

# CHƯƠNG I

## GIỚI THIỆU – XÂY DỰNG MÔ HÌNH TOÁN

### HỆ THỐNG BALL&BAEM

#### 1.1 Mô tả hệ thống “Ball and Beam”

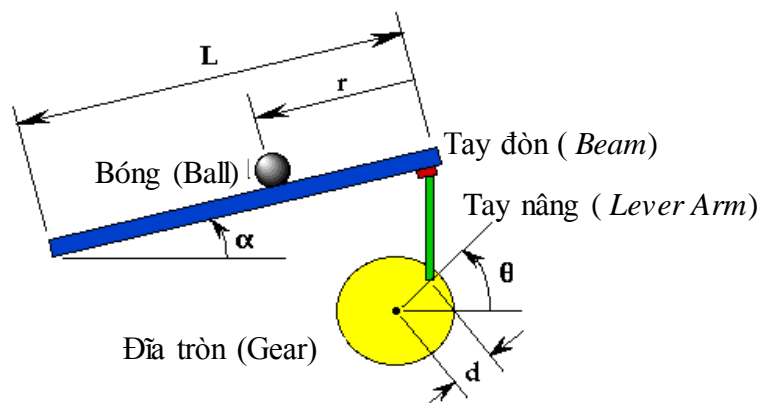
##### 1.1.1. Đặt vấn đề :

Ngày nay, khoa học kỹ thuật đạt rất nhiều tiến bộ trong lĩnh vực điều khiển tự động hóa. Các hệ thống điều khiển được áp dụng các quy luật điều khiển cổ điển, điều khiển hiện đại, cho tới điều khiển thông minh, điều khiển bằng trí tuệ nhân tạo. Kết quả thu được là hệ thống hoạt động với độ chính xác cao, tính ổn định bền vững, và thời gian đáp ứng nhanh. Trong điều khiển công nghiệp có nhiều bộ điều khiển như PID truyền thống, điều khiển thích nghi, LFFC ( Leaning Feed – Forward Control) LQR (Linear Quadratic Regulator) và LQG ( Linear Quadratic Gaussian)....

Hệ thống “Ball and Beam” (B&B), dịch tiếng Việt là hệ thống Bóng và Tay đòn, là hệ thống dùng để thực nghiệm các bài toán ổn định vị trí, đây là một hệ thống có động học khá nhạy cảm với nhiễu tác động bên ngoài. Mô hình B&B thường được dùng trong phòng thí nghiệm của các trường đại học. Mô hình bao gồm một thanh nằm ngang (beam), một quả bóng (ball), một động cơ DC, cảm biến đọc vị trí quả bóng và cảm biến xác định góc nghiêng của thanh. Thanh nằm ngang (beam), thường có độ dài trong khoảng [ 0.5 , 1.0] met. Chất liệu của thanh được làm bằng nhựa hoặc, nhôm, gỗ. Quả bóng (ball), hình tròn, trọng lượng trong khoảng [100g , 250g]. Quả bóng thường được thay thế bằng viên bi sắt nhỏ, hay bi nhựa. Bề mặt nhẵn, khi chuyển động ma sát phải rất nhỏ (có thể bỏ qua được).

Điều khiển vị trí của bóng trên thanh bằng cách thay đổi góc nghiêng của thanh so với phương ngang bằng một động cơ. Cảm biến xác định vị trí quả bóng, dùng cảm biến khoảng cách, cảm biến độ dịch chuyển .Cảm biến xác định góc nghiêng của thanh có thể sử dụng cảm biến góc nghiêng, hoặc encoder. Có hai dạng mô hình phổ biến của hệ thống B&B như sau:

##### **Dạng 1:**

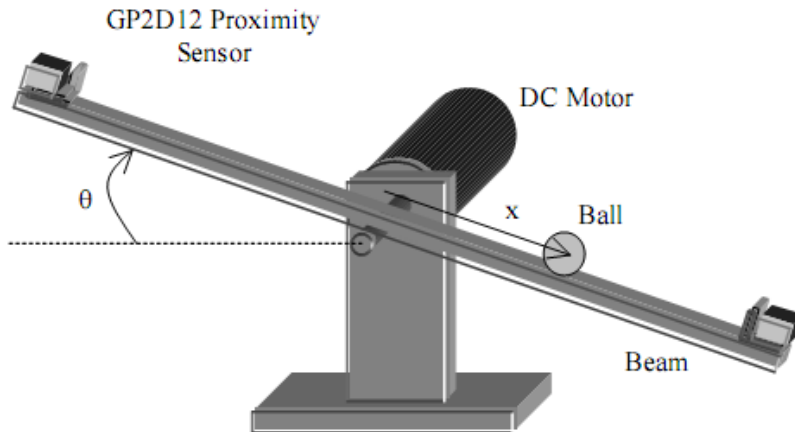


*Hình 1.1: Mô hình Ball beam dạng 1*

Trên mô hình ở hình 1.1,  $\alpha$  là góc nghiêng của thanh beam được tạo ra làm quả bóng chuyển động “Gear” là cơ cấu truyền động, là một đĩa tròn. Trục động cơ gắn vào tâm của đĩa. “Lever Arm” là cơ cấu tay nâng thanh beam, gắn trực tiếp trên đĩa tròn, cách trục động cơ khoảng “ $d$ ”.

Ưu điểm của mô hình này là động cơ có mô men nhỏ hơn để điều khiển vì có sử dụng đòn bẩy. Nhược điểm của dạng này là khó trong thuật toán điều khiển.

### Dạng 2:



Hình 1.2 : Mô hình Ball beam dạng 2

Dạng này thanh được đỡ ở trung tâm. Trục quay được gắn cố định trên thanh và quay được trên giá đỡ.

Ưu điểm của dạng này là dễ xây dựng mô hình và thuật toán điều khiển đơn giản. Nhược điểm của mô hình này là phải sử dụng động cơ có mô men lớn để điều khiển góc quay của thanh.

### Nguyên lý hoạt động chung:

Bóng di chuyển được trên thanh nhờ tác dụng của trọng lực khi thanh bị nghiêng so với phương nằm ngang. Cảm biến xác định vị trí của Bóng và đưa ra tín hiệu điều khiển động cơ thay đổi góc nghiêng của thanh để cho Bóng di chuyển đến vị trí mong muốn.

### 1.1.3 Bộ thí nghiệm SERVO CONTROL TRAINING SYSTEM MODEL SRV2.



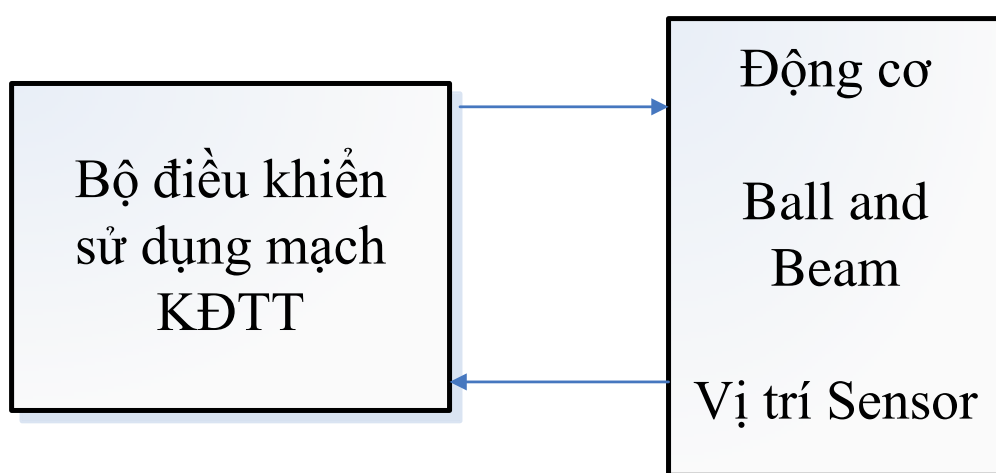
Hình 1.3 : Hình ảnh bộ thí nghiệm

Tình trạng bộ thí nghiệm: Đây là bộ thí nghiệm điều khiển động cơ servo của hãng *Lab\_Volt* nhưng thông tin về sản phẩm, phần mềm điều khiển cũng như máy tính chuyên dụng đều không còn nữa. Mặt khác các linh kiện đã lâu năm nên một số đã không còn chính xác nữa. Đây cũng là một khó khăn nhỏ trong việc nghiên cứu mô hình thí nghiệm này.

Nhưng bộ thí nghiệm thực chất vẫn là một hệ thống bóng và thanh đỡ, Sensor để xác định vị trí bóng là một điện trở thanh, hệ thống sử dụng động cơ servo FAULHABER- 2034B006S. Khi động cơ làm việc sẽ cho ra hai loại phản hồi là phản hồi tốc độ nhờ một máy phát tốc (Motor Tachometer) nối song song với động cơ và phản hồi góc (Shaft Angle) nhờ một biến trở quay. Hệ thống được bố trí rất rõ ràng với phần trên là mạch động lực còn phần dưới là mạch điều khiển (dùng các IC khuếch đại thuật toán) và khối nguồn (Power). Ngoài ra còn có các lỗ cắm vào ra số để phục vụ cho việc điều khiển bằng máy tính.

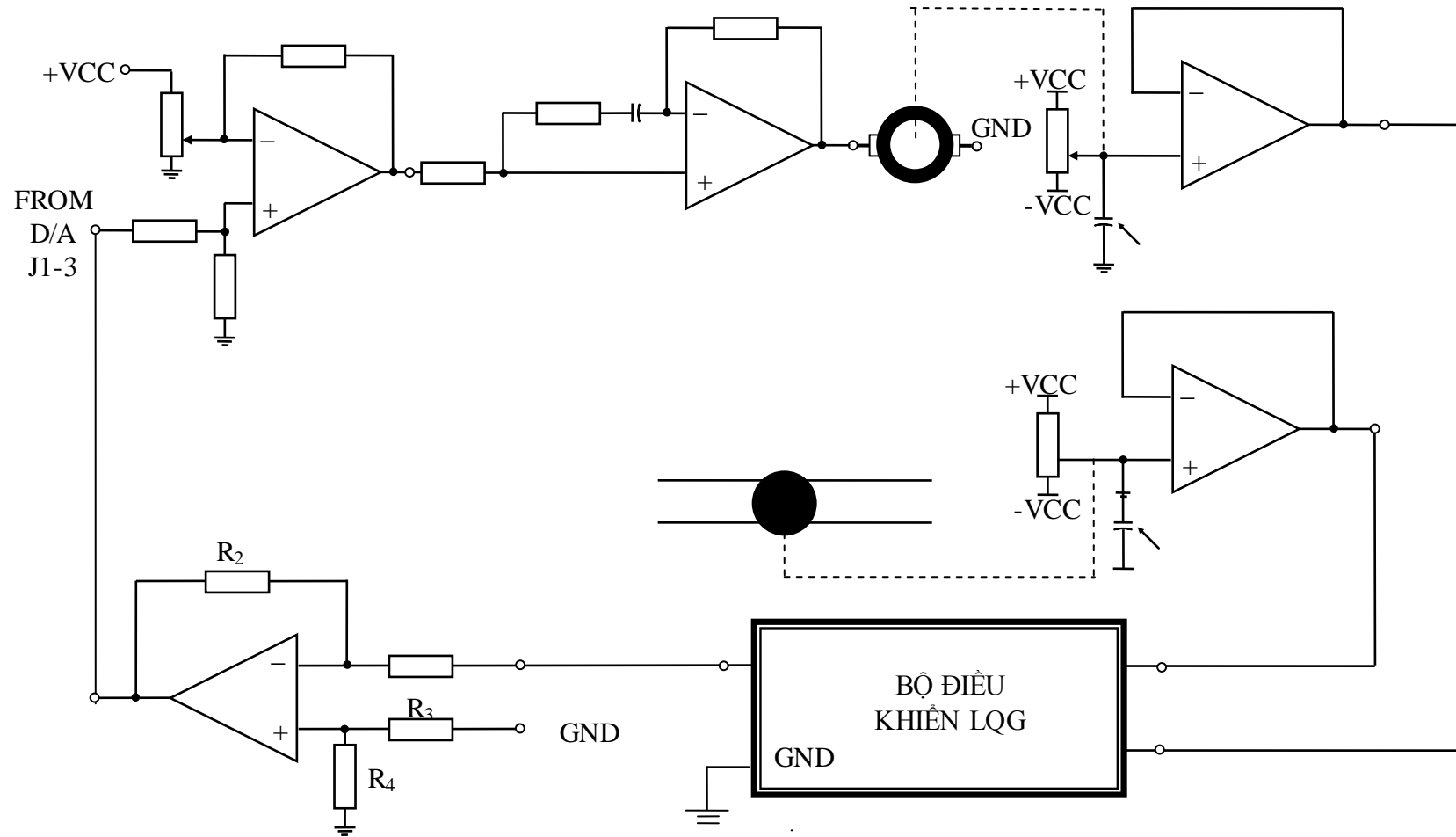
#### 1.1.4 Sơ đồ kết nối mô hình hệ thống B&B.

