

ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA



BÁO CÁO BÀI TẬP LỚN
LÝ THUYẾT ĐIỀU KHIỂN NÂNG CAO
L04 – HK222
Đề tài: ĐIỀU KHIỂN MOBILE ROBOT
BẢNG PHƯƠNG PHÁP HỒI TIẾP TUYẾN TÍNH HOÁ
GVHD: PSG. TS Nguyễn Tấn Luỹ

Sinh viên thực hiện

STT	Họ và tên	MSSV
1	Võ Minh Nguyễn	2013945
2	Trần Anh Minh	2013788
3	Trần Trung Nhân	2012481
4	Nguyễn Viết Phiên	2014111
5	Đặng Thanh Phát	2014074

TP. Hồ Chí Minh, ngày 03 tháng 05 năm 2023

MỤC LỤC

GIỚI THIỆU.....	3
NỘI DUNG	5
1. Luật điều khiển hồi tiếp tuyến tính hoá.....	5
2. Mô hình Wheeled Mobile Robot (WMR)	7
<i>2.1. Mô hình động học của WMR.....</i>	<i>7</i>
<i>2.2. Mô hình động lực học của WMR</i>	<i>8</i>
<i>2.3. Mô hình không gian trạng thái của MWR.....</i>	<i>9</i>
3. Thiết kế bộ điều khiển hồi tiếp tuyến tính hoá cho WMR.....	9
<i>3.1. Bộ điều khiển cho mô hình động học bám quỹ đạo</i>	<i>9</i>
<i>3.2. Bộ điều khiển cho mô hình động lực học bám theo tín đặt vận tốc</i>	<i>20</i>
<i>3.3. Bộ điều khiển cho mô hình không gian trạng thái của robot bám theo tín hiệu đặt η_d.....</i>	<i>24</i>
TÀI LIỆU THAM KHẢO	30

GIỚI THIỆU

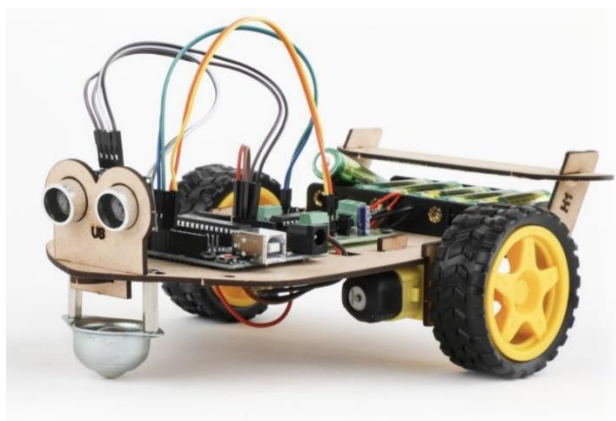
Luật điều khiển hồi tiếp tuyến tính hoá là một phương pháp điều khiển phản hồi cho các hệ thống phi tuyến. Nó được sử dụng để biến đổi hệ thống phi tuyến thành hệ thống tuyến tính trong phạm vi một điểm làm việc cụ thể, và từ đó áp dụng các kỹ thuật điều khiển tuyến tính để ổn định hệ thống.

Để áp dụng luật điều khiển hồi tiếp tuyến tính hoá, hệ thống được chia thành hai phần: phần tuyến tính và phần phi tuyến. Phần tuyến tính được ổn định bằng các kỹ thuật điều khiển tuyến tính thông thường, trong khi phần phi tuyến được điều khiển bằng cách sử dụng một luật điều khiển phi tuyến đơn giản.

Luật điều khiển phi tuyến này được thiết kế để biến đổi đầu ra của phần phi tuyến thành một tín hiệu đầu vào tuyến tính cho phần tuyến tính. Cụ thể, luật điều khiển này sử dụng các công thức toán học để biến đổi các tín hiệu đầu vào và đầu ra của phần phi tuyến, sao cho chúng có thể được kết hợp với phần tuyến tính để tạo ra một hệ thống tuyến tính.

Luật điều khiển hồi tiếp tuyến tính hoá là một phương pháp điều khiển hiệu quả cho các hệ thống phi tuyến, vì nó cho phép sử dụng các kỹ thuật điều khiển tuyến tính thông thường để ổn định hệ thống, mặc dù hệ thống ban đầu là phi tuyến. Tuy nhiên, việc thiết kế luật điều khiển phi tuyến phù hợp vẫn là một thách thức đối với các hệ thống phức tạp.

Và để hiểu rõ hơn về luật điều khiển này, nhóm quyết định chọn đề tài điều khiển hồi tiếp tuyến tính hoá với đối tượng phi tuyến là xe mobile robot (wheeled mobile robot – WMR).



Xe mobile robot

Đây là loại robot với hai bánh xe có động cơ hoạt động độc lập và một bánh xe dẫn động. Wheeled mobile robot được sử dụng trong nhiều ứng dụng khác nhau, bao gồm hệ thống tự động hóa nhà máy, dịch vụ giao hàng tự động, và robot dọn dẹp trong gia đình. Các loại robot

này được thiết kế để di chuyển trên bề mặt phẳng và không thể vượt qua các chướng ngại vật cao hoặc di chuyển trên địa hình không đồng đều.

NỘI DUNG

1. Luật điều khiển hồi tiếp tuyến tính hoá

Đối tượng phi tuyến MIMO (Multi-Input Multi-Output) bậc n mô tả bởi phương trình trạng thái:

$$\begin{cases} \dot{x} = f(x) + g(x)u \\ y = h(x) \end{cases} \quad (1.1)$$

Trong đó:

$x = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_n]^T \in \mathfrak{R}^n$ là vector trạng thái của hệ thống

$u \in \mathfrak{R}^m$ là tín hiệu vào

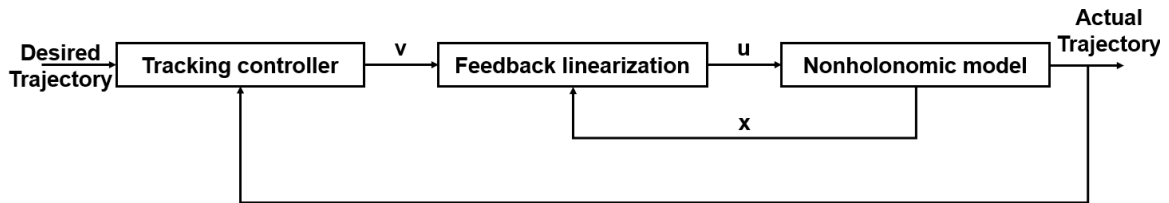
$y \in \mathfrak{R}^m$ là tín hiệu ra

$f(x) \in \mathfrak{R}^n$, $g(x) \in \mathfrak{R}^{n \times m}$ là các vector hàm trơn mô tả động học của hệ thống

$h(x) \in \mathfrak{R}^m$ là hàm trơn mô tả quan hệ giữ biến trạng thái và tín hiệu ra

Bài toán đặt ra là điều khiển tín hiệu ra $y(t)$ bám theo tín hiệu đặt $y_d(t)$.

* Ý tưởng thiết kế bộ điều khiển hồi tiếp tuyến tính hóa:



Hình 1.1. Bộ điều khiển hồi tiếp tuyến tính hoá

Gồm 2 vòng điều khiển:

- *Vòng điều khiển trong:* Bộ điều khiển hồi tiếp tuyến tính hóa, biến đổi hệ phi tuyến thành hệ tuyến tính.
- *Vòng điều khiển ngoài:* Bộ điều khiển bám, thiết kế dựa vào lý thuyết điều khiển tuyến tính thông thường.

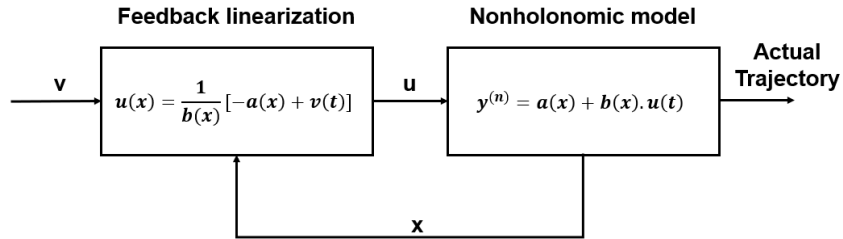
Nếu đối tượng có bậc tương đối bằng n , bằng cách lấy đạo hàm của phương trình $y = h(x)$ n lần, có thể biểu diễn quan hệ vào ra của đối tượng dưới dạng:

$$y^{(n)} = a(x) + b(x)u(t) \quad (1.2)$$

Trong đó: $a(x) = L_f^n h(x)$, $b(x) = L_g L_f^n h(x)$, $\det(b(x)) \neq 0$

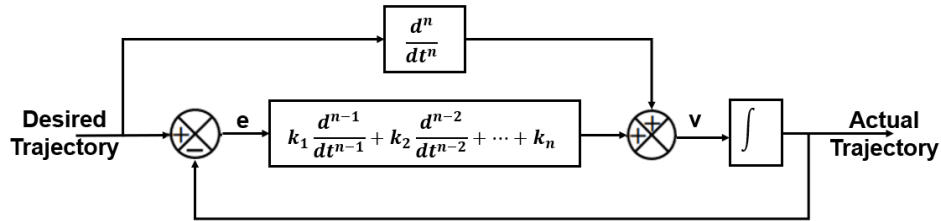
Khi đó, luật điều khiển hồi tiếp tuyến tính hoá có dạng:

$$u(x) = \frac{1}{b(x)} [-a(x) + v(t)] \quad (1.3)$$



Hình 1.2. Vòng điều khiển trong của bộ điều khiển hồi tiếp tuyến tính hoá

- Đối tượng phi tuyến với tín hiệu vào $u(t)$ được biến đổi thành đối tượng tuyến tính với tín hiệu vào là $v(t)$
- Thiết kế bộ điều khiển tuyến tính cho đối tượng đã tuyến tính hóa với bộ điều khiển bám



Hình 1.3. Vòng ngoài của bộ điều khiển

Với sai số $e = y_d - y$ thì bộ điều khiển bám có dạng:

$$v = y_d^{(n)} + [k_1 e^{(n-1)} + k_2 e^{(n-2)} + \dots + k_n e] \quad (1.4)$$

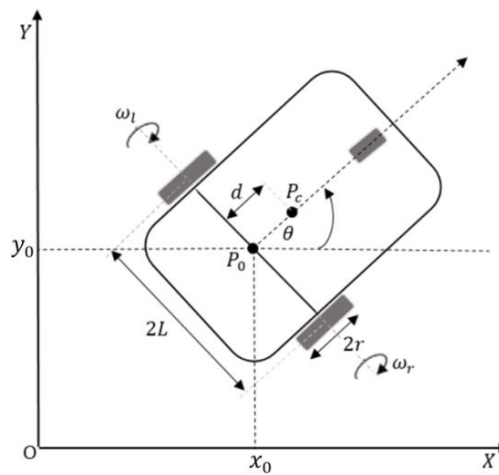
Giả thiết: Tín hiệu chuẩn (tín hiệu đặt) khả vi bị chặn đến bậc n

- Đặc tính động học sai số: $(s^n + k_1 s^{n-1} + k_2 s^{n-2} + \dots + k_n) E(s) = 0$
- Đa thức đặc trưng: $\Delta(s) = s^n + k_1 s^{n-1} + k_2 s^{n-2} + \dots + k_n$
- Hệ thống kín ổn định và $e(t) \Rightarrow 0$ khi $t \Rightarrow \infty$. Chú ý vị trí cực của $\Delta(s)$ quyết định đáp ứng quá độ trong quá trình tiến về 0 của $e(t)$.

Lưu ý:

- Thuật toán điều khiển bám $v(t)$ đòi hỏi tín hiệu đặt y_d phải khả vi bị chặn đến bậc n
- Tín hiệu đặt có dạng xung: đạo hàm tại thời điểm tín hiệu đặt chuyển trạng thái là vô cùng lớn làm cho tín hiệu điều khiển vô cùng lớn. Trong trường hợp này cần phải cho tín hiệu đặt $r(t)$ qua bộ lọc thông thấp bậc n để được tín hiệu đặt mới khả vi hữu hạn. Tuy nhiên việc thêm bộ lọc ở đầu vào có thể làm chậm đáp ứng của hệ thống.
- Kết quả điều khiển không tốt, thậm chí hệ thống không ổn định nếu mô hình dùng để thiết kế bộ điều khiển hồi tiếp tuyến tính hóa không mô tả chính xác đặc tính động học của đối tượng.

2. Mô hình Wheeled Mobile Robot (WMR)



Hình 2.1: Mô hình mobile robot

WMR trong hình trên có một bánh xe thụ động được gắn ở phần đầu và hai bánh xe chủ động được gắn trên cùng một trục, chúng được điều khiển bởi hai động cơ độc lập cung cấp mô-men xoắn cho cả bánh xe bên phải và bánh xe bên trái. Bán kính của cả hai bánh xe là r , chúng cách nhau một khoảng $2L$. Điểm P_0 xác định gốc của hệ tọa độ cục bộ, là điểm giao nhau giữa bánh lái và trục đối xứng. Điểm P_c là trung tâm khối lượng của robot di động, cách điểm P_0 một khoảng d .

2.1. Mô hình động học của WMR

Khi di chuyển, điểm P_0 sẽ tạo thành quỹ đạo của WMR, vị trí của WMR được biểu diễn là ma trận $q = [x, y, \theta]^T$, $q \in \mathfrak{R}^n$, trong đó (x, y) là tọa độ của điểm P_0 và θ là góc quay của WMR so với trục Ox . Vector vận tốc của WMR được xác định là $v(t) = [v(t), \omega(t)]^T$ với $v(t)$ là vận tốc tuyến tính và $\omega(t)$ là vận tốc góc của WMR.

Theo những nghiên cứu, phương trình động học của WMR được mô tả là:

$$\dot{q} = S(q)v(t) \quad (2.1)$$

Ma trận $S(q)$ được định nghĩa là:

$$S(q) = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Vì vậy, có thể viết lại phương trình (1) như sau:

$$\dot{q} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Từ hình 1, ta có thể biến đổi vector vận tốc $v(t)$ của WMR thành vận tốc xoay (ω_r, ω_l) của motor bánh xe bên phải và bên trái như sau:

$$\begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} r & r \\ r & -r \\ L & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_r \\ \omega_l \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Thay phương trình (4) và phương trình (3), ta được:

$$\dot{q} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a \cos \theta & a \cos \theta \\ a \sin \theta & a \sin \theta \\ b & -b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_r \\ \omega_l \end{bmatrix} = S_k(q)\omega(t) \quad (2.5)$$

với $a = \frac{r}{2}$, $b = \frac{r}{2L}$.

