

## **LỜI CAM ĐOAN**

Tên tôi là: **Phạm Huy Cường**

Sinh ngày 14 tháng 3 năm 1980

Học viên lớp cao học khoá 15 CHTĐH - Trường đại học Kỹ thuật Công nghiệp Thái Nguyên.

Hiện đang công tác tại : Công ty Nhiệt Điện Cao Ngạn Thái Nguyên

Xin cam đoan luận văn “**Thiết kế, chế tạo bộ điều khiển tuyến tính toàn phương Gaussian sử dụng khuếch đại thuật toán cho hệ thống điều khiển chuyển động**” do thầy giáo **TS. Nguyễn Duy Cường** hướng dẫn là công trình nghiên cứu của riêng tôi. Tất cả các tài liệu tham khảo đều có nguồn gốc, xuất xứ rõ ràng.

Tôi xin cam đoan tất cả những nội dung trong luận văn đúng như nội dung trong đề cương và yêu cầu của thầy giáo hướng dẫn. Nếu có vấn đề gì trong nội dung của luận văn, tôi xin hoàn toàn chịu trách nhiệm với lời cam đoan của mình.

*Thái Nguyên, ngày      tháng      năm 2014*

**Học viên**

**Phạm Huy Cường**

## LỜI CẢM ƠN

Sau thời gian nghiên cứu, làm việc khẩn trương và được sự hướng dẫn tận tình giúp đỡ của thầy giáo **TS. Nguyễn Duy Cường**, luận văn với đề tài “**Thiết kế, chế tạo bộ điều khiển tuyến tính toàn phương Gaussian sử dụng khuếch đại thuật toán cho hệ thống điều khiển chuyển động**” đã được hoàn thành.

Tôi xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc tới:

Thầy giáo hướng dẫn **TS. Nguyễn Duy Cường** đã tận tình chỉ dẫn, giúp đỡ tôi hoàn thành luận văn.

Các thầy cô giáo Trường Đại học kỹ thuật công nghiệp Thái Nguyên đã quan tâm động viên, giúp đỡ tôi trong suốt quá trình học tập để hoàn thành luận văn này.

Mặc dù đã cố gắng hết sức, song do điều kiện thời gian và kinh nghiệm thực tế của bản thân còn ít, cho nên đề tài không thể tránh khỏi thiếu sót. Vì vậy, tôi mong nhận được sự đóng góp ý kiến của các thầy giáo, cô giáo và các bạn bè đồng nghiệp.

Tôi xin chân thành cảm ơn!

*Thái Nguyên, ngày....tháng....năm 2014*

**Học viên**

**Phạm Huy Cường**

## MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN .....	i
LỜI CẢM ƠN .....	ii
MỤC LỤC .....	iii
DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT .....	v
DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ .....	vi
LỜI NÓI ĐẦU .....	1
CHƯƠNG I : GIỚI THIỆU – XÂY DỰNG MÔ HÌNH TOÁN HỆ THỐNG BALL&BEAM.....	4
1.1 Mô tả hệ thống “ Ball & Beam “ .....	4
1.1.1 Đặt vấn đề .....	4
1.1.2 Một số các nghiên cứu về B&B .....	6
1.1.3 Bộ thí nghiệm SERVO CONTROL TRAINING SYSTEM <i>MODEL</i> <i>SRV2</i> .....	11
1.1.4 Sơ đồ kết nối giữa máy tính và mô hình hệ thống B&B .....	13
1.1.5 Các yếu tố ảnh hưởng đến hệ thống Ball & Beam.....	15
1.2 Xây dựng mô hình toán học của hệ thống.....	16
1.3 Tuyến tính hóa B&B xung quanh điểm làm việc.....	18
1.4 Xác định các thông số của hệ thống .....	21
1.4.1 Mô hình toán động cơ 1 chiều .....	21
1.4.2 Xác định điện trở phần ứng $R_a$ .....	22
1.4.3 Xác định hằng số $K_b$ .....	22
1.4.4 Xác định $J_m$ qua tính toán .....	23
1.5 Mô hình hệ thống trên Matlab Simulink .....	26
1.6 Động lực cho việc sử dụng điều khiển LQG .....	26
1.7 Nhiệm vụ của tác giả.....	26
1.8 Mong muốn đạt được.....	27
Kết luận chương I.....	27
CHƯƠNG II : TỔNG QUAN VỀ LQG.....	28

2.1 Lý thuyết LQG.....	28
2.1.1 Lý thuyết LQR .....	28
2.1.2 Bộ quan sát LQE (Linear Quadratic Estimator) (Bộ lọc Kalman)...	30
Lý thuyết Bộ quan sát trạng thái Kalman ( lọc Kalman ).....	32
a/ Mục đích bộ quan sát .....	32
b/ Thiết kế bộ quan sát .....	34
2.1.3 LQG.....	36
2.2 Nhận xét .....	37
CHƯƠNG III : THIẾT KẾ VÀ MÔ PHỎNG BỘ ĐIỀU KHIỂN LQG.....	39
3.1 Cấu trúc hệ thống với bộ điều khiển LQG điều khiển ổn định vị trí của viên bi trên thanh thẳng .....	39
3.2 Tính toán thông số .....	39
3.2.1 LQR .....	39
3.2.2 LQE .....	41
3.3 Mô phỏng .....	43
Kết luận chương III .....	48
CHƯƠNG IV : THIẾT KẾ MẠCH KHUẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN – KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM .....	49
4.1 Tính toán thông số và thiết kế mạch khuếch đại thuật toán.....	49
4.2 Thiết kế bộ điều khiển LQG sử dụng khuếch đại thuật toán .....	57
4.3 Kết quả thực nghiệm .....	59
Kết luận chương IV .....	63
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ .....	64
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	65

**DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT**

<b>Từ viết tắt</b>	<b>Tên tiếng anh</b>	<b>Tên tiếng việt</b>
<b>LQR</b>	Linear Quadratic Regulator	Bộ điều khiển toàn phương tuyến tính
<b>LQE</b>	Linear Quadratic Estimator	Bộ ước lượng toàn phương tuyến tính (Bộ quan sát)
<b>LQG</b>	Linear Quadratic Gaussian	Bộ điều khiển tuyến tính toàn phương Gaussian
<b>KĐTT</b>		Khuếch đại thuật toán
<b>B&amp;B</b>	Ball and Beam	Bóng và thanh
<b>STR</b>	Self Tuning Regulator	Bộ điều khiển tự chỉnh
<b>SVF</b>	State Variable Filters	Bộ lọc biến trạng thái
<b>AC</b>	Alternating Current	Dòng điện xoay chiều
<b>DC</b>	Direct Current	Dòng điện một chiều
<b>AD</b>	Analog to digital	Bộ biến đổi tương tự - số
<b>KTĐK</b>		Kỹ thuật điều khiển
<b>TĐH</b>		Tự động hóa

**DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ**

Hình 1.1 : Mô hình Ball beam dạng 1.....	5
Hình 1.2 : Mô hình Ball beam dạng 2 .....	5
Hình 1.3 : Mô hình Ball Beam tại trường ĐHKT Hong kong .....	6
Hình 1.4 : Mô hình Ball Beam tại công ty Megachem .....	8
Hình 1.5 : Mô hình Ball Beam ĐH Bắc Florida.....	8
Hình 1.6 : Mô hình Ball Beam ĐHKT Australia .....	9
Hình 1.7 : Wedcam on board ĐHKT Australia .....	10
Hình 1.8 : Hình ảnh bộ thí nghiệm .....	11
Hình 1.9 : Sơ đồ cấu trúc hệ thống.....	13
Hình 1.9.1 : Sơ đồ đấu nối dây của hệ thống B&B .....	14
Hình 1.10 : Nhiễu quá trình và nhiễu đo lường .....	15
Hình 1.11 : Mô tả toán học B&B .....	16
Hình 1.12 : Sơ đồ cấu trúc động cơ điện một chiều .....	21
Hình 1.13: Mô hình tuyến tính của đối tượng Ball&Beam .....	26
Hình 2.1: Nguyên tắc phản hồi trạng thái .....	28
Hình 2.2: Bộ lọc biến trạng thái bậc hai liên tục theo thời gian .....	29
Hình 2.3: Phản hồi trạng thái chính xác của quá trình đạt được bằng sử dụng các bộ lọc biến trạng thái (SVFs) .....	30
Hình 2.4: Trễ pha giữa tín hiệu vào và ra của SVF .....	30
Hình 2.5: Nguyên lý của bộ quan sát LQE.....	31
Hình 2.6 : Nhiệm vụ của bài toán thiết kế bộ quan sát trạng thái.....	33
Hình 2.7: Cấu trúc của bộ điều khiển LQG.....	37
Hình 3.1 : $LQG = LQR + LQE$ .....	39
Hình 3.2 : Khối LQR trong mô phỏng Matlab Simulink.....	43
Hình 3.3: Vị trí viên bi.....	44
Hình 3.4 : Vận tốc viên bi.....	44
Hình 3.5 : Góc quay của thanh.....	44

Hình 3.6 : Vận tốc góc của thanh.....	44
Hình 3.7 : Cấu trúc LQR mô phỏng thực hiện trong Matlab .....	45
Hình 3.8 : Vị trí viên bi .....	46
Hình 3.9 : Vận tốc góc của thanh .....	46
Hình 3.10 : Vị trí viên bi khi có nhiễu .....	47
Hình 3.11 : Vận tốc góc khi có nhiễu .....	47
Hình 4.1 : Mô hình đối tượng B&B sử dụng KĐTT .....	53
Hình 4.2 : Bộ điều khiển LQR sử dụng KĐTT .....	54
Hình 4.3 : Bộ quan sát LQE sử dụng KĐTT .....	55
Hình 4.4 : Tín hiệu vị trí viên bi của đối tượng điều khiển .....	56
Hình 4.5 : Tín hiệu vị trí viên bi quan sát được .....	56
Hình 4.6 : Vị trí góc của thanh.....	56
Hình 4.7 : Vị trí góc của thanh quan sát được.....	56
Hình 4.8 : Mô hình đối tượng sử dụng KĐTT.....	57
Hình 4.9 : Bộ quan sát LQE sử dụng KĐTT.....	57
Hình 4.10 : Bộ điều khiển LQR sử dụng KĐTT.....	58
Hình 4.11 : Bộ điều khiển LQG sử dụng KĐTT.....	58
Hình 4.12 : Tổng thể thiết kế khi áp dụng vào đối tượng .....	59
Hình 4.13 : Tín hiệu điện áp đặt và vị trí viên bi .....	59
Hình 4.14 : Vị trí viên bi của đối tượng và quan sát được .....	60
Hình 4.15 : Vị trí góc quay của thanh.....	60
Hình 4.16 : Tín hiệu điện áp đặt và vị trí viên bi.....	60
Hình 4.17 : Vị trí viên bi của đối tượng và quan sát được .....	61
Hình 4.18 : Vị trí góc quay động cơ.....	61
Hình 4.19 : Vận tốc viên bi .....	61
Hình 4.20 : Vận tốc góc của thanh.....	62

## LỜI NÓI ĐẦU

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 kinh điển, điều khiển hiện đại, 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, PID thích nghi, LFFC (Learning Feed –Forward Control) và LQG (Linear Quadratic Gaussian)... Điều khiển chuyển động (Motion Control) liên quan việc sử dụng di chuyển của đối tượng điều khiển trong một hệ thống cơ và được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng công nghiệp như đóng gói, in , dệt, hàn ..cũng như nhiều ứng dụng khác. Hiện nay, phần lớn các loại hình điều khiển chuyển động được thực hiện bằng cách sử dụng các động cơ điện, và đây chính là điều quan tâm chính của chúng tôi trong thiết kế. Các hệ điều khiển chuyển động có thể là phức tạp vì có nhiều vấn đề khác nhau cần được xem xét, ví dụ như :

- Giảm thiểu ảnh hưởng của nhiễu hệ thống .
- Suy yếu tác động xấu của nhiễu đo.
- Sự thay đổi thông số và cấu trúc không rõ của đối tượng điều khiển.

Rất khó để tìm ra các phương pháp thiết kế mà có thể giải quyết đồng thời tất cả các vấn đề nêu trên, đặc biệt đối với các phương pháp điều khiển truyền thống mà ở đó các thiết kế điều khiển liên quan tới sự thương thảo giữa các mục tiêu mang tính đối ngược. Để khắc phục khó khăn đã nêu, cũng như giải quyết các vấn đề như điều khiển vị trí, điều khiển vận tốc, điều khiển mức... thì điều khiển LQG là một trong các lựa chọn tốt.

Trong hệ thống điều khiển tương tự, các bộ điều khiển sử dụng thiết bị liên tục và những mạch điện. Trong hệ thống điều khiển số, các bộ điều khiển sử dụng thiết bị số và các mạch điện. Lựa chọn giữa hệ thống điều khiển tương tự và điều



hiển số phụ thuộc vào các ứng dụng, điều kiện yêu cầu cụ thể. Lợi thế quan trọng của hệ thống điều khiển tương tự vượt hơn điều khiển số là ở bên trong hệ thống điều khiển tương tự, bất kỳ sự thay đổi trong cả tín hiệu đặt hoặc rối loạn hệ thống ngay lập tức cảm nhận được, và các bộ điều khiển điều chỉnh đầu ra sao cho phù hợp [13]. Tuy nhiên, các bộ điều khiển tương tự được đề nghị sử dụng trong các hệ thống không phức tạp. Trong thực tế, hầu hết các hệ thống điều khiển tương tự đã dùng các mạch khuếch đại thuật toán như là các khối cơ bản.

Mạch khuếch đại thuật toán có những ứng dụng trải rộng trong rất nhiều các thiết bị điện tử hiện nay từ các thiết bị điện tử dân dụng, công nghiệp và nghiên cứu khoa học. Mạch KĐTT thường được gọi tắt là OP-AMP là 1 mạch khuếch đại “ DC couple “ với hệ số khuếch đại rất cao, có đầu vào vi sai và thông thường đầu có đầu ra đơn [2]. Những thiết bị khuếch đại sử dụng mạch KĐTT cung cấp rất nhiều lợi ích cho người thiết kế. Những thuật toán như cộng, trừ, nghịch đảo, vi phân, tích phân... sẽ được sử dụng trong mạch KĐTT [2]. Thực tế, rất nhiều hệ thống điều khiển liên tiếp có thể có cấu trúc sử dụng KĐTT. Các mạch điện tử sử dụng KĐTT có thể được sử dụng cho hầu hết các hệ thống vật lý cũng như mô phỏng điện tử tương tự đã được sử dụng có hiệu quả trong nghiên cứu và phát triển hệ thống điện- cơ.

Đề tài “**Thiết kế, chế tạo bộ điều khiển tuyến tính toàn phương Gaussian sử dụng khuếch đại thuật toán cho hệ thống điều khiển chuyển động**” với đối tượng được lựa chọn là hệ thống Ball and Beam (Bóng và thanh), điều khiển chính xác vị trí đặt của quả bóng (ball) trên thanh (beam) với các bộ điều khiển LQG sử dụng mạch khuếch đại thuật toán là cầu nối giữa lý thuyết điều khiển và hệ thống thực. Đây là một đề tài kết hợp giữa kỹ thuật thu thập tín hiệu và các bộ điều khiển vòng kín nhằm tạo ra một hệ thống có tính tự động hóa.

Luận văn tập trung nghiên cứu thuật toán LQG và thiết kế chế tạo bộ điều khiển LQG sử dụng mạch khuếch đại thuật toán ổn định vị trí của viên bi trên thanh thẳng.

Phương pháp nghiên cứu của đề tài như sau:

- Nghiên cứu lý thuyết và xây dựng mô hình toán của hệ viên bi trên thanh thẳng, thiết kế, chế tạo bộ điều khiển sử dụng mạch khuếch đại thuật toán.

- Kiểm chứng kết quả thiết kế thông qua mô phỏng bằng phần mềm Matlab Simulink và thực nghiệm trên mô hình thực

Luận văn bao gồm các phần chính như sau:

*Chương I: Giới thiệu- Xây dựng mô hình toán hệ thống “ Ball and Beam*

*Chương II: Tổng quan về điều khiển LQG*

*Chương III: Thiết kế và mô phỏng bộ điều khiển LQG*

*Chương IV: Thiết kế bộ điều khiển sử dụng khuếch đại thuật toán – Thực nghiệm*

# CHƯƠNG I

## GIỚI THIỆU – XÂY DỰNG MÔ HÌNH TOÁN

### HỆ THỐNG BALL&BAEM

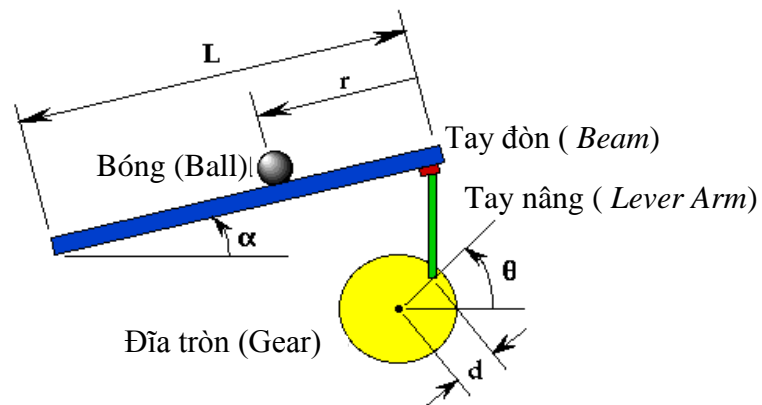
#### 1.1 Mô tả hệ thống “Ball and Beam”

##### 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).

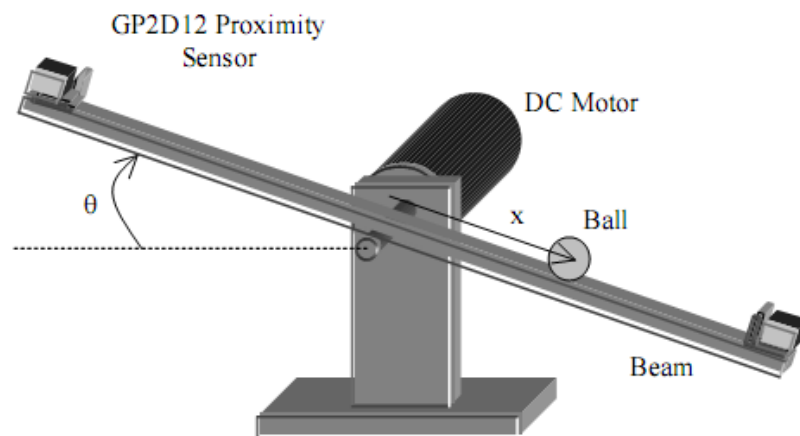
Điều khiển vị trí của bóng trên thanh bằng cách thay đổi góc nghiêng của thanh so với phương ngang bằng một động cơ. Cảm biến xác định vị trí quả bóng, dùng cảm biến khoảng cách, cảm biến độ dịch chuyển .Cảm biến xác định góc nghiêng của thanh có thể sử dụng cảm biến góc nghiêng, hoặc encoder. Có hai 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.

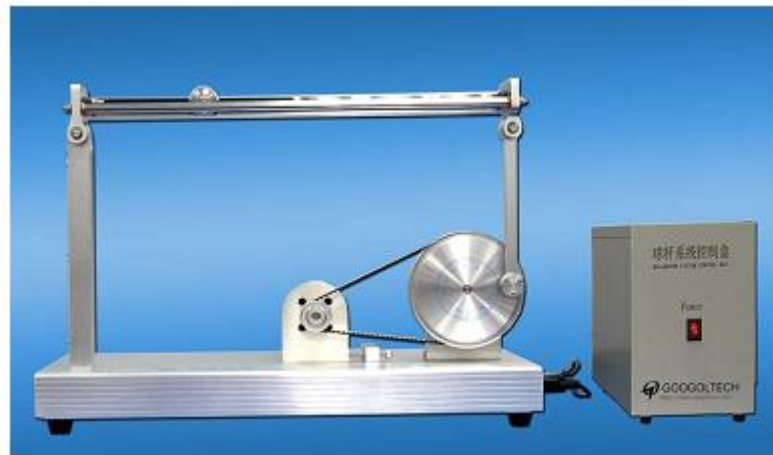
*Nguyên lý hoạt động chung:*

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.

### 1.1.2. Một số các nghiên cứu về B&B

#### Trường đại học kỹ thuật Hong kong.

Năm 2006, mô hình ‘ball and beam’ thuộc đề tài luận văn của sinh viên Wei Wang thực hiện, đã đưa vào làm mô hình thí nghiệm trong trường.



