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
Homepage: http://www4.hcmut.edu.vn/~hthoang/

## Chương 4

# ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI

# Nội dung chương 4

- ★ Giới thiệu
- ★ Ước lượng thông số thích nghi
- ★ Điều khiển theo mô hình chuẩn
- ★ Hệ thích nghi theo mô hình chuẩn
- ★ Điều khiển tự chỉnh định
- ★ Điều khiển hoạch định độ lợi

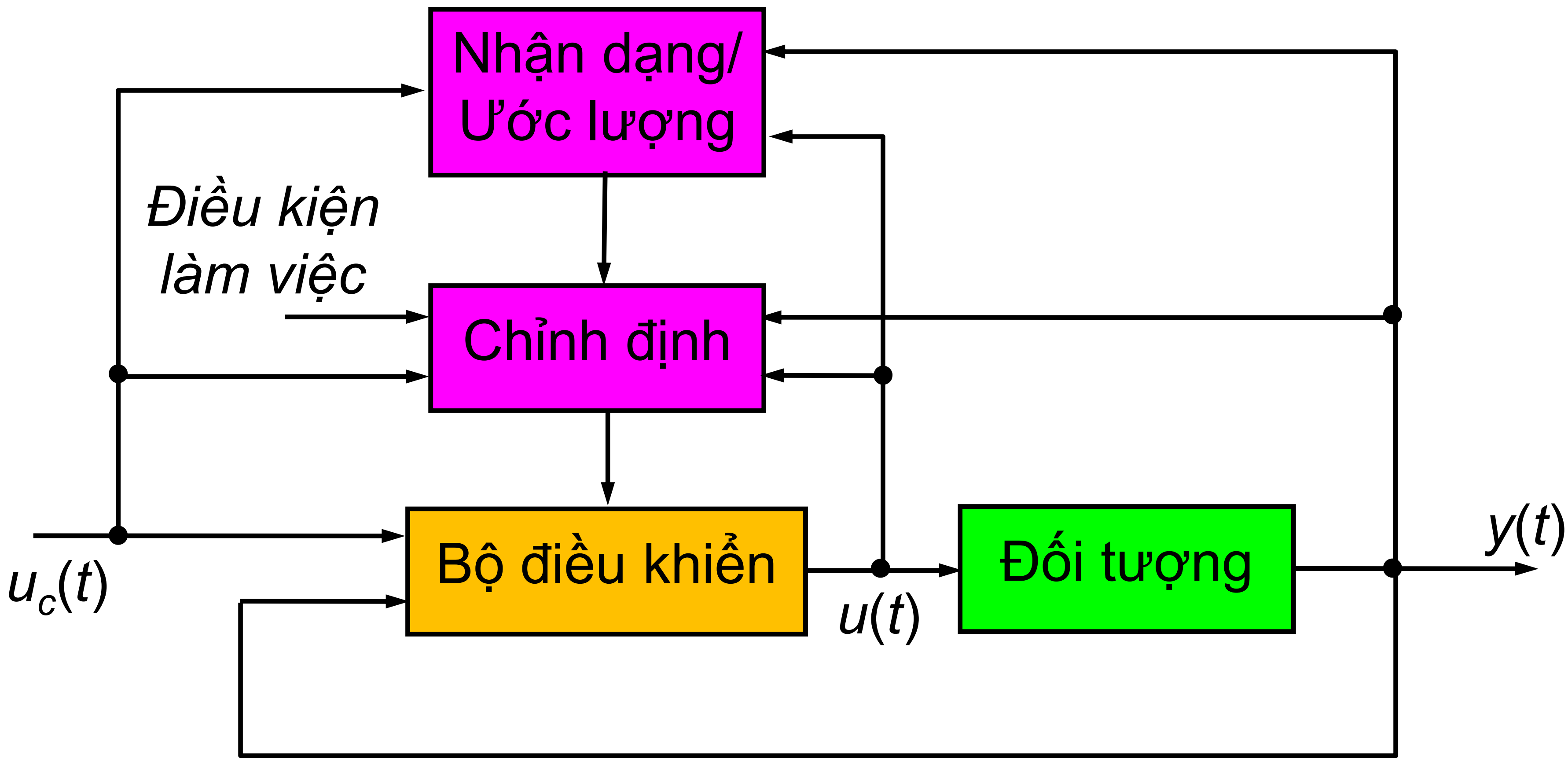
# GIỚI THIỆU

# Định nghĩa điều khiển thích nghi

- Hệ thống điều khiển thích nghi là hệ thống điều khiển trong đó thông số của bộ điều khiển thay đổi trong quá trình vận hành nhằm giữ vững chất lượng điều khiển của hệ thống có sự hiện diện của các yếu tố bất định hoặc biến đổi không biết trước

- Hệ thống điều khiển thích nghi có hai vòng hồi tiếp:
  - Vòng điều khiển hồi tiếp thông thường
  - Vòng hồi tiếp chỉnh định thông số

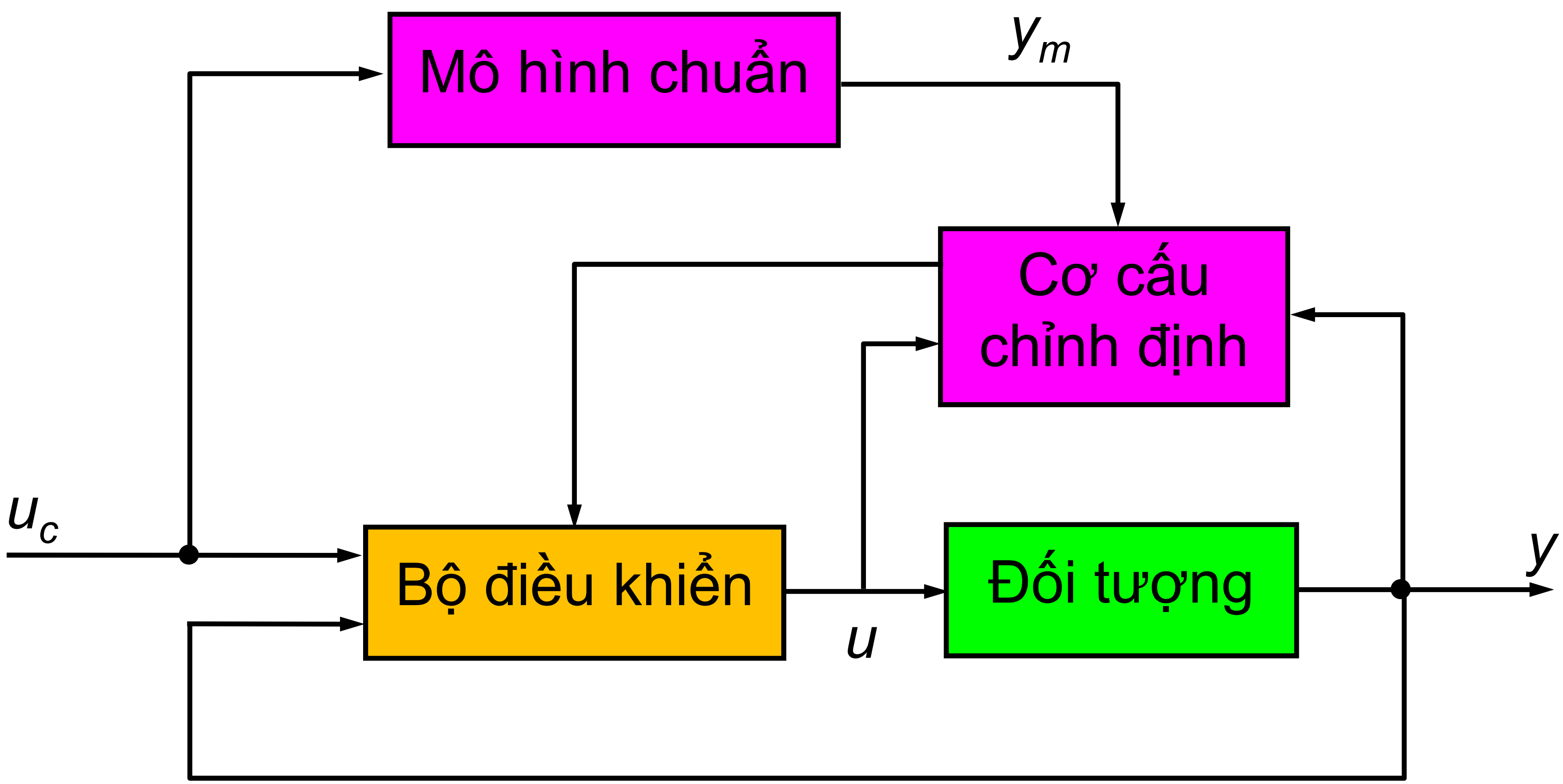
# Sơ đồ khối tổng quát hệ thống điều khiển thích nghi



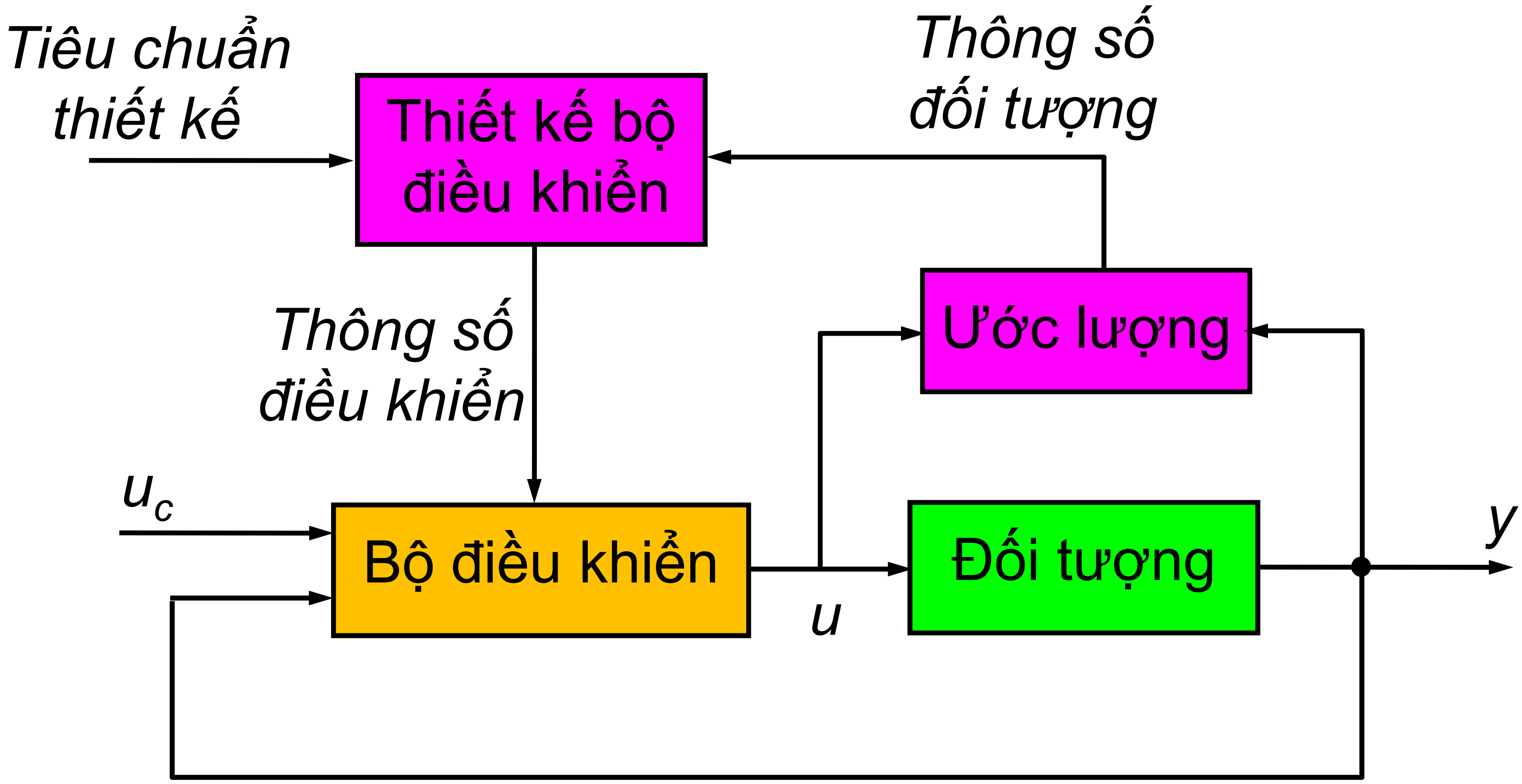
# Phân loại các sơ đồ điều khiển thích nghi

- ***Điều khiển thích nghi trực tiếp:*** thông số của bộ điều khiển được chỉnh định trực tiếp mà không cần phải nhận dạng đặc tính động học của đối tượng
- ***Điều khiển thích nghi gián tiếp:*** trước tiên phải ước lượng thông số của đối tượng, sau đó dựa vào thông tin này để tính toán thông số của bộ điều khiển.
- Các sơ đồ điều khiển thích nghi thông dụng:
  - Hệ thích nghi theo mô hình chuẩn (Model Reference Adaptive System – MRAS)
  - Hệ điều khiển tự chỉnh định (Self Tuning Regulator – STR)
  - Điều khiển hoạch định độ lợi (Gain Scheduling Control)

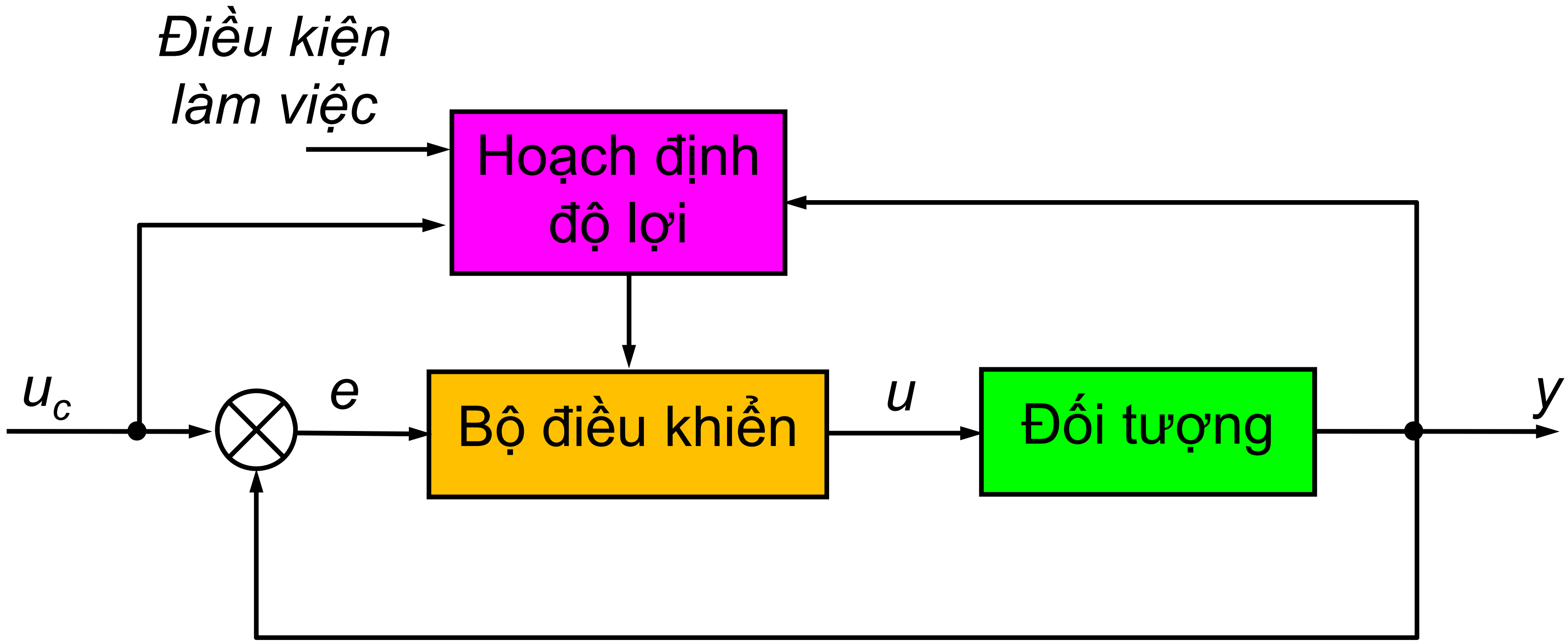
# Hệ thích nghi theo mô hình chuẩn



# Hệ điều khiển tự chỉnh



# Điều khiển hoạch định độ lợi



# Qui ước biểu diễn hệ liên tục

✶ Hệ tuyến tính liên tục mô tả bởi phương trình vi phân:

$$a_0\frac{d^n y(t)}{dt^n}+a_1\frac{d^{n-1}y(t)}{dt^{n-1}}+\ldots+a_{n-1}\frac{dy(t)}{dt}+a_n y(t)=$$
$$b_0\frac{d^m u(t)}{dt^n}+b_1\frac{d^{m-1}u(t)}{dt^{m-1}}+\ldots+b_{m-1}\frac{du(t)}{dt}+b_m u(t)$$

(Chú ý: trong công thức trên *t* là biến thời gian liên tục, *t* = 0→∞)

✶ Đặt *p* là toán tử vi phân: $pu(t)=\frac{d}{dt}u(t)$

⇒ Phương trình vi phân trên có thể viết lại dưới dạng:

$$a_0 p^n y(t)+a_1 p^{n-1}y(t)+\ldots+a_{n-1}py(t)+a_n y(t)=$$
$$b_0 p^m u(t)+b_1 p^{m-1}u(t)+\ldots+b_{m-1}pu(t)+b_m u(t)$$

⇔ $$A(p)y(t)=B(p)u(t)$$

Trong đó:

$$A(p)=a_0 p^n+a_1 p^{n-1}+\ldots+a_{n-1}p+a_n$$
$$B(p)=b_0 p^m+b_1 p^{m-1}+\ldots+b_{b-1}p+b_m$$

# Qui ước biểu diễn hệ rời rạc

- Hệ tuyến tính rời rạc mô tả bởi phương trình sai phân:

$$a_0 y(k+n) + a_1 y(k+n-1) + \ldots + a_{n-1} y(k+1) + a_n y(k) =$$
$$b_0 u(k+m) + b_1 u(k+m-1) + \ldots + b_{m-1} u(k+1) + b_m u(k)$$

(Chú ý: trong công thức trên *k* là chỉ số rời rạc, *k* = 0, 1, 2,…)

- Đặt *q* là toán tử làm sớm một chu kỳ lấy mẫu:

$$qu(k) = u(k+1)$$

$\Rightarrow$ Phương trình vi phân trên có thể viết lại dưới dạng:

$$a_0 q^n y(k) + a_1 q^{n-1} y(k) + \ldots + a_{n-1} q y(k) + a_n y(k) =$$
$$b_0 q^m u(k) + b_1 q^{m-1} u(k) + \ldots + b_{m-1} q u(k) + b_m u(k)$$

$\Leftrightarrow$ $A(q)y(k) = B(q)u(k)$

Trong đó: $A(q) = a_0 q^n + a_1 q^{n-1} + \ldots + a_{n-1} q + a_n$

$B(q) = b_0 q^m + b_1 q^{m-1} + \ldots + b_{b-1} q + b_m$

# Qui ước biểu diễn chung hệ liên tục và rời rạc

- Quan hệ vào ra trong miền thời gian:

$$Ay = Bu$$

Trong công thức trên:

- *A* và *B* là các đa thức theo biến *p* nếu hệ liên tục, theo biến *q* nếu hệ rời rạc
- *u* và *y* là các hàm theo thời gian *t* nếu hệ liên tục, theo chỉ số *k* nếu hệ rời rạc

- Hàm truyền:

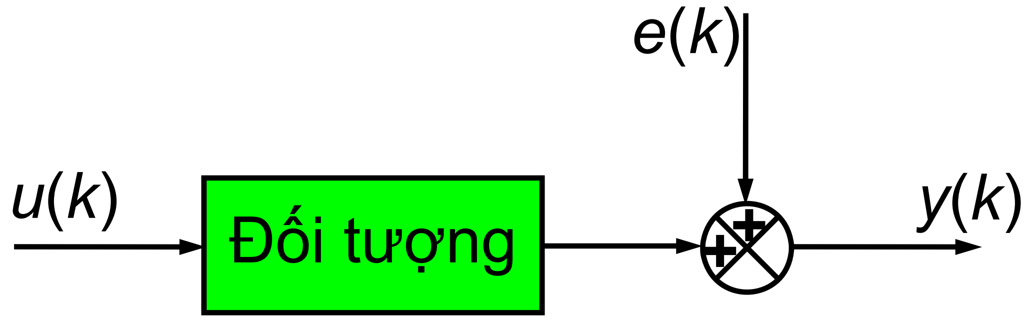
$$G = \frac{Y}{U} = \frac{B}{A}$$

Trong công thức trên, *G*, *U*, *Y*, *A* và *B* là các hàm:

- Theo biến *s* (biến Laplace) nếu hệ liên tục
- Theo biến *z* nếu hệ rời rạc

# ƯỚC LƯỢNG THÔNG SỐ

# Bài toán nhận dạng mô hình toán của đối tượng




- Cho đối tượng có đầu vào *u*(*k*), đầu ra *y*(*k*). Giả sử quan hệ giữa tín hiệu vào và tín hiệu ra có thể mô tả bằng phương trình sai phân:

$$y(k)+a_1y(k-1)+\ldots+a_ny(k-n)=b_1u(k-1)+\ldots+b_mu(k-m)+e(k)$$

- Giả sử ta thu thập được *N* mẫu dữ liệu:

$$Z^N=\{y(1),u(1),\ldots,y(N),u(N)\}$$

- Bài toán đặt ra là ước lượng thông số của đối tượng dựa vào dữ liệu vào ra thu thập được.

# Mô hình hồi qui tuyến tính

- Tín hiệu ra của hệ thống:

$$y(k) = -a_1 y(k-1) + \ldots - a_n y(k-n) + b_1 u(k-1) + \ldots + b_m u(k-m) + e(k)$$

- Đặt:
  - vector thông số

$$\boldsymbol{\theta} = \begin{bmatrix} a_1 & \ldots & a_n & b_1 & \ldots & b_m \end{bmatrix}^T$$

  - vector hồi qui

$$\boldsymbol{\varphi}(k) = \begin{bmatrix} -y(k-1) & \ldots & -y(k-n) & u(k-1) & \ldots & u(k-m) \end{bmatrix}^T$$

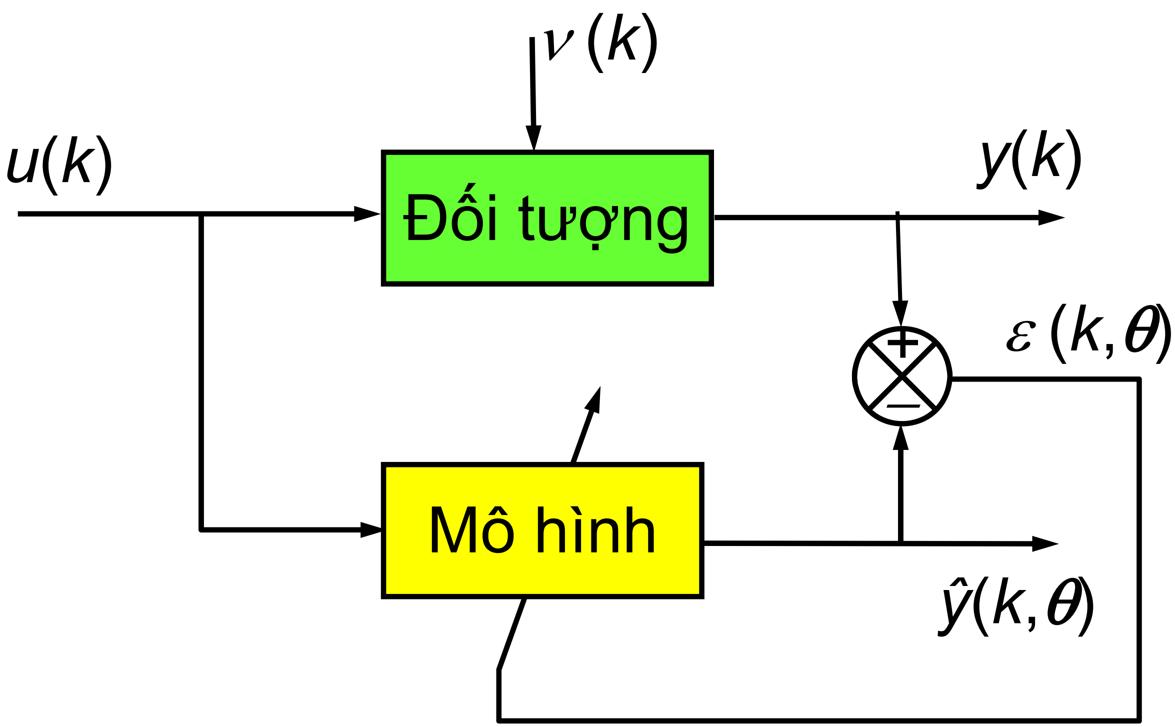
$\Rightarrow$ Quan hệ vào ra của đối tượng có thể viết lại dưới dạng:

$$y(k) = \boldsymbol{\varphi}^T(k)\boldsymbol{\theta} + e(k)$$

- Bỏ qua nhiễu $e(k)$, ta có bộ dự báo hồi qui tuyến tính:

$$\hat{y}(k, \boldsymbol{\theta}) = \boldsymbol{\varphi}^T(k)\boldsymbol{\theta}$$

# Bài toán ước lượng bình phương tối thiểu




- Chỉ tiêu ước lượng bình phương tối thiểu:

$$V_N = \frac{1}{2}\sum_{k=k_0}^{N}\varepsilon^2(k,\boldsymbol{\theta}) = \frac{1}{2}\sum_{k=k_0}^{N}[y(k) - \boldsymbol{\varphi}^T(k)\boldsymbol{\theta}]^2$$

# Lời giải bài toán ước lượng bình phương tối thiểu

- Do $V$ là hàm toàn phương nên giá trị $\hat{\boldsymbol{\theta}}$ làm $V$ đạt cực tiểu là nghiệm của phương trình:

$$\left.\frac{\partial V_N}{\partial \boldsymbol{\theta}}\right|_{\boldsymbol{\theta}=\hat{\boldsymbol{\theta}}} = 0$$

$$\Rightarrow \sum_{k=k_0}^{N} \boldsymbol{\varphi}(k)[y(k) - \boldsymbol{\varphi}^T(k)\hat{\boldsymbol{\theta}}] = 0$$

$$\Rightarrow \sum_{k=k_0}^{N} \boldsymbol{\varphi}(k)y(k) = \sum_{k=k_0}^{N} \boldsymbol{\varphi}(k)\boldsymbol{\varphi}^T(k)\hat{\boldsymbol{\theta}}$$

$$\Rightarrow \hat{\boldsymbol{\theta}} = \left[\sum_{k=k_0}^{N} \boldsymbol{\varphi}(k)\boldsymbol{\varphi}^T(k)\right]^{-1} \left[\sum_{k=k_0}^{N} \boldsymbol{\varphi}(k)y(k)\right]$$

# Ước lượng thông số - Thí dụ 1

- Cho hệ rời rạc có hàm truyền là: $G(z)=\dfrac{K}{z+a}$

  Trong đó *K* và *a* là các thông số chưa biết.

  Giả sử ta thực hiện thí nghiệm thu thập được các mẫu dữ liệu:

$$u(k)=\{0.3565 \quad 2.3867 \quad -0.8574 \quad 1.2853 \quad 0.1962\}$$
$$y(k)=\{0 \quad 1.0696 \quad 7.5878 \quad 0.4628 \quad 4.0411\}$$

  Hãy ước lượng thông số của đối tượng dựa vào dữ liệu trên.

- ***Giải:***

$$G(z)=\frac{Y(z)}{U(z)}=\frac{K}{z+a} \quad \Rightarrow \quad \frac{Y(z)}{U(z)}=\frac{Kz^{-1}}{1+az^{-1}}$$

$$\Rightarrow \quad (1+az^{-1})Y(z)=Kz^{-1}U(z)$$

$$\Rightarrow \quad y(k)=-ay(k-1)+Ku(k-1)$$

# Ước lượng thông số - Thí dụ 1

★ Đặt: $\boldsymbol{\varphi}(k) = \begin{bmatrix} -y(k-1) & u(k-1) \end{bmatrix}^T$

$$\boldsymbol{\theta} = \begin{bmatrix} a & K \end{bmatrix}^T$$

$$\Rightarrow \quad \hat{y}(k) = \boldsymbol{\varphi}^T(k)\boldsymbol{\theta}$$

★ Công thức ước lượng thông số bình phương tối thiểu:

$$\hat{\boldsymbol{\theta}} = \left[\sum_{k=1}^{5} \boldsymbol{\varphi}(k)\boldsymbol{\varphi}^T(k)\right]^{-1} \left[\sum_{k=1}^{5} \boldsymbol{\varphi}(k)y(k)\right]$$

★ Thay số liệu cụ thể, ta được:

$$\hat{\boldsymbol{\theta}} = \begin{bmatrix} -0.4 & 3 \end{bmatrix}^T \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} a = -0.4 \\ K = 3 \end{cases}$$

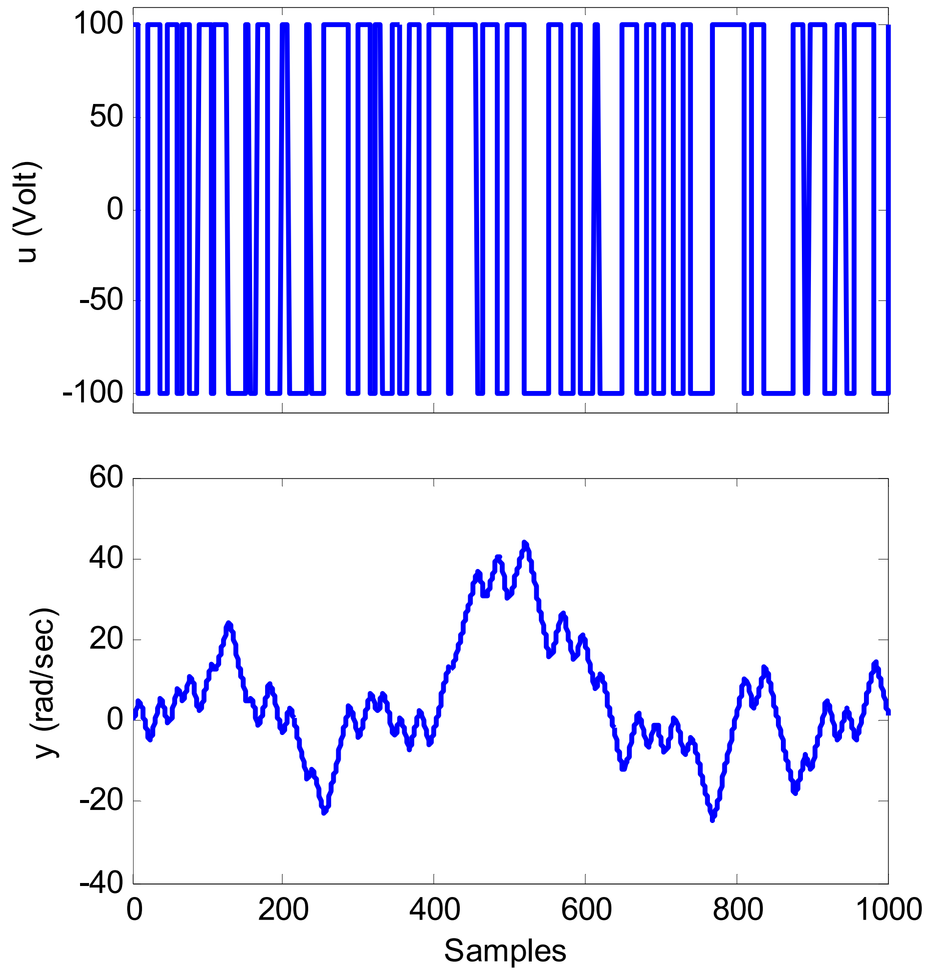
★ Kết luận: $G(z) = \dfrac{3}{z - 0.4}$

# Ước lượng thông số - Thí dụ 2

✶ Cho động cơ DC, tín hiệu vào *u*(*k*) là điện áp phần ứng, t/hiệu ra *y*(*k*) là tốc độ quay. Hàm truyền rời rạc của động cơ DC có dạng:

$$G(z) = \frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{b_1 z + b_2}{z^2 + a_1 z + a_2}$$

Trong đó $a_1$, $a_2$, $b_1$, $b_2$ các thông số chưa biết. Giả sử ta thực hiện thí nghiệm thu thập được các mẫu dữ liệu như đồ thị. Hãy viết công thức ước lượng thông số của hàm truyền từ dữ liệu.




Dữ liệu vào ra của động cơ DC thu thập được từ thí nghiệm

# Ước lượng thông số - Thí dụ 2

★ ***Giải:*** $G(z)=\dfrac{Y(z)}{U(z)}=\dfrac{b_1z+b_2}{z^2+a_1z+a_2}=\dfrac{b_1z^{-1}+b_2z^{-2}}{1+a_1z^{-1}+a_2z^{-2}}$

$$\Rightarrow\quad (1+a_1z^{-1}+a_2z^{-2})Y(z)=(b_1z^{-1}+b_2z^{-2})U(z)$$

$$\Rightarrow\quad y(k)=-a_1y(k-1)-a_2y(k-2)+b_1u(k-1)+b_2u(k-2)$$

★ Đặt: $\boldsymbol{\varphi}(k)=\begin{bmatrix}-y(k-1) & -y(k-2) & u(k-1) & u(k-2)\end{bmatrix}^T$

$$\boldsymbol{\theta}=\begin{bmatrix}a_1 & a_2 & b_1 & b_2\end{bmatrix}^T$$

$$\Rightarrow\quad \hat{y}(k)=\boldsymbol{\varphi}^T(k)\boldsymbol{\theta}$$

★ Công thức ước lượng thông số : $\hat{\boldsymbol{\theta}}=\left[\sum_{k=3}^{1000}\boldsymbol{\varphi}(k)\boldsymbol{\varphi}^T(k)\right]^{-1}\left[\sum_{k=3}^{1000}\boldsymbol{\varphi}(k)y(k)\right]$

★ Áp dụng cụ thể với tập dữ liệu đã thu thập, ta được:

$$\hat{\boldsymbol{\theta}}=\begin{bmatrix}-1.605 & 0.6065 & 0.00177 & 0.00150\end{bmatrix}^T$$

$$\Rightarrow\quad G(z)=\frac{0.00177z+0.00150}{z^2-1.605z+0.6065}$$

# Ước lượng bình phương tối thiểu có trọng số

- Chỉ tiêu ước lượng bình phương tối thiểu có trọng số:

$$V_N = \frac{1}{2}\sum_{k=k_0}^{N} \beta(N,k)\varepsilon^2(k,\boldsymbol{\theta}) = \frac{1}{2}\sum_{k=k_0}^{N} \beta(N,k)[y(k) - \boldsymbol{\varphi}^T(k)\boldsymbol{\theta}]^2$$

- Lời giải bài toán bình phương tối thiểu có trọng số:

$$\hat{\boldsymbol{\theta}} = \left[\sum_{k=k_0}^{N} \beta(N,k)\boldsymbol{\varphi}(k)\boldsymbol{\varphi}^T(k)\right]^{-1}\left[\sum_{k=k_0}^{N} \beta(N,k)\boldsymbol{\varphi}(k)y(k)\right]$$

# Ước lượng bình phương tối thiểu thời gian thực

- Giả sử đến thời điểm *k*, ta thu thập được *k* mẫu dữ liệu.
- Chỉ tiêu ước lượng bình phương tối thiểu có trọng số ở thời điểm *k* là:

$$V_k = \frac{1}{2}\sum_{l=1}^{k}\lambda^{k-l}\varepsilon^2(l,\boldsymbol{\theta}) = \frac{1}{2}\sum_{l=1}^{k}\lambda^{k-l}[y(l)-\boldsymbol{\varphi}^T(l)\boldsymbol{\theta}]^2$$

- Công thức ước lượng thông số tại thời điểm *k*:

$$\hat{\boldsymbol{\theta}}(k) = \left[\sum_{l=1}^{k}\lambda^{k-l}\boldsymbol{\varphi}(l)\boldsymbol{\varphi}^T(l)\right]^{-1}\left[\sum_{l=1}^{k}\lambda^{k-l}\boldsymbol{\varphi}(l)y(l)\right]$$

# Ước lượng bình phương tối thiểu thời gian thực

- Đặt $$\overline{R}(k) = \sum_{l=1}^{k} \lambda^{k-l} \boldsymbol{\varphi}(l) \boldsymbol{\varphi}^T(l)$$

$$f(k) = \sum_{l=1}^{k} \lambda^{k-l} \boldsymbol{\varphi}(l) y(l)$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{\hat{\boldsymbol{\theta}}(k) = \overline{R}^{-1}(k) f(k)}$$

- Công thức trên không thể áp dụng thời gian thực vì khi thời gian hệ thống hoạt động càng dài, số mẫu dữ liệu sẽ tăng lên, dẫn đến tăng thời gian tính toán và tràn bộ nhớ.