2.2. Mô hình động lực học của WMR

Công thức lagrange sẽ được sử dụng để điều khiển mô hình động lực học của WMR:

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} = B(q)\tau - A^T(q)\lambda \quad (2.6)$$

trong đó, $M(q) \in \mathbb{R}^{n \times n}$ là ma trận quán tính xác định dương đối xứng, $C(q, \dot{q}) \in \mathbb{R}^{n \times n}$ đại diện cho lực hướng tâm và lực coriolis, $B(q) \in \mathbb{R}^{n \times (n-m)}$ là ma trận biến đổi đầu vào, $A(q) \in \mathbb{R}^{m \times n}$ là ma trận ràng buộc, $\tau \in \mathbb{R}^{n-m}$ là vectơ mô-men xoắn đầu vào, $\lambda \in \mathbb{R}^m$ là vector lực cản. Những ma trận ấy được xác định:

$$M(q) = \begin{bmatrix} m & 0 & md \sin \theta \\ 0 & m & -md \cos \theta \\ md \sin \theta & -md \cos \theta & I \end{bmatrix}, \quad C(q, \dot{q}) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & md\dot{\theta} \cos \theta \\ 0 & 0 & md\dot{\theta} \sin \theta \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B(q) = \frac{1}{r} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos \theta \\ \sin \theta & \sin \theta \\ L & -L \end{bmatrix}, \quad \tau = [\tau_r \quad \tau_l]^T$$

với $m = m_c + 2m_\omega$ và $I = I_c + 2I_m + m_c d^2 + 2m_\omega (L^2 + d^2)$. m_c là khối lượng thân của robot, m_ω là khối lượng của bánh xe bao gồm cả rotor. I_c là moment quán tính của bộ mobile robot đối với một trục thẳng đứng thông qua P_c . I_m là quán tính của mỗi bánh xe bao gồm rotor của động cơ.

2.3. Mô hình không gian trạng thái của MWR

Mô hình không gian trạng thái cho mobile robot có thể được phát triển bằng cách tích hợp mô hình động học và mô hình động lực học của WMR để cải thiện hiệu quả của bộ điều khiển bám. Đối với bộ điều khiển bám, mô hình không gian trạng thái có thể xác định được bằng cách lấy đạo hàm thời gian của phương trình (5):

$$\ddot{q} = \dot{S}_k(q)\omega(t) + S_k(q)\dot{\omega}(t) \quad (2.7)$$

Thay phương trình (2.7) và (2.5) vào phương trình (2.6), rồi nhân với S_k^T , xem $S_k^T A^T \lambda = 0$, ta được

$$S_k^T M (\dot{S}_k \omega + S_k \dot{\omega}) + S_k^T C (S_k \omega) = S_k^T B \tau \quad (2.8)$$

Từ đó, ta được:

$$\dot{\omega} = -\bar{M}^{-1} \bar{C} \omega + \bar{M}^{-1} \bar{B} \tau \quad (2.9)$$

với $\bar{M} = S_k^T M S_k$, $\bar{C} = S_k^T M \dot{S}_k + S_k^T C S_k$, $\bar{B} = S_k^T B$

Như vậy, mô hình không gian trạng thái của MWR có thể được xác định là:

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\omega}_r \\ \dot{\omega}_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_k \omega \\ -\bar{M}^{-1} \bar{C} \omega \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \bar{M}^{-1} \bar{B} \end{bmatrix} \tau = f(x) + g(x) \tau \quad (2.10)$$

với các ma trận được tính như sau:

$$\bar{M} = \begin{bmatrix} a^2 m + b^2 I & a^2 m - b^2 I \\ a^2 m - b^2 I & a^2 m + b^2 I \end{bmatrix}, \quad \bar{C} = \begin{bmatrix} 0 & -2abdm\dot{\theta} \\ 2abdm\dot{\theta} & 0 \end{bmatrix}, \quad \bar{B} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

3. Thiết kế bộ điều khiển hồi tiếp tuyến tính hoá cho WMR

3.1. Bộ điều khiển cho mô hình động học bám quỹ đạo

- Xét phương trình động học (3):

$$\dot{q} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix}$$

Xét ngỏ ra: $\eta = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$

$$\dot{\eta} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sin \theta & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v \cos \theta \\ v \sin \theta \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

$$\Rightarrow \ddot{\eta} = \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{v} \cos \theta - v \dot{\theta} \sin \theta \\ \dot{v} \sin \theta + v \dot{\theta} \cos \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -v \sin \theta \\ \sin \theta & v \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{a} \\ \dot{\omega} \end{bmatrix}$$

$$\Leftrightarrow \ddot{\eta} = \alpha(x) + \beta(x)u(t) \quad (2.12)$$

Trong đó: $\dot{v} = a$, $\alpha(x) = 0$, $u(t) = \begin{bmatrix} a & \omega \end{bmatrix}^T$

Khi đó, phương trình trạng thái của bộ điều khiển trở thành:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \\ \dot{v} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v \cos \theta \\ v \sin \theta \\ \omega \\ a \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

- Biểu thức bộ điều khiển:

$$u(t) = \frac{1}{\beta(x)} \begin{bmatrix} -\alpha(x) + v(t) \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

Trong đó: $v(t) = \dot{\eta}$

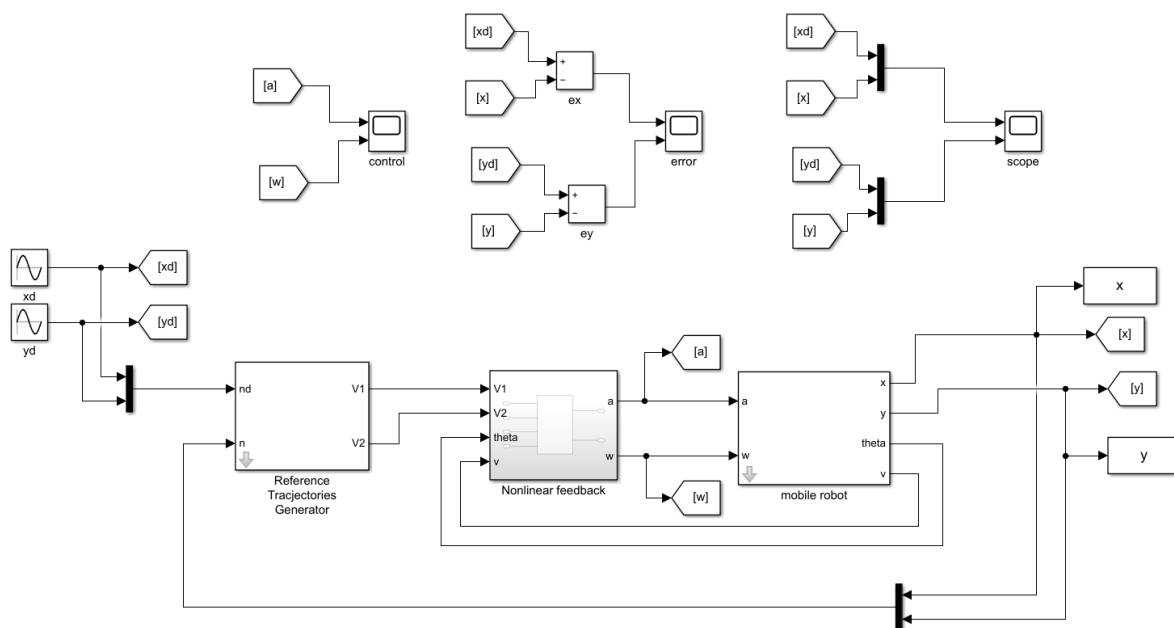
- Bộ điều khiển bám:

Xét quỹ đạo mong muốn là: $\eta_d = \begin{bmatrix} x_d \\ y_d \end{bmatrix}$

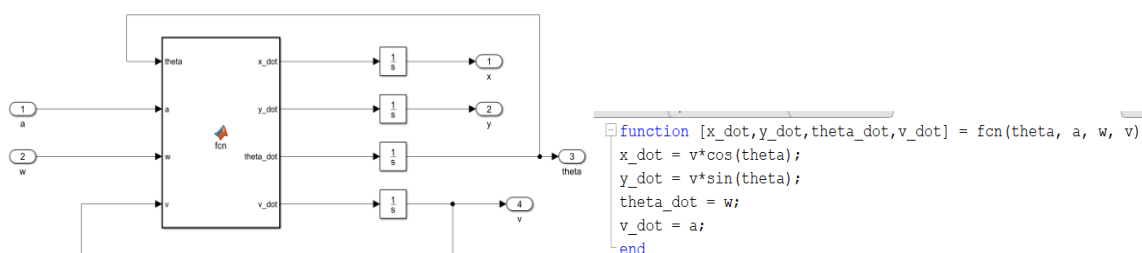
$$\Rightarrow v = \ddot{\eta}_d + K_1 \dot{e} + K_2 e, \quad e = \eta_d - \eta$$

MÔ PHỎNG

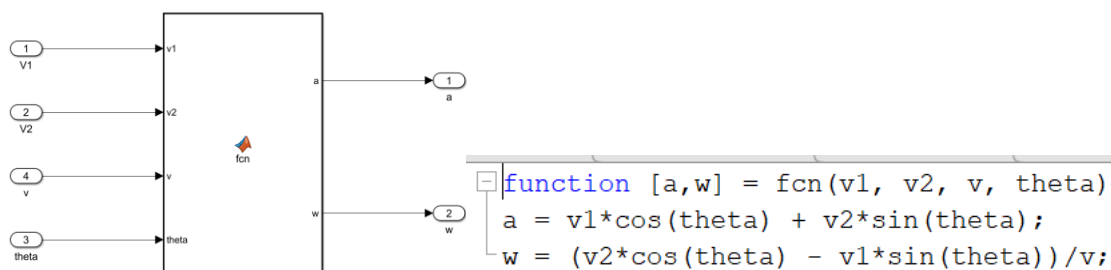
Mạch mô phỏng Simulink



Hình : Sơ đồ khối Simulink



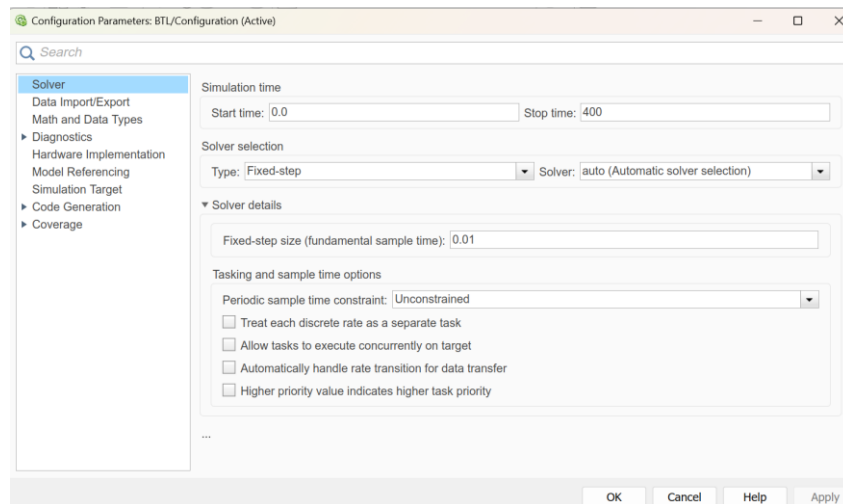
Hình : Khối Mobile Robot và chương trình trong khối



Hình : Khối Nonlinear Feedback và chương trình

Kết quả mô phỏng:

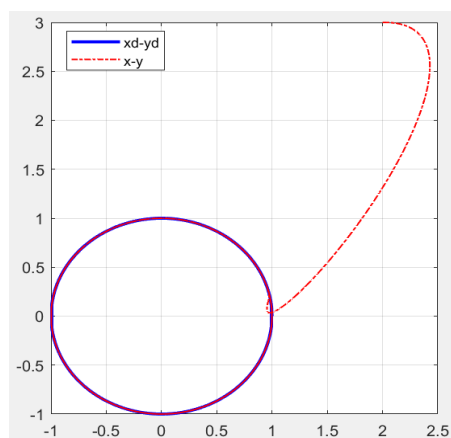
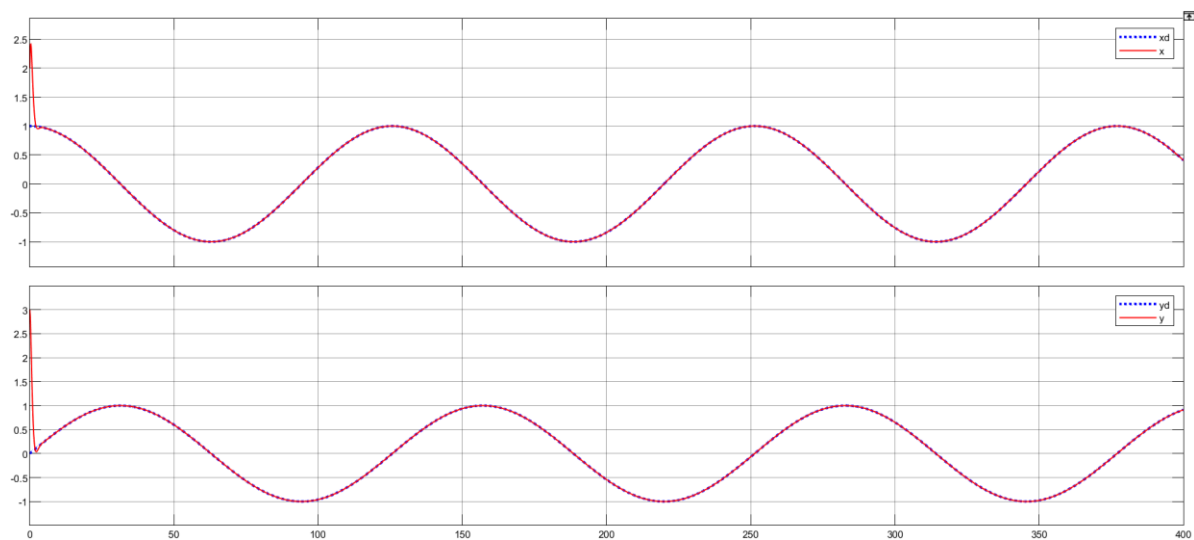
+ Thiết lập:



+ $K_2 = 3$, $K_1 = 4$, $q_0 = [2, 3, 0]^T$, $v_0 = 3$

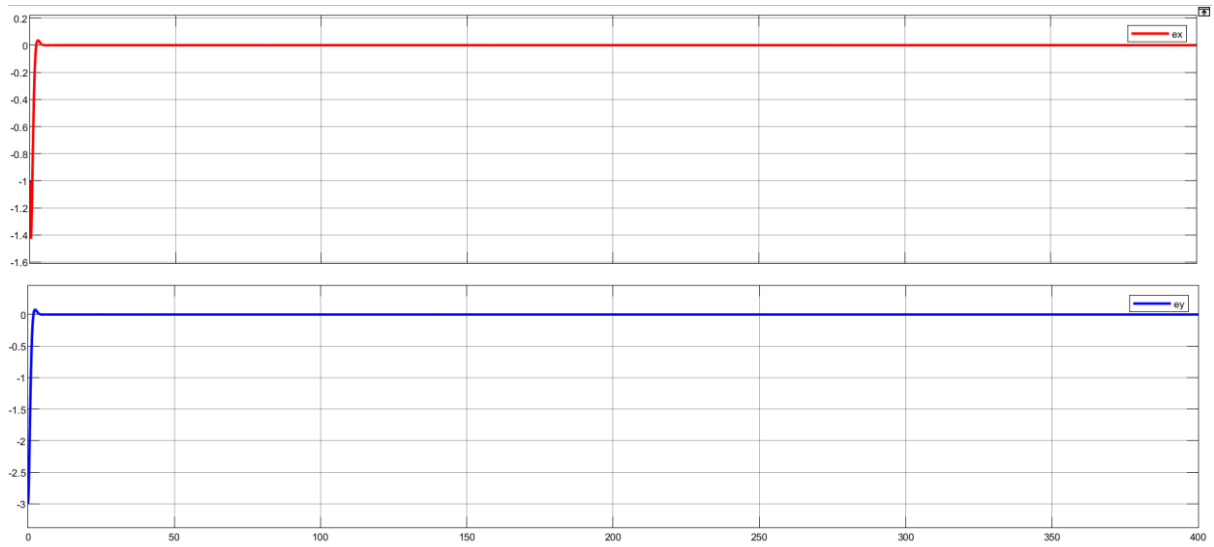
+ Quỹ đạo mong muốn: $\eta_d = \begin{cases} x_d = \cos(0.05t) \\ y_d = \sin(0.05t) \end{cases}$

+ Quỹ đạo đi được



```
figure;
plot(out.xd.Data,out.yd.Data,'b','linewidth',2);
hold on
plot(out.x.Data,out.y.Data,'r-','linewidth',1);
legend('xd-yd','x-y','location','best')
grid on
```

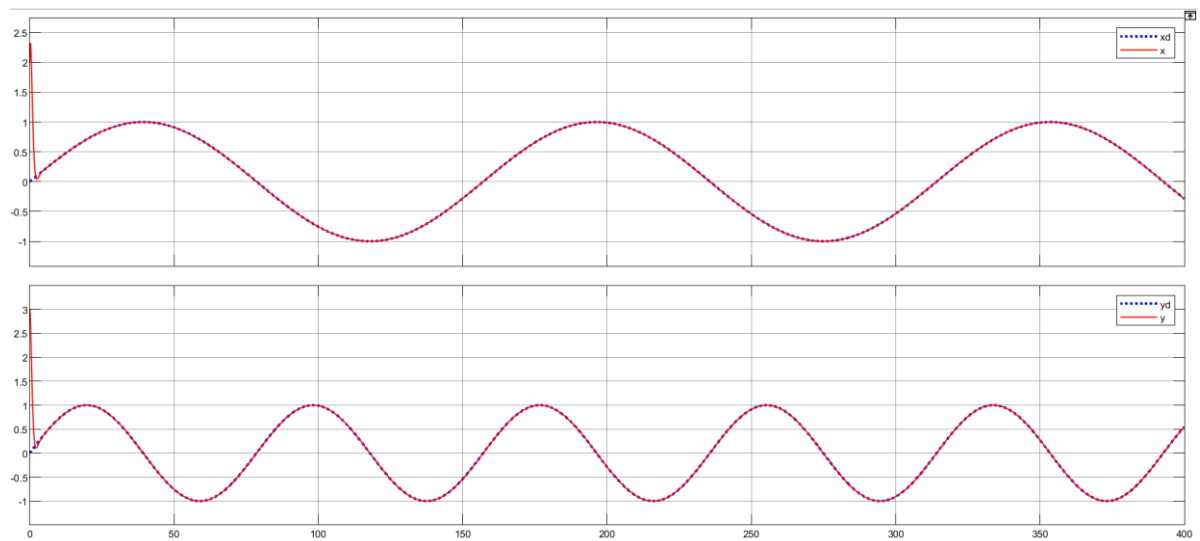
+ Sai số

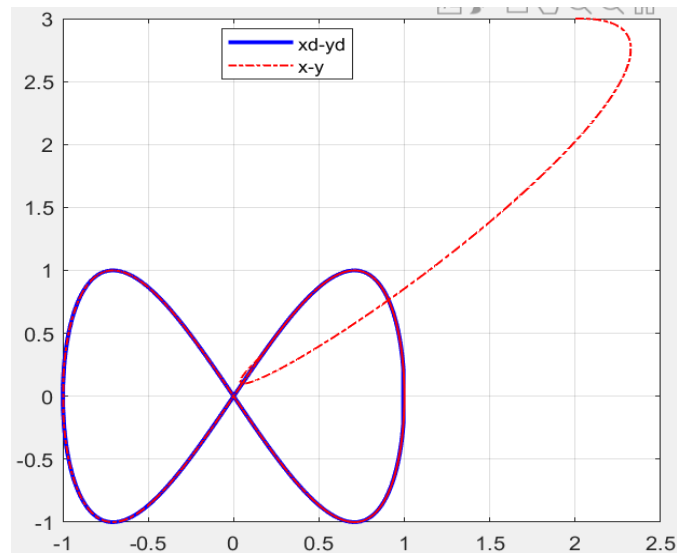


Nhận xét: Quỹ đạo của mô hình mobile robot bám theo rất tốt so với quỹ đạo mong muốn

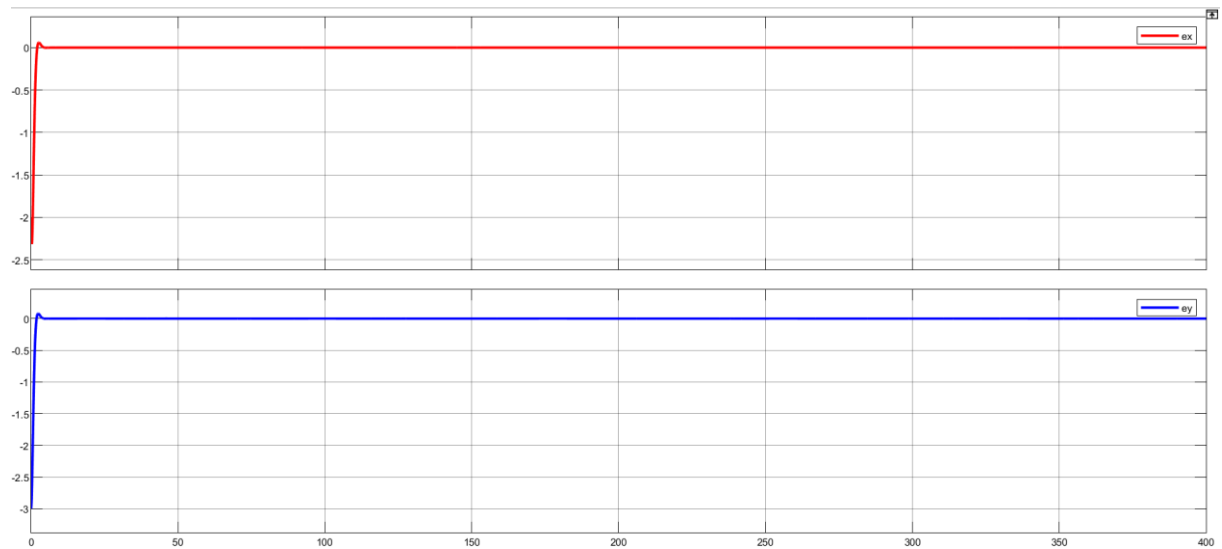
+ Quỹ đạo mong muốn: $\eta_d = \begin{cases} x_d = \sin(0.04t) \\ y_d = \sin(0.08t) \end{cases}$

+ Quỹ đạo đi được:





+ Sai số:

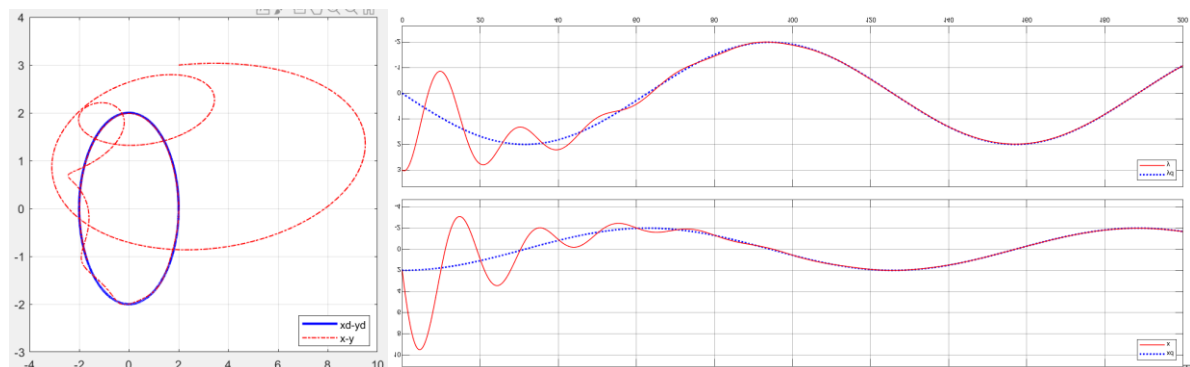


Nhận xét: Quỹ đạo của mô hình mobile robot bám theo rất tốt so với quỹ đạo mong muốn