\* *Sơ đồ cấu trúc hệ thống:*



Hình 1.4 : Sơ đồ cấu trúc hệ thống

*\* Sơ đồ kết nối hệ thống điều khiển B&B.*



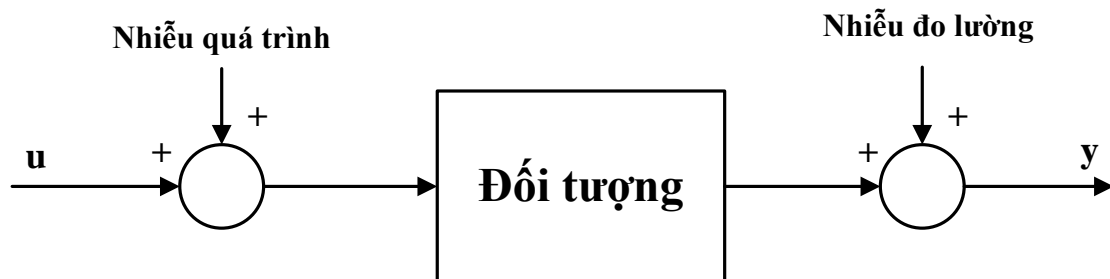
Hình 1.5 : Sơ đồ đấu nối dây của hệ thống B&B

### 1.1.5 Các yếu tố ảnh hưởng đến hệ thống Ball & Beam.

#### \* Nhiễu đo lường

Để tạo ra một vòng lặp kín, cần thiết để đo các đầu ra của hệ thống. Điều này được thực hiện bằng các cảm biến trong hệ thống. Tuy nhiên, các cảm biến này có nhiễu kết hợp với chúng, có nghĩa là các tín hiệu phản hồi của hệ thống bị hỏng bởi nhiễu (xem Hình 1.10). Tiếp theo, nhiễu cảm biến sẽ được đưa vào đối tượng thông qua luật điều khiển. Nhiễu đo lường sau đó có thể được khuếch đại đáng kể bởi những các hệ số phản hồi và hiệu suất bị giảm. Nhiễu cảm biến trong một hệ thống điều khiển chuyển động giới hạn dải có thể đạt được của hệ thống vòng lặp kín. Ảnh hưởng của nhiễu đo lường có thể được giảm, bằng cách di chuyển cảm biến tới một vị trí nơi có các nhiễu nhỏ hơn hoặc bằng cách thay thế một cảm biến bằng cảm biến khác mà có ít nhiễu hơn. Trong luận văn này, tôi sẽ tập trung vào việc giảm tác động của nhiễu đo lường bằng cách lọc. Các bộ lọc và các ước lượng trạng thái là những ví dụ điển hình.

Trong thực tế, tín hiệu điều khiển sẽ thường bị ảnh hưởng bởi những tín hiệu không mong muốn, do đó lọc là cần thiết để làm cho đáp ứng quá trình gần với đáp ứng mong muốn. Thông thường, khi nói về lọc và các bài toán liên quan, ngầm hiểu rằng các hệ thống điều khiển đang bị nhiễu. Như đã nêu, bộ lọc tốt nhất, trên trung bình, có đầu ra gần nhất với tín hiệu hữu ích hoặc chính xác. Như có thể thấy trong Hình 1.10, nhiễu quá trình hoạt động ở đầu vào quá trình và nhiễu đo lường hoạt động tại đầu ra quá trình. Vấn đề lớn trong nhiễu thiết kế điều khiển là một sự thỏa hiệp giữa sự giảm nhiễu quá trình và loại bỏ những dao động gây ra bởi nhiễu đo lường.



Hình 1.10 : Nhiễu quá trình và nhiễu đo lường

#### \* Bất định mô hình

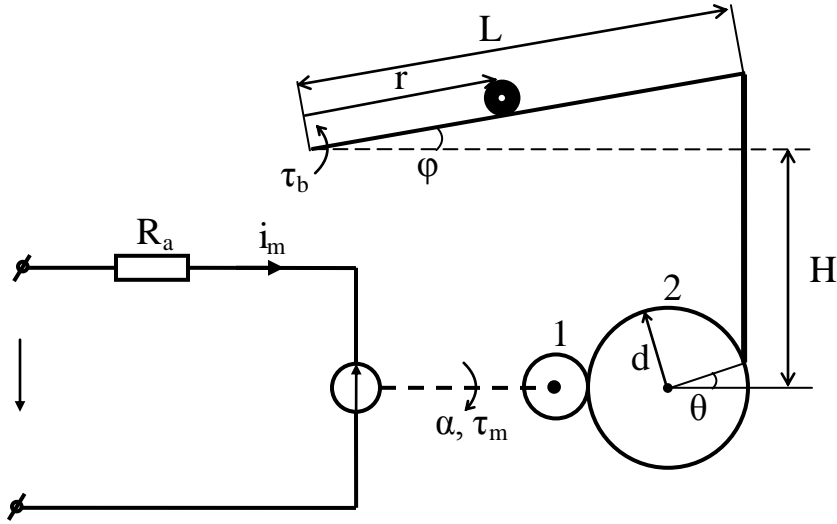
Trong thực tế, các hệ thống điều khiển chuyển động luôn luôn hoạt động với bất định mô hình. Tính bất định là không có thông tin, có thể được mô tả và đo lường.

Tính bất định mô hình có thể bao gồm bất định tham số và các động học không mô hình. Như đã giải thích, bất định tham số có thể do tải biến đổi, các khối lượng và các quán tính ít biết đến, hoặc không rõ và các thông số ma sát biến đổi chậm theo thời gian, nhiễu ngẫu nhiên v.v. Bất định cấu trúc do các động học không mô hình có thể do ma sát bị bỏ quên trong các truyền động, khe hở trong các bánh răng, do tính linh hoạt bị bỏ qua trong các khớp và các liên kết,.... Trong lý thuyết điều khiển, bất định mô hình được xem xét từ quan điểm của mô

hình hệ thống vật lý. Các động học không mô hình và bất định tham số có ảnh hưởng tiêu cực đến hiệu suất bám và thậm chí có thể dẫn đến không ổn định

Để loại bỏ những yếu tố này là sẽ dẫn đến đạt được các tín hiệu vào tối ưu, và bộ điều khiển LQR chính là sự lựa chọn để thực hiện công việc này.

### 1.2 Xây dựng mô hình toán học của hệ thống.



Hình 1.11 : Mô tả toán học B&B

Đặt:  $x_1 = r, x_2 = \dot{r}, x_3 = \varphi, x_4 = \dot{\varphi}$ , ta có phương trình tuyến tính tương đương:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = \frac{\tau_{bf} + m_B x_1 x_4^2 - m_B g \cdot \sin x_3}{\frac{7}{5} m_B} \\ \dot{x}_3 = x_4 \\ \dot{x}_4 = \frac{\frac{K_g K_r L}{R_a d} U_m - \tau_{bf} - \left( 2m_B x_1 x_2 + \frac{K_b K_r K_g^2 L^2}{R_a d^2} \right) x_4 - \left( m_B g \cdot r + \frac{L}{2} m_b g \right) \cos x_3}{J_b + J_B + m_B x_1^2 + \left( \frac{K_g L}{d} \right)^2 J_m} \end{cases}$$

### 1.3 Tuyến tính hoá B&B xung quanh điểm làm việc.

Hệ phi tuyến có mô hình trạng thái:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = f_1(x, u) \\ \dot{x}_2 = f_2(x, u) \\ \dot{x}_3 = f_3(x, u) \\ \dot{x}_4 = f_4(x, u) \end{cases}$$

Giả thiết hệ thống đang cân bằng tại điểm làm việc;  $x^*, u^*$

$$x^* = [x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_4^*]^T = [r_d, 0, 0, 0]^T$$

Tức là tại đó ta có:

$$\begin{cases} f_1(x^*, u^*) = 0 \\ f_2(x^*, u^*) = 0 \\ f_3(x^*, u^*) = 0 \\ f_4(x^*, u^*) = 0 \end{cases}$$

$$\text{Với } u^* = \frac{R_a d}{K_g K_t L} \left( m_B \cdot g \cdot r_d + \frac{L}{2} m_b \cdot g \right)$$

Khai triển các hàm :  $f_1(x, u), f_2(x, u), f_3(x, u), f_4(x, u)$ , thành chuỗi Taylor tại điểm  $x^*, u^*$  và bỏ qua các thành phần bậc cao ta được.

$$\frac{dx}{dt} \approx A\tilde{x} + B\tilde{u}$$

$$\text{Với } \tilde{x} = x - x^*, \tilde{u} = u - u^* .$$

Và A, B là các ma trận Jacobi của vector hàm  $f(x, u)$ .

$$\text{Mặt khác : } \frac{dx}{dt} = \frac{d(\tilde{x} + x^*)}{dt} = \frac{d\tilde{x}}{dt}$$

$$\text{Ta được : } \frac{d\tilde{x}}{dt} = A\tilde{x} + B\tilde{u}$$

Tính các đạo hàm tương ứng, ta được các ma trận :

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{5}{7}g & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -\frac{\left[ J_b + J_B + \left( \frac{K_g L}{d} \right)^2 J_m \right] m_B g + m_B^2 \cdot g \cdot r_d^2}{\left[ J_b + J_B + \left( \frac{K_g L}{d} \right)^2 J_m + m_B r_d^2 \right]^2} & 0 & 0 & \frac{-K_b K_t K_g^2 L^2}{R_a d^2 \left[ J_b + J_B + \left( \frac{K_g L}{d} \right)^2 J_m + m_B r_d^2 \right]} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \frac{K_g K_t L}{R_a d \left[ J_b + J_B + \left( \frac{K_g L}{d} \right)^2 J_m + m_B r_d^2 \right]} \end{bmatrix}^T$$

Vậy mô hình tuyến tính của hệ thống B&B tại điểm làm việc  $x^*, u^*$  là :

$$\begin{cases} \frac{d\tilde{x}}{dt} = A\tilde{x} + B\tilde{u} \\ \tilde{y} = [1 \ 0 \ 0 \ 0] \tilde{x} \end{cases}$$

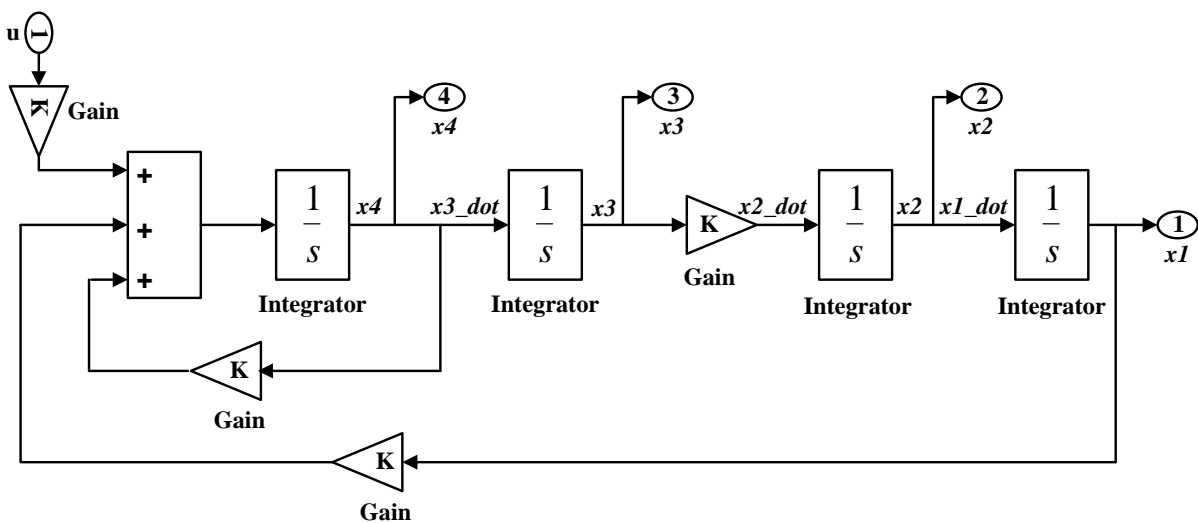
### 1.4 Xác định các tham số của hệ thống :

Ta có các tham số của hệ thống B&B như bảng sau :

| Thông số            | Ý nghĩa                        | Giá trị                                      |
|---------------------|--------------------------------|--|
| $g$                 | Gia tốc trọng trường           | 9,8(m/s <sup>2</sup> )                       |
| $mB$                | Khối lượng Ball                | 21,64/13,84(g)                               |
| $mb$                | Khối lượng Beam                | 81,27(g)                                     |
| $R$                 | Bán kính ball                  | 0,9/0,775(cm)                                |
| $L$                 | Chiều dài Beam                 | 43 (cm)                                      |
| $d$                 | Chiều dài tay đòn              | 2,5(cm)                                      |
| $K_b$               | Hệ số sức điện động phản kháng | 0,1174                                       |
| $K_t$               | Hệ số momen                    | 0,1174                                       |
| $K_g$               | Tỷ số răng                     | 5(120/24)                                    |
| $R_a$               | Điện trở phần ứng              | 10,4( $\Omega$ )                             |
| $J_b$               | Momen quán tính của Beam       | 0.005(kg.m <sup>2</sup> )                    |
| $J_B$               | Momen quán tính ball           | 7,0114.10 <sup>-7</sup> (kg.m <sup>2</sup> ) |
| $J_m$               | Momen quán tính động cơ        | 3,5136.10 <sup>-5</sup> (kg.m <sup>2</sup> ) |
| $K_u$               |                                | 10(v/vòng)                                   |
| $r_d = \frac{L}{2}$ | Vị trí điểm làm việc           | 21,5 (cm)                                    |

### 1.4 Mô hình đối tượng trên Matlab/Simulink.

#### Mô hình tuyến tính.



Hình 1.13: Mô hình tuyến tính của đối tượng Ball&Beam



### 1.6. Động lực cho việc sử dụng điều khiển LQG

Trong hệ thống điều khiển Bóng và thanh rất nhiều yếu tố tác động làm ảnh hưởng đến sự ổn định vị trí viên bi trên thanh thẳng như các nhiễu ngẫu nhiên, sai số đo lường, giới hạn động học hệ thống. Việc loại bỏ những yếu tố này là sẽ dẫn đến đạt được các tín hiệu vào tối ưu, và bộ điều khiển LQG chính là sự lựa chọn để thực hiện công việc này.