$\Rightarrow$ Cần công thức đệ qui không cần lưu trữ toàn bộ các mẫu dữ liệu và khối lượng tính toán không tăng lên theo thời gian.

- Thuật toán ước lượng đệ qui:

$$\hat{\boldsymbol{\theta}}(k) = \hat{\boldsymbol{\theta}}(k-1) + \overline{R}^{-1}(k)\varepsilon(k)$$
$$\varepsilon(k) = y(k) - \boldsymbol{\varphi}^T(k)\hat{\boldsymbol{\theta}}(k-1)$$
$$\overline{R}(k) = \lambda\overline{R}(k-1) + \boldsymbol{\varphi}(k)\boldsymbol{\varphi}^T(k)$$

**Chú ý:**

- $\lambda$ gọi là hệ số quên (forget factor).
- Thông thường $\lambda$ được chọn trong khoảng 0.98÷0.995.

# Chứng minh thuật toán ước lượng đệ qui

$$\hat{\theta}(k) = \bar{R}^{-1}(k) f(k)$$

$$\bar{R}(k) = \sum_{l=1}^{k} \lambda^{k-l} \boldsymbol{\varphi}(l) \boldsymbol{\varphi}^T(l) = \left[ \sum_{l=1}^{k-1} \lambda^{k-l} \boldsymbol{\varphi}(l) \boldsymbol{\varphi}^T(l) \right] + \boldsymbol{\varphi}(k) \boldsymbol{\varphi}^T(k)$$

$$= \left[ \lambda \sum_{l=1}^{k-1} \lambda^{k-1-l} \boldsymbol{\varphi}(l) \boldsymbol{\varphi}^T(l) \right] + \boldsymbol{\varphi}(k) \boldsymbol{\varphi}^T(k)$$

$$\bar{R}(k) = \lambda \bar{R}(k-1) + \boldsymbol{\varphi}(k) \boldsymbol{\varphi}^T(k)$$

$$f(k) = \sum_{l=1}^{k} \lambda^{k-l} \boldsymbol{\varphi}(l) y(l) = \left[ \sum_{l=1}^{k-1} \lambda^{k-l} \boldsymbol{\varphi}(l) y(l) \right] + \boldsymbol{\varphi}(k) y(k)$$

$$= \left[ \lambda \sum_{l=1}^{k-1} \lambda^{k-1-l} \boldsymbol{\varphi}(l) y(l) \right] + \boldsymbol{\varphi}(k) y(k)$$

$$f(k) = \lambda f(k-1) + \boldsymbol{\varphi}(k) y(k)$$

# Chứng minh thuật toán ước lượng đệ qui (tt)

$$\hat{\boldsymbol{\theta}}(k) = \overline{R}^{-1}(k) f(k)$$

$$= \overline{R}^{-1}(k)[\lambda f(k-1) + \boldsymbol{\varphi}(k) y(k)]$$

$$= \overline{R}^{-1}(k)[\lambda \overline{R}(k-1)\hat{\boldsymbol{\theta}}(k-1) + \boldsymbol{\varphi}(k) y(k)]$$

$$= \overline{R}^{-1}(k)\left\{[\overline{R}(k) - \boldsymbol{\varphi}(k)\boldsymbol{\varphi}^T(k)]\hat{\boldsymbol{\theta}}(k-1) + \boldsymbol{\varphi}(k) y(k)\right\}$$

$$= \hat{\boldsymbol{\theta}}(k-1) + \overline{R}^{-1}(k)\boldsymbol{\varphi}(k)[y(k) - \boldsymbol{\varphi}^T(k)\hat{\boldsymbol{\theta}}(k-1)]$$

# Thuật toán đệ qui không tính nghịch đảo ma trận

$$\hat{\boldsymbol{\theta}}(k) = \hat{\boldsymbol{\theta}}(k-1) + \overline{R}^{-1}(k)\boldsymbol{\varphi}(k)\varepsilon(k)$$

★ Đặt: $P(k) = \overline{R}^{-1}(k)$

$$\Rightarrow \quad P(k) = \frac{1}{\lambda}\left[P(k-1) - \frac{P(k-1)\boldsymbol{\varphi}(k)\boldsymbol{\varphi}^T(k)P(k-1)}{\lambda + \boldsymbol{\varphi}^T(k)P(k-1)\boldsymbol{\varphi}(k)}\right]$$

$$\Rightarrow \quad \overline{R}^{-1}(k)\boldsymbol{\varphi}(k) = \frac{P(k-1)\boldsymbol{\varphi}(k)}{\lambda + \boldsymbol{\varphi}^T(k)P(k-1)\boldsymbol{\varphi}(k)}$$

★ Thuật toán ước lượng đệ qui không tính nghịch đảo ma trận:

$$\hat{\boldsymbol{\theta}}(k) = \hat{\boldsymbol{\theta}}(k-1) + L(k)\varepsilon(k)$$

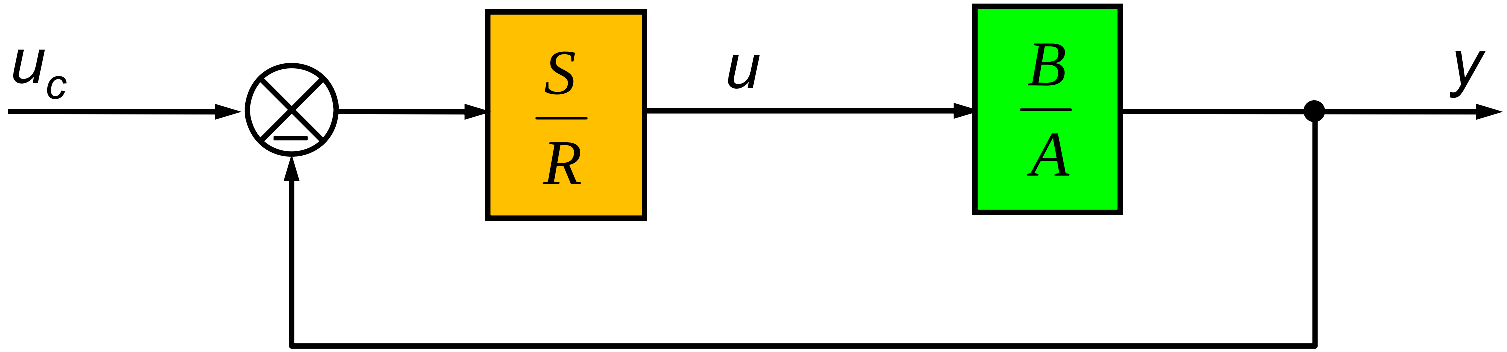
$$\varepsilon(k) = y(k) - \boldsymbol{\varphi}^T(k)\hat{\boldsymbol{\theta}}(k-1)$$

$$L(k) = \frac{P(k-1)\boldsymbol{\varphi}(k)}{\lambda + \boldsymbol{\varphi}^T(k)P(k-1)\boldsymbol{\varphi}(k)}$$

$$P(k) = \frac{1}{\lambda}\left[P(k-1) - \frac{P(k-1)\boldsymbol{\varphi}(k)\boldsymbol{\varphi}^T(k)P(k-1)}{\lambda + \boldsymbol{\varphi}^T(k)P(k-1)\boldsymbol{\varphi}(k)}\right]$$

# ĐIỀU KHIỂN THEO MÔ HÌNH CHUẨN

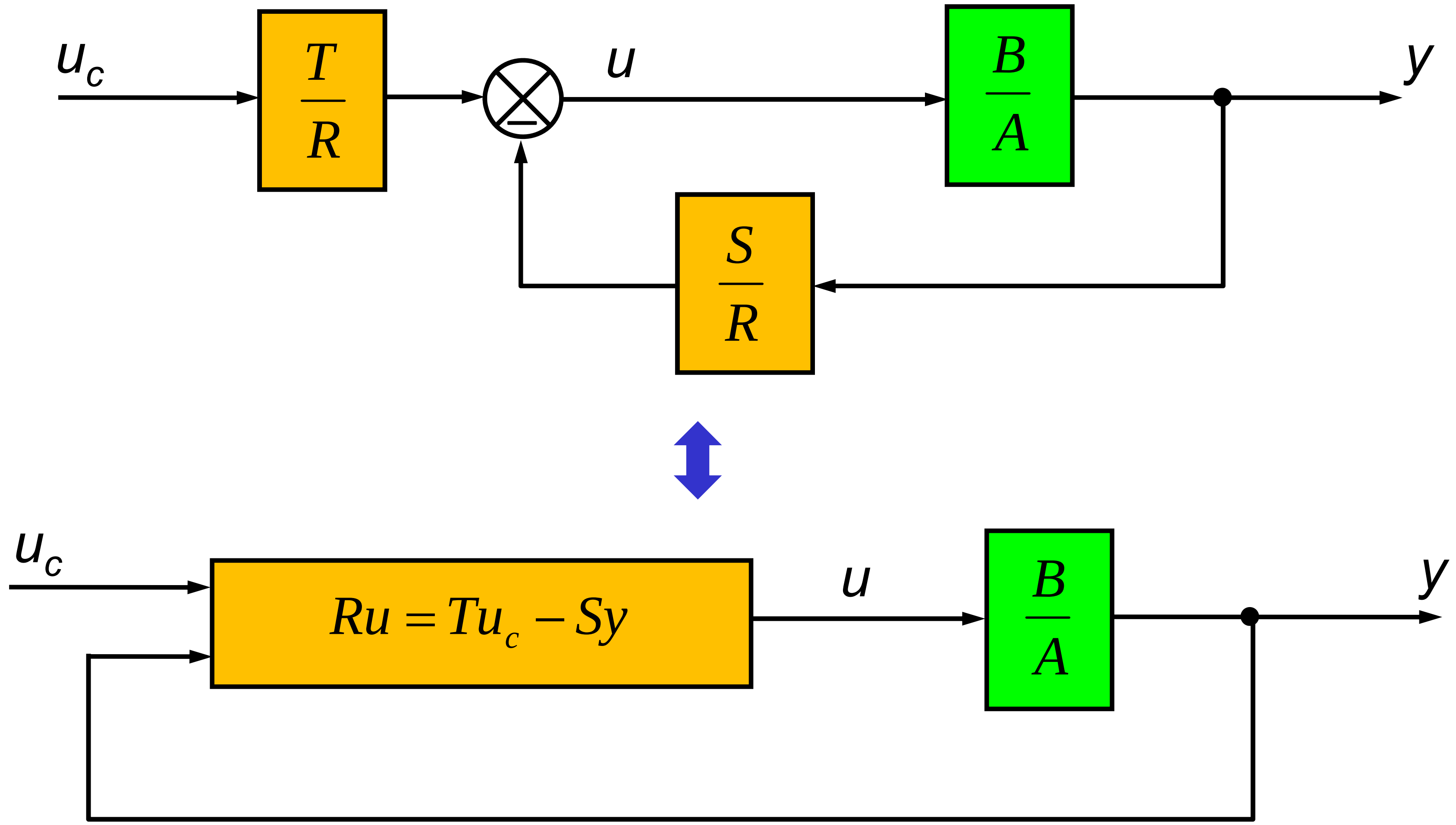
# Luật điều khiển tuyến tính nối tiếp




★ Luật điều khiển: $u = \frac{S}{R}(u_c - y) \quad \Leftrightarrow \quad \boxed{Ru = Su_c - Sy}$

Cấu trúc điều khiển tuyến tính quen thuộc ở trên có hạn chế là không đủ linh hoạt để có thể điều khiển hệ thống kín bám hoàn hảo theo mô hình chuẩn.

# Luật điều khiển tuyến tính tổng quát

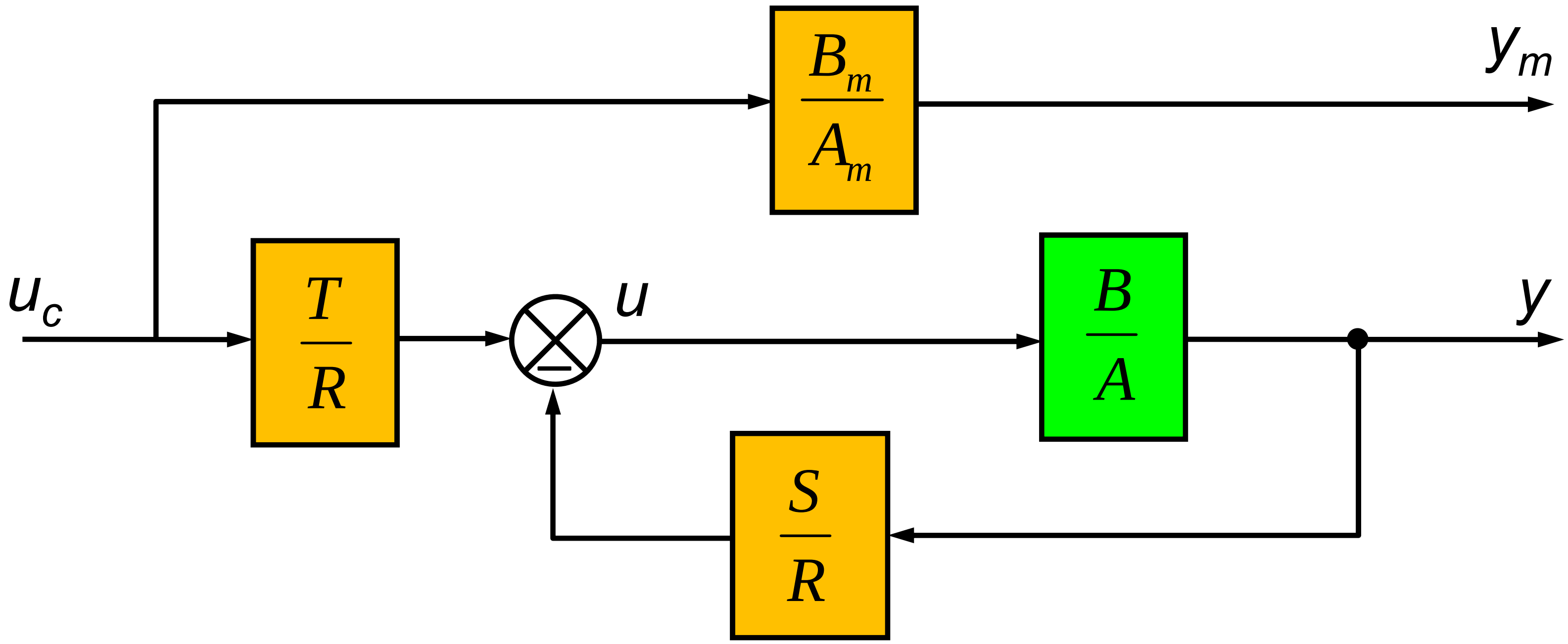



★ Luật điều khiển: $u = \frac{T}{R}u_c - \frac{S}{R}y \quad \Leftrightarrow \quad Ru = Tu_c - Sy$

# Hệ thống điều khiển theo mô hình chuẩn

- Đối tượng điều khiển: $y = \dfrac{B}{A}u$
- Luật điều khiển tuyến tính tổng quát: $Ru = Tu_c - Sy$
- Yêu cầu: thiết kế *R*, *T*, *S* để đáp ứng của hệ kín bám theo MH chuẩn:

$$y_m = \frac{B_m}{A_m}u_c$$



# Điều kiện thiết kế HTĐK theo mô hình chuẩn

- So sánh hàm truyền hệ kín với mô hình chuẩn:

$$y = \frac{BT}{AR + BS} u_c \qquad\qquad y_m = \frac{B_m}{A_m} u_c$$

- Để đạt được đáp ứng vòng kín mong muốn, cần có điều kiện:
  - PTĐT của hệ kín phải có các cực trùng với các cực của mô hình chuẩn, tức là $AR + BS$ phải chia hết cho $A_m$
  - Các zero nằm bên trái mặt phẳng phức của $B$ phải được triệt tiêu bởi các cực của hệ kín. Giả sử có thể phân tích $B = B^+B^-$ ($B^+$ monic gồm các zero nằm bên trái mp phức), cần có điều kiện $AR + BS$ phải chia hết cho $B^+$

$\Rightarrow$ $$AR + BS = A_0 A_m B^+ \quad \text{(Phương trình Diophantine)}$$

- Để có thể khử $B^+$, $R$ phải có dạng: $R = R_1 B^+$

$\Rightarrow$ $$AR_1B^+ + B^+B^-S = A_0A_mB^+$$

$\Rightarrow$ $$AR_1 + B^-S = A_0A_m$$

# Điều kiện thiết kế HTĐK theo mô hình chuẩn (tt)

- Với các điều kiện trên, hàm truyền hệ kín trở thành:

$$y = \frac{B^+ B^- T}{A_0 A_m B^+} u_c$$

- Rút gọn $B^+$ và so sánh với mô hình mẫu:

$$y = \frac{B^- T}{A_0 A_m} u_c \qquad\qquad y_m = \frac{B_m}{A_m} u_c$$

- Điều kiện để hàm truyền hệ kín đúng bằng mô hình mẫu là:

$$B_m = B^- B'_m$$
$$T = A_0 B'_m$$

- Điều kiện tồn tại lời giải bài toán ĐK theo mô hình chuẩn:

$$\text{bậc}(A_0) \geq 2\text{bậc}(A) - \text{bậc}(A_m) - \text{bậc}(B^+) - 1$$
$$\text{bậc}(A_m) - \text{bậc}(B_m) \geq \text{bậc}(A) - \text{bậc}(B)$$

# Phương trình Diophantine

- Dạng tổng quát phương trình Diophantine (hay còn gọi là phương trình Bezout)

$$AR + BS = A_m$$

- Phương trình Diophantine có vô số nghiệm
- Nếu $R_0$ và $S_0$ là nghiệm của phương trình Diophantine thì

$$R = R_0 + QB$$
$$S = S_0 - QA$$

cũng là nghiệm của pt. Diophantine, với $Q$ là đa thức bất kỳ

- Phương pháp đơn giản tìm nghiệm pt. Diophantine:
  - Chọn bậc của đa thức $R$ và $S$ phù hợp
  - Cân bằng các hệ số của phương trình Diophantine sẽ tìm được các hệ số của $R$ và $S$

# Trình tự thiết kế bộ điều khiển theo mô hình chuẩn

Đối tượng: $y = \dfrac{\boldsymbol{B}}{\boldsymbol{A}} u$ Mô hình chuẩn: $y_m = \dfrac{\boldsymbol{B}_m}{\boldsymbol{A}_m} u_c$

- ***Bước 1:*** Phân tích *B* dưới dạng: $B = B^+ B^-$
- ***Bước 2:*** Kiểm tra MH mẫu có thỏa mãn đ/kiện tồn tại lời giải:

$$B_m = B^- B'_m$$

$$\text{bậc}(A_m) - \text{bậc}(B_m) \geq \text{bậc}(A) - \text{bậc}(B)$$

- ***Bước 3:*** Chọn bậc của $A_0$ thỏa mãn điều kiện tồn tại lời giải:

$$\text{bậc}(A_0) \geq 2\text{bậc}(A) - \text{bậc}(A_m) - \text{bậc}(B^+) - 1$$

- ***Bước 4:*** Chọn bậc của *S* và $R_1$:

$$\text{bậc}(R_1) = \text{bậc}(A_0) + \text{bậc}(A_m) - \text{bậc}(A)$$

$$\text{bậc}(S) = \min\{[\text{bậc}(R_1) + \text{bậc}(B^+)], [\text{bậc}(A_0) + \text{bậc}(A_m) - \text{bậc}(B^-)]\}$$

- ***Bước 5:*** Tính *S* và $R_1$ bằng cách giải p/trình: $AR_1 + B^- S = A_0 A_m$
- ***Bước 6:*** Tính *R* và *T*: $R = R_1 B^+$ $T = A_0 B'_m$

# Chú ý

- Khi thiết kế bộ điều khiển theo mô hình chuẩn cho hệ liên tục:
  - Đa thức $B^+$ chứa các zero nằm bên trái mặt phẳng phức, hệ số có bậc cao nhất của $B^+$ bằng 1.
  - Cần chọn đa thức $A_0(p)$ và $R_1(p)$ có tất cả các nghiệm nằm bên trái mặt phẳng phức.

- Khi thiết kế bộ điều khiển theo mô hình chuẩn cho hệ rời rạc:
  - Đa thức $B^+$ chứa các zero nằm bên trong vòng tròn đơn vị, hệ số có bậc cao nhất của $B^+$ bằng 1.
  - Cần chọn đa thức $A_0(q)$ và $R_1(q)$ có tất cả các nghiệm nằm bên trong vòng tròn đơn vị.

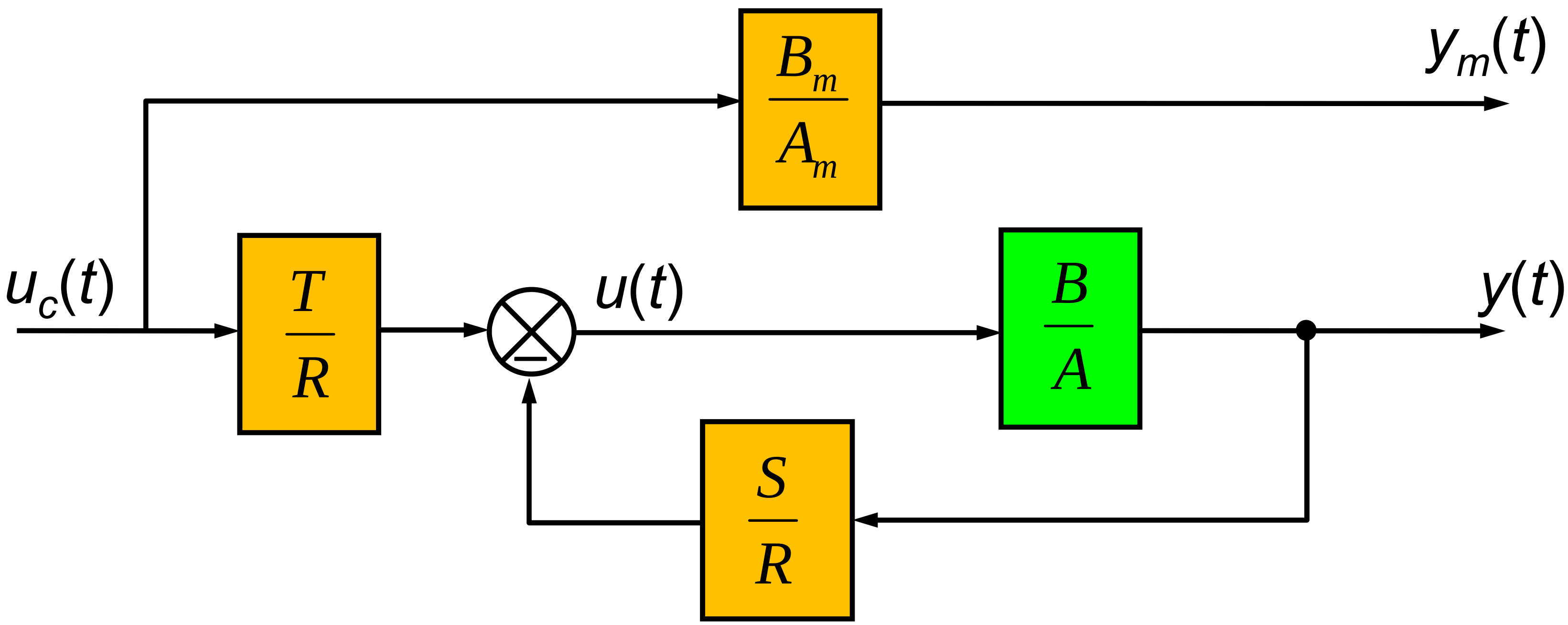
# Điều khiển theo mô hình chuẩn – Thí dụ 1

- Cho đối tượng điều khiển liên tục: $y(t) = \dfrac{p+2}{p^2+6p+5}u(t)$

Hãy thiết kế luật ĐK tuyến tính tổng quát: $Ru(t) = Tu_c(t) - Sy(t)$

sao cho đáp ứng của hệ thống kín bám theo mô hình chuẩn:

$$y_m(t) = \frac{16}{p^2+8p+16}u_c(t)$$



# Điều khiển theo mô hình chuẩn – Thí dụ 1

- ***Giải:***
- Bước 1: Phân tích *B* dưới dạng: $B = B^+B^-$

$$\Rightarrow \quad \begin{cases} B^+ = (p+2) \\ B^- = 1 \end{cases}$$

- Bước 2: Kiểm tra các điều kiện tồn tại lời giải:

$$B_m = B^- B'_m \quad \Rightarrow \quad B'_m = 16$$

$$\underbrace{\text{bậc}(A_m)}_{2} - \underbrace{\text{bậc}(B_m)}_{0} \geq \underbrace{\text{bậc}(A)}_{2} - \underbrace{\text{bậc}(B)}_{1}$$

- Bước 3: Chọn bậc $A_0$:

$$\text{bậc}(A_0) \geq 2\underbrace{\text{bậc}(A)}_{2} - \underbrace{\text{bậc}(A_m)}_{2} - \underbrace{\text{bậc}(B^+)}_{1} - 1 = 0$$

$\Rightarrow$ Chọn bậc $A_0$ bằng 0 $\Rightarrow A_0 = 1$

# Điều khiển theo mô hình chuẩn – Thí dụ 1

★ Bước 4: Chọn bậc $R_1$ và $S$:

$$\text{bậc}(R_1) = \text{bậc}(A_0) + \text{bậc}(A_m) - \text{bậc}(A) = 0 + 2 - 2 = 0$$

$$\text{bậc}(S) = \min\{[\text{bậc}(R_1) + \text{bậc}(B^+)], [\text{bậc}(A_0) + \text{bậc}(A_m) - \text{bậc}(B^-)]\}$$

$$= \min\{[0+1], [0+2-0]\} = 1$$

$$\Rightarrow \quad \begin{cases} R_1 = r_0 \\ S = s_0 p + s_1 \end{cases}$$

★ Bước 5: Tính $S$ và $R_1$ bằng cách giải phương trình Diophantine:

$$AR_1 + B^- S = A_0 A_m$$

$$\Rightarrow \quad (p^2 + 6p + 5)r_0 + (s_0 p + s_1) = (p^2 + 8p + 16)$$

$$\Rightarrow \quad r_0 p^2 + (6r_0 + s_0)p + (5r_0 + s_1) = (p^2 + 8p + 16)$$

$$\Rightarrow \quad \begin{cases} r_0 = 1 \\ s_0 = 2 \\ s_1 = 11 \end{cases} \qquad \Rightarrow \quad \begin{cases} R_1 = 1 \\ S = 2p + 11 \end{cases}$$

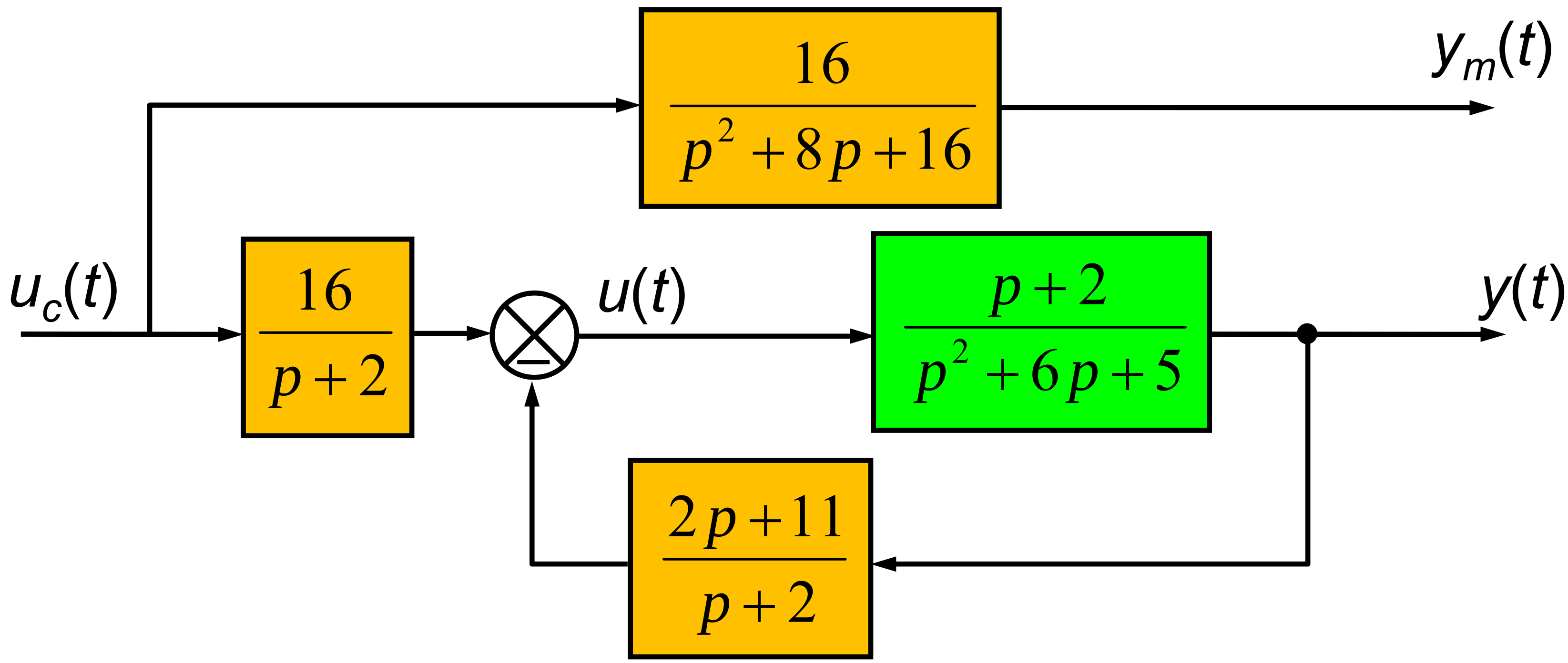
# Điều khiển theo mô hình chuẩn – Thí dụ 1

★ Bước 6: Tính *R* và *T*:

$$R = R_1 B^{+} \quad \Rightarrow \quad R = (p+2)$$

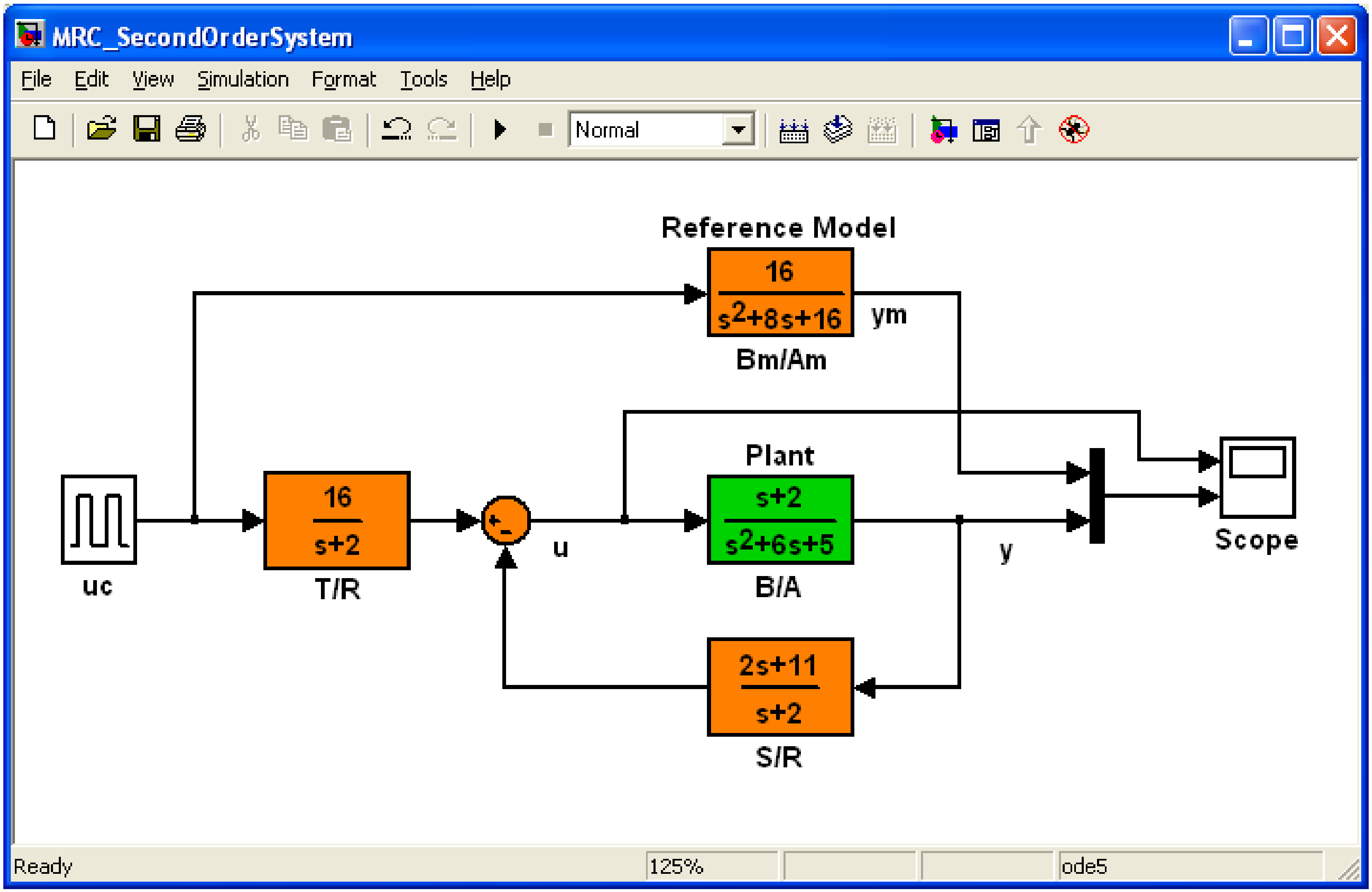
$$T = A_0 B'_m \quad \Rightarrow \quad T = 16$$

Kết luận: Hệ thống ĐK theo mô hình chuẩn sau khi thiết kế:

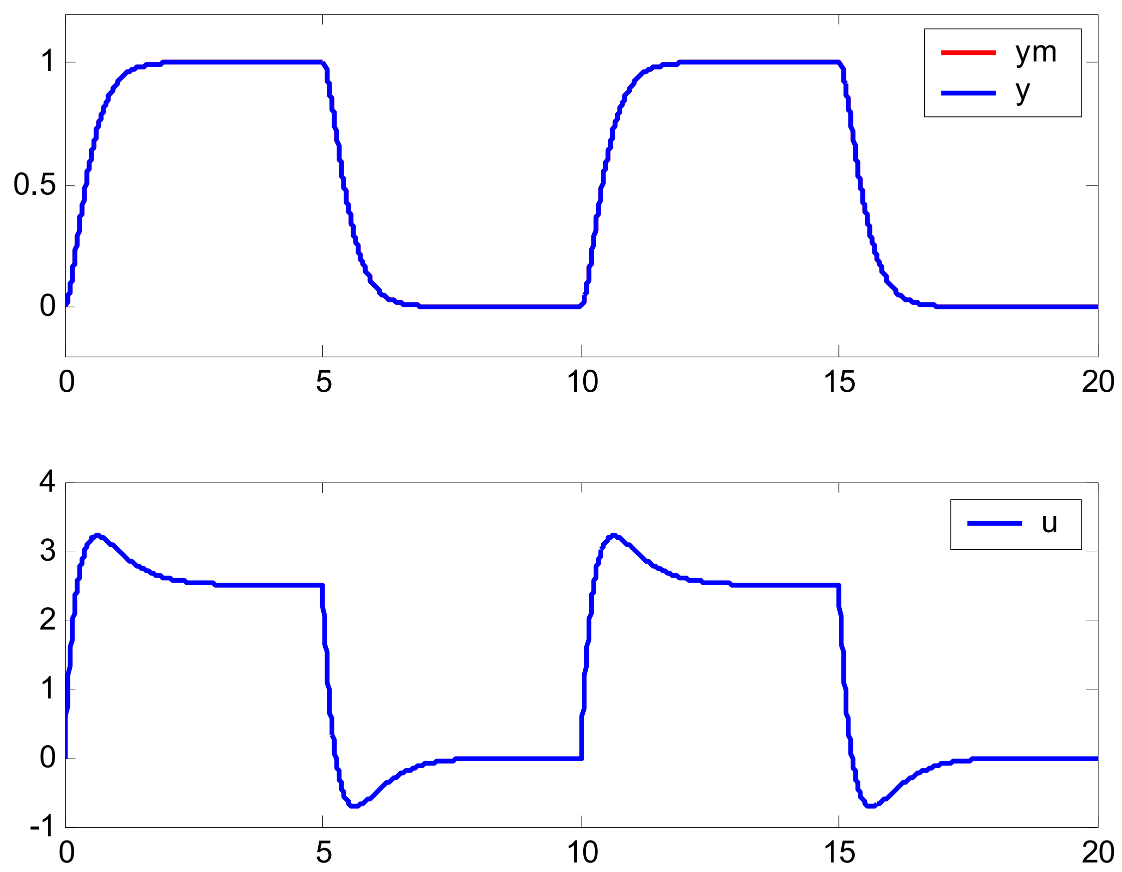


# Điều khiển theo mô hình chuẩn – Thí dụ 1

✶ Mô phỏng hệ thống ĐK theo mô hình chuẩn dùng Matlab

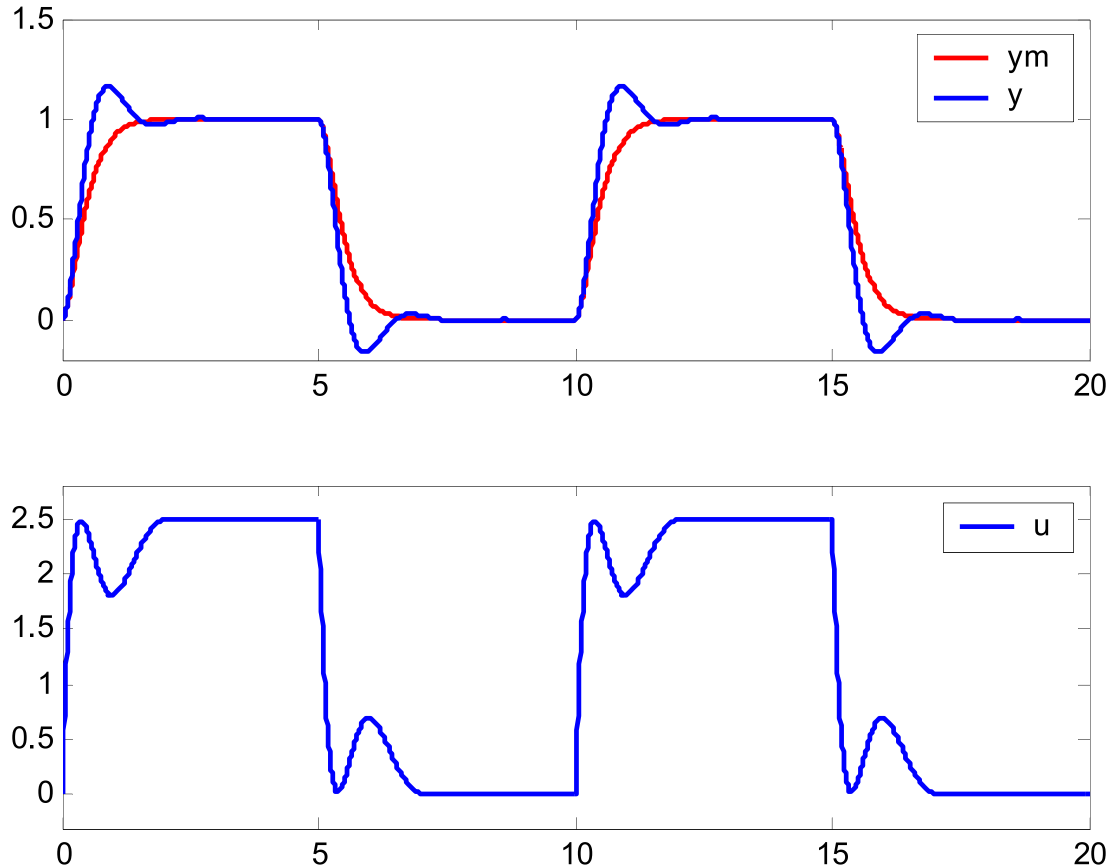


# Điều khiển theo mô hình chuẩn – Thí dụ 1




☺ Kết quả mô phỏng: Đáp ứng của hệ thống bám theo mô hình chuẩn một cách hoàn hảo nếu thông số của đối tượng đúng bằng trị danh định khi thiết kế

# Điều khiển theo mô hình chuẩn – Thí dụ 1



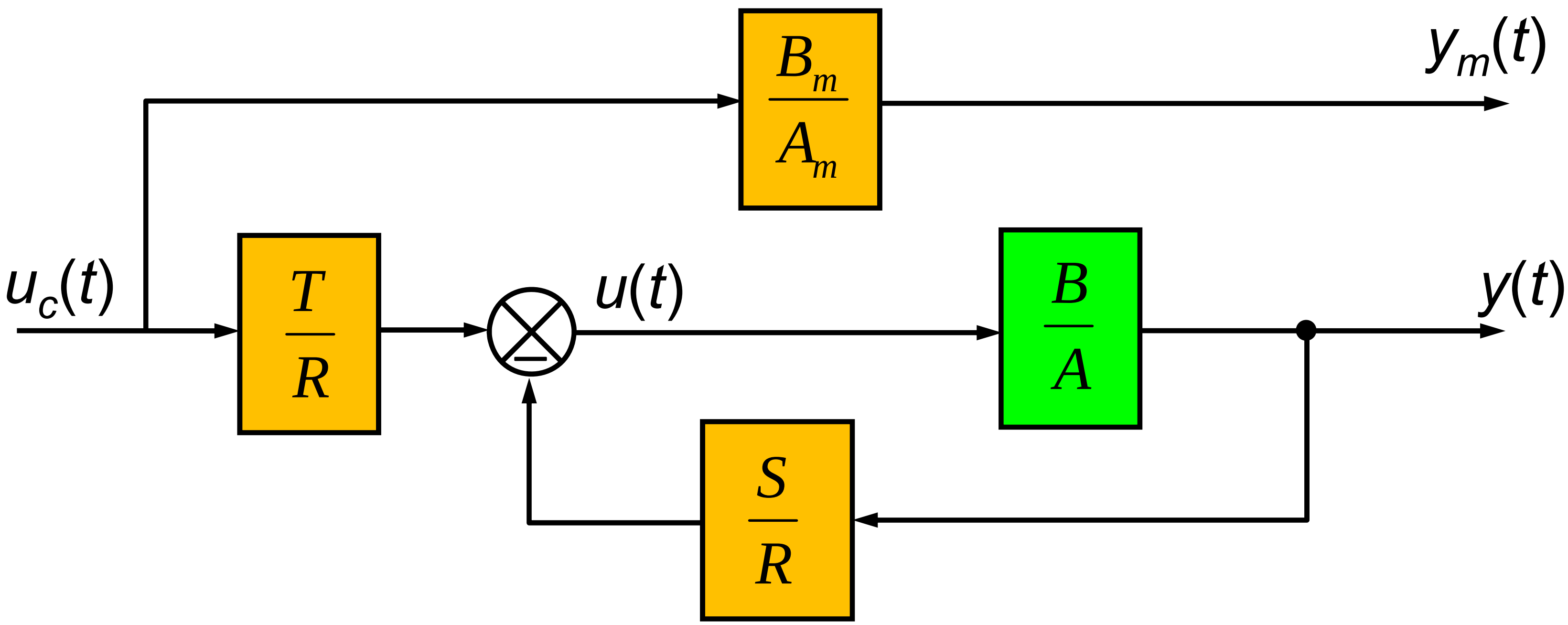

☹ Kết quả mô phỏng: Đáp ứng của hệ thống không bám tốt theo mô hình chuẩn nếu thông số của đối tượng thay đổi khác giá trị danh định khi thiết kế

# Điều khiển theo mô hình chuẩn – Thí dụ 2

✶ Cho đối tượng điều khiển liên tục: $y(t)=\dfrac{p+5}{p(p^2+4p+13)}u(t)$

Hãy thiết kế luật ĐK tuyến tính tổng quát: $Ru(t)=Tu_c(t)-Sy(t)$
sao cho đáp ứng của hệ thống kín bám theo mô hình chuẩn:

$$y_m(t)=\frac{180}{(p+20)(p+3)^2}u_c(t)$$



# Điều khiển theo mô hình chuẩn – Thí dụ 2

- ***Giải:***
- Bước 1: Phân tích *B* dưới dạng: $B = B^{+}B^{-}$

$$\Rightarrow \quad \begin{cases} B^{+} = (p+5) \\ B^{-} = 1 \end{cases}$$

- Bước 2: Kiểm tra các điều kiện tồn tại lời giải:

$$B_m = B^{-}B'_m \quad \Rightarrow \quad B'_m = 180$$

$$\underbrace{\text{bậc}(A_m)}_{3} - \underbrace{\text{bậc}(B_m)}_{0} \geq \underbrace{\text{bậc}(A)}_{3} - \underbrace{\text{bậc}(B)}_{1}$$

- Bước 3: Chọn bậc $A_0$:

$$\text{bậc}(A_0) \geq 2\underbrace{\text{bậc}(A)}_{3} - \underbrace{\text{bậc}(A_m)}_{3} - \underbrace{\text{bậc}(B^{+})}_{1} - 1 = 1$$

$\Rightarrow$ Chọn bậc $A_0$ bằng 1 $\Rightarrow$ $A_0 = p + 1$

# Điều khiển theo mô hình chuẩn – Thí dụ 2

- Bước 4: Chọn bậc $R_1$ và $S$:

$$\text{bậc}(R_1) = \text{bậc}(A_0) + \text{bậc}(A_m) - \text{bậc}(A) \; = 1 + 3 - 3 = 1$$

$$\text{bậc}(S) = \min\left\{[\text{bậc}(R_1) + \text{bậc}(B^+)], [\text{bậc}(A_0) + \text{bậc}(A_m) - \text{bậc}(B^-)]\right\}$$
$$= \min\left\{[1+1], [1+3-0]\right\} = 2$$

$$\Rightarrow \quad \begin{cases} R_1 = r_0 p + r_1 \\ S = s_0 p^2 + s_1 p + s_2 \end{cases}$$

- Bước 5: Tính $S$ và $R_1$ bằng cách giải phương trình Diophantine:

$$AR_1 + B^- S = A_0 A_m$$

$$\Rightarrow \quad p(p^2 + 4p + 13)(r_0 p + r_1) + (s_0 p^2 + s_1 p + s_2) = (p+1)(p+20)(p+3)^2$$

$$\Rightarrow \quad r_0 p^4 + (4r_0 + r_1) p^3 + (13 r_0 + 4 r_1 + s_0) p^2 + (13 r_1 + s_1) p + s_2 =$$
$$p^4 + 27 p^3 + 155 p^2 + 309 p + 180$$

# Điều khiển theo mô hình chuẩn – Thí dụ 2

$$\Rightarrow \begin{cases} r_0 = 1 \\ 4r_0 + r_1 = 27 \\ 13r_0 + 4r_1 + s_0 = 155 \\ 13r_1 + s_1 = 309 \\ s_2 = 180 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} r_0 = 1 \\ r_1 = 23 \\ s_0 = 50 \\ s_1 = 10 \\ s_2 = 180 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} R_1 = p + 23 \\ S = 50p^2 + 10p + 180 \end{cases}$$

★ Bước 6: Tính *R* và *T*:

$$R = R_1 B^+ \quad \Rightarrow \quad R = (p+23)(p+5)$$

$$T = A_0 B'_m \quad \Rightarrow \quad T = 180(p+1)$$

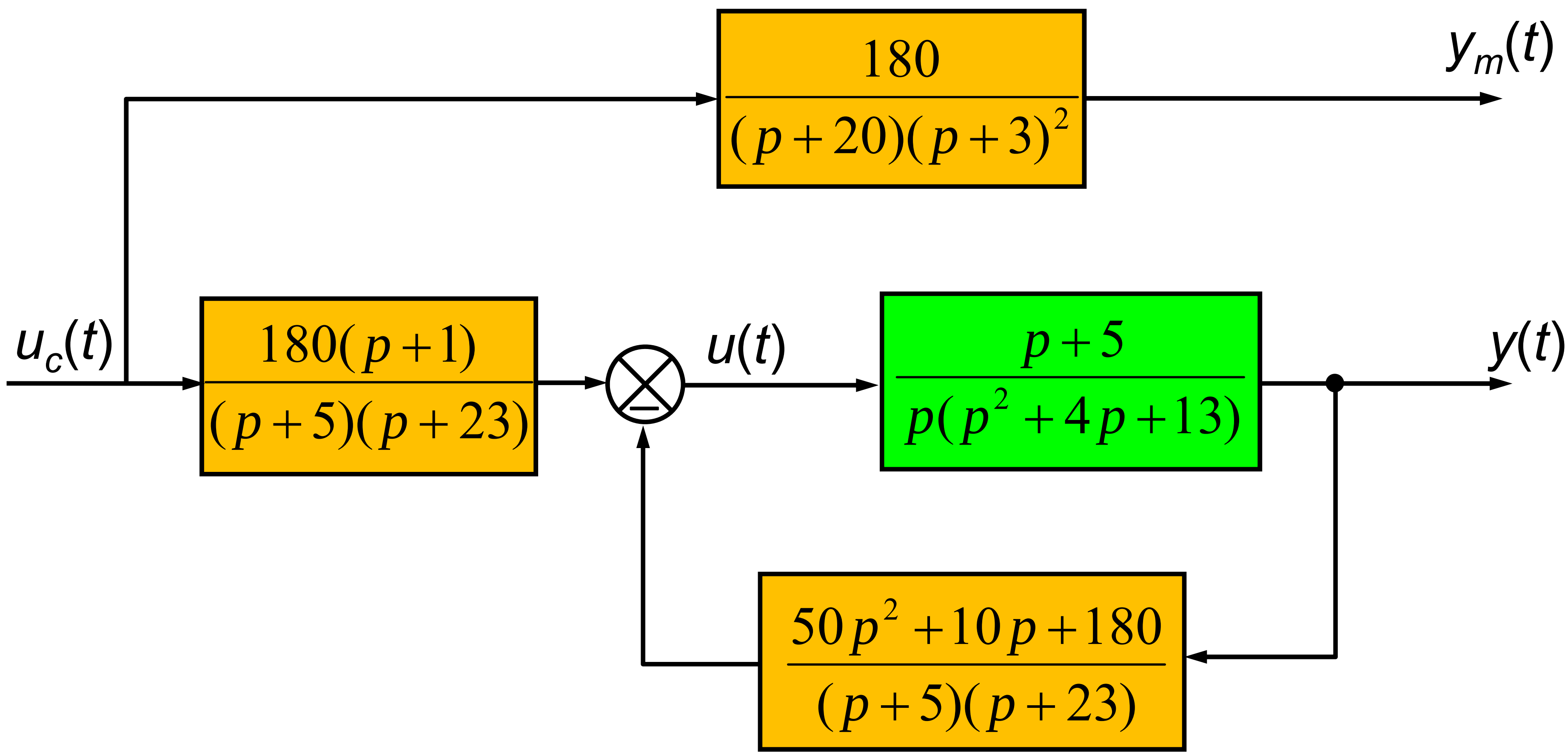
Kết luận: $S = 50p^2 + 10p + 180$

$$T = 180(p+1)$$

$$R = (p+23)(p+5)$$

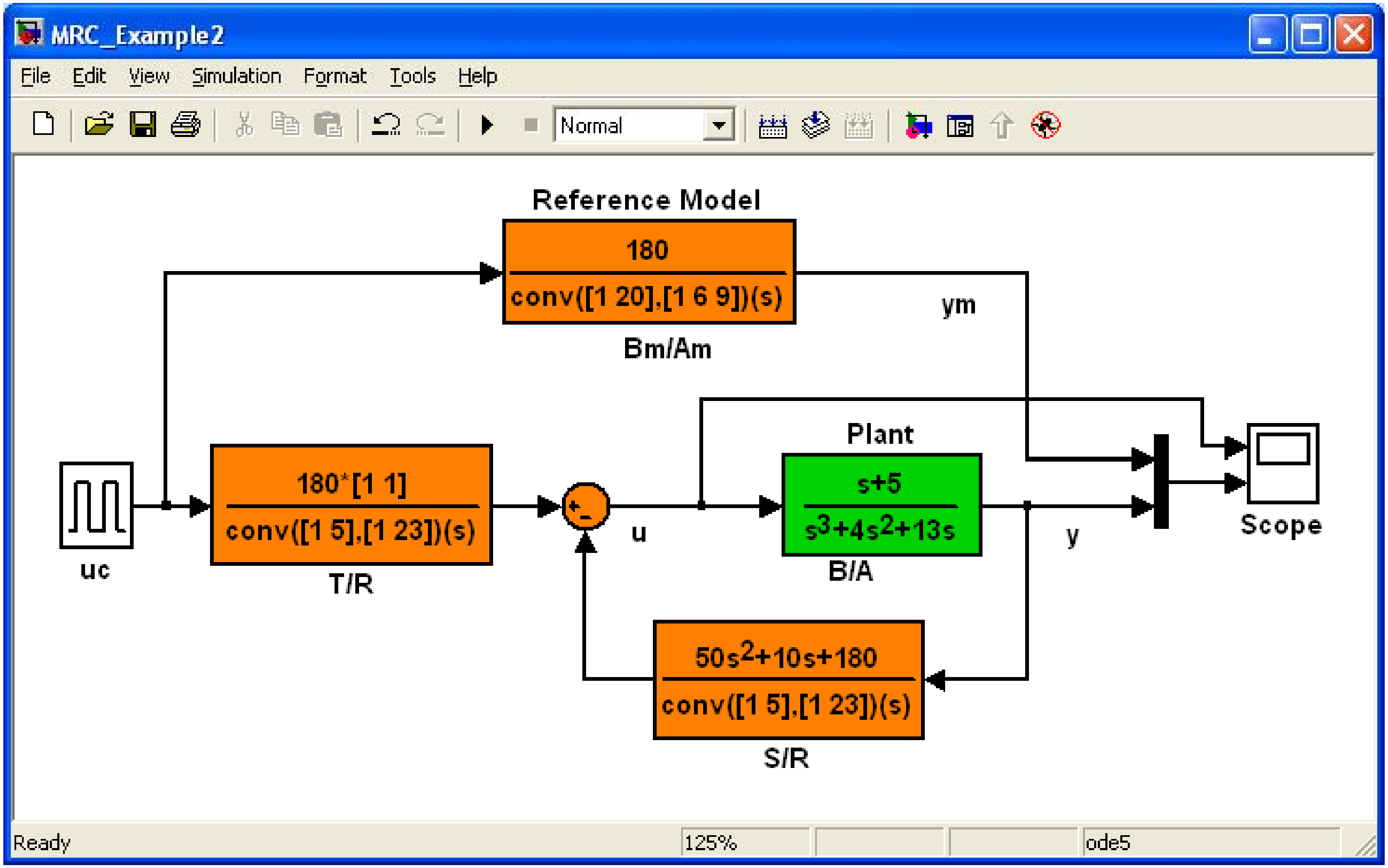
# Điều khiển theo mô hình chuẩn – Thí dụ 2

Hệ thống điều khiển theo mô hình chuẩn sau khi thiết kế:

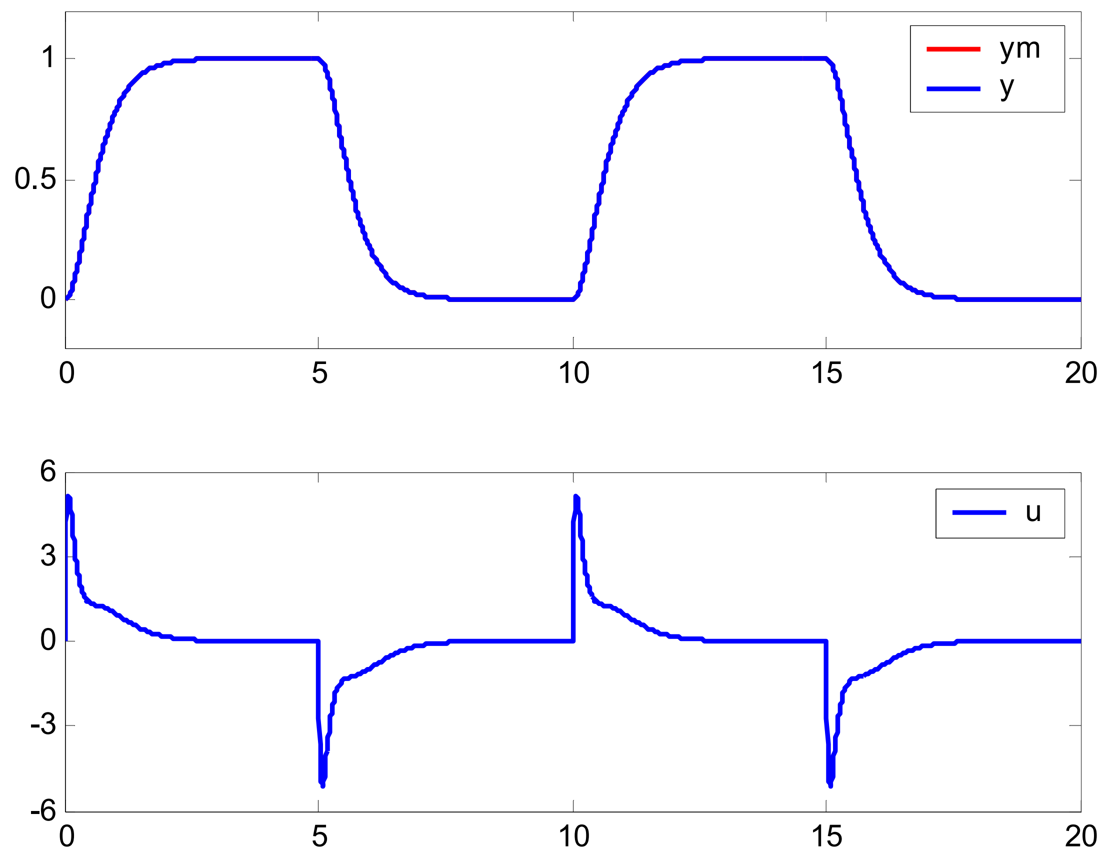


# Điều khiển theo mô hình chuẩn – Thí dụ 2

- Mô phỏng hệ thống ĐK theo mô hình chuẩn dùng Matlab

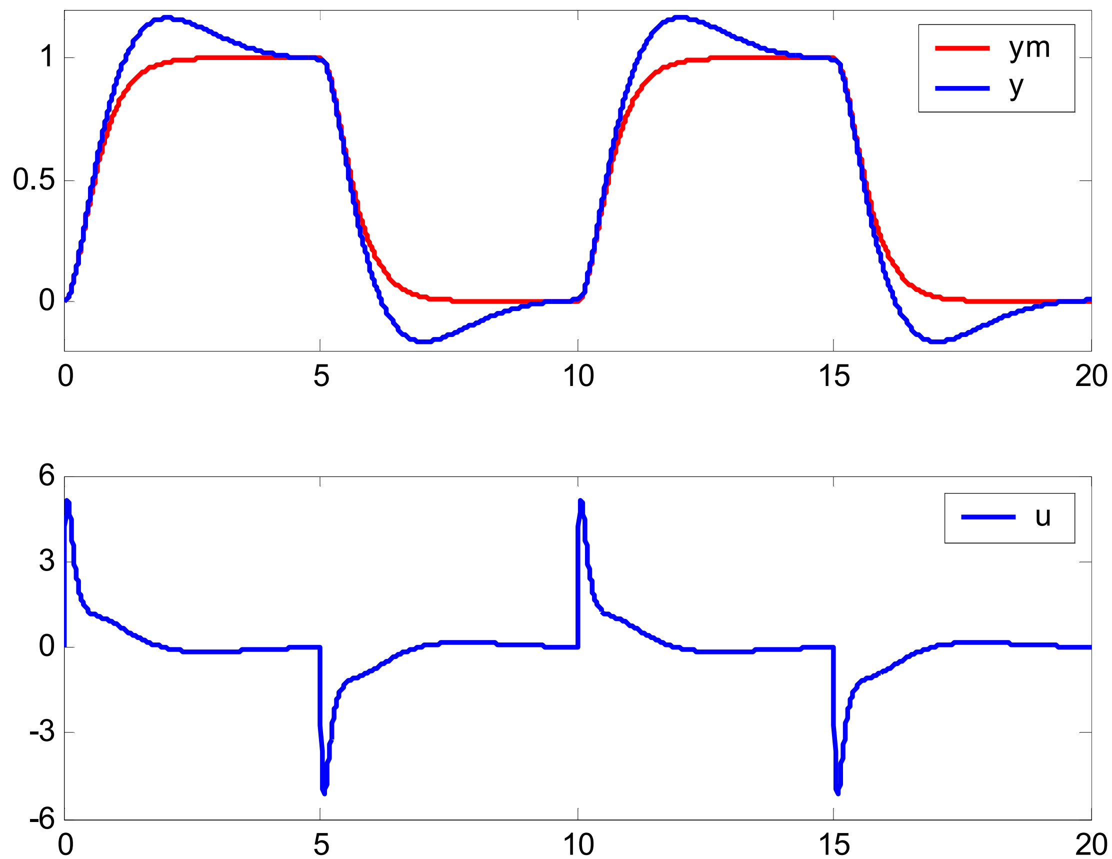


# Điều khiển theo mô hình chuẩn – Thí dụ 2




☺ Kết quả mô phỏng: Đáp ứng của hệ thống bám theo mô hình chuẩn một cách hoàn hảo nếu thông số của đối tượng đúng bằng trị danh định khi thiết kế

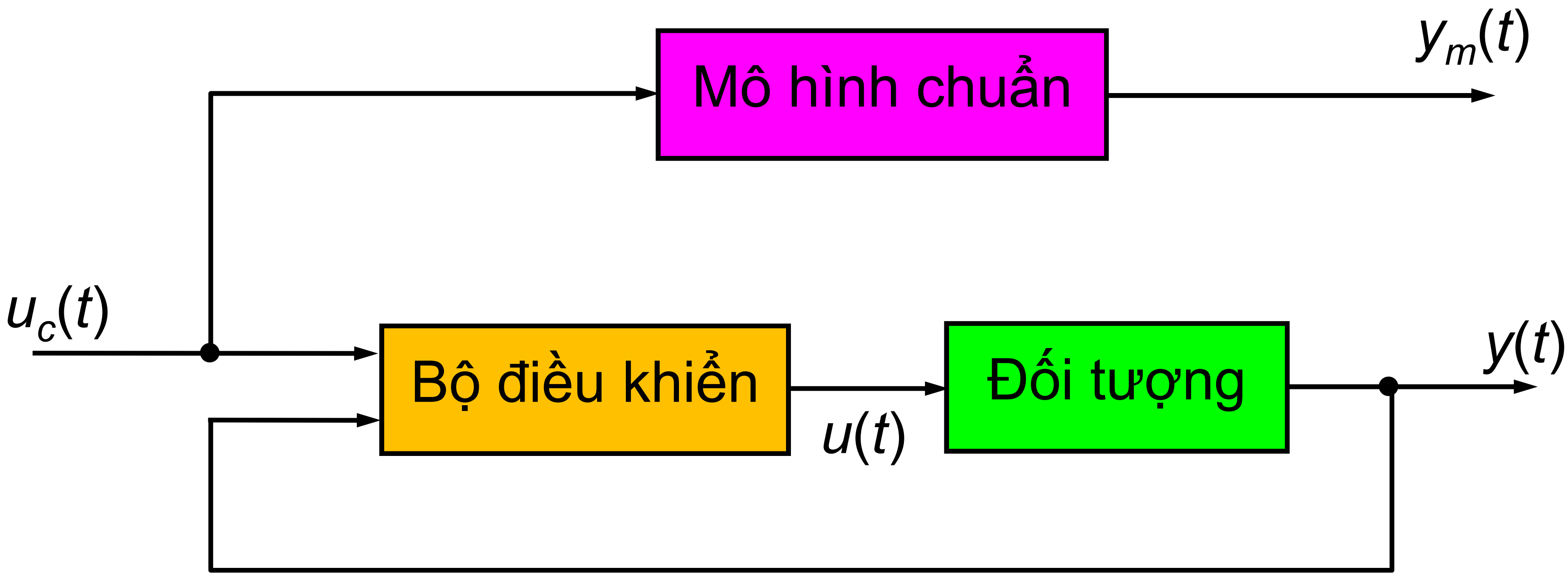
# Điều khiển theo mô hình chuẩn – Thí dụ 2




☹ Kết quả mô phỏng: Đáp ứng của hệ thống không bám tốt theo mô hình chuẩn nếu thông số của đối tượng thay đổi khác giá trị danh định khi thiết kế

# HỆ THÍCH NGHI
# THEO MÔ HÌNH CHUẨN
## (Model Reference Adaptive System – MRAS)

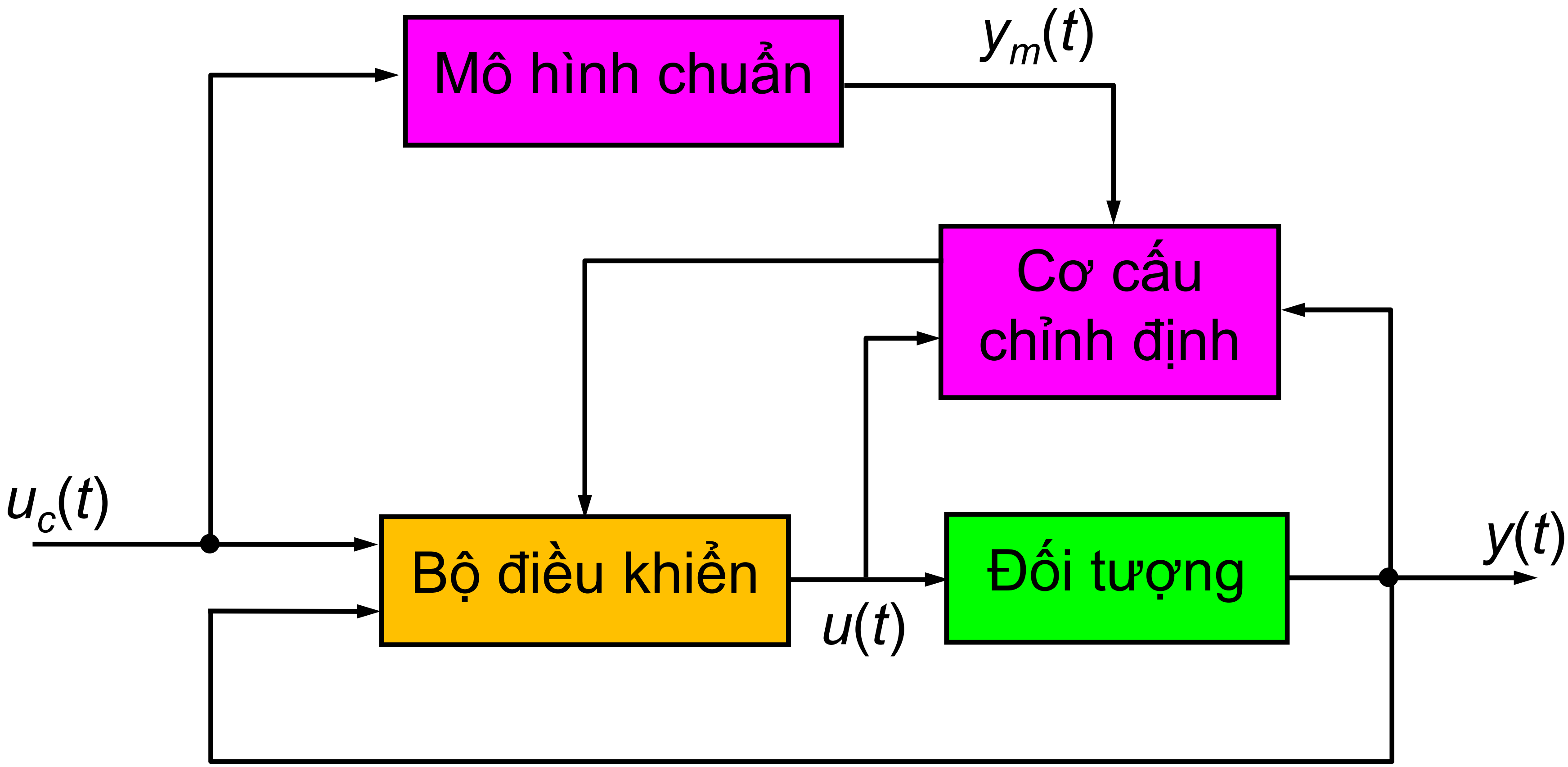
# Hạn chế của HTĐK theo mô hình chuẩn




- ✶ Chất lượng điều khiển không đảm bảo bám theo mô hình chuẩn khi:
  - ➢ không biết chính xác thông số đối tượng
  - ➢ hoặc thông số đối tượng thay đổi trong quá trình hoạt động

$\Rightarrow$ Điều khiển thích nghi theo mô hình chuẩn (MRAS)

# Sơ đồ khối hệ thích nghi theo mô hình chuẩn




★ Cơ cấu chỉnh định có chức năng cập nhật thông số của bộ điều khiển để đảm bảo đáp ứng của hệ thống bám theo mô hình chuẩn khi thông số đối tượng thay đổi