Hình 1.3 : Mô hình Ball Beam tại trường ĐHKT Hong kong

Với cơ cấu truyền động gián tiếp qua dây của roa và tay nâng. Ưu điểm của hệ thống là tránh được sự ảnh hưởng của động cơ khi động cơ quay nhanh và đảo chiều liên tục.

Dây chuyên động qua đĩa quay có bán kính lớn, làm hệ thống đáp ứng nâng cao, hạ thấp tay nâng nhanh chóng.

Nhược điểm của hệ thống: Thanh nằm ngang, cánh tay nâng và đĩa quay tương đối nặng, do đó khi đưa ra tín hiệu điều khiển động cơ cần phải tính mô men

quay của động cơ khi có tải nặng. Hệ thống chịu ảnh hưởng nhiều về độ chính xác của quá trình lắp ráp cơ khí.

Phương pháp xác định vị trí của quả bóng là dùng cảm biến từ. Một cuộn dây dài nằm dọc phía dưới thanh ‘beam’, cấp nguồn điện AC 12V vào cuộn dây, khi ball ( bằng kim loại) lăn trên bề mặt cuộn dây, dòng điện cảm ứng sinh ra và biến thiên, từ đó xác định được tỷ lệ khoảng cách.

Phương pháp xác định vị trí này dễ bị nhiễu khi có vật kim loại đặt gần thanh ‘beam’, và tính toán dòng điện biến thiên khá phức tạp.

### **Công ty Megachem.**

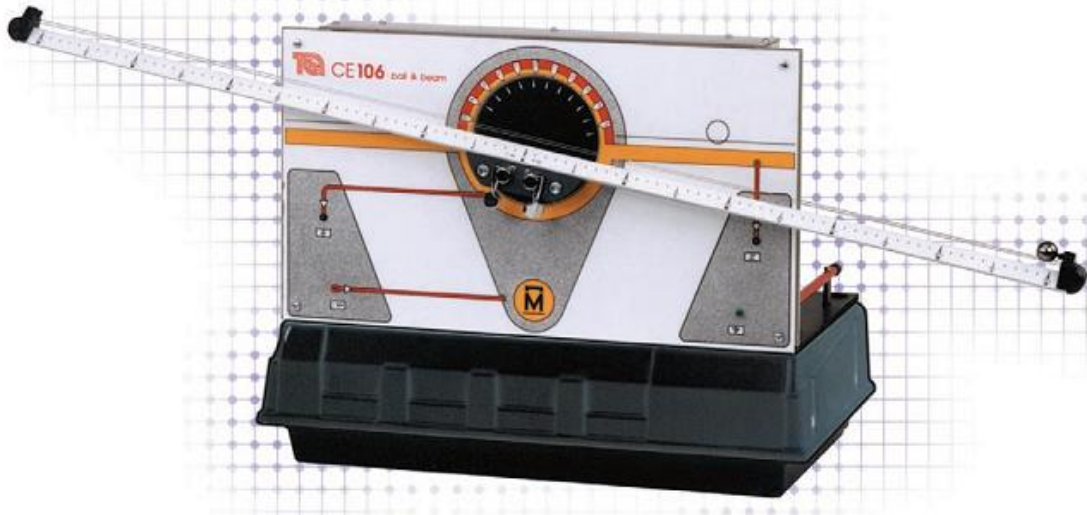
Công ty Megachem là một công ty chuyên sản xuất các thiết bị dành trong học tập. Đặc biệt chuyên về các mô hình trong lĩnh vực điều khiển hệ thống. Công ty Megachem đã có nhiều sản phẩm như: mô hình điều khiển cánh tay rô bốt 3 tới 5 bậc tự do, mô hình điều khiển hệ thống con lắc ngược, mô hình điều khiển mức, và một số mô hình điều khiển băng tải, ...

Tháng 11 năm 2005, công ty Megachem đã giới thiệu mô hình hệ thống ‘ball and beam’. Mô hình có thanh ‘beam’ dài tới 1m. động cơ gắn trực tiếp tại trung tâm của thanh ‘beam’. Phương pháp xác định vị trí quả bóng là dùng hai cảm biến siêu âm họ SRF05.

Ưu điểm của hệ thống: Thiết kế cơ khí đơn giản hơn, giảm bớt tải trên trục động cơ. Động cơ có thể đáp ứng nhanh. Xác định vị trí của quả bóng chính xác hơn do dùng cảm biến siêu âm có chùm tia hẹp, và khả năng công suất thu phát xa.

Nhược điểm của hệ thống: Khi động cơ quay nhanh và đảo chiều liên tục, làm rung hệ thống, dễ ảnh hưởng tới góc quay của cảm biến góc (encoder) và giá thành cao.

Hiện nay cặp cảm biến siêu âm SRF khoảng cách nhỏ hơn 3m có giá 80 USD. Và giá bán của mô hình ‘ball and beam’ này là 400 USD.



Hình 1.4 : Mô hình Ball Beam tại công ty *Megachem*.

### Trường đại học Phía Bắc Florida

Tháng 7 năm 2007. Đề tài luận văn của hai sinh viên Ms Ming Gao và Mr Sani-Hasim.



Hình 1.5 : Mô hình Ball Beam ĐH Bắc Florida

Trong hệ thống ‘ball and beam’ này. Động cơ gắn dưới đế, truyền động gián tiếp qua tay nâng. Thanh ‘beam’ chuyển động quay quanh trục giữa.

Phương pháp xác định vị trí quả bóng dùng cảm biến siêu âm. Nhưng hai cảm biến siêu âm này không phải là do một cặp thu và phát, cả hai cảm biến đều là loại phát, hoạt động độc lập với nhau.

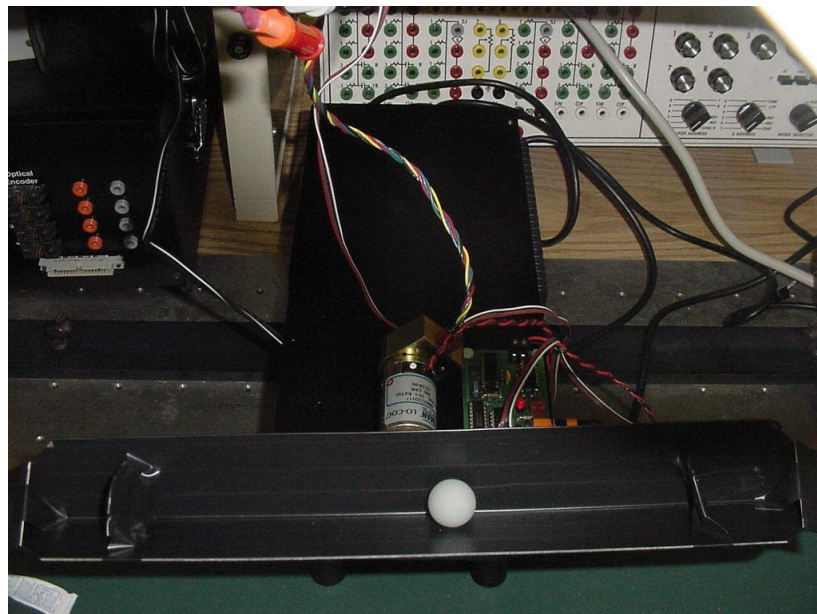
Ưu điểm của phương pháp này: Tính toán vị trí quả bóng chính xác, tính trung bình của hai cảm biến. Trong trường hợp bị mất tín hiệu của một trong hai cảm biến thì vẫn có thể xác định được vị trí quả bóng.

### **Trường đại học kỹ thuật Australia.**

Tháng 5 năm 2008, nhóm sinh viên của trường đại học kỹ thuật Australia đã áp dụng kỹ thuật xử lý ảnh vào trong mô hình “ball and beam”.

Trong mô hình “ball and beam” này, thanh “beam” là một máng rộng, hình chữ “V”, máng có độ dài 50 cm và được phủ màu đen.

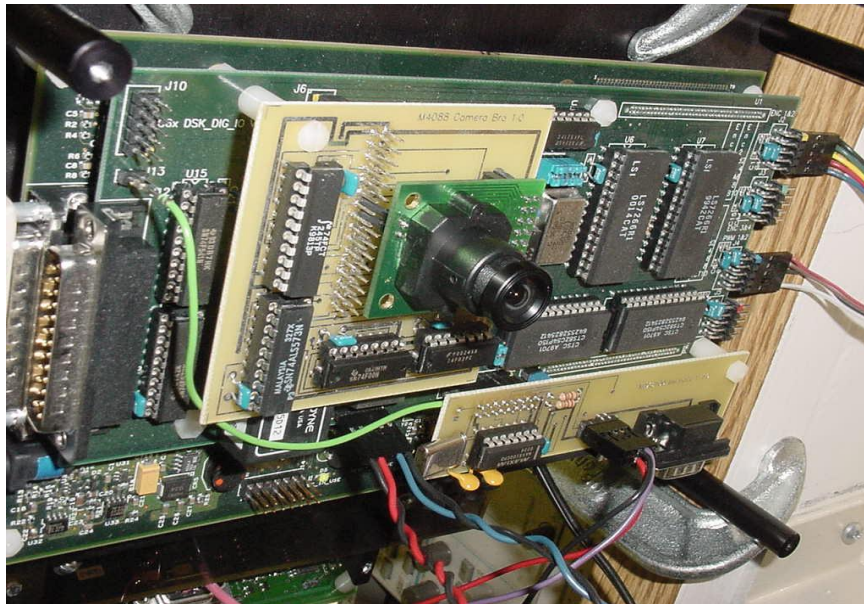
Quả bóng ‘ball’ là một viên bi nhựa màu trắng, đường kính 30 mm. Trục động cơ được gắn trực tiếp vào điểm giữa của máng.



*Hình 1.6 : Mô hình Ball Beam ĐHKT Australia*

Phương pháp xác định vị trí quả bóng không dùng các loại cảm biến, mà áp dụng kỹ thuật xử lý ảnh. Một camera thuộc loại ‘webcam on board’, tức là camera gắn trực tiếp trên bo mạch điều khiển.





Hình 1.7 : Webcam on board ĐHKT Australia

Camera được gắn trên cao, độ cao thích hợp sao cho vùng chụp của camera đủ chiều dài của thanh “beam”.

Ưu điểm của phương pháp này:

- Thiết kế cơ khí đơn giản.
- Không bị nhiễu điện trong quá trình đọc vị trí.
- Mang tính tự động hóa và tính linh hoạt cao.

**Tuy nhiên:**

Mạch điều khiển phức tạp.

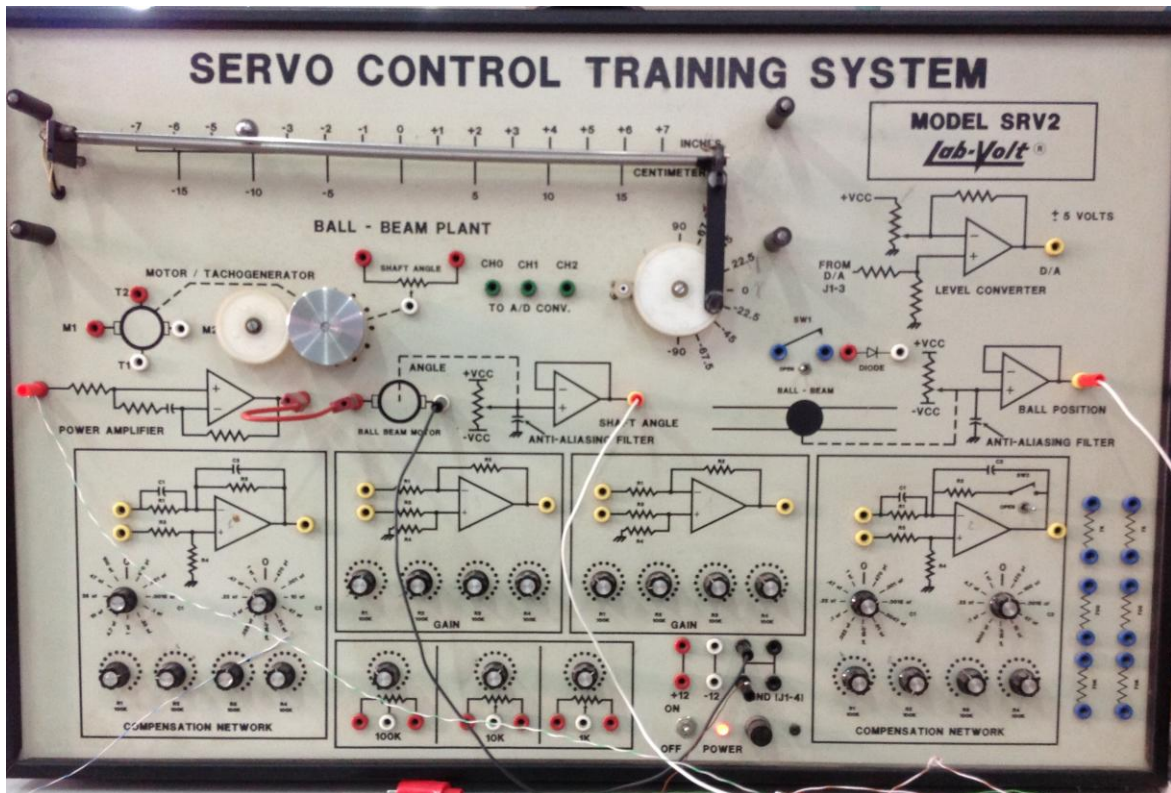
Độ nhạy và độ chính xác của camera phụ thuộc nhiều vào ánh sáng môi trường làm việc.

Độ dài của thanh “beam” phải giới hạn trong phạm vi chụp của camera.

Màu sắc của quả bóng phải là màu trắng hơn rất nhiều so với màu của máng và màu nền trong mô hình.

Tốc độ xử lý ảnh để lấy vị trí chậm hơn so với các phương pháp dùng cảm biến.

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



Hình 1.8 : Hình ảnh bộ thí nghiệm

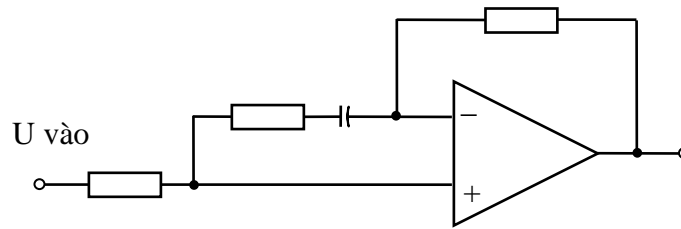
Tình trạng bộ thí nghiệm: Đây là bộ thí nghiệm điều khiển động cơ servo của hãng *Lab\_Volt* nhưng thông tin về sản phẩm, phần mềm điều khiển cũng như máy tính chuyên dụng đều không còn nữa. Mặt khác các linh kiện đã lâu năm nên một số đã không còn chính xác nữa. Đây cũng là một khó khăn nhỏ trong việc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

Các khối sử dụng cho việc kết nối và điều khiển.

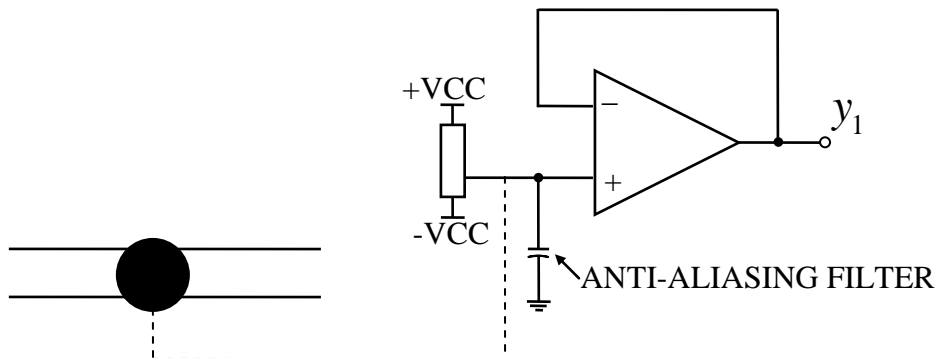
**\* Khối POWER AMPLIFIER**

Có nhiệm vụ khuếch đại công suất đưa vào động cơ



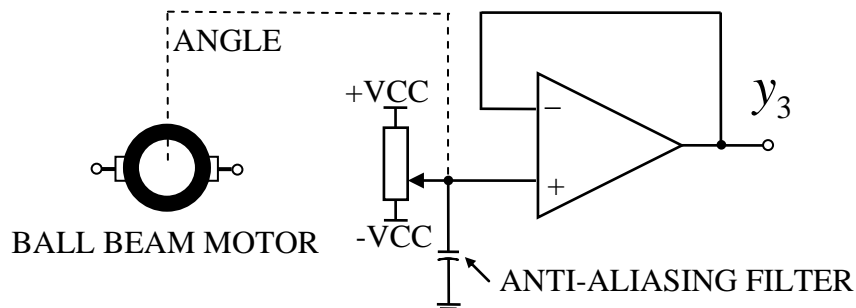
**\* Khối BALL POSITION**

Đưa về tín hiệu phản hồi xác định vị trí của viên bi trên thanh, dạng tín hiệu là điện áp ( từ -5 ÷ +5(V))



**\* Khối SHAFT ANGLE**

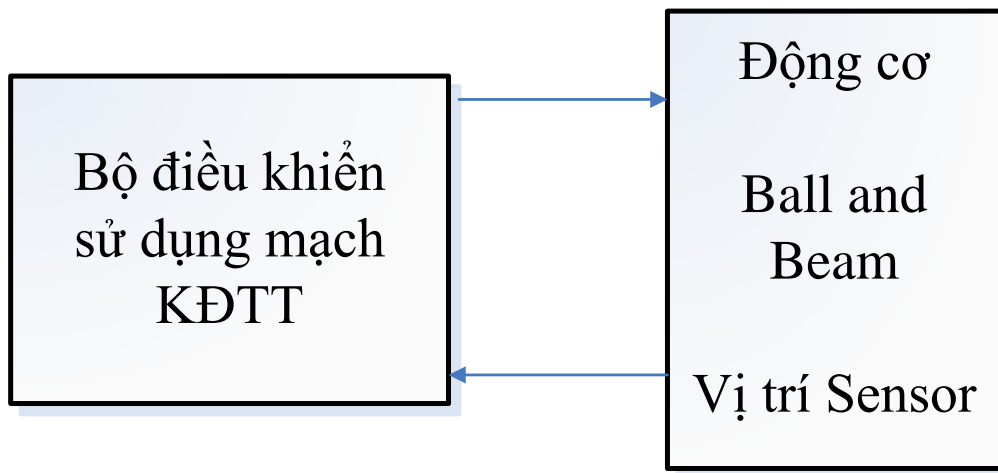
Đưa tín hiệu phản hồi xác định góc quay của cơ cấu nâng hạ cánh tay đòn, dạng tín hiệu là điện áp (-5 ÷ +5(V))



Nhiệm vụ của luận văn là ổn định vị trí viên trên thanh thẳng. Sử dụng phương pháp điều khiển phản hồi trạng thái kết hợp với bộ quan sát ước lượng.

