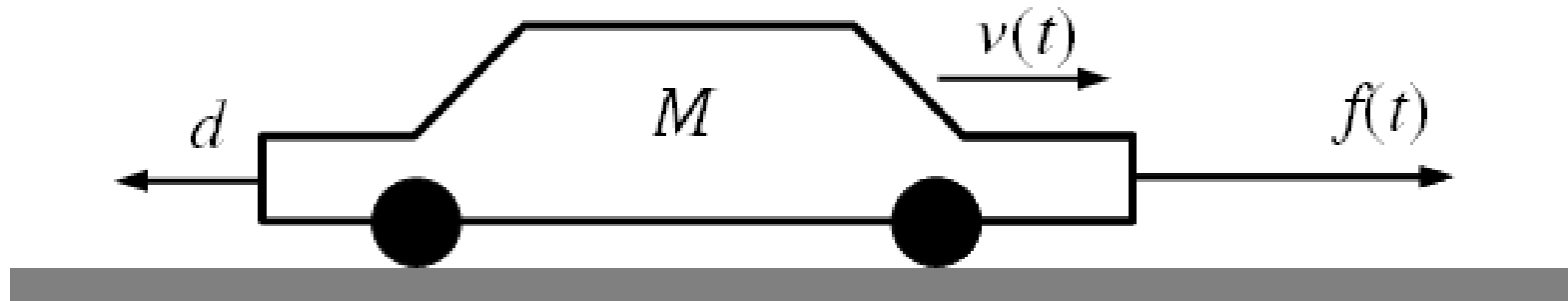


Điều khiển bền vững mô hình sai số nhân



Điều khiển bền vững mô hình sai số cộng

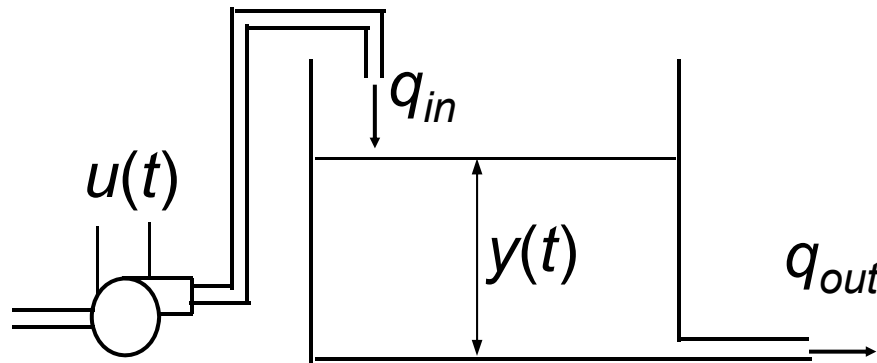
# Sử dụng phương pháp điều khiển nào?



$$M \frac{dv(t)}{dt} + Bv(t) = f(t)$$

- ★ Nên chọn phương pháp điều khiển nào?
  - ⤴ Khi mô hình chính xác, thông số của xe không đổi?
  - ⤴ Khi muốn tối thiểu năng lượng tiêu tốn?
  - ⤴ Khi thông số của xe thay đổi?
  - ⤴ Khi có sai số mô hình (mô hình không chắc chắn)?

# Sử dụng phương pháp điều khiển nào?

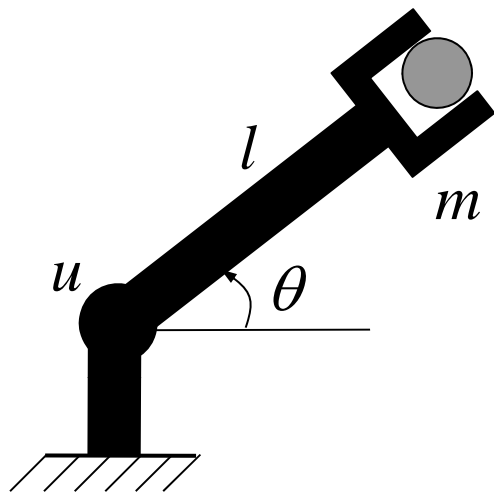


$a$ : tiết diện van xả  
 $A$ : tiết diện ngang của bồn  
 $g$ : gia tốc trọng trường  
 $k$ : hệ số công suất bơm  
 $C_D$ : hệ số xả