# Phát biểu bài toán MRAS

- Đối tượng điều khiển: $y(t) = \dfrac{B}{A}u(t)$
- Mô hình chuẩn: $y_m(t) = \dfrac{B_m}{A_m}u_c(t)$
- Luật điều khiển tuyến tính tổng quát:

$$Ru(t) = Tu_c(t) - Sy(t)$$

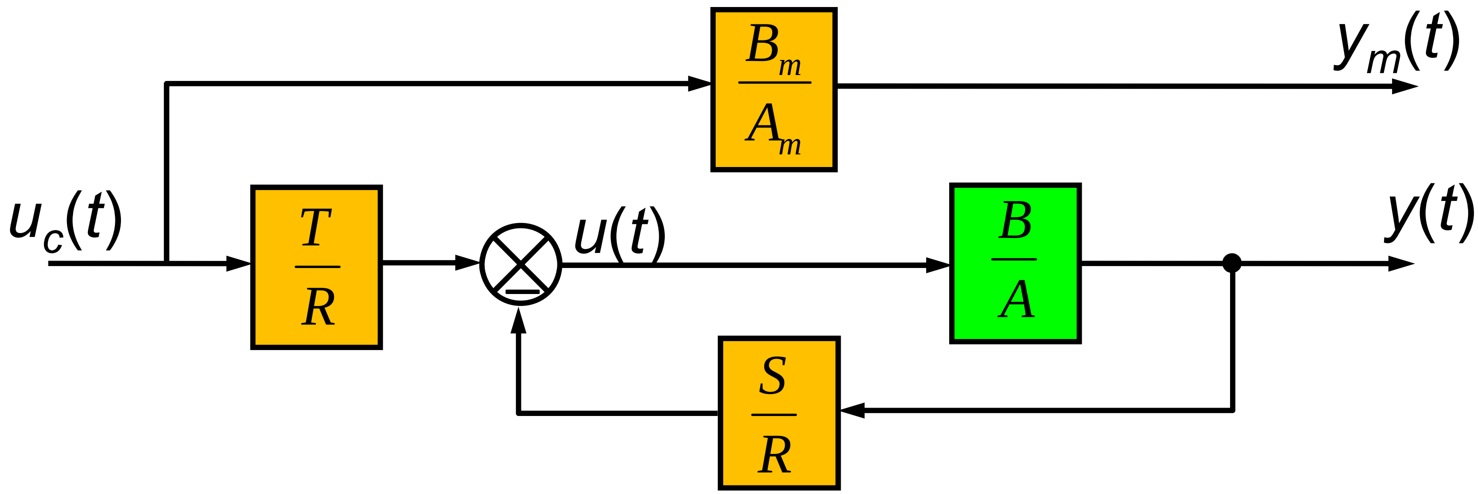
- Sai số giữa ngõ ra đối tượng và ngõ ra mô hình chuẩn:

$$e(t) = y(t) - y_m(t)$$

- ***Yêu cầu:*** xác định cấu trúc (hay bậc) của các đa thức *R*, *T*, *S* và tìm luật cập nhật các thông số của *R*, *T*, *S* sao cho:

$$e(t) \to 0$$

# Chọn cấu trúc của bộ điều khiển tuyến tính tổng quát




- Bậc của các đa thức *R*, *T*, *S* được chọn sao cho:
  - điều kiện tồn tại lời giải bài toán điều khiển theo mô hình chuẩn được thỏa mãn
  - phương trình Diophantine có nghiệm
- Đặt vector thông số của bộ điều khiển là $\boldsymbol{\theta}$:

$$\boldsymbol{\theta} = [r_0, r_1, \ldots, r_{n_R}, t_0, t_1, \ldots, t_{m_T}, s_0, s_1, \ldots, s_{m_S}]^T$$

$n_R, m_S, m_T$ tương ứng là bậc của các đa thức $R, S, T$

# Luật MIT

- Chọn chỉ tiêu chất lượng: $J = \frac{1}{2}e^2$

  Cần tìm luật cập nhật thông số sao cho: $J \rightarrow \min$

- Luật MIT (do **M**assachusetts **I**nstitude of **T**echnology đề xuất):

$$\frac{d\boldsymbol{\theta}}{dt} = -\gamma e \frac{\partial e}{\partial \boldsymbol{\theta}} \qquad (\gamma > 0)$$

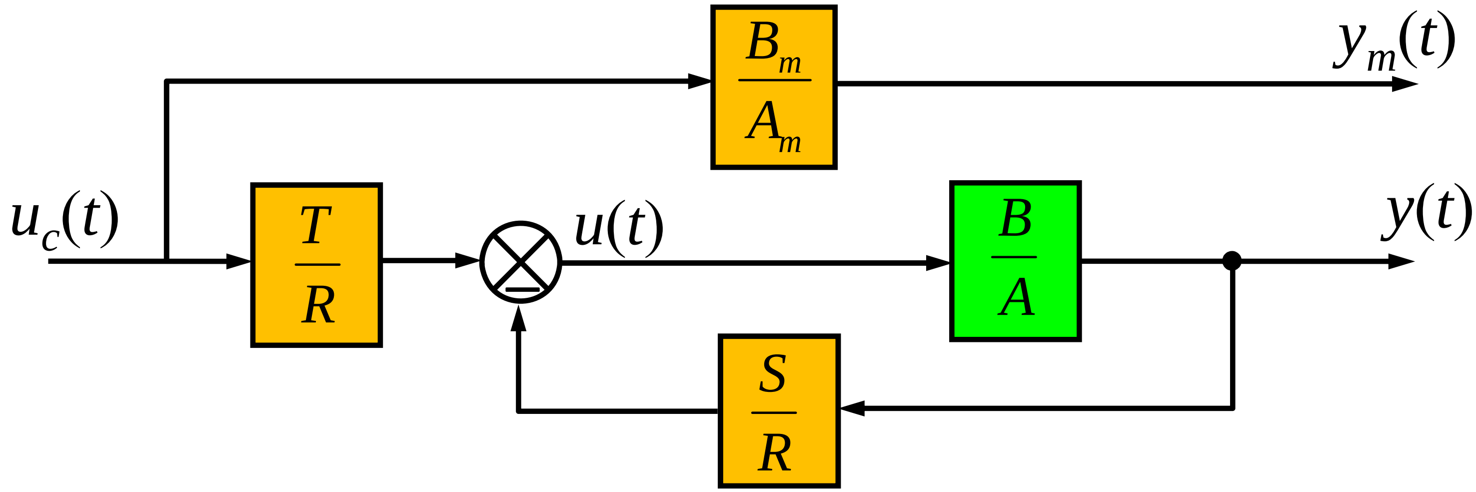
  Dễ thấy với luật MIT, ta có:

$$\frac{dJ}{dt} = e\dot{e} = e\left[\frac{\partial e}{\partial \boldsymbol{\theta}}\right]^T \left[\frac{d\boldsymbol{\theta}}{dt}\right] = -\gamma e^2 \left[\frac{\partial e}{\partial \boldsymbol{\theta}}\right]^T \left[\frac{\partial e}{\partial \boldsymbol{\theta}}\right] \leq 0$$

  $\Rightarrow$ *J* giảm dần theo thời gian đến giá trị cực tiểu

- Để thực hiện luật MIT cần xác định biểu thức sai số và độ nhạy của sai số theo thông số của bộ điều khiển

# Sai số giữa tín hiệu ra của hệ thống và mô hình chuẩn




- Tín hiệu ra hệ thống điều khiển kín: $y(t) = \dfrac{BT}{AR+BS}u_c(t)$
- Tín hiệu điều khiển: $u(t) = \dfrac{AT}{AR+BS}u_c(t)$
- Sai số giữa tín hiệu ra của hệ thống và mô hình chuẩn

$$e(t) = y(t) - y_m(t) = \frac{BT}{AR+BS}u_c(t) - \frac{B_m}{A_m}u_c(t)$$

# Độ nhạy của sai số theo thông số của bộ ĐK

- Áp dụng qui tắc lấy đạo hàm riêng phần, suy ra:

$$\frac{\partial e}{\partial t_i} = \frac{Bp^{m_T - i}}{AR + BS} u_c \qquad (i = 0, \dots, m_T)$$

$$\frac{\partial e}{\partial s_i} = -\frac{B^2 T p^{m_S - i}}{(AR + BS)^2} u_c = -\frac{Bp^{m_S - i}}{AR + BS} y \qquad (i = 0, \dots, m_S)$$

$$\frac{\partial e}{\partial r_i} = -\frac{BTAp^{n_R - i}}{(AR + BS)^2} u_c = -\frac{Bp^{n_R - i}}{AR + BS} u \qquad (i = 1, \dots, n_R)$$

# Luật MIT cụ thể cho từng thông số

✶ Luật MIT cụ thể cho từng thông số của bộ điều khiển:

$$\frac{dt_i}{dt} = -\gamma e\left(\frac{Bp^{m_T-i}}{AR+BS}u_c\right) \qquad (i = 0,\ldots,m_T)$$

$$\frac{ds_i}{dt} = \gamma e\left(\frac{Bp^{m_S-i}}{AR+BS}y\right) \qquad (i = 0,\ldots,m_S)$$

$$\frac{dr_i}{dt} = \gamma e\left(\frac{Bp^{n_R-i}}{AR+BS}u\right) \qquad (i = 1,\ldots,n_R)$$

☹ Không thể áp dụng các công thức trên để cập nhật thông số của bộ điều khiển do ta không biết *A* và *B*

☝ Cần tìm công thức gần đúng không liên quan đến *A* và *B*

# Thiết kế luật MIT gần đúng cho hệ MRAS

- Để đáp ứng của hệ kín bám theo mô hình chuẩn, ở trạng thái xác lập ta có điều kiện:

$$AR + BS = A_0 A_m B^+ \quad \text{trong đó} \quad B = B^+ B^-$$

- Nếu $B$ không có nghiệm bên phải mặt phẳng phức: $B^-$ = hằng số = $b_0$

⇒ Có thể gộp $|b_0|$ vào hệ số thích nghi $\gamma$, và chú ý đến dấu của $b_0$ trong các công thức cập nhật thông số bộ điều khiển .

- Luật MIT gần đúng cập nhật thông số:

$$\frac{dt_i}{dt} = -\gamma e\left(\frac{\operatorname{sgn}(b_0)\, p^{m_T - i}}{A_0 A_m} u_c\right) \quad (i = 0,\ldots,m_T)$$

$$\frac{ds_i}{dt} = \gamma e\left(\frac{\operatorname{sgn}(b_0)\, p^{m_S - i}}{A_0 A_m} y\right) \quad (i = 0,\ldots,m_S)$$

$$\frac{dr_i}{dt} = \gamma e\left(\frac{\operatorname{sgn}(b_0)\, p^{n_R - i}}{A_0 A_m} u\right) \quad (i = 1,\ldots,n_R)$$

# Trình tự thiết kế BĐK thích nghi theo mô hình chuẩn

Đối tượng: $y(t) = \dfrac{B}{A}u(t)$ Mô hình chuẩn: $y(t) = \dfrac{B_m}{A_m}u_c(t)$

- ***Bước 1:*** Phân tích *B* dưới dạng: $B = B^{+}B^{-}$
- ***Bước 2:*** Kiểm tra MH chuẩn có thỏa mãn đ.kiện tồn tại lời giải:

$$B_m = B^{-}B'_m$$

$$\text{bậc}(A_m) - \text{bậc}(B_m) \geq \text{bậc}(A) - \text{bậc}(B)$$

- ***Bước 3:*** Chọn bậc của $A_0$ :

$$\text{bậc}(A_0) \geq 2\text{bậc}(A) - \text{bậc}(A_m) - \text{bậc}(B^{+}) - 1$$

- ***Bước 4:*** Chọn bậc của *R*, *T*, *S* :

$$n_R = \text{bậc}(R) = \text{bậc}(A_0) + \text{bậc}(A_m) - \text{bậc}(A) + \text{bậc}(B^{+})$$

$$m_T = \text{bậc}(T) = \text{bậc}(A_0) + \text{bậc}(B'_m)$$

$$\mathrm{m}_S = \text{bậc}(S) = \min\{\text{bậc}(R), [\text{bậc}(A_0) + \text{bậc}(A_m) - \text{bậc}(B^{-})]\}$$

# Trình tự thiết kế BĐK thích nghi theo mô hình chuẩn

- ***Bước 5:*** Viết cụ thể luật MIT gần đúng cập nhật từng thông số sử dụng công thức:

$$\frac{dt_i}{dt} = -\gamma e\left(\frac{\text{sgn}(b_0)\,p^{m_T-i}}{A_0 A_m}u_c\right) \quad (i = 0,\ldots,m_T)$$

$$\frac{ds_i}{dt} = \gamma e\left(\frac{\text{sgn}(b_0)\,p^{m_S-i}}{A_0 A_m}y\right) \quad (i = 0,\ldots,m_S)$$

$$\frac{dr_i}{dt} = \gamma e\left(\frac{\text{sgn}(b_0)\,p^{n_R-i}}{A_0 A_m}u\right) \quad (i = 0,\ldots,n_R)$$

- ***Bước 6:*** Mô phỏng hệ thống, chọn hệ số $\gamma$ phù hợp
- ***Chú ý:*** Trong một số trường hợp đơn giản, khi có thể xác định được ngay bộ điều khiển có cấu trúc phù hợp thì không cần thực hiện các bước 1-4. Sử dụng luật MIT tổng quát để rút ra luật cập nhật thông số

# ĐK thích nghi theo mô hình chuẩn – Thí dụ 1

- Cho đối tượng điều khiển: $y(t) = \dfrac{b}{p+a}u(t)$

  Giả sử ta không biết chính xác *a* và *b*

- ***Yêu cầu:*** Thiết kế hệ thống điều khiển thích nghi sao cho đáp ứng của hệ thống bám theo mô hình chuẩn:

$$y_m(t) = \frac{2}{p+2}u_c(t)$$

- ***Giải:***
- Bước 1: Phân tích *B* dưới dạng $B = B^+B^-$ $\Rightarrow$ $\begin{cases} B^+ = 1 \\ B^- = b \end{cases}$

- Bước 2: Kiểm tra MH chuẩn có thỏa mãn đ.kiện tồn tại lời giải:

$$B_m = B^-B'_m \qquad \Rightarrow \qquad B'_m = 2/b$$

$$\underbrace{\text{bậc}(A_m)}_{1} - \underbrace{\text{bậc}(B_m)}_{0} \ge \underbrace{\text{bậc}(A)}_{1} - \underbrace{\text{bậc}(B)}_{0}$$

# ĐK thích nghi theo mô hình chuẩn – Thí dụ 1

- Bước 3: Chọn bậc của $A_0$ :

$$\text{bậc}(A_0) = 2\text{bậc}(A) - \text{bậc}(A_m) - \text{bậc}(B^+) - 1 \; = 2 - 1 - 0 - 1 = 0$$

$\Rightarrow$ Chọn $A_0 = 1$

- Bước 4: Chọn bậc của *R*, *T*, *S* :

$$\text{bậc}(R) = \text{bậc}(A_0) + \text{bậc}(A_m) - \text{bậc}(A) + \text{bậc}(B^+) = 0 + 1 - 1 + 0 = 0$$

$$\text{bậc}(T) = \text{bậc}(A_0) + \text{bậc}(B'_m) = 0 + 0 = 0$$

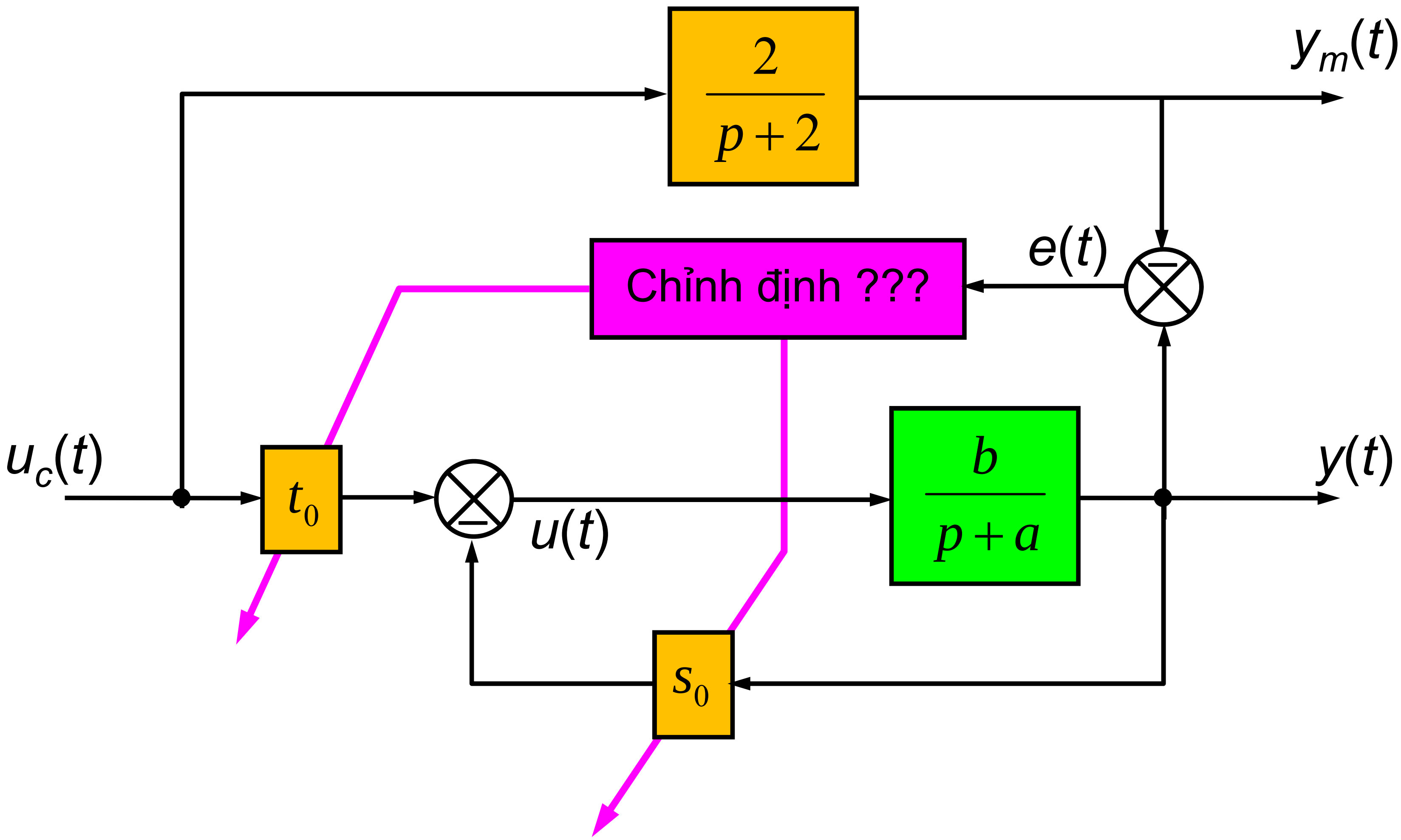
$$\begin{aligned}\text{bậc}(S) &= \min\{\text{bậc}(R), [\text{bậc}(A_0) + \text{bậc}(A_m) - \text{bậc}(B^-)]\} \\ &= \min\{0, [0 + 1 - 0]\} = 0\end{aligned}$$

$\Rightarrow$ Luật điều khiển : $r_0 u(t) = t_0 u_c(t) - s_0 y(t)$

- Không mất tính tổng quát, chọn: $r_0 = 1$

- Vector thông số cần cập nhật là: $\theta = [t_0, s_0]^T$

# ĐK thích nghi theo mô hình chuẩn – Thí dụ 1



# ĐK thích nghi theo mô hình chuẩn – Thí dụ 1

- Bước 5: Viết cụ thể luật MIT gần đúng cập nhật từng thông số:

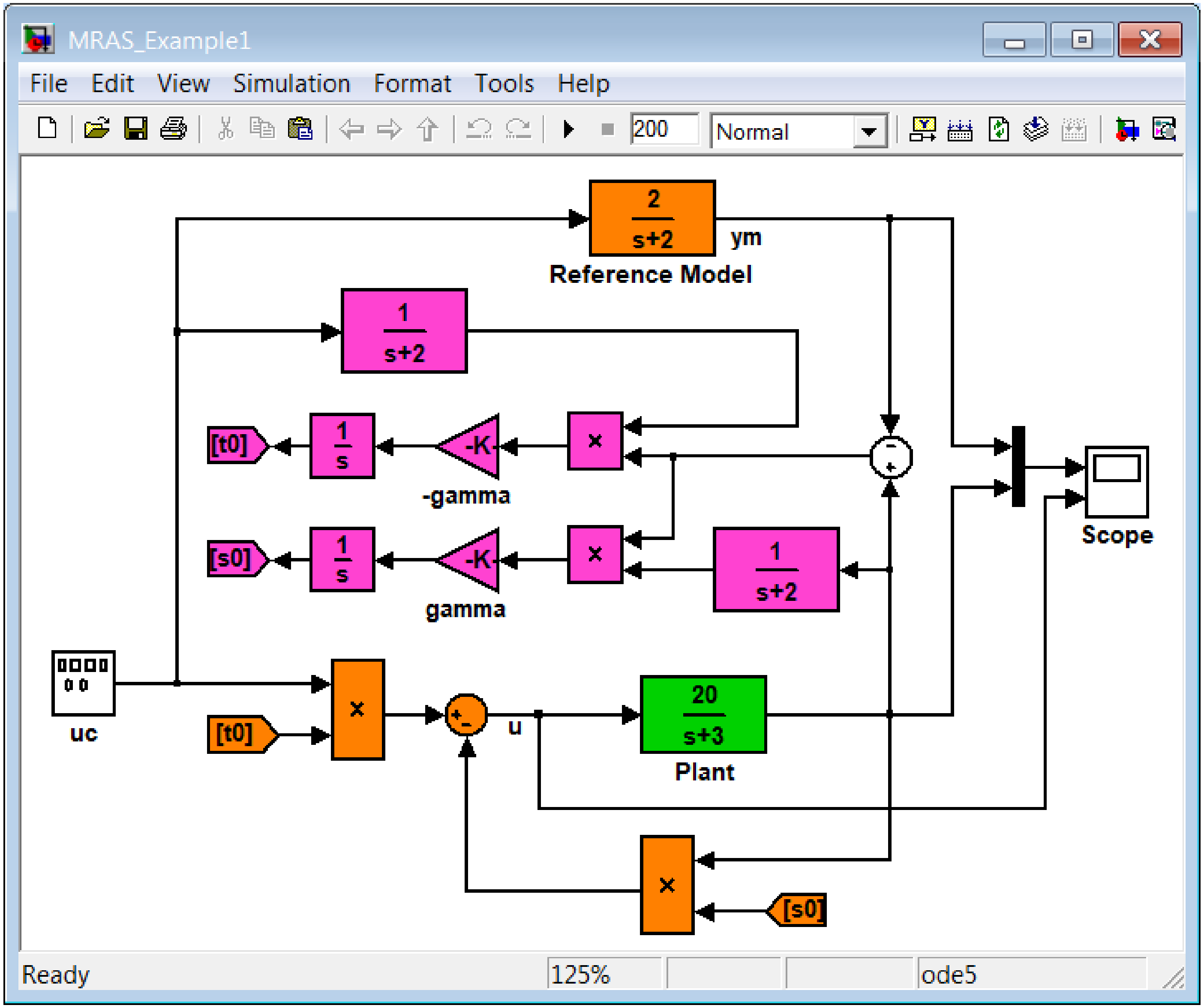
$$\frac{dt_0}{dt} = -\gamma e\left(\frac{1}{p+a_m}u_c\right) = -\gamma e\left(\frac{1}{p+2}u_c\right)$$

$$\frac{ds_0}{dt} = \gamma e\left(\frac{1}{p+a_m}y\right) = \gamma e\left(\frac{1}{p+2}y\right)$$

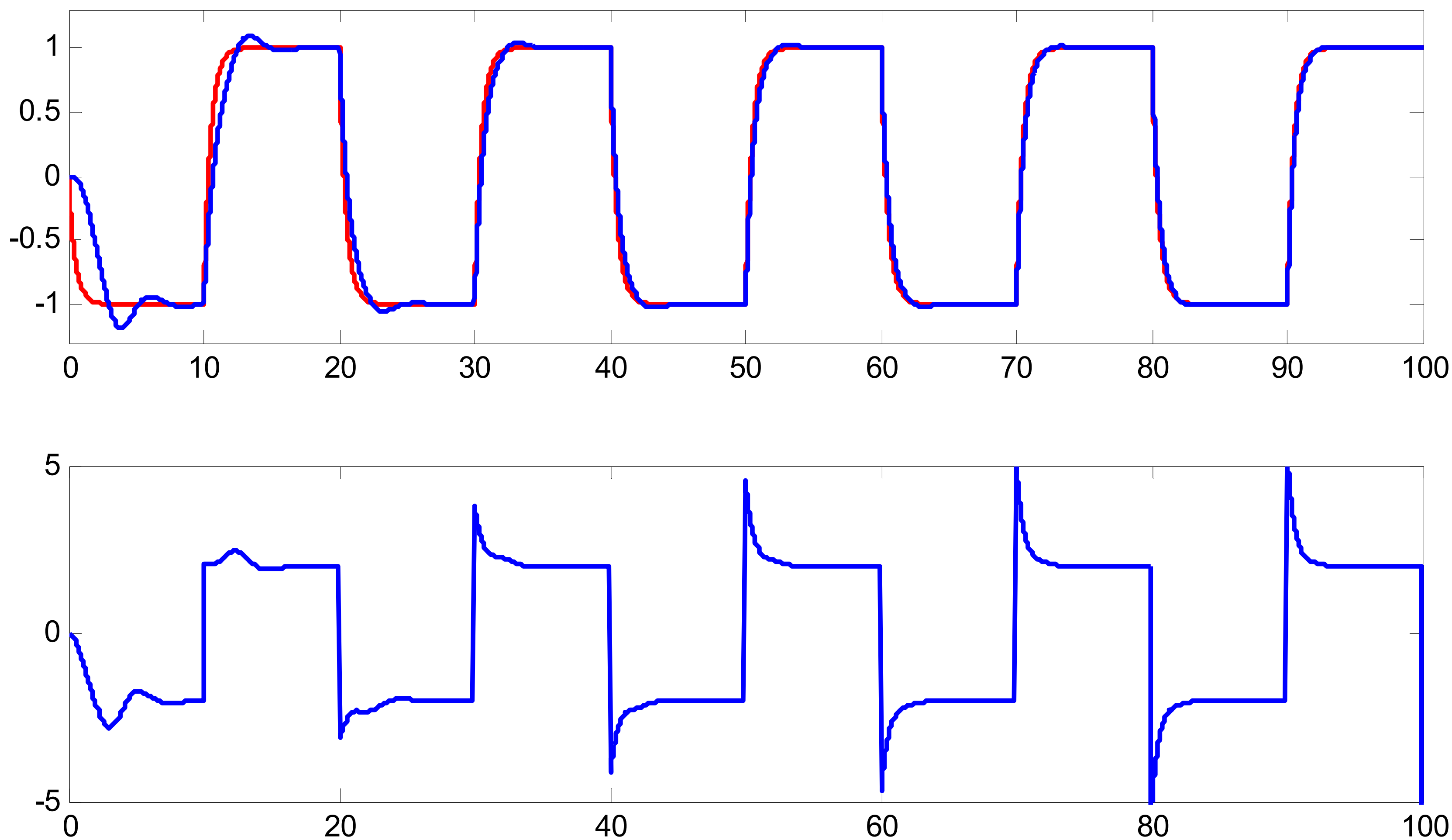
trong đó sai số giữa ngõ ra đối tượng và ngõ ra mô hình chuẩn:

$$e(t) = y(t) - y_m(t)$$

# ĐK thích nghi theo mô hình chuẩn – Thí dụ 1



# ĐK thích nghi theo mô hình chuẩn – Thí dụ 1




✶ Kết quả ĐK thích nghi: sau 1 vài chu kỳ cập nhật thông số, đáp ứng của hệ thống ĐK đã bám rất tốt theo mô hình chuẩn

# ĐK thích nghi theo mô hình chuẩn – Thí dụ 2

- Đối tượng điều khiển: $y(t) = \dfrac{b}{p(p+1)} u(t)$

  Trong đó *b* là thông số chưa biết của đối tượng.

  Giả sử *b* thay đổi trong miền [0.1÷10]

- ***Yêu cầu:*** Thiết kế hệ thống điều khiển thích nghi sao cho đáp ứng của hệ thống bám theo mô hình chuẩn:

$$y_m(t) = \frac{1}{p^2 + p + 1} u_c(t)$$

- ***Giải:***

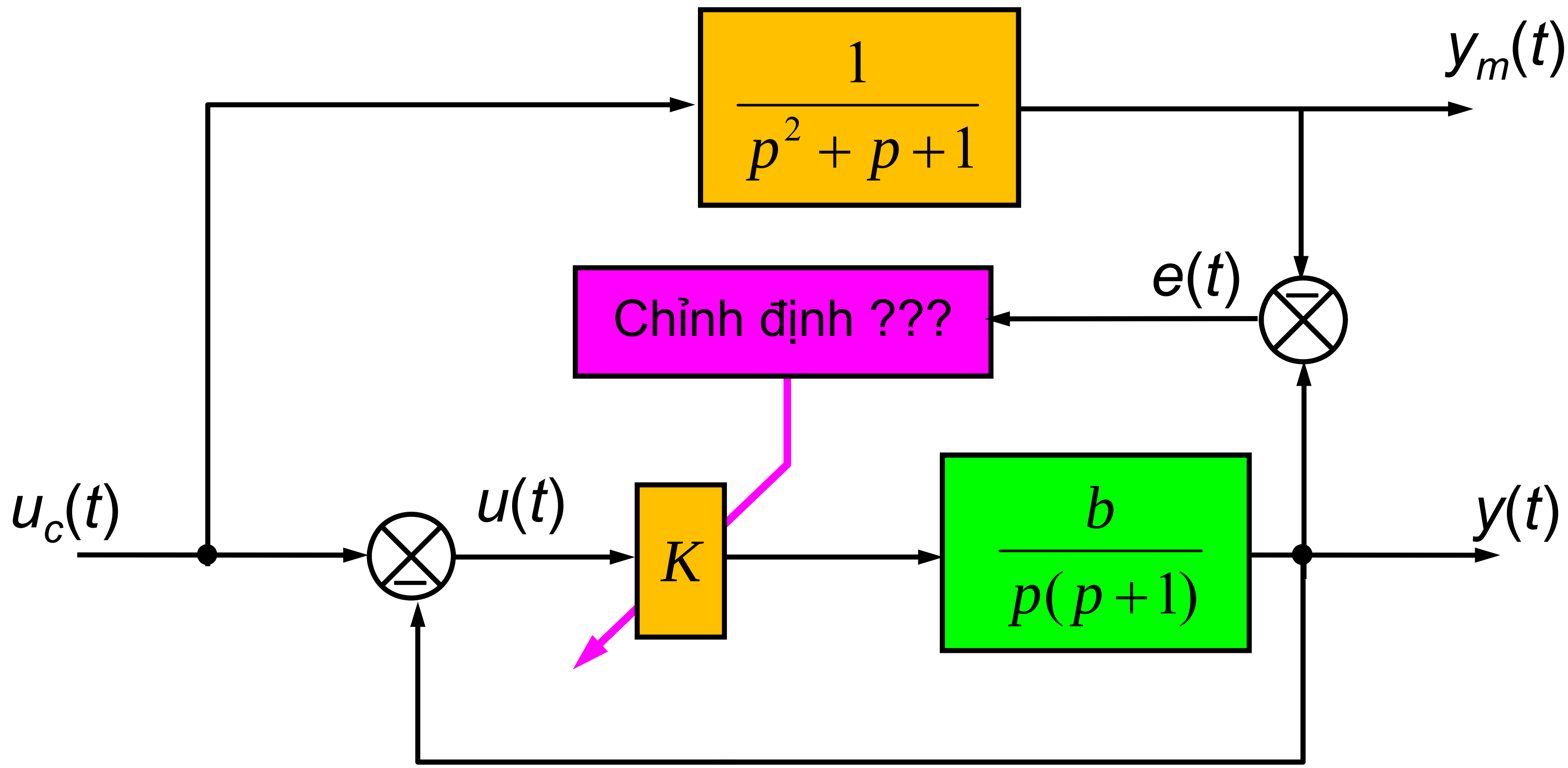
- Dễ thấy bộ điều khiển tỉ lệ: $u(t) = K(u_c(t) - y(t))$

  là phù hợp với bài toán này vì tín hiệu ra của hệ thống kín là:

$$y(t) = \frac{Kb}{p^2 + p + Kb} u_c(t)$$

$\Rightarrow$ Có thể chỉnh được *K* để đáp ứng hệ kín giống mô hình chuẩn

# ĐK thích nghi theo mô hình chuẩn – Thí dụ 2



# ĐK thích nghi theo mô hình chuẩn – Thí dụ 2

- Sai số giữa tín hiệu ra của hệ kín và tín hiệu ra của mô hình:

$$e(t) = \left[\frac{bK}{p^2 + p + bK} - \frac{1}{p^2 + p + 1}\right] u_c(t)$$

- Luật MIT cập nhật thông số bộ điều khiển:

$$\frac{dK}{dt} = -\gamma e \frac{\partial e}{\partial K} \quad \text{trong đó} \quad \frac{\partial e}{\partial K} = \frac{b(p^2 + p)}{(p^2 + p + bK)^2} u_c$$

- Dễ thấy rằng: $u(t) = \dfrac{p^2 + p}{p^2 + p + bK} u_c(t)$

$$\Rightarrow \quad \frac{\partial K}{\partial t} = -\gamma e \left( \frac{b}{p^2 + p + bK} u \right)$$

- Chú ý là không thể dùng công thức trên để cập nhật thông số bộ điều khiển vì ta không biết *b*.