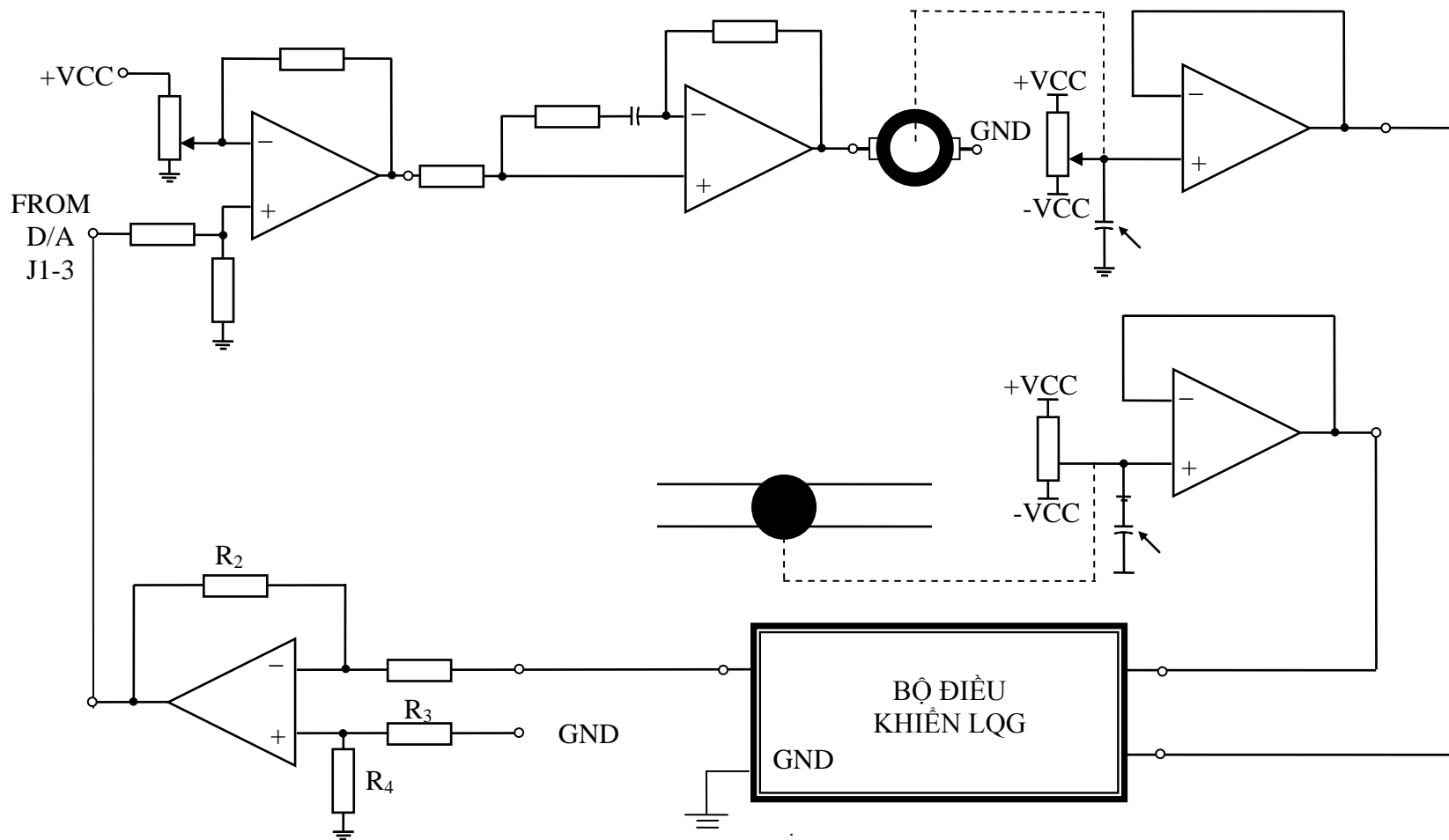
**1.1.4 Sơ đồ kết nối mô hình hệ thống B&B.**

*\* Sơ đồ cấu trúc hệ thống:*



Hình 1.9 : Sơ đồ cấu trúc hệ thống

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



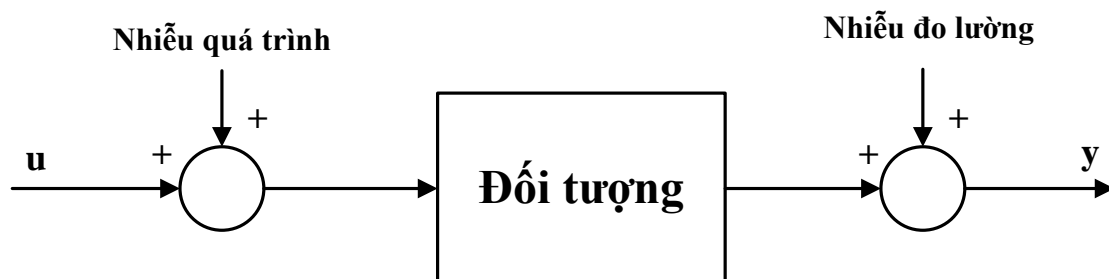
Hình 1.9.1 : Sơ đồ đấu nối dây của hệ thống B&B

### 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 nhiều 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.



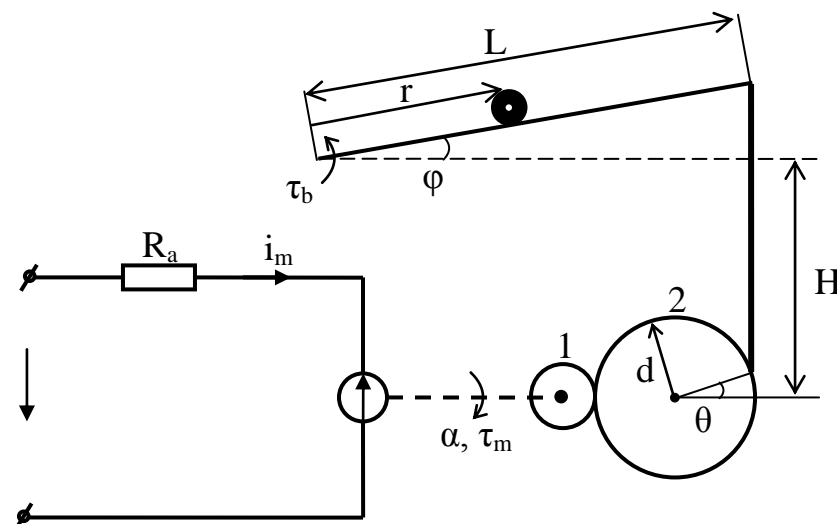
Hình 1.10 : Nhiễu quá trình và nhiễu đo lường

**\* 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

- Động năng của hệ:  $T = T_B + T_b + T_m$

$$+ T_b = \frac{1}{2} J_b \dot{\varphi}^2 \quad : \text{Động năng của Beam}$$

$$+ T_B = \frac{1}{2} m_B \dot{r}^2 \quad : \text{Động năng của ball}$$

$$+ T_m = \frac{1}{2} J_m \dot{\alpha}^2 \quad : \text{Động năng rotor + Bánh răng}$$

$$T_m = \frac{1}{2} \left( \frac{K_g \cdot L}{d} \right)^2 J_m \dot{\varphi}^2 \quad \text{Với: } \alpha = \frac{K_g \cdot L}{d} \cdot \varphi$$

$$\text{- Thế năng: } P = m_B g \cdot r \cdot \sin \varphi + \frac{L}{2} m_b \cdot g \cdot \sin \varphi - m_m \cdot g \cdot H$$

$$\text{- Phương trình Lagrange: } L = T - P.$$

$$L = \frac{1}{2} \left[ J_b \dot{\varphi}^2 + \left( m_B + \frac{J_B}{R^2} \right) \dot{r}^2 + (m_B r^2 + J_B) \dot{\varphi}^2 + \left( \frac{K_g \cdot L}{d} \right)^2 J_m \dot{\varphi}^2 \right] \\ - \left[ m_B \cdot g \cdot r \cdot \sin \varphi + \frac{L}{2} m_b \cdot g \cdot \sin \varphi - m_m \cdot g \cdot H \right]$$

$$\text{- Ta có: } \quad \frac{d}{dt} \left[ \frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}} \right] - \frac{\partial L}{\partial \varphi} = \tau_b - \tau_{bf}$$

$$\frac{d}{dt} \left[ \frac{\partial L}{\partial \dot{r}} \right] - \frac{\partial L}{\partial r} = \tau_{Bf}$$

Với:  $\tau_b$  : Momen do động cơ sinh ra trên beam.

$\tau_{bf}$  : Momen ma sát trên hệ motor – beam.

$\tau_{Bf}$  : Lực ma sát giữa B&B

$$\frac{\partial L}{\partial \varphi} = - \left( m_B \cdot g \cdot r + \frac{L}{2} m_b g \right) \cos \varphi$$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}} = \left[ J_b + J_B + m_B r^2 + \left( \frac{K_g \cdot L}{d} \right)^2 J_m \right] \dot{\varphi}$$

$$\frac{\partial L}{\partial r} = m_B r \cdot \dot{\varphi}^2 - m_B g \cdot \sin \varphi$$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{r}} = \left( m_B + \frac{J_B}{R} \right) \dot{r}$$

Vậy ta có hệ phương trình động lực học của hệ: **(phần cơ)**



$$\begin{cases} \left[ J_B + J_b + m_B r^2 + \left( \frac{K_g L}{d} \right)^2 J_m \right] \ddot{\varphi} + \left( m_B g \cdot r + \frac{L}{2} m_B g \right) \cos \varphi + 2m_B r \cdot \dot{r} \cdot \dot{\varphi} = \tau_b - \tau_{bf} \\ \left( m_B + \frac{J_B}{R^2} \right) \ddot{r} - m_B \cdot r \cdot \dot{\varphi}^2 + m_B g \cdot \sin \varphi = \tau_{Bf} \end{cases}$$

Phương trình của động cơ: (phần điện)

$$\tau_m = K_t i_m = \frac{K_t}{R_a} (U_m - K_b \dot{\alpha}) = \frac{K_t}{R_a} \left( U_m - K_b K_g \frac{L}{d} \dot{\varphi} \right)$$

$$\text{Và } \tau_b = K_g \frac{L}{d} \tau_m = \frac{K_g K_t L}{R_a d} U_m - \frac{K_b K_t K_g^2 L^2}{R_a d^2} \cdot \dot{\varphi}$$

$$\begin{cases} \ddot{r} = \frac{\tau_{Bf} + m_B \cdot r \cdot \dot{\varphi}^2 - m_B g \cdot \sin \varphi}{\frac{7}{5} m_B} \\ \ddot{\varphi} = \frac{\frac{K_g K_t L}{R_a d} U_m - \tau_{bf} - \left( 2m_B r \cdot \dot{r} + \frac{K_b K_t K_g^2 L^2}{R_a d^2} \right) \dot{\varphi} - \left( m_B g \cdot r + \frac{L}{2} m_B g \right) \cos \varphi}{J_b + J_B + m_B r^2 + \left( \frac{K_g L}{d} \right)^2 J_m} \end{cases}$$

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

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

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

Hệ phi tuyến có mô hình trạng thái:

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

Trong đó:  $f_1(\underline{x}, \underline{u}) = x_2$

$$f_2(\underline{x}, \underline{u}) = \frac{m_B x_1 x_4^2 - m_B g \sin x_3}{\frac{7}{5} m_B}$$

$$f_3(\underline{x}, \underline{u}) = x_4$$

$$f_4(\underline{x}, \underline{u}) = \frac{\frac{K_g K_t L}{R_a d} u - \left( 2m_B x_1 x_2 + \frac{K_b K_t K_g^2 L^2}{R_a d^2} \right) x_4 - \left( m_B \cdot g x_1 + \frac{L}{2} m_B g \right) \cos x_3}{J_b + J_B + m_B x_1^2 + \left( \frac{K_g \cdot L}{d} \right)^2 J_m}$$

Với giả thiết bỏ qua lực ma sát  $\tau_{Bf}, \tau_{bf}$ .

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

$$f_1(x, u) = f_1(x^*, u^*) + \left( \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \right) \Big|_{x^*, u^*} (x_1 - x_1^*) + \dots + \left( \frac{\partial f_1}{\partial u} \right) \Big|_{x^*, u^*} (u - u^*)$$

$$f_2(x, u) = f_2(x^*, u^*) + \left( \frac{\partial f_2}{\partial x_1} \right) \Big|_{x^*, u^*} (x_1 - x_1^*) + \dots + \left( \frac{\partial f_2}{\partial u} \right) \Big|_{x^*, u^*} (u - u^*)$$

$$f_3(x, u) = f_3(x^*, u^*) + \left( \frac{\partial f_3}{\partial x_1} \right) \Big|_{x^*, u^*} (x_1 - x_1^*) + \dots + \left( \frac{\partial f_3}{\partial u} \right) \Big|_{x^*, u^*} (u - u^*)$$

$$f_4(x, u) = f_4(x^*, u^*) + \left( \frac{\partial f_4}{\partial x_1} \right) \Big|_{x^*, u^*} (x_1 - x_1^*) + \dots + \left( \frac{\partial f_4}{\partial u} \right) \Big|_{x^*, u^*} (u - u^*)$$

Kết hợp với điều kiện  $f(x^*, u^*) = 0$ , ta được :

$$\frac{dx}{dt} = f(x,u) \approx \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \frac{\partial f_1}{\partial x_3} & \frac{\partial f_1}{\partial x_4} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_3} & \frac{\partial f_2}{\partial x_4} \\ \frac{\partial f_3}{\partial x_1} & \frac{\partial f_3}{\partial x_2} & \frac{\partial f_3}{\partial x_3} & \frac{\partial f_3}{\partial x_4} \\ \frac{\partial f_4}{\partial x_1} & \frac{\partial f_4}{\partial x_2} & \frac{\partial f_4}{\partial x_3} & \frac{\partial f_4}{\partial x_4} \end{bmatrix}_{x^*, u^*} (x - x^*) + \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial u} \\ \frac{\partial f_2}{\partial u} \\ \frac{\partial f_3}{\partial u} \\ \frac{\partial f_4}{\partial u} \end{bmatrix} (u - u^*)$$

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

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

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

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

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 :

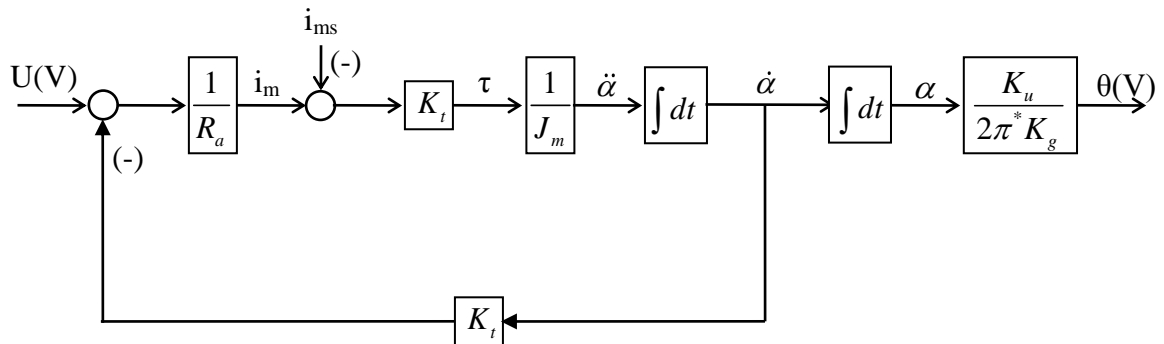
$$\begin{cases} \frac{d\tilde{x}}{dt} = A\tilde{x} + B\tilde{u} \\ \tilde{y} = [1 \ 0 \ 0 \ 0]\tilde{x} \end{cases}$$

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

#### 1.4.1 Mô hình toán động cơ 1 chiều:

Phương trình điện:  $I_m = \frac{U - K_b \alpha}{R_a}$

Phương trình cơ:  $\ddot{\alpha} = \frac{\tau}{J_m}$



Hình 1.12 : Sơ đồ cấu trúc động cơ điện 1 chiều

Trong đó:

U : Điện áp đặt vào động cơ (V)

R<sub>a</sub>: Điện trở của động cơ (Ω)

I<sub>m</sub>: Dòng phân ứng (A)

I<sub>ms</sub>: Dòng cảm ứng của momen ma sát τ<sub>ms</sub> (A)

τ: Momen tổng trên trục động cơ (N/m)

J<sub>m</sub>: Momen quán tính của roto và bánh răng

α̈ : Gia tốc trên đầu trục động cơ (rad/s<sup>2</sup>)

α̇ : Vận tốc trên trục động cơ (rad/s)

α : Vị trí góc của trục động cơ (rad)

θ: Vị trí góc của bánh răng giảm tốc. Quy ra điện áp (V)

K<sub>g</sub>: Tỷ số răng giữa 2 bánh răng : K<sub>g</sub> = 5 (120/24)

$K_u$ : hệ số qui đổi góc  $\rightarrow$  điện áp (V/vòng)

$K_t$ : Hệ số momen động cơ

$K_b$ : Hệ số sức điện động phản kháng

$$K_t = K_b$$

#### 1.4.2 Xác định điện trở phần ứng $R_a$ :

Khi động cơ đứng yên:  $\alpha = 0$ , ta có:

$$i_m = \frac{U}{R_a} \Rightarrow R_a = \frac{U}{i_m}$$

Tiến hành thí nghiệm: Đặt các điện áp khác nhau lên động cơ, giữ cho động cơ đứng yên và đo dòng phần ứng.

- Ta có bảng số liệu:

$U_m(V)$	$I_m(mA)$	$U_m(V)$	$I_m(mA)$
0,1	9,3	0,9	86,7
0,2	19,1	1	96,3
0,3	28,8	1,1	105,8
0,4	38,7	1,2	115,2
0,5	48,2	1,3	125
0,6	57,9	1,4	134,6
0,7	67,4	1,5	144,3
0,8	76,7		

- Tính giá trị trung bình ta được:

$$R_a = 10,4 (\Omega)$$

#### 1.4.3 Xác định hằng số $K_b$

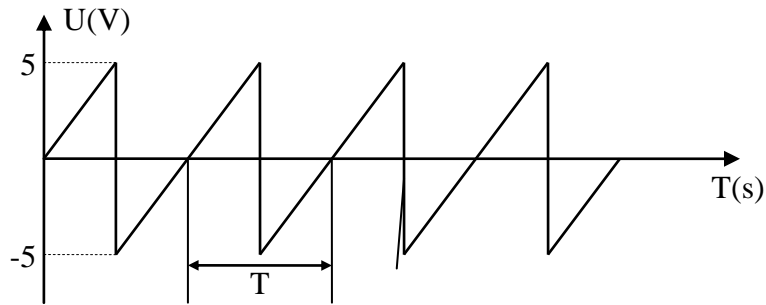
\*Xác định  $K_b$  sử dụng động cơ kéo ngoài:

- Kéo động cơ chạy với tốc độ không đổi bằng 1 nguồn bên ngoài. Đo điện áp phát ra trên động cơ, ta có:

$$K_b = \frac{U_m}{\dot{\alpha}}$$

- Xác định  $\dot{\alpha}$ : Khi trục bánh răng quay với tốc độ xác lập, điện áp trên biến trở quay gắn với bánh răng biến thiên theo 1 chu kỳ xác định T.

Dạng đồ thị điện áp trên biến trở quay:



Dựa vào đồ thị, ta xác định được T, từ đó tính được:

$$\dot{\alpha} = K_g \frac{2\pi}{T} (\text{rad} / \text{s})$$

Sau khi tính toán ta được:

$$K_b = 0,1159$$

\* Xác định  $K_b$  qua tính toán.

Từ phương trình của động cơ:

$$I_m = \frac{U_m - K_b \dot{\alpha}}{R_a} \Rightarrow K_b = \frac{U_m - I_m R_a}{\dot{\alpha}}$$

Cấp điện áp vào động cơ, đo các giá trị tương ứng, ta được

Bảng số liệu:

$U_m(\text{V})$	$I_m(\text{mA})$	$T(\text{s})$
0,5	6,56	8,27
1	5,88	3,89
1,5	5,9	2,55
2	6,3	1,91
2,5	6,6	1,51

3	6,89	1,25
3,5	7,14	1,07
4	7,53	0,94
4,5	7,87	0,83
5	7,9	0,75

Sau khi tính toán ta được :

$$K_b = 0,1174$$

#### 1.4.4 Xác định $J_m$ qua tính toán

- Khi động cơ đang quay ở chế độ xác lập, ngắt nguồn cung cấp cho động cơ, khi đó động cơ quay chậm dần đều với phương trình.

