

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 6

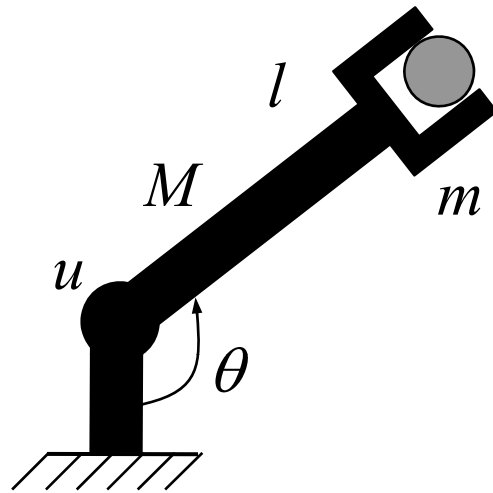
MỘT SỐ VÍ DỤ THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN NÂNG CAO

Nội dung chương 6

- ★ Đối tượng điều khiển: hệ tay máy và hệ nâng bi trong từ trường
- ★ Thiết kế bộ điều khiển hồi tiếp tuyến tính hóa
 - ▲ Hệ tay máy
 - ▲ Hệ nâng bi trong từ trường
- ★ Thiết kế bộ điều khiển trượt
 - ▲ Hệ tay máy
 - ▲ Hệ nâng bi trong từ trường
- ★ Thiết kế bộ điều khiển LQR - LQG
 - ▲ Hệ nâng bi trong từ trường
- ★ Thiết kế bộ điều khiển thích nghi
 - ▲ Hệ tay máy
- ★ Thiết kế bộ điều khiển bền vững
 - ▲ Hệ tay máy

CÁC ĐỐI TƯỢNG ĐIỀU KHIỂN

Hệ tay máy một bậc tự do



$u(t)$ là mô-men điều khiển [N.m] (tín hiệu vào)

$\theta(t)$ là góc quay của tay máy [rad] (tín hiệu ra)

$i(t)$ là dòng điện qua cuộn dây [A]

$M = 1$ kg là khối lượng của tay máy (phần quay)

$J = 0.05$ kg.m² là mô-men quán tính của tay máy

$l_C = 0.15$ [m] là khoảng cách từ trục quay đến
trọng tâm khớp quay

$l = 0.4$ [m] là chiều dài tay máy

$m = 0.1$ [kg] là khối lượng vật nặng cần gấp

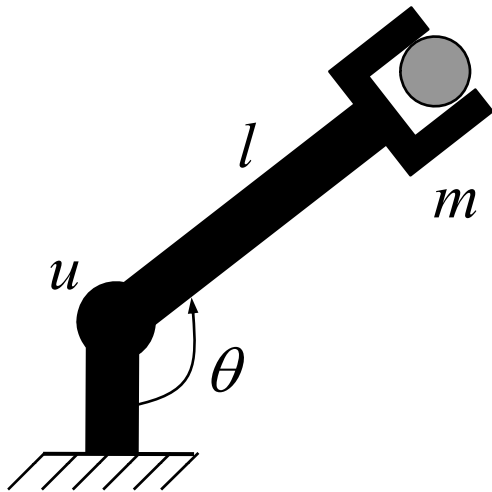
$g = 9.8$ m/s² là gia tốc trọng trường

★ Phương trình vi phân mô tả đặc tính động học hệ tay máy:

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

★ **Yêu cầu:** Điều khiển góc quay của tay máy bám theo tín hiệu đặt

Hệ tay máy một bậc tự do



★ Đặt biến trạng thái:
$$\begin{cases} x_1(t) = \theta(t) \\ x_2(t) = \dot{\theta}(t) \end{cases}$$

★ PTTT:
$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{f}(\mathbf{x}(t), u(t)) \\ y(t) = h(\mathbf{x}(t), u(t)) \end{cases}$$

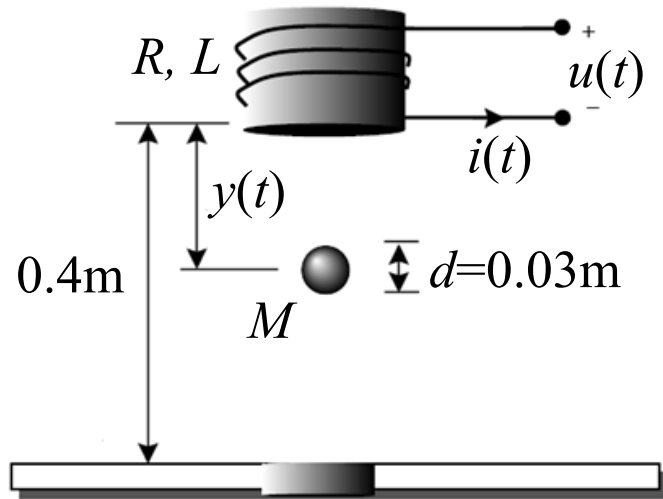
trong đó:

$$\mathbf{f}(\mathbf{x}, u) = \begin{bmatrix} x_2(t) \\ -\frac{(ml + Ml_C)g}{(J + ml^2)} \sin x_1(t) - \frac{B}{(J + ml^2)} x_2(t) + \frac{1}{(J + ml^2)} u(t) \end{bmatrix}$$

$$h(\mathbf{x}(t), u(t)) = x_1(t)$$

Hệ nâng bi trong từ trường

Hệ nâng bi trong từ trường



$u(t)$ là điện áp cấp cho cuộn dây [V]
(tín hiệu vào)

$y(t)$ là vị trí viên bi [m] (tín hiệu ra)

$i(t)$ là dòng điện qua cuộn dây [A]

$M = 0.01$ kg là khối lượng viên bi

$g = 9.8$ m/s² là gia tốc trọng trường

$R = 30$ Ω là điện trở cuộn dây

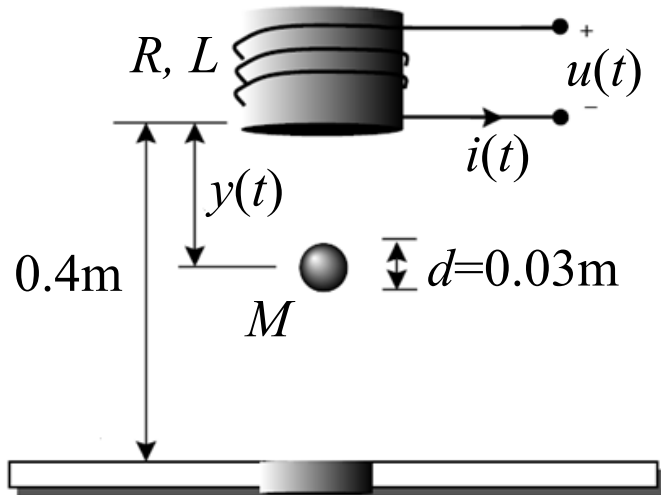
$L = 0.1$ H là điện cảm cuộn dây

★ PT vi phân mô tả đặc tính động học hệ nâng bi trong từ trường:

$$\begin{cases} M \frac{d^2 y(t)}{dt^2} = Mg - \frac{i^2(t)}{y(t)} \\ L \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) = u(t) \end{cases}$$

★ **Yêu cầu:** Điều khiển vị trí viên bi treo lơ lửng trong từ trường bám theo tín hiệu đặt

Hệ nâng bi trong từ trường



★ Đặt biến trạng thái:

$$x_1(t) = y(t), x_2(t) = \dot{y}(t), x_3(t) = i(t)$$

★ Phương trình trạng thái

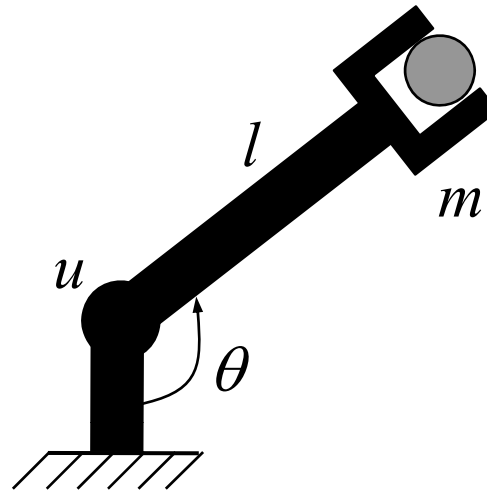
$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{f}(\mathbf{x}(t), u(t)) \\ y(t) = h(\mathbf{x}(t), u(t)) \end{cases}$$

trong đó:

$$\mathbf{f}(\mathbf{x}, u) = \begin{bmatrix} x_2(t) \\ g - \frac{x_3^2}{Mx_1} \\ -\frac{R}{L}x_3 + \frac{1}{L}u(t) \end{bmatrix}$$

$$h(\mathbf{x}(t), u(t)) = x_1(t)$$

THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN HỒI TIẾP TUYẾN TÍNH HÓA



★ Đặt các biến trạng thái là $x_1 = \theta; x_2 = \dot{\theta}$, tín hiệu ra là $y = \theta = x_1$

★ Đạo hàm của tín hiệu ra

$$y = x_1$$

$$\Rightarrow \dot{y} = \dot{x}_1 = x_2$$

$$\Rightarrow \ddot{y} = \dot{x}_2 = -\frac{(ml + Ml_C)}{(J + ml^2)} g \sin(x_1) - \frac{B}{(J + ml^2)} x_2 + \frac{1}{(J + ml^2)} u$$

$$\Rightarrow \ddot{y} = a(\mathbf{x}) + b(\mathbf{x}) \cdot u \quad (1)$$

với $a(\mathbf{x}) = -\frac{(ml + Ml_c)}{(J + ml^2)} g \sin(x_1) - \frac{B}{(J + ml^2)} x_2$ $b(\mathbf{x}) = \frac{1}{J + ml^2}$

★ Biểu thức bộ điều khiển hồi tiếp tuyến tính hóa

$$u = \frac{1}{b(\mathbf{x})} (-a(\mathbf{x}) + v) \quad (2)$$

Thay (2) vào (1), ta được hệ tuyến tính:

$$\ddot{y} = v \quad (3)$$

★ Biểu thức bộ điều khiển bám tuyến tính

$$v = \ddot{y}_d + (k_1 \dot{e} + k_2 e) \quad (4)$$

với $e = y_d - y$

★ Tính thông số bộ điều khiển bám

Thay (4) vào (3), ta được đặc tính động học sai số:

$$\ddot{y} = \ddot{y}_d + (k_1\dot{e} + k_2e)$$

$$\Rightarrow \ddot{e} + k_1\dot{e} + k_2e = 0$$

Phương trình đặc trưng động học sai số:

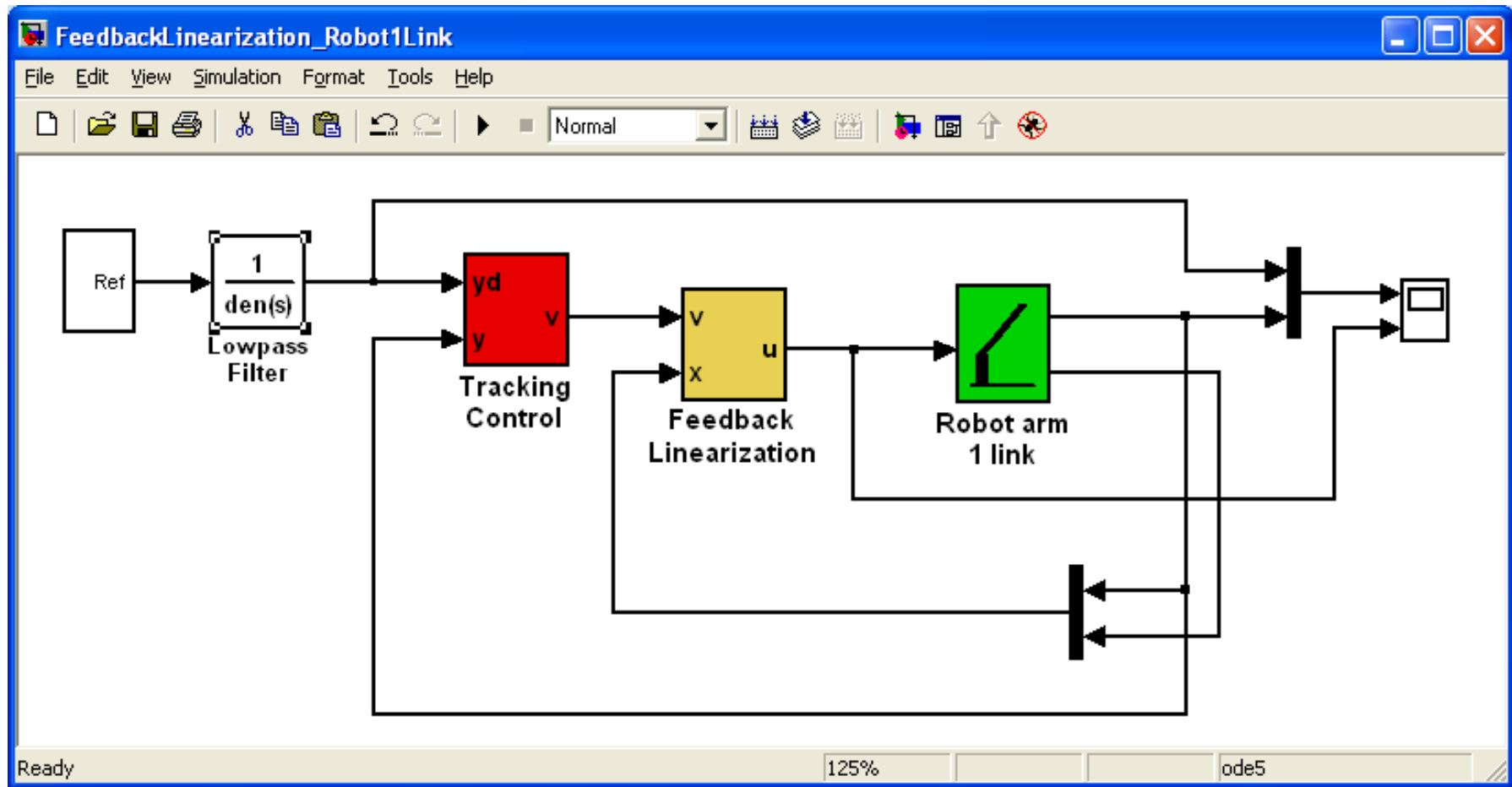
$$s^2 + k_1s + k_2 = 0 \tag{5}$$

Phương trình đặc trưng động học sai số mong muốn:

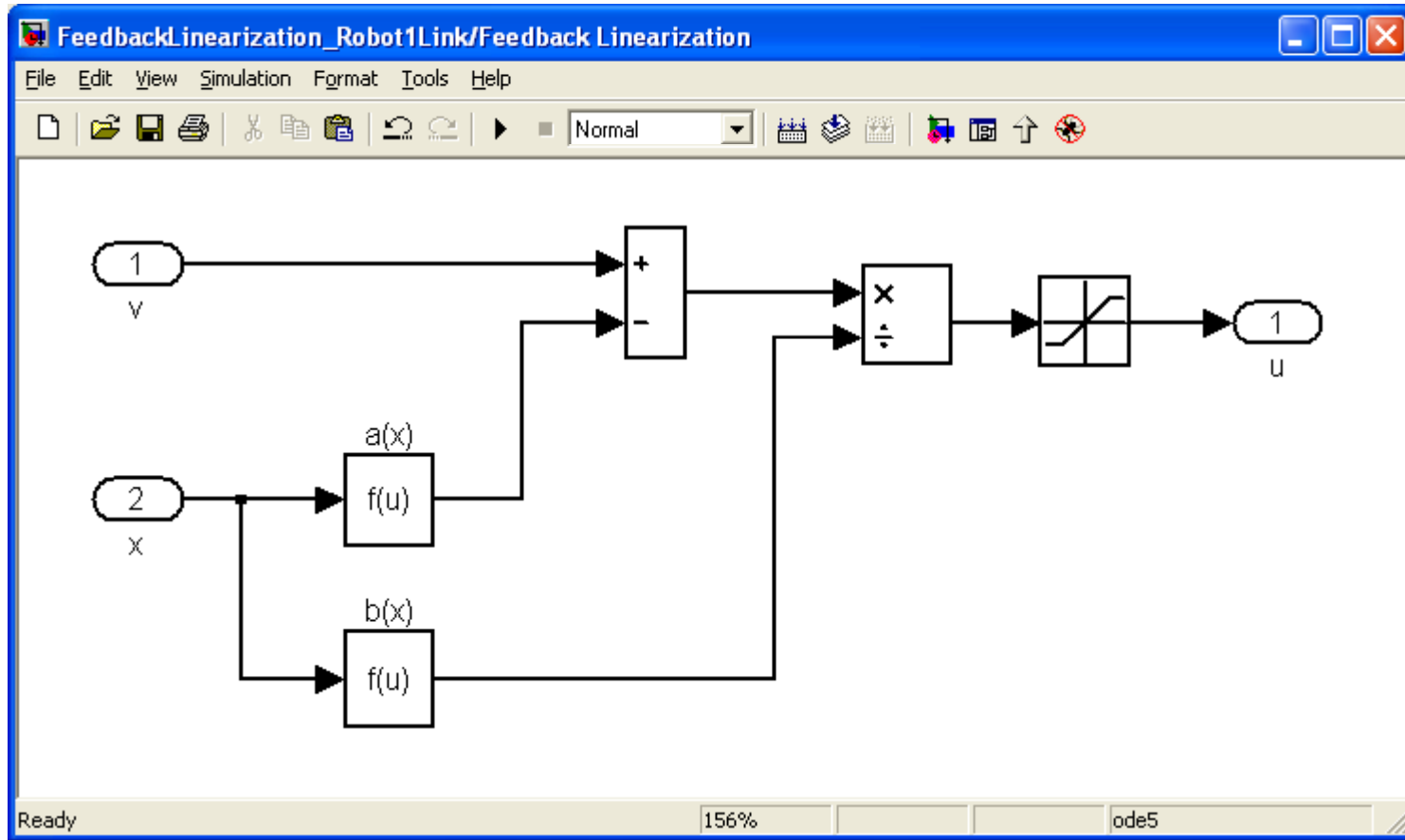
$$s^2 + 60s + 900 = 0 \tag{6}$$

Cân bằng (5) và (6), ta được:

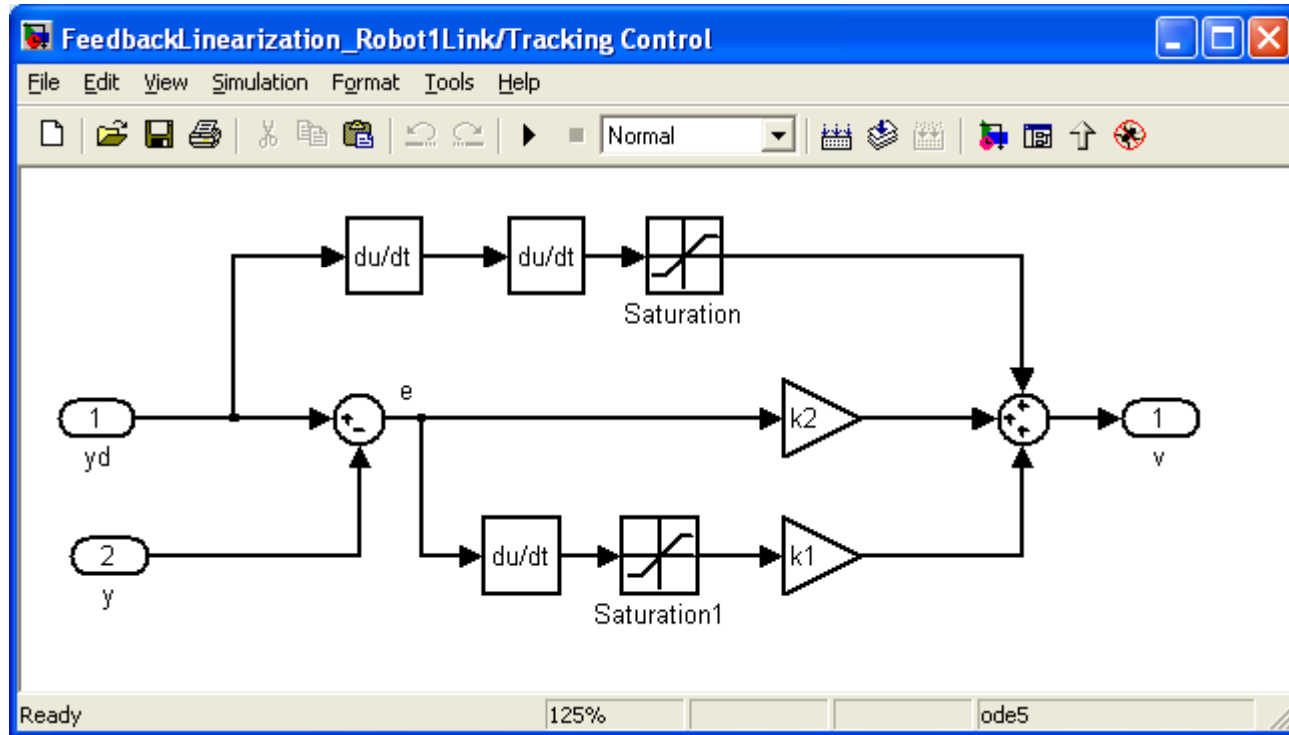
$$k_1 = 60$$
$$k_2 = 900$$



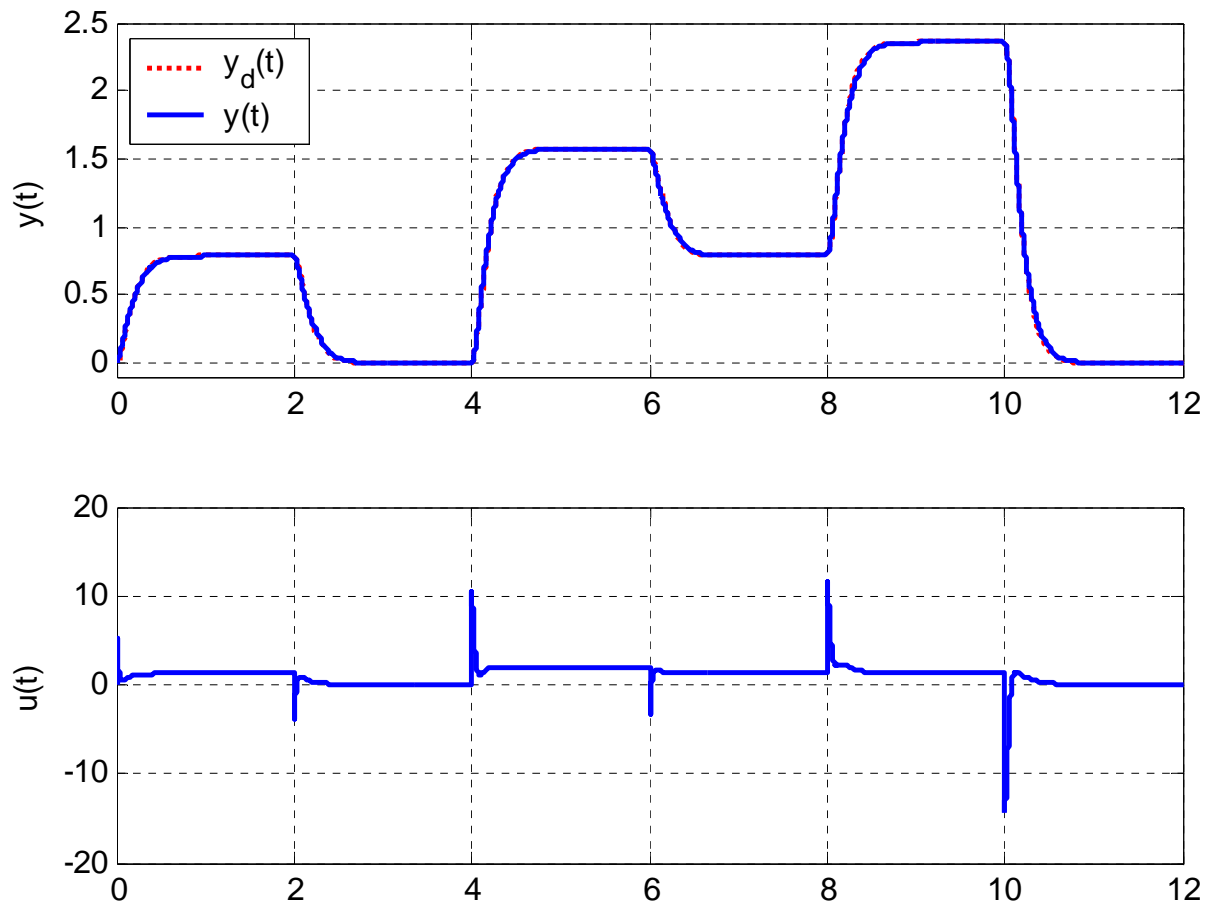
Mô phỏng hệ thống điều khiển
hồi tiếp tuyến tính hóa hệ tay máy 1 bậc tự do



Mô phỏng khối hồi tiếp tuyến tính hóa hệ tay máy 1 bậc tự do

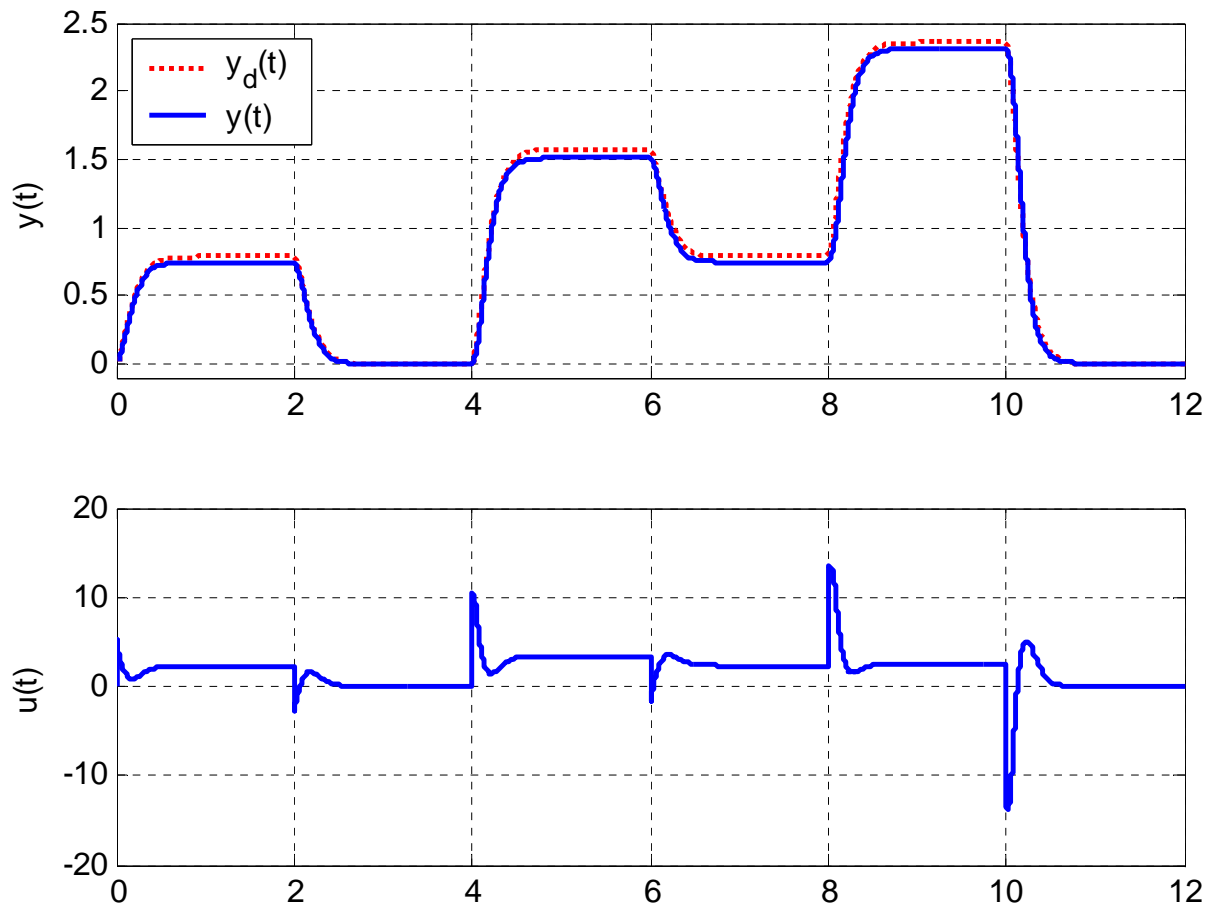


Mô phỏng khối điều khiển bám

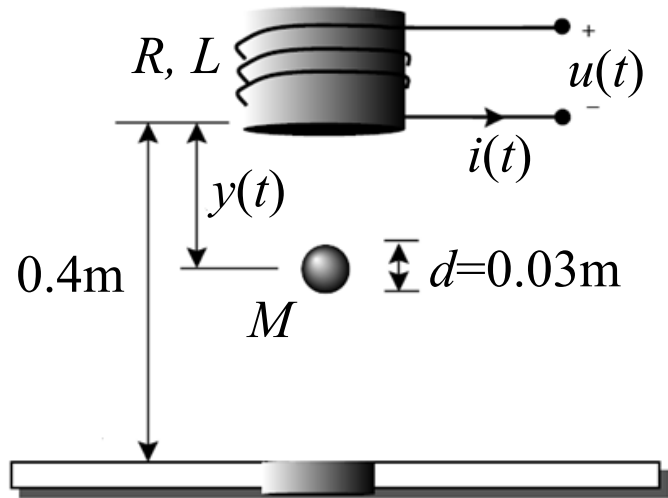


Kết quả mô phỏng cho thấy tay máy bám tốt theo tín hiệu đặt trong miền làm việc rộng khi robot gặp vật nặng đúng giá trị thiết kế (0.1kg). Bộ điều khiển PID không thể đạt được chất lượng này

Điều khiển hồi tiếp tuyến tính hóa hệ tay máy



Khi robot gắp vật nặng có giá trị lớn gấp 5 lần giá trị thiết kế (0.5kg), cánh tay robot không còn bám tốt theo tín hiệu đặt.
 \Rightarrow Bộ điều khiển hồi tiếp tuyến tính hóa nhạy với sai số mô hình



★ Đặt biến trạng thái:

$$x_1(t) = y(t), x_2(t) = \dot{y}(t), x_3(t) = i(t)$$

⇒ Phương trình trạng thái:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = g - \frac{x_3^2}{Mx_1} \\ \dot{x}_3 = -\frac{R}{L}x_3 + \frac{1}{L}u(t) \end{cases}$$