# ĐK thích nghi theo mô hình chuẩn – Thí dụ 2

★ Xấp xỉ luật MIT:

- chú ý rằng trạng thái tối ưu, đa thức đặc trưng của hệ thống điều khiển vòng kín đồng nhất bằng đa thức đặc trưng của mô hình chuẩn, tức là:

$$p^2 + p + bK = p^2 + p + 1$$

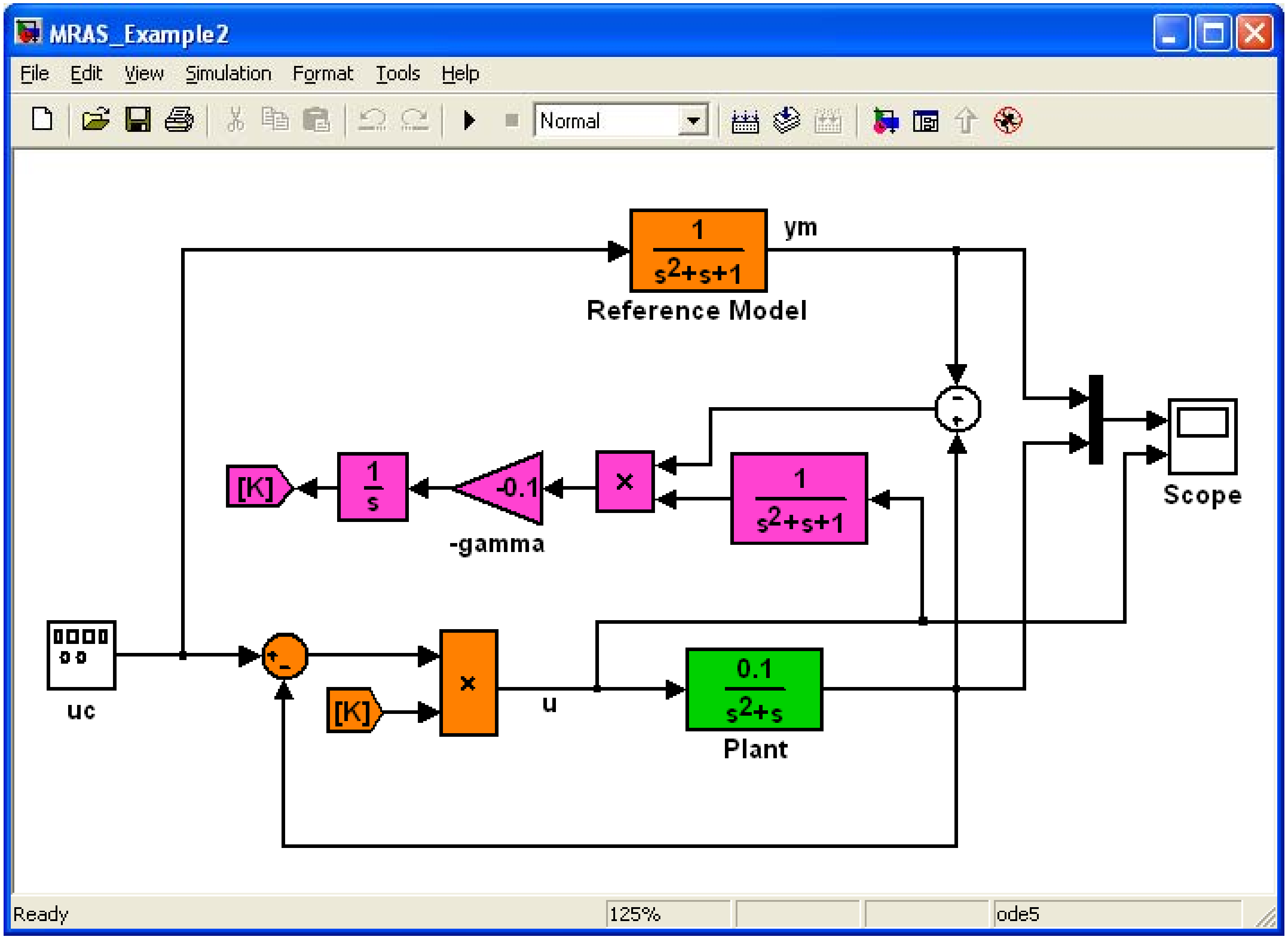
- Gộp thông số *b* ở tử số của các công thức cập nhật thông số bộ điều khiển vào hệ số thích nghi $\gamma$

$\Rightarrow$ Luật MIT gần đúng cập nhật thông số bộ điều khiển như sau:

$$\frac{\partial K}{\partial t} = -\gamma e\left(\frac{1}{p^2 + p + 1}u\right)$$

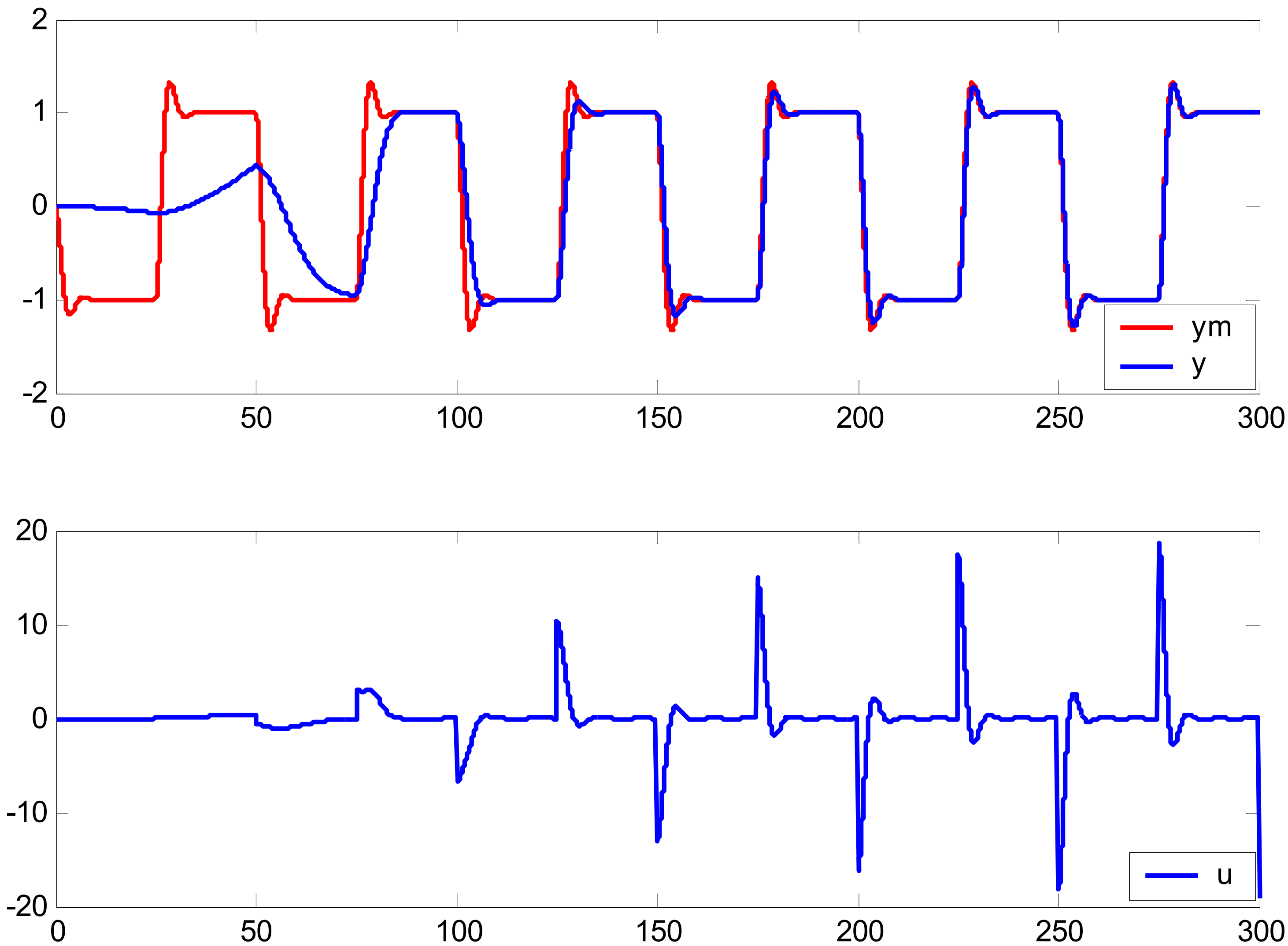
Chọn $\gamma = 0.1$

# ĐK thích nghi theo mô hình chuẩn – Thí dụ 2

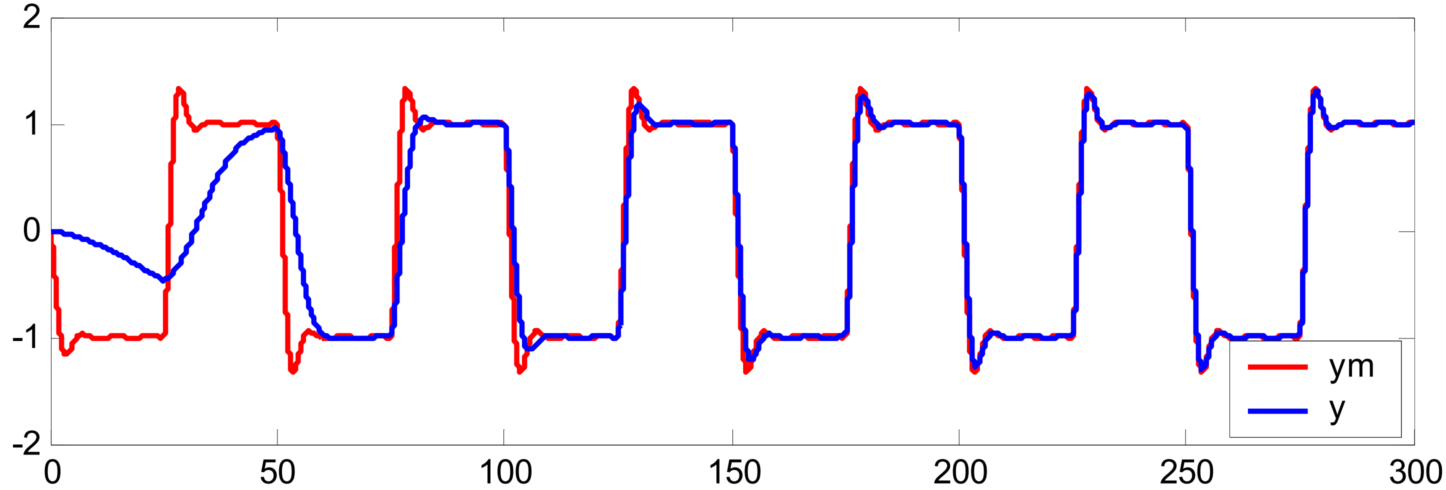


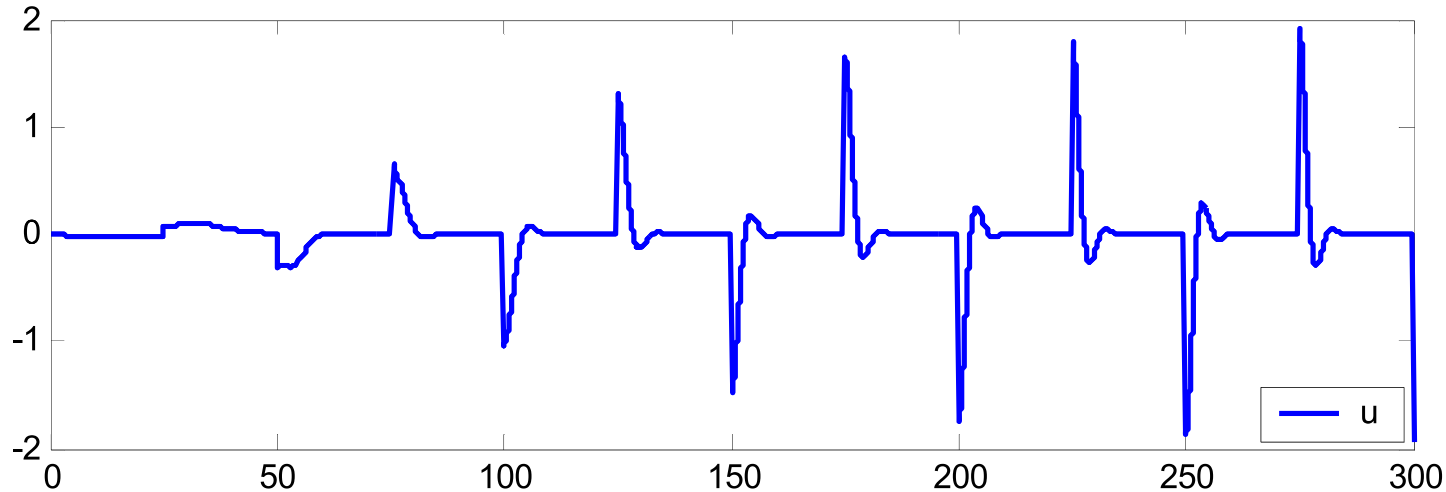
# ĐK thích nghi theo mô hình chuẩn – Thí dụ 2

Kết quả mô phỏng khi *b* =0.1



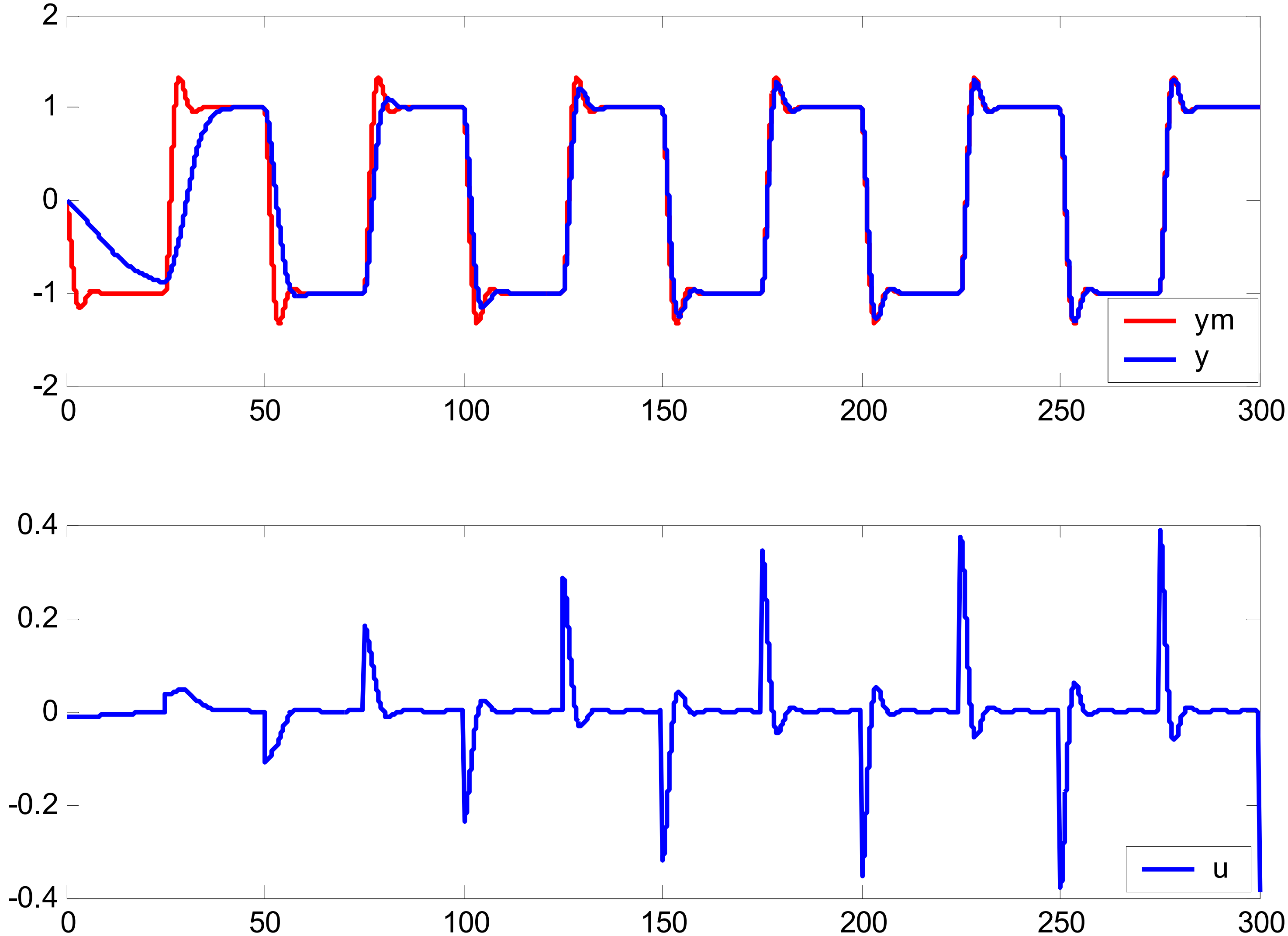
Kết quả mô phỏng khi $b$ =1.0



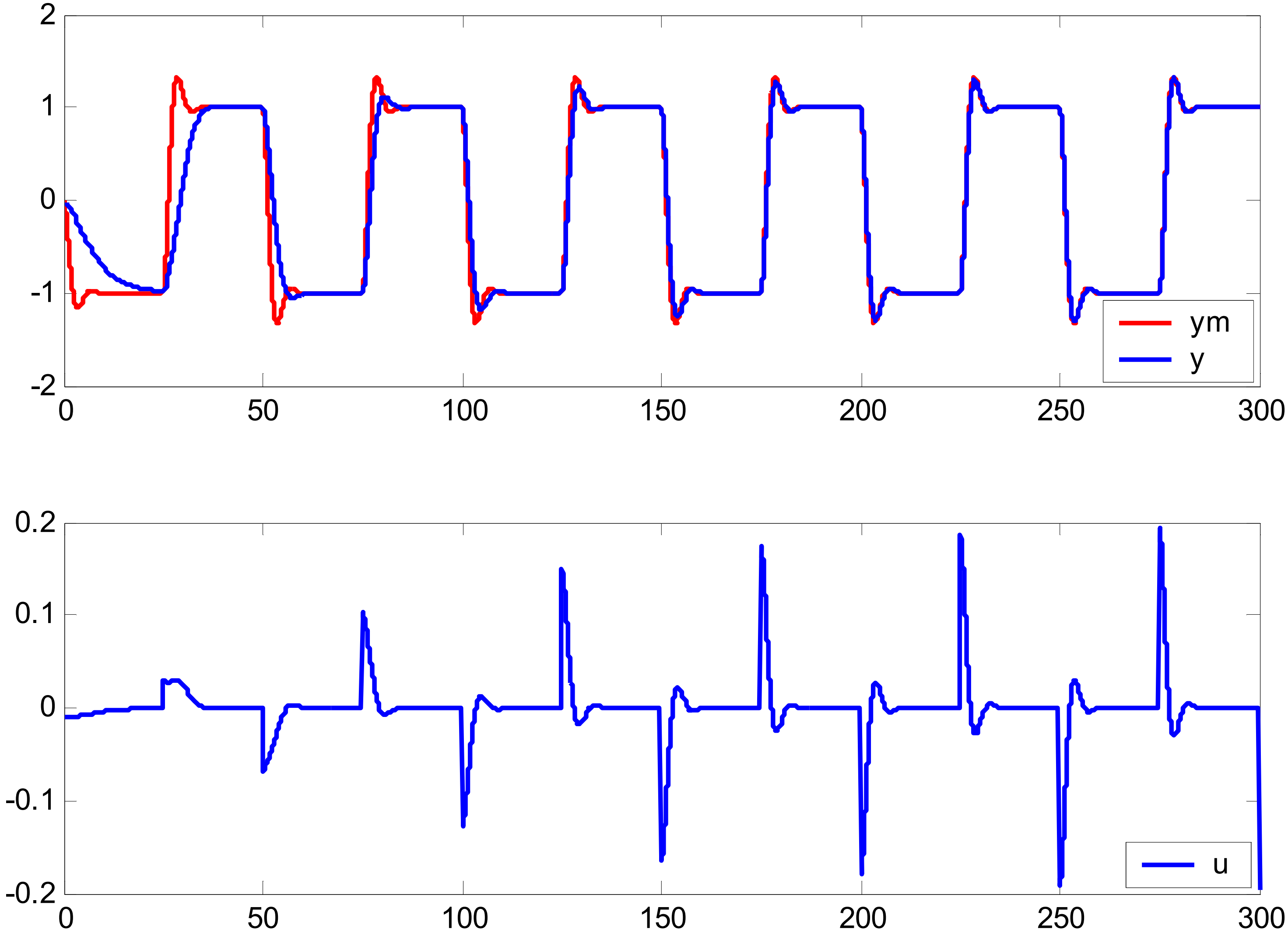



# ĐK thích nghi theo mô hình chuẩn – Thí dụ 2

Kết quả mô phỏng khi *b* =5.0



### Kết quả mô phỏng khi $b$ =10.0



# ĐK thích nghi theo mô hình chuẩn – Thí dụ 3

- Đối tượng điều khiển: $y(t) = \dfrac{p+a}{p^2+bp+c}u(t)$

  Trong đó *a*, *b*, và *c* là các thông số chưa biết của đối tượng.

  ***Yêu cầu:*** Thiết kế hệ thống điều khiển thích nghi sao cho đáp ứng của hệ thống bám theo mô hình chuẩn:

$$y_m(t) = \frac{16}{p^2+8p+16}u_c(t)$$

- ***Giải:***
- Bước 1: Phân tích *B* dưới dạng $B = B^+B^-$ $\Rightarrow \begin{cases} B^+ = p+a \\ B^- = 1 \end{cases}$
- Bước 2: Kiểm tra MH chuẩn có thỏa mãn đ.kiện tồn tại lời giải:

$$B_m = B^-B'_m \qquad \Rightarrow \quad B'_m = 16$$

$$\underbrace{\text{bậc}(A_m)}_{2} - \underbrace{\text{bậc}(B_m)}_{0} \geq \underbrace{\text{bậc}(A)}_{2} - \underbrace{\text{bậc}(B)}_{1}$$

# ĐK thích nghi theo mô hình chuẩn – Thí dụ 3

- Bước 3: Chọn bậc của $A_0$ :

$$\text{bậc}(A_0) = 2\text{bậc}(A) - \text{bậc}(A_m) - \text{bậc}(B^+) - 1 \;= 4 - 2 - 1 - 1 = 0$$

$\Rightarrow$ Chọn $A_0 = 1$

- Bước 4: Chọn bậc của *R*, *T*, *S* :

$$\text{bậc}(R) = \text{bậc}(A_0) + \text{bậc}(A_m) - \text{bậc}(A) + \text{bậc}(B^+) = 0 + 2 - 2 + 1 = 1$$

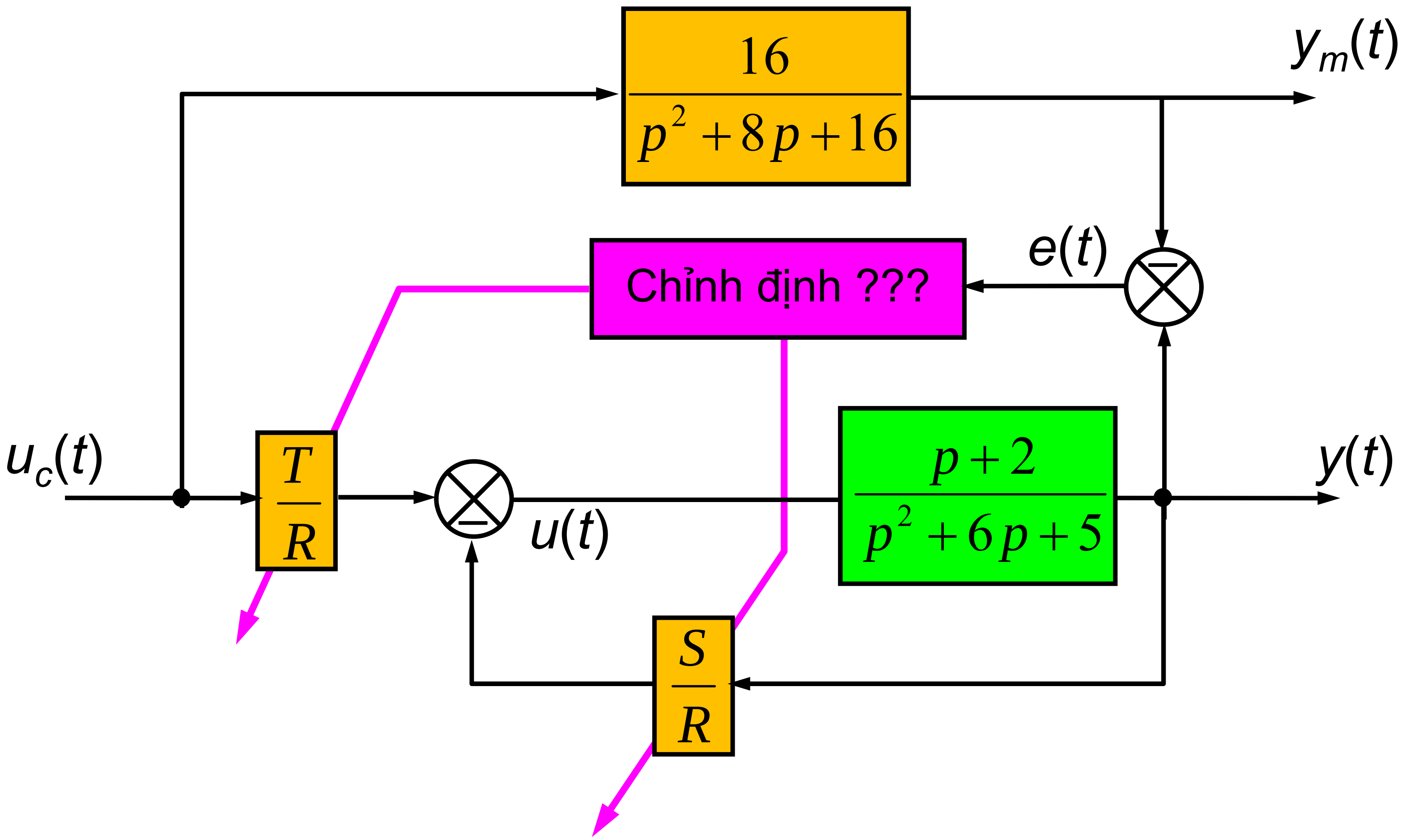
$$\text{bậc}(T) = \text{bậc}(A_0) + \text{bậc}(B'_m) = 0 + 0 = 0$$

$$\begin{aligned}\text{bậc}(S) &= \min\{\text{bậc}(R), [\text{bậc}(A_0) + \text{bậc}(A_m) - \text{bậc}(B^-)]\} \\ &= \min\{1, [0 + 2 - 0]\} = 1\end{aligned}$$

$\Rightarrow$ Luật điều khiển : $Ru(t) = Tu_c(t) - Sy(t)$

- Không mất tính tổng quát, chọn: $r_0 = 1$
- Vector thông số cần cập nhật là: $\boldsymbol{\theta} = [r_1, t_0, s_0, s_1]^T$

# ĐK thích nghi theo mô hình chuẩn – Thí dụ 3



# ĐK thích nghi theo mô hình chuẩn – Thí dụ 3

- Bước 5: Viết cụ thể luật MIT gần đúng cập nhật từng thông số:

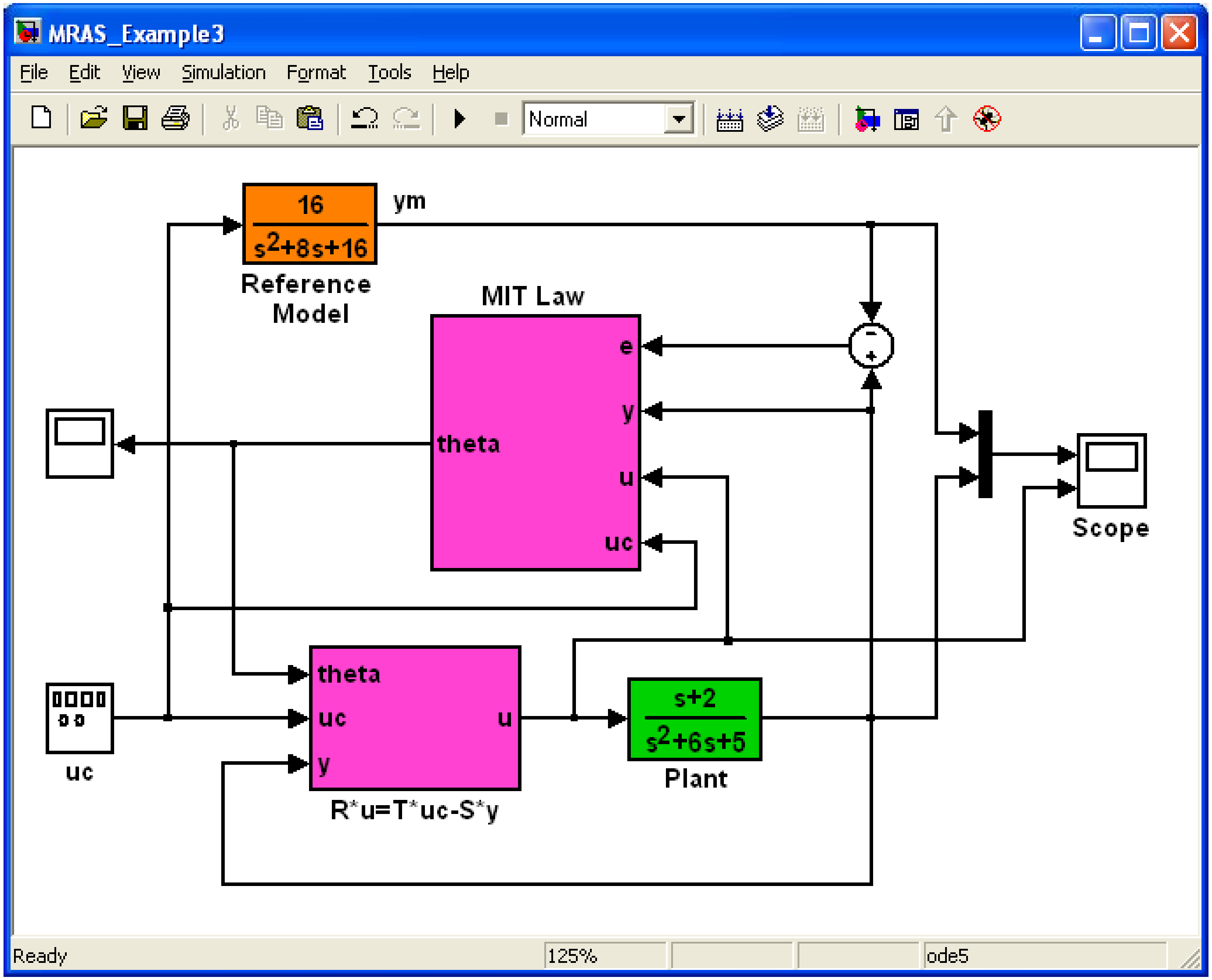
$$\frac{dt_0}{dt} = -\gamma e\left(\frac{1}{(p^2+8p+16)}u_c\right)$$

$$\frac{ds_0}{dt} = \gamma e\left(\frac{p}{p^2+8p+16}y\right)$$

$$\frac{ds_1}{dt} = \gamma e\left(\frac{1}{p^2+8p+16}y\right)$$

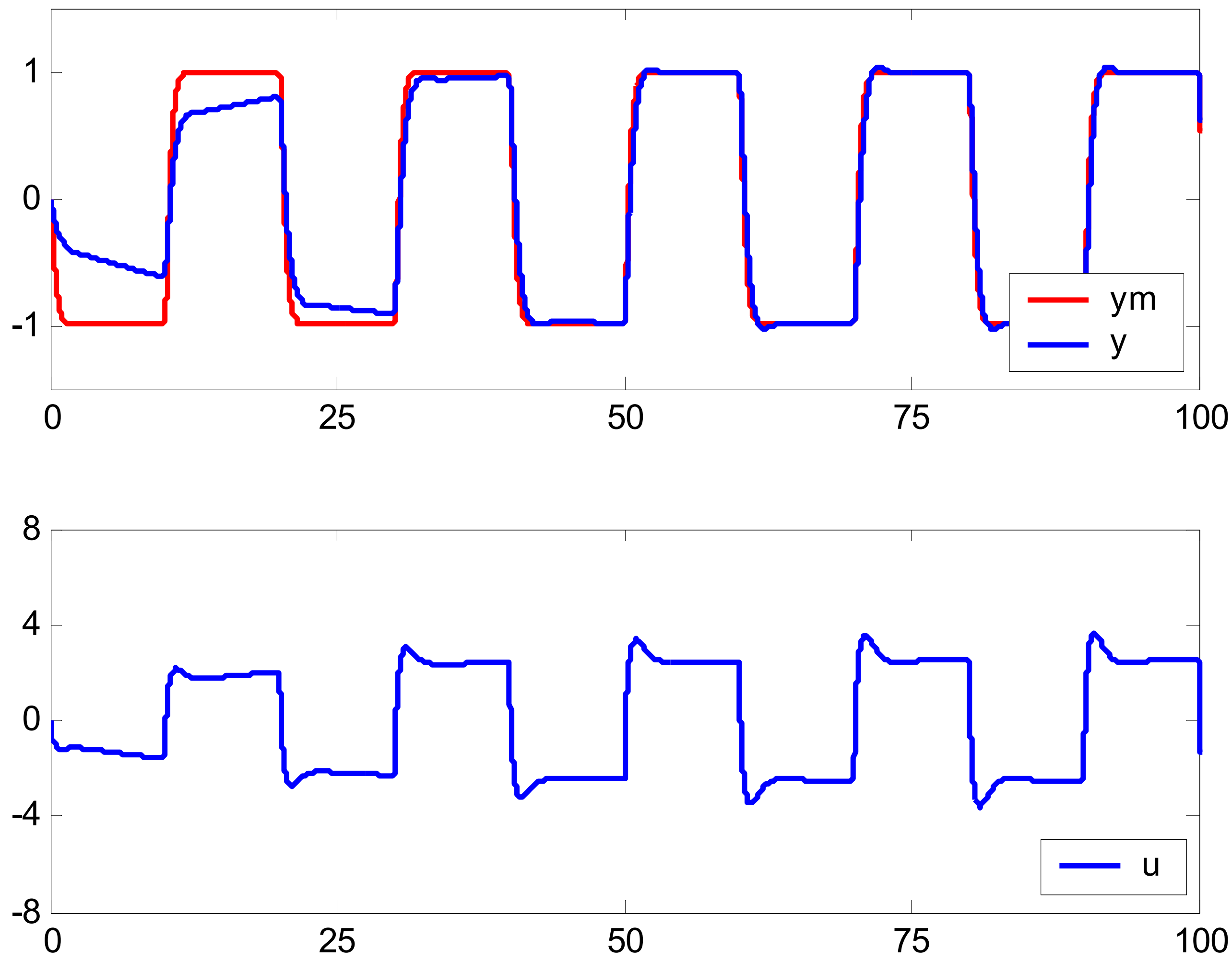
$$\frac{dr_1}{dt} = \gamma e\left(\frac{1}{p^2+8p+16}u\right)$$

# ĐK thích nghi theo mô hình chuẩn – Thí dụ 3



# Điều khiển thích nghi theo mô hình chuẩn – Thí dụ 3

Kết quả mô phỏng khi $a$ =2.0, $b$ =6.0, $c$ =5.0



# Khuyết điểm của hệ MRAS dùng luật MIT

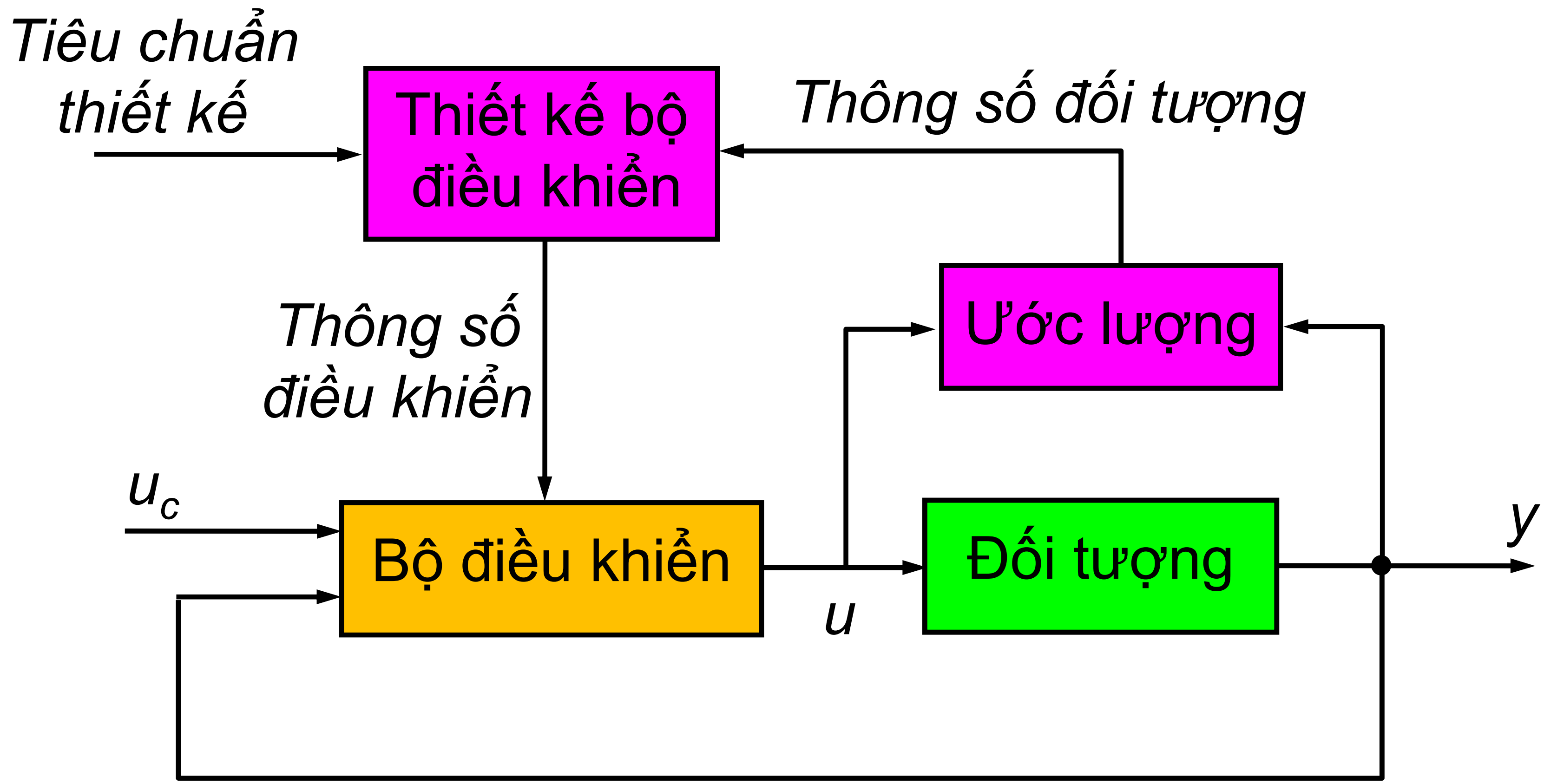
- Không đảm bảo tính ổn định của hệ thống kín trong quá trình thích nghi (quá trình cập nhật thông số)
- Không đảm bảo thông số của bộ điều khiển hội tụ đến thông số “đúng” cho dù chọn cấu trúc điều khiển phù hợp.
- Chất lượng điều khiển của hệ MRAS bị ảnh hưởng bị giá trị khởi đầu của các thông số.
- Chất lượng hệ thống điều khiển thích nghi theo mô hình chuẩn phụ thuộc vào hệ số thích nghi $\gamma$
  - $\gamma$ nhỏ: hệ thích nghi chậm
  - $\gamma$ lớn: hệ thích nghi nhanh nhưng có thể gây mất ổn định