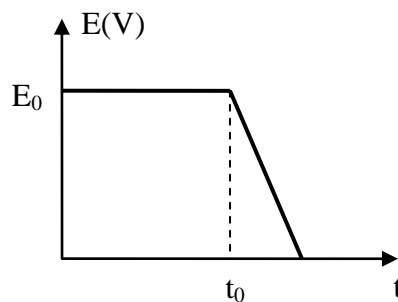
$$\dot{\alpha} = \ddot{\alpha}t + \dot{\alpha}_0$$

$$\text{Với } \ddot{\alpha} = \frac{\tau_{ms}}{J_m} = \text{const}$$

$$\dot{\alpha} = \frac{\tau_{ms}}{J_m}t + \dot{\alpha}_0 = \frac{i_{ms}K_t}{J_m}t + \dot{\alpha}_0$$

$$\Rightarrow E = K_b \cdot \dot{\alpha} = \frac{K_b K_t i_{ms}}{J_m}t + K_b \cdot \dot{\alpha}_0 \quad (E_0 = K_b \cdot \dot{\alpha}_0)$$

- Đồ thị của  $E(t)$  có dạng như hình vẽ:



- Dò  $E$  từ thí nghiệm, ta xác định được hệ số góc của  $E(t)$  là  $K$ .

$$\text{Do đó: } K \frac{K_b K_t i_{ms}}{J_m} \Rightarrow J_m = \frac{K}{K_b \cdot K_t \cdot i_{ms}} \quad (N.m)$$

- Với  $i_{ms}$  chính là dòng điện xác lập của động cơ:  $i_{ms} \approx 7(\text{mA})$

Sau khi tính toán ta có:

$$J_m = 3.5136.10^{-5} \text{ (Kg.m}^2\text{)}$$

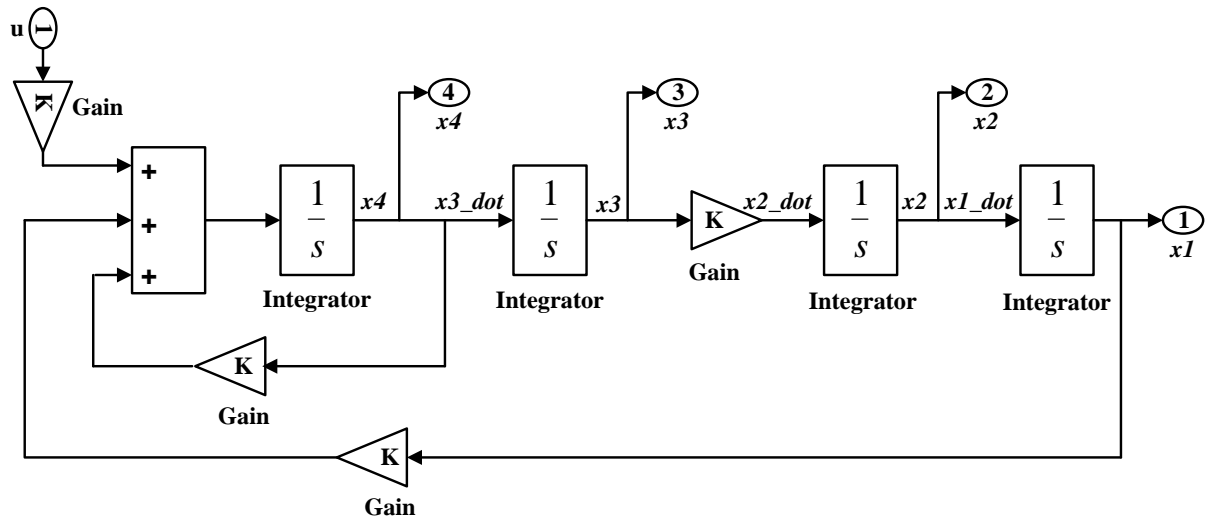
Cuối cùng ta có các tham số của hệ thống B&B như bảng sau :

Thông số	Ý nghĩa	Giá trị
$g$	Gia tốc trọng trường	9,8(m/s <sup>2</sup> )
$m_B$	Khối lượng Ball	21,64/13,84(g)
$m_b$	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)



## 1.5 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.**

Đề 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.

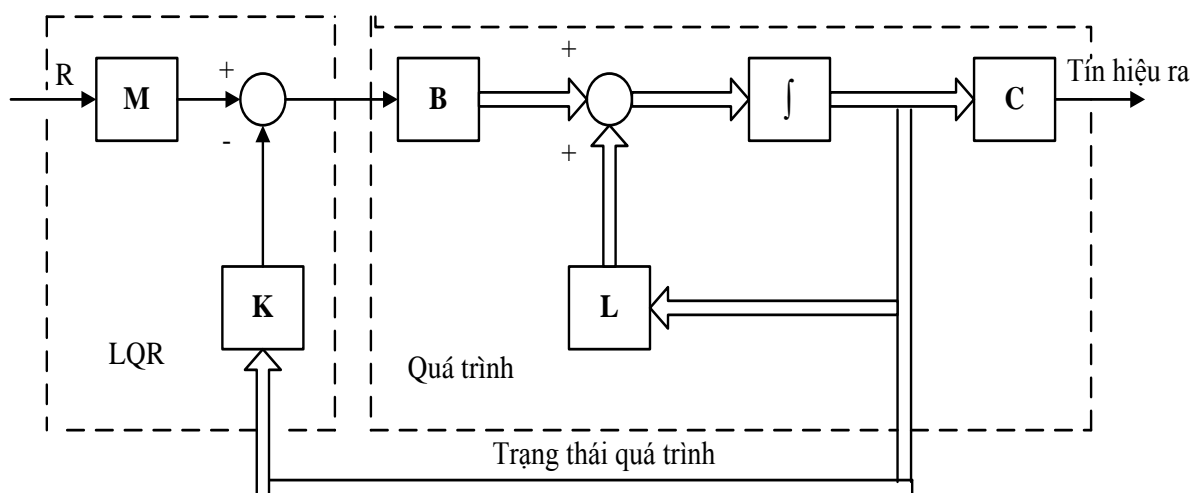
## CHƯƠNG II

### 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]. Trong LQR, thuật ngữ “Linear-Tuyến tính” nói đến động học hệ thống mà mô tả bởi một tập các phương trình vi phân tuyến tính và thuật ngữ “Quadratic – toàn phương” nói đến chỉ số hiệu suất (thực hiện) mà mô tả bởi hàm toàn phương. 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 :

$$[u = -Kx]$$

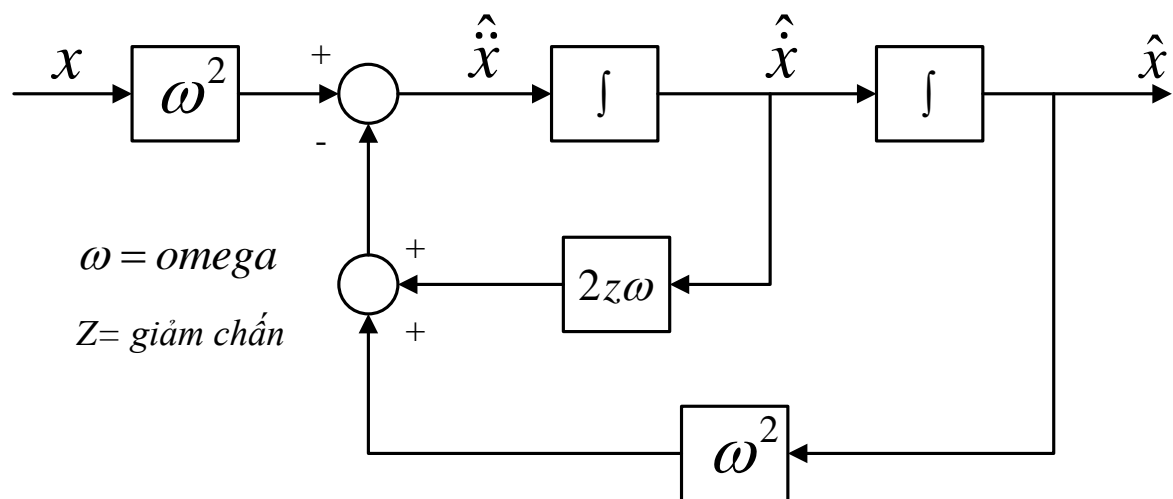
Trong đó:

$x$  : trạng thái của hệ thống .

$K$ : véctor 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 .

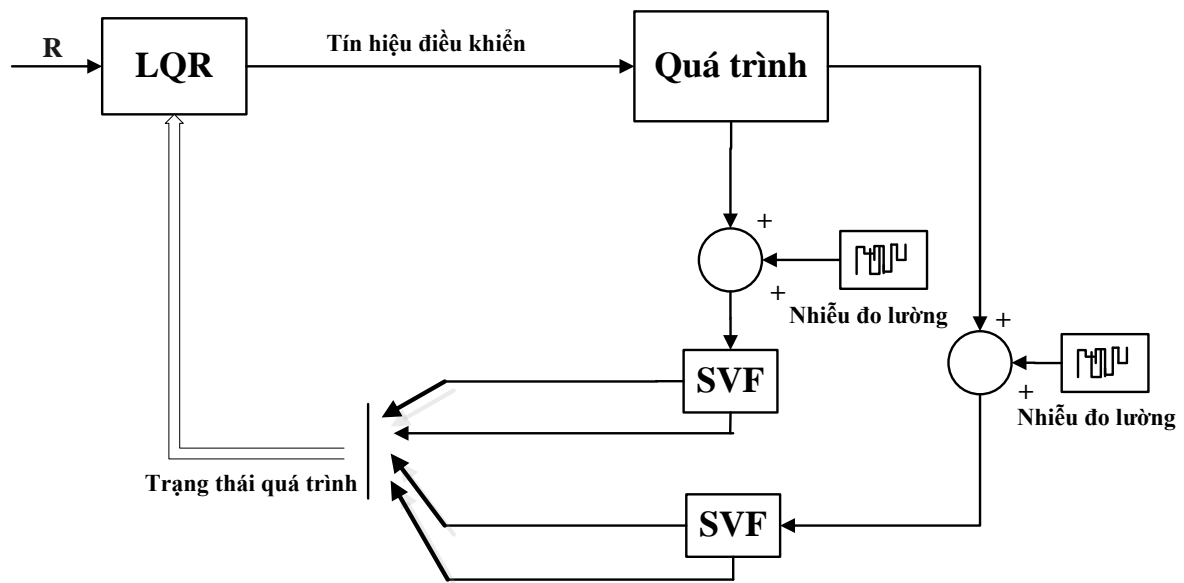
Một LQR tuy nhiên yêu cầu truy nhập tới các biến trạng thái hệ thống. Một hệ phản hồi trạng thái được mô tả trong hình 2.1[12].. Các trạng thái bên trong của hệ thống được đưa trở lại bộ điều khiển, mà biến đổi những tín hiệu này thành tín hiệu điều khiển quá trình. Để thực hiện LQR tiên định, cần thiết 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.



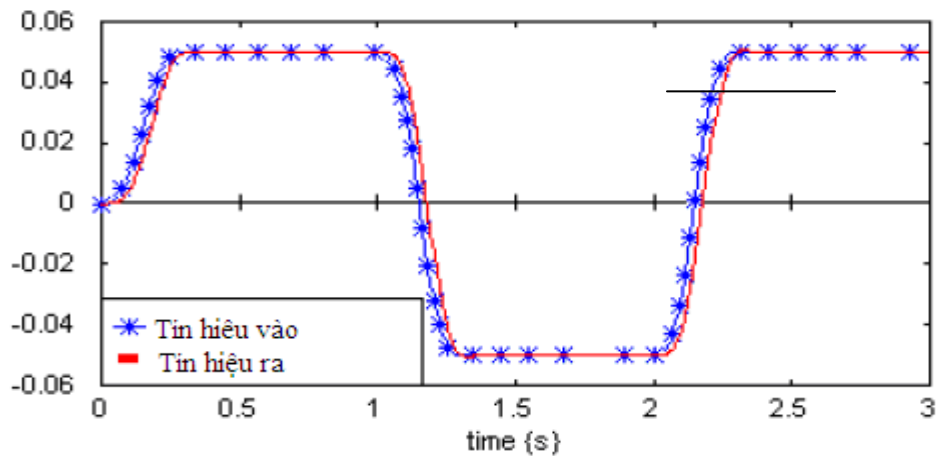
Hình 2.2: Bộ lọc biến trạng thái bậc hai liên tục theo thời gian

Các bộ lọc biến trạng thái (State Variable Filters-SVFs) có thể được sử dụng để có phản hồi trạng thái hoàn chỉnh. Khi phổ nhiễu được đặt theo nguyên tắc ngoài dải thông của bộ lọc, nhiễu đo lường có thể bị xóa bỏ bởi sự lựa chọn hợp lý  $\omega$  của bộ lọc [13]. Ví dụ, thông tin về vị trí được đo với nhiễu nhiều ở bất kỳ thời điểm nào. SVFs loại bỏ ảnh hưởng của nhiễu và tạo ra ước lượng tốt các vị trí và gia tốc (Hình 2.3). Tuy nhiên, SVFs gây ra chậm pha (Hình 2.4). Trễ pha có thể

giảm bởi gia tăng  $\omega$  của SVF. Thực tế, lựa chọn omega hài hòa giữa trễ pha và độ nhạy với nhiễu [13].



Hình 2.3: Phản hồi trạng thái chính xác của quá trình đạt được bằng sử dụng các bộ lọc biến trạng thái (SVFs)



Hình 2.4: Trễ pha giữa tín hiệu vào và ra của SVF với một omega 50 (rad/ sec)

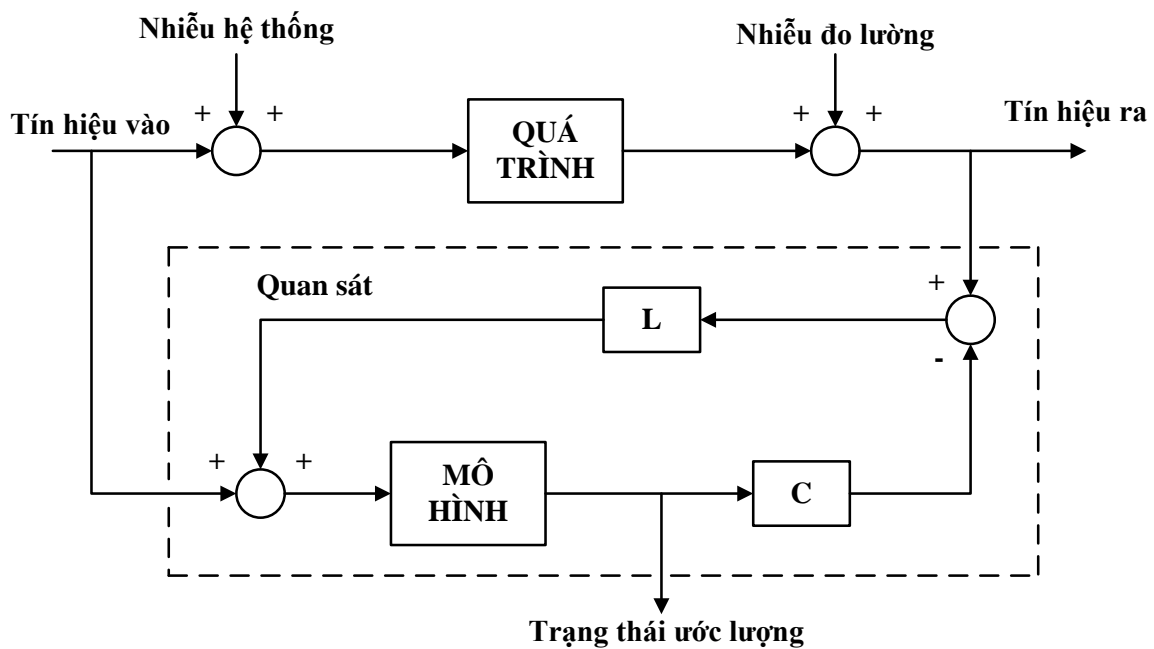
### 2.1.2. Bộ quan sát LQE (Linear Quadratic Estimator) (Bộ lọc Kalman)

Hướng khác để ước lượng trạng thái trong của hệ thống là bằng sử dụng bộ ước lượng toàn phương tuyến tính (Linear Quadratic Estimator – LQE) (Hình

2.5). Trong lý thuyết điều khiển, LQE được xem như là một bộ lọc Kalman hoặc một bộ quan sát [12]. Bộ lọc Kalman là bộ ước lượng hồi quy. Điều này nói rằng để tính toán ước lượng cho trạng thái hiện tại, trạng thái ước lượng từ bước thời gian trước và đo lường hiện tại được yêu cầu. Bộ lọc Kalman được thực hiện với hai pha (giai đoạn) phân biệt

- Pha dự báo, ước lượng từ bước trước được sử dụng để tạo ra một ước lượng của trạng thái hiện tại.
- Pha cập nhật sử dụng thông tin đo lường từ bước hiện tại để lọc dự báo để đến một ước lượng mới.

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 nhiễu 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  $R_E$ .

### **Lý thuyết Bộ quan sát trạng thái Kalman ( lọc Kalman ) :**

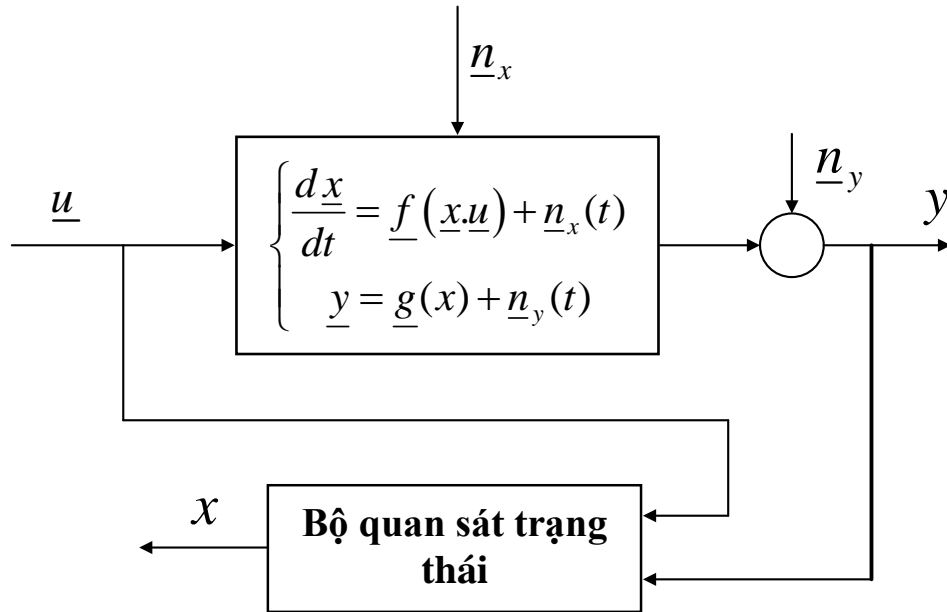
#### **a/ Mục đích của bộ quan sát :**

Trong các phương pháp điều khiển phản hồi trạng thái người ta thường giả thiết vector tín hiệu trạng thái  $\underline{x}$  là đo được ( nhờ các bộ cảm biến ) để phản hồi ngược về cho bộ điều khiển. Điều này trong thực tế thường không thực hiện được, đơn giản chỉ là vì có khá nhiều biến trạng thái không thể đo được trực tiếp mà chỉ có thể xác định được một cách gián tiếp thông qua những tín hiệu đo được khác. Chẳng hạn như ở động cơ xoay chiều 3 pha thì biến trạng thái dòng từ thông của động cơ là không đo được trực tiếp, nó chỉ có thể xác định được thông qua những đại lượng tín hiệu đo trực tiếp khác là giá trị dòng điện stator và giá trị tốc độ vòng quay động cơ. Cũng như vậy ở hệ cơ thì động năng của một vật đang chuyển động chỉ có thể xác định thông qua vận tốc và khối lượng của vật đó...

Trong một hệ thống điều khiển, các vector tín hiệu vào  $\underline{u}(t)$ , ra  $\underline{y}(t)$  bao giờ cũng là những tín hiệu đo được trực tiếp ( measurable ). Giả sử nhờ các bộ cảm biến (sensor) ta đã đo được giá trị  $\underline{u}(t)$ ,  $\underline{y}(t)$  trong khoảng thời gian hữu hạn  $t_0 \leq t < T$ . Khi đó, một cơ cấu có nhiệm vụ xác định giá trị trạng thái  $\underline{x}(t_0)$  của hệ thống tại thời điểm  $t_0$  từ những giá trị  $\underline{u}(t)$ ,  $\underline{y}(t)$  đã đo được trong khoảng thời gian hữu hạn  $t_0 \leq t < T$ , sẽ được gọi là bộ quan sát trạng thái (state observer). Nói cách khác, bộ quan sát trạng thái là một cơ cấu có nhiệm vụ thực hiện phép biến đổi :

$$\underline{x}(t_0) = \underline{q}(\underline{u}(t), \underline{y}(t)) \text{ với } t_0 \leq t < T \text{ trong đó } T \text{ là hữu hạn} \quad (2.1)$$

Tất nhiên rằng không phải ở mọi hệ thống ta đều có thể quan sát được tín hiệu trạng thái mà chỉ với những hệ quan sát được (observable), tức là hệ mà ở đó tồn tại toán tử  $\underline{q}(\square)$  và một hằng số  $T$  hữu hạn thỏa mãn (2.1). Nếu hằng số hữu hạn  $T$  còn được chọn tùy ý, miễn rằng  $T > t_0$  thì hệ được gọi là quan sát được hoàn toàn.