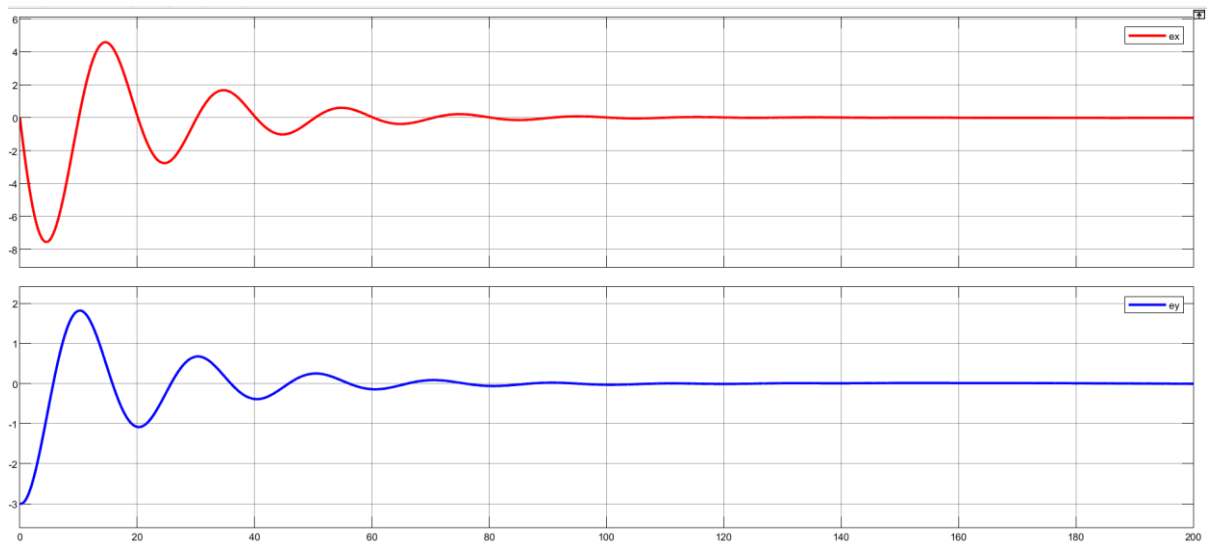
*** Thay đổi K1, K2**

- K1 = K2 = 0.1

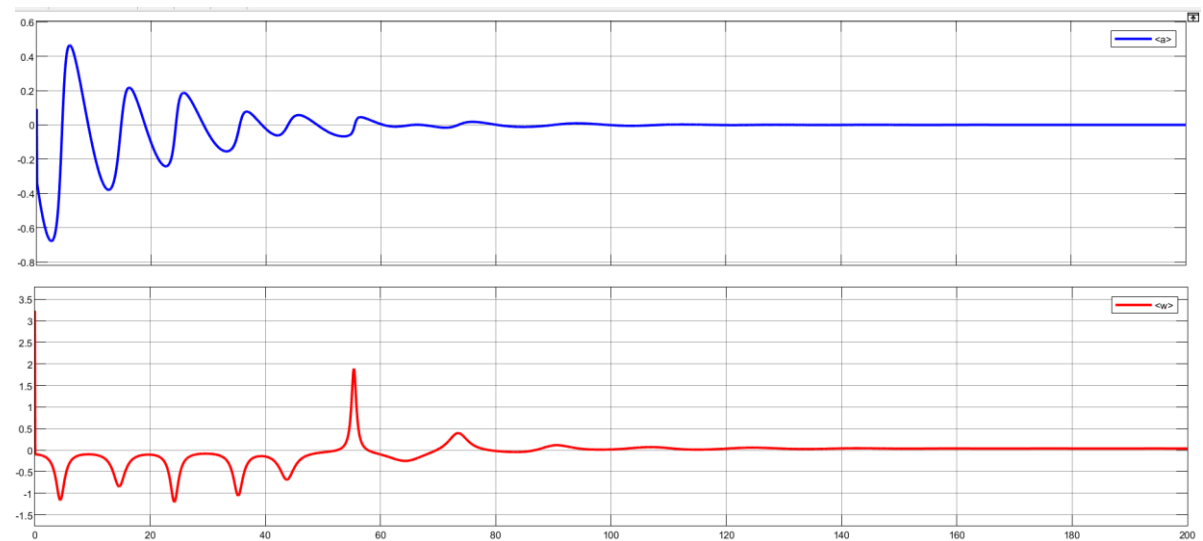
+ Quỹ đạo



+ Sai số

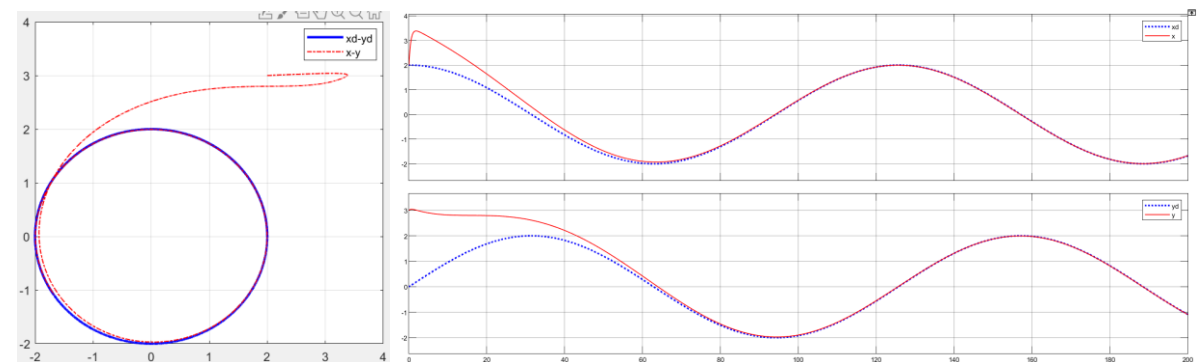


+ Tín hiệu điều khiển

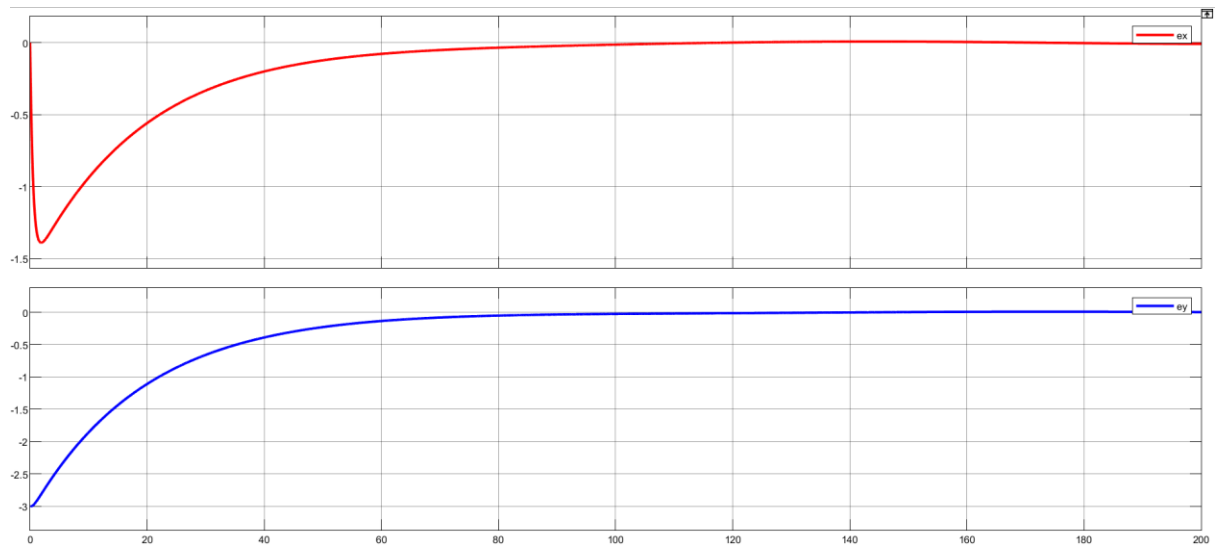


- $K_1 = 0.1$; $K_2 = 2$

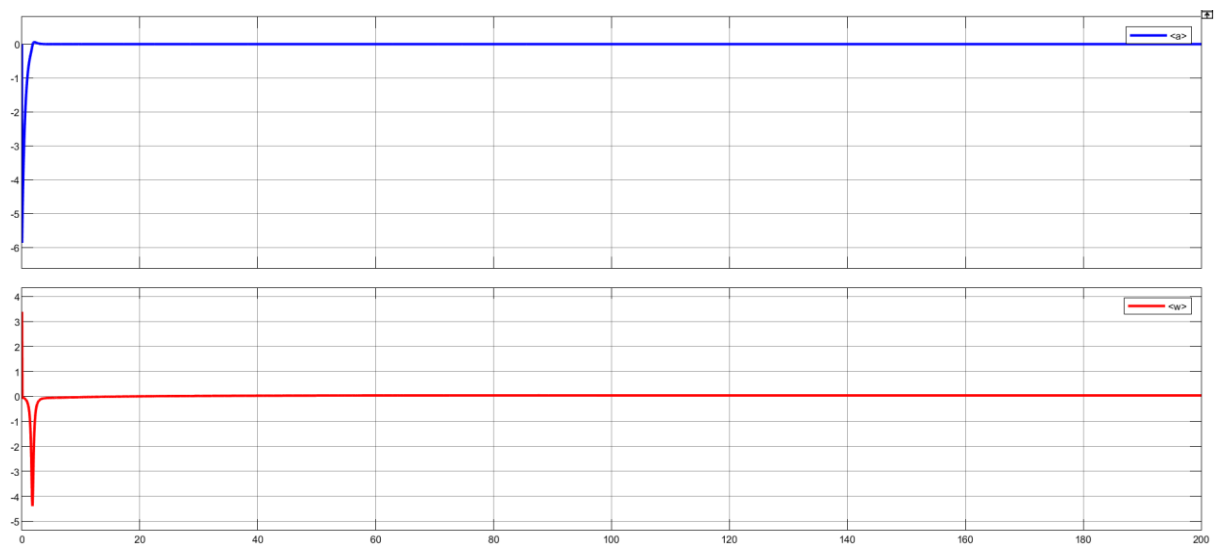
+ Quỹ đạo



+ Sai số

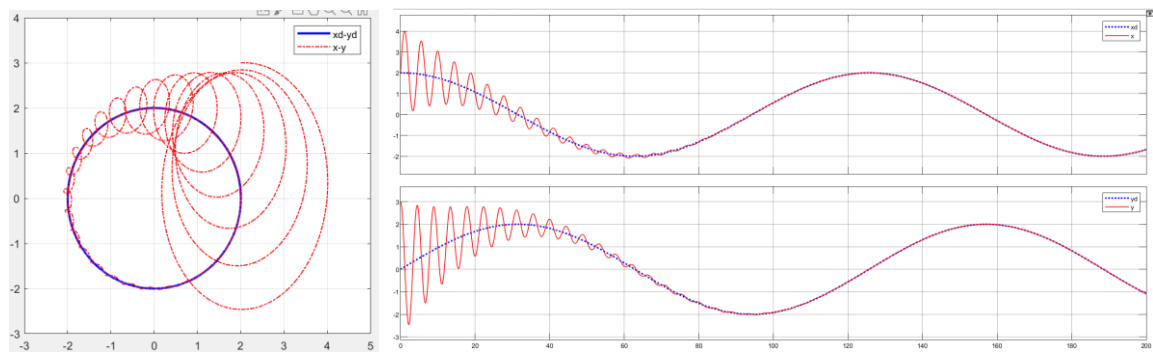


+ Tín hiệu điều khiển

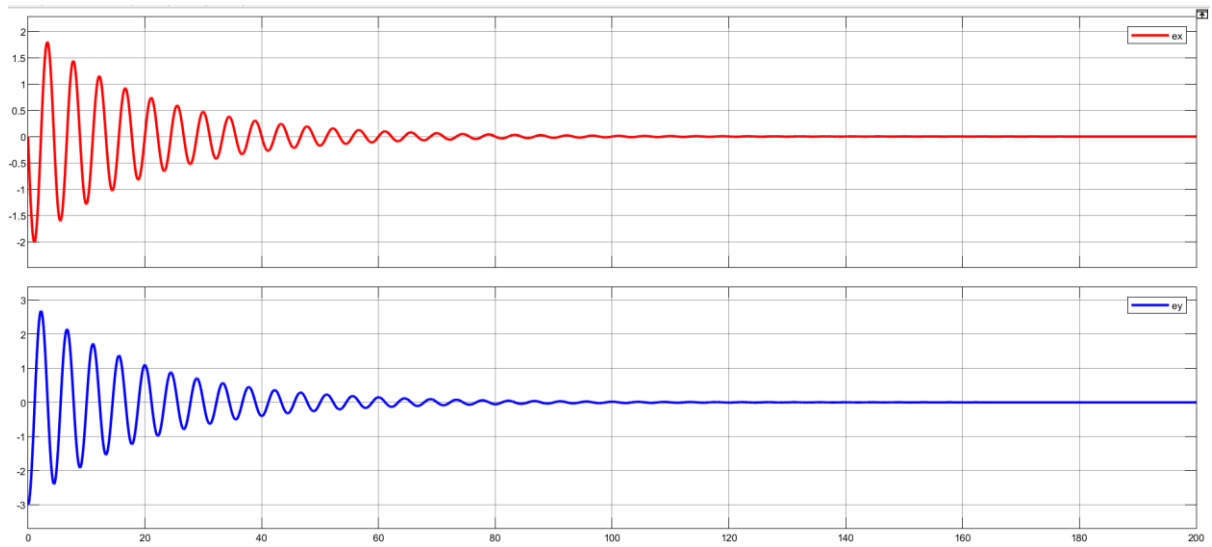


- $K_1 = 2$; $K_2 = 0.1$

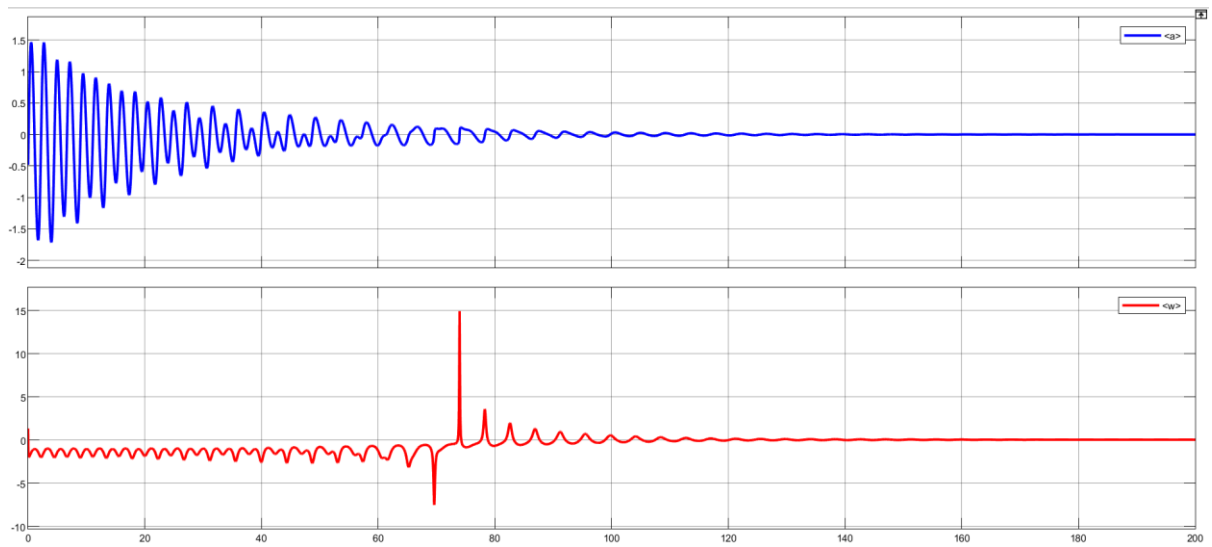
+ Quỹ đạo



+ Sai số

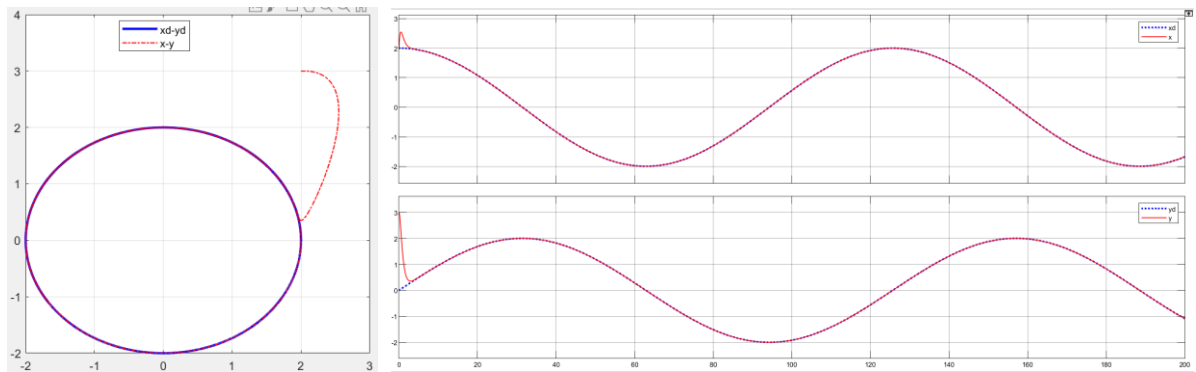


+ Tín hiệu điều khiển

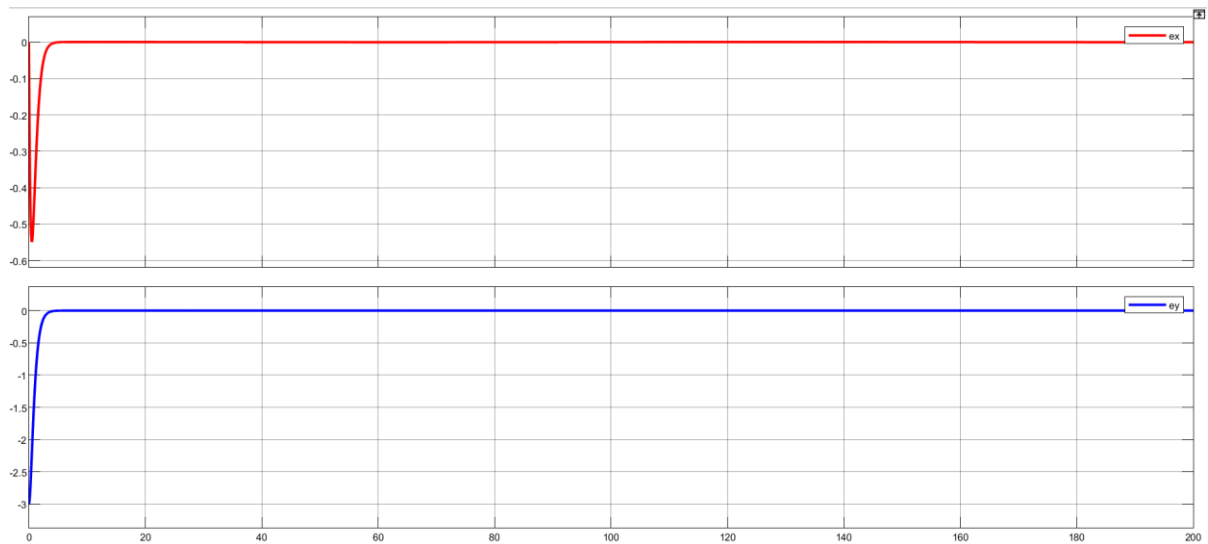


- $K_1 = 4$; $K_2 = 4$

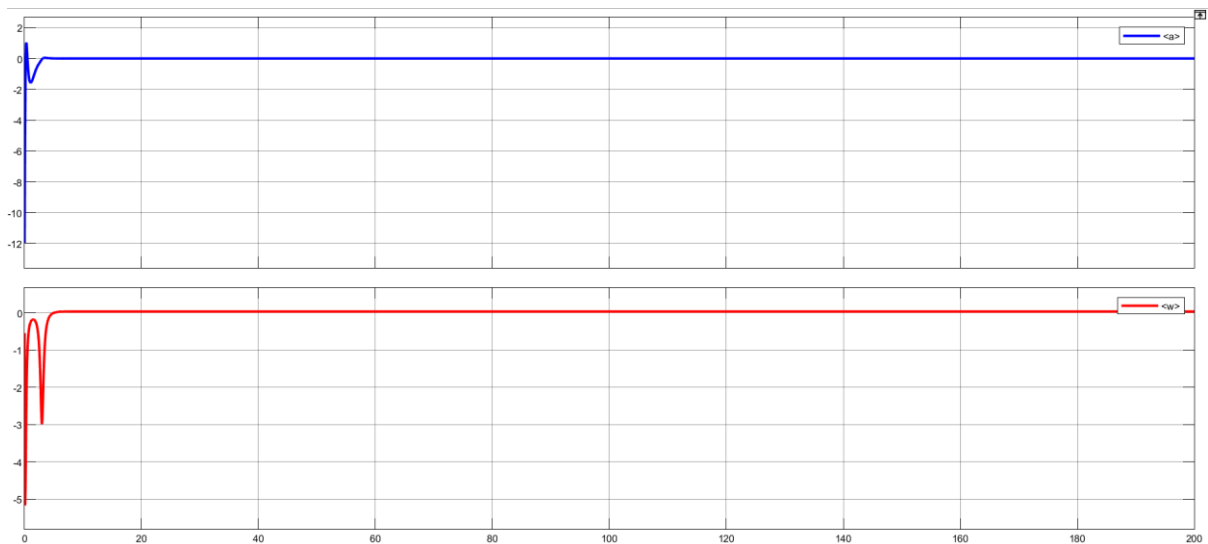
+ Quỹ đạo



+ Sai số

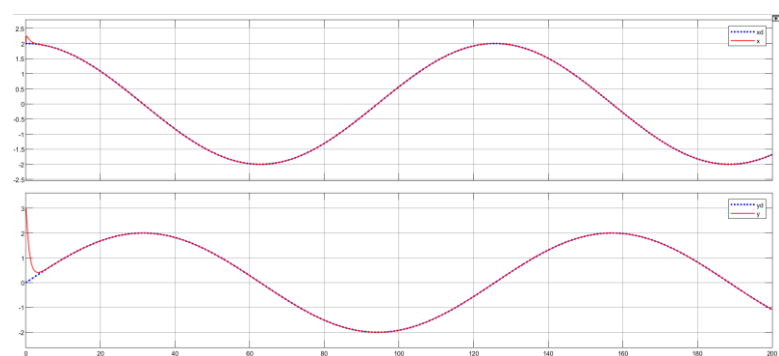
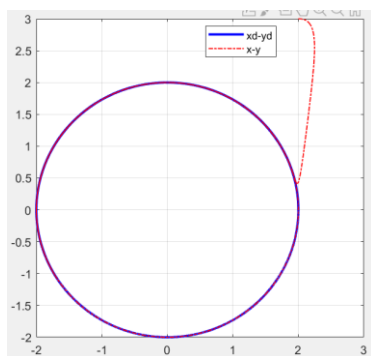


+ Tín hiệu điều khiển

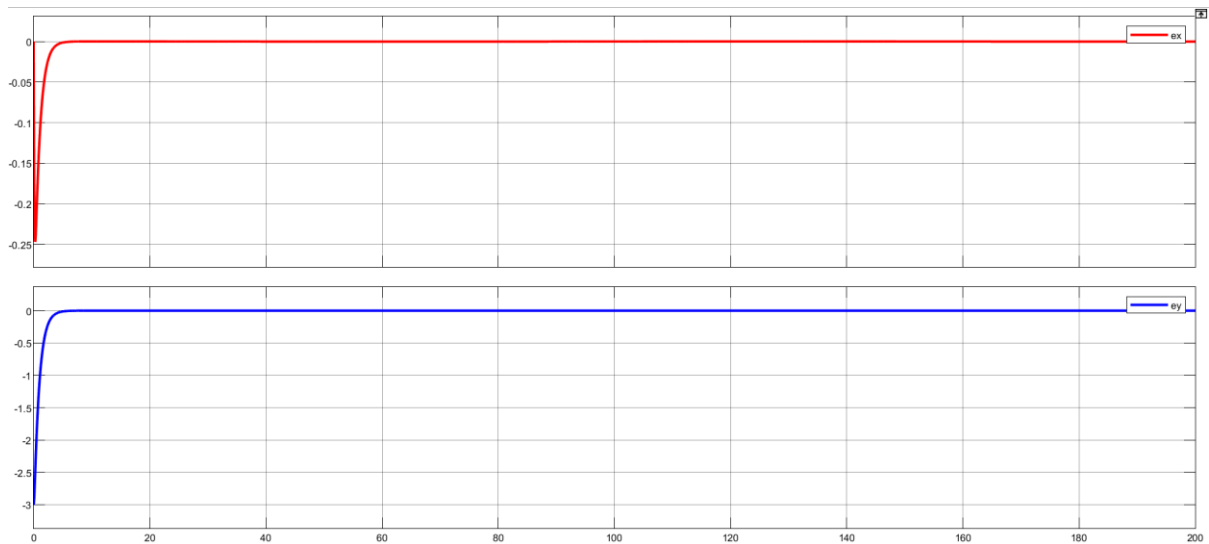


- $K1 = 10$; $K2 = 10$

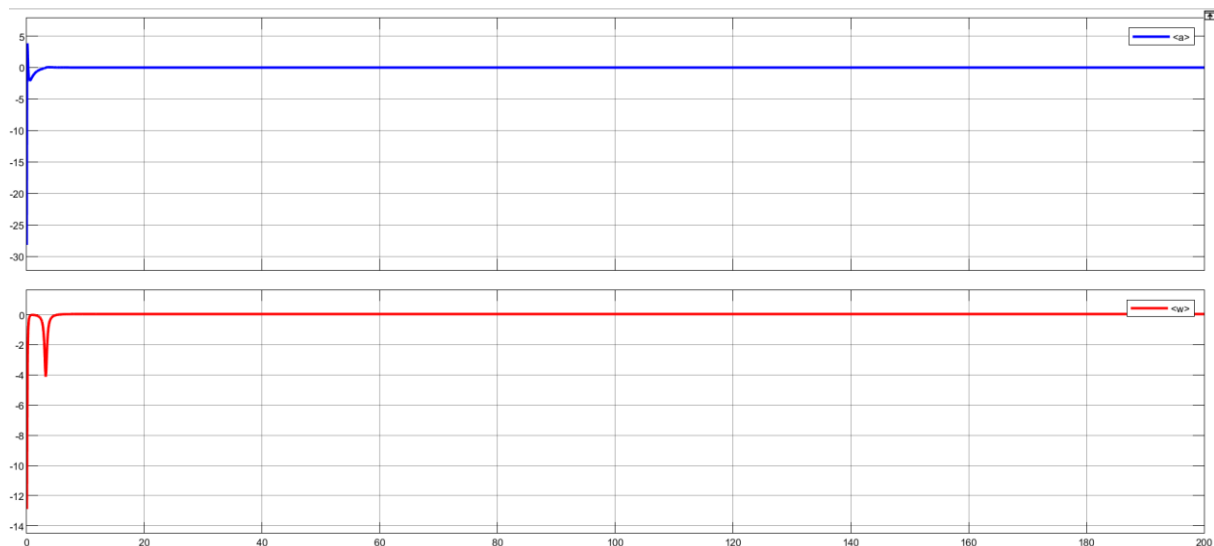
+ Quỹ đạo



+ Sai số