★ Lấy đạo hàm tín hiệu ra, ta được

$$\dot{y}(t) = \dot{x}_1(t) = x_2(t)$$

$$\ddot{y}(t) = \dot{x}_2(t) = g - \frac{x_3^2}{Mx_1}$$

$$\ddot{y}(t) = \frac{-2x_3\dot{x}_3x_1 + x_3^2\dot{x}_1}{Mx_1^2} = \frac{-2x_3\left(-\frac{R}{L}x_3 + \frac{1}{L}u(t)\right)x_1 + x_3^2x_2}{Mx_1^2}$$

$$\Rightarrow \ddot{y} = a(\mathbf{x}) + b(\mathbf{x})u \quad (1)$$

$$\text{với } a(\mathbf{x}) = \frac{x_3^2(2Rx_1 + Lx_2)}{MLx_1^2} \quad b(\mathbf{x}) = -\frac{2x_3}{MLx_1}$$

★ Viết biểu thức bộ điều khiển hồi tiếp tuyến tính hóa

$$u = \frac{1}{b(\mathbf{x})}(-a(\mathbf{x}) + v) \quad (2)$$

Thay (2) vào (1), ta được hệ tuyến tính:

$$\ddot{y} = v \quad (3)$$

★ Viết biểu thức bộ điều khiển bám tuyến tính

$$v = \ddot{y}_d + (k_1\ddot{e} + k_2\dot{e} + k_3e) \quad (4)$$

$$\text{với } e = y_d - y$$

★ Tính thông số bộ điều khiển bám

Thay (4) vào (3), ta được đặc tính động học sai số:

$$\ddot{y} = \ddot{y}_d + (k_1\ddot{e} + k_2\dot{e} + k_3e)$$

$$\Rightarrow \ddot{e} + k_1\ddot{e} + k_2\dot{e} + k_3e = 0$$

Phương trình đặc trưng động học sai số:

$$s^3 + k_1s^2 + k_2s + k_3 = 0 \quad (5)$$

Chọn các thông số của bộ điều khiển bám sao cho cả 3 nghiệm của phương trình đặc trưng của hệ kín là -20 :

$$(s + 20)^3 = 0$$

$$\Rightarrow s^3 + 60s^2 + 1200s + 8000 = 0 \quad (6)$$

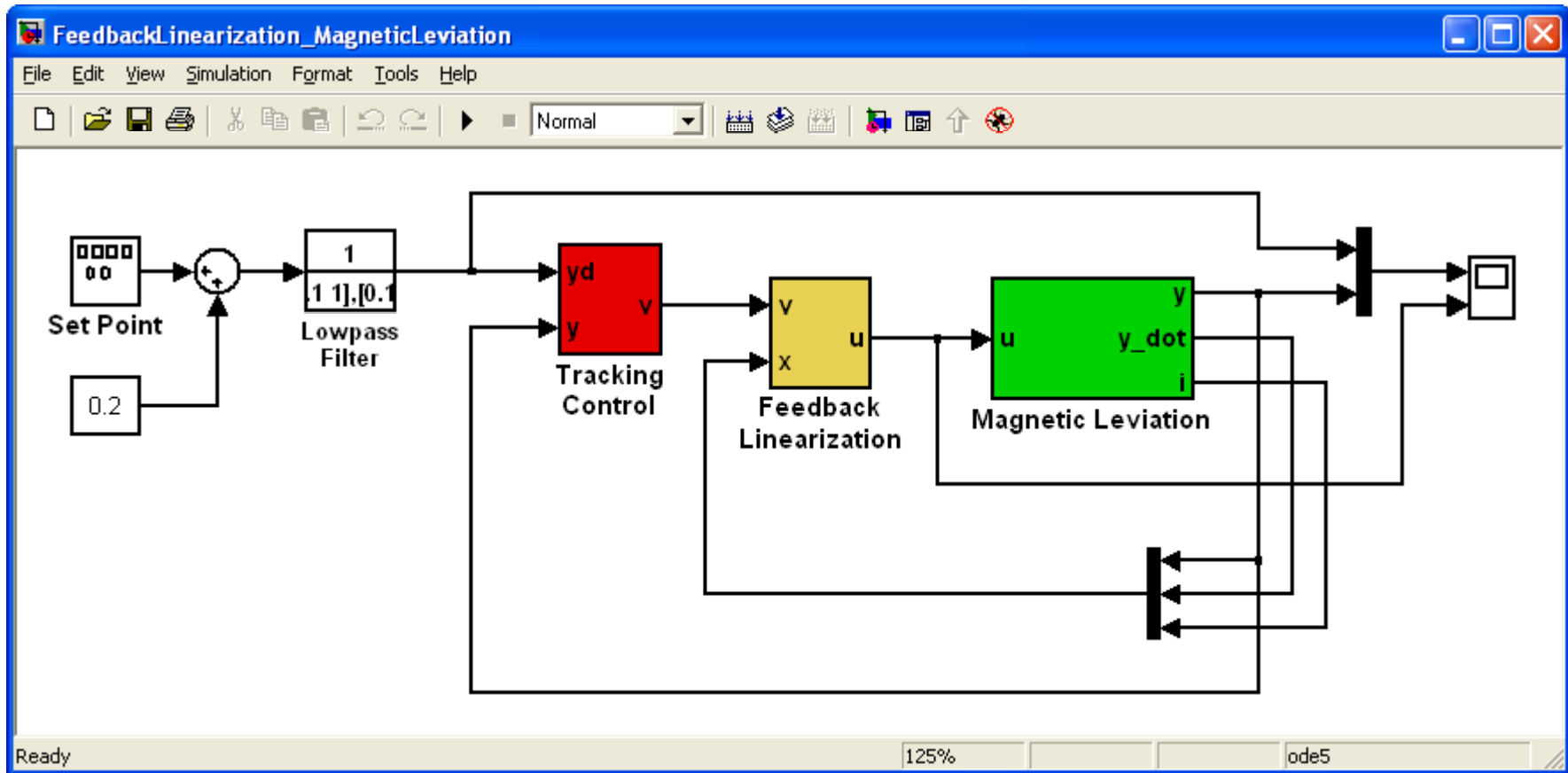
Cân bằng (5) và (6), ta được:

$$k_1 = 60, k_2 = 1200, k_3 = 8000$$

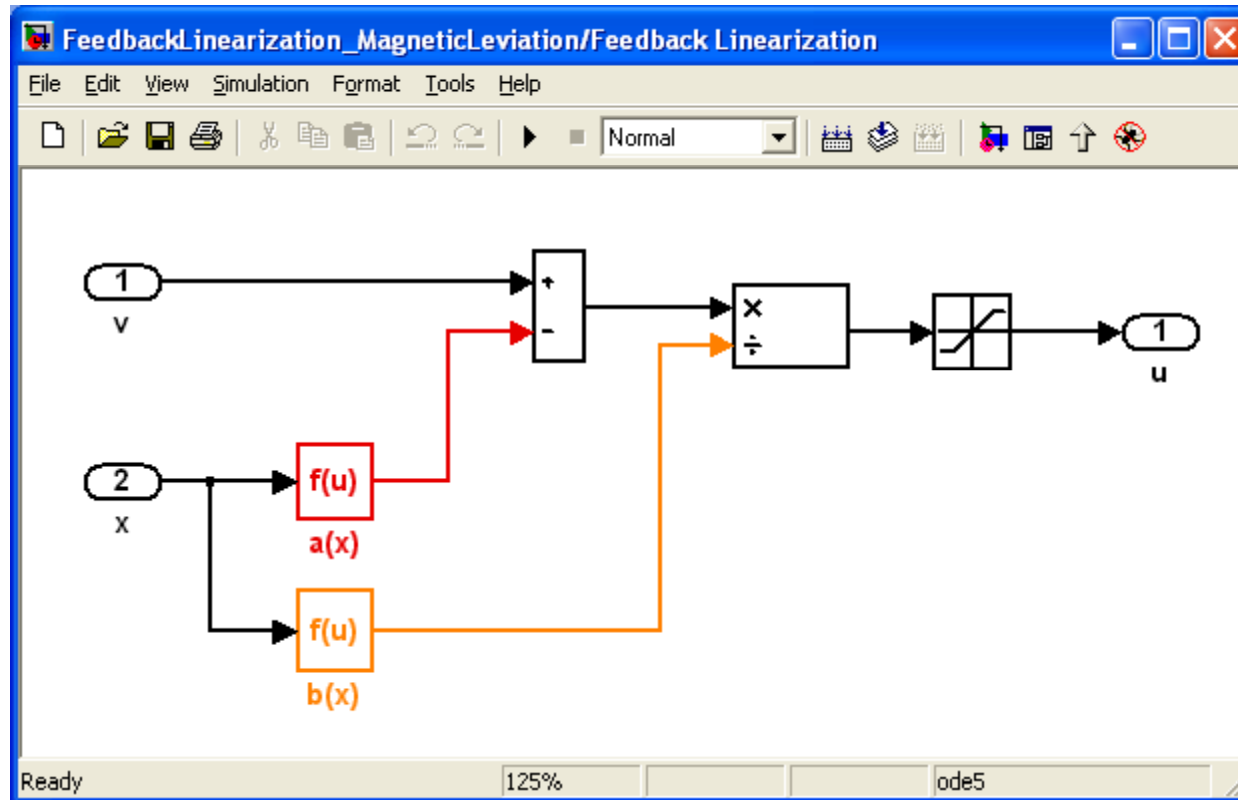
★ Thiết kế bộ lọc tín hiệu vào

Chọn bộ lọc thông thấp bậc 3 để tín hiệu $y_d(t)$ khả vi bị chặn đến đạo hàm bậc 3. Hàm truyền của bộ lọc là:

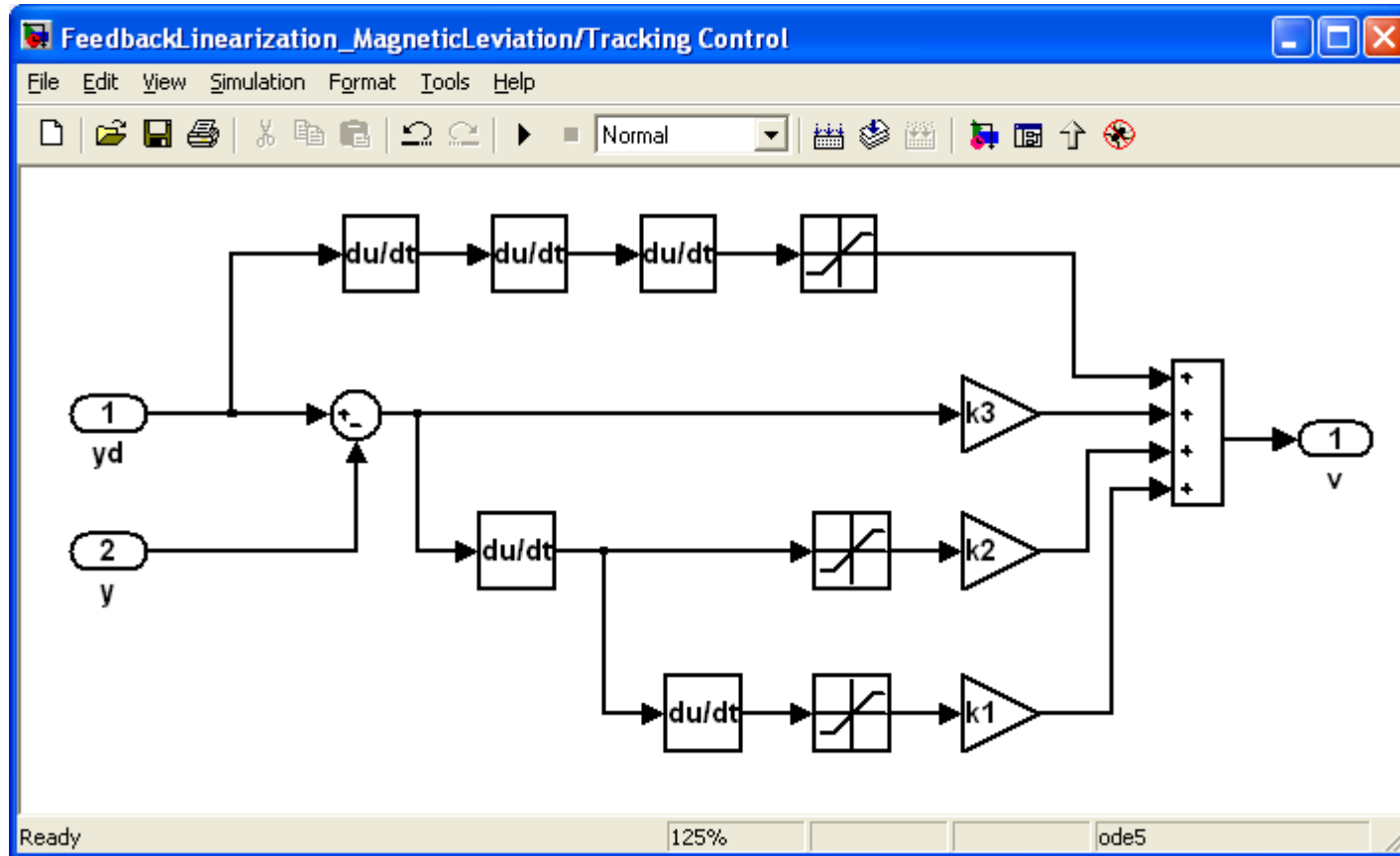
$$G_{LF}(s) = \frac{1}{(0.1s + 1)^3}$$



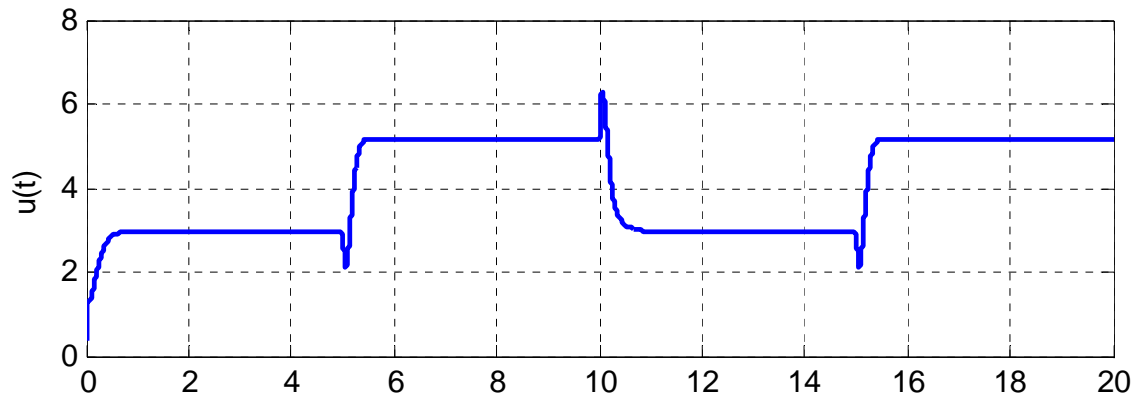
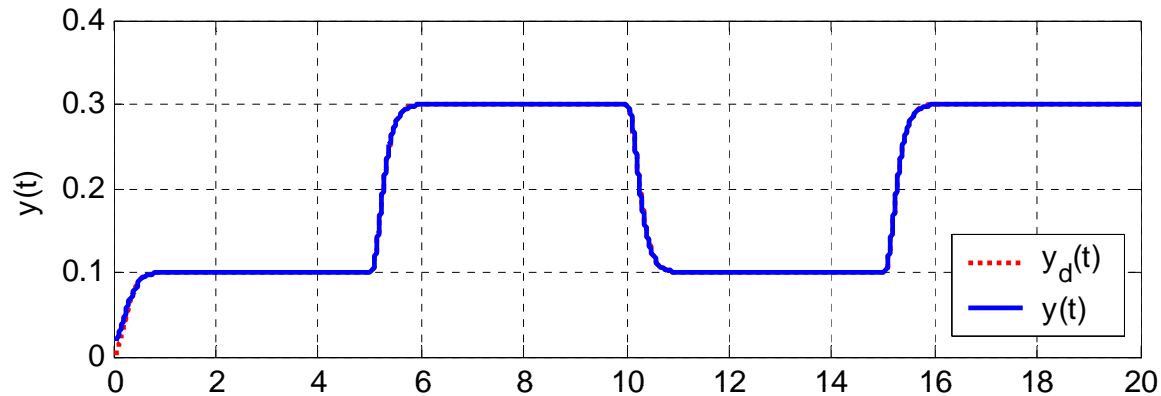
Mô phỏng HTĐK hồi tiếp tuyến tính hóa hệ nâng bi trong từ trường