Hình 2.6 : Nhiệm vụ của bài toán thiết kế bộ quan sát trạng thái

Xét hệ thống có mô hình trạng thái :

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \underline{f}(x, \underline{u}) + \underline{n}_x(t) \\ y = \underline{g}(x) + \underline{n}_y(t) \end{cases}$$

Trong đó  $\underline{n}_x(t)$  là vector các tín hiệu nhiễu tác động vào hệ thống và  $\underline{n}_y(t)$  là vector các tín hiệu nhiễu tác động ở đầu ra. Nhiệm vụ đặt ra ở đây là phải xây dựng được bộ quan sát trạng thái để với nó có được  $\underline{x}(t_0)$  thỏa mãn  $\underline{x}(t_0) \approx \underline{\hat{x}}(t_0)$  trên cơ sở đo các tín hiệu vào ra  $\underline{u}(t), \underline{y}(t)$  trong khoảng thời gian hữu hạn  $t_0 \leq t < T$  (Hình 2.6). Vì cấu trúc bộ quan sát trạng thái không phụ thuộc

nhiều  $\underline{n}_x(t), \underline{n}_y(t)$  nên mô hình trạng thái của nó có dạng :  $\frac{dx}{dt} = \underline{f}(x, \underline{u}, \underline{y})$

Mặt khác, nếu có  $\underline{x} \approx \underline{\hat{x}}$  thì cũng phải có  $\underline{f}(x, \underline{u}, \underline{y}) = \underline{f}(x, \underline{u})$ . Suy ra :



$$\frac{d\underline{x}}{dt} = \underline{f}(\underline{x}, \underline{u}) + \underline{l}(\underline{x}, \underline{y}) \text{ với } \lim \underline{l}(\underline{x}, \underline{y}) = \underline{0} \quad (2.2)$$

Và bài toán đặt ra ở đây là phải xác định  $\underline{l}(\underline{x}, \underline{y})$  thỏa mãn :

$$\lim \underline{l}(\underline{x}, \underline{y}) = \underline{0} \text{ và } \underline{x}(t) \approx \underline{x}(t) \quad (2.3)$$

**b/ Thiết kế bộ quan sát trạng thái cho đối tượng tuyến tính :**

Cho đối tượng tuyến tính, bị tác động bởi nhiễu hệ thống  $\underline{n}_x(t)$  và nhiễu đầu ra  $\underline{n}_y(t)$ , mô tả bởi mô hình trạng thái :

$$\begin{cases} \frac{d\underline{x}}{dt} = \underline{A}\underline{x} + \underline{B}\underline{u} + \underline{n}_x \\ \underline{y} = \underline{C}\underline{x} + \underline{n}_y \end{cases} \quad (2.4)$$

Trong đó  $\underline{A} \in \mathbb{R}^{n \times n}$ ,  $\underline{B} \in \mathbb{R}^{n \times m}$ ,  $\underline{C} \in \mathbb{R}^{s \times n}$  là các ma trận hằng,

$\underline{x} \in \mathbb{R}^n$  là vector biến trạng thái

$\underline{u} \in \mathbb{R}^m$  là vector tín hiệu vào ( tín hiệu điều khiển ).

$\underline{y} \in \mathbb{R}^s$  là vector các tín hiệu ra

$\underline{n}_x \in \mathbb{R}^n$  là vector các tín hiệu nhiễu tác động vào hệ thống

$\underline{n}_y \in \mathbb{R}^s$  là vector các tín hiệu nhiễu tác động đầu ra.

ở đây ta giả thiết :

-  $\underline{n}_x(t), \underline{n}_y(t)$  là những vector tín hiệu ồn trắng có kỳ vọng bằng 0, tức là :

$$m_{\underline{n}_x} = M[\underline{n}_x(t)] = \underline{0} \text{ và } m_{\underline{n}_y} = M[\underline{n}_y(t)] = \underline{0}$$

Khi đó thì :

$$r_{\underline{n}_x}(\tau) = \begin{cases} N_x & \text{khi } \tau = 0 \\ \Theta & \text{khi } \tau \neq 0 \end{cases} \quad (2.5.1)$$

$$r_{\underline{n}_y}(\tau) = \begin{cases} N_y & \text{khi } \tau = 0 \\ \Theta & \text{khi } \tau \neq 0 \end{cases} \quad (2.5.2)$$

-  $\underline{n}_x(t), \underline{n}_y(t)$  không tương quan với nhau,  $\underline{n}_y(t)$  không tương quan với  $\underline{x}(t)$  và  $\underline{n}_x(t)$  không tương quan với  $\underline{x}(\tau)$  ở thời điểm trước đó ( $\tau < t$ ), tức là :

$$M \begin{bmatrix} \underline{n}_x \underline{n}_y^T \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} \underline{n}_y \underline{x}^T \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} \underline{n}_x \underline{x}^T(\tau) \end{bmatrix} = \Theta \quad (2.6)$$

Theo (2.2) thì bộ quan sát trạng thái cho đối tượng tuyến tính (2.4) sẽ là :

$$\frac{d\underline{x}}{dt} = A\underline{x} + B\underline{u} + L(\underline{y} - C\underline{x}) = (A - LC)\underline{x} + (B - L) \begin{pmatrix} \underline{u} \\ \underline{y} \end{pmatrix} \quad (2.7)$$

Và nhiệm vụ thiết kế chỉ còn lại là xác định ma trận  $L \in R^{n \times s}$  sao cho có được :

$$\underline{x}(t) \approx \underline{x}(t)$$

Lập hàm mô tả sai lệch :

$$e(t) = \underline{x}(t) - \underline{x}(t)$$

Ta sẽ được :

$$\begin{aligned} \frac{de}{dt} &= \frac{d(\underline{x} - \underline{x})}{dt} = A(\underline{x} - \underline{x}) + \underline{n}_x - L(\underline{y} - C\underline{x}) = Ae + \underline{n}_x - L(C\underline{x} + \underline{n}_y - C\underline{x}) \\ &= (A - LC)e + \underline{n}_x - L\underline{n}_y = \left( \underbrace{A - LC}_A \right) e + \begin{pmatrix} I - L \\ B \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \underline{n}_x \\ \underline{n}_y \\ \underline{n} \end{pmatrix} \\ &= Ae + Bn \end{aligned}$$

Trong đó  $I$  là ký hiệu chỉ ma trận đơn vị. Từ đây suy ra :

$$\underline{e}(t) = e^{At} \underline{e}_0 - \int_0^t e^{A(t-\tau)} Bn(\tau) d\tau \quad \text{với } \underline{e}_0 = \underline{e}(0) \quad (2.8)$$

Để có được điều mong muốn  $\underline{x}(t) \approx \underline{x}(t)$ , tức là  $\underline{e}(t) \approx \underline{0}$ , ta phải tìm  $L$  sao cho :

$$Q = M \begin{bmatrix} e^T & e \end{bmatrix} = \sum_{i=1}^n M \begin{bmatrix} e_i^2 \end{bmatrix} \rightarrow \min \quad (2.9)$$

Thay (2.8) vào (2.9) có để ý đến các giả thiết về  $\underline{n}_x(t)$ ,  $\underline{n}_y(t)$  như (2.5), (2.6), sau

đó tìm  $L$  để  $Q$  có giá trị nhỏ nhất bằng cách xác định nghiệm của  $\frac{\partial Q}{\partial L} = \Theta$ , với

$\frac{\partial Q}{\partial L}$  là ký hiệu chỉ ma trận Jacobi của  $Q$ , ta sẽ nhận được :

$$L = PC^T N_y^{-1} \quad (2.10)$$

Với  $P$  là nghiệm xác định bán dương của phương trình Riccati :

$$PC^T N_y^{-1} CP - PA^T - AP = N_x \quad (2.11)$$

Việc xác định ma trận  $L$  cho bộ quan sát trạng thái (2.7) bằng 2 công thức (2.10) và (2.11) nêu trên chính là bài toán thiết kế bộ điều khiển tối ưu  $R=L^T$  phản hồi âm trạng thái cho đối tượng đối ngẫu của (2.4):

$$\begin{cases} \frac{d\underline{x}}{dt} = A^T \underline{x} + C^T \underline{u} \\ Q_K = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} (\underline{x}^T N_x \underline{x} + \underline{u}^T N_y \underline{u}) dt \rightarrow \min \end{cases} \quad (2.12)$$

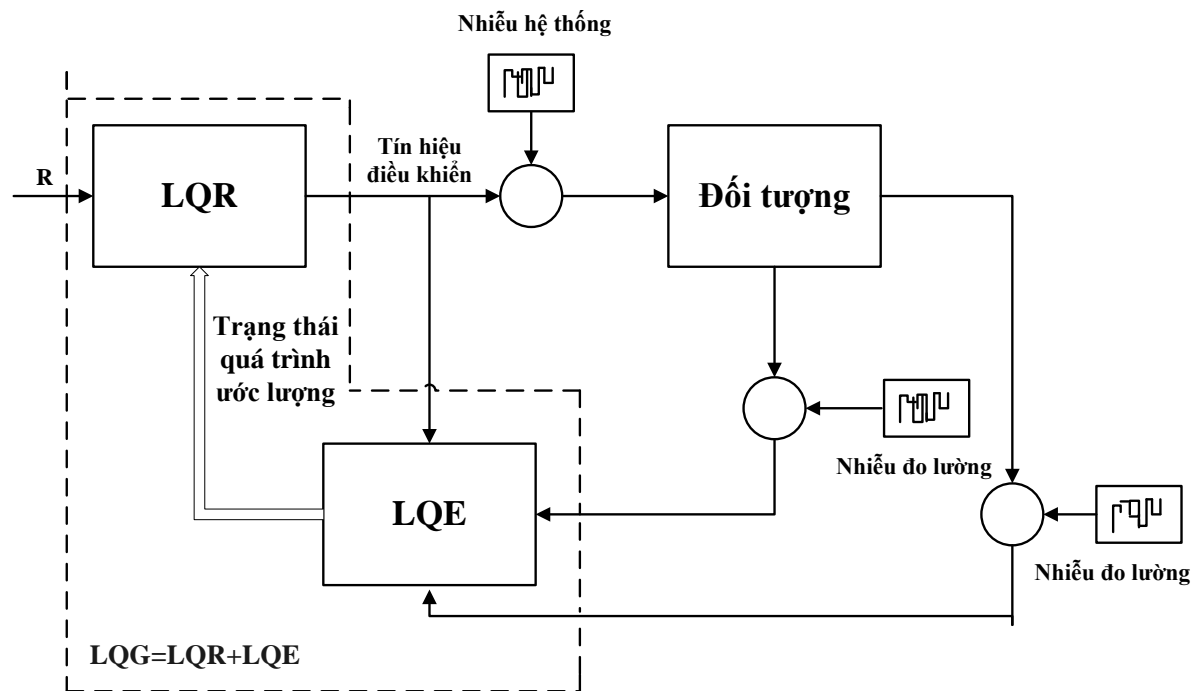
Từ đây ta đến được 2 bước xác định bộ quan sát trạng thái tối ưu của Kalman như sau :

1/ Giải bài toán tối ưu (2.12) để có được ma trận  $R=L^T$  là bộ điều khiển tối ưu phản hồi âm trạng thái cho đối tượng (2.12.1) theo tiêu chuẩn tối ưu (2.12.2). Các ma trận  $N_x, N_y$  được xác định từ nhiễu  $\underline{n}_x(t), \underline{n}_y(t)$  theo công thức (2.5), trong đó  $N_x$  phải là ma trận bán dương và  $N_y$  phải xác định dương. Ở nhiều bài toán ứng dụng thực tế, khi mà thông tin ban đầu về nhiễu  $\underline{n}_x(t), \underline{n}_y(t)$  quá ít để có thể xác định được cụ thể  $N_x, N_y$  người ta thường hay chọn chúng là những ma trận đơn vị có số chiều phù hợp với số chiều của  $\underline{x}$  và  $\underline{u}$  .

2/ Gán  $L$  tìm được vào công thức (2.7) để có hoàn chỉnh mô hình bộ quan sát trạng thái đối tượng.

### 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

Thiết kế của LQR và LQE có thể được thực hiện riêng rẽ. LQG cho phép chúng ta tối ưu chất lượng hệ thống và để giảm nhiễu đo lường. LQE đưa ra các trạng thái ước lượng của quá trình. LQR tính toán vector hệ số tối ưu và sau đó tính toán tín hiệu điều khiển. Tuy nhiên, trong bộ điều khiển phản hồi trạng thái thiết kế giảm sai lệch bám là không tự động nhận ra. Trong các hệ thống điều khiển chuyển động, ma sát Coulomb là phi tuyến chính, gây ra sai lệch tĩnh. Vấn đề này có thể được giải quyết, bằng việc giới thiệu một tích phân phụ cho cấu trúc điều khiển LQG [12]. Sự khác nhau giữa quá trình và mô hình được tích hợp, thay vì sai lệch giữa mẫu và đầu ra quá trình (trong bộ điều khiển PID).

## 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.

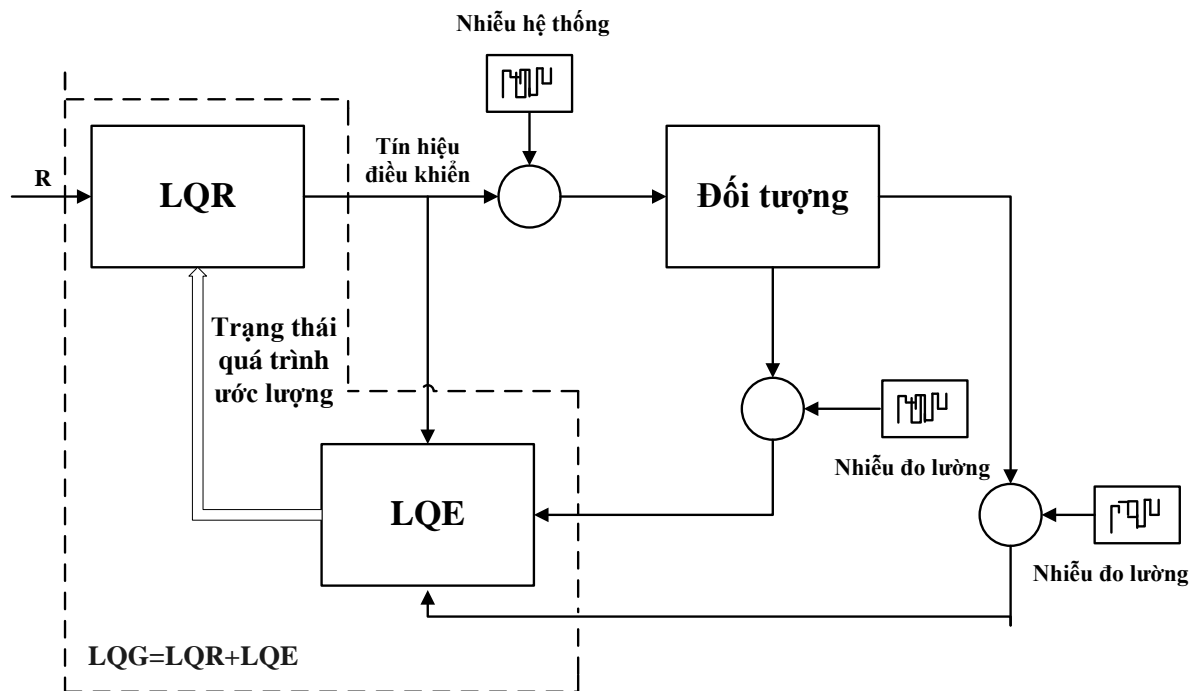
Bộ lọc Kalman là bộ lọc hồi qui hiệu quả mà giúp cho việc ước lượng các trạng thái quá khứ, hiện tại và thậm chí tương lai của hệ thống động học khi giải quyết nhiễu Gaussian. Nó tối thiểu hiệp biến tiệm cận của sai lệch ước lượng. Trong lý thuyết điều khiển tối ưu, bộ lọc Kalman được biết đến như là 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

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

với

$$x = \begin{bmatrix} \cdot \\ x_1 \\ \cdot \\ x_2 \\ \cdot \\ x_3 \\ \cdot \\ x_4 \end{bmatrix}$$

Các thông số dưới đây từ Bóng và thanh được sử dụng trong các mô phỏng:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -7 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -0.7916 & 0 & 0 & -37.4051 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 3.7048 \end{bmatrix}$$

$$Q_R = \begin{bmatrix} 24 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, R_R = 0.0300$$

Các giá trị này cho kết quả trong các hệ số khuếch đại bộ điều khiển phản hồi dừng 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:

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

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

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

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 sau đây được sử dụng :

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -7 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -0.7916 & 0 & 0 & -37.4051 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$Q_E = \begin{bmatrix} 1000 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 10000 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1000 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 10000 \end{bmatrix}, R_E = \begin{bmatrix} 100 & 0 \\ 0 & 100 \end{bmatrix}$$

Thực hiện tính toán trong Matlab bởi lệnh :

$$L_{LQE} = lqe(A, G, C, Q_E, R_E, N)$$



$$\text{Với } G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, N = 1$$

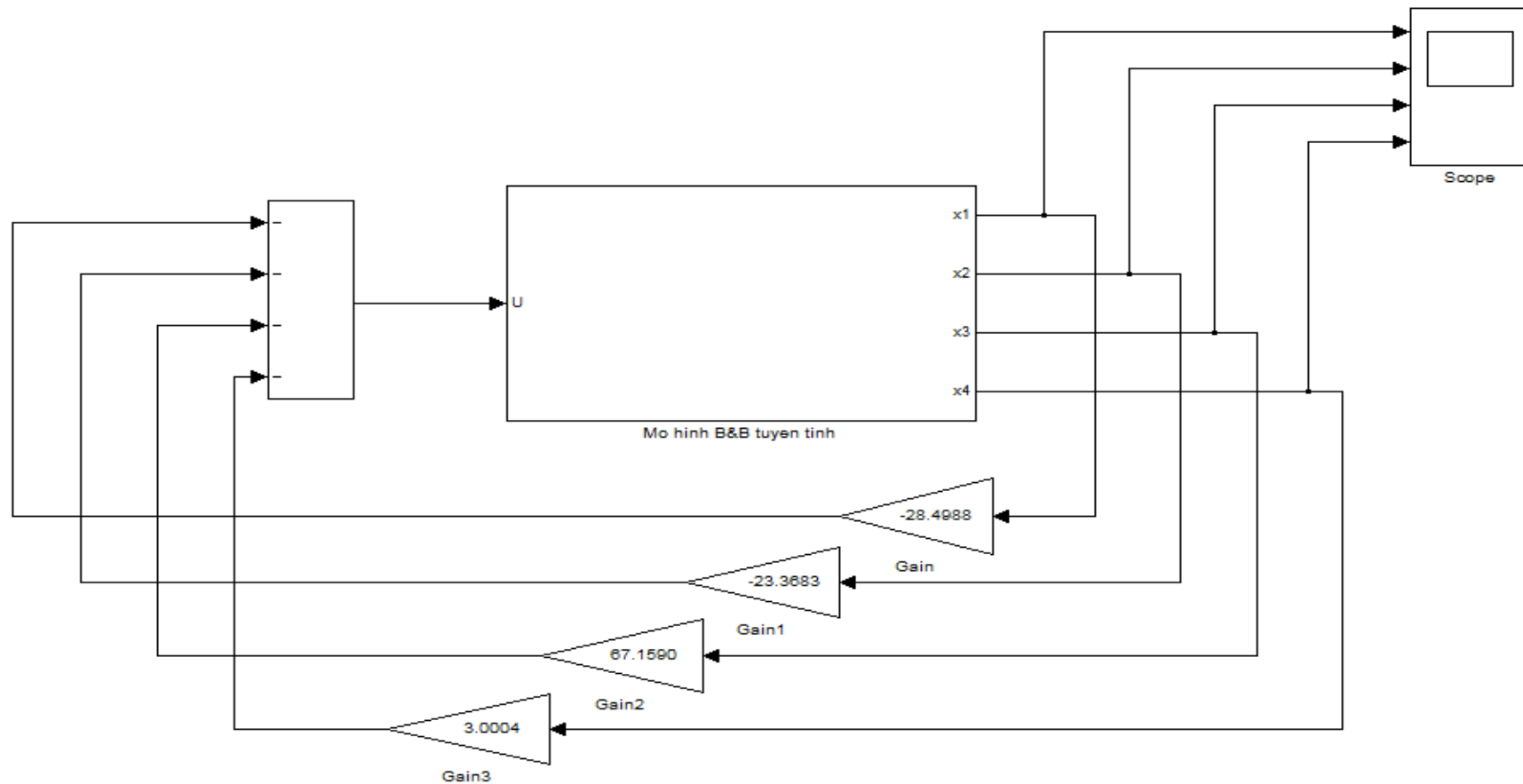
Các thiết lập cho kết quả trong các hệ số ổn định dưới đây :

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

### 3.3 Mô phỏng

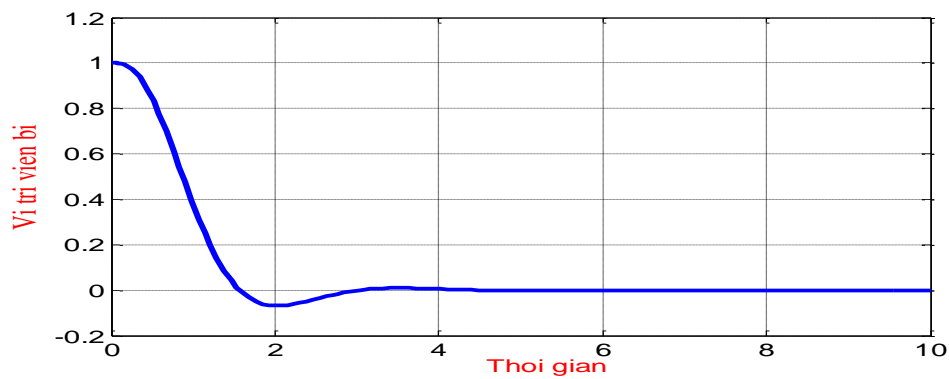
Sau khi thiết kế bộ điều khiển, ta đi tiến hành mô phỏng trong Matlab Simulink để kiểm tra tính đúng đắn của thuật toán. Trước tiên, ta thực hiện mô phỏng bộ điều khiển LQR, với giả thiết các biến trạng thái của hệ là đo được.