### 1.7. Nhiệm vụ của tác giả

Mục tiêu của đề tài là xây dựng mô hình bóng và thanh. Điều khiển cân bằng và điều khiển vị trí của quả bóng trên thanh nằm ngang. Trong thời gian thực hiện đề tài, mục tiêu được đề ra như sau:

- Tìm hiểu về các mô hình Bóng và thanh đã có, tìm hiểu nguyên lý cân bằng.
- Tính toán các tham số động lực học, hàm trạng thái của mô hình.
- Khảo sát phương pháp dùng kỹ thuật xử lý xác định khoảng cách, vị trí.
- Xây dựng mô phỏng trên Matlab Simulink.
- Thiết kế bản vẽ, xây dựng và lắp ráp mạch điều khiển thực.
- Thiết kế mạch điều khiển trung tâm nhằm xử lý các tín hiệu đo và đưa ra các tín hiệu điều khiển.
- Thiết kế mạch công suất điều khiển động cơ.
- Thiết kế mạch khuếch đại tín hiệu, mạch lọc tín hiệu, mạch phát hiện quá dòng trên động cơ.
- Xây dựng, lập trình thuật toán LQG, điều khiển động cơ DC.

### 1.8. Mong muốn đạt được

- Nghiên cứu và chế tạo mô hình viên bi trên thanh nghiêng sử dụng động cơ một chiều.
- Xây dựng cấu trúc của hệ thống điều khiển cũng như thông số các bộ điều khiển;
- Kết quả mô phỏng;
- Thiết kế, lắp ráp mạch điện tử tương tự thực hiện chức năng bộ biến đổi cấp điện cho động cơ điện một chiều;
- Thiết kế, lắp ráp mạch điện tử tương tự thực hiện chức năng bộ điều khiển;
- Mô hình thực đầy đủ (Mạch lực và mạch điều khiển);
- Tính đúng đắn của giải pháp được chứng minh thông qua kết quả mô phỏng và thực nghiệm khi có và không có sự tác động của nhiễu hệ thống.

### Kết luận chương 1.

Để xây dựng mô hình hệ thống “ Ball and Beam”, tôi nghiên cứu các vấn đề như sau :

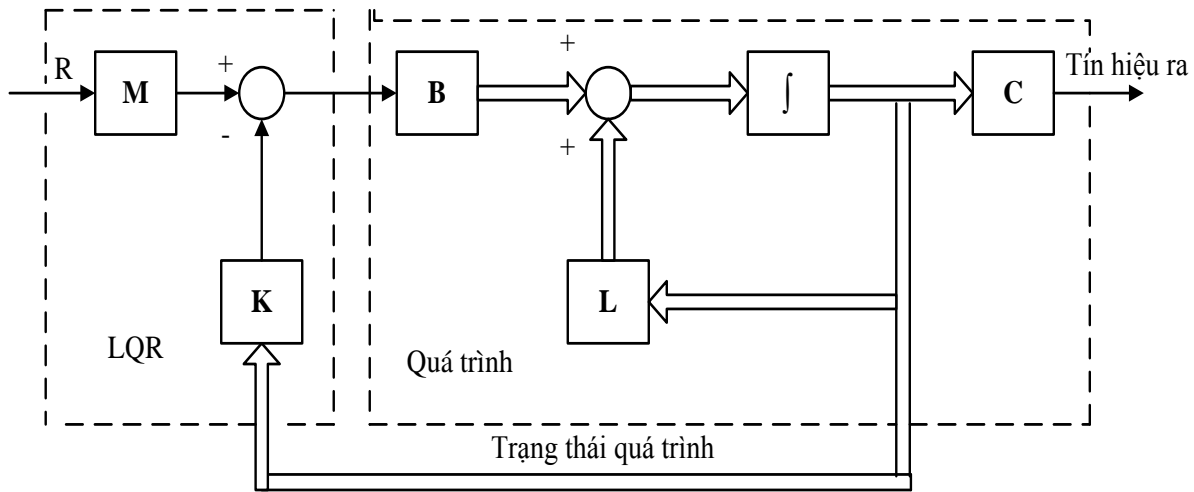
- Tìm hiểu về các mô hình Bóng và thanh đã có, tìm hiểu nguyên lý cân bằng.
  - Tính toán các tham số động lực học, biểu diễn trạng thái của mô hình.
  - Khảo sát phương pháp dùng kỹ thuật xử lý xác định khoảng cách, vị trí.
  - Xác định được tham số của hệ thống.
-

## CHƯƠNG II TỔNG QUAN VỀ LQG

### 2.1 Lý thuyết LQG :

#### 2.1.1. LQR :

Trong lý thuyết điều khiển tối ưu, LQR (Linear Quadratic Regulator) là một phương pháp thiết kế các luật điều khiển phản hồi trạng thái cho các hệ tuyến tính mà tối thiểu hóa hàm giá trị toàn phương [12]... Mục đích của thuật toán LQR là tìm một bộ điều khiển phản hồi trạng thái. Phương pháp thiết kế được thực hiện bằng lựa chọn ma trận trọng số bán xác định dương  $Q_R$  và ma trận trọng số xác định dương  $R_R$ . Lợi ích của thuật toán điều khiển là nó tạo ra một hệ thống bền vững bằng việc đảm bảo các giới hạn ổn định.



Hình 2.1: Nguyên tắc hệ thống sử dụng phản hồi trạng thái

Đầu ra của bộ điều khiển phản hồi trạng thái là :

$$[u = -Kx]$$

Trong đó:

$x$  : trạng thái của hệ thống .

$K$ : véctơ thu được dựa trên các tiêu chuẩn tối ưu hóa và mô hình hệ thống .

$A, B$ : ma trận trạng thái của đối tượng được điều khiển .

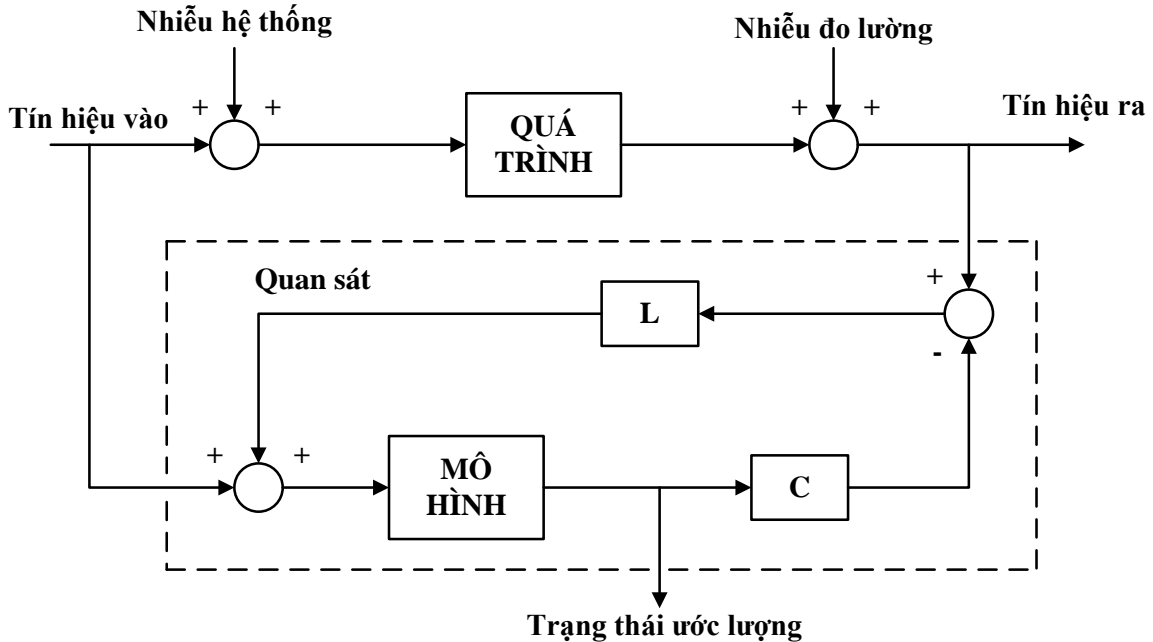
Một hệ phản hồi trạng thái được mô tả trong hình 2.1 [12].. Các trạng thái bên trong của hệ thống được đưa trở lại bộ điều khiển, mà biến đổi những tín hiệu này thành tín hiệu điều khiển quá trình. Để thực hiện LQR tiên định, cần thiết phải đo tất cả các trạng thái của hệ thống. Điều này có thể được thực hiện bằng các sensors trong hệ thống. Tuy nhiên, những sensor có nhiều trong đó, có nghĩa rằng các trạng thái đo được của hệ thống là không chính xác. Điều đó, việc thiết kế bộ điều khiển dựa vào lý thuyết LQR không thể bền vững với nhiễu đo lường. Thêm nữa, rất khó khăn hoặc quá tốn kém để đo tất cả các trạng thái.

#### 2.1.2. Bộ quan sát LQE (Linear Quadratic Estimator) (Bộ lọc Kalman)

Khi các trạng thái là không đo được hay chịu tác động của nhiễu ta sử dụng bộ quan sát. LQE cũng là 1 dạng của bộ quan sát, là bộ ước lượng tuyến tính toàn

phương hay bộ lọc Kalman. LQE cung cấp một ước lượng tối ưu các trạng thái của hệ thống khi có nhiều đo lường và nhiễu hệ thống

Một bộ lọc Kalman được dựa vào mô hình toán của quá trình. Nó được điều khiển bởi các tín hiệu điều khiển tới quá trình và các tín hiệu đo lường. Khi chúng ta sử dụng các bộ lọc Kalman hoặc các bộ quan sát, nhiễu ở đầu vào của quá trình hầu như được coi là “nhiều hệ thống” như hình 2.5



Hình 2.5: Nguyên lý của bộ quan sát trạng thái LQE

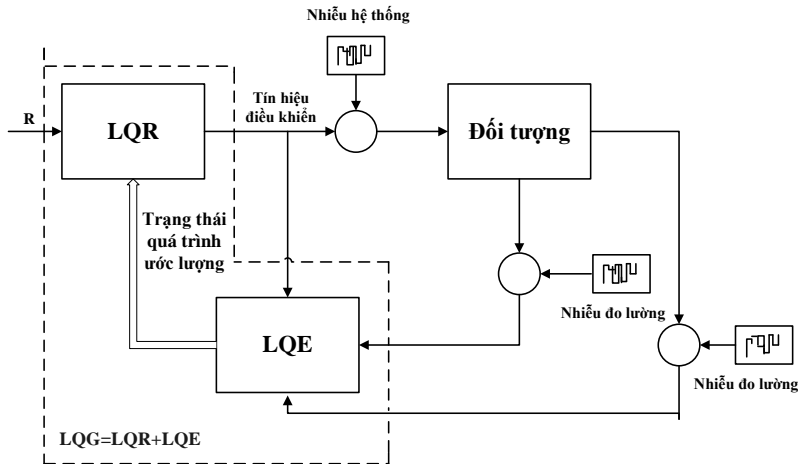
Đầu ra của nó là một ước lượng các trạng thái của hệ thống bao gồm các tín hiệu mà không thể đo được trực tiếp. Bộ lọc Kalman cung cấp một ước lượng tối ưu các trạng thái của hệ thống khi có nhiều đo lường và nhiễu hệ thống. Để đạt được tối ưu, các điều kiện sau đây phải được thỏa mãn [12]

- Cấu trúc và các thông số của quá trình và mô hình phải được nhận dạng
- Nhiễu đo lường và hệ thống phải xấp xỉ không và thay đổi biết trước

Thiết kế LQE xác định hệ số bộ lọc trạng thái ổn định tối ưu  $L$  dựa vào các thông số tuyến tính của quá trình, đồng biến nhiễu hệ thống  $Q_E$  và đồng biến nhiễu đo lường  $R_E$ . Các trạng thái của mô hình sẽ theo các trạng thái của đối tượng, phụ thuộc và lựa chọn  $Q_E$  và  $R_E$ .