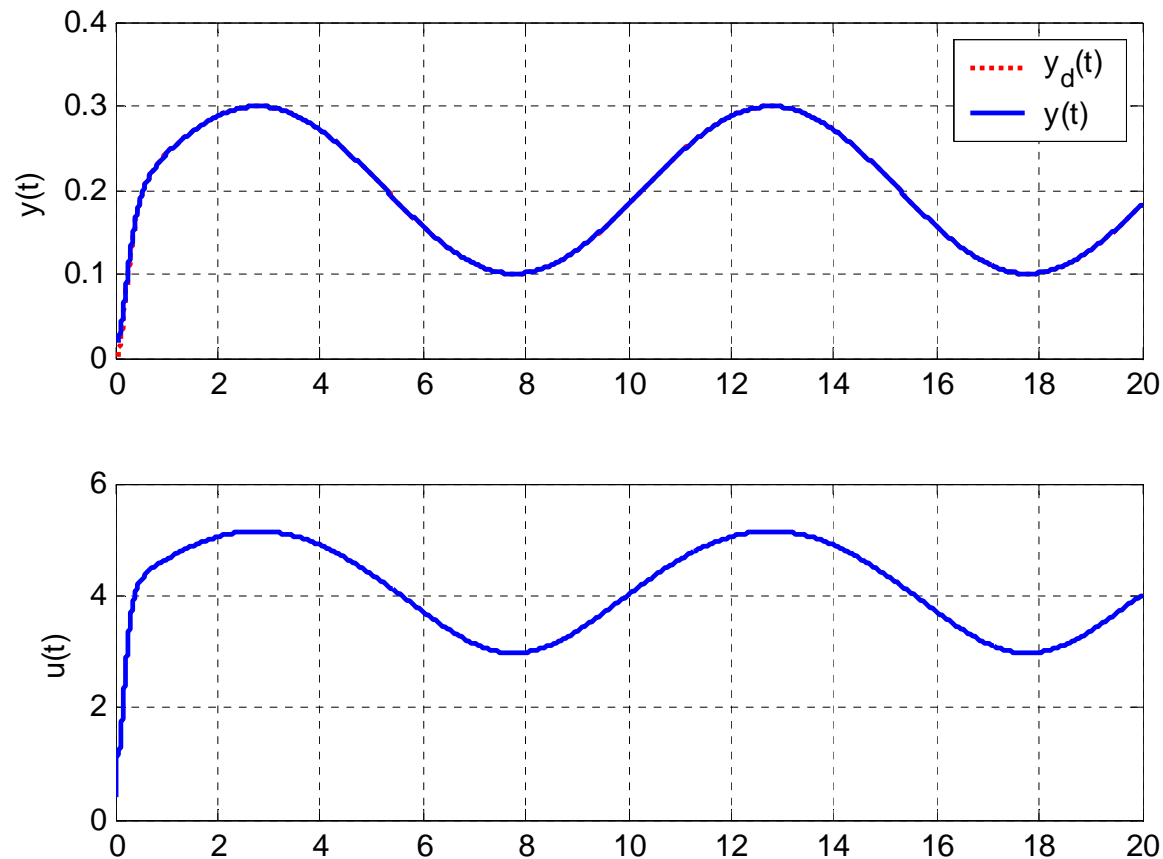
Mô phỏng khối tính luật điều khiển hồi tiếp tuyến tính hóa



Mô phỏng khối điều khiển bám

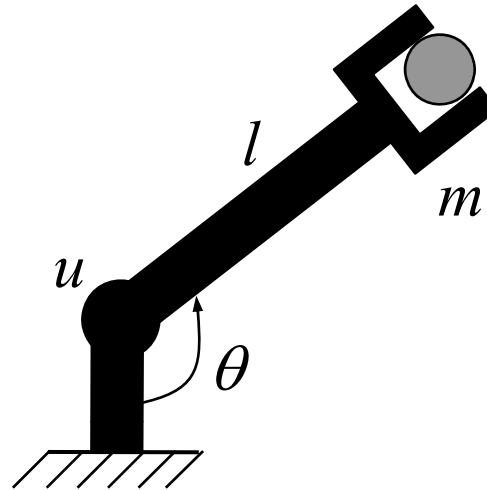


Kết quả mô phỏng điều khiển hồi tiếp tuyến tính hóa, vị trí viên bi bám rất tốt theo tín hiệu chuẩn là xung vuông



Kết quả mô phỏng điều khiển hồi tiếp tuyến tính hóa, vị trí viên bi bám rất tốt theo tín hiệu chuẩn là tín hiệu hình sin

THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT



★ Đặt các biến trạng thái là $x_1 = \theta; x_2 = \dot{\theta}$, tín hiệu ra là $y = \theta = x_1$

★ Đạo hàm của tín hiệu ra

$$y = x_1$$

$$\Rightarrow \dot{y} = \dot{x}_1 = x_2$$

$$\Rightarrow \ddot{y} = \dot{x}_2 = -\frac{(ml + Ml_C)}{(J + ml^2)} g \sin(x_1) - \frac{B}{(J + ml^2)} x_2 + \frac{1}{(J + ml^2)} u$$

$$\Rightarrow \ddot{y} = a(\mathbf{x}) + b(\mathbf{x}).u \quad (1)$$

$$\text{với } a(\mathbf{x}) = -\frac{(ml + Ml_c)}{(J + ml^2)} g \sin(x_1) - \frac{B}{(J + ml^2)} x_2 \quad b(\mathbf{x}) = \frac{1}{J + ml^2}$$

★ Biểu thức mặt trượt: $\sigma = \dot{e} + k_1 e$

với $e = y_d - y$

Đa thức đặc trưng của mặt trượt: $s + k_1 = 0$

Chọn cực của mặt trượt tại -50 , suy ra: $k_1 = 50$

★ Biểu thức bộ điều khiển trượt

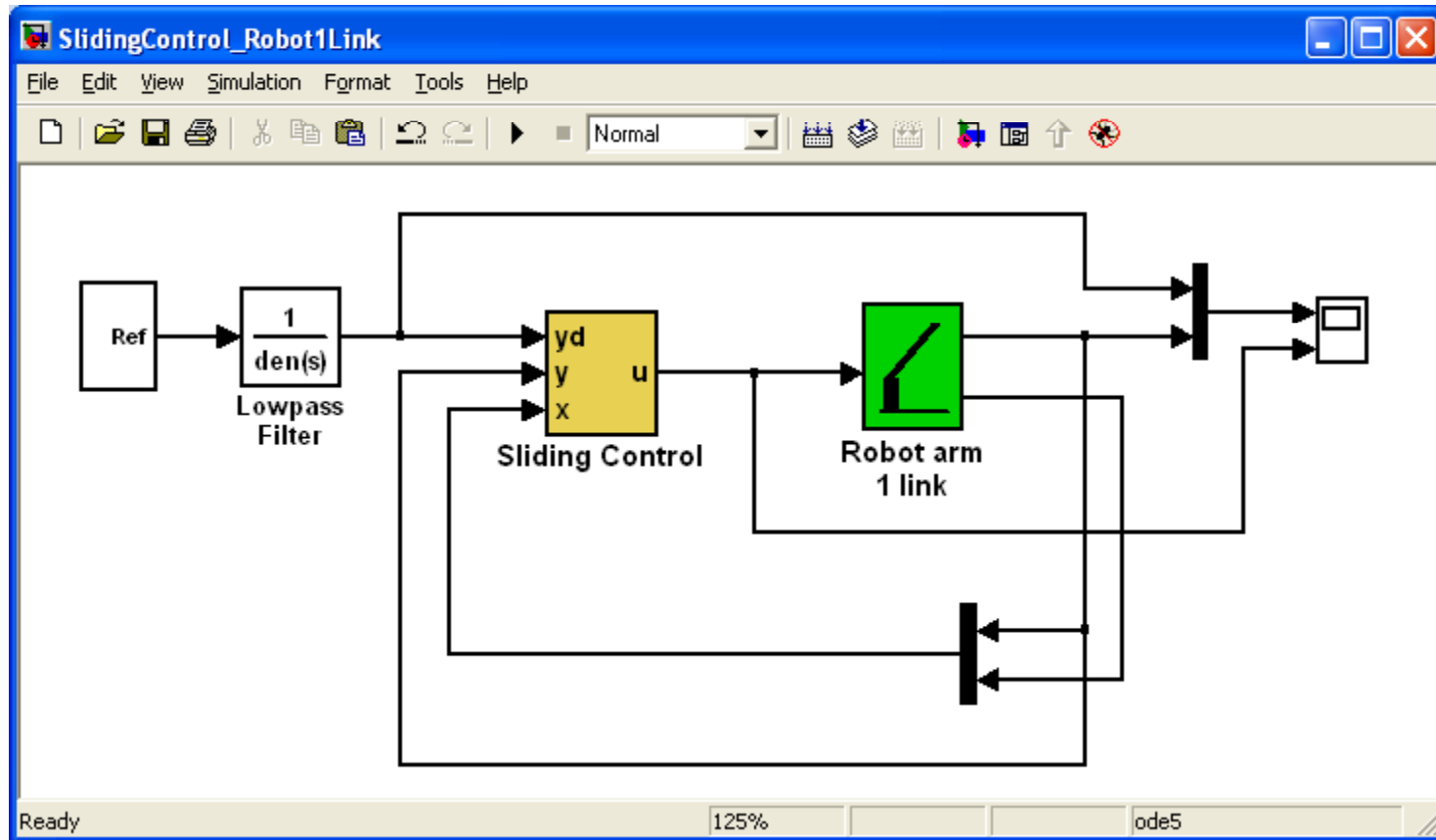
$$u = \frac{1}{b(\mathbf{x})} \left[-a(\mathbf{x}) + \ddot{y}_d + k_1 \dot{e} + K_{\text{sat}}(\sigma) \right]$$

Chọn: $K = 100$

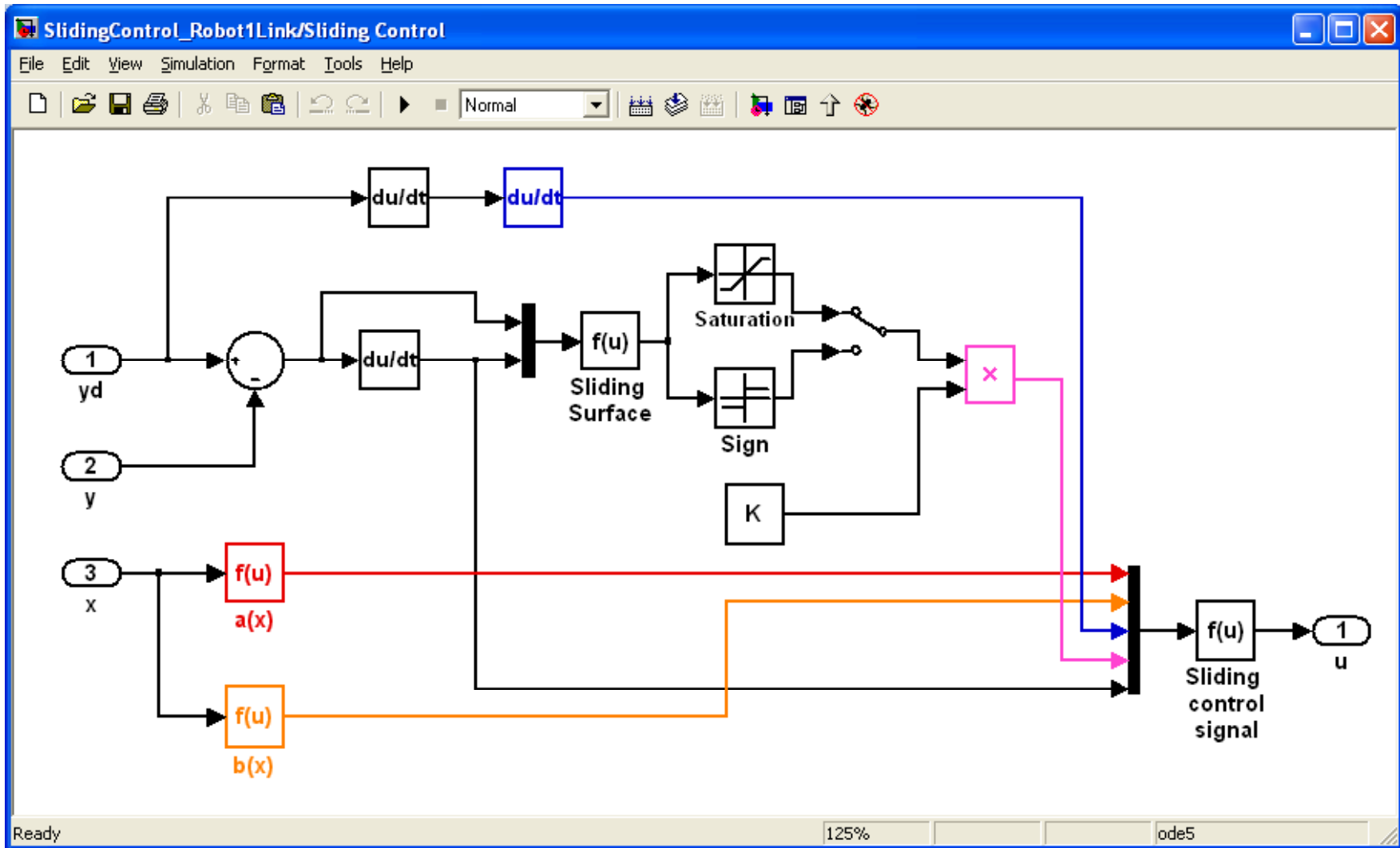
★ Thiết kế bộ lọc tín hiệu vào

Chọn bộ lọc thông thấp bậc 2 để tín hiệu $y_d(t)$ khả vi bị chặn đến đạo hàm bậc 2. Hàm truyền của bộ lọc là:

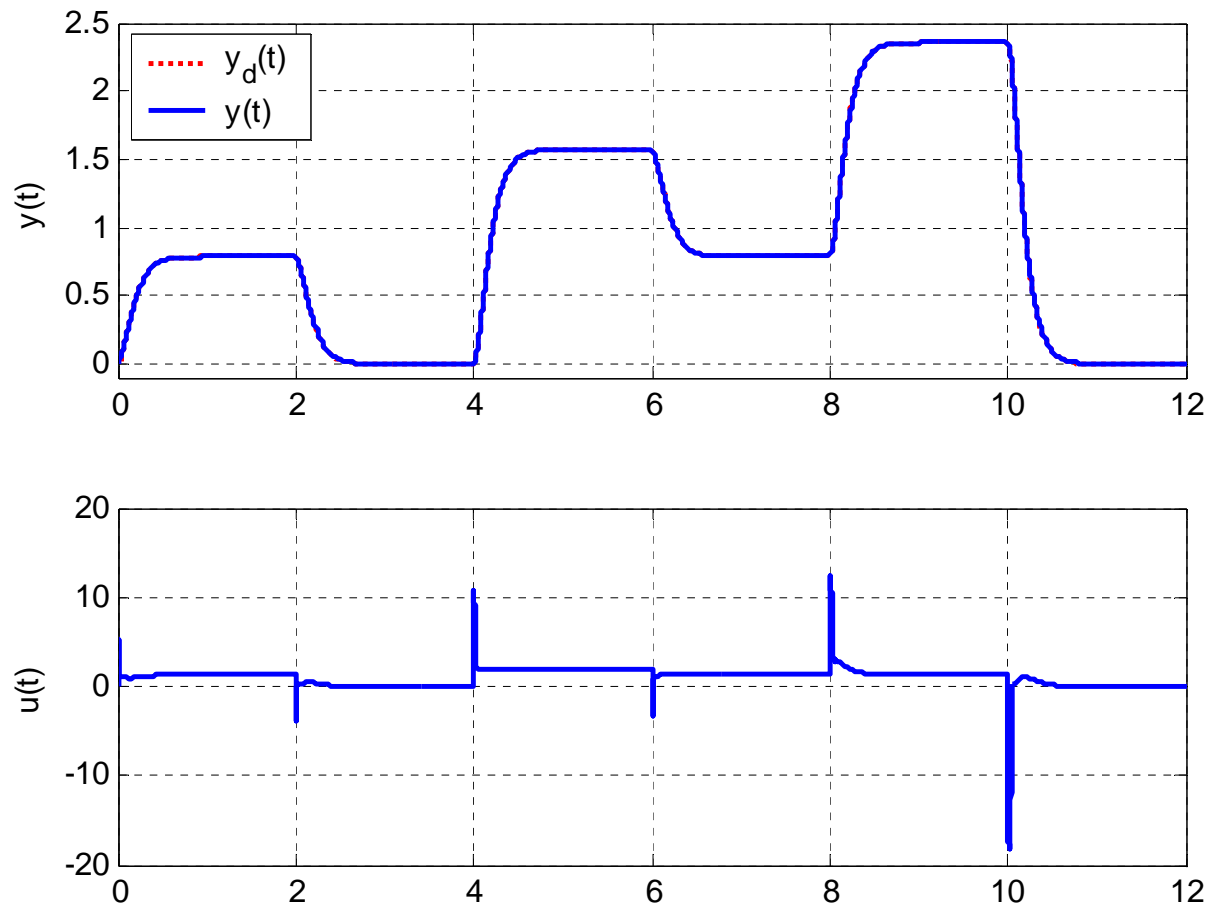
$$G_{LF}(s) = \frac{1}{(0.1s + 1)^2}$$



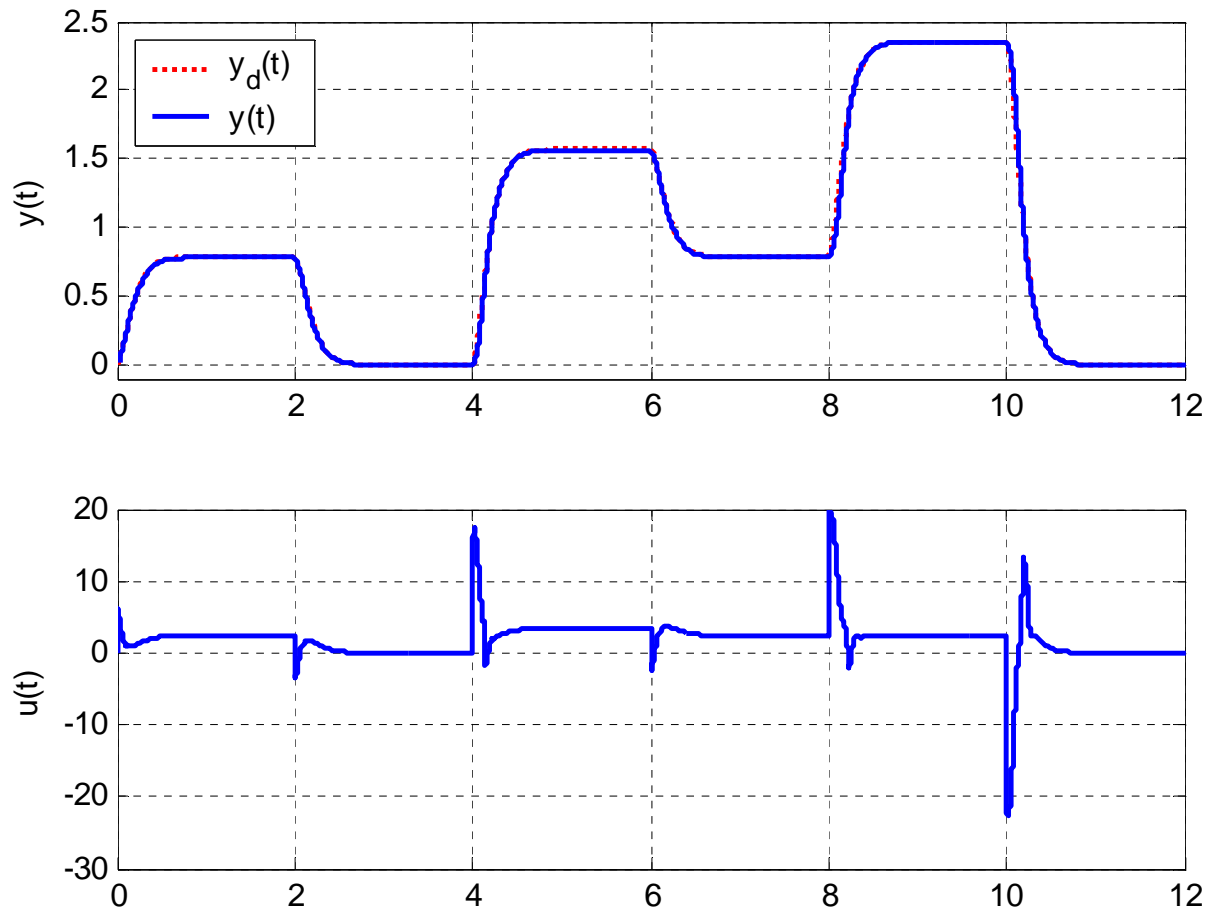
Mô phỏng hệ thống điều khiển trượt



Mô phỏng khối điều khiển trượt

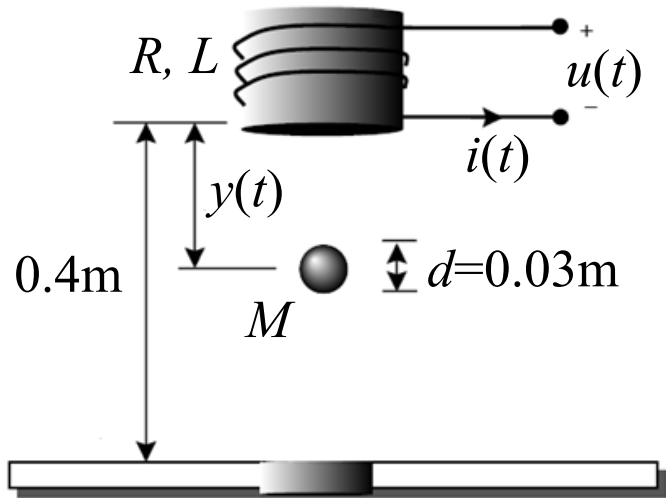


- ★ Tín hiệu ra của tay máy bám theo tín hiệu đặt rất tốt khi tay máy gặp vật đúng khối lượng thiết kế, hiện tượng chattering không xảy ra do hàm $\text{sat}()$ được dùng thay hàm $\text{sign}()$



- ★ Khi khối lượng robot gấp vật nặng có khối lượng gấp 5 lần khối lượng thiết kế ($=0.5\text{kg}$) chất lượng điều khiển gần như không bị ảnh hưởng.
 \Rightarrow Bộ điều khiển trượt có tính bền vững

Điều khiển trượt hệ nâng bi trong từ trường



★ Đặt biến trạng thái:

$$x_1(t) = y(t), x_2(t) = \dot{y}(t), x_3(t) = i(t)$$

⇒ Phương trình trạng thái:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = g - \frac{x_3^2}{Mx_1} \\ \dot{x}_3 = -\frac{R}{L}x_3 + \frac{1}{L}u(t) \end{cases}$$

★ Lấy đạo hàm tín hiệu ra, ta được

$$\dot{y}(t) = \dot{x}_1(t) = x_2(t)$$

$$\ddot{y}(t) = \dot{x}_2(t) = g - \frac{x_3^2}{Mx_1}$$

$$\ddot{y}(t) = \frac{-2x_3\dot{x}_3x_1 + x_3^2\dot{x}_1}{Mx_1^2} = \frac{-2x_3\left(-\frac{R}{L}x_3 + \frac{1}{L}u(t)\right)x_1 + x_3^2x_2}{Mx_1^2}$$

$$\Rightarrow \ddot{y} = a(\mathbf{x}) + b(\mathbf{x})u \quad (1)$$

với
$$a(\mathbf{x}) = \frac{x_3^2(2Rx_1 + Lx_2)}{MLx_1^2} \quad b(\mathbf{x}) = -\frac{2x_3}{MLx_1}$$

★ Biểu thức mặt trượt

$$\sigma = \ddot{e} + k_1\dot{e} + k_2e$$

với $e = y_d - y$

Đa thức đặc trưng của mặt trượt: $s^2 + k_1s + k_2 = 0$

Chọn cặp cực của đa thức đặc trưng là $-10, -10 \Rightarrow k_1 = 20, k_2 = 100$

★ Viết biểu thức bộ điều khiển trượt

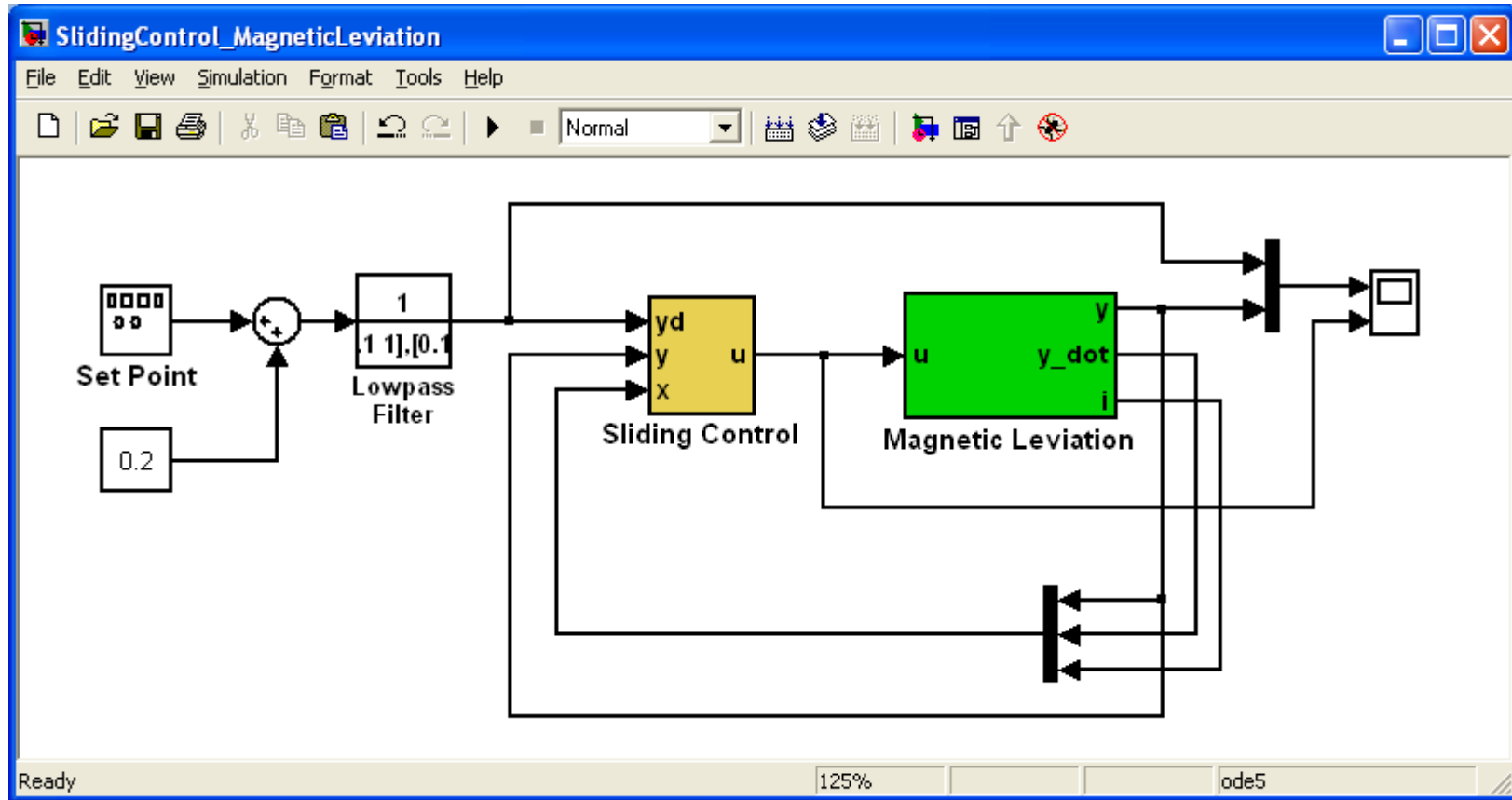
$$u = \frac{1}{b(\mathbf{x})} \left[-a(\mathbf{x}) + \ddot{y}_d + k_1\ddot{e} + k_2\dot{e} + K\text{sign}(\sigma) \right]$$