$$\dot{y}(t) = \frac{1}{A} \left( ku(t) - aC_D \sqrt{2gy(t)} \right)$$

- ★ Nên chọn phương pháp điều khiển nào?
  - ✦ Khi điều khiển ổn định hóa?
  - ✦ Khi ĐK bám theo tín hiệu đặt trong miền làm việc rộng?
  - ✦ Khi muốn tối thiểu năng lượng tiêu tốn?
  - ✦ Khi thông số của bồn thay đổi?
  - ✦ Khi có sai số mô hình (mô hình không chắc chắn)?

# Sử dụng phương pháp điều khiển nào?



$J$ : moment quán tính của cánh tay máy

$M$ : khối lượng của cánh tay máy

$m$ : khối lượng vật nặng

$l$ : chiều dài cánh tay máy

$l_c$ : khoảng cách từ trọng tâm tay máy đến trục quay

$B$ : hệ số ma sát nhớt

$g$ : gia tốc trọng trường

$u(t)$ : moment tác động lên trục quay của cánh tay máy

$\theta(t)$ : góc quay (vị trí) của cánh tay máy

$$\ddot{\theta}(t) = -\frac{B}{(J + ml^2)} \dot{\theta}(t) - \frac{(ml + Ml_c)}{(J + ml^2)} g \cos \theta + \frac{1}{(J + ml^2)} u(t)$$

★ Nên chọn phương pháp điều khiển nào?

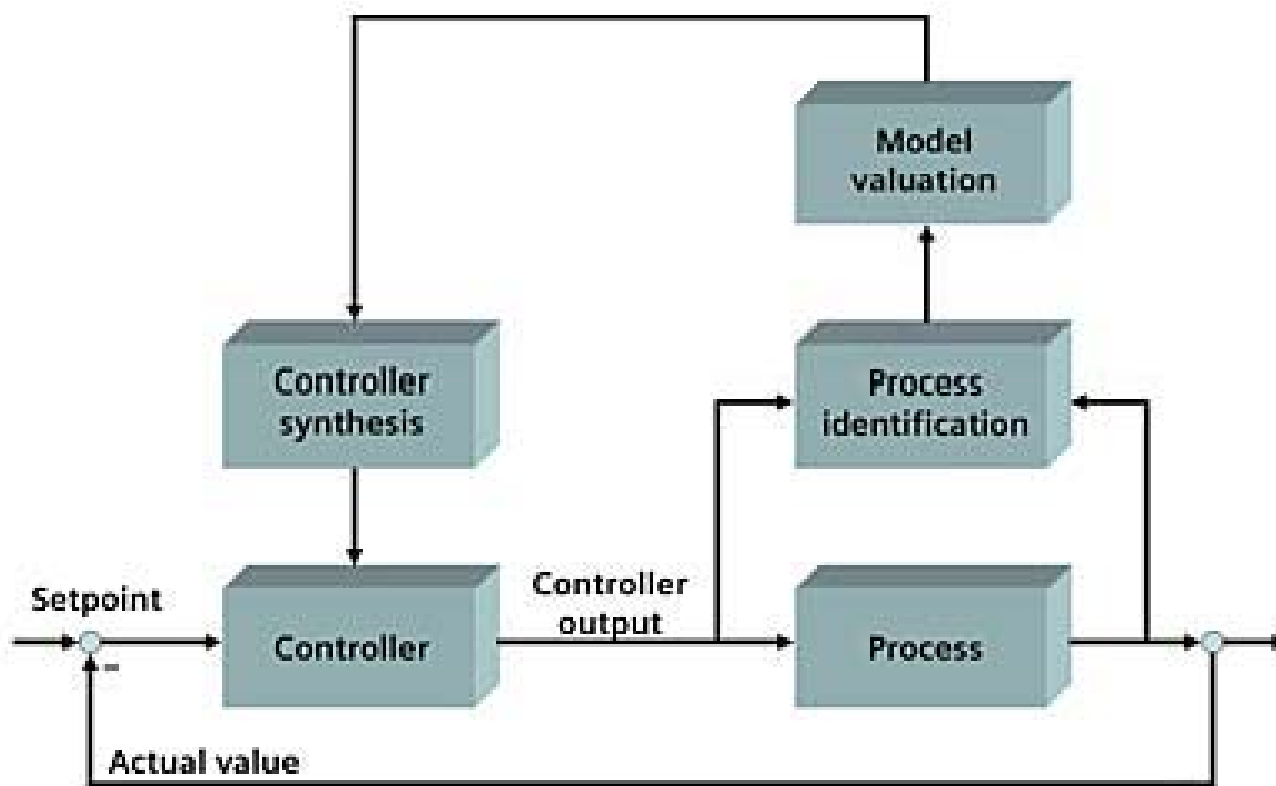
- ✦ Khi điều khiển tay máy trong phạm vi rộng?
- ✦ Khi khối lượng vật nặng thay đổi?
- ✦ Khi mô hình không chắc chắn?
- ✦ Khi muốn tối ưu năng lượng tiêu tốn và đáp ứng nhanh?