### 2.1.3. LQG

LQG đơn giản là sự kết hợp của LQR và LQE [12]. Điều này có nghĩa là LQG là một phương pháp thiết kế các luật điều khiển phản hồi trạng thái cho các hệ thống tuyến tính với nhiễu Gaussian phụ mà tối thiểu hàm giá trị toàn phương đã cho. Cấu trúc điều khiển được chỉ ra trong Hình 2.7.



Hình 2.7: Cấu trúc của hệ điều khiển sử dụng LQG

## 2.2 Nhận xét

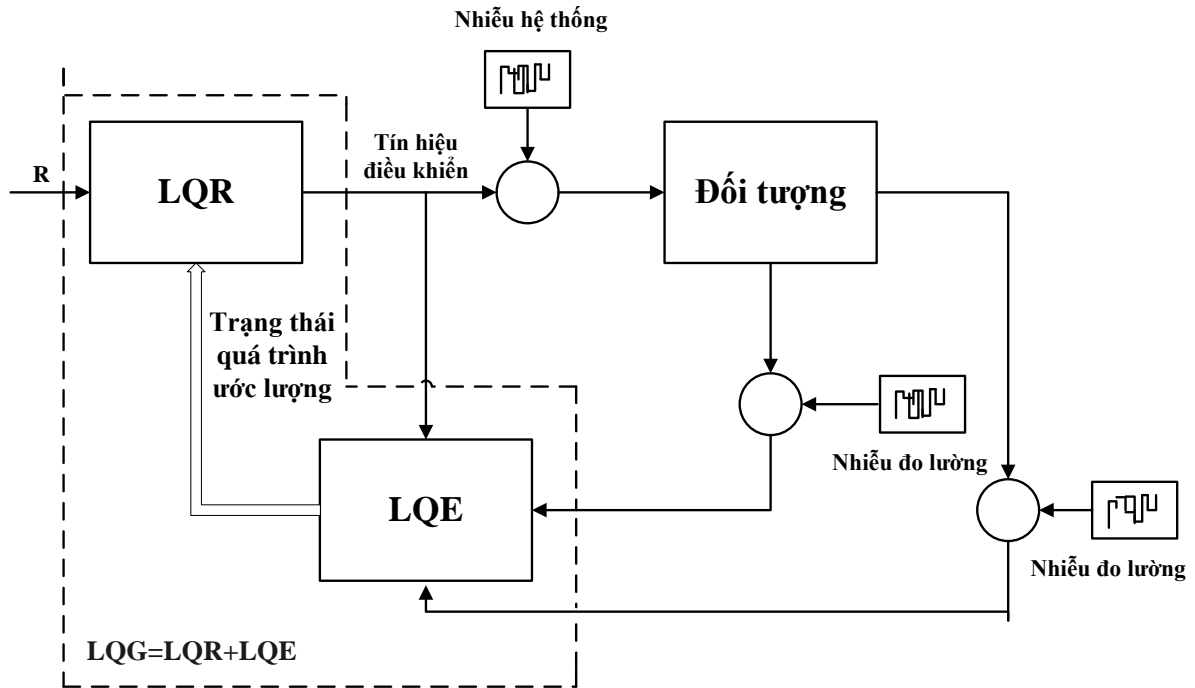
Trong các hệ thống kích thước hữu hạn tuyến tính, lý thuyết LQR đóng một vai trò đặc biệt bởi vì các hệ số tối ưu có thể đơn giản được tính toán bằng việc giải phương trình Riccati và tín hiệu điều khiển ổn định hệ thống vòng lặp kín. Thiết kế LQR để tìm luật phản hồi trạng thái mà tối thiểu hóa hàm giá trị, mà liên quan đến các đặc điểm hiệu suất mong muốn của hệ thống vòng lặp kín. Hàm giá trị là một tiêu chuẩn hiệu suất toàn phương với các ma trận trọng số quy định. Phản hồi trạng thái tối ưu cần các đo lường đầy đủ trạng thái của đối tượng cần được điều khiển. Trong thực tế, tuy nhiên, không phải tất cả các biến trạng thái có sẵn cho phản hồi. Thêm nữa, các biến trạng thái đo lường có thể bị hỏng bởi nhiễu đo lường ở bất kỳ thời gian nào. Bộ lọc Kalman là tiếp cận chung để giải quyết những vấn đề này.

Bộ lọc Kalman là bộ lọc hồi qui hiệu quả mà giúp cho việc ước lượng các trạng thái quá khứ, hiện tại và thậm chí tương lai của hệ thống động học khi giải quyết nhiễu Gaussian. Nó tối thiểu hiệp biến tiệm cận của sai lệch ước lượng. Trong lý thuyết điều khiển tối ưu, bộ lọc Kalman được biết đến như là LQE. Lựa chọn hiệp biến nhiễu quá trình  $Q_E$  và hiệp biến nhiễu cảm biến  $R_E$  có ảnh hưởng lớn đến hệ số bộ lọc trạng thái tối ưu  $L$ . Lời giải là thỏa hiệp giữa bất định cảm biến và mô hình.

Sự kết hợp của các kết quả LQR và LQE tối ưu trong bộ điều khiển LQG, mà tối ưu theo hàm giá trị toàn phương. Bộ ước lượng và bộ điều khiển phản hồi trạng thái có thể được thiết kế độc lập. Cho phép chúng ta thỏa hiệp giữa hiệu suất điều khiển và nỗ lực điều khiển, và kể đến cả nhiễu đo lường và nhiễu quá trình. Tuy nhiên, nó không rõ ràng để tìm các trọng số tương đối giữa các biến trạng thái và các biến điều khiển. Hầu hết các bài toán trong thực tế liên quan đến các mô hình phi tuyến trong khi lý thuyết điều khiển LQG được giới hạn về các mô hình tuyến tính. Ngay cả cho các đối tượng tuyến tính, các mô hình toán của các đối tượng là bất định mà có từ các động học không mô hình, và các biến đổi thông số. Những bất định này là không được nói đến rõ ràng trong thiết kế LQG. Những bài toán này có thể được giải quyết, bằng sử dụng các hệ thống điều khiển thích nghi như MRAS hoặc các bộ điều khiển tự chỉnh STR.

## CHƯƠNG 3 THIẾT KẾ VÀ MÔ PHỎNG BỘ ĐIỀU KHIỂN LQG

### 3.1. Cấu trúc hệ thống với thuật toán LQG điều khiển ổn định vị trí của viên bi trên thanh thẳng



Hình 3.1:  $LQG = LQR + LQE$

$LQR$  là thuật toán điều khiển được xây dựng dựa trên cơ sở nguyên lý phản hồi trạng thái. Bộ điều khiển nhận tín hiệu vào là trạng thái của hệ thống và tín hiệu mẫu sau đó tính toán và chuyển thành tín hiệu điều khiển cho quá trình.

Chức năng của  $LQE$  (*Linear Quadratic Estimator*) chính là quan sát trạng thái. Trong trường hợp này, bộ quan sát trạng thái của *Kalman* được sử dụng để nhận được trạng thái ước lượng của đối tượng và không gây ra sự lệch pha giữa trạng thái thực và trạng thái ước lượng.

### 3.2. Tính toán thông số

Ta đi tính toán các thông số  $LQR$  và  $LQE$  riêng rẽ

#### 3.2.1. $LQR$

Chúng ta xét đối tượng tuyến tính theo thời gian được mô tả bởi

$$\begin{cases} x_{k+1} = Ax_k + Bu_k \\ y_k = Cx_k + Du_k \end{cases} \quad (3.1)$$

với hàm mục tiêu được xác định như sau:

$$J = \sum_{k=0}^{\infty} (e_k^T Q_R e_k + u_k^T R_R u_k) \quad (3.2)$$

Trong các phương trình (3.1) và (3.2):

- $A$ ,  $B$ ,  $C$  và  $D$  là các ma trận trạng thái của đối tượng được điều khiển
- $x$  định nghĩa trạng thái của đối tượng

- $e$  là sai số bám
- $u$  là tín hiệu điều khiển
- $Q_R$  và  $R_R$  là các ma trận theo tiêu chí tối ưu ( $Q_R$  là ma trận trọng số bán xác định dương và  $R_R$  là ma trận trọng số xác định dương).

Bộ điều khiển phản hồi trạng thái tối ưu sẽ đạt được bằng chọn một vector phản hồi.

$$K_{LQR} = (B^T P B + R_R)^{-1} B^T P A \quad (3.3)$$

ở đó  $P$  là nghiệm của ma trận giảm phương trình Riccati:

$$A^T P A - P - A^T P B (B^T P B + R_R)^{-1} B^T P A + Q_R + P = 0 \quad (3.4)$$

Đầu ra của bộ điều khiển phản hồi trạng thái là

$$u = -K_{LQR} x$$

Các giá trị này cho kết quả trong các hệ số khuếch đại bộ điều khiển phản hồi dùng dưới đây

$$K_{LQR} = [-28.4988 \quad -23.3683 \quad 67.1590 \quad 3.0004]$$

### 3.2.2 LQE

Ma trận phản hồi  $L$  cho ước lượng tối ưu của các trạng thái quá trình được tính như:

$$L = P C^T (C P C^T + R_E I)^{-1} \quad (3.5)$$

với  $P$  là nghiệm của ma trận dưới đây phương trình Riccati

$$\text{next}(P) = A(I - LC) P A^T + Q_E \quad (3.6)$$

Trong đó :

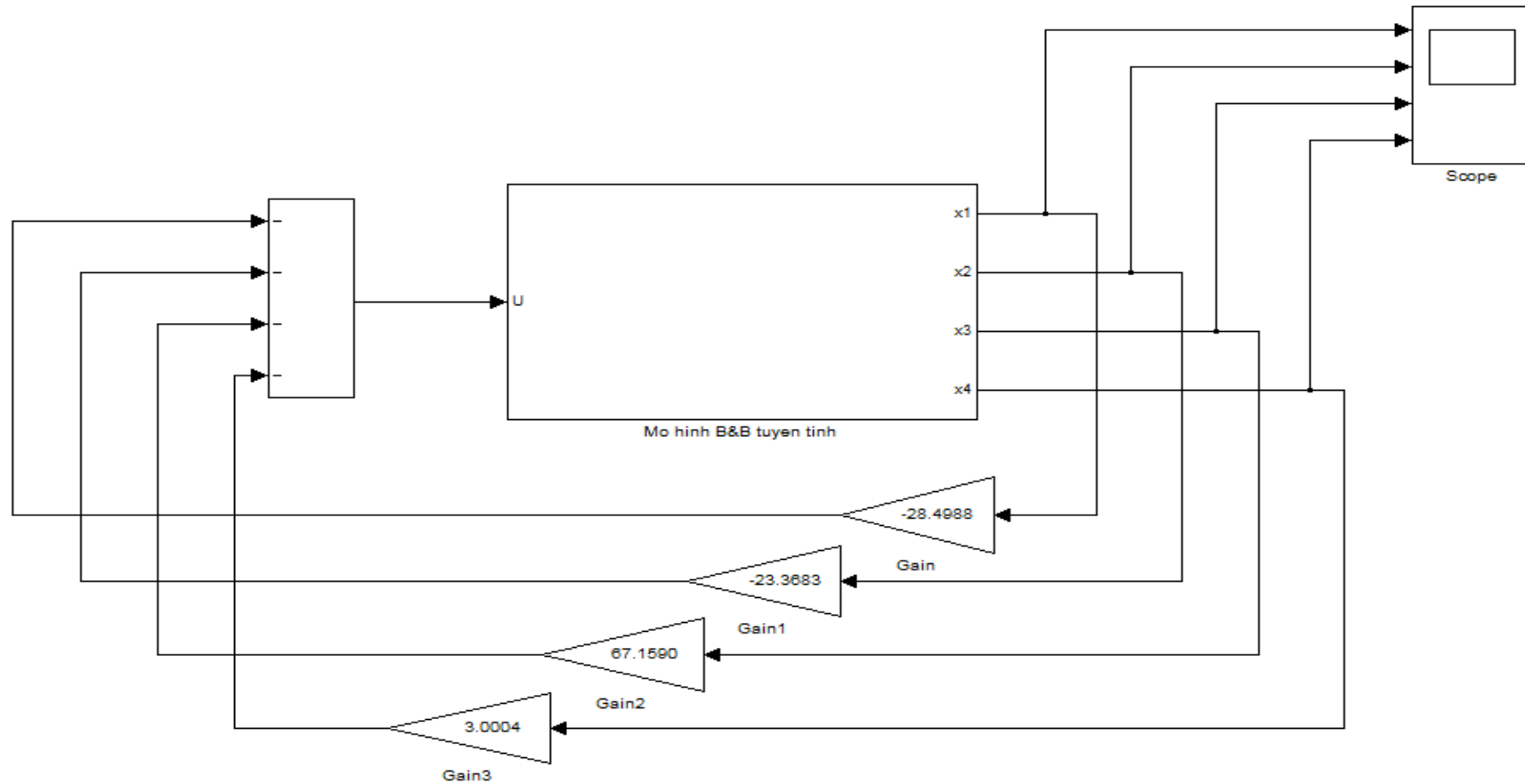
- $A$  và  $C$  là các ma trận trạng thái rời rạc của đối tượng được điều khiển
- $Q_E$  là đồng biến nhiễu hệ thống
- $R_E$  là đồng biến nhiễu cảm biến.