Chọn: $K = 50$

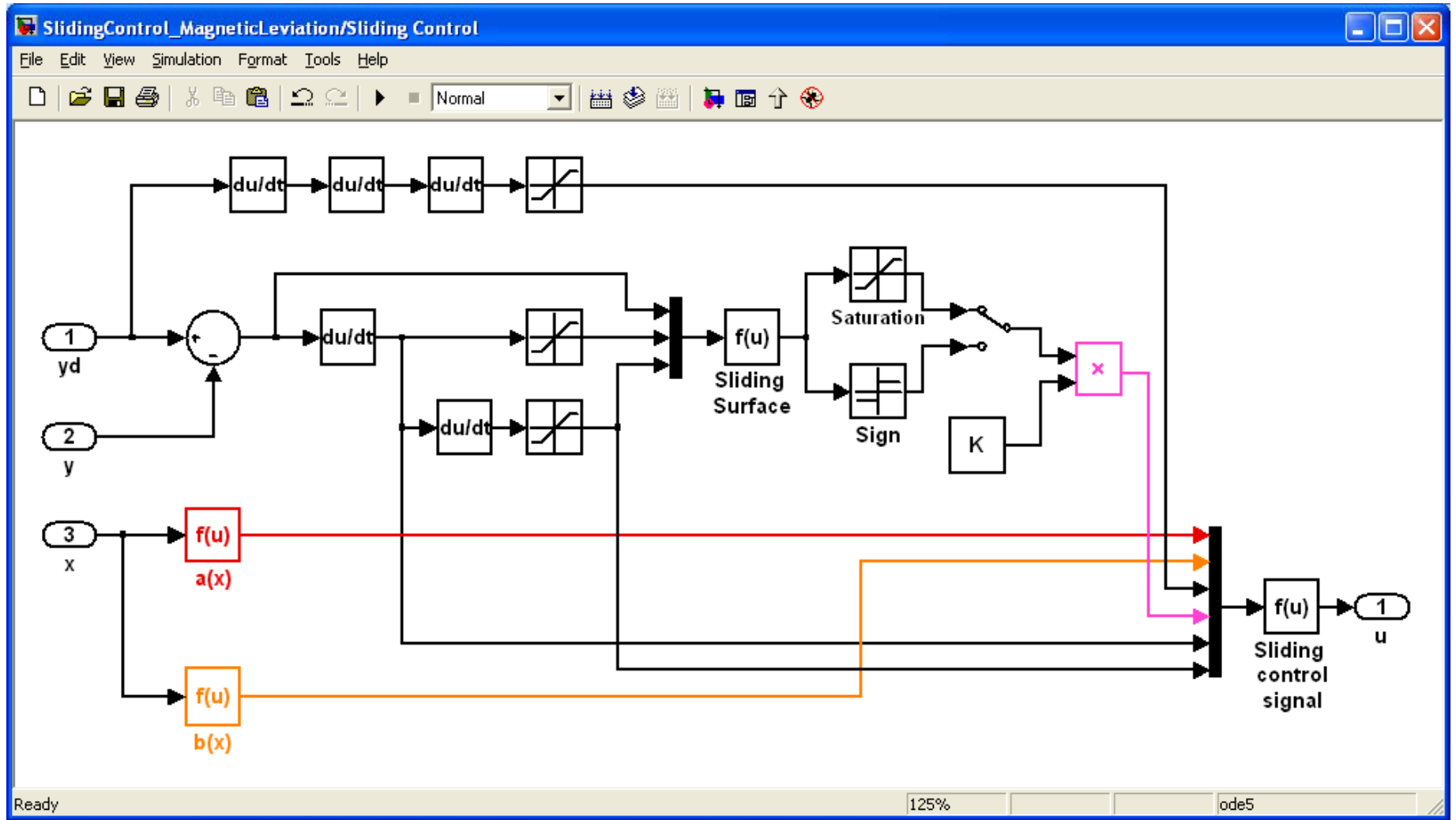
★ Thiết kế bộ lọc tín hiệu vào

Chọn bộ lọc thông thấp bậc 3 để tín hiệu $y_d(t)$ khả vi bị chặn đến đạo hàm bậc 3. Hàm truyền của bộ lọc là:

$$G_{LF}(s) = \frac{1}{(0.1s + 1)^3}$$

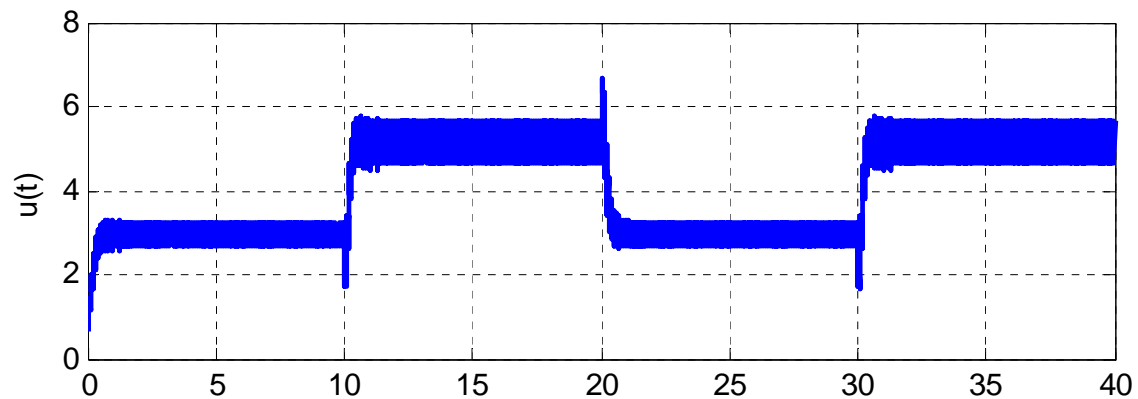
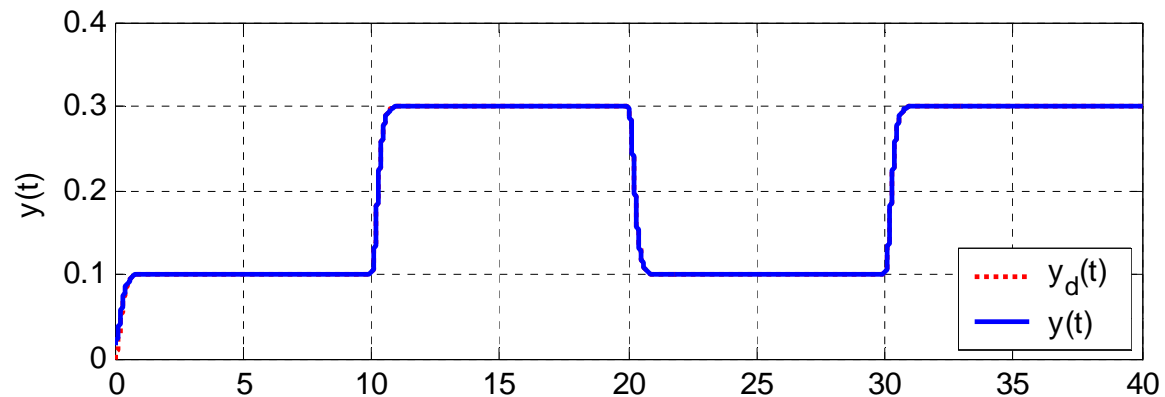


Mô phỏng hệ thống điều khiển trượt hệ nâng vật trong từ trường



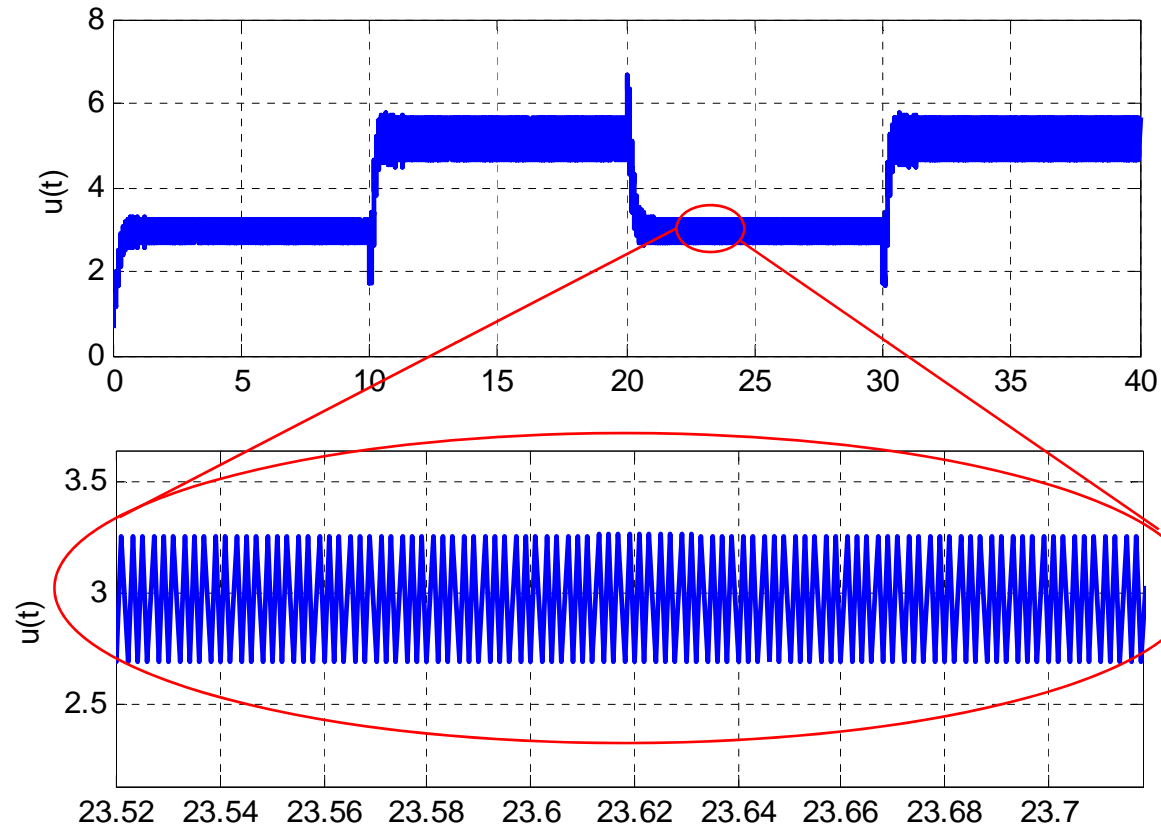
Mô phỏng khối điều khiển trượt

Kết quả mô phỏng khi tín hiệu chuẩn là xung vuông



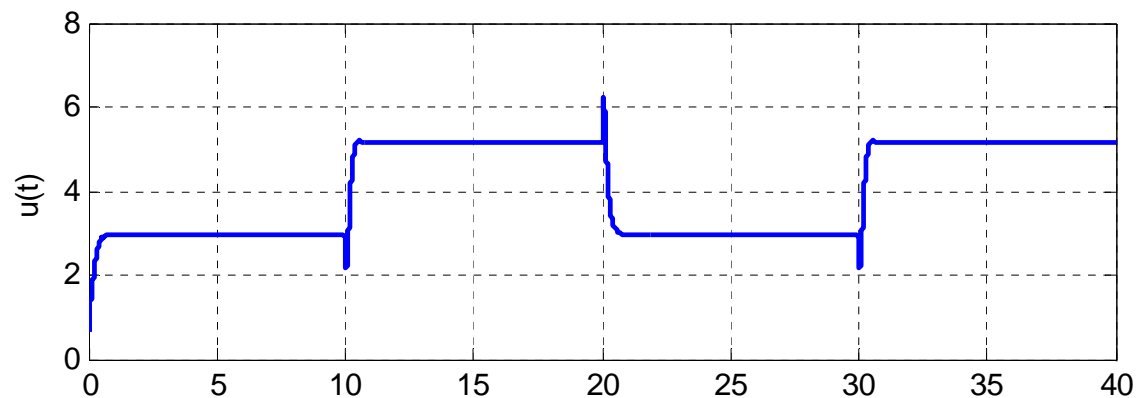
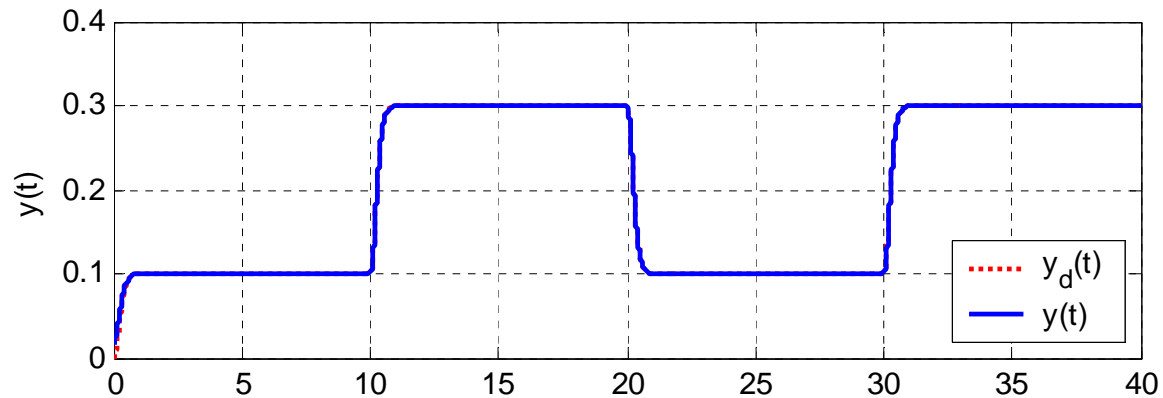
★ Vị trí viên bi bám theo tín hiệu chuẩn $y_d(t)$ rất tốt

Kết quả mô phỏng khi tín hiệu chuẩn là xung vuông



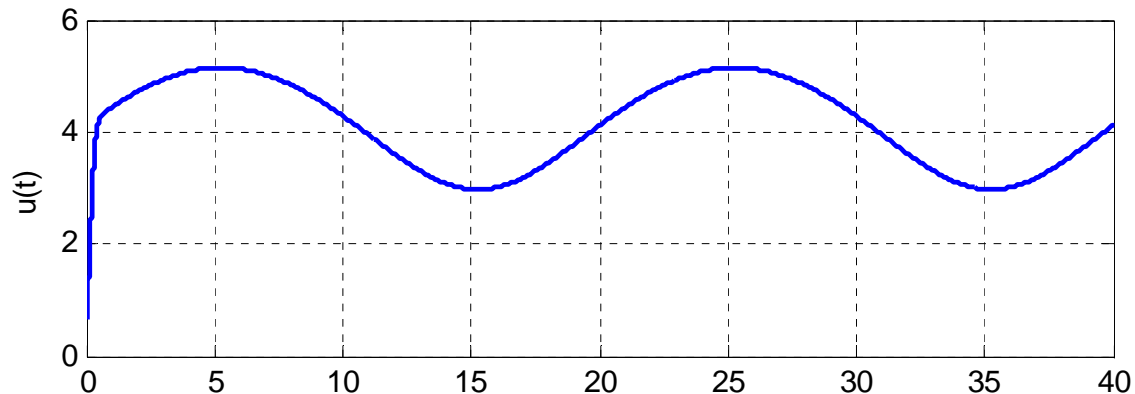
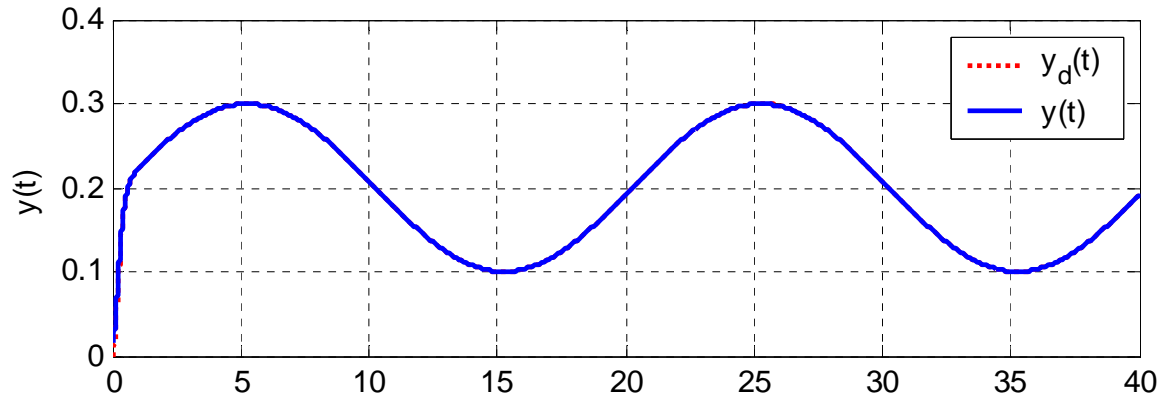
- ★ Khuyết điểm của bộ điều khiển trượt là hiện tượng “chattering” (= tín hiệu điều khiển dao động với tần số cao).