# HỆ ĐIỀU KHIỂN TỰ CHỈNH
# (Self Tuning Regulator – STR)

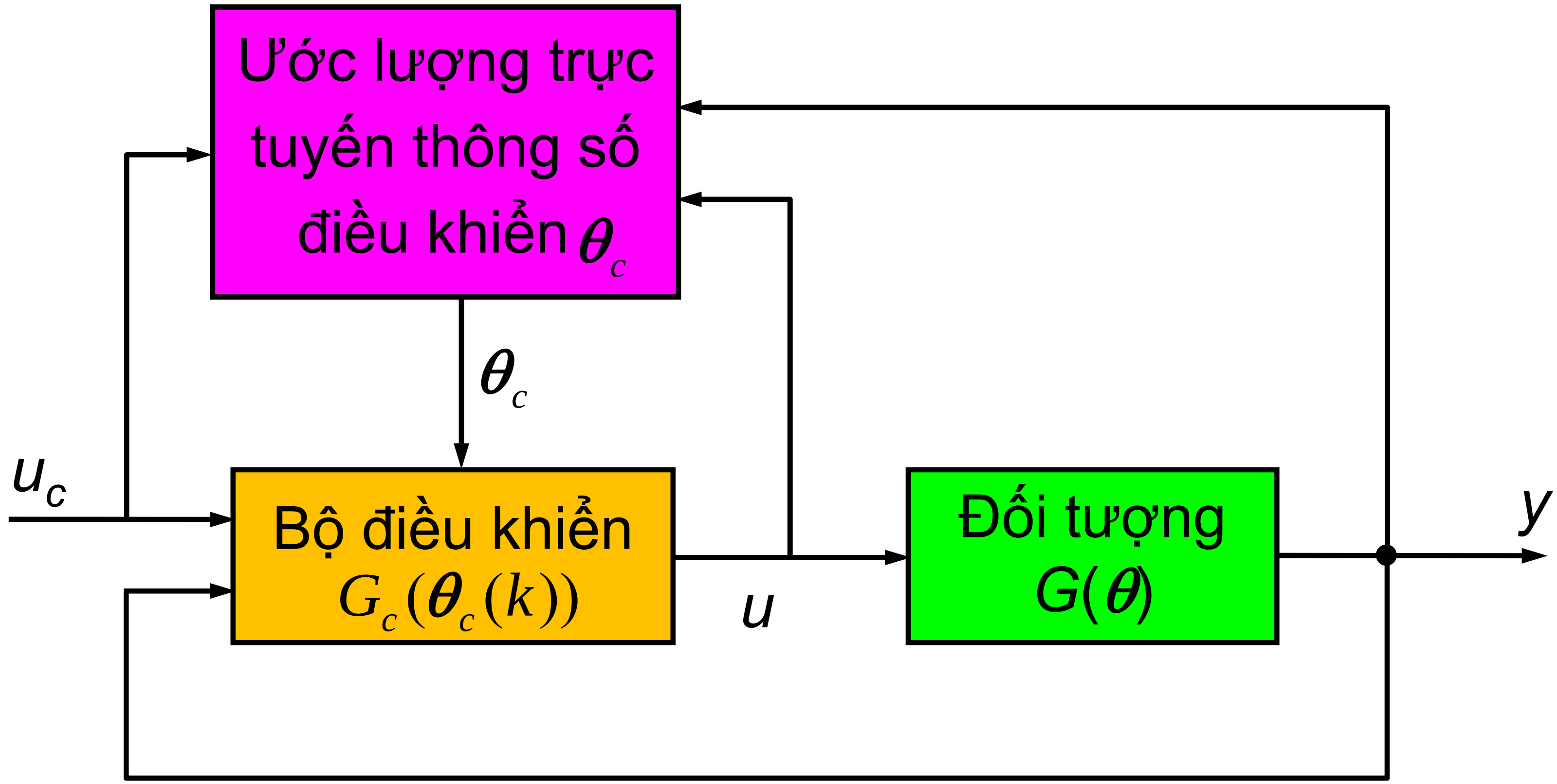
# Khái niệm về hệ điều khiển tự chỉnh

- Quá trình thiết kế hệ thống điều khiển gồm 2 bước chính:
  - Mô hình hóa/nhận dạng mô hình của đối tượng
  - Thiết kế bộ điều khiển (có thể là PID, phân bố cực, toàn phương tuyến tính – LQ, điều khiển theo mô hình chuẩn – MRC,…) dựa trên mô hình toán đã nhận dạng
- Hệ điều khiển tự chỉnh là hệ thống được thiết kế nhằm thực hiện trực tuyến đồng thời hai nhiệm vụ:
  - nhận dạng thông số mô hình
  - tính toán luật điều khiển

# Sơ đồ khối tổng quát hệ điều khiển tự chỉnh

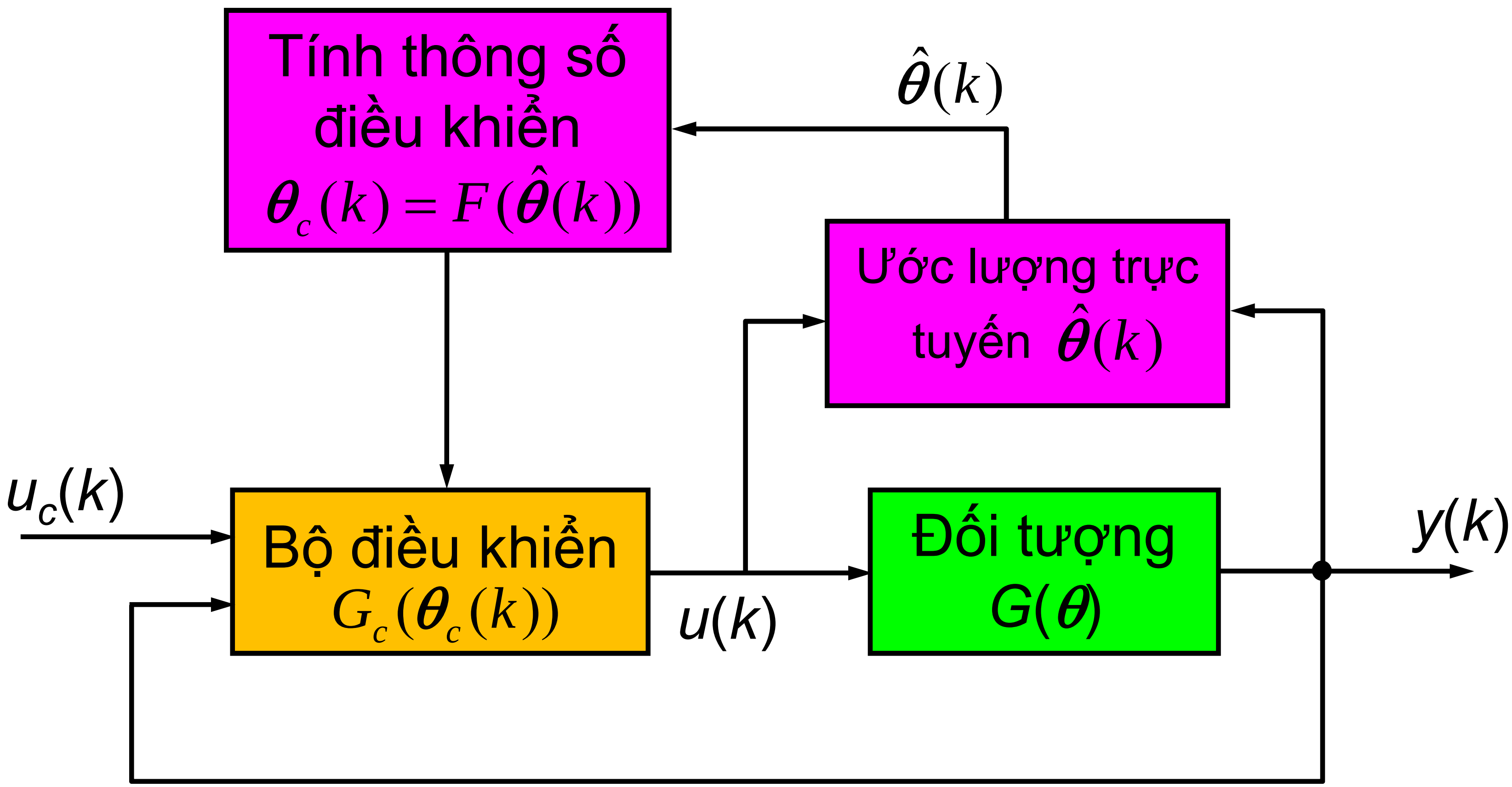


# Hệ điều khiển tự chỉnh trực tiếp




- Hệ điều khiển tự chỉnh trực tiếp: ước lượng trực tiếp thông số bộ ĐK mà không cần nhận dạng mô hình toán của đối tượng.
- Nếu tiêu chuẩn ước lượng là tối thiểu sai lệch giữa t/hiệu ra của đ/tượng và MH chuẩn $\Rightarrow$ MRAS (đã đề cập ở phần trước)

# Hệ điều khiển tự chỉnh gián tiếp




- Hệ ĐK tự chỉnh gián tiếp: ước lượng trực tuyến thông số mô hình đối tượng, sau đó tính toán thông số bộ ĐK dựa vào thông số mô hình ước lượng được ⇒ sẽ trình bày tiếp theo

# Trình tự thiết kế bộ điều khiển tự chỉnh gián tiếp

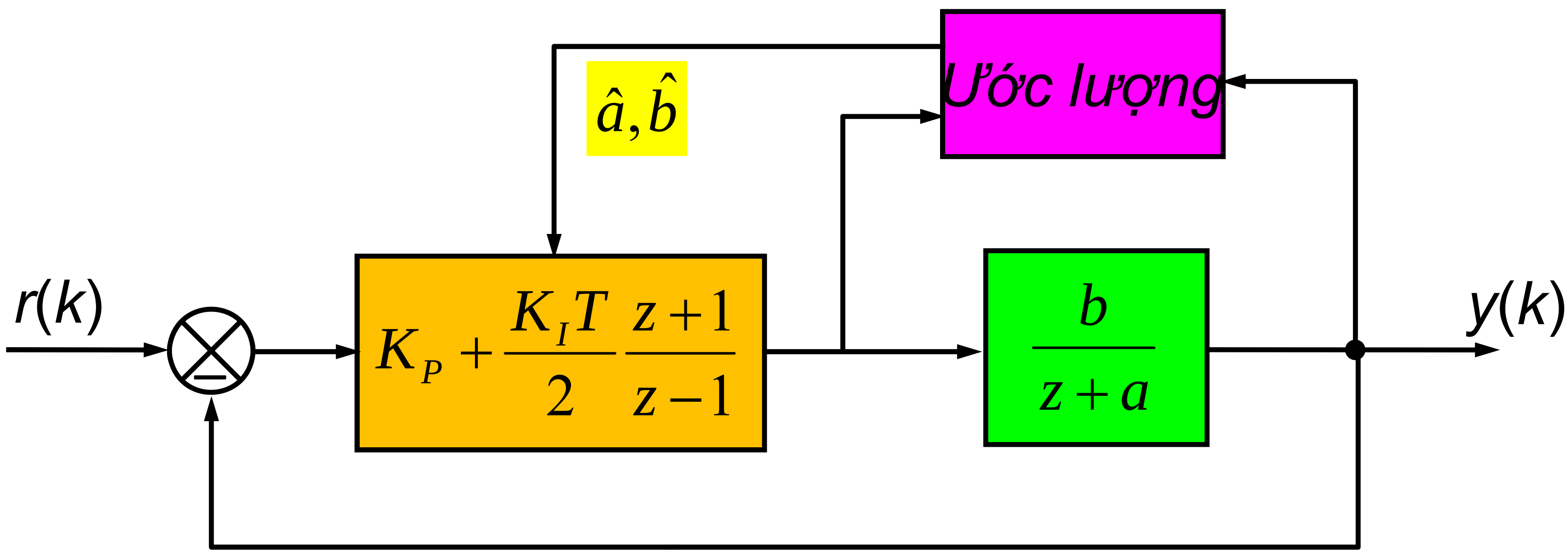
- ***Bước 1:*** Viết các công thức ước lượng bình phương tối thiểu đệ qui để cập nhật trực tuyến thông số của đối tượng (hàm truyền hoặc phương trình trạng thái).
- ***Bước 2:*** Viết biểu thức xác định luật điều khiển là hàm của tham số của đối tượng đã cập nhật ở bước 1.
  - Điều khiển PID
  - Điều khiển theo mô hình chuẩn
  - Điều khiển phân bố cực
  - Điều khiển LQR
  - …
- ***Bước 3:*** Mô phỏng hoặc thực nghiệm chọn hệ số quên của giải thuật ước lượng bình phương tối thiểu phù hợp.

# Điều khiển tự chỉnh gián tiếp – Thí dụ 1 – PI

- Cho đối tượng bậc 1 có thông số chưa biết, rời rạc hóa đối tượng với chu kỳ lấy mẫu $T = 0.1$ (sec) ta được hàm truyền có dạng:

$$y(k) = \frac{b}{q+a}u(k)$$

Hãy thiết kế bộ điều khiển PI tự chỉnh sao cho hệ thống kín có cặp cực phức với $\xi = 0.707$ và $\omega_n = 4$.



# Điều khiển tự chỉnh gián tiếp – Thí dụ 1 – PI

★ ***Giải:***

★ ***Bước 1:*** Xây dựng các công thức ước lượng trực tuyến thông số hàm truyền rời rạc của đối tượng:

➢ Ta có:

$$G(z) = \frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{b}{z+a} = \frac{bz^{-1}}{1+az^{-1}}$$

$$\Rightarrow \quad (1 + a_1 z^{-1})Y(z) = (b_1 z^{-1})U(z)$$

$$\Rightarrow \quad y(k) = -a_1 y(k-1) + b_1 u(k-1)$$

➢ Đặt: $\boldsymbol{\varphi}(k) = \begin{bmatrix} -y(k-1) & u(k-1) \end{bmatrix}^T$

$$\boldsymbol{\theta} = \begin{bmatrix} a & b \end{bmatrix}^T$$

$$\Rightarrow \quad y(k) = \boldsymbol{\varphi}^T(k)\boldsymbol{\theta}$$

# Điều khiển tự chỉnh gián tiếp – Thí dụ 1 – PI

- Thuật toán ước lượng bình phương tối thiểu đệ qui:

$$\hat{\boldsymbol{\theta}}(k) = \hat{\boldsymbol{\theta}}(k-1) + L(k)\varepsilon(k)$$

$$\varepsilon(k) = y(k) - \boldsymbol{\varphi}^T(k)\hat{\boldsymbol{\theta}}(k-1)$$

$$L(k) = \frac{P(k-1)\boldsymbol{\varphi}(k)}{\lambda + \boldsymbol{\varphi}^T(k)P(k-1)\boldsymbol{\varphi}(k)}$$

$$P(k) = \frac{1}{\lambda}\left[P(k-1) - \frac{P(k-1)\boldsymbol{\varphi}(k)\boldsymbol{\varphi}^T(k)P(k-1)}{\lambda + \boldsymbol{\varphi}^T(k)P(k-1)\boldsymbol{\varphi}(k)}\right]$$

Trong đó: $\hat{\boldsymbol{\theta}}_0 = rand(2,1)$

$P(0) = I_{2\times 2}$

Chạy thuật toán ước lượng tham số trực tuyến, ở thời điểm *k* ta được: $\hat{\boldsymbol{\theta}}(k) = [\hat{a} \quad \hat{b}]$

# Điều khiển tự chỉnh gián tiếp – Thí dụ 1 – PI

- ***Bước 2:*** Thiết kế bộ điều khiển PI dựa vào thông số hàm truyền nhận dạng ở bước 1

  - Hàm truyền bộ điều khiển PI:

$$G_C(z) = K_P + \frac{K_I T}{2}\frac{z+1}{z-1}$$

  - Phương trình đặc trưng của hệ kín:

$$1 + G_C(z)G(z) = 0$$

$$\Rightarrow \quad 1 + \left(K_P + \frac{K_I T}{2}\frac{z+1}{z-1}\right)\left(\frac{\hat{b}}{z+\hat{a}}\right) = 0$$

$$\Rightarrow \quad z^2 + (\hat{b}K_P + 0.25\hat{b}K_I + \hat{a} - 1)z + (0.25\hat{b}K_I - \hat{b}K_P - \hat{a}) = 0 \qquad (1)$$

# Điều khiển tự chỉnh gián tiếp – Thí dụ 1 – PI

- Cặp cực phức mong muốn:

$$z^*_{1,2} = re^{\pm j\varphi}$$

$$r = \exp(-T\xi\omega_n) = 0.754$$

$$\varphi = T\omega_n\sqrt{1-\xi^2} = -0.2828(rad)$$

$$\Rightarrow z^*_{1,2} = re^{\pm j\varphi} = 0.754e^{\pm j0.2828}$$

$$\Rightarrow z^*_{1,2} = re^{\pm j\varphi} = 0.724 \pm j0.210$$

- Phương trình đặc trưng mong muốn:

$$(z - z^*_1)(z - z^*_2) = 0$$

$$\Rightarrow (z - 0.724 - j0.210)(z - 0.724 + j0.210) = 0$$

$$\Rightarrow z^2 - 1.4474z + 0.5680 = 0 \qquad (2)$$

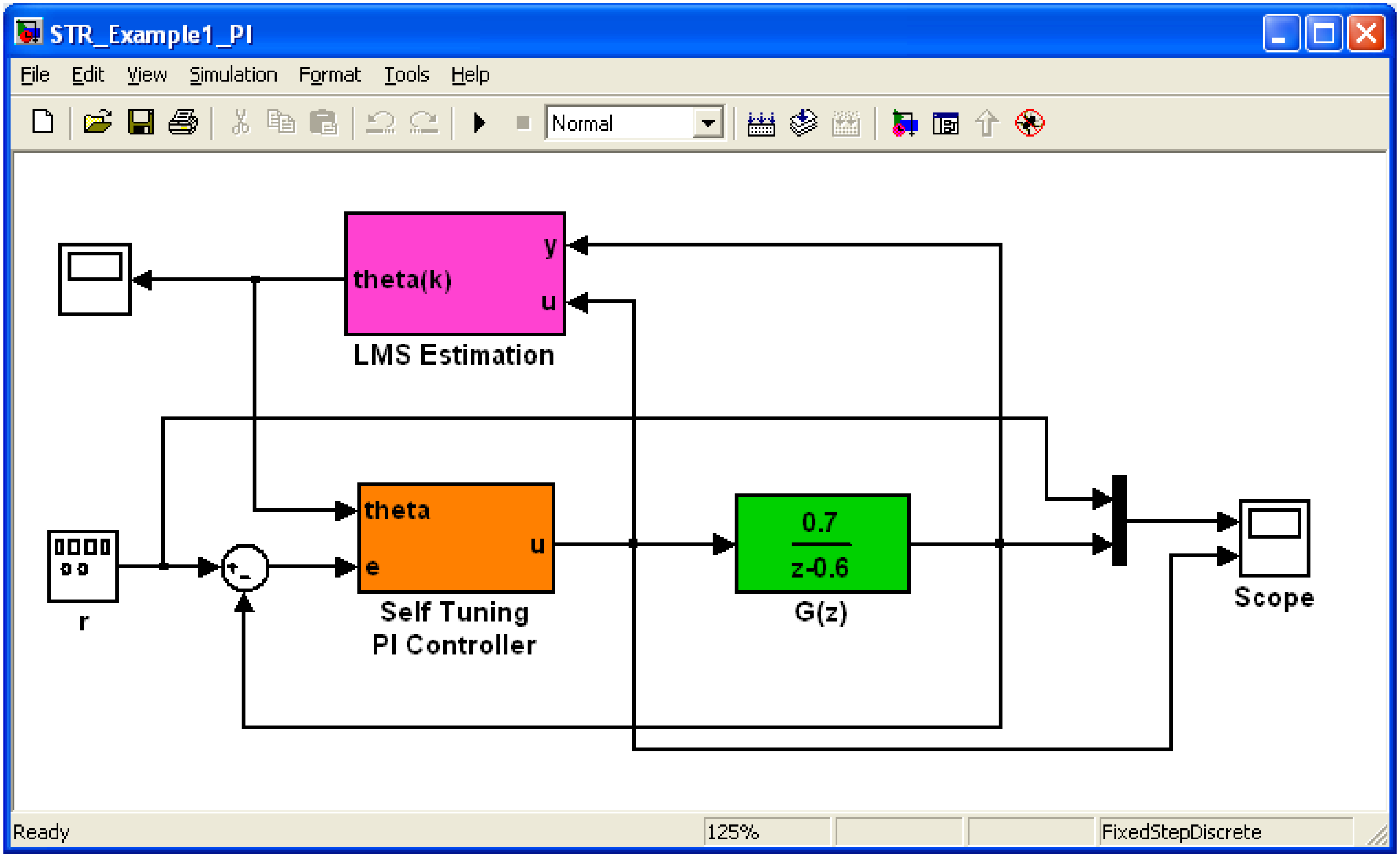
# Điều khiển tự chỉnh gián tiếp – Thí dụ 1 – PI

- Cân bằng (1) và (2)

$$\begin{cases} \hat{b}K_P + 0.05\hat{b}K_I + \hat{a} - 1 = -1.447 \\ 0.05\hat{b}K_I - \hat{b}K_P - \hat{a} = 0.568 \end{cases}$$

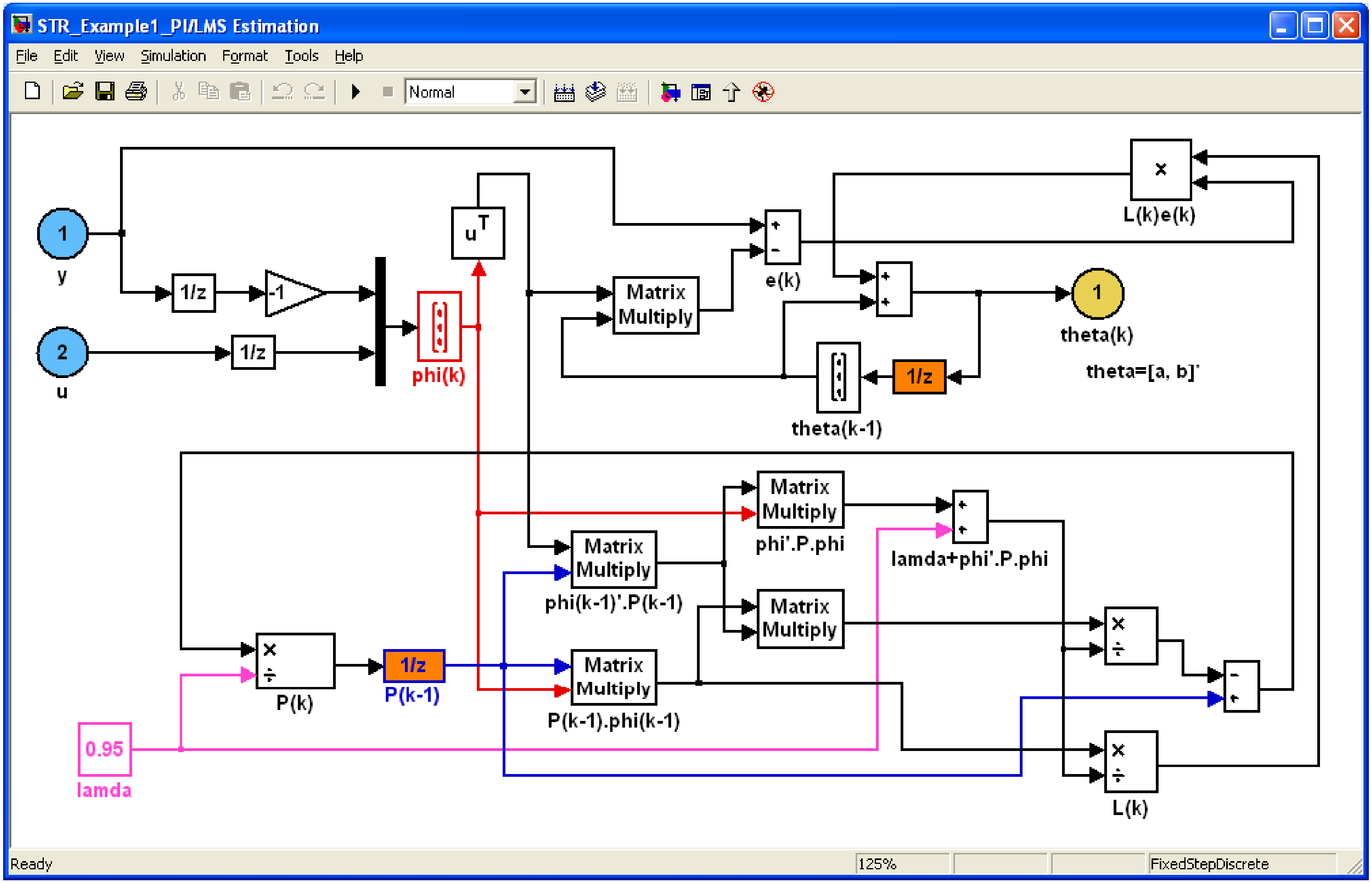
$$\Rightarrow \begin{cases} K_I = 1.21/\hat{b} \\ K_P = (0.508 - \hat{a})/\hat{b} \end{cases}$$

# Điều khiển tự chỉnh gián tiếp – Thí dụ 1 – PI



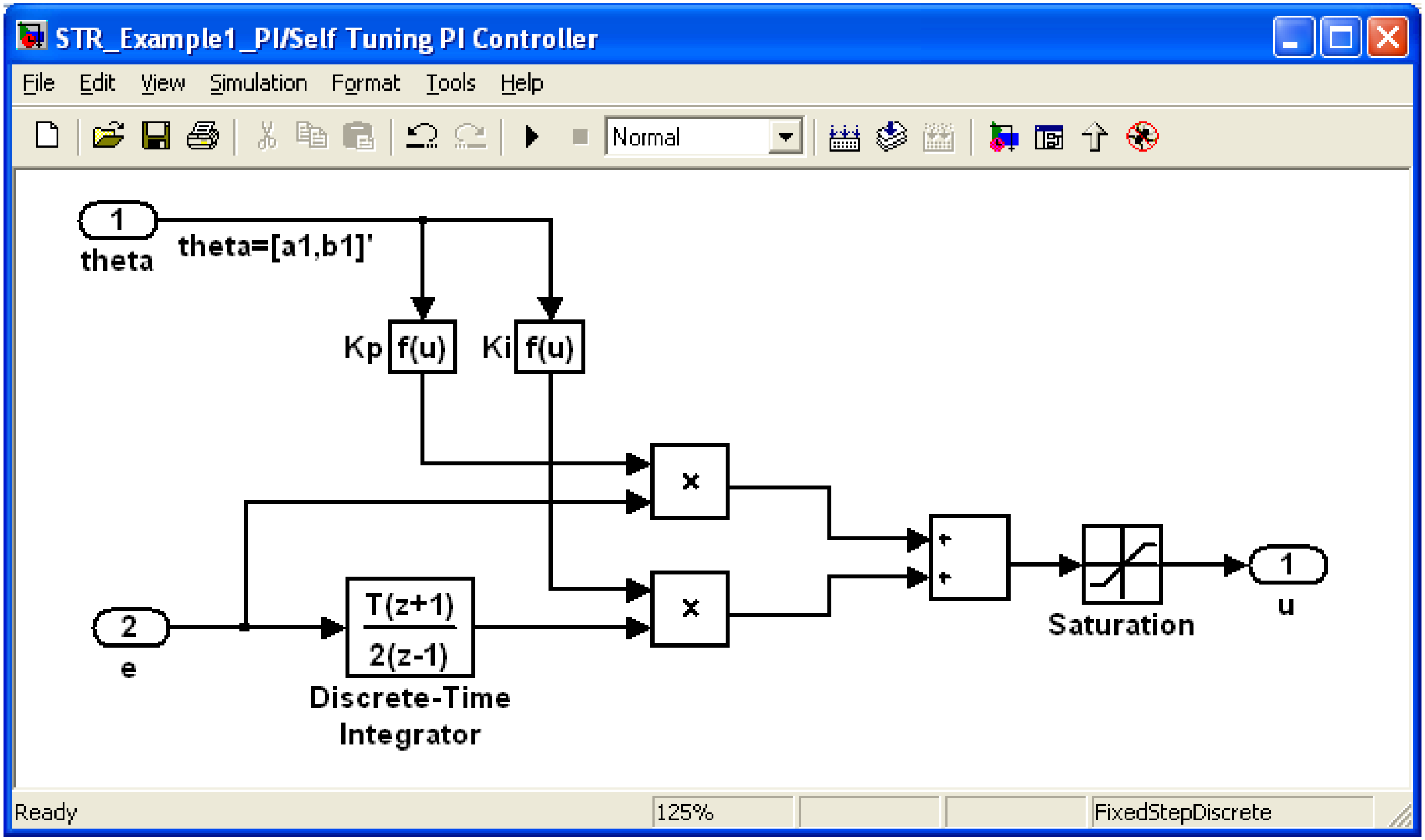

Mô phỏng hệ thống điều khiển PI thích nghi gián tiếp

# Điều khiển tự chỉnh gián tiếp – Thí dụ 1 – PI



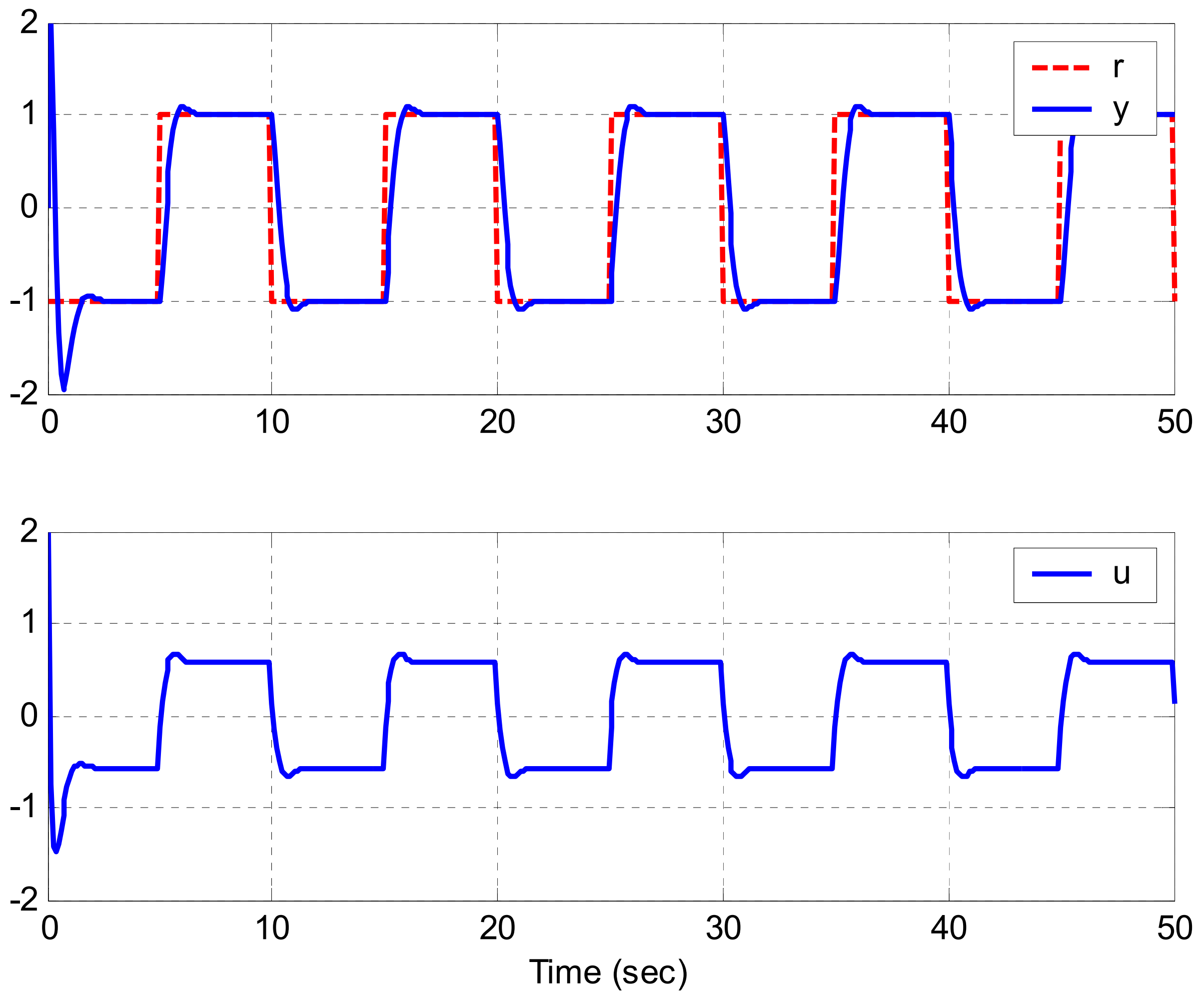

Khối ước lượng bình phương tối thiểu đệ qui

# Điều khiển tự chỉnh gián tiếp – Thí dụ 1 – PI




Bộ điều khiển PI với các hệ số Kp, Ki tính theo thông số của đối tượng

# Điều khiển tự chỉnh gián tiếp – Thí dụ 1 – PI




Đáp ứng của hệ kín sau 1 chu kỳ điều khiển đạt được chất lượng mong muốn tương ứng với cặp cực phức đã chọn

# Điều khiển tự chỉnh gián tiếp – Thí dụ 2

- Cho đối tượng bậc 2 có thông số chưa biết, rời rạc hóa đối tượng với chu kỳ lấy mẫu $T$ = 0.2 (sec) ta được hàm truyền có dạng:

$$y(k) = \frac{b_1 q + b_2}{q^2 + a_1 q + a_2} u(k)$$

Hãy thiết kế bộ điều khiển tự chỉnh gián tiếp sao cho đáp ứng của hệ thống kín bám theo mô hình chuẩn:

$$G_m(s) = \frac{4}{s^2 + 4s + 4}$$

- ***Giải:***
- Rời rạc hóa mô hình chuẩn, ta được:

$$G_m(z) = (1 - z^{-1})\mathcal{Z}\left\{\frac{G_m(s)}{s}\right\} = \frac{0.0615z + 0.0471}{z^2 - 1.341z + 0.449}$$