+ Tín hiệu điều khiển



Nhận xét:

Dù thay đổi K_1 , K_2 thì kết quả trả về đều bám tốt theo quỹ đạo mong muốn

+ K_1 , K_2 cùng nhỏ: ban đầu có sự dao động nhẹ, thời gian xác lập chậm, tín hiệu điều khiển có biên độ nhỏ.

+ K_1 nhỏ, K_2 lớn: không có dao động, thời gian xác lập trung bình, độ vọt lố nhỏ, tín hiệu điều khiển có biên độ tương đối

+ K_1 lớn, K_2 nhỏ: ban đầu có sự dao động mạnh, thời gian xác lập chậm, tín hiệu điều khiển có biên độ vừa.

+ K_1 lớn, K_2 lớn: không có dao động, thời gian xác lập nhanh, tín hiệu điều khiển có biên độ lớn.

3.2. Bộ điều khiển cho mô hình động lực học bám theo tín đặt vận tốc

Xét mô hình toán từ phương trình (2.10), $\omega = [\omega_r \ \omega_l]^T$

$$\dot{\omega} = -\bar{M}^{-1}\bar{C}\omega + \bar{M}^{-1}\bar{B}\tau$$

Đặt $\alpha(x) = \bar{M}^{-1}\bar{C}\omega$, $\beta(x) = \bar{M}^{-1}\bar{B}$

- Bộ điều khiển tuyến tính:

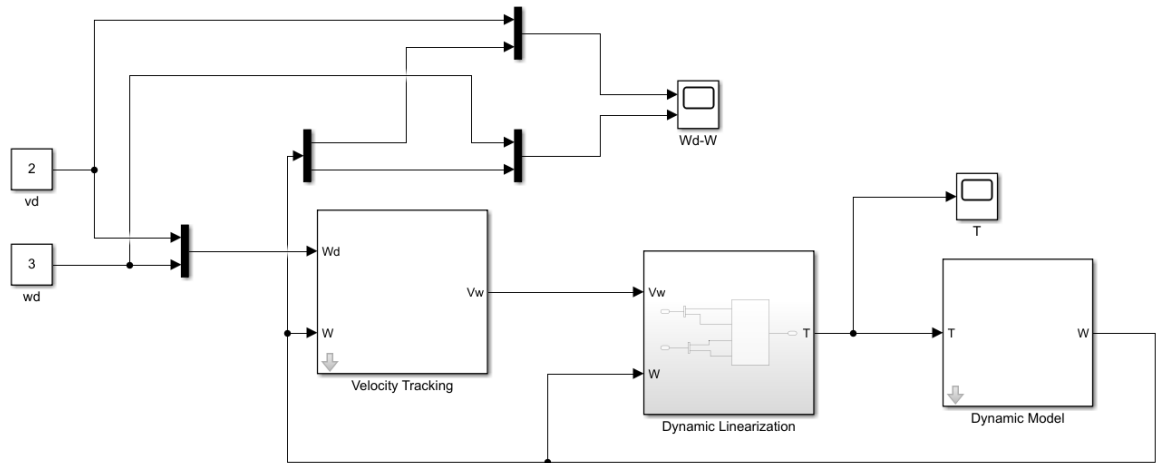
$$\tau = \frac{1}{\beta(x)}[-\alpha(x) + v], \quad v = \dot{\omega}$$