- ★ Đa số các hãng sản xuất thiết bị điều khiển (Siemens, Omron, Autonics, Schneider, Precision Digital,...) đều có dòng sản phẩm bộ điều khiển tự chỉnh (Auto-tuning controller), ứng dụng điều khiển nhiệt độ, tốc độ động cơ, điều khiển quá trình,...
- ★ Các phần mềm DCS (Distributed Control System) cao cấp có chức năng điều khiển thích nghi.
  - ▲ PCS7 (Siemens)
  - ▲ Delta V (Emerson)
- ★ Điều khiển tối ưu: tàu vũ trụ, quá trình chưng cất
- ★ Điều khiển bền vững: điều khiển quá trình

PCS 7 Takes You Beyond the Limits of...

Multi-range Adaptive Control



## DeltaV Adapt

Continuous Closed Loop Adaptive Control



*DeltaV Adapt provides continuous adaptive control for any DeltaV PID control loop.*

## Giới thiệu nội dung môn học

- ★ Nội dung của môn học đề cập các phương pháp thiết kế bộ điều khiển cho hệ thống động nhằm đảm bảo độ dự trữ ổn định và chất lượng tối ưu trong điều kiện ràng buộc của chế độ làm việc. Ứng dụng LTĐK phi tuyến, điều khiển tối ưu, điều khiển thích nghi và điều khiển bền vững trong thiết kế và thực hiện các bộ điều khiển cho hệ thống động.
- ★ Môn học chỉ trình bày những nội dung cơ bản nhất về:
  - ✦ Điều khiển phi tuyến
  - ✦ Điều khiển tối ưu
  - ✦ Điều khiển thích nghi
  - ✦ Điều khiển bền vững
- ★ Lý thuyết chuyên sâu hơn: chương trình Cao học

★ Các môn học trước:

- ✦ Toán cao cấp (Đại số tuyến tính, Phương trình vi phân, Phương pháp tính,...)
- ✦ Cơ sở điều khiển tự động

★ Các môn học chuyên sâu tiếp theo (cao học):

- ✦ Điều khiển phi tuyến
- ✦ Điều khiển đa biến
- ✦ Điều khiển tối ưu và bền vững
- ✦ Điều khiển thích nghi

Sau khi hoàn tất môn học, sinh viên có thể:

- ★ Phân tích và thiết kế HTĐK phi tuyến dùng phương pháp hàm mô tả, lý thuyết ổn định Lyapunov.
- ★ Thiết kế bộ ĐK hồi tiếp tuyến tính hóa và bộ điều khiển trượt.
- ★ Hiểu biết về các phương pháp điều khiển tối ưu;
- ★ Thiết kế hiện bộ điều khiển toàn phương tuyến tính
- ★ Hiểu biết khái niệm điều khiển thích nghi và các sơ đồ điều khiển thích nghi
- ★ Thiết kế bộ điều khiển thích nghi theo mô hình tham chiếu, bộ điều khiển tự chỉnh định, bộ điều khiển hoạch định độ lợi.
- ★ Hiểu biết khái niệm điều khiển bền vững
- ★ Thiết kế bộ điều khiển bền vững LQG,  $H_2$ ,  $H_\infty$ .