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  $x=0$ .

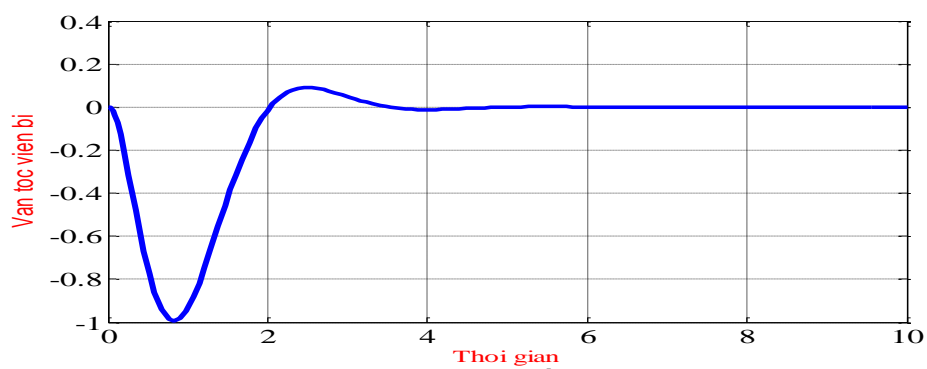


Hình 3.2 : Bộ điều khiển LQR trong mô phỏng Matlab Simulink

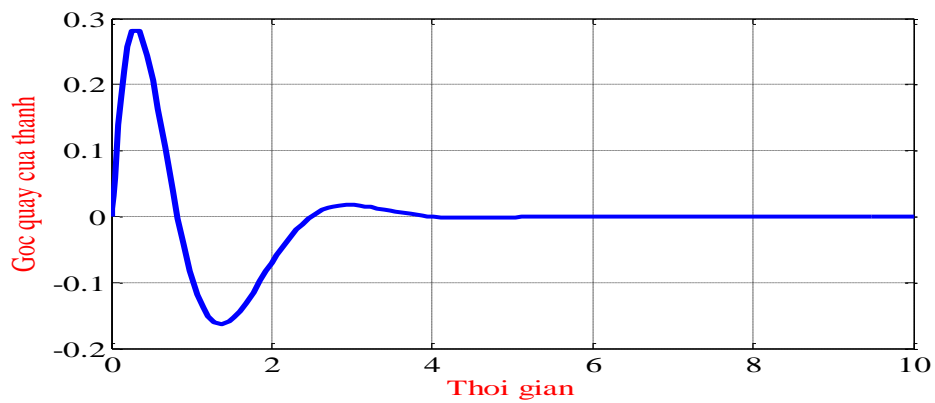
## Kết quả chạy mô phỏng trên Matlab Simulink



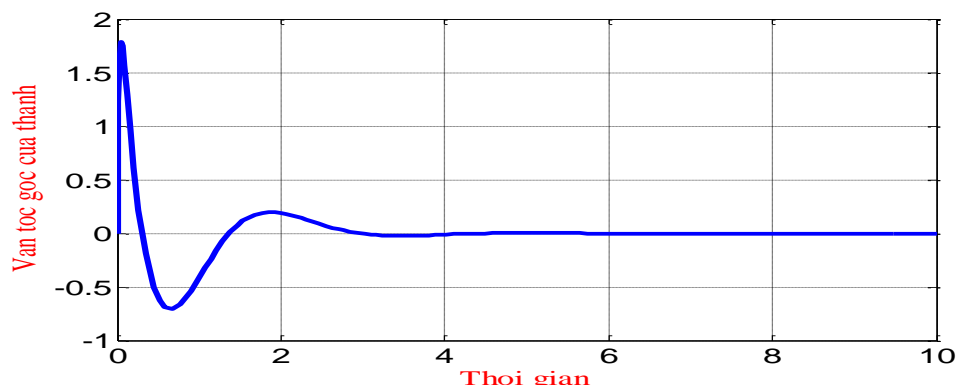
Hình 3.3: Vị trí viên bi.



Hình 3.4 : Vận tốc viên bi

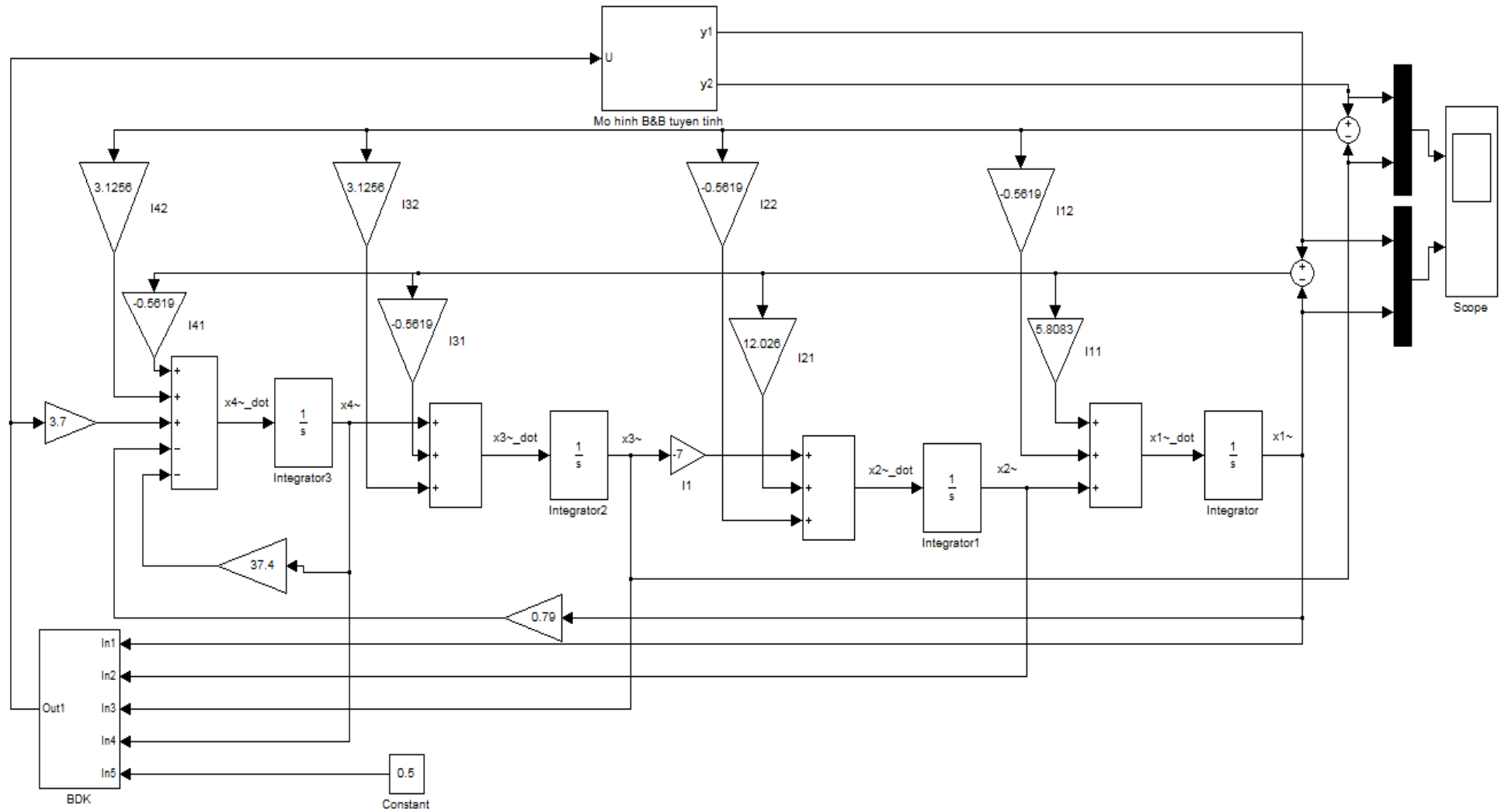


Hình 3.5 : Góc quay của thanh



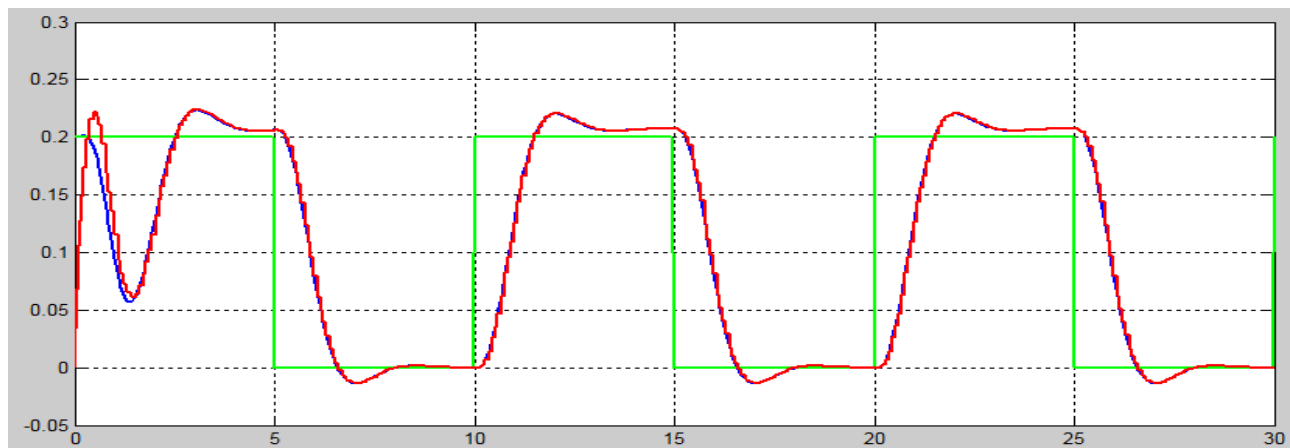
Hình 3.6 : Vận tốc góc của thanh

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



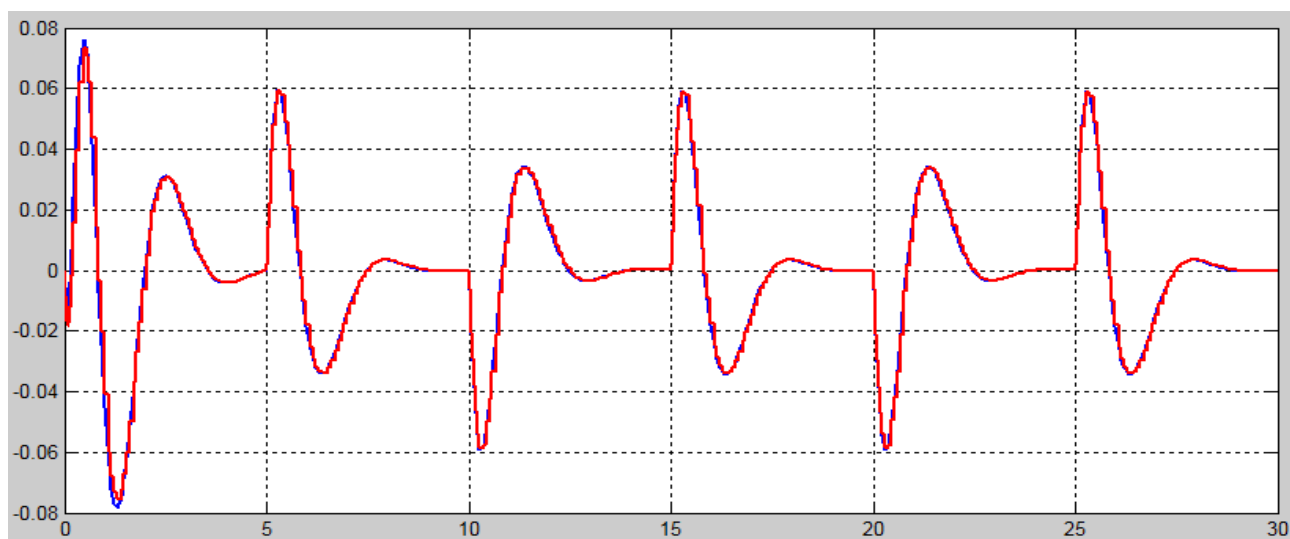
Hình 3.7: Cấu trúc LQG mô phỏng thực hiện trong Matlab

Kết quả mô phỏng trên Matlab Simulink :



Hình 3.8 : Vị trí viên bi

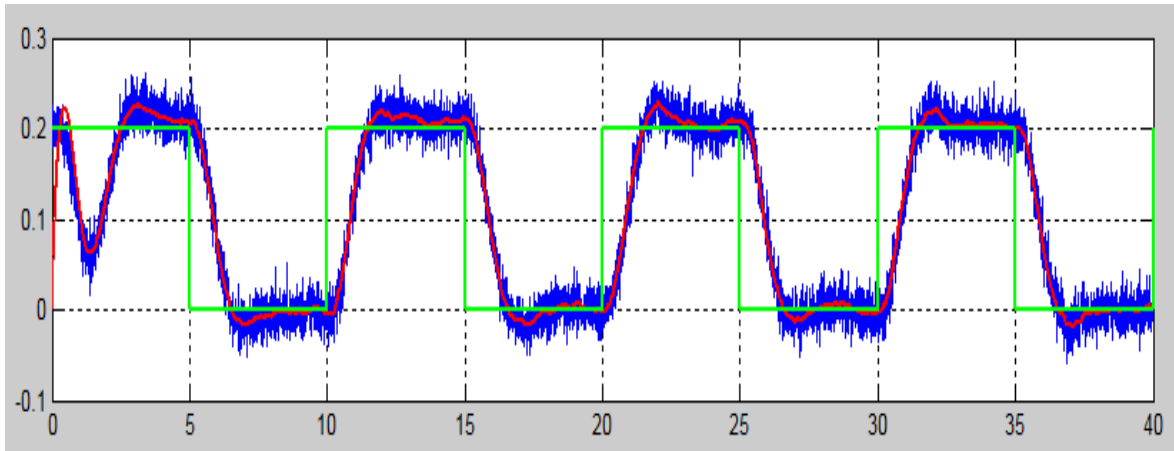
Với đường màu đỏ (—) là tín hiệu quan sát được  
đường màu xanh (—) là tín hiệu ra của đối tượng  
đường màu xanh lá (—) là tín hiệu đặt



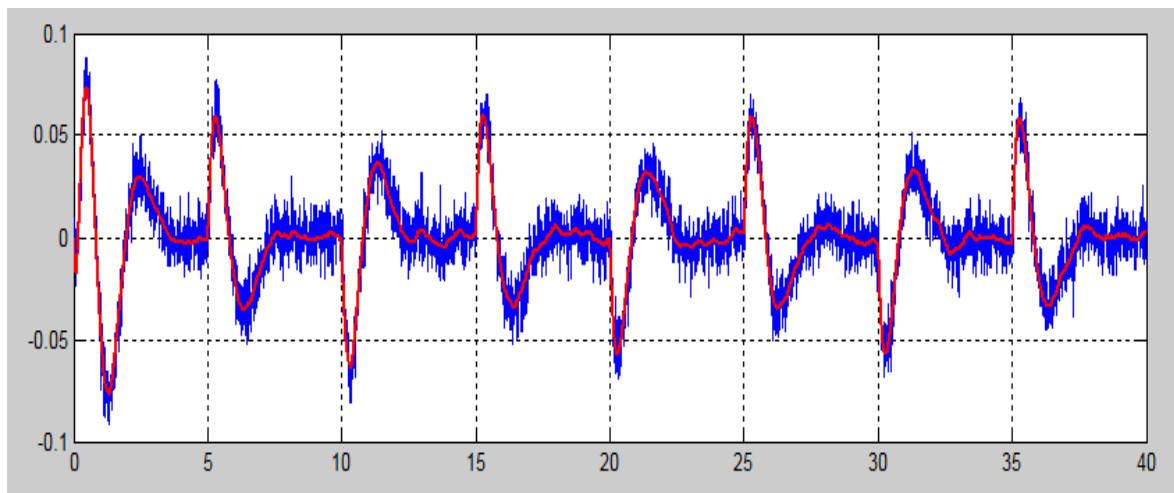
Hình 3.9 : Vận tốc góc của thanh

Với đường màu đỏ (—) là tín hiệu quan sát được  
đường màu xanh (—) là tín hiệu ra của đối tượng

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



Hình 3.10 : Vị trí viên bi khi có nhiễu  
Với đường màu đỏ (—) là tín hiệu quan sát được  
đường màu xanh (—) là tín hiệu ra của đối tượng  
đường màu xanh lá (—) là tín hiệu đặt



Hình 3.11 : Vận tốc góc khi có nhiễu  
Với đường màu đỏ (—) là tín hiệu quan sát được  
đường màu xanh (—) là tín hiệu ra của đối tượng

### **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 Bóng 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 :

Các bộ khuếch đại nghịch đảo và không nghịch đảo, mạch khuếch đại tổng (Sum), mạch tích phân (Intergrator), mạch nhân (Gain) được sử dụng để thiết kế bộ điều khiển tương tự. Từ mô hình tuyến tính đối tượng, LQR tương tự và các khối LQE trong miền S được thể hiện trong hình 1.13, 3.2 và 3.7 chúng ta có thể thiết kế tương ứng mô hình đối tượng, LQR điện tử tương tự và mạch LQE sử dụng khuếch đại thuật toán được thể hiện trong hình 4.1, 4.2 và hình 4.3 một cách riêng rẽ. Bộ điều khiển và tham số quan sát với một số thuyết minh được liệt kê trong bảng I và bảng II.