Các thiết lập cho kết quả trong các hệ số ổn định dưới đây :

$$L_{LQE} = \begin{bmatrix} l_{11} & l_{12} \\ l_{21} & l_{22} \\ l_{31} & l_{32} \\ l_{41} & l_{42} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5.8083 & -0.5619 \\ 12.0261 & -4.9088 \\ -0.5619 & 3.1256 \\ -0.1110 & 0.0425 \end{bmatrix}$$

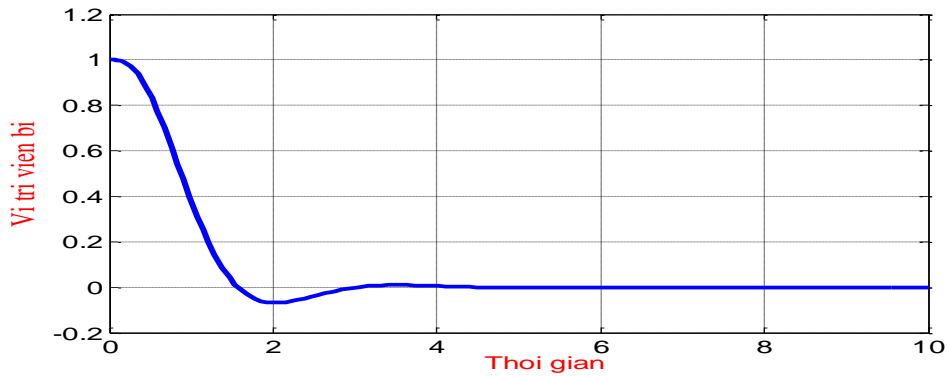
### 3.3 Mô phỏng

Sau khi thiết kế bộ điều khiển, ta đi tiến hành mô phỏng trong Matlab Simulink để kiểm tra tính đúng đắn của thuật toán. Trước tiên, ta thực hiện mô phỏng bộ điều khiển LQR, với giả thiết các biến trạng thái của hệ là đo được. Với vị trí ban đầu của viên bi là  $x = 1$ , sau một khoảng thời gian, bộ điều khiển đã đưa được viên bi về vị trí cân bằng  $x = 0$ .

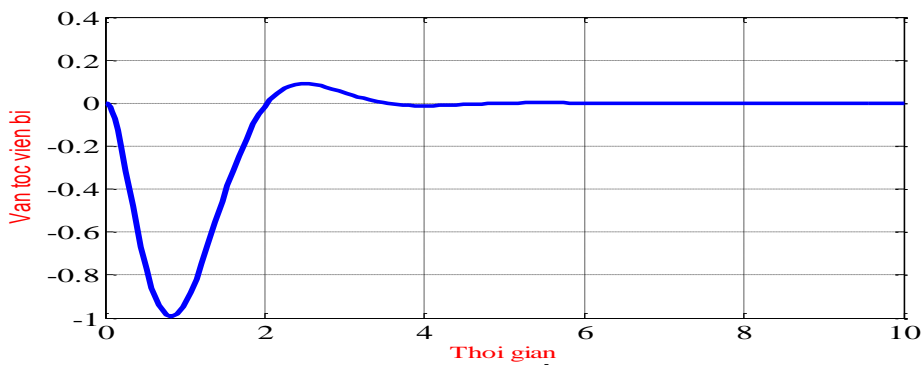


Hình 3.2 : Bộ điều khiển LQR trong mô phỏng Matlab Simulink

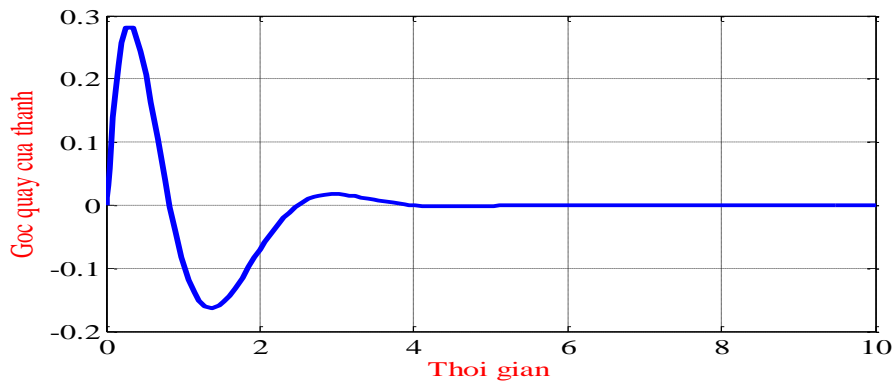
Kết quả chạy mô phỏng trên Matlab Simulink



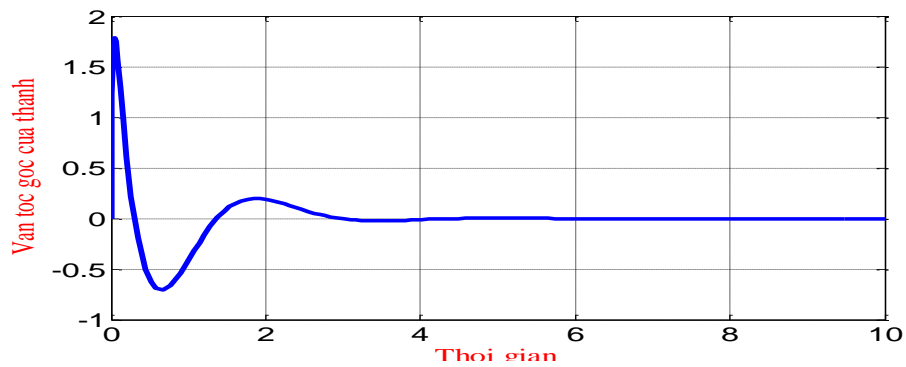
Hình 3.3: Vị trí viên bi.



Hình 3.4 : Vận tốc viên bi



Hình 3.5 : Góc quay của thanh

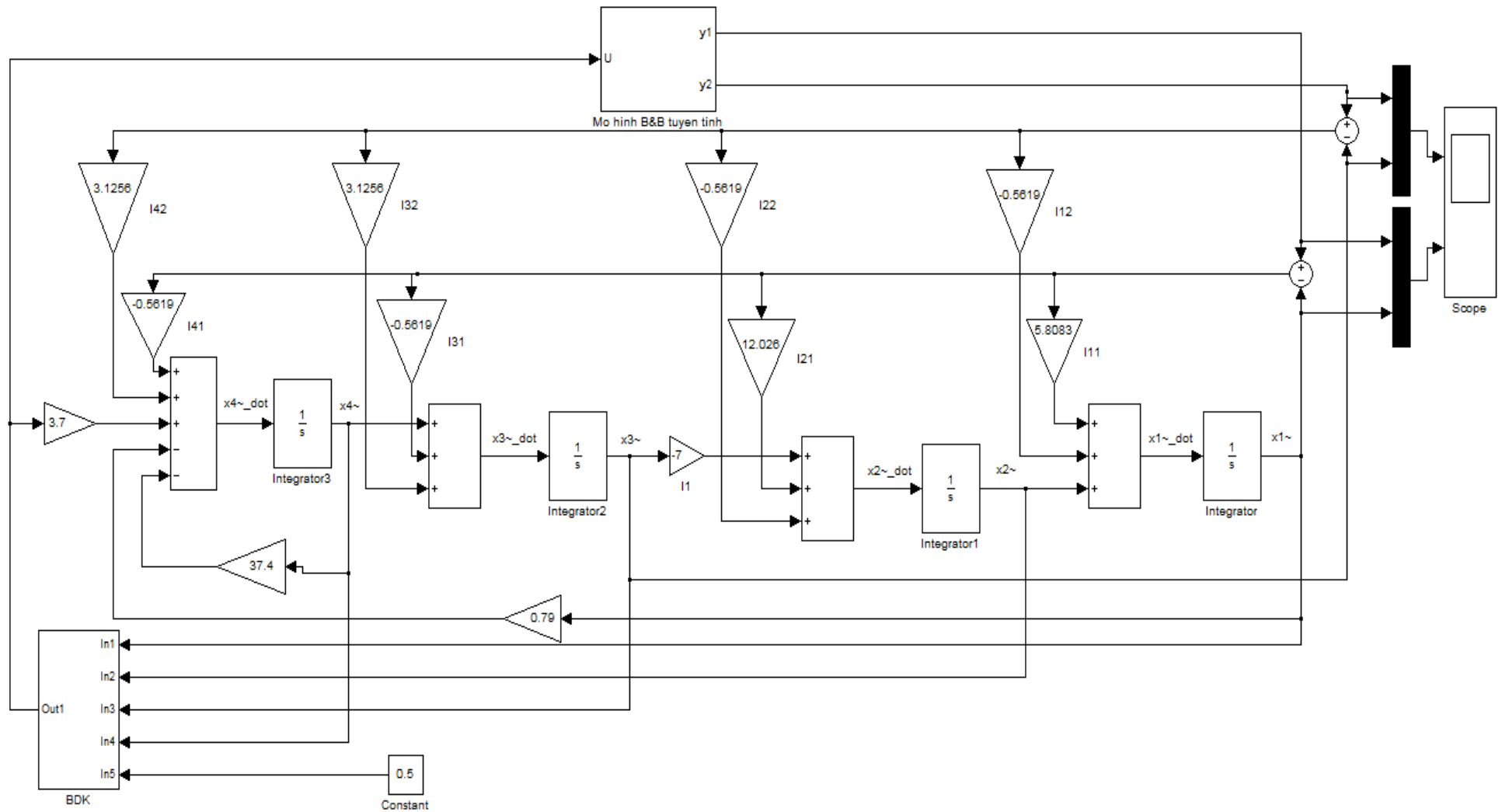


Hình 3.6 : Vận tốc góc của thanh





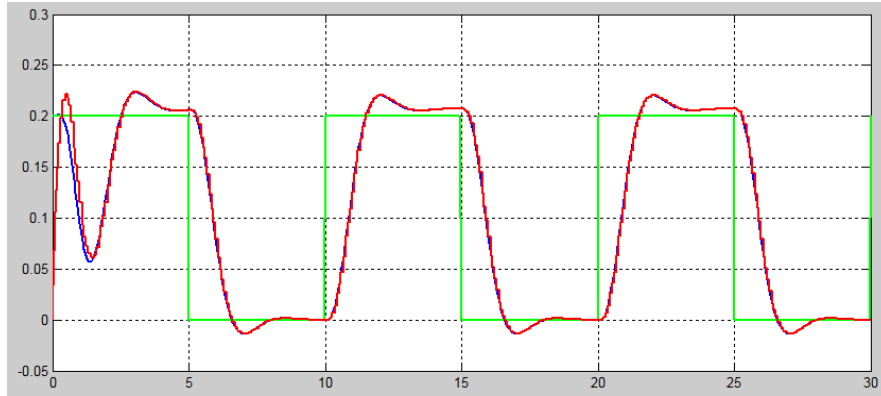
Cấu trúc bộ điều khiển LQG được thực hiện trong Matlab như sau:



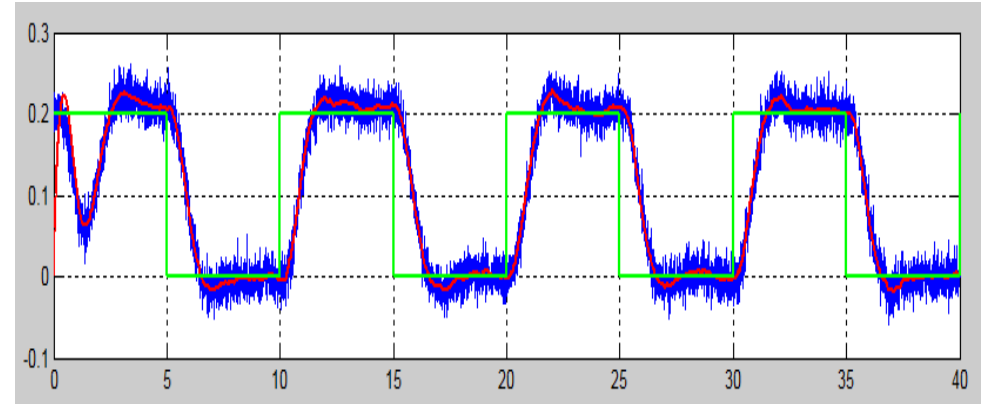
Hình 3.7: Cấu trúc LQG mô phỏng thực hiện trong Matlab