Kết quả mô phỏng khi tín hiệu chuẩn là xung vuông



- ★ Khi thay thế hàm `sign()` bằng hàm `sat()`, hiện tượng chattering bị loại bỏ hoàn toàn, trong khi đó tính bền vững và chất lượng điều khiển của hệ thống điều khiển trượt vẫn đảm bảo

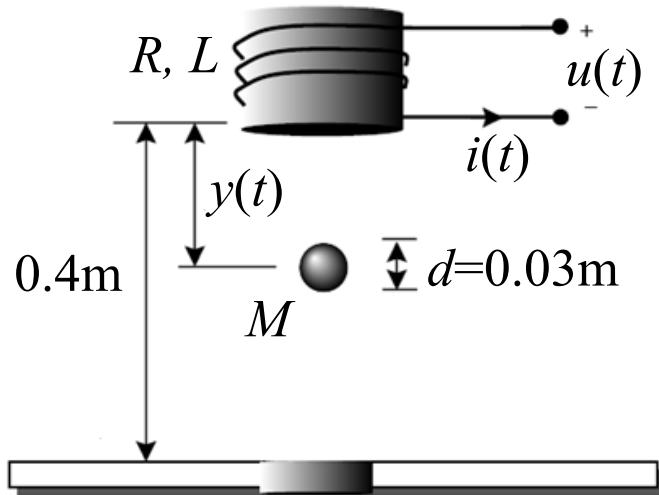
Kết quả mô phỏng khi tín hiệu chuẩn hình sin



- ★ Vị trí viên bi bám theo tín hiệu chuẩn $y_d(t)$ rất tốt, không có hiện tượng chattering khi sử dụng hàm $\text{sat}()$ thay thế hàm $\text{sign}()$

THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN TỐI ƯU

Hệ nâng bi trong từ trường



★ Đặt biến trạng thái:

$$x_1(t) = y(t), x_2(t) = \dot{y}(t), x_3(t) = i(t)$$

★ Phương trình trạng thái

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{f}(\mathbf{x}(t), u(t)) \\ y(t) = h(\mathbf{x}(t), u(t)) \end{cases}$$

trong đó:

$$\mathbf{f}(\mathbf{x}, u) = \begin{bmatrix} x_2(t) \\ g - \frac{x_3^2}{Mx_1} \\ -\frac{R}{L}x_3 + \frac{1}{L}u(t) \end{bmatrix}$$

$$h(\mathbf{x}(t), u(t)) = x_1(t)$$

★ Điểm dừng tương ứng với $\bar{y} = \bar{x}_1 = 0.2$

$$f(\bar{x}, \bar{u}) = \begin{bmatrix} \bar{x}_2 \\ g - \frac{\bar{x}_3^2}{M\bar{x}_1} \\ -\frac{R}{L}\bar{x}_3 + \frac{1}{L}\bar{u} \end{bmatrix} = 0 \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} \bar{x}_1 = 0.2 \\ \bar{x}_2 = 0 \\ \bar{x}_3 = 0.1401 \\ \bar{u} = 4.2010 \end{cases}$$

★ Phương trình trạng thái tuyến tính

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

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ \frac{\bar{x}_3^2}{M\bar{x}_1^2} & 0 & -\frac{2\bar{x}_3}{M\bar{x}_1} \\ 0 & 0 & -\frac{R}{L} \end{bmatrix} \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ \frac{1}{L} \end{bmatrix} \quad \mathbf{C} = [1 \quad 0 \quad 0]$$

★ Thay giá trị cụ thể thông số hệ thống, ta được

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 49.05 & 0 & -140.07 \\ 0 & 0 & -300 \end{bmatrix} \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 10 \end{bmatrix} \quad \mathbf{C} = [1 \quad 0 \quad 0]$$

★ Giả thiết:

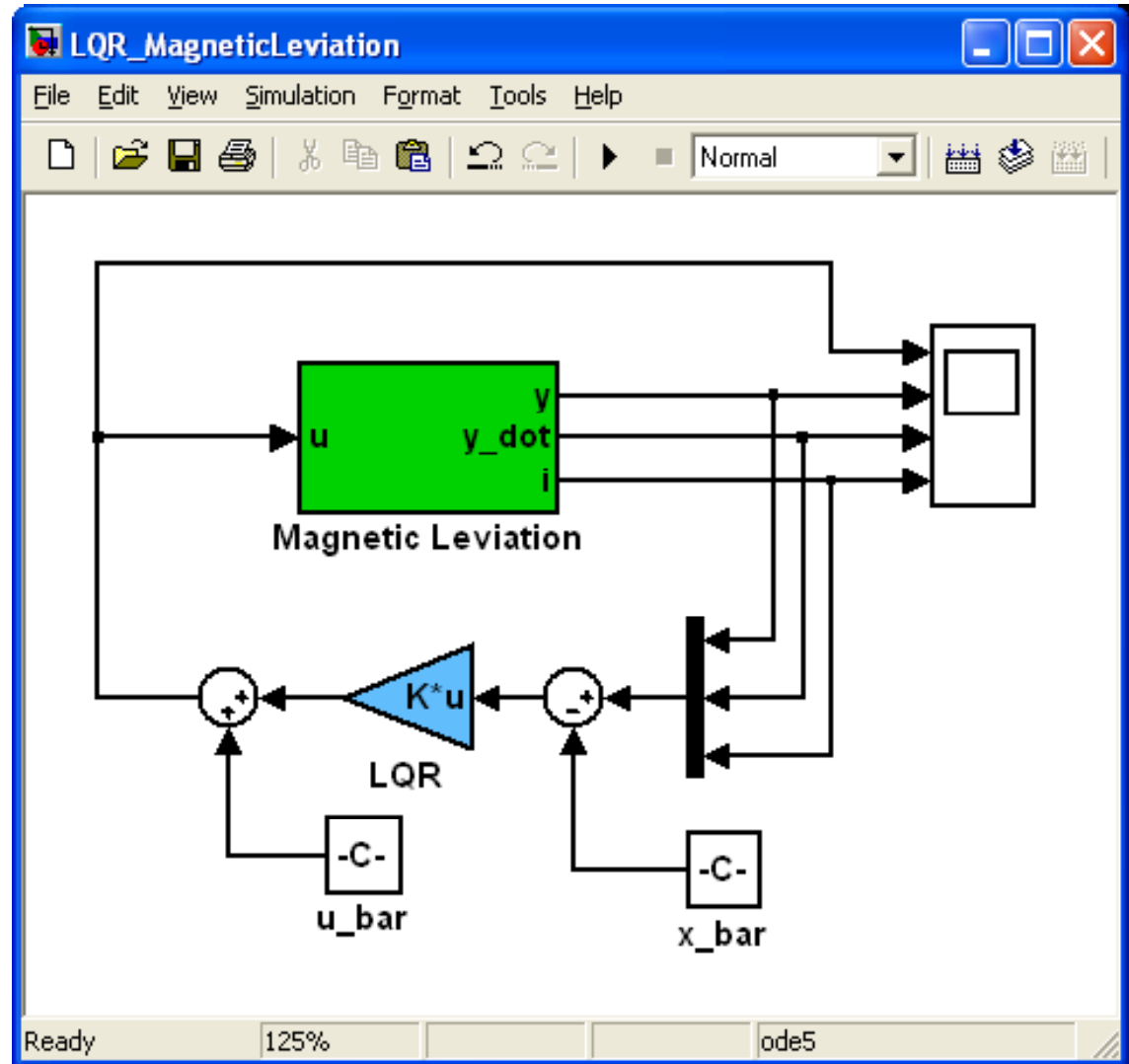
- Đặc tính động của hệ nâng bi trong từ trường có thể được mô tả bởi hệ PTTT tuyến tính. Bài toán điều khiển giữ vị trí viên vi ổn định quanh điểm cân bằng thỏa mãn điều kiện này.
- Hệ thống phản hồi trạng thái đầy đủ, nghĩa là có thể đo được 3 biến trạng thái (*vị trí bi, vận tốc bi, cường độ dòng điện*)
- Không có nhiễu tác động vào hệ thống.

★ Thiết kế dùng Matlab:

- `>> K = lqr(A,B,Q,R)`
- Tùy theo độ lớn tương đối giữa trọng số Q và R mà hệ thống có đáp ứng quá độ và năng lượng tiêu tốn khác nhau.
- Muốn trạng thái đáp ứng nhanh tăng thành phần Q tương ứng
- Muốn giảm năng lượng tăng R

- ★ Trong sơ đồ mô phỏng ở hình bên cần lưu ý bộ điều khiển LQR được thiết kế dựa trên mô hình tuyến tính.
- ★ Quan hệ giữa các tín hiệu vào ra của mô hình tuyến tính và đối tượng phi tuyến như sau:

$$\begin{cases} \tilde{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{x}(t) - \bar{\mathbf{x}} \\ \tilde{u}(t) = u(t) - \bar{u} \end{cases}$$



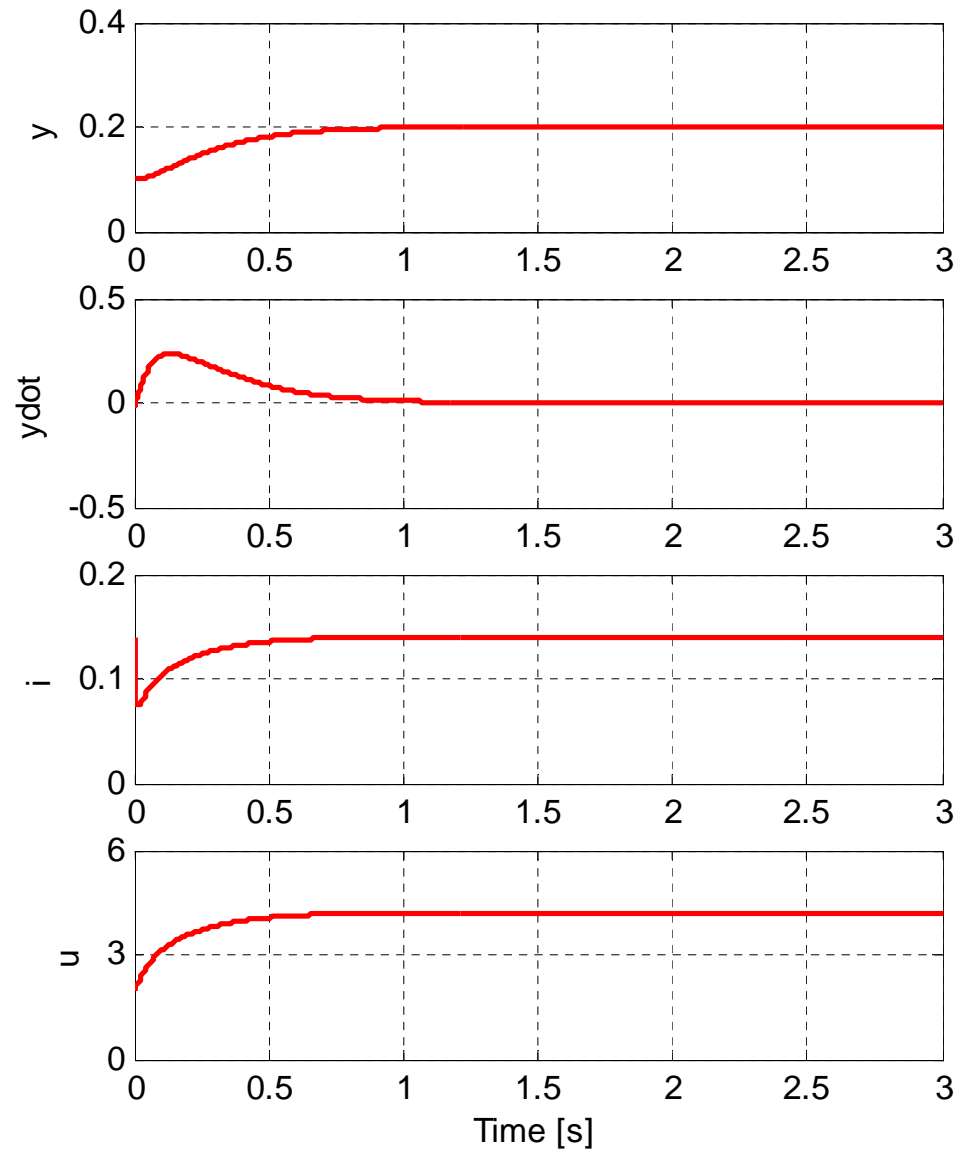
Kết quả mô phỏng điều khiển LQR nâng bi trong từ trường

$$Q = \begin{bmatrix} 10 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R = 1$$

$$K = [-22.009 \quad -3.267 \quad 1.504]$$

Viên bi được điều khiển về điểm làm việc tĩnh $\bar{y} = 0.2$ từ vị trí đầu $y_0 = 0.1$



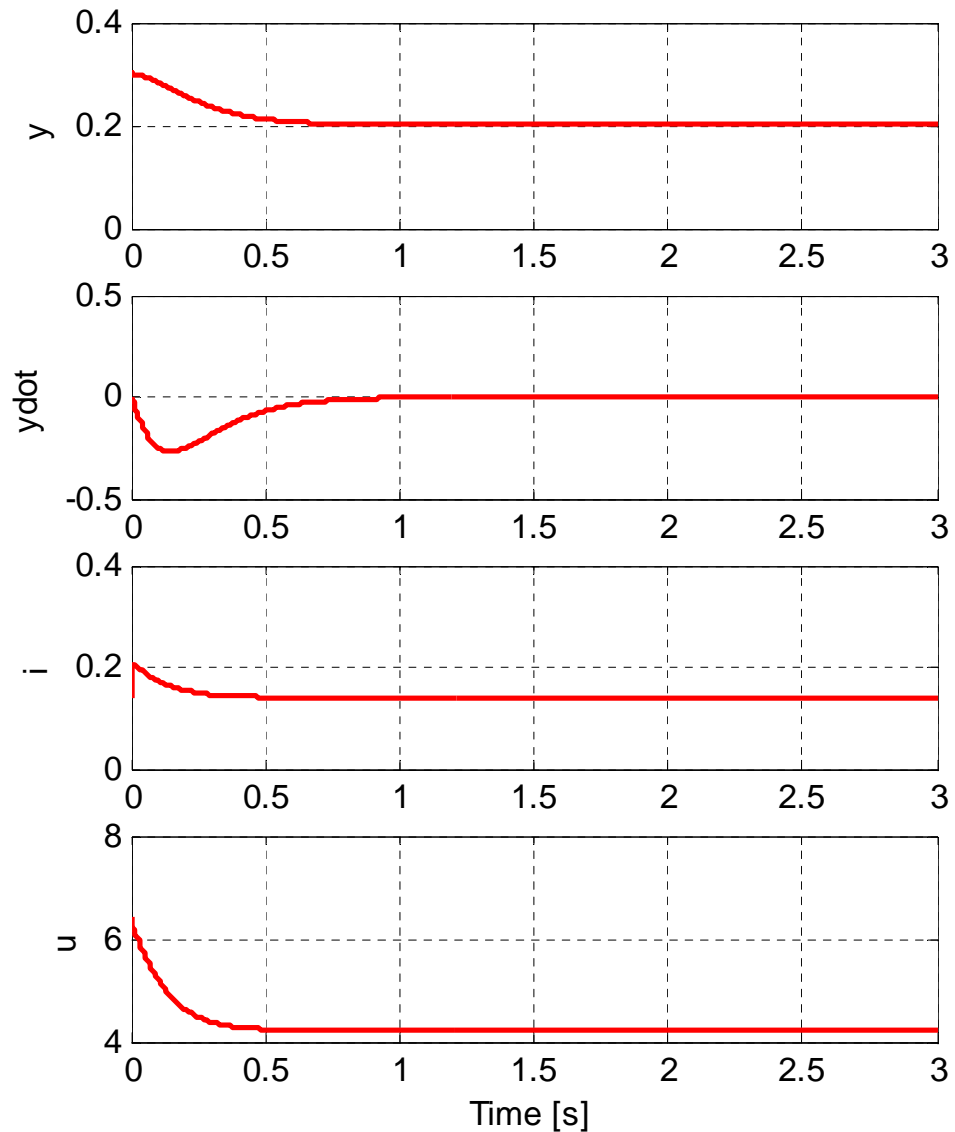
Kết quả mô phỏng điều khiển LQR nâng bi trong từ trường

$$Q = \begin{bmatrix} 10 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R = 1$$

$$K = [-22.009 \quad -3.267 \quad 1.504]$$

Viên bi được điều khiển về điểm làm việc tĩnh $\bar{y} = 0.2$ từ vị trí đầu $y_0 = 0.3$