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

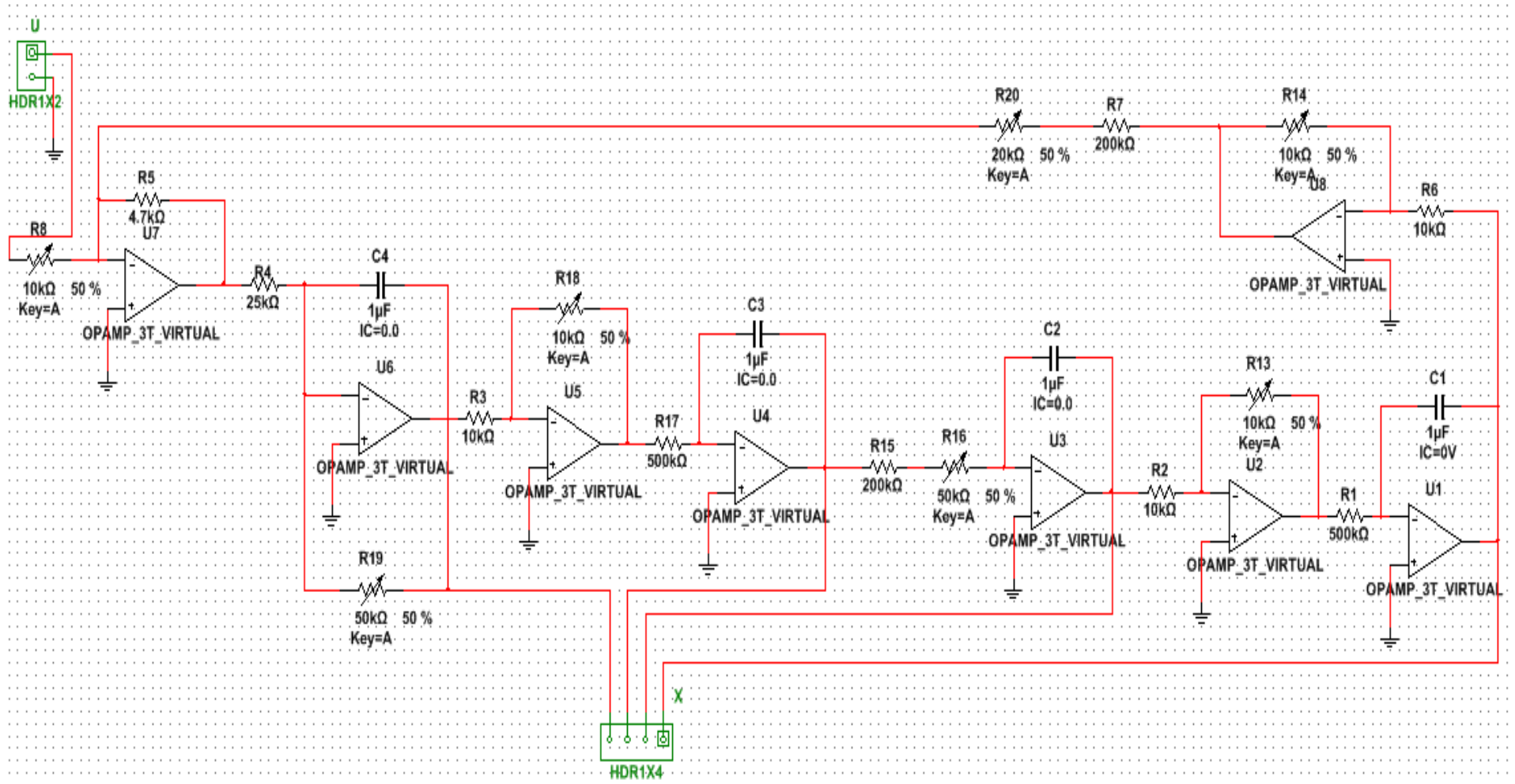


$I_{mv1}$	$R_{25} = R_{26} = R_{29} = 10k\Omega$	Tạo tín hiệu tương ứng cho vị trí viên bi ước lượng
$I_{mv2}$	$R_{23} = R_{24} = R_{27} = 10k\Omega$	Tạo tín hiệu tương ứng cho góc của thanh ước lượng
$l_{11}$	$R_{31} = R_{32} = 10k\Omega$	Khuếch đại bộ lọc tối ưu trạng thái ổn định $l_{11} = \frac{R_{31}}{R_{32}}$
$l_{12}$	$R_{15} = 100k\Omega$	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 $l_{42} = \frac{R_{38}}{R_{37}}$

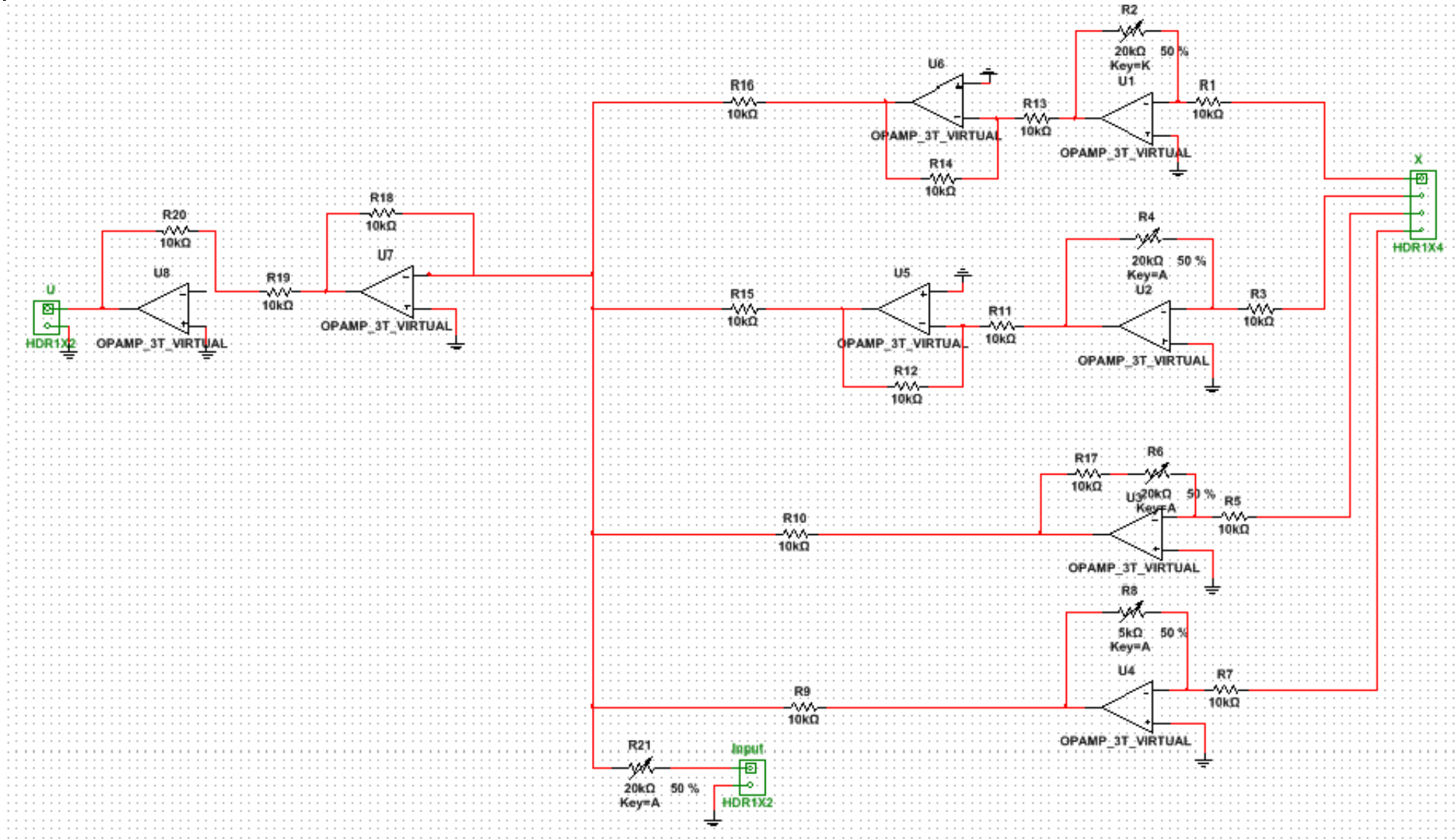
$I_{nt1}$	$R_1 = 500k\Omega, C_1 = 1\mu F$	Tích phân 1 tạo vị trí ước lượng viên bi
$I_{nt1}$	$R_4 = 200k\Omega, C_2 = 5\mu F$	Tích phân 2 tạo vận tốc ước lượng viên bi
$I_{nt3}$	$R_5 = 500k\Omega, C_3 = 1\mu F$	Tích phân 3 tạo góc ước lượng thanh
$I_{nt4}$	$R_9 = 25k\Omega, C_4 = 1\mu F$	Tích phân 4 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

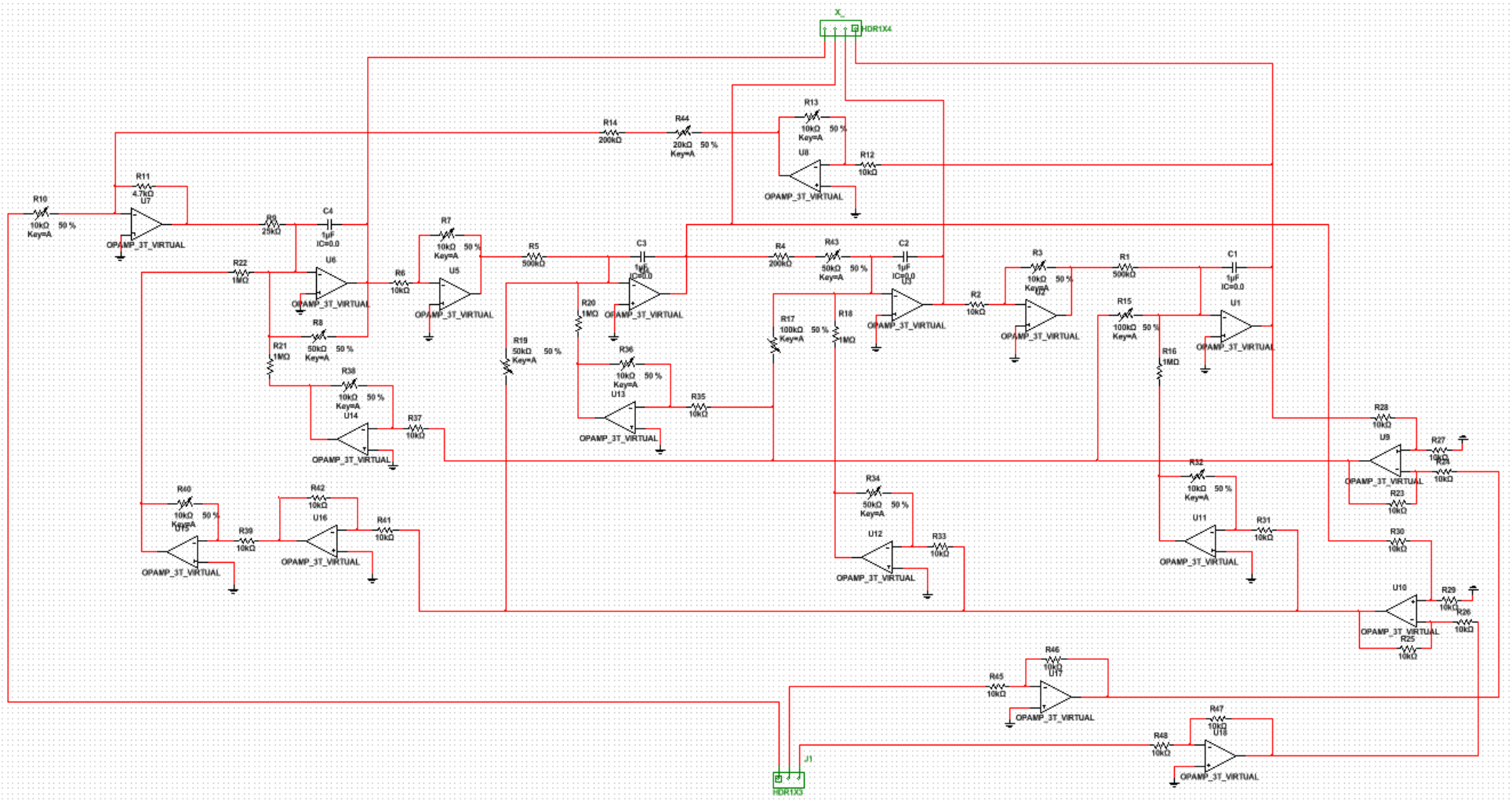
Ký hiệu	Thông số	Ghi chú
$a_p$	$R_2 = R_{13} = 10k\Omega$	Thông số thiết bị
$b_p$	$R_3 = R_{18} = 10k\Omega$	Thông số thiết bị
Sum	$R_8 = 10k\Omega, R_5 = 4,7k\Omega$ $R_{20} = 20k\Omega, R_7 = 200k\Omega$	Khuếch đại tổng
$I_{nt1}$	$R_1 = 500k\Omega, C_1 = 1\mu F$	Khâu tích phân 1 tạo vị trí viên bi
$I_{nt2}$	$R_{16} = 50k\Omega, C_2 = 1\mu F$	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



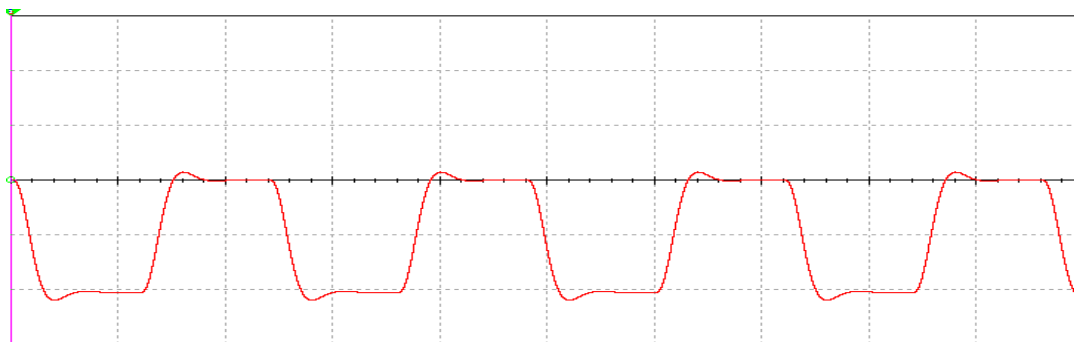
Hình 4.1 : Mô hình đối tượng B&B sử dụng KDTT



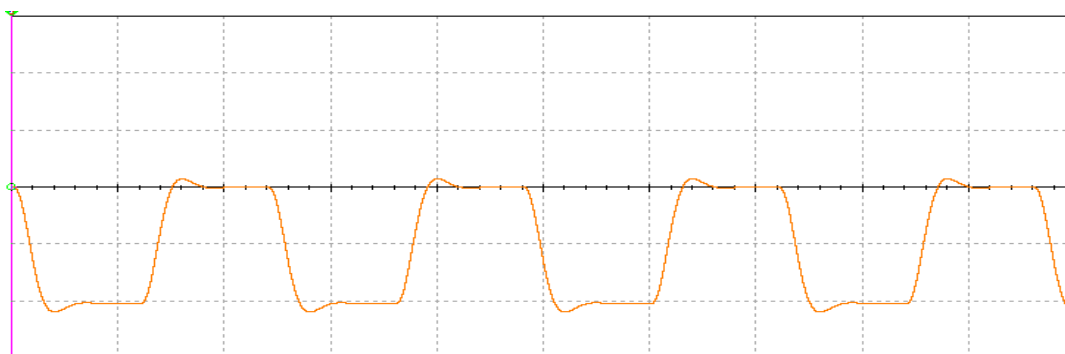
Hình 4.2 : Bộ điều khiển LQR sử dụng KĐTT



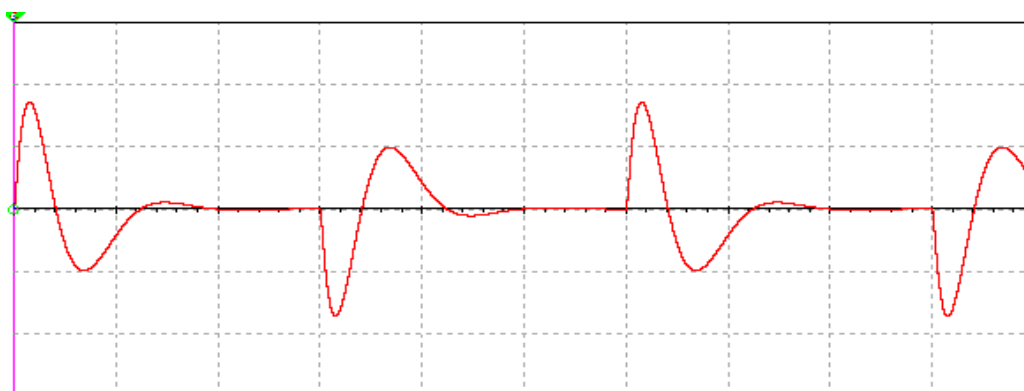
Hình 4.3 : Bộ quan sát LQE sử dụng KĐTT

**Kết quả chạy mô phỏng trên Multisim**

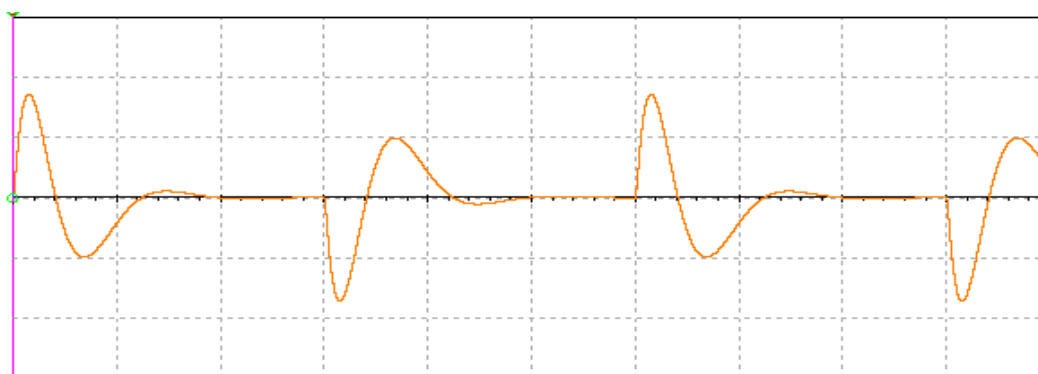
Hình 4.4 : Tín hiệu vị trí viên bi của đối tượng điều khiển



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



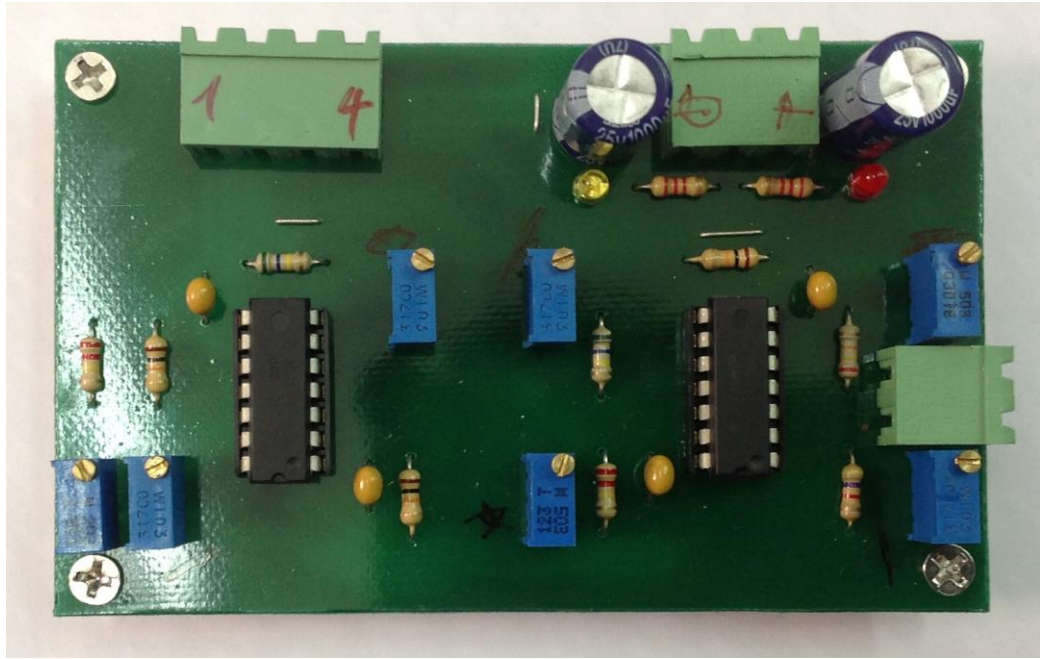
Hình 4.6 : Vị trí góc của thanh



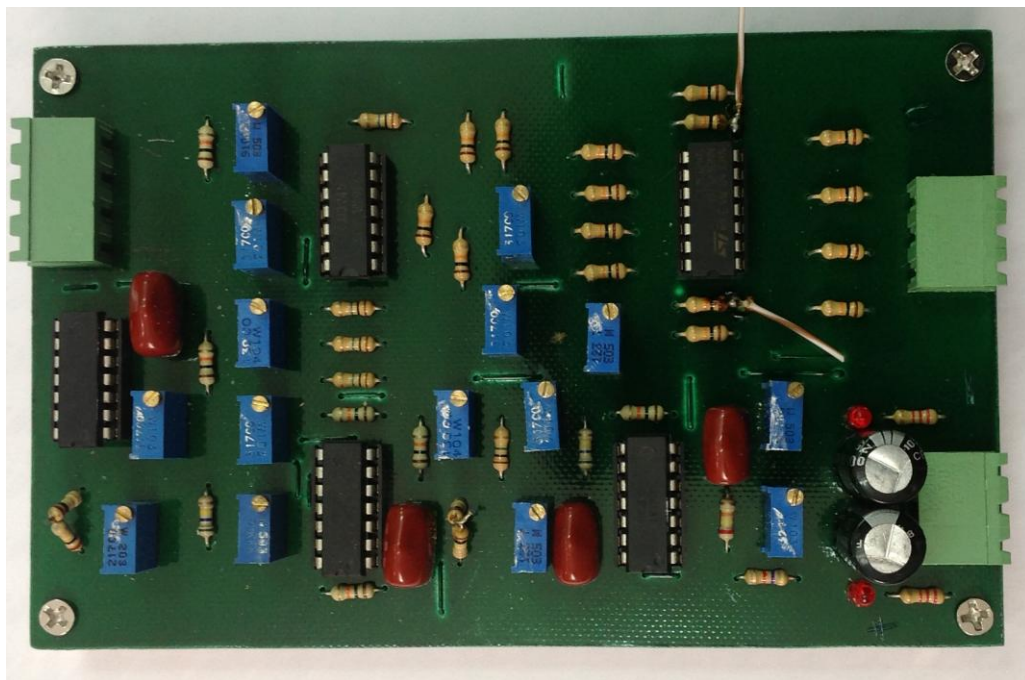
Hình 4.7 : Vị trí góc của thanh quan sát được