Kết quả mô phỏng trên Matlab Simulink :

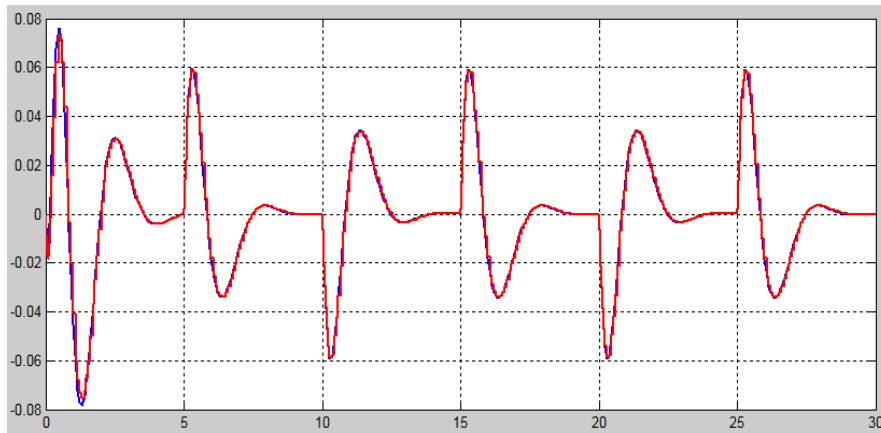
Kết quả mô phỏng trên Simulink khi có nhiều tác động :



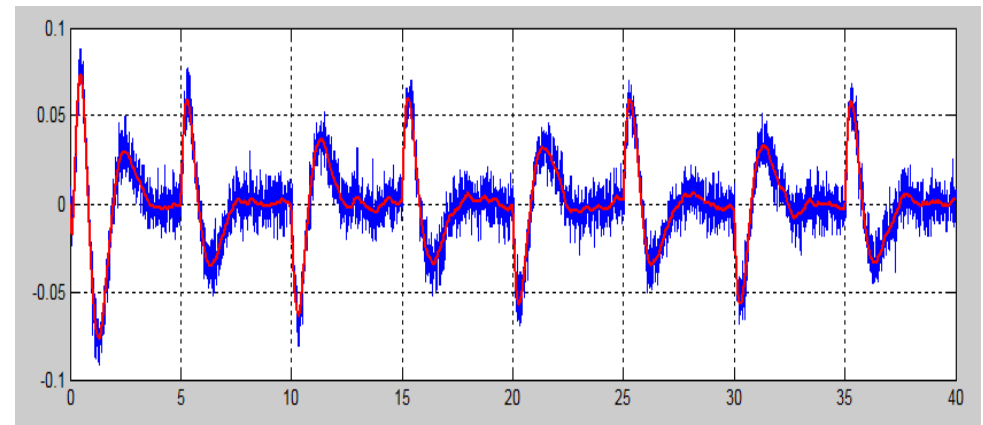
Hình 3.8 : Vị trí viên bi



Hình 3.10 : Vị trí viên bi khi có nhiễu



Hình 3.9 : Vận tốc góc của thanh



Hình 3.11 : Vận tốc góc khi có nhiễu

### Kết luận Chương 3

Từ các cơ sở lý thuyết của Chương 1 và Chương 2, tác giả đã xây dựng được bộ điều khiển LQG cho hệ thống Bông và thanh. Kết quả điều khiển được kiểm chứng bằng mô phỏng trên phần mềm Matlab Simulink.

Qua kết quả mô phỏng có các kết luận:

- Hệ thống hoạt động ổn định;
- Tín hiệu ước lượng trạng thái hệ thống tốt hơn nhiều do không bị tác động bởi nhiễu đo lường.
- Tín hiệu điều khiển thể hiện được khả năng phản ứng của hệ thống để giữ ổn định vị trí viên bi.

## CHƯƠNG IV

### THIẾT KẾ MẠCH KHUẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

#### 4.1 Tính toán thông số và thiết kế mạch khuếch đại thuật toán :

Bảng I : Thông số LQR tương tự

| Ký hiệu | Thông số   | Ghi chú                           |
|---------|--|-----------------------------------|
| Sum 1   | $R_{18} = R_{19} = R_{20} = 10k\Omega$ ,             | Tính toán sai lệch bám            |
| $K_1$   | $R_4 = R_{13} = R_{14} = 10k\Omega; R_2 = 20k\Omega$ | Khuếch đại tỷ lệ                  |
| $K_2$   | $R_3 = R_{11} = R_{12} = 10k\Omega; R_4 = 20k\Omega$ | Khuếch đại Tỷ lệ                  |
| $K_3$   | $R_5 = R_{10} = R_{17} = 10k\Omega; R_6 = 20k\Omega$ | Khuếch đại tỷ lệ                  |
| $K_4$   | $R_7 = R_9 = 10k\Omega, R_8 = 5k\Omega$              | Khuếch đại tỷ lệ                  |
| Sum 2   | $R_4 = R_5 = R_7 = 10k$                              | Tính toán tín hiệu điều khiển $u$ |

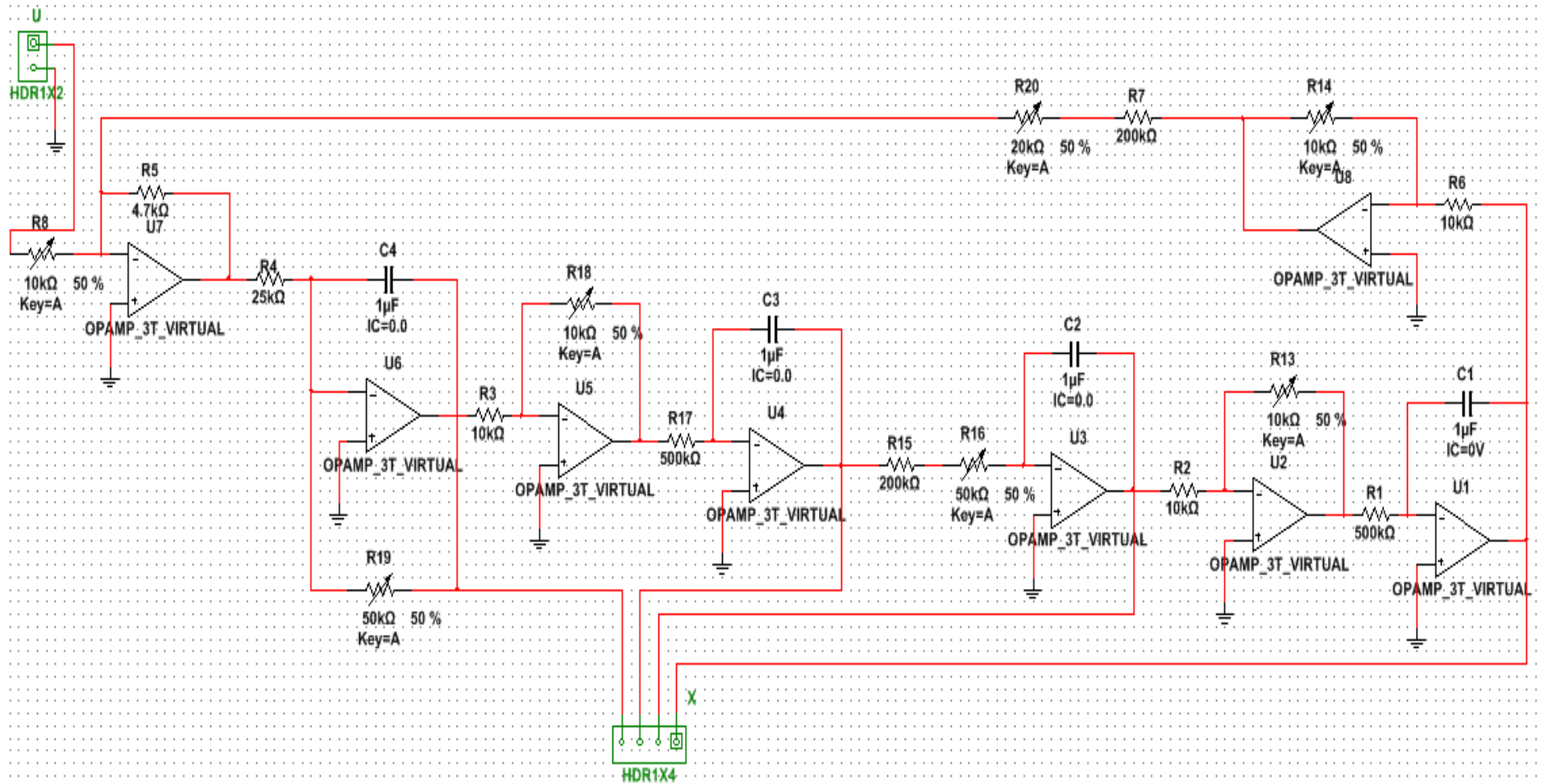
Bảng II : Thông số LQE

| Ký hiệu   | Thông số   | Ghi chú   |
|-----------|--|---|
| Sum       | $R_{10} = 10k\Omega, R_{11} = 4,7k\Omega, R_{14} = 200k\Omega$ | Khuếch đại tổng                                     |
| $I_{nv1}$ | $R_{25} = R_{26} = R_{29} = 10k\Omega$                         | Tạo tín hiệu tương ứng cho vị trí viên bi ước lượng |
| $I_{nv2}$ | $R_{23} = R_{24} = R_{27} = 10k\Omega$                         | Tạo tín hiệu tương ứng cho góc của thanh ước lượng  |
| $l_{11}$  | $R_{31} = R_{32} = 10k\Omega$                                  | Khuếch đại bộ lọc tối ưu trạng                      |

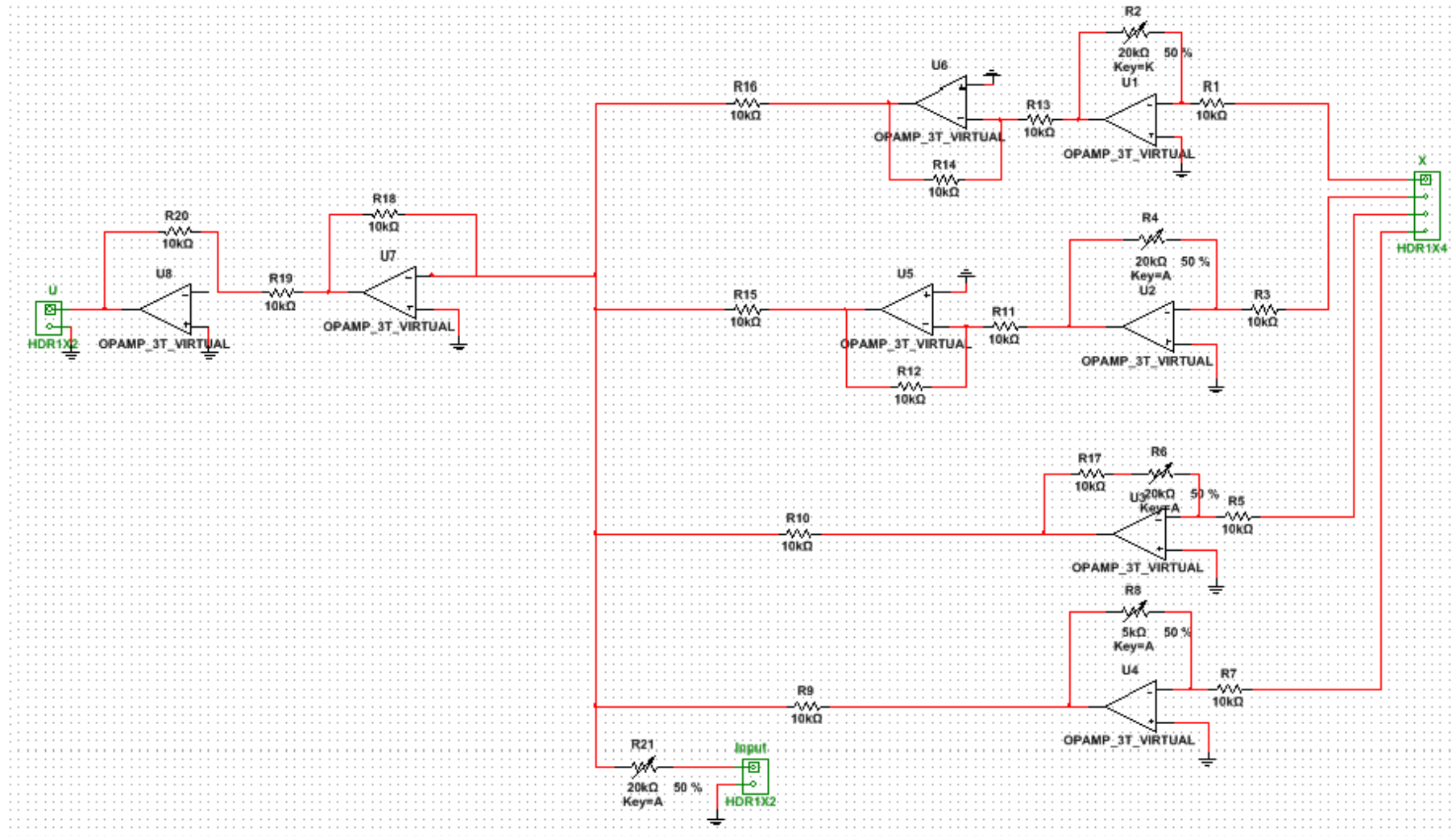
|           |  |  |
|-----------|--|--|
|           |  | thái ổn định $l_{11} = \frac{R_{31}}{R_{32}}$                                |
| $l_{12}$  | $R_{15} = 100k\Omega$                    | Khuếch đại bộ lọc tối ưu trạng thái ổn định                                  |
| $l_{21}$  | $R_{33} = 10k\Omega, R_{34} = 50k\Omega$ | Khuếch đại bộ lọc tối ưu trạng thái ổn định $l_{21} = \frac{R_{34}}{R_{33}}$ |
| $l_{22}$  | $R_{17} = 100k\Omega$                    | Khuếch đại bộ lọc tối ưu trạng thái ổn định                                  |
| $l_{31}$  | $R_{35} = R_{36} = 10k\Omega$            | Khuếch đại bộ lọc tối ưu trạng thái ổn định $l_{32} = \frac{R_{36}}{R_{35}}$ |
| $l_{32}$  | $R_{19} = 50k\Omega$                     | Khuếch đại bộ lọc tối ưu trạng thái ổn định                                  |
| $l_{41}$  | $R_{39} = R_{40} = 10k\Omega$            | Khuếch đại bộ lọc tối ưu trạng thái ổn định $l_{41} = \frac{R_{40}}{R_{39}}$ |
| $l_{42}$  | $R_{37} = R_{38} = 10k\Omega$            | Khuếch đại bộ lọc tối ưu trạng thái ổn định $l_{42} = \frac{R_{38}}{R_{37}}$ |
| $I_{nt1}$ | $R_1 = 500k\Omega, C_1 = 1\mu F$         | Tích phân 1 tạo vị trí ước lượng viên bi                                     |
| $I_{nt1}$ | $R_4 = 200k\Omega, C_2 = 5\mu F$         | Tích phân 2 tạo vận tốc ước lượng viên bi                                    |
| $I_{nt3}$ | $R_5 = 500k\Omega, C_3 = 1\mu F$         | Tích phân 3 tạo góc ước lượng thanh  |
| $I_{nt4}$ | $R_9 = 25k\Omega, C_4 = 1\mu F$          | Tích phân 4 tạo vận tốc góc ước lượng của thanh                              |
| $y_1$     | $R_{45} = R_{46} = 10k\Omega$            | Tham số mô hình  |
| $y_2$     | $R_{47} = R_{48} = 10k\Omega$            | Tham số mô hình  |