# Điều khiển tự chỉnh gián tiếp – Thí dụ 2

* ***Bước 1:*** Xây dựng các công thức ước lượng trực tuyến thông số hàm truyền rời rạc:
  - Ta có:

$$G(z)=\frac{Y(z)}{U(z)}=\frac{b_1 z+b_2}{z^2+a_1 z+a_2}=\frac{b_1 z^{-1}+b_2 z^{-2}}{1+a_1 z^{-1}+a_2 z^{-2}}$$

$$\Rightarrow\ (1+a_1 z^{-1}+a_2 z^{-2})Y(z)=(b_1 z^{-1}+b_2 z^{-2})U(z)$$

$$\Rightarrow\ y(k)=-a_1 y(k-1)-a_2 y(k-2)+b_1 u(k-1)+b_2 u(k-1)$$

  - Đặt: $\boldsymbol{\varphi}(k)=\begin{bmatrix}-y(k-1) & -y(k-2) & u(k-1) & u(k-2)\end{bmatrix}^T$

$$\boldsymbol{\theta}=\begin{bmatrix}a_1 & a_2 & b_1 & b_2\end{bmatrix}^T$$

$$\Rightarrow\ \boxed{y(k)=\boldsymbol{\varphi}^T(k)\boldsymbol{\theta}}$$

# Điều khiển tự chỉnh gián tiếp – Thí dụ 2

- Thuật toán ước lượng thông số đối tượng:

$$\hat{\boldsymbol{\theta}}(k) = \hat{\boldsymbol{\theta}}(k-1) + L(k)\varepsilon(k)$$

$$\varepsilon(k) = y(k) - \boldsymbol{\varphi}^T(k)\hat{\boldsymbol{\theta}}(k-1)$$

$$L(k) = \frac{P(k-1)\boldsymbol{\varphi}(k)}{\lambda + \boldsymbol{\varphi}^T(k)P(k-1)\boldsymbol{\varphi}(k)}$$

$$P(k) = \frac{1}{\lambda}\left[P(k-1) - \frac{P(k-1)\boldsymbol{\varphi}(k)\boldsymbol{\varphi}^T(k)P(k-1)}{\lambda + \boldsymbol{\varphi}^T(k)P(k-1)\boldsymbol{\varphi}(k)}\right]$$

Trong đó: $\hat{\boldsymbol{\theta}}_0 = rand(4,1)$

$$P(0) = I_{4\times 4}$$

Chạy thuật toán ước lượng tham số trực tuyến, ở thời điểm *k* ta được: $\hat{\boldsymbol{\theta}}(k) = [\hat{a}_1 \quad \hat{a}_2 \quad \hat{b}_1 \quad \hat{b}_2]$

# Điều khiển tự chỉnh gián tiếp – Thí dụ 2

- ***Bước 2:*** Thiết kế bộ điều khiển theo mô hình chuẩn dựa vào thông số hàm truyền nhận dạng ở bước 1

- Phân tích *B* dưới dạng: $B = B^{+}B^{-} \;\Rightarrow\; \begin{cases} B^{+} = q + b_2/b_1 \\ B^{-} = b_1 \end{cases}$

- Kiểm tra các đ/kiện tồn tại bộ điều khiển theo mô hình chuẩn:

$$B_m = B^{-}B'_m \quad \Rightarrow \quad B'_m = (0.0615q + 0.0471)/b_1$$

$$\underbrace{\text{bậc}(A_m)}_{2} - \underbrace{\text{bậc}(B_m)}_{1} \geq \underbrace{\text{bậc}(A)}_{2} - \underbrace{\text{bậc}(B)}_{1}$$

- Chọn bậc $A_0$:

$$\text{bậc}(A_0) \geq 2\underbrace{\text{bậc}(A)}_{2} - \underbrace{\text{bậc}(A_m)}_{2} - \underbrace{\text{bậc}(B^{+})}_{1} - 1 = 0$$

$\Rightarrow$ Chọn bậc $A_0$ bằng 0 $\Rightarrow A_0 = 1$

# Điều khiển tự chỉnh gián tiếp – Thí dụ 2

- Chọn bậc $R_1$ và $S$:

$$\text{bậc}(R_1) = \text{bậc}(A_0) + \text{bậc}(A_m) - \text{bậc}(A) = 0 + 2 - 2 = 0$$

$$\text{bậc}(S) = \min\{[\text{bậc}(R_1) + \text{bậc}(B^+)], [\text{bậc}(A_0) + \text{bậc}(A_m) - \text{bậc}(B^-)]\}$$
$$= \min\{[0+1],[0+2-0]\} = 1$$

$$\Rightarrow \begin{cases} R_1 = r_0 \\ S = s_0 q + s_1 \end{cases}$$

- Tính $S$ và $R_1$ bằng cách giải phương trình Diophantine:

$$AR_1 + B^- S = A_0 A_m$$

$$\Rightarrow (q^2 + \hat{a}_1 q + \hat{a}_2) r_0 + \hat{b}_1 (s_0 q + s_1) = q^2 - 1.341q + 0.449$$

$$\Rightarrow \quad r_0 q^2 + (r_0 \hat{a}_1 + s_0 \hat{b}_1) q + (r_0 \hat{a}_2 + s_1 \hat{b}_1) = q^2 - 1.341q + 0.449$$

$$\Rightarrow \begin{cases} r_0 = 1 \\ s_0 = (-1.341 - \hat{a}_1)/\hat{b}_1 \\ s_1 = (0.449 - \hat{a}_2)/\hat{b}_1 \end{cases}$$

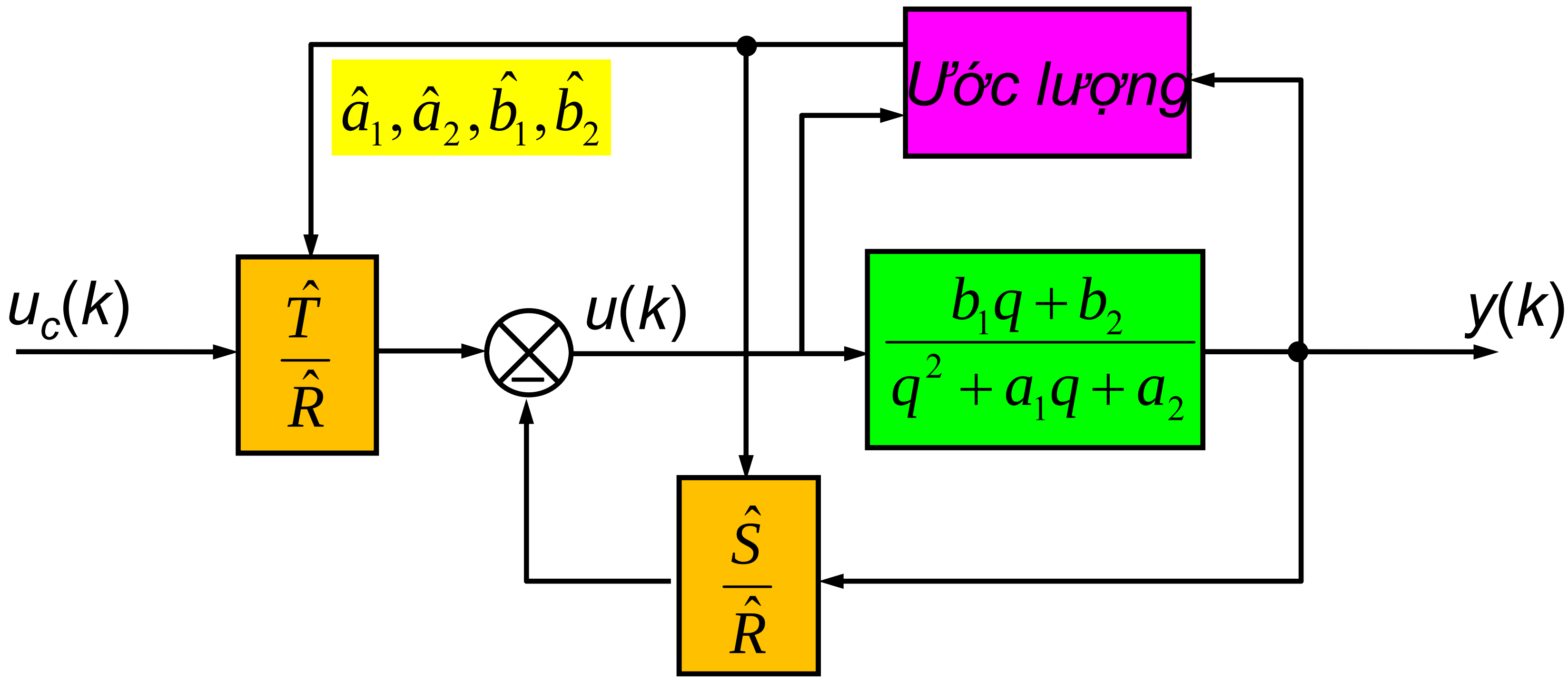
# Điều khiển tự chỉnh gián tiếp – Thí dụ 2

- Tính *R* và *T*:

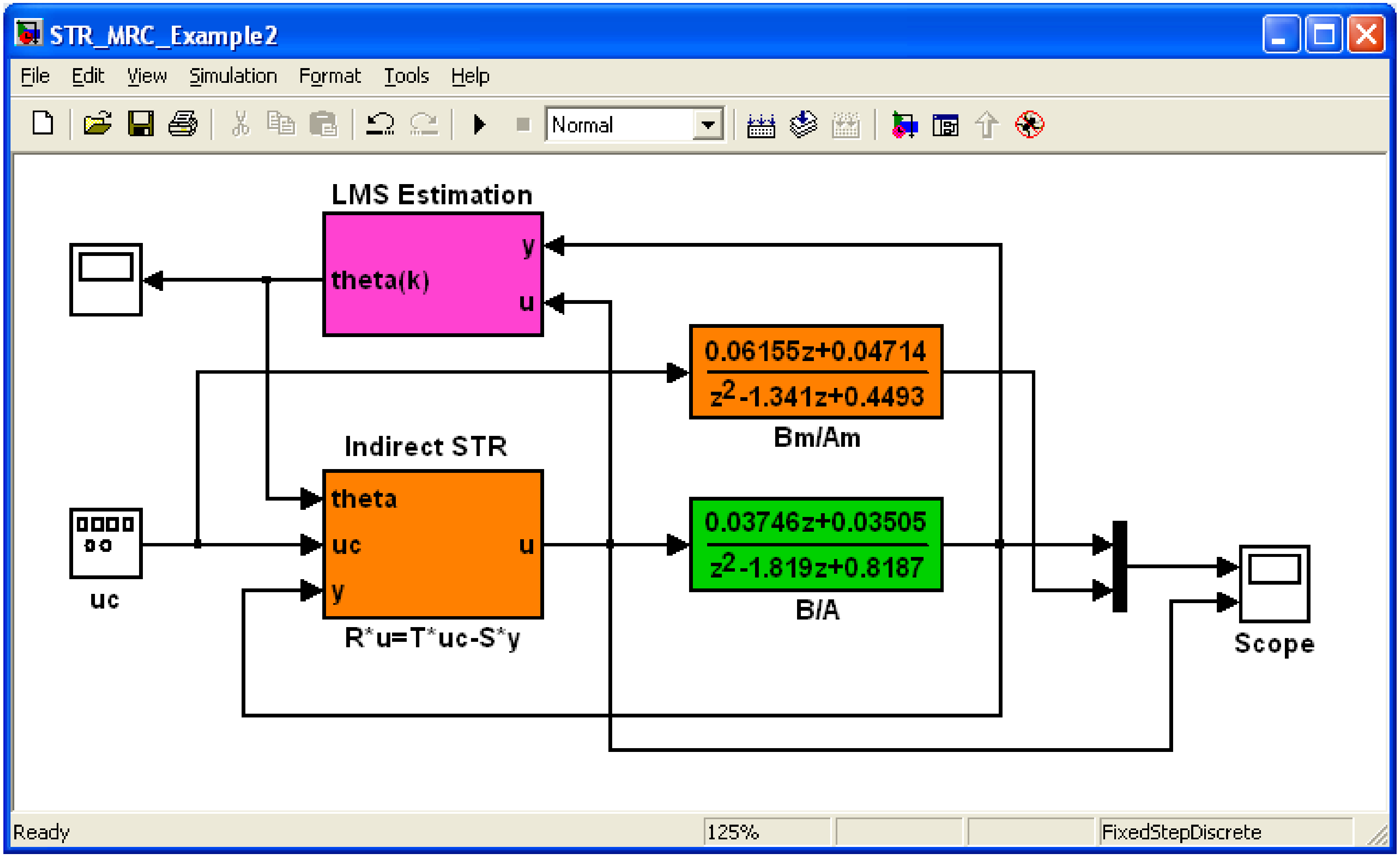
$$R = R_1 B^+ \quad \Rightarrow \quad \hat{R} = (q + \hat{b}_2 / \hat{b}_1)$$

$$T = A_0 B'_m \quad \Rightarrow \quad \hat{T} = (0.0615z + 0.0471) / \hat{b}_1$$

Kết luận: Hệ thống điều khiển tự chỉnh gián tiếp theo mô hình chuẩn sau khi thiết kế:

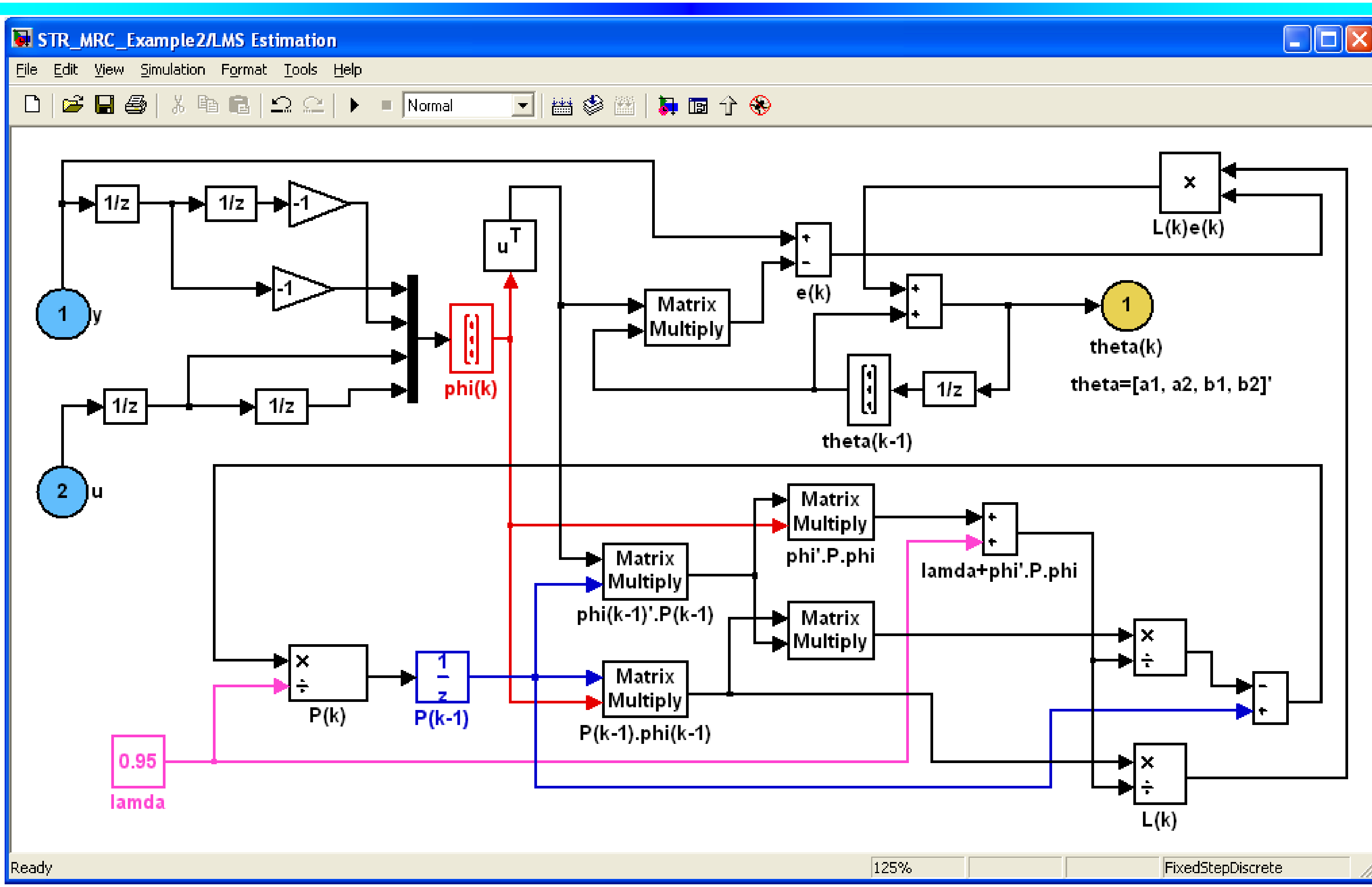


# Điều khiển tự chỉnh gián tiếp – Thí dụ 2



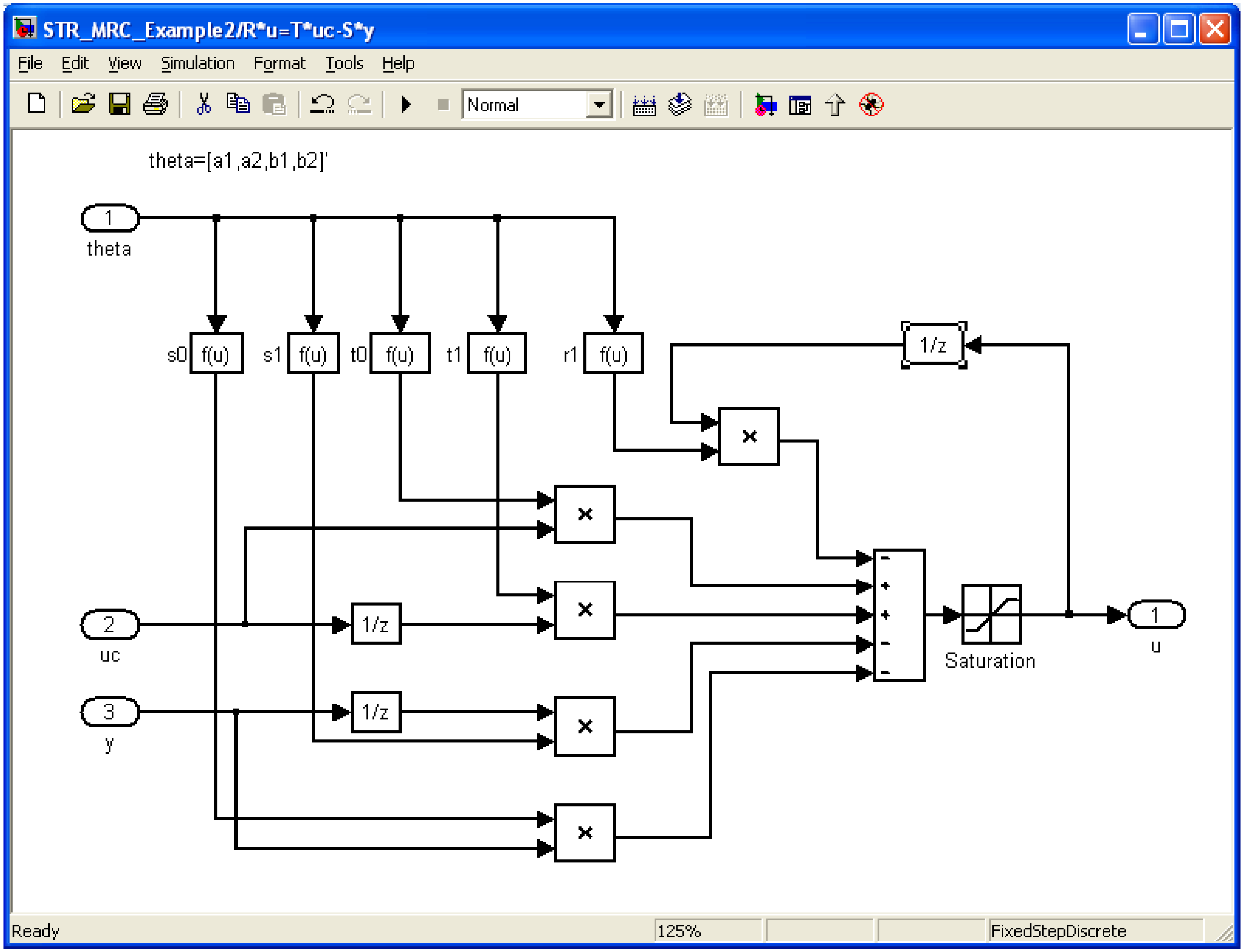

Mô phỏng hệ thống điều khiển
tự chỉnh gián tiếp theo mô hình chuẩn

# Điều khiển tự chỉnh gián tiếp – Thí dụ 2



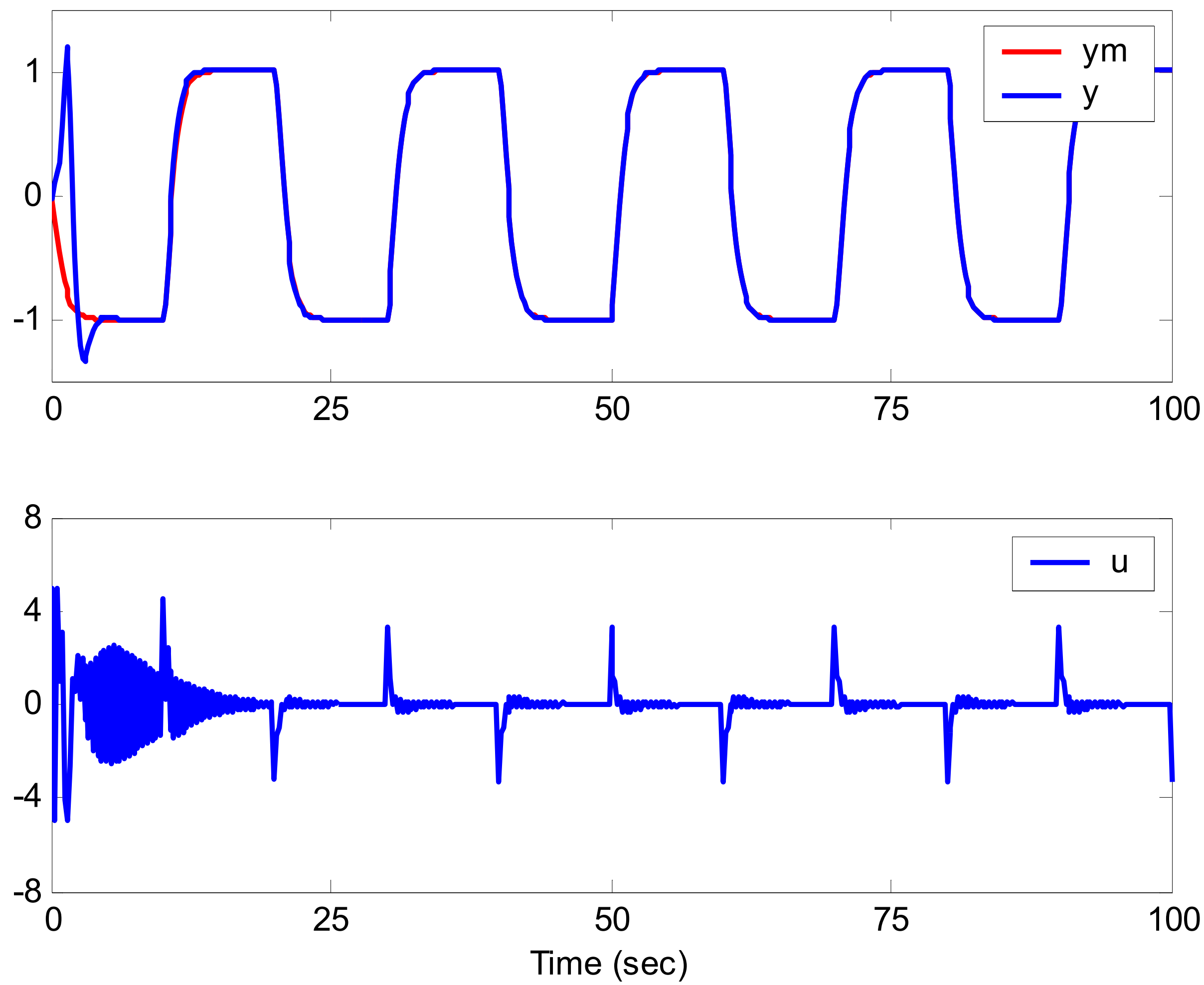

Khối ước lượng bình phương tối thiểu đệ qui

# Điều khiển tự chỉnh gián tiếp – Thí dụ 2




Bộ điều khiển theo mô hình chuẩn $R^*u = T^*uc - S^*y$

# Điều khiển tự chỉnh gián tiếp – Thí dụ 2



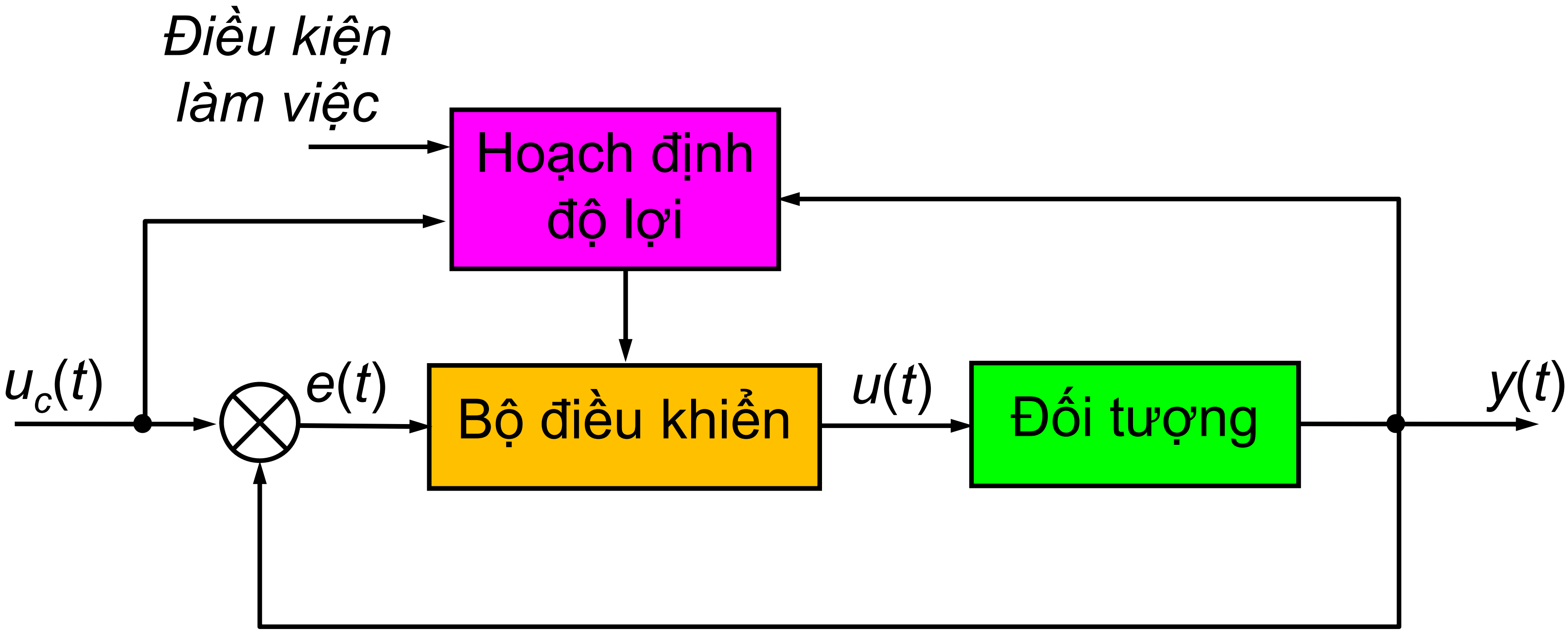

Đáp ứng của hệ kín bám theo mô hình chuẩn rất tốt sau vài chu kỳ cập nhật thông số của đối tượng

# ĐIỀU KHIỂN
# HOẠCH ĐỊNH ĐỘ LỢI

# Điều khiển hoạch định độ lợi?

- Hoạch định độ lợi là một phương pháp điều khiển đơn giản áp dụng để điều khiển đối tượng phi tuyến hoặc đối tượng có thông số thay đổi theo điều kiện làm việc
- Trong một số trường hợp có thể đo được các biến có liên quan chặt chẽ đến sự thay đổi đặc tính động của đối tượng. Những biến này có thể được sử dụng để thay đổi thông số của bộ điều khiển, theo công thức tính toán trước.
- Thông số bộ điều khiển có thể được tính toán trước cho các điểm làm việc khác nhau và lưu trữ trong bộ nhớ.

# Sơ đồ khối điều khiển hoạch định độ lợi



# Nguyên tắc thiết kế bộ ĐK hoạch định độ lợi

- Không có phương pháp tổng quát thiết kế thiết kế bộ điều khiển hoạch định độ lợi, mỗi lớp đối tượng điều khiển có đặc thù cần xem xét riêng.
- Vấn đề chính là xác định biến nào được sử dụng làm biến hoạch định độ lợi.
- Biến hoạch định phải phản ánh được đặc tính phi tuyến hoặc đặc tính thay đổi theo điều kiện làm việc của đối tượng.
- Biến hoạch định phải biến đổi chậm

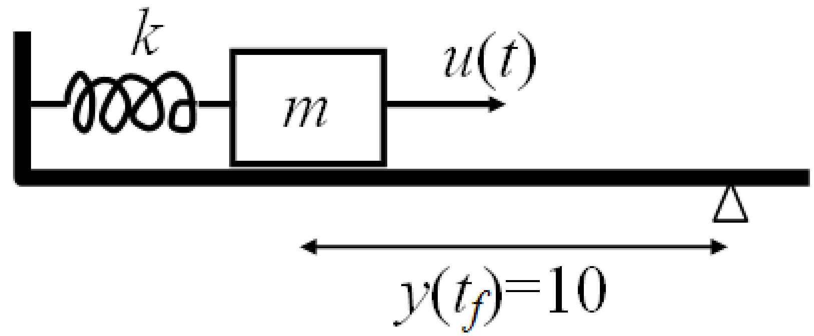
# Một phương pháp thiết kế bộ ĐK hoạch định độ lợi

Phương pháp thường sử dụng bao gồm các bước:

- ✶ Chọn biến hoặc các biến hoạch định.
- ✶ Tuyến tính hóa mô hình đối tượng quanh một số điểm làm việc
- ✶ Thiết kế bộ điều khiển tuyến tính cho mỗi điểm làm việc sử dụng mô hình tuyến tính tương ứng.
- ✶ Khi vận hành, nội suy thông số bộ điều khiển dựa trên giá trị của biến hoạch định.

# Điều khiển hoạch định độ lợi – Thí dụ 1

- Cho hệ thống xe – lò xo như hình vẽ. Quan hệ vào ra của hệ thống mô tả bởi PTVP:




$$m\ddot{y}(t)+b\dot{y}+ky(t)=u(t)$$

$$G(p)=\frac{1/m}{p^2+(2/m)p+(5/m)}$$

trong đó *u*(*t*) là t/hiệu vào (lực ĐK); *y*(*t*) là t/hiệu ra (vị trí xe); *m* = 0.5-5kg là khối lượng xe (khối lượng xe thay đổi trong quá trình vận hành), *b* = 2N.s/m *k* = 5 N/m là độ cứng lò xo.