★ Giả thiết:

- Hệ thống hoạt động trong miền tuyến tính
- Giả sử chỉ đo vị trí viên bi, không đo được vận tốc viên bi và cường độ dòng điện.
- Có nhiễu tác động vào hệ thống. Nhiễu đo vị trí viên bi có phương sai là 0.0001

⇒ Dùng lọc Kalman để ước lượng trạng thái và lọc nhiễu

★ Thiết kế dùng Matlab:

- `>> K = lqr(A,B,Q,R)`
- `>> L = lqe(A,G,C,QN,RN)` %G là ma trận đơn vị

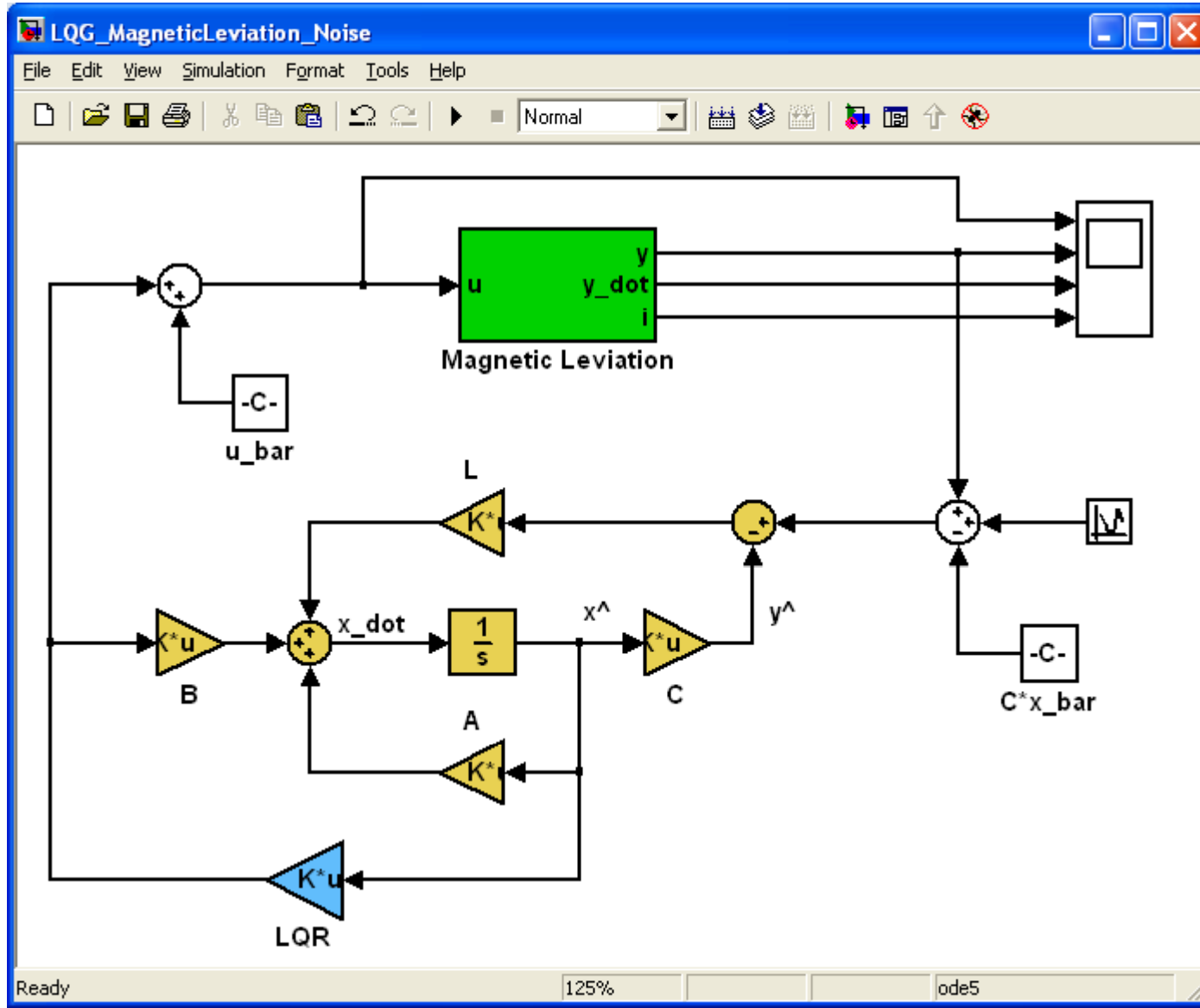
★ Bộ điều khiển LQR

$$\left. \begin{array}{l} \mathbf{Q} = \begin{bmatrix} 10 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ R = 1 \end{array} \right\} \Rightarrow \mathbf{K} = [-22.009 \quad -3.267 \quad 1.504]$$

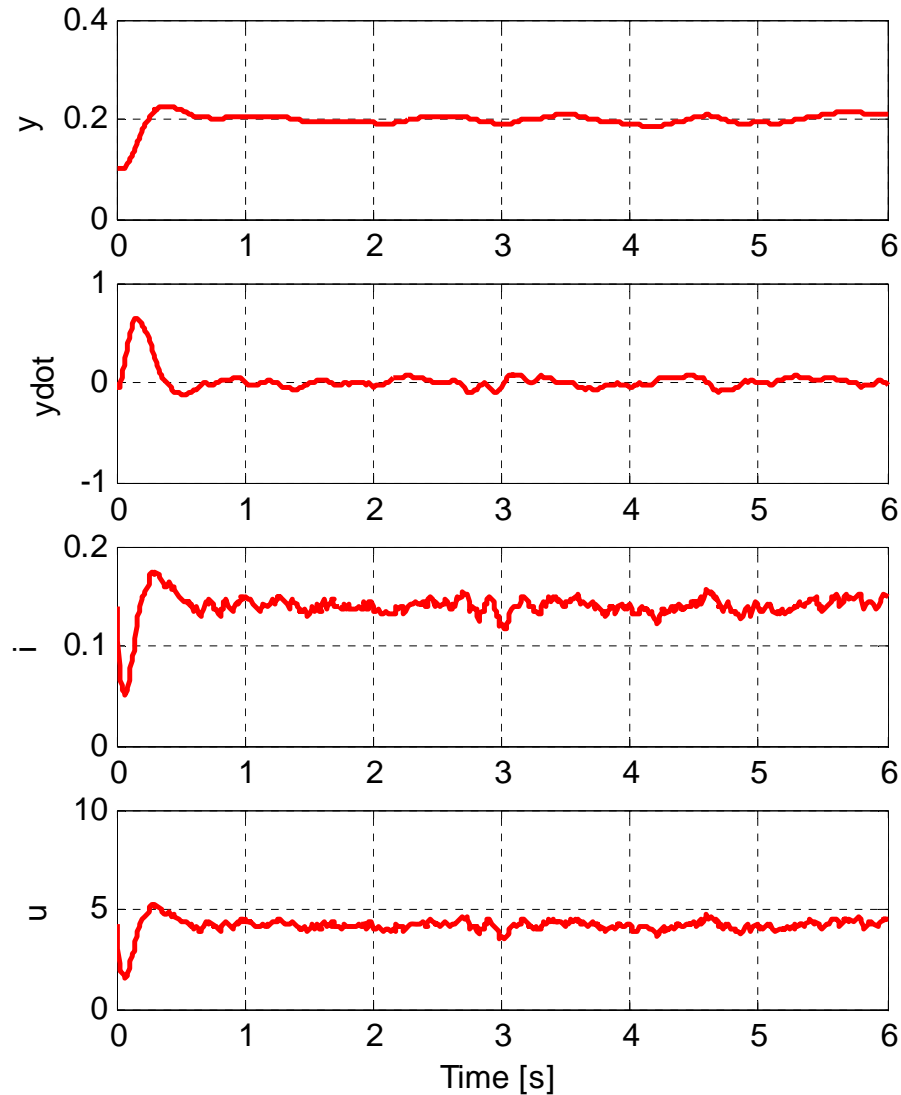
★ Bộ lọc Kalman

$$\left. \begin{array}{l} \mathbf{Q}_N = 0.000001\mathbf{I} \\ \mathbf{R}_N = 0.0001 \end{array} \right\} \Rightarrow \mathbf{L} = \begin{bmatrix} 14.0075 \\ 98.1001 \\ 0 \end{bmatrix}$$

(Do ta giả sử không có nhiễu hệ thống nên chọn \mathbf{Q}_N rất bé. Hai thành phần của \mathbf{R}_N chính là phương sai của nhiễu đo lường)

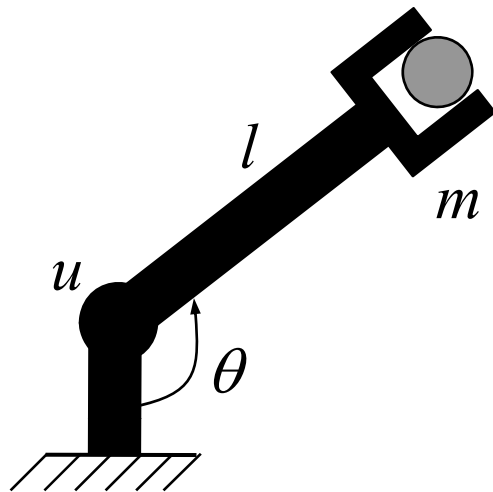


Bộ lọc Kalman ước lượng trạng thái và lọc nhiễu, nhờ vậy hệ thống điều khiển LQG vẫn giữ được vị trí viên bi quanh điểm làm việc mặc dù không đo được vận tốc viên bi và cường độ dòng điện



THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI

Điều khiển thích nghi hệ tay máy theo mô hình chuẩn



- ★ Từ mô hình toán của hệ tay máy, có thể dễ dàng rút ra được hàm truyền tuyến tính của hệ tay máy quanh điểm làm việc tĩnh có dạng:

$$G(s) = \frac{K}{p^2 + ap + b}$$

Trong đó K , a , và b là các hằng số chưa biết, phụ thuộc vào thông số vật lý của hệ tay máy và điểm làm việc tĩnh.

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

$$y_m(t) = \frac{4}{p^2 + 4p + 4} u_c(t)$$

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

★ Bước 2: Kiểm tra mô hình chuẩn có thỏa mãn đ.kiện tồn tại lời giải:

$$B_m = B^- B'_m \Rightarrow B'_m = 4 / K$$

$$\underbrace{\text{bậc}(A_m)}_2 - \underbrace{\text{bậc}(B_m)}_0 \geq \underbrace{\text{bậc}(A)}_2 - \underbrace{\text{bậc}(B)}_0$$

★ Bước 3: Chọn bậc của A_0 :

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

⇒ Chọn $A_0 = p + 1$

★ Bước 4: Chọn bậc của R, T, S :

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

$$\text{bậc}(T) = \text{bậc}(A_0) + \text{bậc}(B'_m) = 1 + 0 = 1$$

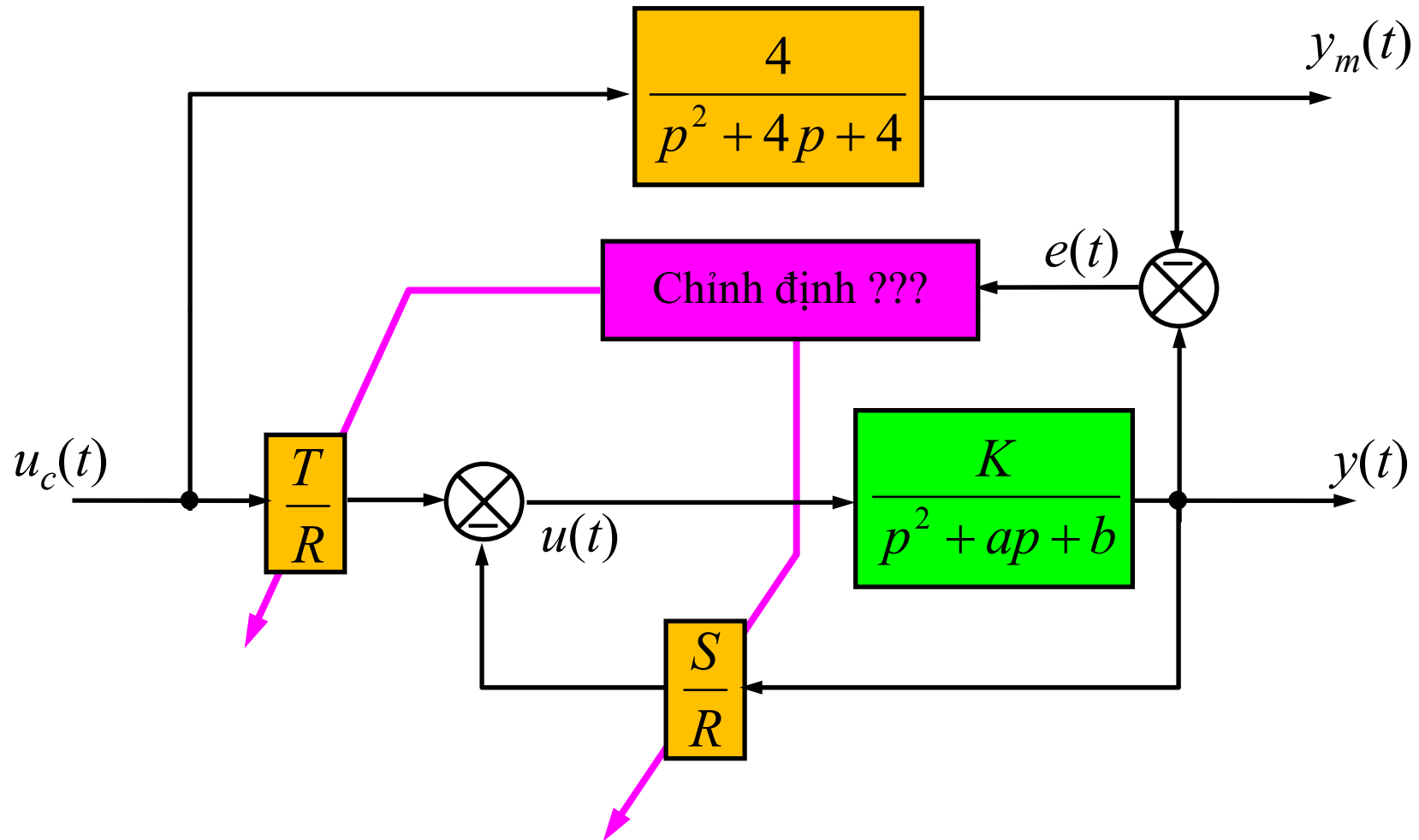
$$\begin{aligned} \text{bậc}(S) &= \min\{\text{bậc}(R), [\text{bậc}(A_0) + \text{bậc}(A_m) - \text{bậc}(B^-)]\} \\ &= \min\{1, [1 + 2 - 0]\} = 1 \end{aligned}$$

⇒ 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: $\theta = [r_1, t_0, t_1, s_0, s_1]^T$

Điều khiển thích nghi hệ tay máy theo mô hình chuẩn



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

$$\frac{dt_0}{dt} = -\gamma e \left(\frac{p}{(p^2 + 4p + 4)} u_c \right)$$

$$\frac{dt_1}{dt} = -\gamma e \left(\frac{1}{(p^2 + 4p + 4)} u_c \right)$$

$$\frac{ds_0}{dt} = \gamma e \left(\frac{p}{p^2 + 4p + 4} y \right)$$

$$\frac{ds_1}{dt} = \gamma e \left(\frac{1}{p^2 + 4p + 4} y \right)$$

$$\frac{dr_1}{dt} = \gamma e \left(\frac{1}{p^2 + 4p + 4} u \right)$$