Bảng III : Thông số đối tượng

| <b>Ký hiệu</b> | <b>Thông số</b>   | <b>Ghi chú</b>                             |
|----------------|---|--|
| $a_p$          | $R_2 = R_{13} = 10k\Omega$  | Thông số thiết bị                          |
| $b_p$          | $R_3 = R_{18} = 10k\Omega$  | Thông số thiết bị                          |
| Sum            | $R_8 = 10k\Omega, R_5 = 4,7k\Omega$<br>$R_{20} = 20k\Omega, R_7 = 200k\Omega$ | Khuếch đại tổng                            |
| $I_{nt1}$      | $R_1 = 500k\Omega, C_1 = 1\mu F$  | Khâu tích phân 1 tạo vị trí viên bi        |
| $I_{nt2}$      | $R_{16} = 50k\Omega, C_2 = 1\mu F$  | Khâu tích phân 2 tạo vận tốc viên bi       |
| $I_{nt3}$      | $R_{17} = 500k\Omega, C_3 = 1\mu F$   | Khâu tích phân 3 tạo góc của thanh         |
| $I_{nt4}$      | $R_4 = 25k\Omega, C_4 = 1\mu F$   | Khâu tích phân 4 tạo vận tốc góc của thanh |

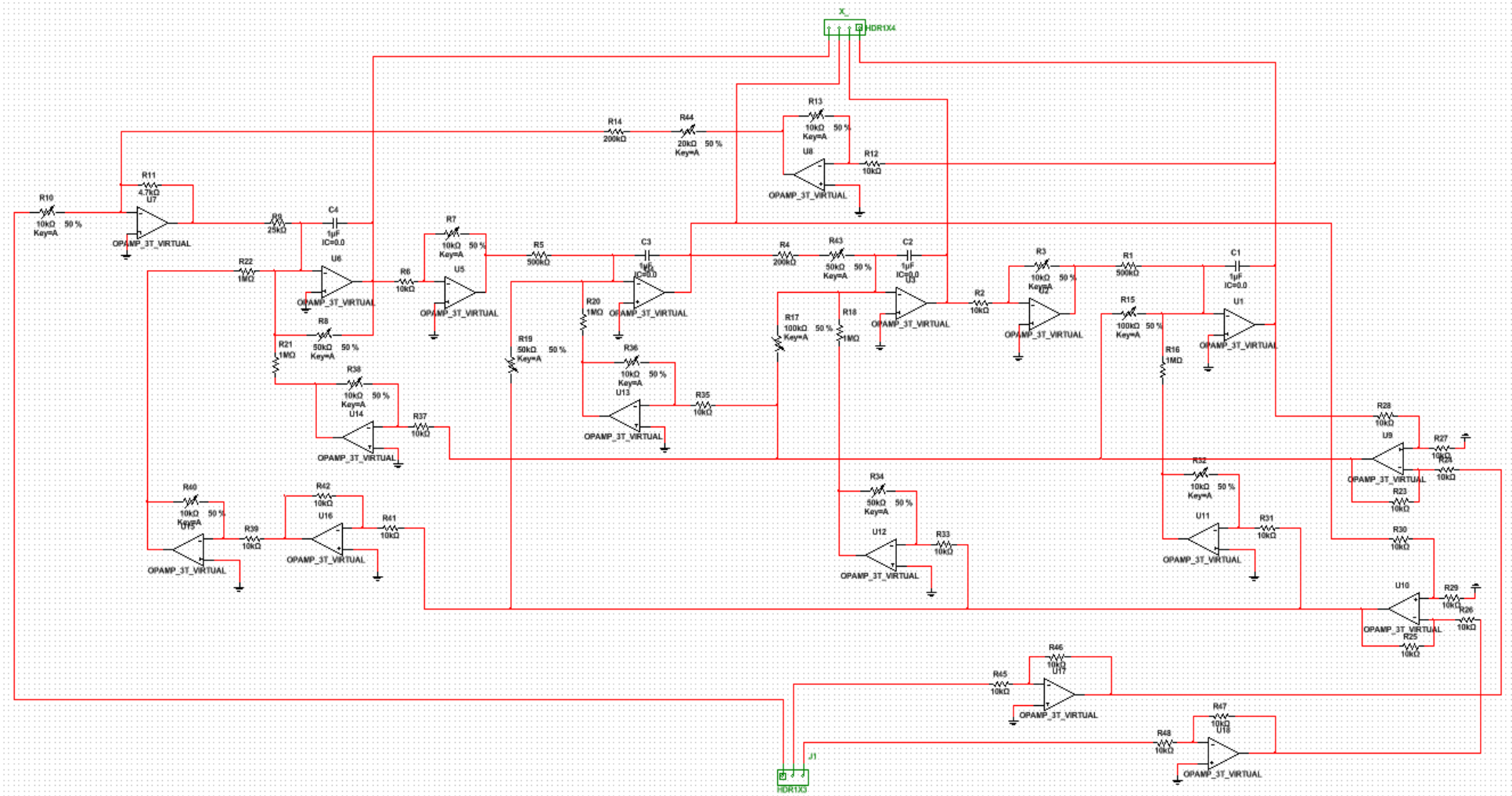


Hình 4.1 : Mô hình đối tượng B&B sử dụng KĐTT



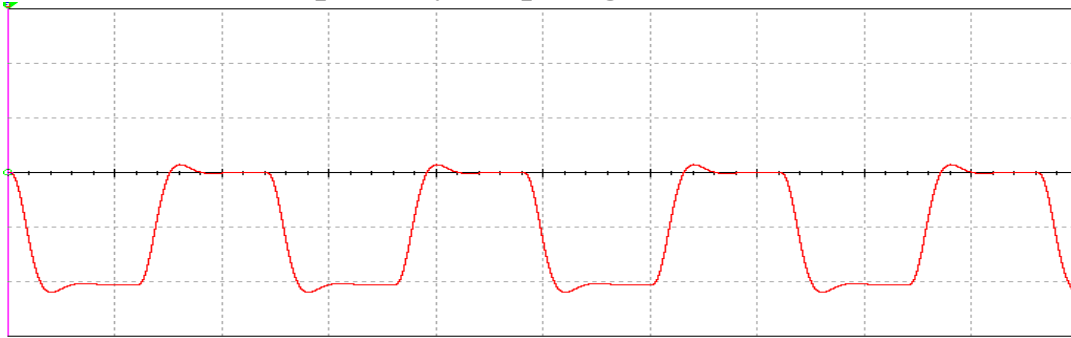
Hình 4.2 : Bộ điều khiển LQR sử dụng KDTT



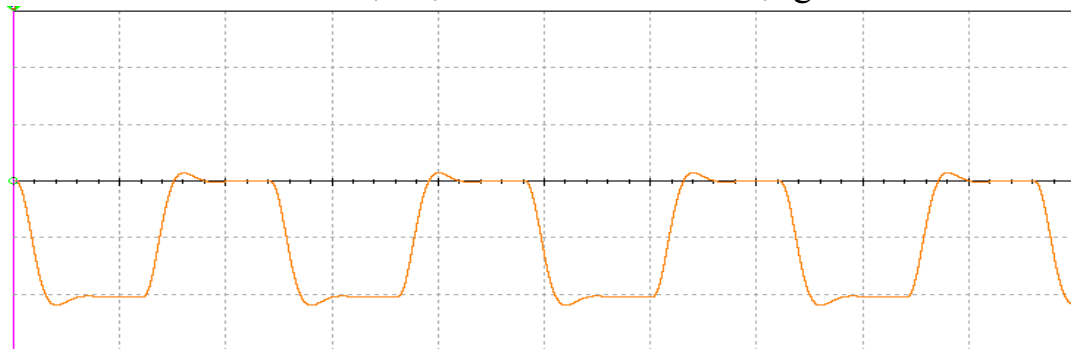


Hình 4.3 : Bộ quan sát LQE sử dụng KĐTT

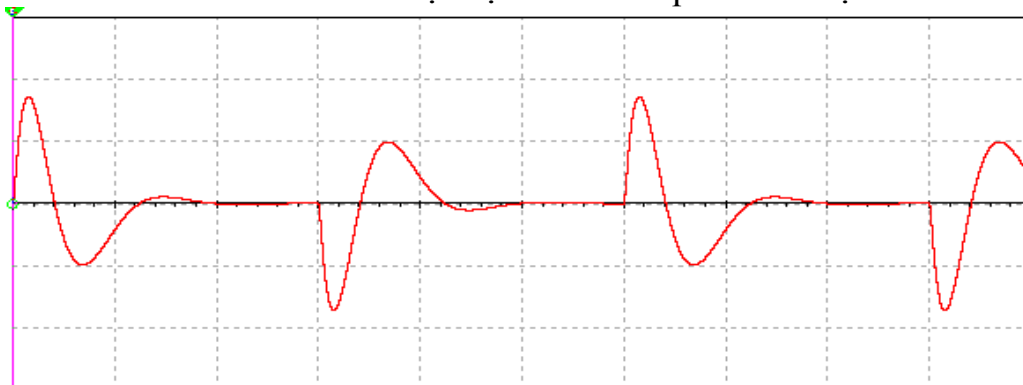
### Kết quả chạy mô phỏng trên Multisim



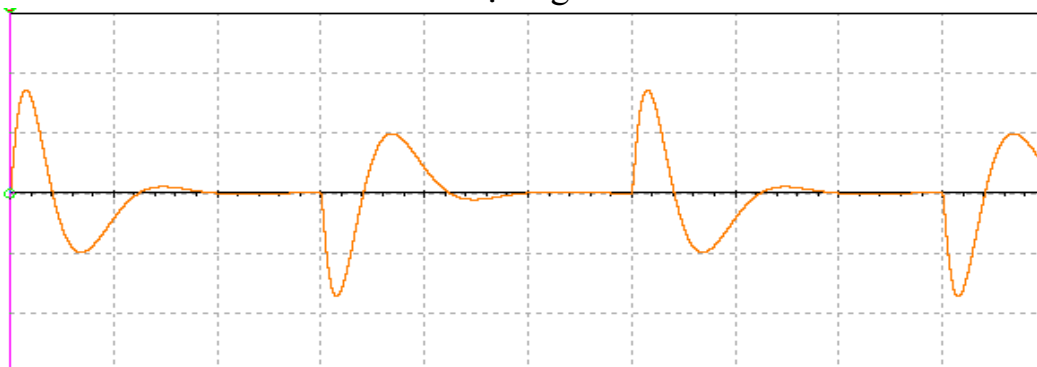
Hình 4.4 : Tín hiệu vị trí viên bi của đối tượng điều khiển