- ***Yêu cầu:*** Giả sử có thể đo được khối lượng vật nặng, thiết kế bộ ĐK hoạch định độ lợi sao cho hệ thống bám theo MH chuẩn:

$$G_m(p)=\frac{1}{p^2+2p+1}$$

# Điều khiển hoạch định độ lợi – Thí dụ 1

- ***Giải:*** Thiết kế bộ ĐK theo mô hình chuẩn, thông số bộ điều khiển phụ thuộc biến hoạch định là khối lượng của vật nặng

- Phân tích *B* dưới dạng: $B = B^{+}B^{-} \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} B^{+} = 1 \\ B^{-} = 1/m \end{cases}$

- Kiểm tra các điều kiện tồn tại bộ ĐK theo mô hình chuẩn:

$$B_m = B^{-}B'_m \quad \Rightarrow \quad B'_m = m$$

$$\underbrace{\text{bậc}(A_m)}_{2} - \underbrace{\text{bậc}(B_m)}_{0} \geq \underbrace{\text{bậc}(A)}_{2} - \underbrace{\text{bậc}(B)}_{0}$$

- Chọn bậc $A_0$:

$$\text{bậc}(A_0) \geq 2\underbrace{\text{bậc}(A)}_{2} - \underbrace{\text{bậc}(A_m)}_{2} - \underbrace{\text{bậc}(B^{+})}_{0} - 1 = 1$$

$\Rightarrow$ Chọn bậc $A_0$ bằng 1 $\quad \Rightarrow A_0 = p+5$

# Điều khiển hoạch định độ lợi – Thí dụ 1

- Chọn bậc $R_1$ và $S$:

$$\text{bậc}(R_1) = \text{bậc}(A_0) + \text{bậc}(A_m) - \text{bậc}(A) = 1 + 2 - 2 = 1$$

$$\text{bậc}(S) = \min\{[\text{bậc}(R_1) + \text{bậc}(B^+)], [\text{bậc}(A_0) + \text{bậc}(A_m) - \text{bậc}(B^-)]\}$$
$$= \min\{[1+0], [1+2-0]\} = 1$$

$$\Rightarrow \begin{cases} R_1 = r_0 p + r_1 \\ S = s_0 p + s_1 \end{cases}$$

- Tính $S$ và $R_1$ bằng cách giải phương trình Diophantine:

$$AR_1 + B^- S = A_0 A_m$$

$$\Rightarrow \left(p^2 + \frac{2}{m}p + \frac{5}{m}\right)(r_0 p + r_1) + \frac{1}{m}(s_0 p + s_1) = (p+5)(p^2 + 2p + 1)$$

$$\Rightarrow r_0 p^3 + \left(\frac{2}{m} r_0 + r_1\right) p^2 + \left(\frac{5}{m} r_0 + \frac{2}{m} r_1 + \frac{1}{m} s_0\right) p + \left(\frac{5}{m} r_1 + \frac{1}{m} s_1\right)$$
$$= p^3 + 7p^2 + 11p + 5$$

# Điều khiển hoạch định độ lợi – Thí dụ 1

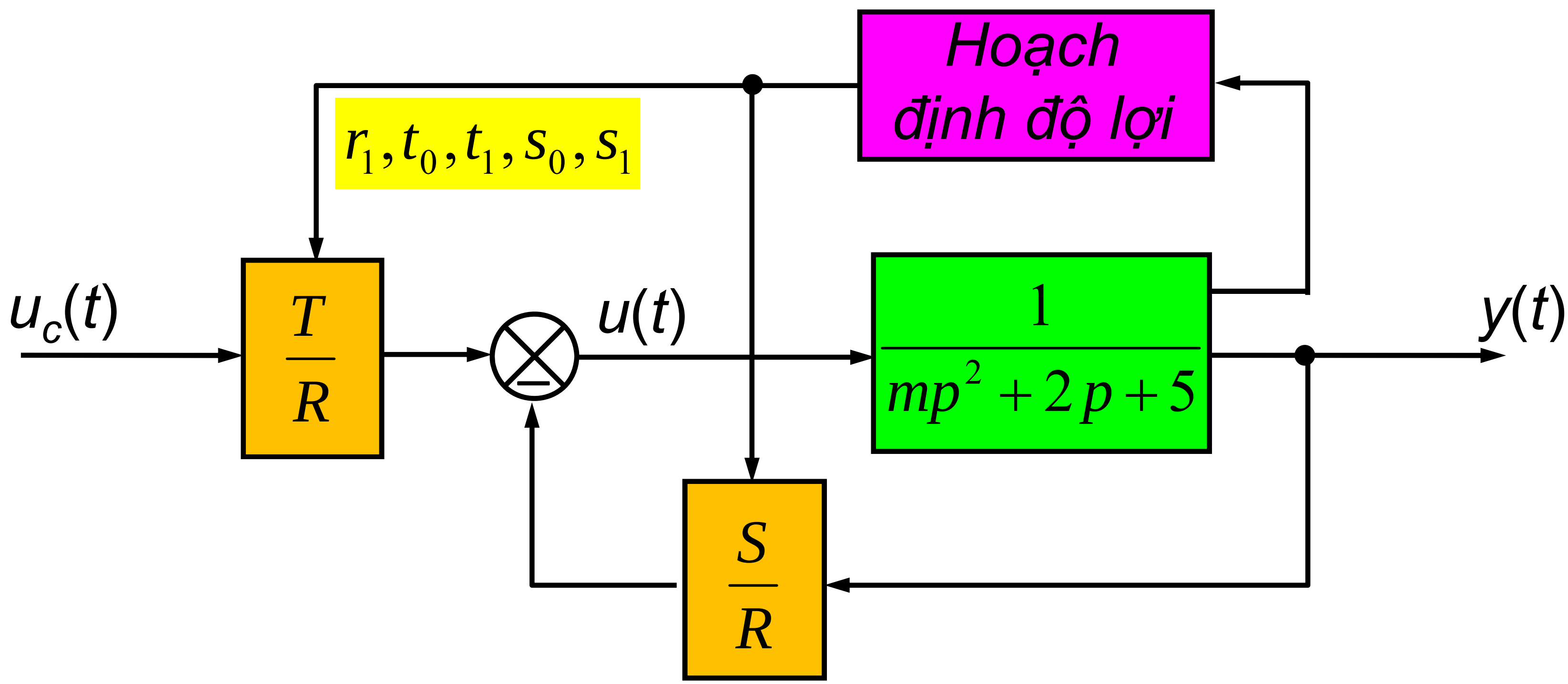
$$\Rightarrow \begin{cases} r_0 = 1 \\ \left(\dfrac{2}{m} r_0 + r_1\right) = 7 \\ \left(\dfrac{5}{m} r_0 + \dfrac{2}{m} r_1 + \dfrac{1}{m} s_0\right) = 11 \\ \left(\dfrac{5}{m} r_1 + \dfrac{1}{m} s_1\right) = 5 \end{cases} \qquad \Rightarrow \begin{cases} r_0 = 1 \\ r_1 = 7 - \dfrac{2}{m} \\ s_0 = 11m + \dfrac{4}{m} - 19 \\ s_1 = 5m + \dfrac{10}{m} - 35 \end{cases}$$

- Tính *R* và *T*:

$$R = R_1 B^+ \quad \Rightarrow \quad R = (p + r_1)$$

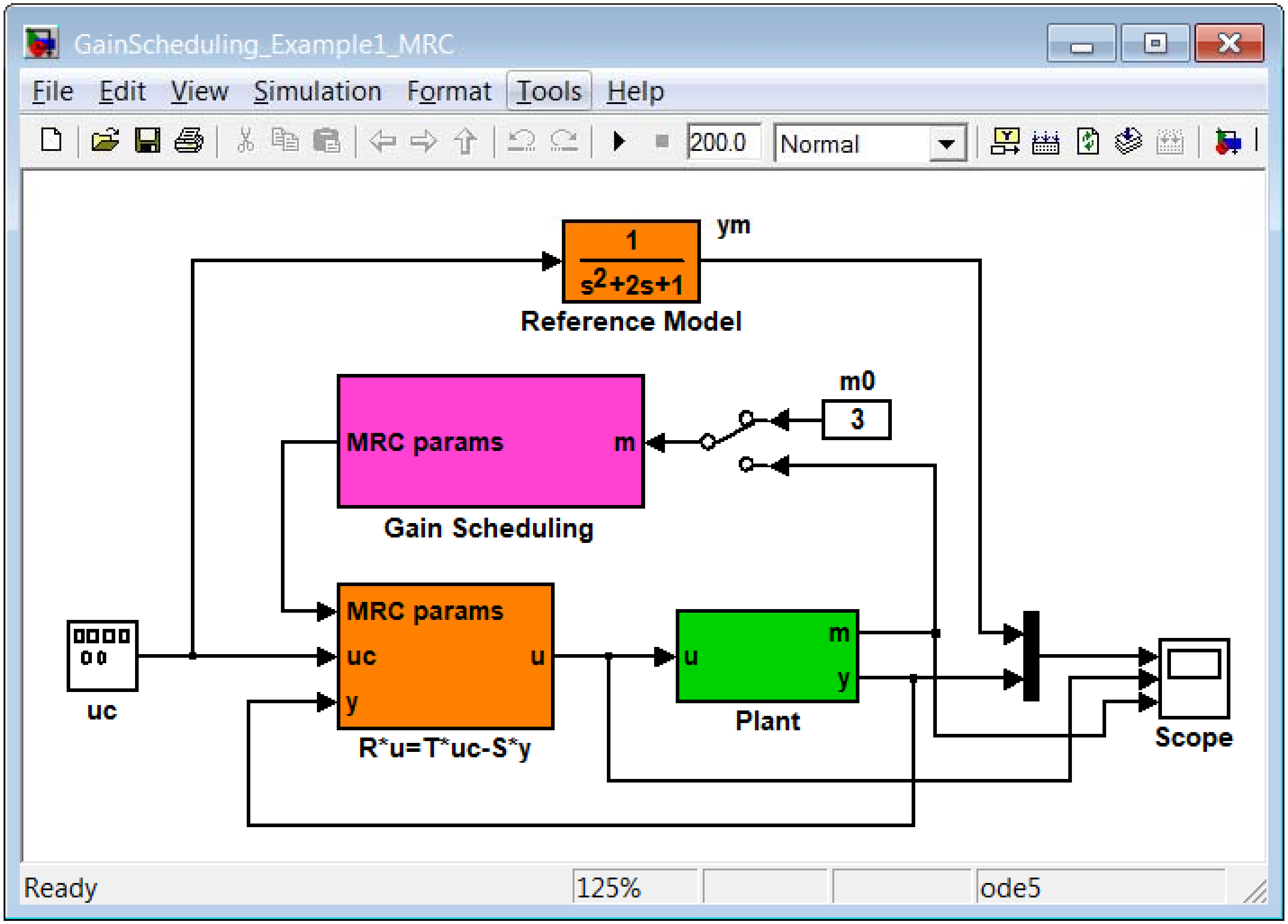
$$T = A_0 B'_m \quad \Rightarrow \quad T = (p + 5)m$$

# Điều khiển hoạch định độ lợi – Thí dụ 1



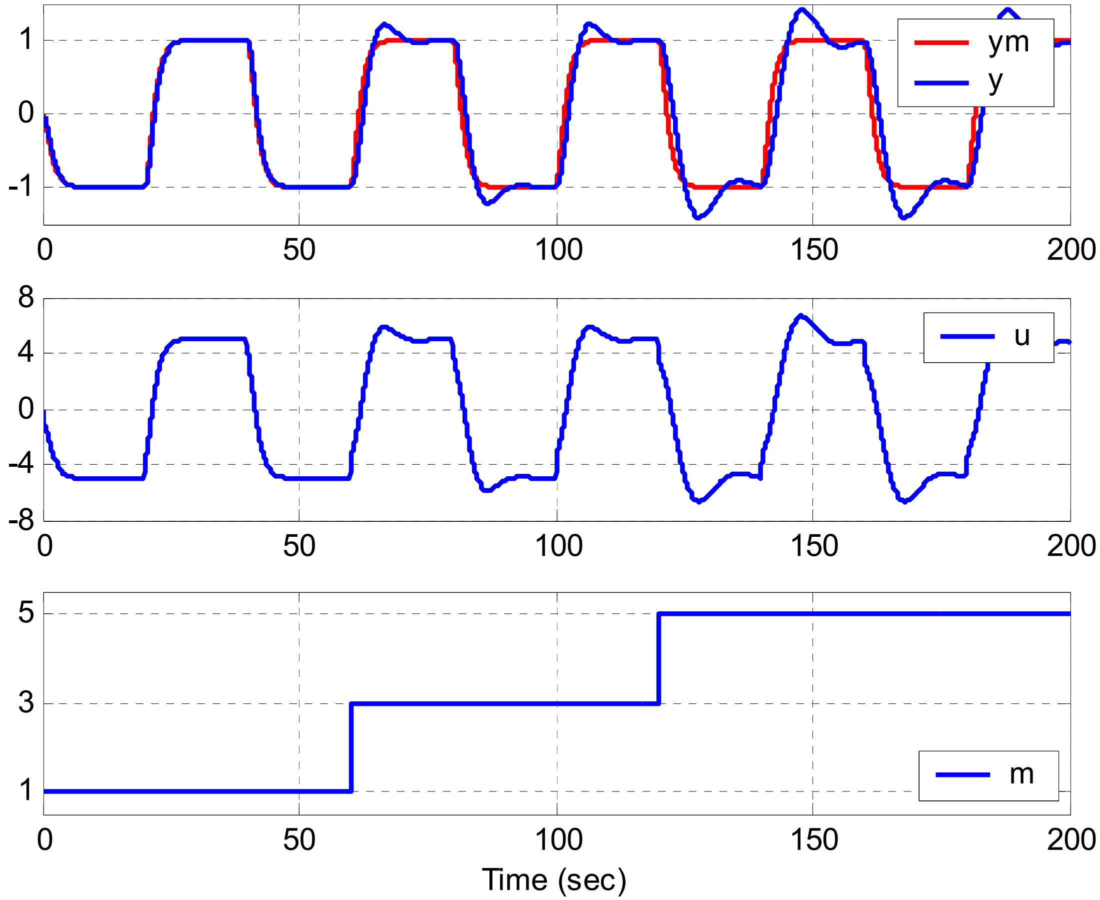

Sơ đồ khối hệ thống điều khiển hoạch định độ lợi theo mô hình chuẩn sau khi thiết kế

# Điều khiển hoạch định độ lợi – Thí dụ 1



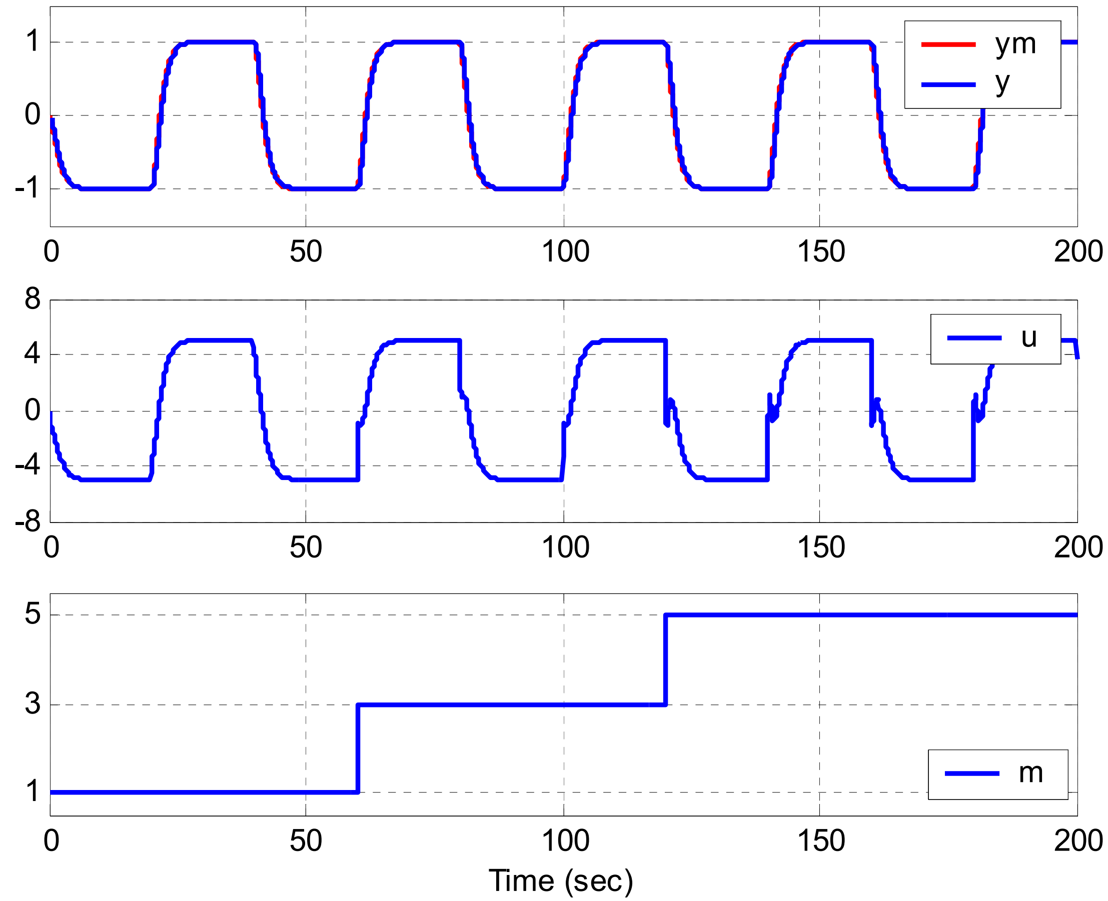

Sơ đồ Simulink mô phỏng hệ thống điều khiển hoạch định độ lợi theo mô hình chuẩn

# Điều khiển hoạch định độ lợi – Thí dụ 1



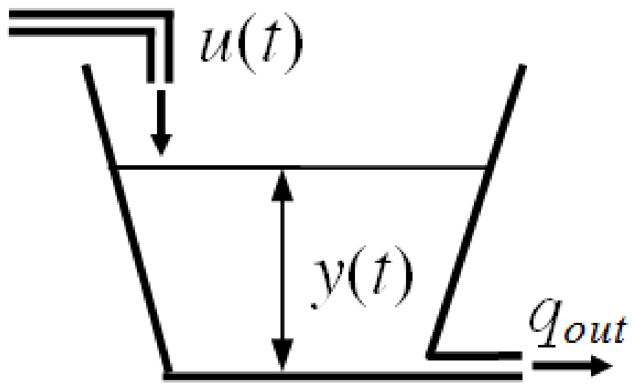

Kết quả ĐK khi chưa hoạch định độ lợi với bộ điều khiển MRC được thiết kế dựa vào giá trị $m_0$ = 1kg. Chất lượng ĐK càng kém khi khối lượng vật nặng càng sai lệch so với giá trị $m_0$

# Điều khiển hoạch định độ lợi – Thí dụ 1




Kết quả ĐK khi hoạch định độ lợi bộ ĐK MRC theo khối lượng vật nặng. Chất lượng ĐK bám theo mô hình chuẩn rất tốt dù bất chấp sự thay đổi khối lượng của vật nặng.

# Điều khiển hoạch định độ lợi – Thí dụ 2




$u(t)$: lưu lượng vào (tín hiệu điều khiển)
$y(t)$: độ cao mực chất lỏng (tín hiệu ĐK)
$r_0$: bán kính đáy bồn chứa ($r_0$ = 10cm)
$r_1$: bán kính đỉnh bồn chứa ($r_1$ = 50cm)
$a_o$: tiết diện van xả ($a_o$ = 1cm$^2$)
$H$: chiều cao bồn chứa ($H$ = 100cm)
$C_D$: hệ số xả ($C_D$ = 1)
$g$: gia tốc trọng trường ($g$ = 981cm/s$^2$)

- Phương trình vi phân mô tả đặc tính động học hệ bồn chứa:

$$\dot{y}(t) = \frac{1}{S(y)}\left(u(t) - C_D a_o \sqrt{2gy(t)}\right)$$

với $S(y) = \pi\left(r_0 + \frac{r_1 - r_0}{H}y\right)^2$ (t/diện ngang của bồn tại độ cao y)

- Thiết kế BĐK PI hoạch định độ lợi sao cho PTĐT của hệ kín có cặp cực với $\xi = 1.0$ và $\omega_n = 0.1$

# Điều khiển hoạch định độ lợi – Thí dụ 2

- ***Giải:***
- Đặt biến trạng thái $x(t) = y(t)$, PTTT của hệ bồn chứa:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = f(x(t), u(t)) = \dfrac{1}{S(x(t))}\left(ku(t) - C_D a_o \sqrt{2gx(t)}\right) \\ y(t) = h(x(t), u(t)) = x(t) \end{cases}$$

- Điểm làm việc tĩnh $(\bar{x}, \bar{u})$ là nghiệm phương trình:

$$\frac{1}{S(\bar{x})}\left(\bar{u} - C_D a_o \sqrt{2g\bar{x}}\right) = 0$$

$$\Leftrightarrow \quad \bar{u} = C_D a_o \sqrt{2g\bar{x}}$$

# Điều khiển hoạch định độ lợi – Thí dụ 2

- Phương trình trạng thái của hệ thống quanh điểm tĩnh $(\bar{u}, \bar{y})$

$$\begin{cases} \dot{\tilde{x}}(t) = A\tilde{x}(t) + B\tilde{u}(t) \\ \tilde{y}(t) = C\tilde{x}(t) \end{cases}$$

trong đó $$A = \left.\frac{\partial f}{\partial x}\right|_{(\bar{x},\bar{u})} = -\frac{C_D a_o}{S(\bar{x})}\sqrt{\frac{g}{2\bar{x}}}$$

$$B = \left.\frac{\partial f}{\partial u}\right|_{(\bar{x},\bar{u})} = \frac{1}{S(\bar{x})} \qquad C = \left.\frac{\partial h}{\partial x}\right|_{(\bar{x},\bar{u})} = 1$$

- Hàm truyền của hệ thống quanh điểm tĩnh

$$G(s) = \frac{\tilde{Y}(s)}{\tilde{U}(s)} = C(sI - A)^{-1}B \qquad \Rightarrow \qquad \boxed{G(s) = \frac{K}{s+a}}$$

trong đó $$K = \frac{1}{S(\bar{x})} \qquad a = \frac{C_D a_o}{S(\bar{x})}\sqrt{\frac{g}{2\bar{x}}}$$

# Điều khiển hoạch định độ lợi – Thí dụ 2

- Sử dụng bộ ĐK PI, PTĐT của hệ kín quanh điểm tĩnh $(\bar{x},\bar{u})$:

$$1+\left(K_P+\frac{K_I}{s}\right)\left(\frac{K}{s+a}\right)=0 \quad \Rightarrow \quad s^2+(a+KK_P)s+KK_I=0 \qquad (1)$$

- Phương trình đặc trưng mong muốn:

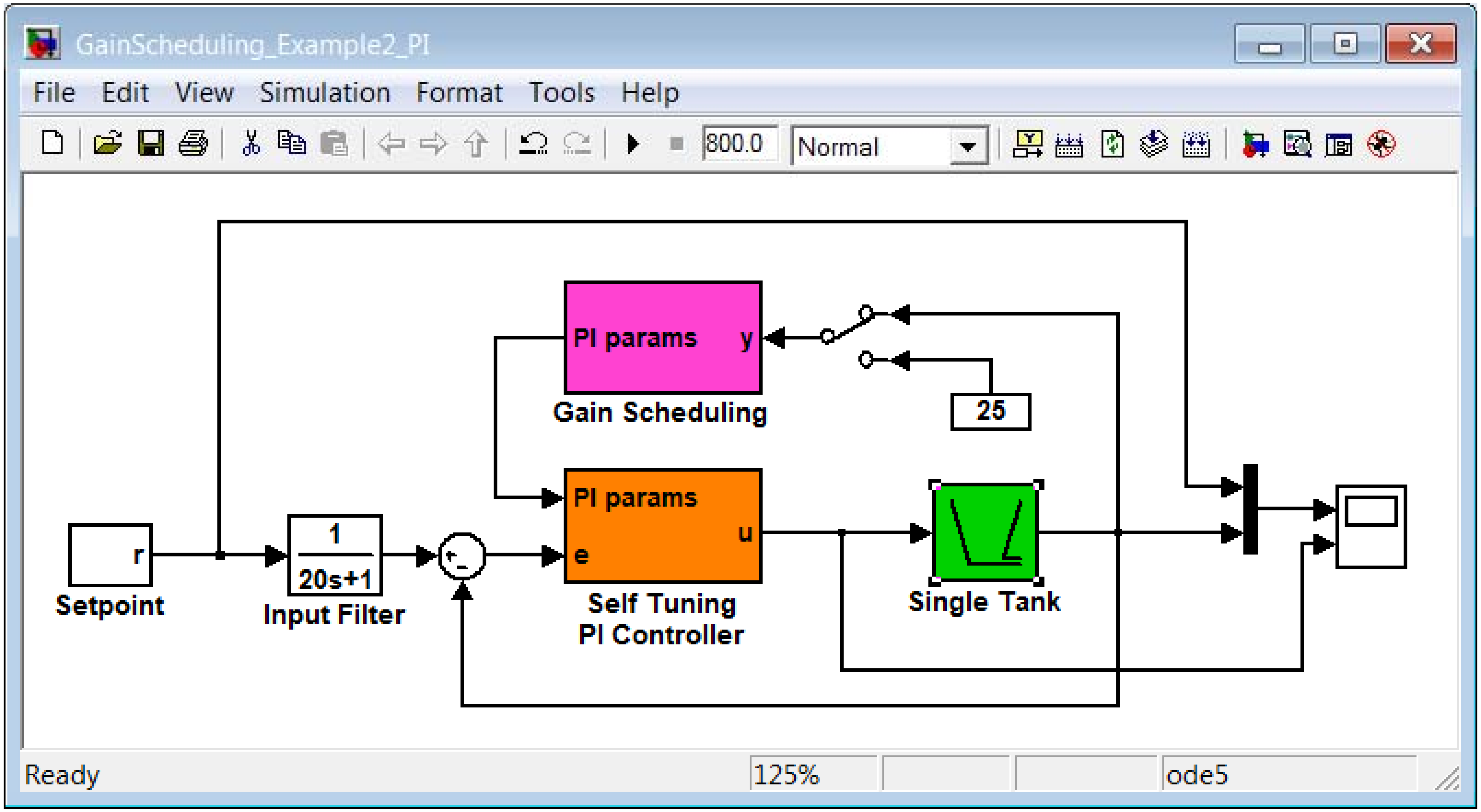
$$s^2+2\xi\omega_n s+\omega_n^2=0 \qquad (2)$$

- Cân bằng (1) và (2):

$$\begin{cases} a+KK_P=2\xi\omega_n \\ KK_I=\omega_n^2 \end{cases} \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} K_P=(2\xi\omega_n-a)/K \\ K_I=\omega_n^2/K \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} K_P=2\xi\omega_n\pi\left(r_0+\dfrac{r_1-r_0}{H}\bar{y}\right)^2-C_D a_o\sqrt{\dfrac{g}{2\bar{y}}} \\ K_I=\omega_n^2\pi\left(r_0+\dfrac{r_1-r_0}{H}\bar{y}\right)^2 \end{cases}$$

# Điều khiển hoạch định độ lợi – Thí dụ 2

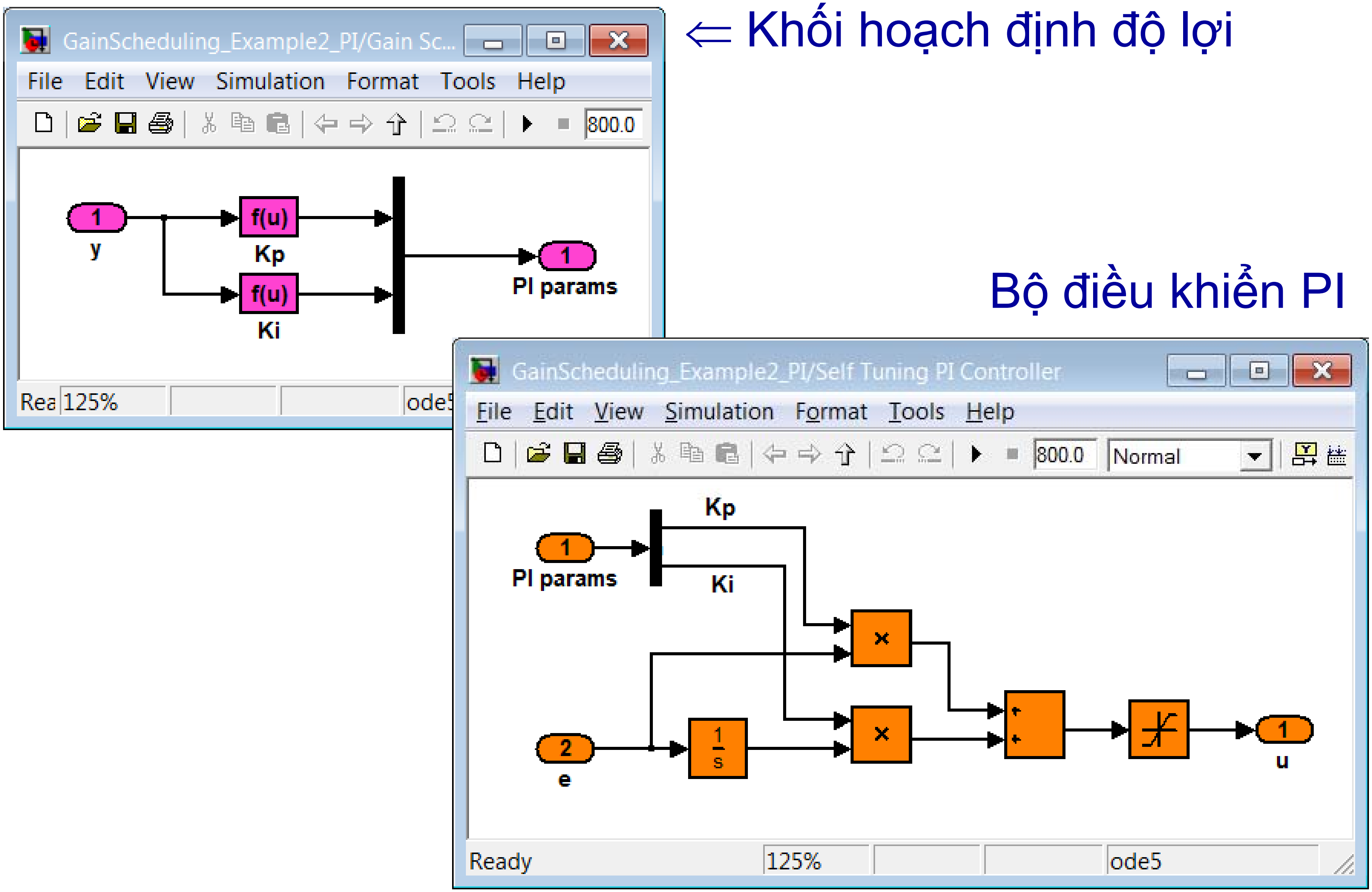



Mô phỏng HTĐH PI hoạch định độ lợi.
Thông số BĐK PI có thể chọn cố định ứng với độ mực chất lỏng trong bồn bằng 25cm hoặc thay đổi tùy theo điểm làm việc

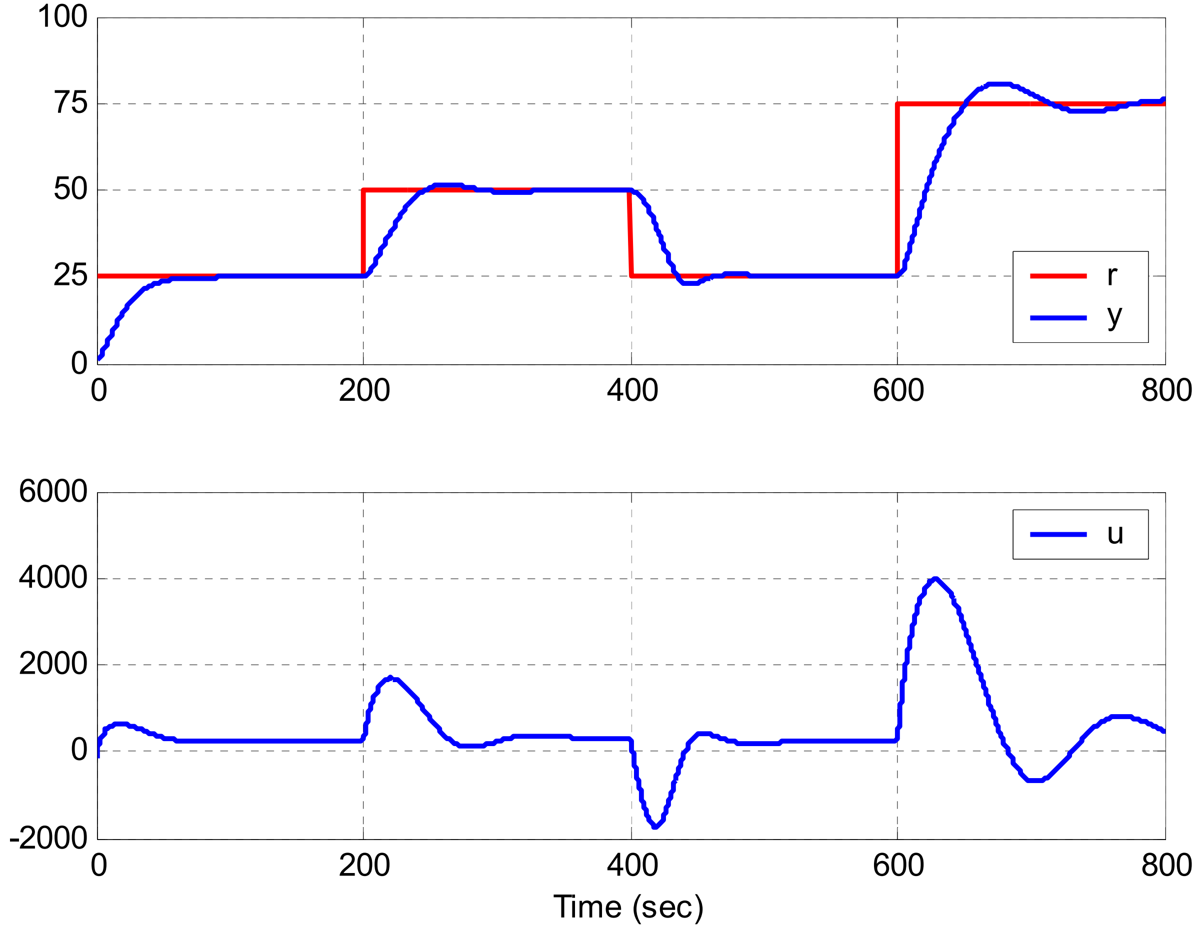
# Điều khiển hoạch định độ lợi – Thí dụ 2

⇐ Khối hoạch định độ lợi

Bộ điều khiển PI

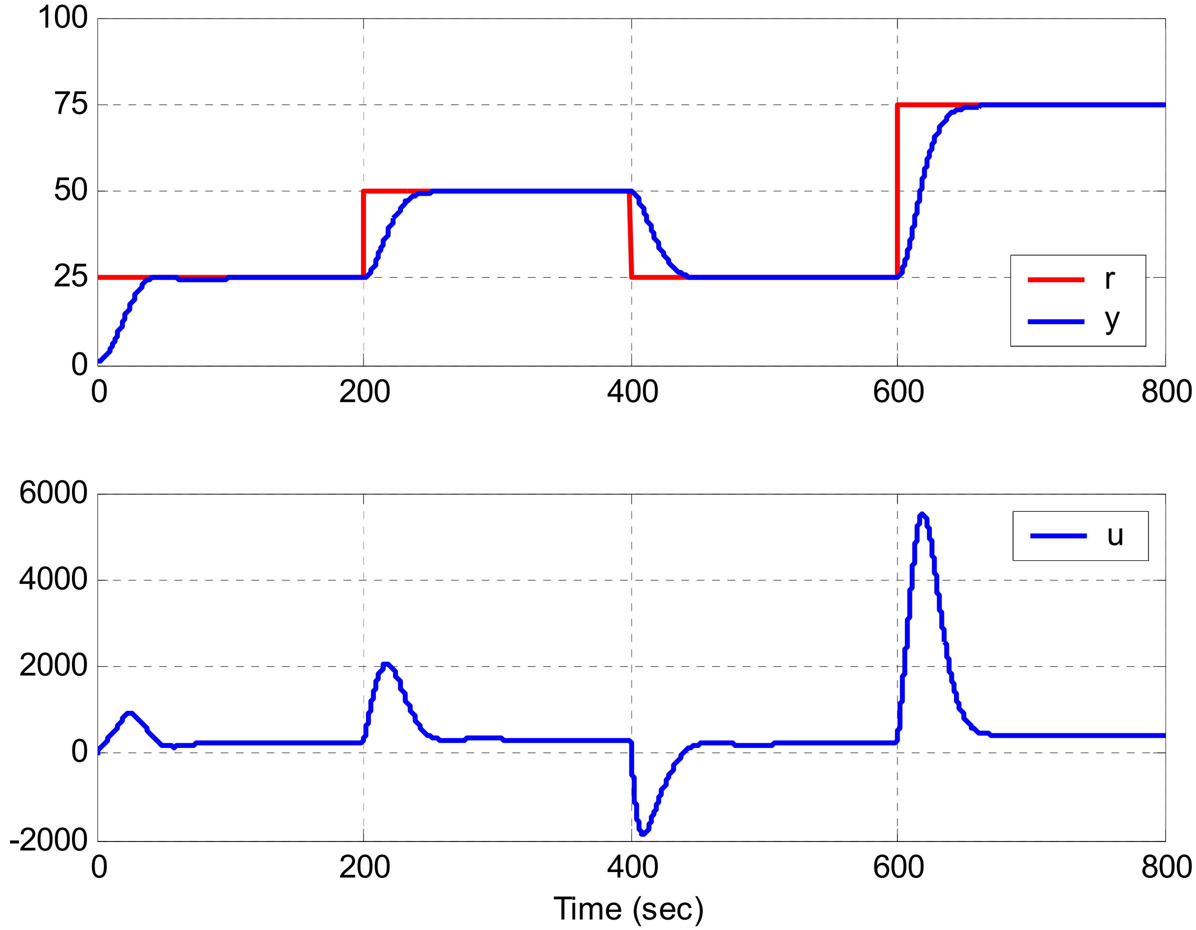


# Điều khiển hoạch định độ lợi – Thí dụ 2




Kết quả ĐK PI với độ lợi cố định ứng mực chất lỏng 25cm, chất lượng điều khiển càng kém khi điểm làm việc càng xa 25cm.

# Điều khiển hoạch định độ lợi – Thí dụ 2




Kết quả điều khiển PI hoạch định độ lợi,
chất lượng điều khiển tốt trong miền làm việc rộng

# Ưu khuyết điểm của điều khiển hoạch định độ lợi

- Ưu điểm:
  - ĐK hoạch định độ lợi cho phép áp dụng các PP thiết kế bộ điều khiển tuyến tính vào hệ phi tuyến có đặc tính động thay đổi theo điều kiện làm việc.
  - Thông số của bộ ĐK hoạch định độ lợi thay đổi nhanh theo sự thay đổi đặc tính động của đối tượng
  - Hoạch định độ lợi đặc biệt thuận lợi nếu đặc tính động của đối tượng phụ thuộc vào một vài biến có thể đo được.
- Khuyết điểm:
  - ĐK hoạch định độ lợi sơ đồ ĐK thích nghi vòng hở, không có cơ chế "thích nghi" đúng nghĩa.
  - Một hạn chế khác là trong nhiều trường hợp khó chọn được biến hoạch định tốt.

# Chuẩn đầu ra

Sau khi học xong chương 4, SV phải có khả năng:

- ✶ Thiết kế bộ điều khiển theo mô hình chuẩn
- ✶ Thiết kế bộ điều khiển thích nghi theo mô hình chuẩn
- ✶ Thiết kế bộ điều khiển tự chỉnh gián tiếp trên cơ sở ước lượng trực tuyến thông số mô hình của đối tượng.
- ✶ Thiết kế bộ điều khiển hoạch định độ lợi