- Vận tốc đặt: $\omega_d = [\omega_{rd}, \omega_{ld}]^T$

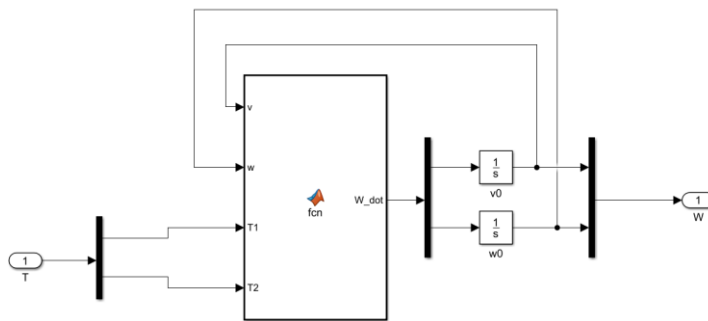
- Bộ điều khiển bám

$$v = \dot{\omega}_d + K_v e, \quad e = \omega_d - \omega$$

MÔ PHỎNG

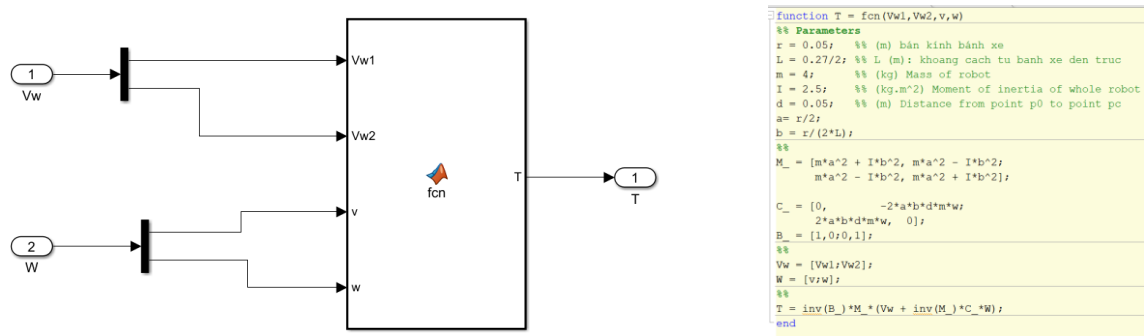


Hình: Sơ đồ simulink

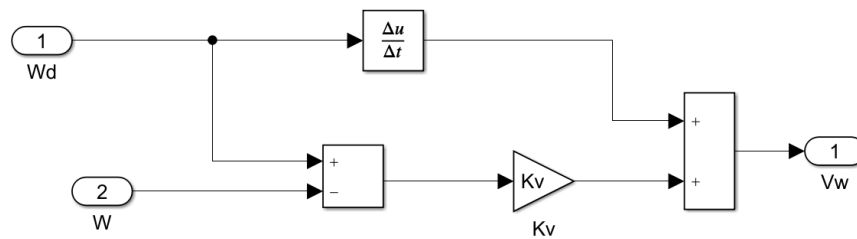


```
function W_dot = fcn(v,w,T1,T2)
%% Parameters
r = 0.05; %% (m) bán kính bánh xe
L = 0.27/2; %% L (m): khoảng cách từ bánh xe đến trục
m = 4; %% (kg) Mass of robot
I = 2.5; %% (kg.m^2) Moment of inertia of whole robot
d = 0.05; %% (m) Distance from point p0 to point pc
a = r/2;
b = r/(2*L);
%%
H_ = [m*a^2 + I*b^2, m*a^2 - I*b^2;
      m*a^2 - I*b^2, m*a^2 + I*b^2];
C_ = [0, -2*a*b*d*m*w;
      2*a*b*d*m*w, 0];
B_ = [1,0,0,1];
%%
T = [T1;T2];
W = [v;w];
%%
W_dot = -inv(H_)*C_*W + inv(M)*B_*T;
end
```

Hình: Khối Dynamic Model



Hình: Khối Dynamic Linearization

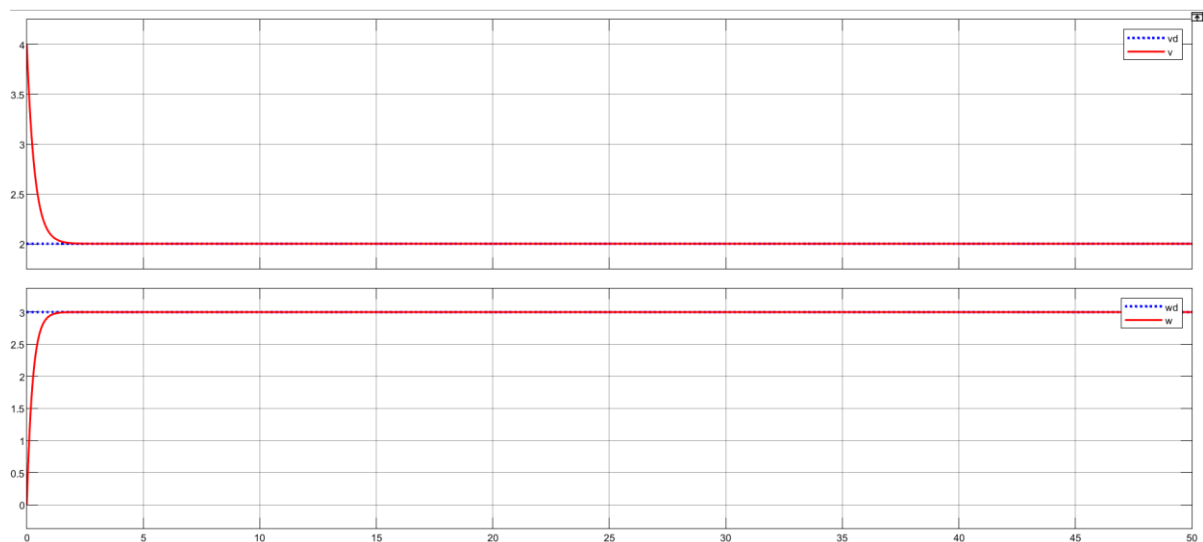


Hình: Khối Velocity Tracking

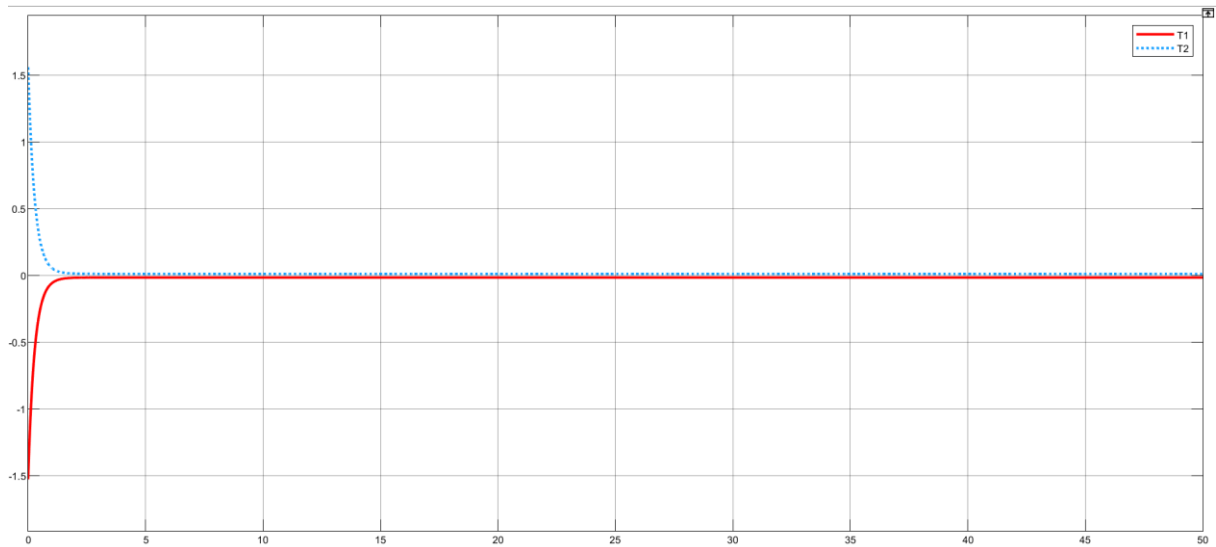
Kết quả mô phỏng:

- $w_r = 2$, $w_l = 3$, $w_{r0} = 4$, $w_{l0} = 0$

+ Vận tốc:

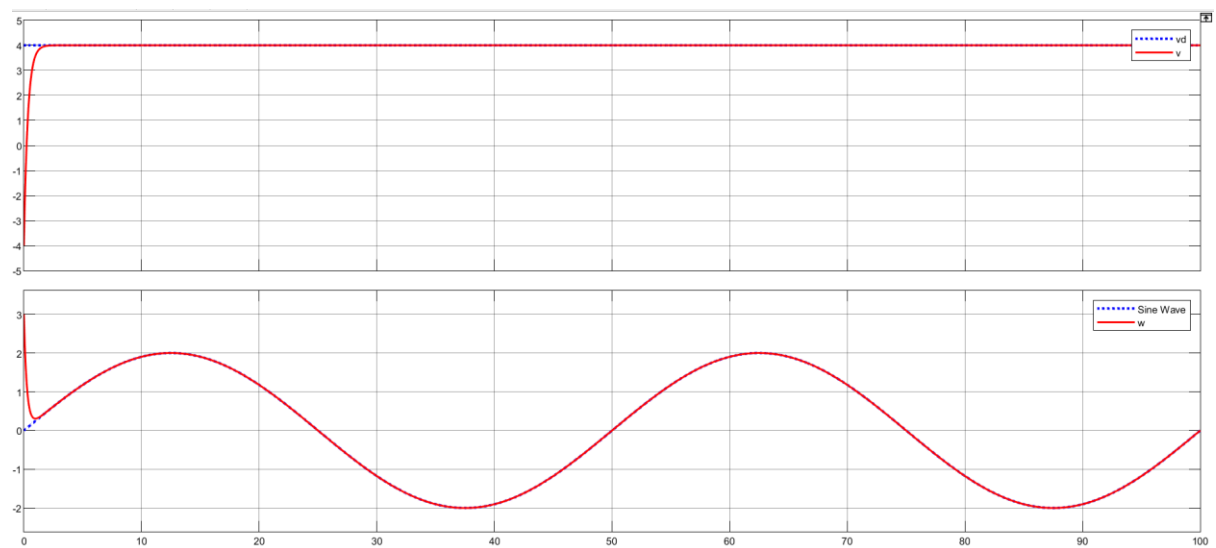


+ Tín hiệu điều khiển

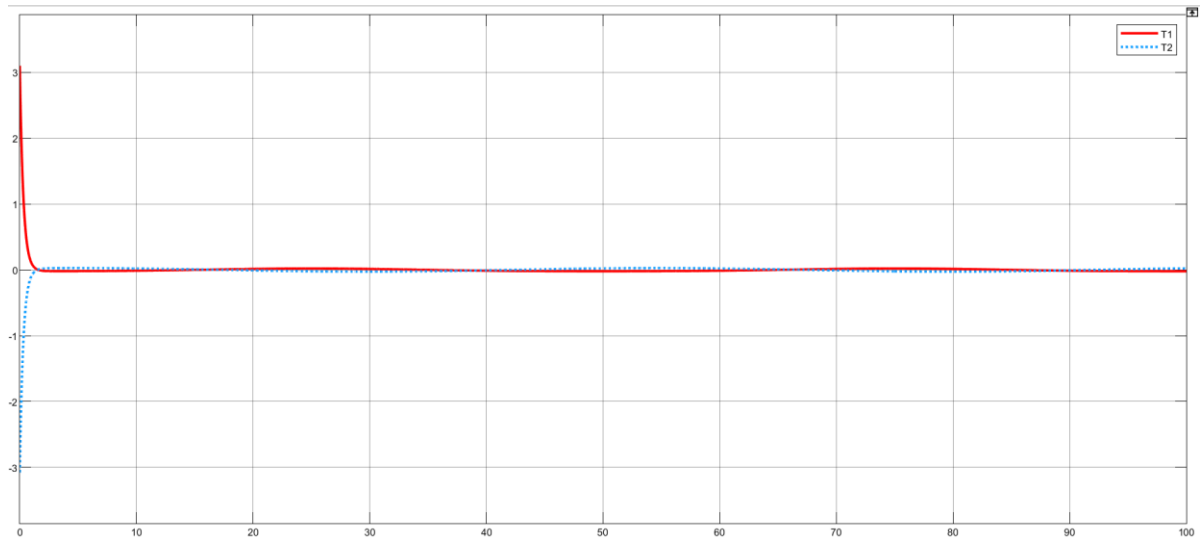


- $w_r = 4$, $w_l = 2\sin(0.04\pi t)$, $w_{r0} = -4$, $w_{l0} = 3$

+ Vận tốc



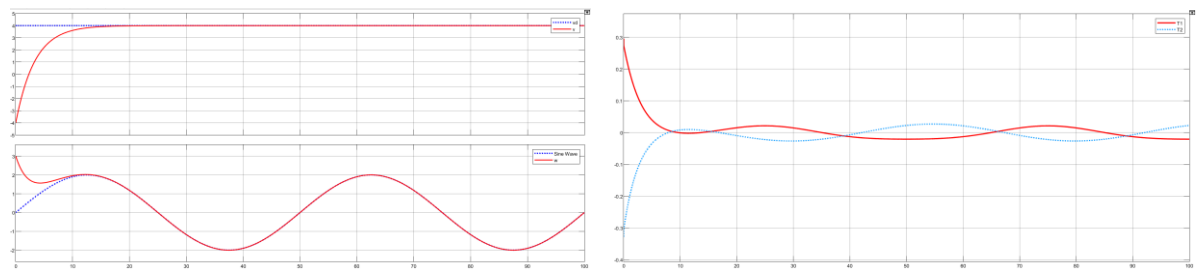
+ Tín hiệu điều khiển



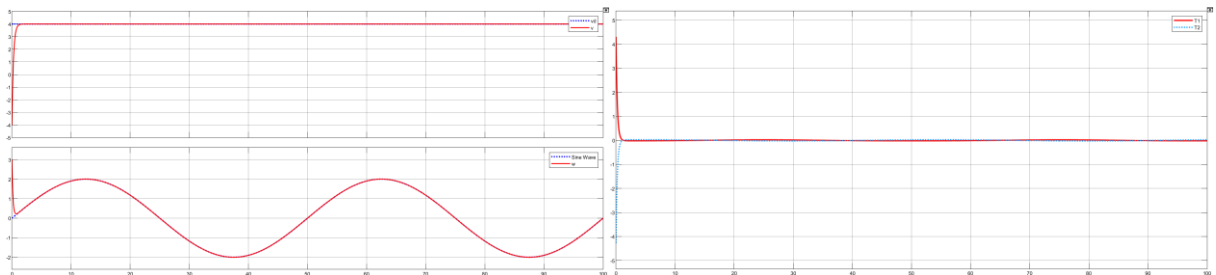
Nhận xét: Kết quả vận tốc trả về bám tốt theo giá trị đặt.