Hình 4.5 : Tín hiệu vị trí viên bi quan sát được



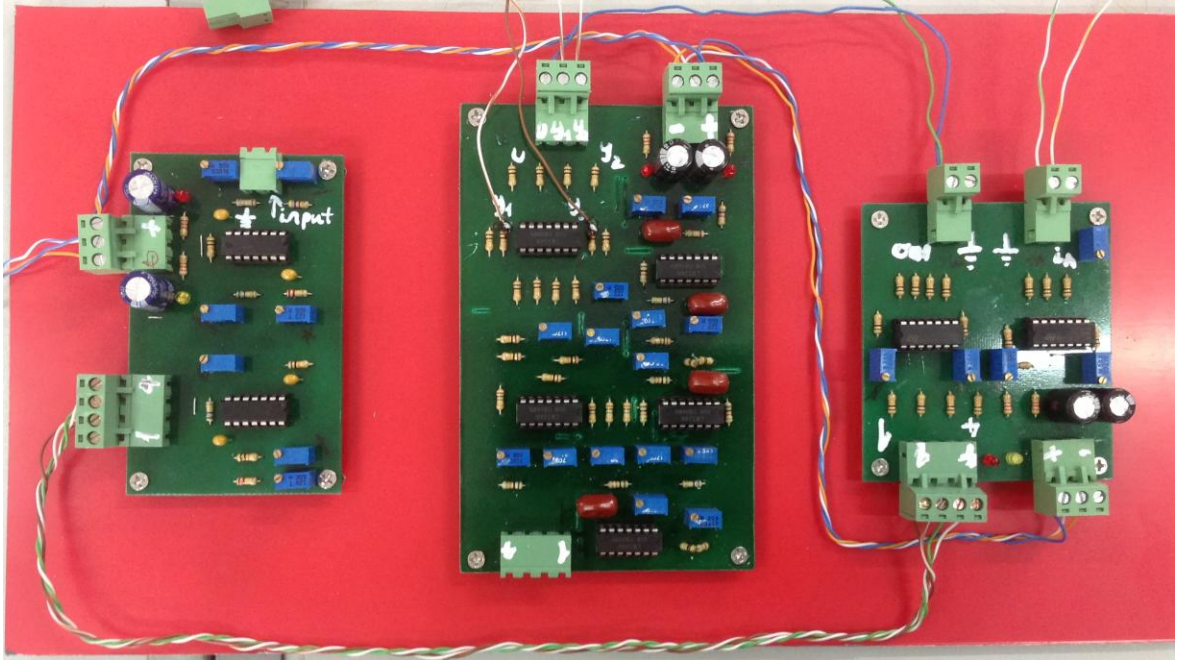
Hình 4.6 : Vị trí góc của thanh



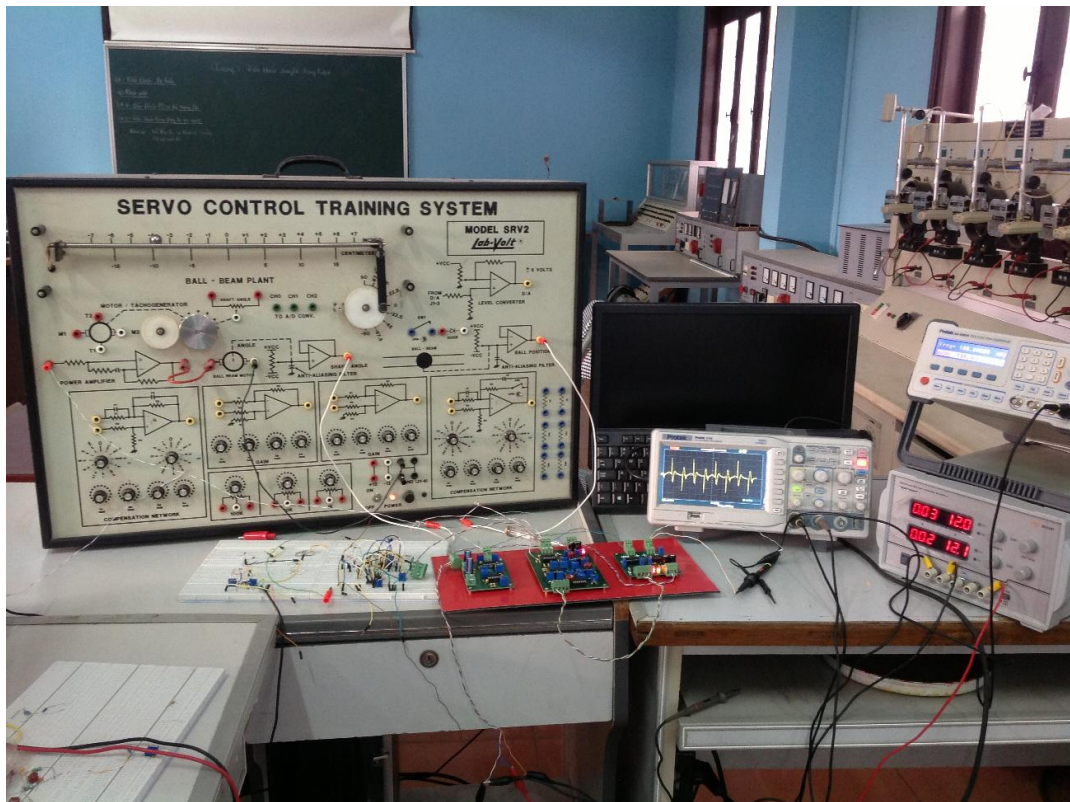
Hình 4.7 : Vị trí góc của thanh quan sát được

#### 4.2 Thiết kế bộ điều khiển LQG sử dụng khuếch đại thuật toán :

Từ các thông số tính toán được ở phần trên và kết quả chạy mô phỏng, tác giả đã thiết kế được mạch điện tử LQG bằng các linh kiện điện tử.



Hình 4.8 : Bộ điều khiển LQG sử dụng KĐTT



Hình 4.9 : Tổng thể thiết kế tại BM đo lường điều khiển trường ĐH KTCN

#### 4.3 Kết quả chạy thực nghiệm :

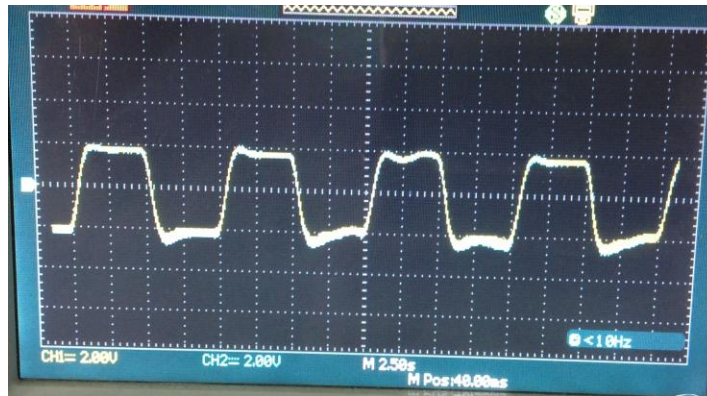
Các công cụ sử dụng trong thực nghiệm :



- Máy tạo xung Protek GD- 005N.
- Máy tạo điện áp nguồn ( $\pm 12V$ ) RPS 305DV
- Máy hiện sóng 2 kênh Protek 5100



Hình 4.10 : Tín hiệu điện áp đặt và vị trí viên bi



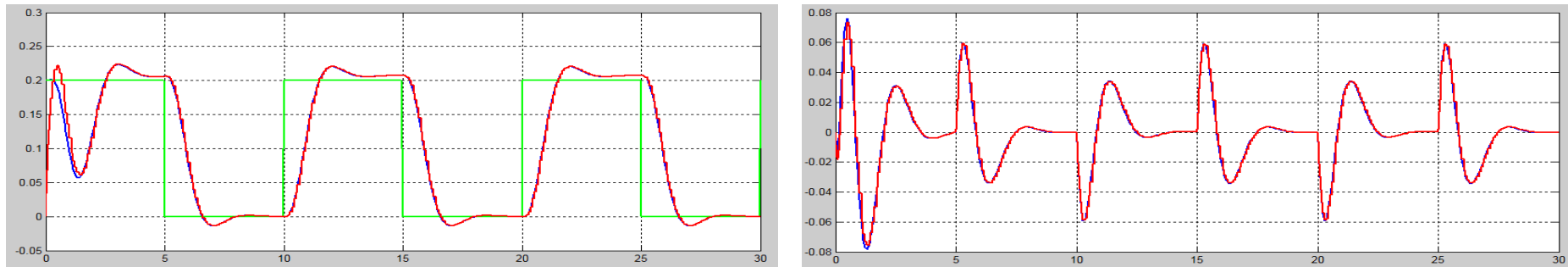
Hình 4.11 : Vị trí viên bi của đối tượng và quan sát được



Hình 4.12 : Vị trí góc quay động cơ

## So sánh chất lượng qua mô phỏng và thực nghiệm

Qua thiết kế trên, tham chiếu đầu vào cùng một kết quả mô phỏng của hệ thống điều khiển trong miền số ( xem hình 4.13 ) và kết quả thực nghiệm trong thiết kế thực cũng có kết quả tương tự ( xem hình 4.14 ). Tín hiệu đầu ra của đối tượng và tín hiệu quan sát được bám nhau, dù có hay không có tác động của nhiễu. Kết quả này chứng tỏ hệ thống được điều khiển tốt, vị trí viên bi luôn bám theo tín hiệu đặt và ổn định



Hình 4.13 : Vị trí viên bi và vị trí góc quay của thanh trên mô phỏng



Hình 4.14 : Vị trí viên bi và vị trí góc quay của thanh trên thực nghiệm

## KẾT LUẬN CHƯƠNG IV

Trong phần này, trước tiên kết quả bộ điều khiển LQG trong miền số là kết quả của sử dụng Matlab Simulink. Tiếp đến mạch điện tử LQG tương tự tương đương được thực hiện và mô phỏng bằng cách sử dụng phần mềm Multisim. Kết quả mô phỏng trong bước này xác nhận chuyển đổi LQG trong miền số sang các mạch điện tử tương đương là đúng hay không? Cuối cùng, thực hiện ghép mạch điện tử LQG tương tự và kiểm tra trong thiết lập thực tế.

Tác giả giải quyết vấn đề liên quan đến việc kiểm soát độ chính xác của động cơ một chiều mà đòi hỏi các nhu cầu của truyền động cơ khí từ quay đến chuyển động tuyến tính. Để hiển thị thực hiện các kết quả hệ thống điều khiển, các giá trị của các tham chiếu đầu vào được cố định cho tất cả các mô phỏng và kiểm tra :

Như chúng ta mong đợi, tham chiếu đầu vào cùng một kết quả mô phỏng của hệ thống điều khiển trong miền số ( xem hình 3.8 ), cũng chung kết quả trong mạch điện tử tương tự tương ứng ( xem hình 4.5, 4.6 ), và kết quả thực nghiệm trong thiết kế thực cũng có kết quả tương tự ( xem hình 4.11 ). Tín hiệu đầu ra của đối tượng và tín hiệu quan sát được bám nhau, dù có hay không có tác động của nhiễu.

## KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

- Trong Chương I và chương II, tác giả đã xây dựng được mô hình toán và cơ sở lý thuyết điều khiển cho hệ thống Ball&Beam

- Trong Chương III, tác giả đã tiến hành mô phỏng trong Matlab/Simulink và nhận được các kết quả rất khả quan về tính đúng đắn của lý thuyết.

- Trong Chương IV, tác giả đã xây dựng được mạch khuếch đại thuật toán dựa trên phần mềm Multisim 13.0 và chạy mô phỏng trên mạch đối tượng tương đối tốt. Tiếp đó, tôi thiết kế mạch thực cho hệ thống và áp dụng điều khiển vào mô hình B&B, các kết quả nhận được một lần nữa cho thấy hệ thống được điều khiển rất tốt.

Qua các phần trên, tác giả nhận thấy, tuy kết quả điều khiển chính xác Ball&Beam được thực hiện tốt, tuy nhiên tác giả mong muốn trong thời gian tới sẽ nghiên cứu các phương pháp điều khiển mới như: Kết hợp LQG và LFFC, mạng Nơron và LFFC ... để điều khiển đối tượng. Mặt khác, tác giả sẽ phát triển hệ thống điều khiển theo 2 phương X, và Y.