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

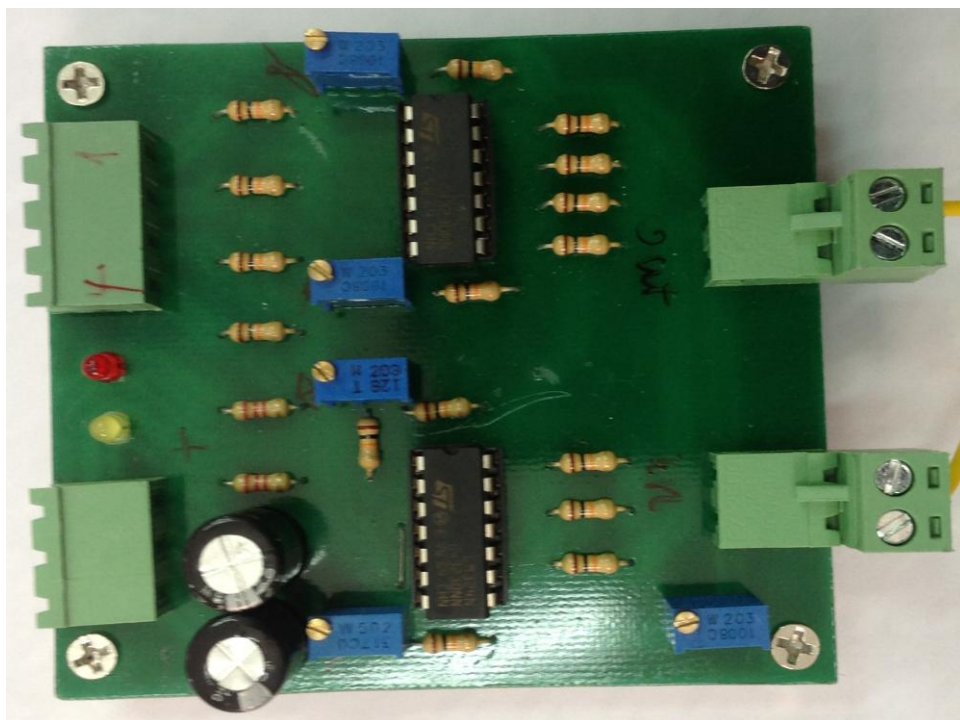
Từ các thông số tính toán được ở phần trên và kết quả chạy mô phỏng, tác giả đã thiết kế được mạch điện tử LQG bằng các linh kiện điện tử. Trong thiết kế này, tác giả đã thiết kế được 3 mạch điện tử riêng biệt bao gồm :



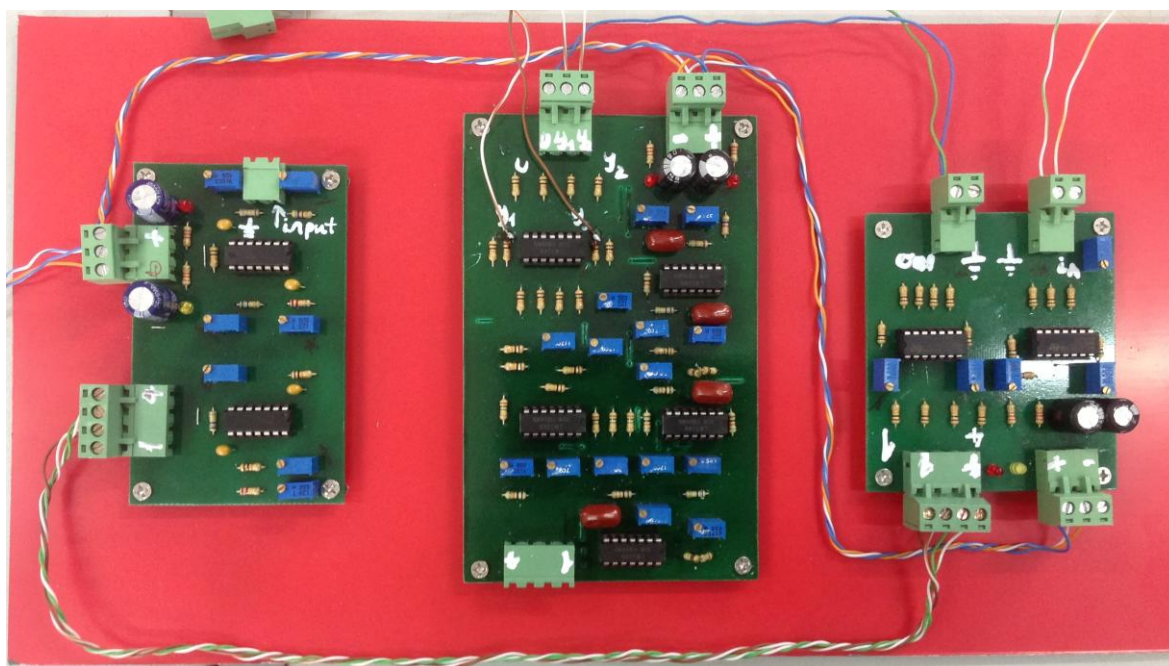
Hình 4.8 : Mô hình đối tượng sử dụng KĐTT



Hình 4.9 : Bộ quan sát LQE sử dụng KĐTT

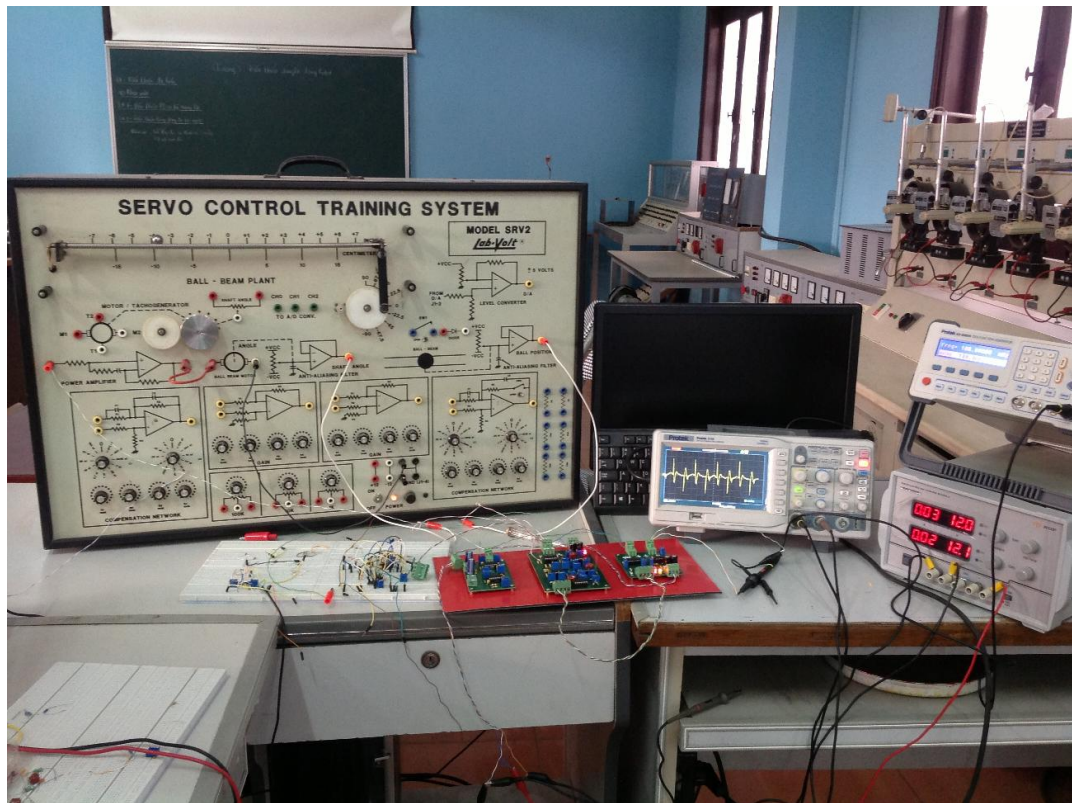


Hình 4.10 : Bộ điều khiển LQR sử dụng KĐTT



Hình 4.11 : Bộ điều khiển LQG sử dụng KĐTT





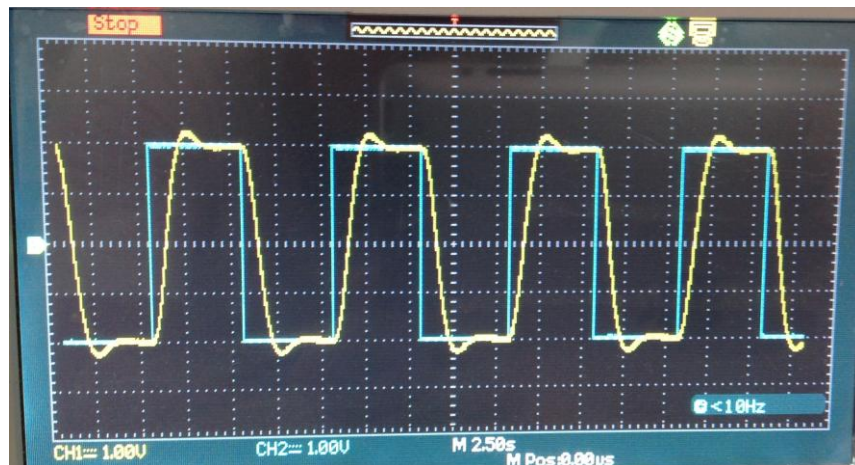
Hình 4.12 : Tổng thể thiết kế khi áp dụng vào đối tượng

### 4.3 Kết quả chạy thực nghiệm :

Các công cụ sử dụng trong thực nghiệm :

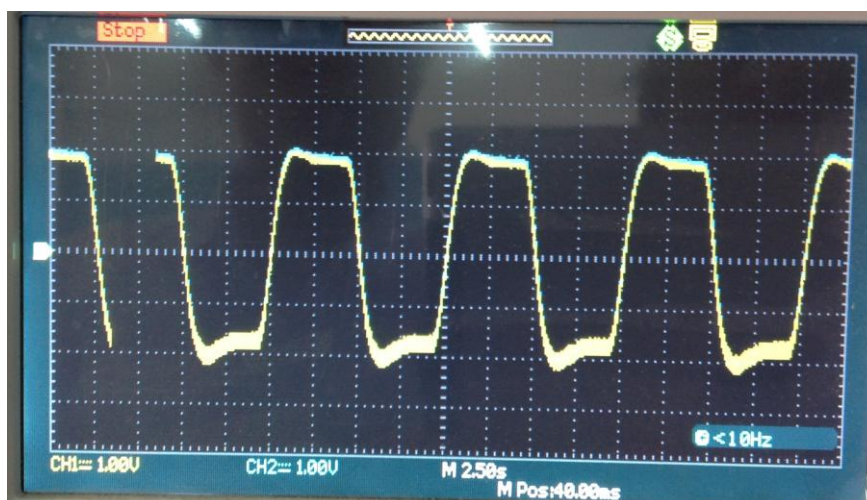
- Máy tạo xung Protek GD- 005N.
- Máy tạo điện áp nguồn ( $\pm 12V$ ) RPS 305DV
- Máy hiện sóng 2 kênh Proteck 5100

+/- Khi kết nối bộ điều khiển LQR với đối tượng B&B sử dụng KĐTT:



Hình 4.13 : Tín hiệu điện áp đặt và vị trí viên bi

+/- Khi sử dụng bộ quan sát LQE :

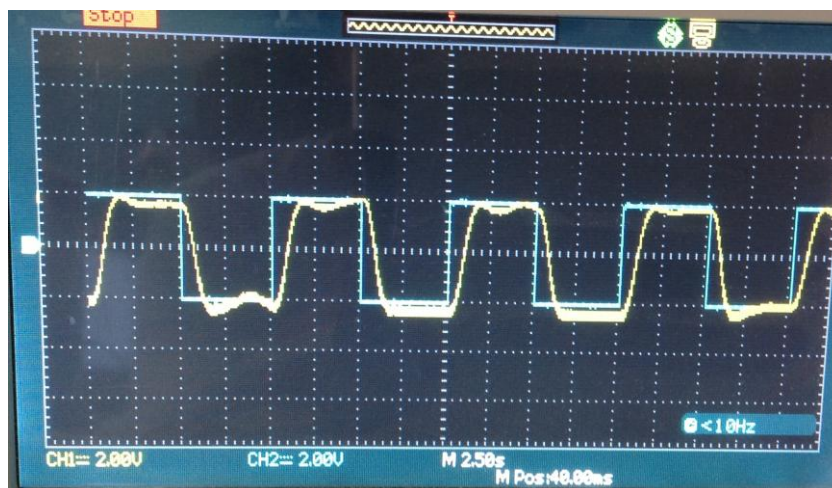


Hình 4.14 : Vị trí viên bi của đối tượng và quan sát được



Hình 4.15 : Vị trí góc quay của thanh

+/- Khi thực hiện với đối tượng B&B thực :



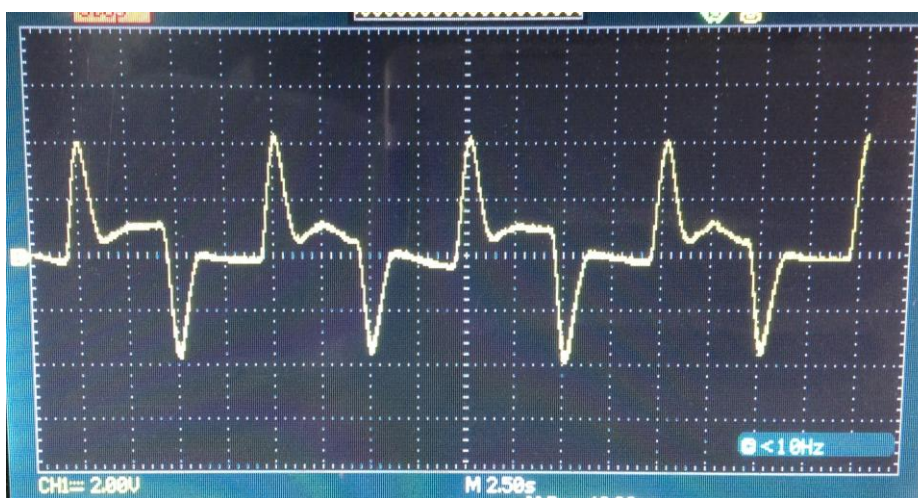
Hình 4.16 : Tín hiệu điện áp đặt và vị trí viên bi



Hình 4.17 : Vị trí viên bi của đối tượng và quan sát được



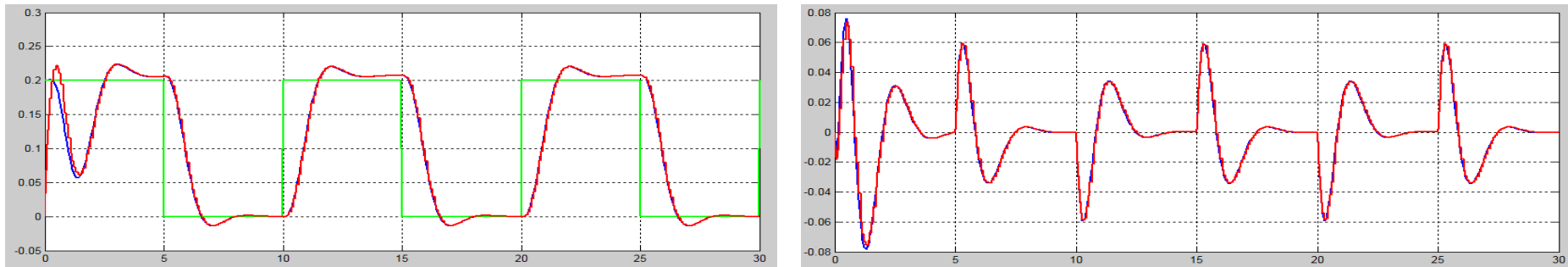
Hình 4.18 : Vị trí góc quay động cơ



Hình 4.19 : Vận tốc viên bi

## 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 4.21 ) và kết quả thực nghiệm trong thiết kế thực cũng có kết quả tương tự ( xem hình 4.22 ). 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 4.21 : Vị trí viên bi và vị trí góc quay của thanh trên mô phỏng



Hình 4.22 : 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 4.17 ). 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.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO****Tiếng Việt :**

- [1] [http://vi.wikipedia.org/wiki/Hệ\\_thống\\_điều\\_khiển/Số\\_và\\_tương\\_tự](http://vi.wikipedia.org/wiki/Hệ_thống_điều_khiển/Số_và_tương_tự).
- [2] [http://vi.wikipedia.org/wiki/Mạch\\_khuếch\\_đại\\_thuật\\_toán](http://vi.wikipedia.org/wiki/Mạch_khuếch_đại_thuật_toán).
- [3] [http://vi.wikipedia.org/wiki/Cơ\\_sở\\_thiết\\_kế](http://vi.wikipedia.org/wiki/Cơ_sở_thiết_kế)
- [4]. Nguyễn Doãn Phước, Phan Xuân Minh: *Điều khiển tối ưu và bền vững*, NXB Khoa học kỹ thuật, 1999.
- [5]. Nguyễn Doãn Phước, Phan Xuân Minh, Hán Thành Trung: *Lý thuyết điều khiển phi tuyến*, NXB Khoa học & kỹ thuật, 2006.
- [6]. Phạm Đăng Phước; *Rôbot công nghiệp*; NXB Khoa học kỹ thuật

**Tiếng Anh :**

- [7] [http://en.wikibooks.org/wiki/Control\\_Systems/Digital\\_and\\_Analog](http://en.wikibooks.org/wiki/Control_Systems/Digital_and_Analog).
- [8] [http://en.wikibooks.org/wiki/Operational\\_amplifier](http://en.wikibooks.org/wiki/Operational_amplifier).
- [9] [http://en.wikibooks.org/wiki/Model-based\\_design](http://en.wikibooks.org/wiki/Model-based_design).
- [10] Nguyen Duy Cuong, “Advanced Controllers for Electromechanical Moniton Systems ”, ISBN : 978-90-365-2654-8,2008.
- [11] [http://en.wikibooks.org/wiki/Liner-quadratic-Gaussian\\_control](http://en.wikibooks.org/wiki/Liner-quadratic-Gaussian_control).
- [12] Nguyen Duy Cuong, “Advanced Controllers for Electromechanical Motion Systems-Theory, Design and Applications “.
- [13] Nguyen Duy Cuong, Nguyen Van Lanh, Dang Van Huyen, 2014 “Design of LQG Controller Using Operational Amplifiers for Motion Con trol Systems,” *Journal of Automation and Control Engineering*, ISBN : 2301- 3702, pp.273 - 279.
- [14] Astrom, K. J., Wittenmark, B., Computer-Controlled Systems-Theory and Design, Third Edition, Prentice Hall Information and System sciences Series, Prentice Hall, Upper Saddle River, 1997.
- [15] Nguyen Duy Cuong, “*Advanced Controllers for Electromechanical Motion Systems*”, Doctorate dissertation, 2008

- [16] Dirne, H., “*Demonstrator of Advanced Controller*”, Master thesis, University of Twente, The Netherlands, May 2005.
- [17] Coelingh, H. J., “*Design Support for Motion Control Systems: a mechatronic approach*”, PhD thesis, University of Twente, Enschede, The Netherlands, 2000.
- [18] Ahn, H. S., Chen, Y. Q., and Dou, H., “*State Periodic Adaptive Compensation of Cogging and Coulomb Friction in Permanent Magnet Linear Motors*”, American Control Conference, Portland, OR, USA, 2005.
- [19] Ge, S. S., Lee, T.H., and Ren, S. X., “*Adaptive Friction Compensation of Servo Mechanisms*”, International Journal of Systems Science, volume 32, number 4, pages 523-532, 2001.
- [20] Lammerts, Ivonne M. M., 1993, “*Adaptive Computed Reference Computed Torque Control of Flexible Manipulators*”, PhD thesis, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, The Netherlands.