- Thay đổi K_v

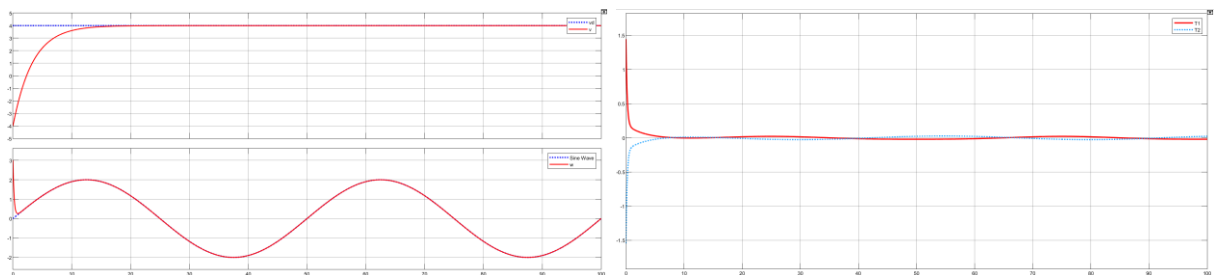
+ $K_v = [0.3; 0.4]$



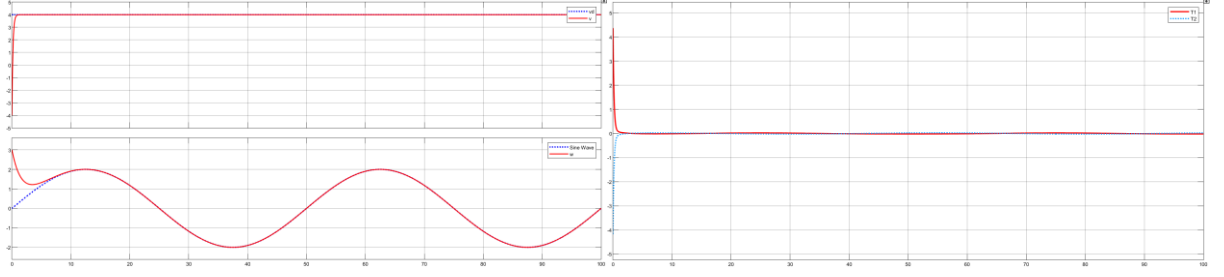
+ $K_v = [4; 6]$



+ $K_v = [0.3; 5]$



+ $K_v = [6; 0.6]$



Nhận xét: Kv càng lớn, vận tốc càng nhanh xác lập, moment khởi động càng lớn và ngược lại.

3.3. Bộ điều khiển cho mô hình không gian trạng thái của robot bám theo tín hiệu đặt η_d

Xét phương trình không gian trạng thái được định nghĩa ở trên (phương trình (2.10))

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\omega}_r \\ \dot{\omega}_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_k \omega \\ -\bar{M}^{-1} \bar{C} \omega \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \bar{M}^{-1} \bar{B} \end{bmatrix} \tau = f(x) + g(x) \tau$$

- Xét tín hiệu ngõ ra: $\eta = \begin{bmatrix} \theta \\ x + y \end{bmatrix}$

Ta có:

$$\dot{\eta} = \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \dot{x} + \dot{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b & -b \\ a \cos(\theta) + a \sin(\theta) & a \cos(\theta) + a \sin(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_r \\ \omega_l \end{bmatrix} = \varphi(x) \omega(t)$$

Khi đó: $\ddot{\eta} = \dot{\varphi} \omega + \varphi \dot{\omega}$

với $\dot{\varphi} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ a\dot{\theta}(\cos \theta - \sin \theta) & a\dot{\theta}(\cos \theta + \sin \theta) \end{bmatrix}$

Từ đó, ta được

$$\ddot{\eta} = \dot{\varphi} \omega - \varphi \bar{M}^{-1} \bar{C} \omega + \varphi \bar{M}^{-1} \bar{B} \tau$$

Đặt $\alpha(x) = \dot{\varphi} \omega - \varphi \bar{M}^{-1} \bar{C} \omega$, $\beta(x) = \varphi \bar{M}^{-1} \bar{B}$

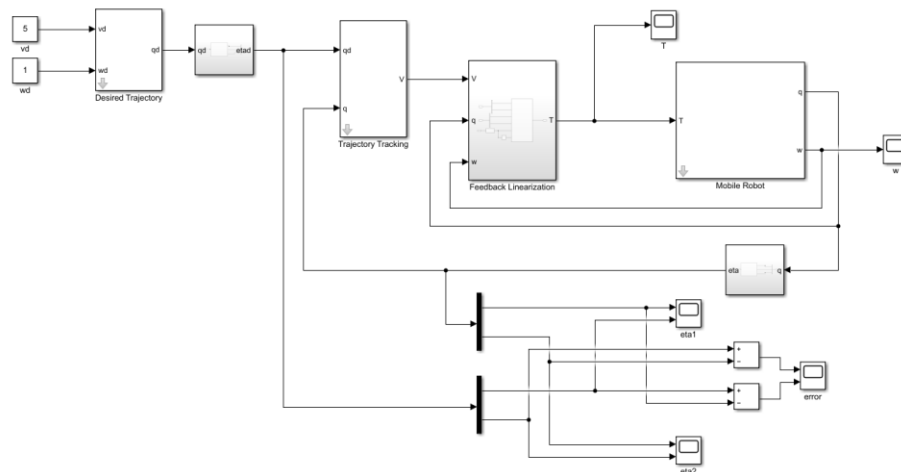
- Bộ điều khiển tuyến tính:

$$\tau = \frac{1}{\beta(x)} [-\alpha(x) + v], \quad v = \ddot{\eta}$$

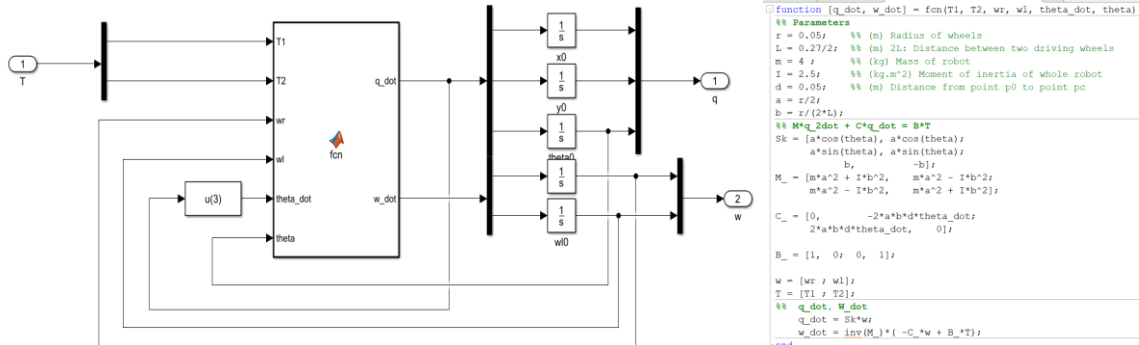
- Bộ điều khiển bám:

$$v = \ddot{\eta}_d + K_d \dot{e} + K_p e, \quad e = \eta_d - \eta$$

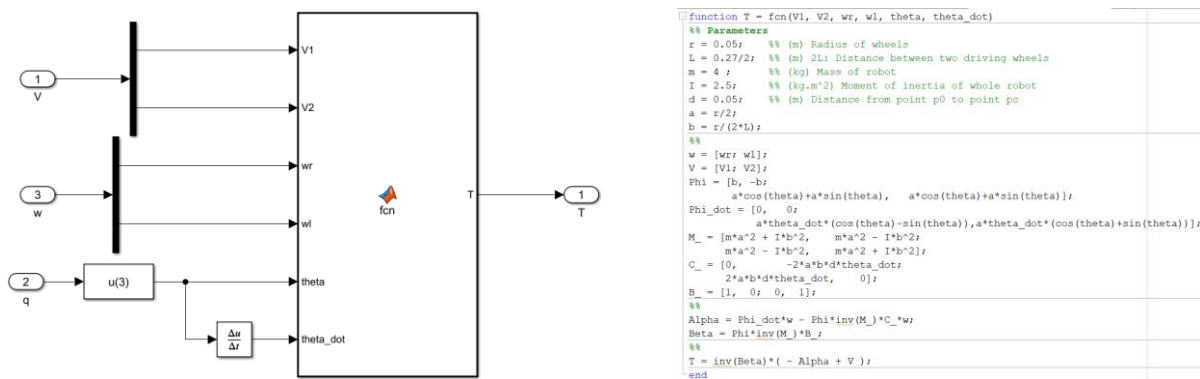
MÔ PHÒNG



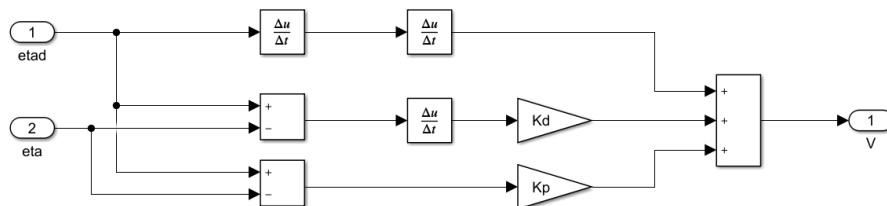
Sơ đồ Simulink



Khối Mobile Robot



Khối Feedback Linearization



Khối Trajectory Tracking



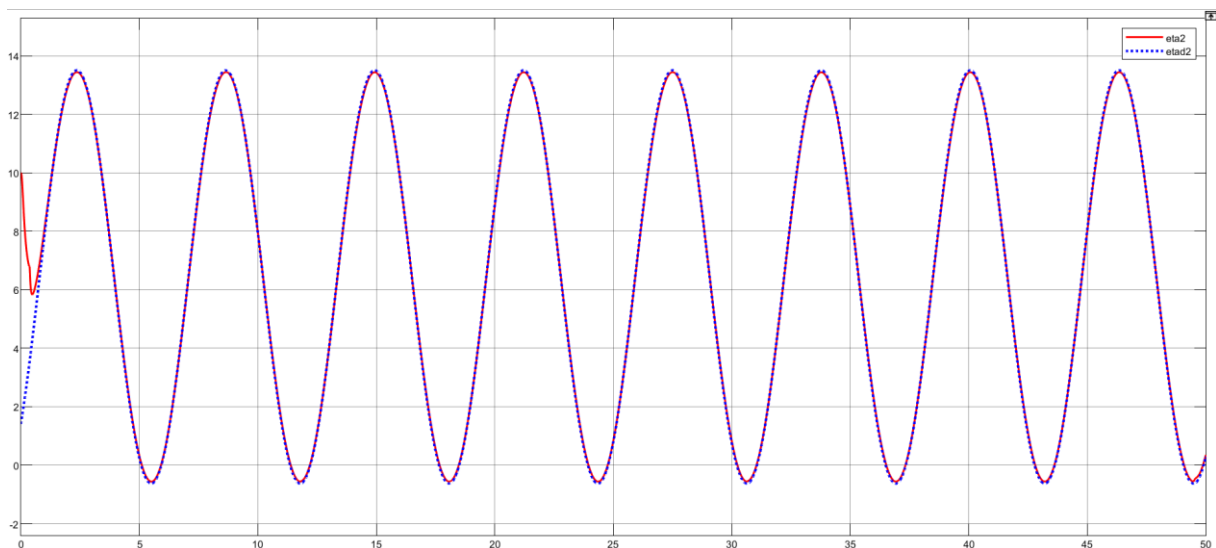
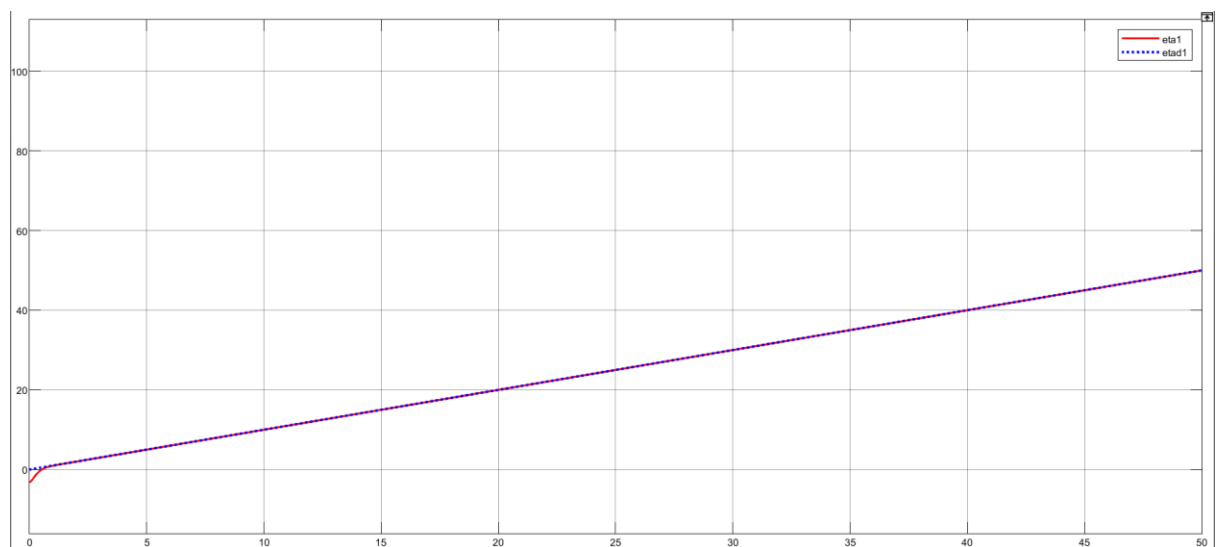
```
function eta = fcn(x, y, theta)
eta = [theta;
      x + y];
end
```

Khối tạo tín hiệu η từ q

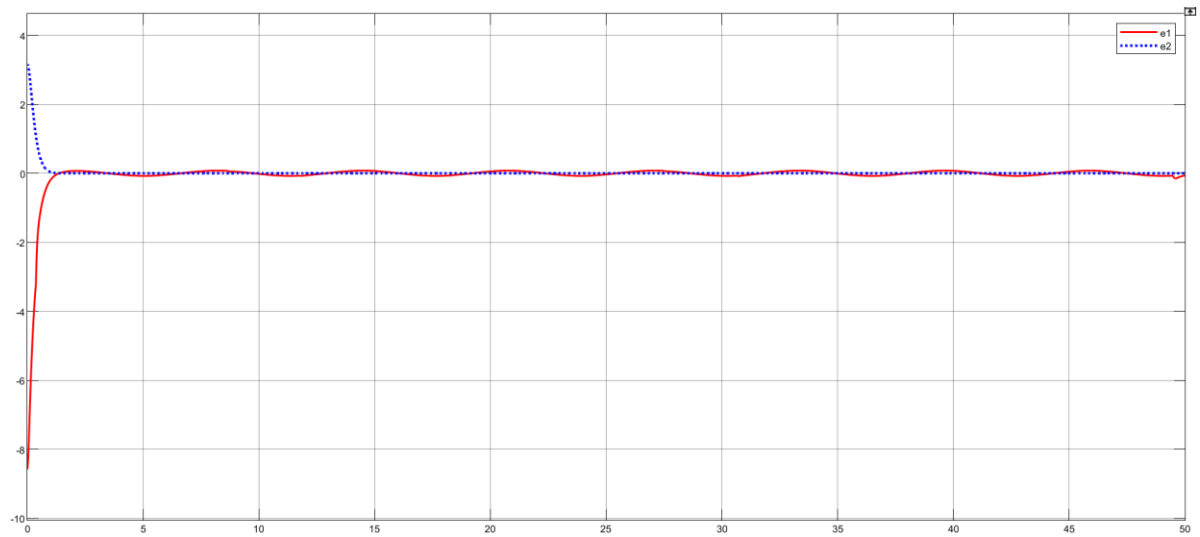
Kết quả mô phỏng

- $K_d = [10; 20]$, $K_p = [30; 60]$, $v_d = 5$, $w_d = 1$, $q_0 = [3, 7, -\pi]^T$, $w_0 = [2, 3]^T$

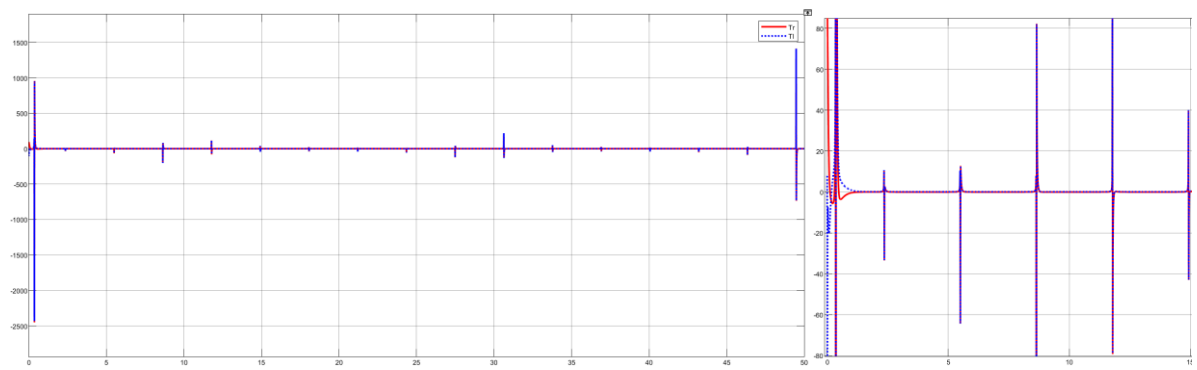
+ Tín hiệu η :



+ Sai số:

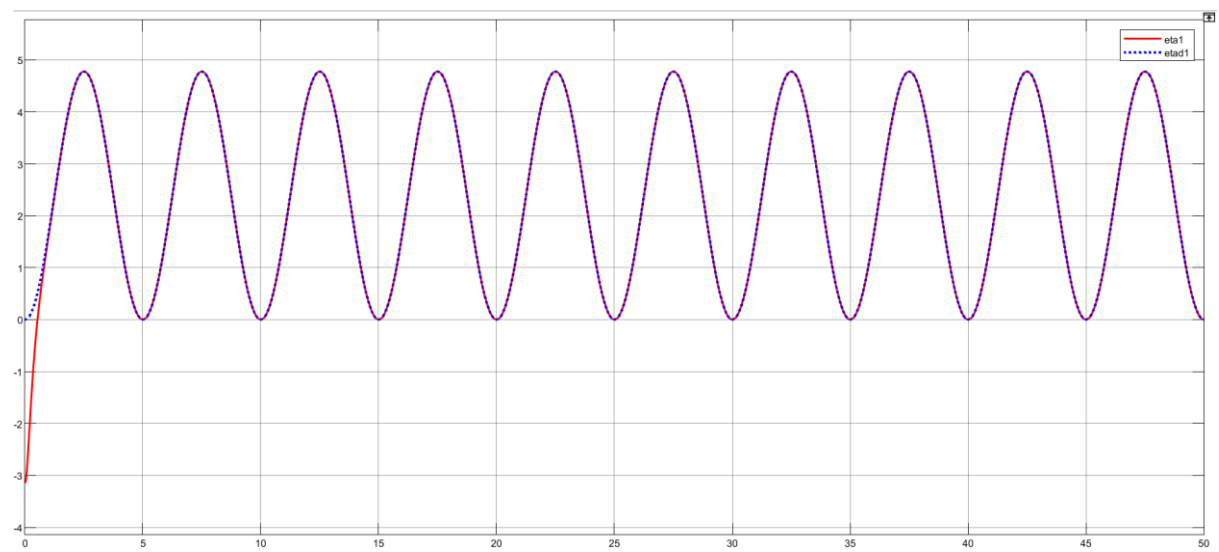


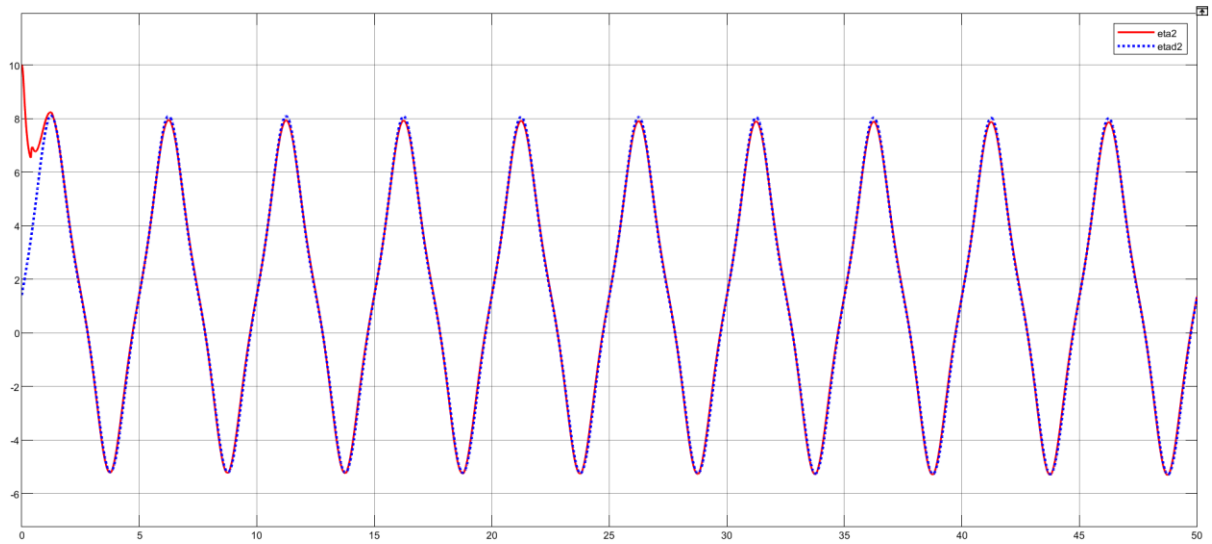
+ Tín hiệu điều khiển:



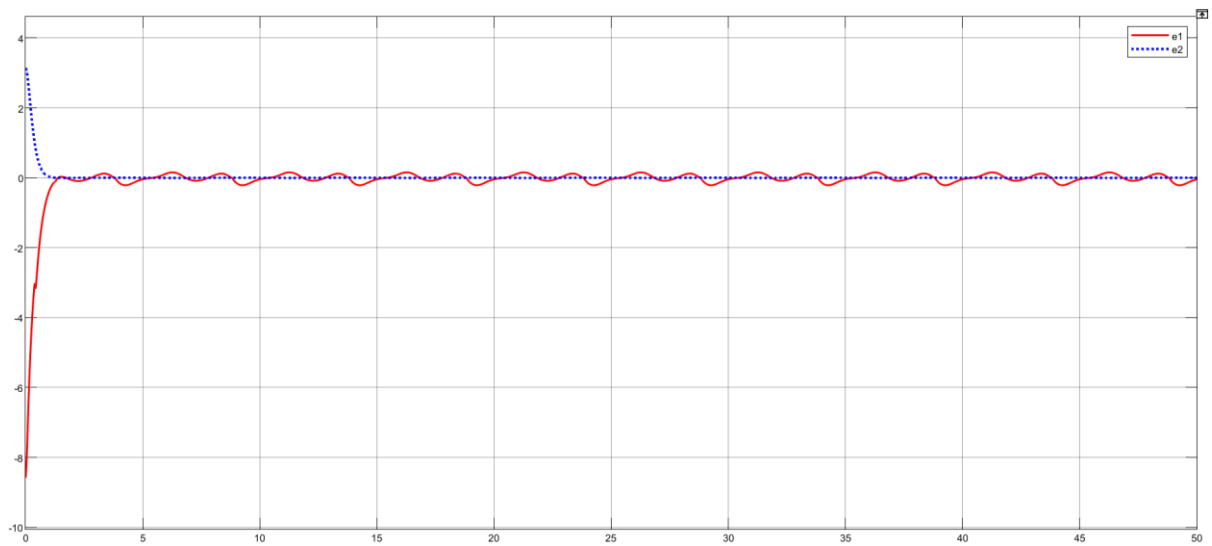
- Thay đổi $w_d = 3\cos(0.4\pi t)$

+ Tín hiệu eta:

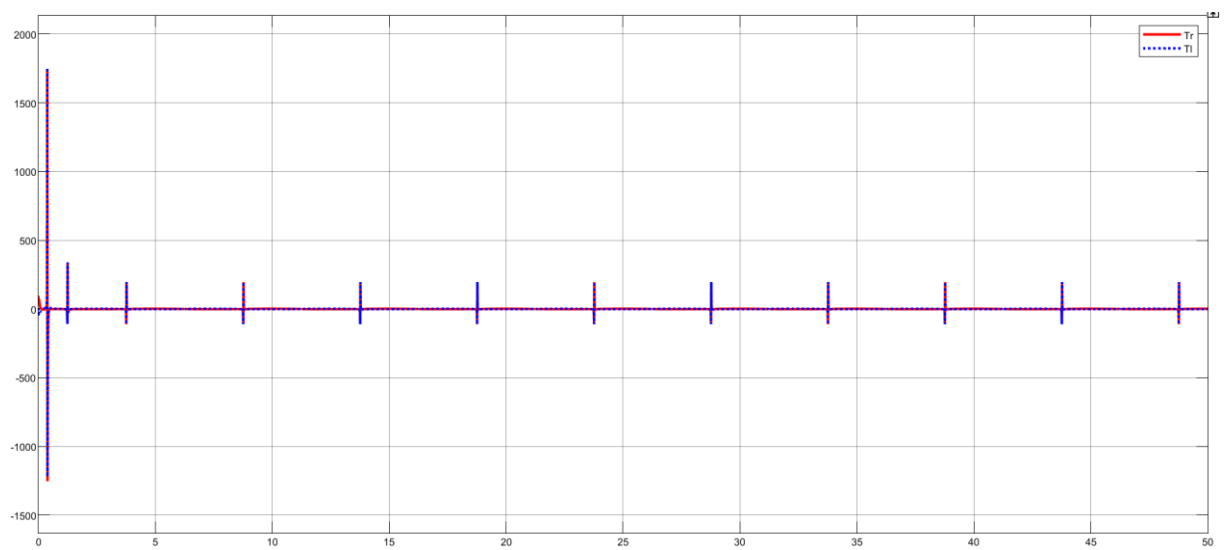




+ Sai số



+ Tín hiệu điều khiển



Nhận xét

Ngõ ra η bám tốt theo tín hiệu đặt η_{d} , tuy nhiên sai số $\eta(2)-\eta_{\text{d}}(2)$ có sự dao động, tín hiệu điều khiển thay đổi đột ngột.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Rabbani, Muhammad Junaid, and Attaullah Y. Memon, *"Trajectory Tracking and Stabilization of Nonholonomic Wheeled Mobile Robot Using Recursive Integral Backstepping Control"*. Electronics 10, no. 16, 1992.
- [2] Jong-Min Yang and Jong-Hwan Kim, *"Sliding mode control for trajectory tracking of nonholonomic wheeled mobile robots"*, IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 15, no. 3, pp. 578-587, June 1999.
- [3] N. T. Luy, *"Reinforcement learning-based tracking control for wheeled mobile robot"* IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2012, pp. 462-467
- [4] D. Chwa, *"Tracking Control of Differential-Drive Wheeled Mobile Robots Using a Backstepping-Like Feedback Linearization"*, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans, vol. 40, no. 6, pp. 1285-1295, Nov. 2010.
- [5] D. Chwa, *"Tracking Control of Differential-Drive Wheeled Mobile Robots Using a Backstepping-Like Feedback Linearization"*, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans, vol. 40, no. 6, pp. 1285-1295, Nov. 2010
- [6] N. V. Tinh, N. T. Linh, P. T. Cat, P. M. Tuan, M. N. Anh and N. P. T. Anh, *"Modeling and feedback linearization control of a nonholonomic wheeled mobile robot with longitudinal, lateral slips"*, IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), Fort Worth, TX, USA, 2016, pp. 996-1001.
- [7] P. Coelho and U. Nunes, *"Path-following control of mobile robots in presence of uncertainties"*, IEEE Transactions on Robotics, vol. 21, no. 2, pp. 252-261, April 2005.
- [8] M. A. Kamel and Y. Zhang, *"Linear model predictive control via feedback linearization for formation control of multiple wheeled mobile robots"*, IEEE International Conference on Information and Automation, Lijiang, China, 2015, pp. 1283-1288
- [9] Chang P-F, Chen C-C, Chang J-R. *"Observer-based feedback linearization control of multi-input multi-output nonlinear system and application to double rotor system"*, Advances in Mechanical Engineering, 2019,11.